

TECHNICAL REPORT

RAPPORT TECHNIQUE



**Electrochemical migration in printed wiring boards
and assemblies – Mechanisms and testing**

**Migration électrochimique dans les cartes à circuits imprimés et assemblages –
Mécanismes et essais**





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2014 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 14 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 55 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 14 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 55 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.

TECHNICAL REPORT

RAPPORT TECHNIQUE



**Electrochemical migration in printed wiring boards
and assemblies – Mechanisms and testing**

**Migration électrochimique dans les cartes à circuits imprimés et assemblages –
Mécanismes et essais**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XD

ICS 31.180

ISBN 978-2-8322-1559-3

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....	7
INTRODUCTION.....	9
1 Scope.....	10
2 Electrochemical migration.....	10
2.1 Operation failure of electronic and electric equipment.....	10
2.2 Name change of migration causing insulation degradation and nature of the degradation.....	11
2.2.1 History of naming with migration causing insulation degradation.....	11
2.2.2 Process of degradation by migration.....	11
2.3 Generation patterns of migration.....	11
3 Test conditions and specimens.....	13
3.1 Typical test methods.....	13
3.2 Specimens in migration tests.....	14
3.2.1 Design of test specimens.....	14
3.2.2 Specifications and selection of specimen materials.....	19
3.2.3 Remarks on the preparation of specimens.....	20
3.2.4 Storing of specimens.....	20
3.2.5 Pretreatment of the specimen (baking and cleaning).....	20
3.2.6 Care to be taken in handling specimens.....	21
3.3 Number of specimens required in a test.....	21
3.3.1 Specifications given in JPCA ET 01.....	21
3.3.2 Number of specimens in a test.....	22
3.3.3 Number of specimens for the different evaluation purposes of a test.....	22
4 Test methods.....	23
4.1 General.....	23
4.2 Steady state temperature and humidity test and temperature-humidity cyclic test.....	23
4.2.1 Purpose and outline of the test.....	23
4.2.2 Test profile.....	24
4.2.3 Test equipment.....	27
4.2.4 Remarks on testing.....	28
4.3 Unsaturated pressurized vapour test or HAST (highly accelerated temperature and humidity stress test).....	30
4.3.1 Purpose and outline of the test.....	30
4.3.2 Temperature-humidity-pressure profile.....	31
4.3.3 Structure of and remarks on the test equipment.....	32
4.3.4 Remarks on performing HAST.....	34
4.4 Saturated and pressurized vapour test.....	36
4.4.1 Purpose and outline of the test.....	36
4.4.2 Test profile.....	36
4.4.3 Remarks on test performing.....	36
4.5 Dew cyclic test.....	37
4.5.1 Purpose and outline of the test.....	37
4.5.2 Dew cycle test temperature-humidity profile.....	37
4.5.3 Structure of the test equipment.....	38
4.5.4 Remarks on the test method.....	38

4.5.5	An example of migration in the solder flux from the dew cycle test.....	41
4.6	Simplified ion migration tests	43
4.6.1	General	43
4.6.2	De-ionized water drop method	43
4.6.3	Diluted solution method	45
4.7	Items to be noted in migration tests	46
5	Electrical tests.....	49
5.1	Insulation resistance measurement.....	49
5.1.1	Standards of insulation resistance measurement	49
5.1.2	Measurement method of insulation resistance	49
5.1.3	Special remarks on insulation resistance measurement	52
5.2	Measurement of dielectric characteristics.....	55
5.2.1	General	55
5.2.2	Dielectric characteristics of board surface	55
5.2.3	Migration and dielectric characteristics of the printed wiring board surface 56	
5.2.4	Evaluation of migration by AC impedance measurement.....	59
6	Evaluation of failures and analysis.....	60
6.1	Criteria for failures	60
6.2	Data analysis	61
6.2.1	Analysis of experimental data	61
6.2.2	Relationship of the parameters in the experimental data and an example of the analysis	63
6.2.3	Electric field strength distribution	64
6.3	Analysis of specimen with a failure, methods of analysis and case study	65
6.3.1	General	65
6.3.2	Cross section.....	66
6.3.3	Optical observation.....	70
6.3.4	Analysis methods	72
6.3.5	Defect observation and analysis	72
6.4	Special remarks on the migration phenomenon after the test	77
Annex A (informative)	Life evaluation	80
A.1	Voltage dependence of life.....	80
A.2	Temperature dependence of life.....	80
A.3	Humidity dependence of life	80
A.3.1	General	80
A.3.2	Relation between temperature (°C), relative humidity (%RH) and vapour pressure (hPa).....	81
A.4	Acceleration test of life and acceleration factor	81
A.5	Remarks	82
Annex B (informative)	Measurement of temperature-humidity	83
B.1	Measurement of temperature and humidity	83
B.1.1	General	83
B.1.2	Commonly used temperature-humidity measurement systems and their merits	83
B.1.3	Requirements for the humidity measurements in a steady-state temperature-humidity test chamber.....	83
B.2	Typical methods of temperature and humidity measurement	83
B.2.1	General	83

B.2.2	Checking procedure for temperature measurement.....	84
B.2.3	Checking procedure for humidity measurement	85
B.2.4	Derivation of temperature in a chamber	86
B.2.5	Definition of relative humidity in HAST	87
Bibliography.....		89
Figure 1 – Main causes of insulation degradation in electronic equipment.....		10
Figure 2 – Generation patterns of migration		12
Figure 3 – Basic comb pattern		14
Figure 4 – Comb type fine pattern.....		15
Figure 5 – ECM group comb type pattern (mm).....		16
Figure 6 – Comb pattern for insulation resistance of flexible printed wiring board.....		16
Figure 7 – Insulation evaluation pattern for through-holes and via holes		17
Figure 8 – Details of the insulation evaluation pattern of Figure 7 (cross section of 4 and 5)		18
Figure 9 – Test pattern of the migration study group		18
Figure 10 – Recommended profiles of increasing temperature and humidity		24
Figure 11 – Humidity cyclic profile (12 h + 12 h).....		25
Figure 12 – Profiles of combined temperature-humidity cyclic test		26
Figure 13 – Structure of steady state temperature-humidity test equipment		27
Figure 14 – Specimen arrangement and air flow in test chamber		29
Figure 15 – Effective space in a test chamber.....		30
Figure 16 – HAST profile		31
Figure 17 – Two types of HAST equipment and their structures		32
Figure 18 – Difference in failure time among different test laboratories		33
Figure 19 – Colour difference of specimen surface among different laboratories (130 °C/85 %RH/DC 50 V)		34
Figure 20 – Resistance and pull-strength of cables used in HAST (130 °C 85 %RH).....		35
Figure 21 –Difference between unsaturated and saturation control of PCT equipment (relative humidity and average failure time).....		37
Figure 22 – Temperature-humidity profile of dew cycle test.....		38
Figure 23 – Structure of dew test equipment.....		39
Figure 24 – Dew-forming temperature and dew size.....		40
Figure 25 – Board surface at the best dew formation condition		41
Figure 26 – Surface state before test		42
Figure 27 – Surface state after 27 h.....		42
Figure 28 – SEM image of specimen surface after the test.....		42
Figure 29 – Element analysis of the surface after the test.....		43
Figure 30 – Circuit diagram of water drop test.....		44
Figure 31 – Migration generated in the water drop test		44
Figure 32 – Electroerosion test method using the diluted solution		45
Figure 33 – Current and concentration of electrolytic solution		46
Figure 34 – Precipitation on a specimen and its element analysis		46
Figure 35 – An example of insulation resistance measurement outside of the chamber.....		50

Figure 36 – Circuit diagram of insulation resistance measurement	51
Figure 37 – Examples of leakage current characteristics	52
Figure 38 – Relationship insulation resistance with charging time of capacitor mounted boards	53
Figure 39 – Comparison of insulation resistance measurement inside and outside a test chamber	53
Figure 40 – Relative humidity and insulation resistance	54
Figure 41 – Effect of interruption of measurement on insulation resistance (variation of insulation resistance with the time left in atmospheric environment)	55
Figure 42 – Frequency response of dielectric characteristics of printed wiring board	57
Figure 43 – Temperature response of dielectric characteristics of printed wiring board	57
Figure 44 – Changes of static capacitance and $\tan \delta$ of a specimen through a deterioration test	58
Figure 45 – Test procedure of a dielectric characteristics test	59
Figure 46 – Comparison of dielectric characteristics of two types of flux	59
Figure 47 – Measurement principle of EIS (Electrical Insulation System)	60
Figure 48 – Gold (Au) plating, non-cleaning	60
Figure 49 – Bath tub curve	61
Figure 50 – Relation between the variation of insulation resistance and the weight changes by water absorption	64
Figure 51 – Distribution of electric field between line and plane	65
Figure 52 – Distribution of the electric field between lines	65
Figure 53 – Different observations of the same dendrite according to different cross section cutting planes	66
Figure 54 – An example of angle lapping	68
Figure 55 – Structure analysis of an angle lapped solder resist in the depth direction	69
Figure 56 – Observed images of dendrite with different illumination methods (without solder resist)	73
Figure 57 – EPMA analysis of migration (dendrite) on a comb type electrode	73
Figure 58 – EPMA analysis of migration (dendrite) in the solder resist	74
Figure 59 – 3D shape measuring system	75
Figure 60 – Electrodes which migration was generated	75
Figure 61 – 3D observation of electrodes before and after the test	76
Figure 62 – 3D observation of dendrite	77
Figure A.1 – Temperature and saturated vapour pressure	81
Figure B.1 – Specification of sensors used in the test and their shapes	85
Figure B.2 – Calculation method of the average temperature (humidity), the average maximum temperature (humidity) and the average minimum temperature (humidity)	86
Figure B.3 – Relative humidity in a pressurized chamber	88
Table 1 – Standards for migration tests	13
Table 2 – Standard comb type pattern (based on IPC-SM-840)	15
Table 3 – Comb fine pattern (based on JPCA BU 01)	15
Table 4 – Dimension of insulation evaluation pattern for through-holes	18
Table 5 – Surface pretreatment to printed wiring board	21

Table 6 – Number of specimens (JPCA ET 01)	22
Table 7 – Approximate number of specimens required depending on the purpose of the test	22
Table 8 – Ionic impurity concentration of wick (10^{-6})	29
Table 9 – Insulation covering materials for cables for voltage application.....	34
Table 10 – Dew cycle test condition	38
Table 11 – Dew formation condition and dew size	41
Table 12 – Dew cycle test condition	41
Table 13 – Water quality for test	47
Table 14 – Water quality change in steady-state temperature-humidity test (10^{-6})	47
Table 15 – Ionic impurities in voltage applying cables (10^{-6})	48
Table 16 – Standards of insulation resistance measurement.....	49
Table 17 – Criteria of migration failure by insulation resistance.....	61
Table 18 – Various methods for optical observation of failures.....	70
Table 19 – Various methods for defect analysis	72
Table 20 – Board specification and test conditions.....	77
Table 21 – Effect of the overlap of electrodes	78
Table 22 – Effect of the area of the conductor.....	78
Table 23 – Effect of the shape of the tip of the electrodes.....	79
Table A.1 – Vapour pressure at test temperature and relative humidity.....	81
Table B.1 – Merits of and remarks on various humidity measuring methods (applicable to steady state temperature-humidity tests)	84
Table B.2 – Derivation of relative humidity from dry-and-wet bulb humidity meter	87

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**ELECTROCHEMICAL MIGRATION IN PRINTED WIRING BOARDS
AND ASSEMBLIES – MECHANISMS AND TESTING****FOREWORD**

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. However, a technical committee may propose the publication of a technical report when it has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

IEC/TR 62866, which is a technical report, has been prepared by IEC technical committee 91: Electronics assembly technology.

The text of this technical report is based on the following documents:

Enquiry draft	Report on voting
91/1102/DTR	91/1128/RVC

Full information on the voting for the approval of this technical report can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

INTRODUCTION

Electronic products including components nowadays are designed to satisfy the demands for miniaturization, high functionality and environmentally friendly products. Various types of degradation occur in the electronic products used in the field. Appropriate measures are required to mitigate such degradation from the standpoint of reliability assurance. A study has been carried out to develop the understanding of the phenomenon and has proposed test methods for electrochemical migration with the purpose of suppressing the migration in products used in the field.

This Technical Report is related to electrochemical migration including conductive anodic filament (CAF). Specifically, it explains:

- the preliminary test: the steady state temperature humidity test, the temperature humidity cycle test, the unsaturated pressurized vapor test, the saturated pressurized vapor pressure test, the dew condensation cycle test and the water drop test;
- the insulation resistance measurement method: manual measurement, automatic measurement, a dielectric characteristics method, and an AC impedance method. Moreover, the difference between the measurement while the specimen is kept in the testing environment and not taken out of the chamber for measurement, and the measurement of the resistance of a specimen while it is taken out of the test chamber, and the merit of an automatic measurement are also described;
- the equipment used for analysis, the observation method of a failure part, and examples which are used for analysis.

This Technical Report generates a number of benefits for the user:

Usefulness	the user can examine the electrochemical migration test in a short time, and can use it as an indicator of exact analysis.
Test method selection	since for the user the test method which responds to the operating condition of the equipment or the purpose is clearly demonstrated, comparison of test condition becomes easy. Compared to the measurement resistance of a specimen while it is taken out of the test chamber after the test chamber is return to the standard atmosphere condition, the measurement in the test chamber by automatic measurement does not experience the environmental change of a specimen at the time of measurement, and since continuous measurement can be carried out, the resistance change and failure time can be grasped correctly.
Avoidance of trouble	by observing the notice on the test, the user can avoid a trouble and carry out test and analysis efficiently.

ELECTROCHEMICAL MIGRATION IN PRINTED WIRING BOARDS AND ASSEMBLIES – MECHANISMS AND TESTING

1 Scope

This Technical Report describes the history of the degradation of printed wiring boards caused by electrochemical migration, the measurement method, observation of the failure and remarks to testing in detail.

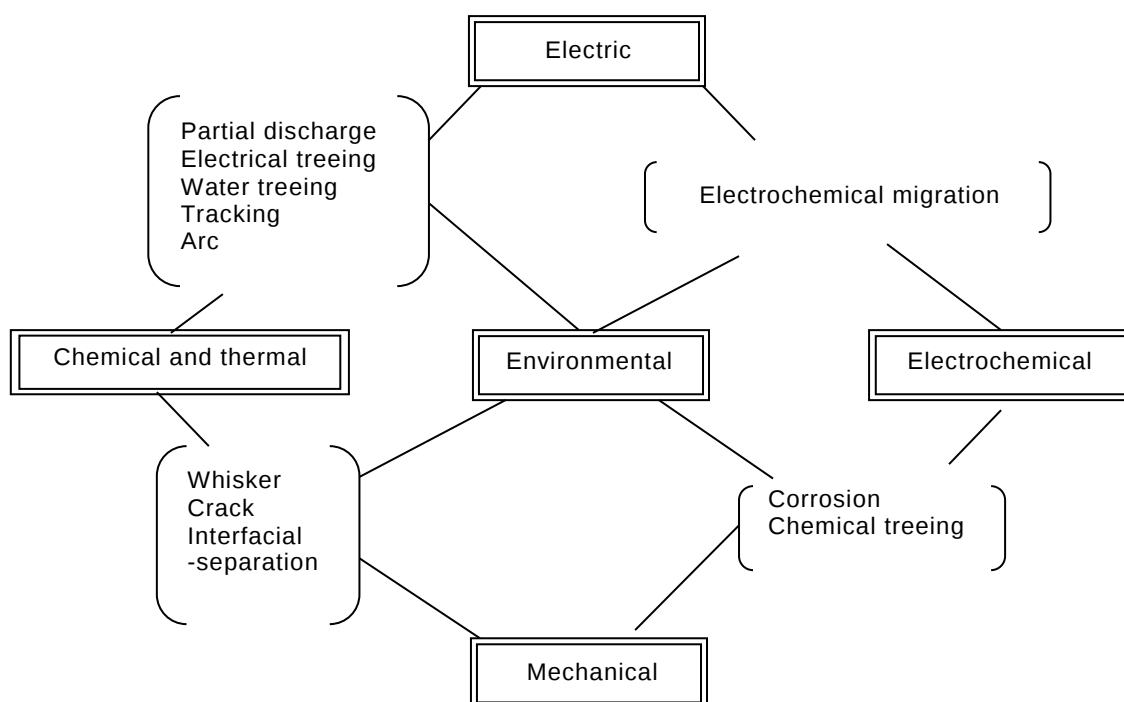
2 Electrochemical migration

NOTE Electrochemical migration is sometimes called ion migration. In this technical report electrochemical migration/ion migration will be referred to as migration.

2.1 Operation failure of electronic and electric equipment

It is known that failures caused by various degradation phenomena occur in electric and electronic products while they are used in the field. Causes of such failures are classified in Figure 1. The causes may be classified into: electric, thermal, mechanical and electrochemical origins. They are entwined with each other. The environment in which equipment is used also affects the generation of failures.

Growth of an electrically conducting filament caused by migration will short-circuit two conductors when a bias voltage is applied between them and will lead to a malfunctioning in the equipment.



IEC 1272/14

Figure 1 – Main causes of insulation degradation in electronic equipment

2.2 Name change of migration causing insulation degradation and nature of the degradation

2.2.1 History of naming with migration causing insulation degradation

Migration causing insulation failure had been called “ion migration” in Japan. A change of the definition of the phenomenon resulted in a change of name to “electrochemical migration”, but the name of “ion migration” is sometimes still used. The following description is the history of the change of name.

The first report on insulation failure was made in 1955, where the failure caused by the migration of silver atoms was reported and the phenomenon was called “silver migration”. It was also found that other metal atoms, including Pb and Cu, caused similar insulation failures, and so the phenomenon was called “metal migration”. The term “electromigration” was used as a general term for the phenomenon, and has been used for a long time in the IPC test method, IPC-TM-650:1987, 2.6.14A.

It was found since the latter half of the 1960s that interconnection failures in semiconductor devices were serious problems as the current flowing through a conductor significantly increased. This phenomenon was also called “electromigration”. The opening of a conductor was caused by the movement of metal atoms due to an increased current density, which produced dense and sparse layers within the conductor and resulted in a break of the conductor.

IPC changed the name of the phenomenon to “electrochemical migration” in its technical report IPC-TR-467A, and developed a new test method, IPC-TM-650:2000, 2.6.14C, which ISO adopted as ISO 9455-17. IEC 60194 which provides the terms and definitions for printed board design, manufacture and assembly, still uses the term “electromigration”. However, the name should be changed in the near future.

NOTE IPC-9201A uses and defines both electromigration (EMg) and electrochemical migration (ECMg).

References: 1) KOHMAN G. T., et al. *Silver migration in electrical insulation*, BSTJ 34 299, 1955
2) POURBAIX, M., *Atlas d'Equilibres Electrochimiques*, Gauthier-Villars et Cie ed., 1963

2.2.2 Process of degradation by migration

Good insulation between electrodes may be maintained in the application of DC voltage between electrodes on a printed wiring board of electronic equipment, as long as the electrodes are isolated by an insulating material of a high resistivity. If the insulating material absorbs moisture and the insulation resistance decreases, residual ionic contaminants in the insulating material or ions in the absorbed moisture will become active and metal atoms in the material will be ionized. Metal ions dissolve from the metal electrodes, either from an anode or a cathode, into the moistened electrolyte. Ions are transferred through the electrolyte by the electric field force. Metal ions (migration) move to an electrode and then educe in the form of dendrite. The dendrite bridges the neighbouring conductor electrode. The generation of (electrochemical) migration is described in 2.3.

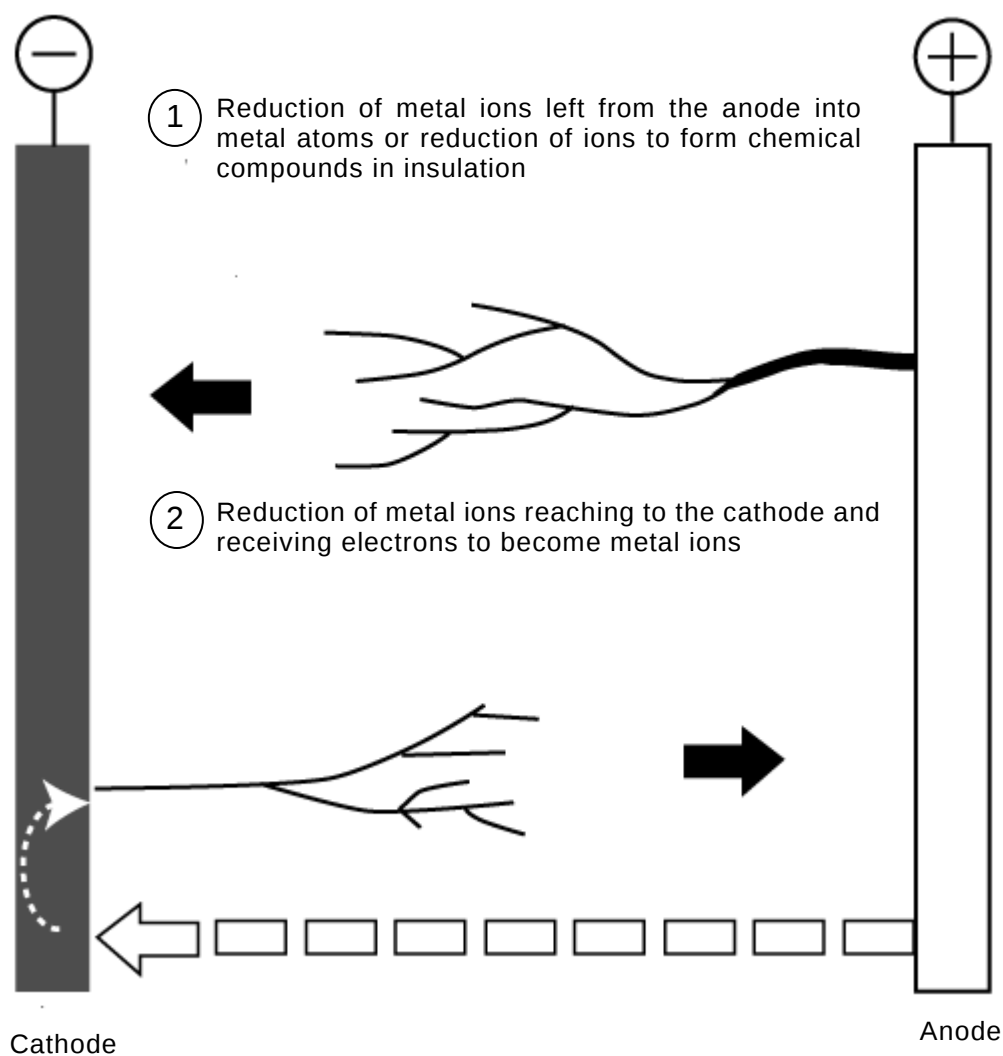
2.3 Generation patterns of migration

Migration begins in the anode by dissolving as metal ions by an electrochemical reaction. There are two cases of this phenomenon as shown in Figure 2. In the first case, the reduction of ions into metal atoms or chemical compound molecules occurs somewhere in between the electrodes. In the second case, the reduction of metal ions occurs when the ions reach the cathode.

The first case is observed when the insulating material still maintains a high resistance to the order of $10^8 \Omega$ or higher. The second case is often observed in HAST (highly accelerated temperature and humidity stress test), where the insulation resistance is reduced by the presence of dew, solder resist or cover layer on the insulation surface.

The difference in these two cases of migration seems due to the difference in the degree of easiness of movement of the metal ions. The second type of migration becomes dominant when

the apparent resistance decrease exists and the metal ions can move more easily than in the first case, while the first case is dominant when metal ions resolve from the anode but cannot move easily in the insulation. The change of one mechanism to the other in the migration is not an independent phenomenon but is simply due to the difference in insulation resistivity of the electrolyte material between electrodes.



IEC 1273/14

Figure 2 – Generation patterns of migration

3 Test conditions and specimens

3.1 Typical test methods

the main test method for migration is shown in Table 1.

Table 1 – Standards for migration tests

Items	Humidifying conditions	Duration and bias	Document no.			
Steady state Temperature/ humidity test	40 °C ± 2 °C 93 % ± 3 %RH	168 ₀ ⁺²⁴ h 500 h ± 48 h 1 000 h ± 96 h	IEC 60068-2-78			
	60 °C ± 2 °C 93 ₋₃ ⁺² %RH	168 ₀ ⁺²⁴ h, 500 h ± 48 h 1 000 h ± 96 h	IEC 60068-2-78			
	85 °C ± 2 °C 85 % ± 3 %RH	168 ₀ ⁺²⁴ h, 500 h ± 48 h 1 000 h ± 96 h	IEC 60068-2-67			
Temperature/ humidity cycle test	Relative humidity: 90 % to 98 % 80 % in rising and falling period 1) Exposure to humidity followed by exposure to cold. 2) Exposure to humidity not followed by exposure to cold	As agreed between user and supplier About 1 000 h DC voltage of 30 V to 50 V is usually specified	IEC 60068-2-38			
Unsaturated pressurized vapour test	110 °C ± 2 °C, 85 % ± 5 %RH 120 °C ± 2 °C, 85 % ± 5 %RH 130 °C ± 2 °C, 85 % ± 5 %RH	96/192/408 ₀ ⁺² h 48/96/192 ₀ ⁺² h 24/48/96 + ₀ ⁺² h	IEC 60068-2-66			
	130 °C ± 2 °C 85 % ± 5 %RH	96 h	JESD22-A110-B			
Saturated pressurized vapour test	121 °C, 205kPa (100 %RH)	2 h, maximum 8 h No voltage applied	JESD22-A102-C			
	Pre-treatment (205kPa), 30 min Then 260 °C solder immersion		IPC-TM-650:1994, 2.3.16.1C			
	Condition	Zone				JPCA ET 09
		t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	
	1	5 °C/ 60 %RH	≤ 20 s	25 °C/ 90 %RH, 20 min	≤ 15 min	
	2	0 °C, 25 min	≤ 20 s	30 °C/ 90 %RH, 20 min	≤ 15 min	
	3	−5 °C, 30 min	≤ 20 s	35 °C/ 90 %RH, 20 min	≤ 15 min	

3.2 Specimens in migration tests

3.2.1 Design of test specimens

Design of specimens for migration evaluation depends on the region of a circuit board to evaluate migration. A conductive pattern for test should be selected according to the Japan Electronics Packaging and Circuits Association's JPCA ET 01.

Only the patterns for surface insulation measurement are described here. The materials of the specimens are also defined in the previous edition of JPCA ET 01.

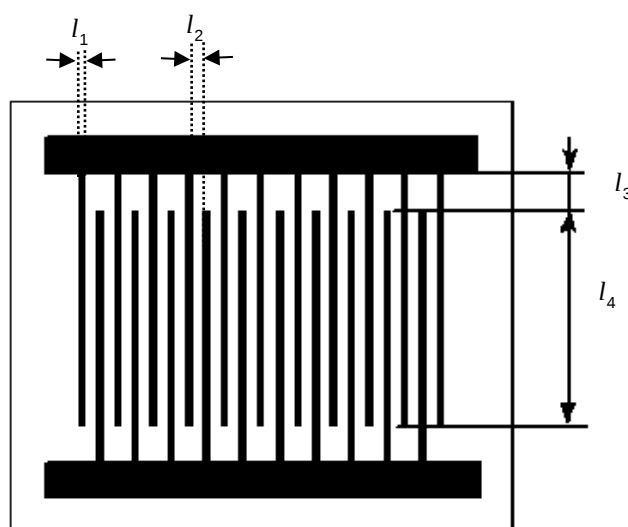
3.2.1.1 Pattern for evaluation of surface insulation resistance

Surface here means the board plane but does not mean the board surface itself. The pattern may be used for both top and bottom surface layers and also the inner layers of a board. The actual electrode size used in the products may also be used for test specimens. Two types of patterns are specified in this document.

1) JPCA ET 01

a) Standard pattern

The standard dimensions given in Figure 3 and Table 2 are specified. These dimensions are also compatible with those specified in IPC-SM-840. Fine patterns are not specified here. Standard patterns are widely used in the industry and the results of the measurement can be used for the comparison with the data in the practical field. The distance between two patterns should be more than 20 mm when more than one pattern is formed on the same board.



IEC 1274/14

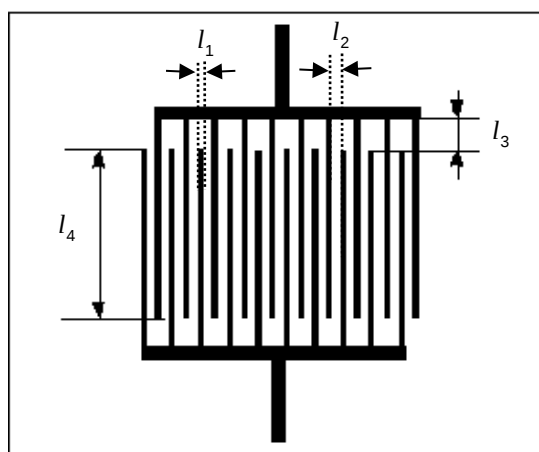
Figure 3 – Basic comb pattern

Table 2 – Standard comb type pattern (based on IPC-SM-840)*Dimensions in millimetres*

Pattern	A	B	C
Conductor width (l_1)	0,165	0,318	0,635
Conductor gap (l_2)	0,165	0,318	0,635
Overlap (l_4)	15,75	15,75	15,75
Distance between conductor tip and base (l_3)	$\geq 5,0$	$\geq 5,0$	$\geq 5,0$

b) Fine pattern

There are many boards using fine patterns now. Fine patterns are specified in Figure 4 and Table 3 in this document. A finer pattern not stated in Table 3 such as of less than 50 μm may be defined in individual specifications.



IEC 1275/14

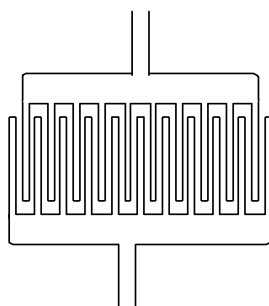
Figure 4 – Comb type fine pattern**Table 3 – Comb fine pattern (based on JPCA BU 01)**

Pattern	FA	FB	FC
Conductor width (l_1)	50 μm	75 μm	100 μm
Conductor gap (l_2)	50 μm	75 μm	100 μm
Overlap (l_4)	10,0 mm	10,0 mm	10,0mm
Distance between conductor tip & base (l_3)	$\geq 5,0$ mm	$\geq 5,0$ mm	$\geq 5,0$ mm

The distance between conductor tip and comb type base pattern (l_3) should be more than 5,0 mm as results obtained may be affected if this distance is very short. We define only the overlap length of comb pattern conductors. The shape of the conductor tip should have some effect on the results but only the distance is defined here as it may be difficult to define the exact shape of the conductor tip and not practical.

2) Other test patterns**a) Test pattern used by the migration study group (ECM group)**

The ECM Group uses the pattern shown in Figure 5.



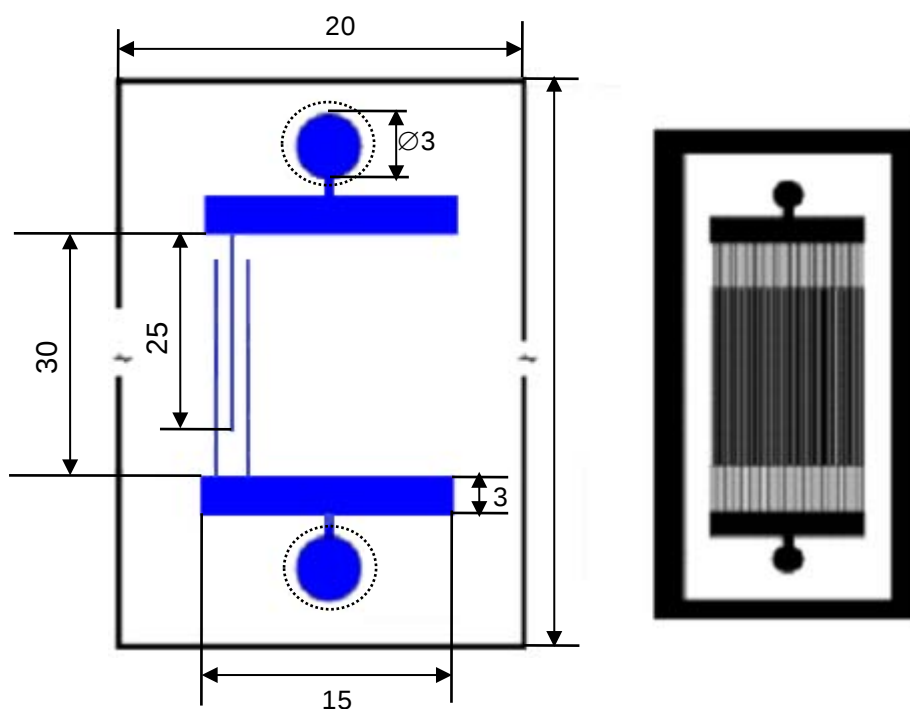
IEC 1276/14

Figure 5 – ECM group comb type pattern (mm)

- b) Test pattern used for flexible wiring board (see JPCA DG 02)

The test pattern specified in JPCA DG 02 is shown in Figure 6. The design guide for a flexible board includes the cover-lay and cover coat made of the same material. The number of conductor pairs is 75. The width and space (L/S) of conductors are chosen from the range of 60/60 μm to 100/100 μm .

Dimension in millimetres



IEC 1277/14

NOTE The circular areas surrounded by the dotted circles are openings of cover-lay and cover coat.

Figure 6 – Comb pattern for insulation resistance of flexible printed wiring board

- 3) Insulation resistance measurement pattern for an inner layer between inner layers

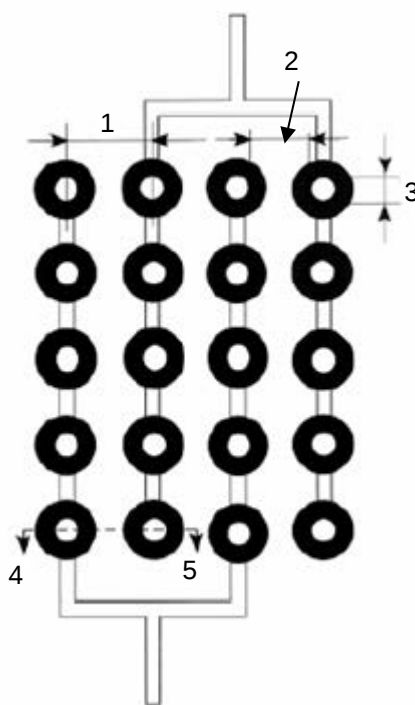
The evaluation pattern of the inner layer of a multi-layer board is also a comb pattern, the same pattern as that of the pattern for the evaluation of the surface layer. The same patterns are formed on two adjacent layers. One of the layers may be the board surface layer.

- 4) Insulation resistance measurement pattern between through-holes

- a) JPCA ET 01

The evaluation of insulation between through-holes or via-holes is made using the pattern of two rows of through-holes or via-holes facing each other as illustrated in Figure 7. Details of Figure 7 are shown in Figure 8. The dimensions of the holes are given in Table 4. The holes are electrically connected. The figures show the case of through-holes. The diameter of holes is kept constant. The number of holes on a line is no less than five. Care should be taken that ion migration between potential feeding conductors (usually on the surface layer) should not occur.

The properties of copper-clad laminate (CCL) have directional dependence (vertical, horizontal and diagonal to glass cloth fibre direction). Test results may depend on the arrangement of holes and direction of the board used. It is advised to evaluate the board using specimens with different directions of holes.



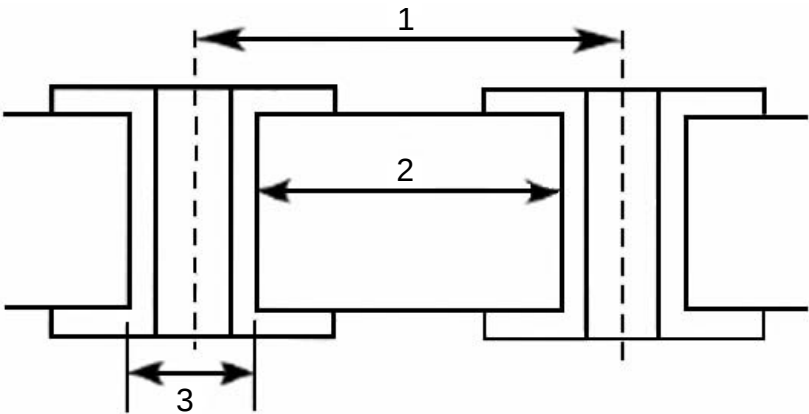
IEC 1278/14

Key

- 1 Hole pitch (p)
- 2 Wall to wall distance (s)
- 3 Hole diameter (d)

4 and 5 Cross section

Figure 7 – Insulation evaluation pattern for through-holes and via holes



IEC 1279/14

Key

- 1 Hole pitch (p)
- 2 Wall to wall distance (s)
- 3 Hole diameter (d)

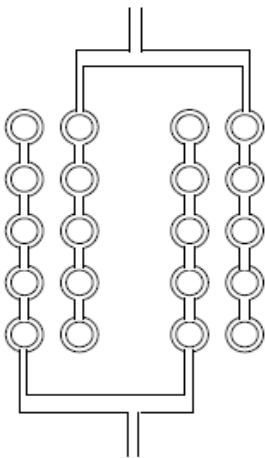
Figure 8 – Details of the insulation evaluation pattern of Figure 7 (cross section of 4 and 5)

Table 4 – Dimension of insulation evaluation pattern for through-holes

Hole diameter (d) (μm)	300					
Wall to wall distance (s) (μm)	150	200	250	300	350	400
Hole pitch (p) (μm)	450	500	550	600	650	700
Pattern arrangement	n holes $\times$ 4 rows ($n \geq 5$)					

b) ECM group test pattern

The migration study group used the test pattern shown in Figure 9 for migration and CAF tests. Hole diameter and hole separation are specified for each test.



IEC 1280/14

Figure 9 – Test pattern of the migration study group

It is necessary to design a test pattern for the evaluation of insulation resistance between holes, inner layers for power supply and/or the ground plane of a board by varying the insulation distance. Due to the change of the insulation distance by the position shift

during manufacturing, it is necessary to design the test pattern in such a way as to change the hole diameter and the diameter of the inner layer clearance to evaluate a variation in the insulation resistance. It is desirable to prepare two sets of test patterns, and perform the tests by setting the inner layer pattern as the positive electrode and the hole as the negative electrode for one set of tests and then reverse the polarity of the electrode for another set of tests.

3.2.2 Specifications and selection of specimen materials

1) Copper clad laminate (CCL)

There are two types of CCL, one for regular rigid printed wiring boards and the other for flexible wiring boards. CCL for rigid boards uses glass cloth as the base material, laminate with resin impregnated prepreg and copper foils. Products may be classified by the materials used as paper-phenol laminate, glass-epoxy laminate, and glass-polyimide laminate, or by grade specifications such as FR-4, GPY, and CEM-3. Flexible boards are laminates of resin film and copper foil, and may be classified as polyimide laminates and polyester laminates. Polyimide laminates are further divided into adhesive laminated boards and non-adhesive laminated boards.

The appropriate copper foil should be selected according to the purpose of the test. Highly migration resistive copper laminate should be used especially when evaluating the migration resistant materials and the precise characteristics of the boards. Migration resistivity varies significantly with the selection of the resin used. It is reported that glass-polyimide laminate is about ten times CAF resistive compared to glass-epoxy laminate of FR-4 grade. The migration characteristics of FR-4 grade glass-epoxy laminate vary significantly with the composition of resin, the types of glass cloth or the amount of resin used. Migration in flexible copper foil laminate boards significantly varies if adhesive is used. Polyimide laminates not using adhesive have significantly better migration resistivity compared to those using adhesives.

2) Copper foil

There are two types of copper foil according to manufacturing methods. One is electrodeposited copper foil and the other is wrought foil. Electrodeposited copper foil is used in most rigid boards and both wrought and electrodeposited copper foils are used in flexible boards depending on the board property requirements. The copper foil for evaluation should be selected for foils of proper type, thickness, surface roughness, and surface treatment. The thickness of the copper foil used in an inner layer may affect the lamination property of the inner conductor pattern and migration. Surface roughness of the copper foil used to form the comb pattern can affect the adhesiveness of copper foil and thus electrode formation. If the surface roughness is very large, the rough surface of the copper foil may not be sufficiently etched in the electrode formation and residue copper may remain in the gap between the copper electrodes. The copper foil with a rough surface may also touch the glass-cloth of laminated boards. These may become the factor to cause migration. On the other hand, a very smooth surface reduces the adhesiveness of copper foil and may cause peeling off during the test.

3) Solder resist

There are three types of solder resist: the development type, the thermosetting type, and the UV hardening type. Most of the solder resist used in production is the development type. This type of solder resist film is formed on a board by a screen print, a spray-coat, a curtain-coat, or a film lamination, and then patterns are made by photo-lithography.

It is necessary to select the proper type of solder resist in the evaluation of the board. The selection depends on the purpose of the test and the dimensions of the electrodes. A well-established technique should be used to apply the solder resist. Insufficient hardening of the resist may result in corrosion of the electrode pattern and in the opening of a test circuit. In this case the degradation of the insulation resistance cannot be detected. Voids may be formed if bubbles are included in the solder resist. Bubbles will be made by the screen printing at the interface of the resist and underlying copper. Insulation deterioration is observed even for an electrode spacing of 250 µm due to deterioration caused by the voids. The printing condition and the holding time to leave a specimen in a chamber for hardening after printing should be optimized especially when a fine pattern is used for test specimens.

It is known that voids are observed even in the solder resist of the dry film type, but voids in this case do not significantly affect the degradation of the insulation resistance because the electrodes are well covered by a dry film. There may be a case, however, where the dry film type solder resist may have inferior adhesiveness compared to the liquid type resist. Corrosion may occur at the interface and the inner pressure generated by the precipitates may break the resist film and cause migration.

3.2.3 Remarks on the preparation of specimens

1) Surface pattern

The migration test result may be affected by the surface treatment of the board (such as UV treatment and plasma treatment), the surface treatment of the conductor patterns (such as electroplating) and the presence or not of the formation condition of the solder resist. The board surface should be carefully cleaned before applying the solder resist. The formation and curing conditions of the resist should be carefully checked so as not to form voids and non-hardened regions. Pin holes and non-plated parts should not be formed on the electrode when the surface of the conductor pattern is electroplated.

The flux residue may cause an insulation defect when a cable is soldered to the conductor. The soldered joint should be cleaned thoroughly. The soldering heat may also deteriorate a specimen so that soldering should be made in as short a time as possible.

2) Inner pattern

As in the case of the surface pattern, the surface treatment of the board itself or the surface treatment of the conductor pattern (oxidation or reduction conditions) may affect the test results for the inner pattern. In the lamination process of the board, sufficient and thorough cleaning of the laminating layers should be made. The laminating condition should also be checked so as not to cause de-lamination.

3) Through-holes and via holes

Hole formation conditions including drilling, desmear, or electroplating of the inner wall of a hole may affect the results of the migration test. Such conditions should also be carefully checked.

3.2.4 Storing of specimens

Dust and some foreign particles may deposit on the surface of specimens if the specimens are left in open air in a room. In the case of organic resin materials, the amount of absorbed water vapour increases as time goes by and the insulation characteristics of the specimens may deteriorate. Care should be taken when storing the specimens:

- 1) Specimens should be stored in plastic bags or in a desiccator to protect them from contamination. If left in an open air, the surface of specimens may be oxidized, sulfurized, or salified. A box should be available where humidity inside the box may be controlled or filled with inert gas.
- 2) The surface of a desk should be discharged before specimen handling to protect it from dust deposition.

3.2.5 Pretreatment of the specimen (baking and cleaning)

Dirtiness between conductor patterns (dust, dirt, etc.) or absorption of water are the causes that deteriorate the insulation resistance and they have to be carefully checked before the test. Pretreatment of the specimens before the test may reset the target section of the specimen when the evaluation is planned to check the effects of board fabrication. Pretreatment may be employed to apply environmental stresses (heat, humidity history, etc.) to the specimen. Pretreatment should be chosen in accordance to the purpose of the evaluation. Explanations are given in the following for various pretreatments used for tests in this document.

1) Necessity of pretreatment

a) Cases where pretreatment is necessary:

- Evaluation of the conductor pattern design when the surface condition is not of significance.

- Comparison of the characteristics of the specimens which are made at different times, or of specimens stored for a long time so that the surface conditions may have been changed, e.g. surface contamination or water absorption.
- Removal of the flux residue on the conductor surface.
- Other.

b) Cases where pretreatment is not necessary:

- Cleaning using alcohol or acetone may dissolve impurities of specimen containing organic substances.
- Evaluation of the surface treatment process and materials.
- Other.

2) Pretreatment

Table 5 gives the general pretreatment to printed wiring board.

Table 5 – Surface pretreatment to printed wiring board

Purpose	Standard	Process
Cleaning	ISO 9455-17	Pretreatment of copper patterns for flux test: 1) clean specimen with purified water using a soft brush for 30 s 2) spray rinse with purified water 3) clean specimen with isopropyl alcohol using a soft brush for 30 s 4) rinse with isopropyl alcohol 5) dry the specimen in a dryer for 3 h at 60 °C
Drying	IEC 60068-1	Specimens are kept under the following condition for 6 h for pre-drying, if needed, before the start of a series of measurements: 55 °C ± 2 °C, < 20 %RH, atmospheric pressure of 95 kPa to 106 kPa
	IEC 60068-2-2	Keep the specimen at 25 °C ± 5 °C, and 45 %RH to 75 %RH until the temperature of the specimen becomes stable at the temperature. Change the humidity to 95 % to 100 %RH within 1 h.
	EIAJ ED-4701/301	Heat treatment that is usually performed as the pretreatment for soldering (125 °C ± 5 °C/24 h)
Preconditioning	EIAJ ED-4701/301 JESD22-A113	Heat and humidity treatment considering the environmental effects to the assembly process for surface mounting device (SMD) packages

3.2.6 Care to be taken in handling specimens

Care should be taken in handling the specimens as surface contamination affects the results considerably.

- 1) Operators should use disposal masks and latex gloves.
- 2) Work should be made on a sheet of dust free paper.
- 3) Use chlorine free flux.
- 4) Cover the conductor pattern with the dust free paper used in clean room in soldering not to splash the flux to the specimen surface.

3.3 Number of specimens required in a test

3.3.1 Specifications given in JPCA ET 01

The number of specimens required depends on the purpose of a test, for example whether a test is for test products or for mass produced products. There are few references giving the numbers clearly for any specific purpose of a test. Table 6 gives a rough guidance to the number of specimens required for the purpose of a test.

Table 6 – Number of specimens (JPCA ET 01)

Purpose	Basic concept
Evaluation of test product	Discrete device: $n \geq 5$ $n \geq 10$ is recommended
Evaluation of mass product	Discrete device: $n \geq 10$

3.3.2 Number of specimens in a test

The number of specimens required at different production stages is specified in JPCA ET 01 as shown in Table 6. For the evaluation of products at a test production stage n may be 5 but $n \geq 10$ is recommended. The difference in number for the specific purpose of a test is not standardized in this technical report but given in Table 7 as reference.

Table 7 – Approximate number of specimens required depending on the purpose of the test

Purpose			Consideration
Difference in production stages	Evaluation of design and test production		Discrete component: $n \geq 5$ $n \geq 10$ is recommended
	Evaluation of mass produced products		Discrete component: $n \geq 10$
Difference in the purpose of a test	a	Initial failures	– It is very difficult to decide n theoretically. – It is the best method to change the specimen number from the conventionally accepted number so as to obtain a reasonable result.
	b	Random failures	
	c	Failure levels (λ , MTTF)	– It is possible to decide n statistically. – n may become very large unless an accelerated test is adopted.
	d	Life	– A similar consideration stands as in a and b. – Only for single component with a finite life time.

3.3.3 Number of specimens for the different evaluation purposes of a test

1) If the purpose is a, b, or d of Table 7:

- For a and b

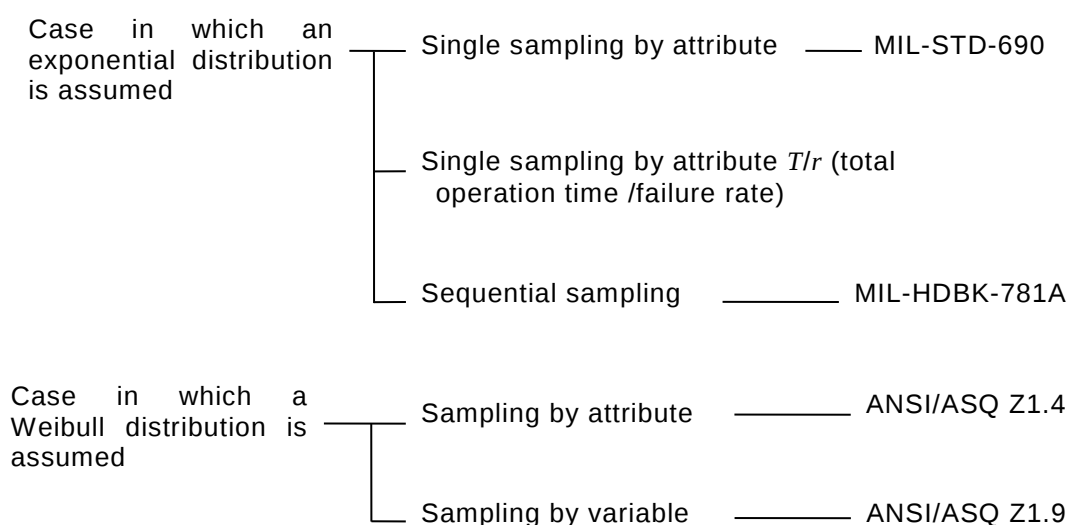
The method to determine the number n from the available data of generation of failed components from the standpoint of the detection of a failure lot at a reliability level of 90 %.

- For d

The method to determine the number n in the process of approval of the averaged and difference of quality to confirm there is no difference in the quality of the component of the interest.

2) If the purpose is c of Table 7:

There are several sampling methods to select n to study λ , the failure rate, and the MTTF (mean time to failure) by a relevant test.



For details, refer to the above-mentioned standards or to the description of the statistical sampling method of the reliability test.

The number of $n \geq 30$ is required to obtain an objective confirmation of the life of a product. Some say $n \geq 20$ is necessary to obtain an acceleration factor in a Weibull analysis while there is a text requiring $n \geq 50$. The cost of a test is roughly proportional to the number of specimens but the quality and quantity of information attainable from a test are increased as the specimen numbers are increased. It is necessary to decide on a proper number of specimens in the evaluation analysis and an optimum number should be selected considering the cost, the testing time and a comparison of the results with the available data from tests made before. A minimum number of 10 seems necessary in any case.

4 Test methods

4.1 General

Each test is performed using individual standard test. In Clause 4 the summaries of the purpose, the test equipment and test method, and the items to be noted for each test related to ion migration are described.

4.2 Steady state temperature and humidity test and temperature-humidity cyclic test

4.2.1 Purpose and outline of the test

There are two types of tests in this category. One is for the test keeping a specimen in an environment of a specified temperature and humidity for a specified time. The other, which is called a cyclic test, is to expose a specimen in an environment where a change of temperature and humidity is 1 cycle a day. The steady state temperature and humidity test is suitable to check the insulation degradation caused by absorption of water vapour while the cyclic test is used for insulation degradation due to forced dew formation in an environment as shown in SOURCE: IEC 60068-2-30:2005, Figure 2b.

Figure 11. There is another type of temperature-humidity cycle as shown in SOURCE: IEC 60068-2-38:2009, Figure 2 and Figure 3.

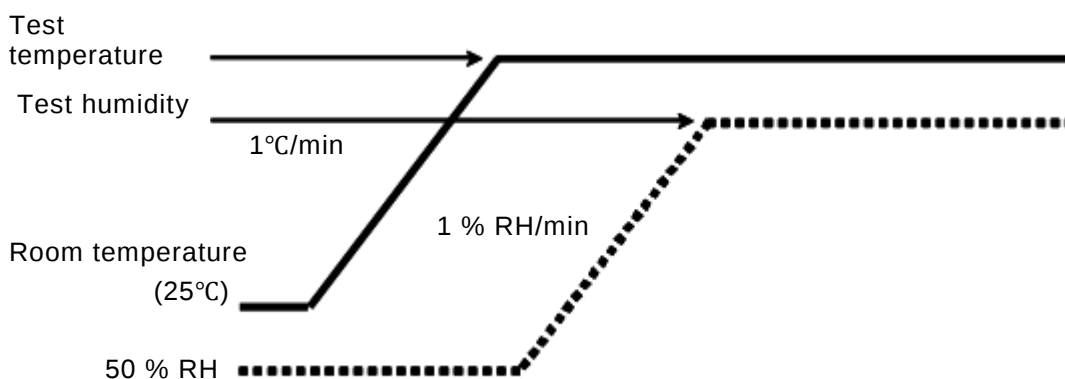
See 6.4 of IEC 60068-2-38:2009.

Figure 12 which includes a low (freezing) temperature to check the effects of both a freezing and high temperature environment on a specimen. The test including a dew formation effect may not be very stable as the dew formation on a specimen is not a stable phenomenon. A cyclic test for dew formation with more realistic environmental conditions is described in 4.5. Stabilization of a specimen in the testing environment, especially with a change of humidity condition is very important in these kinds of measurements. Recent improvements in materials inevitably require a very long time for such a temperature-humidity test.

4.2.2 Test profile

1) Steady state temperature-humidity profile

Care should be taken for dew formation on a specimen when the surface temperature of the specimen is lower than the dew point of the test chamber. Dew may be formed on the specimen surface in such a case. Dew may easily be formed when the heat capacity of a specimen is large and there is a difference between the chamber temperature and that of the specimen. Such a test is often made with a temperature profile shown in Figure 10 to avoid dew formation. The temperature is first raised followed by an increase of humidity to avoid dew formation on the surface of a specimen. It is recommended to change the temperature slowly with a rising rate of 1 °C/min and a humidity increase of less than 1 %RH/min.



IEC 1281/14

Figure 10 – Recommended profiles of increasing temperature and humidity

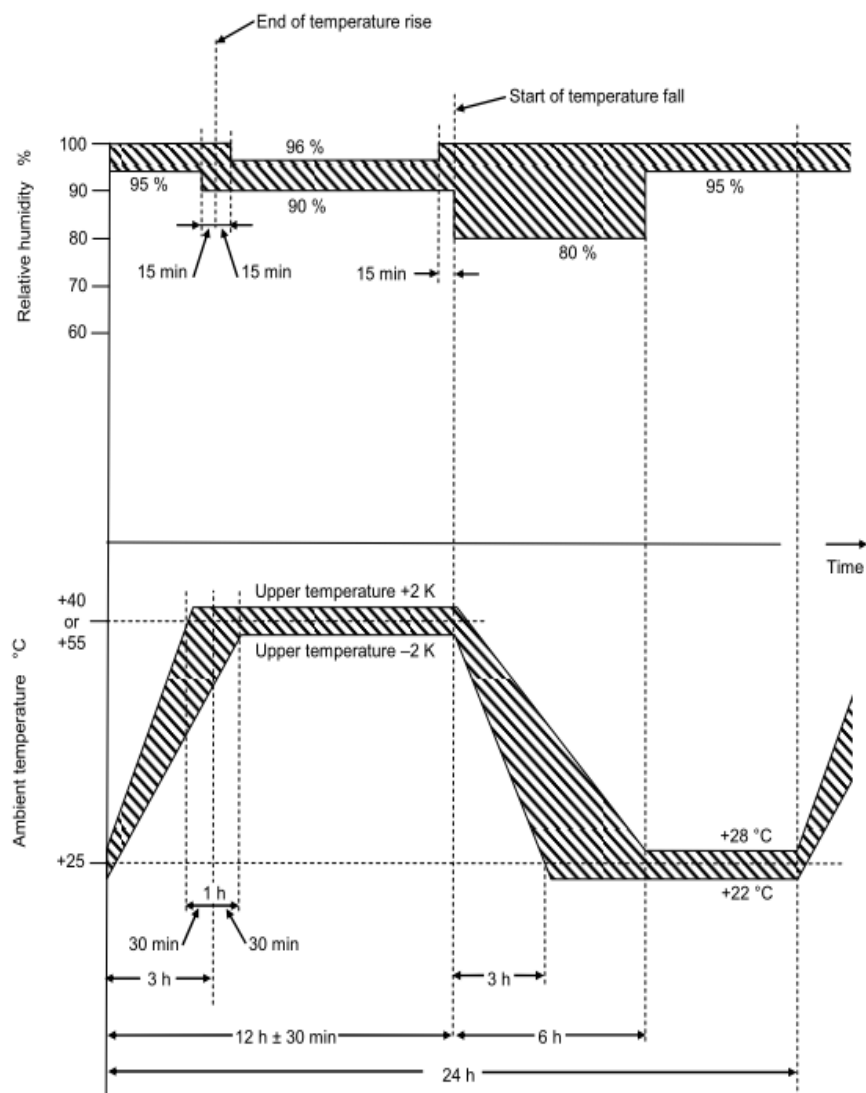
2) Temperature-humidity cyclic test profile

The purpose of the cyclic test is to check the effect of dew formation. Care taken to avoid dew formation as in the case of the steady state temperature and humidity test is not necessary. Follow up of the temperature of a specimen to the change of the chamber temperature is important in a temperature-humidity cyclic test. Control the temperature and humidity as specified in the individual specification. SOURCE: IEC 60068-2-30:2005, Figure 2b.

Figure 11 and SOURCE: IEC 60068-2-38:2009, Figure 2 and Figure 3.

See 6.4 of IEC 60068-2-38:2009.

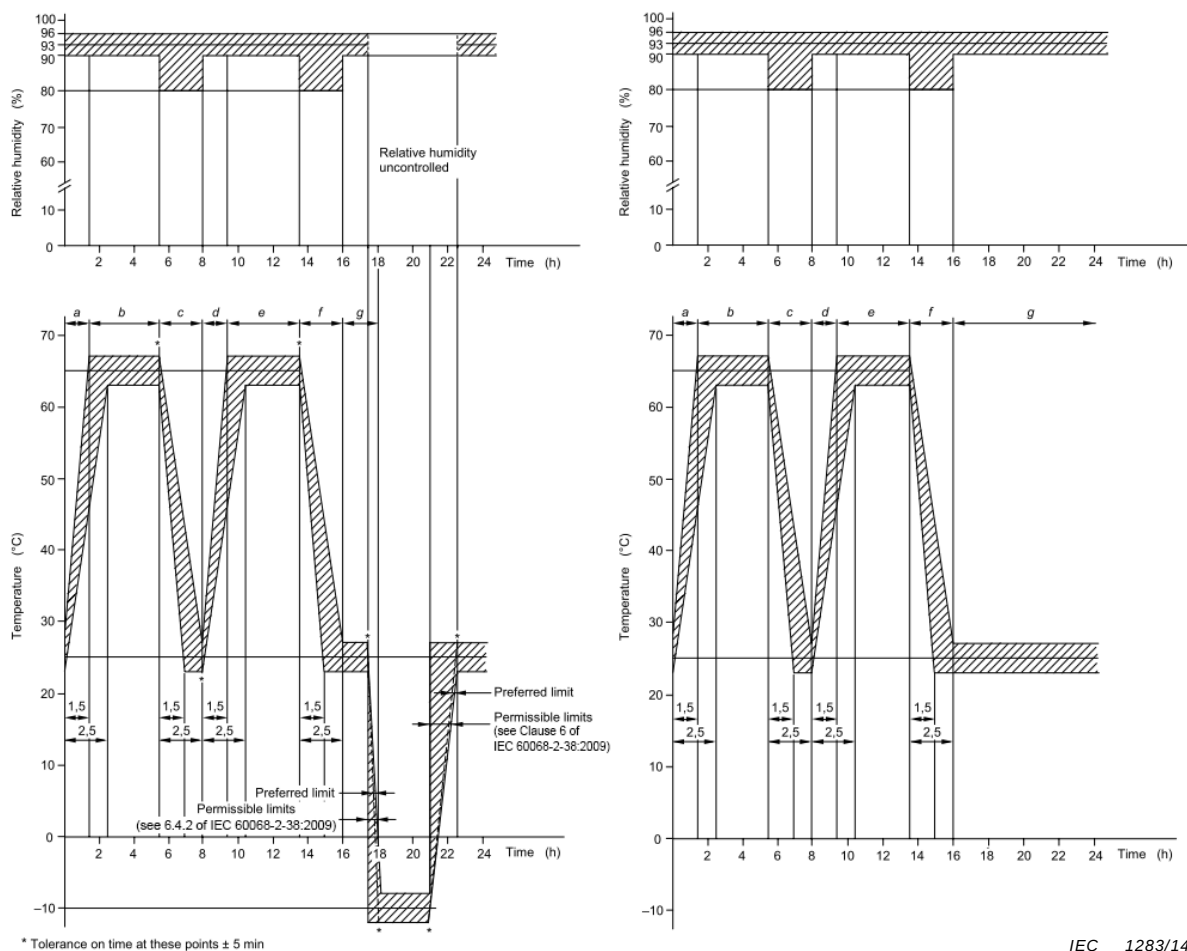
Figure 12 are the temperature profiles specified in IEC 60068-2-30 and IEC 60068-2-38, respectively.



IEC 1282/14

SOURCE: IEC 60068-2-30:2005, Figure 2b.

Figure 11 – Humidity cyclic profile (12 h + 12 h)



SOURCE: IEC 60068-2-38:2009, Figure 2 and Figure 3.

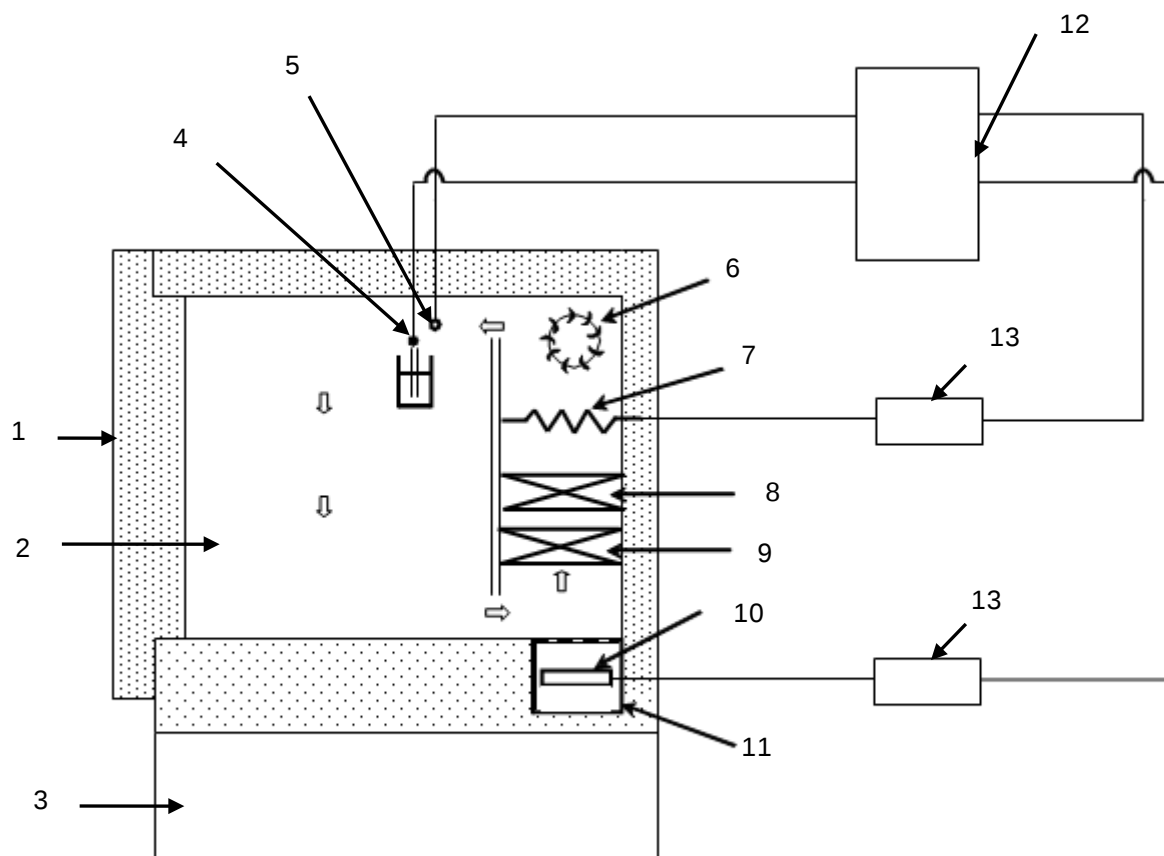
See 6.4 of IEC 60068-2-38:2009.

Figure 12 – Profiles of combined temperature-humidity cyclic test

4.2.3 Test equipment

1) Construction

A typical structure of the steady state temperature-humidity test equipment is illustrated in Figure 13 and main elements of the equipment are described.



IEC 1284/14

Key

1 Door	2 Working space	3 Machinery room
4 Temperature sensor for humidity	5 Temperature sensor	6 Fan
7 Heater	8 Cooler	9 Dehumidifier
10 Heater for moisture	11 Humidifying water	12 Temperature and humidity controller
13 Solid state relay (SSR)		

Figure 13 – Structure of steady state temperature-humidity test equipment

a) Blower

The fan used in the equipment may be a sirocco fan, a propeller fan, or a line flow fan according to the required wind in the equipment. The material of the fan may be stainless steel, aluminium alloy, or carbon steel depending on the temperature in the chamber.

b) Heater

The heater may be either a strip-wire heater, a silicon rubber insulated heater or a sheath heater depending on the required heat and environment of the chamber. Some chambers use a Peltier heat element.

c) Cooler

A mechanical compressing refrigerator is commonly used. Some chambers use a Peltier heat element.

d) Dehumidifier

A dehumidifier is basically the same as a cooler. Some systems use a cooler for a dehumidifier.

e) Humidifier

There are several types of humidifiers. They are: a pan-type humidifier which has a pan with a heater, and water is poured in the pan and heated to generate water vapour; a humidifier unit which sends water vapour generated in a system installed outside of a chamber and sends the vapour into the chamber; an ultrasound humidifier which vapourizes fine water drops dropped on a ultrasound vibrator, or aerosol spray type humidifier. The pan-type humidifier is widely used because of its simple structure requiring a small space and also its low cost.

2) Temperature-humidity control system of the test chamber

The steady state temperature-humidity test and the temperature-humidity cyclic test may be made using the same equipment. The test chamber may be classified into the following types by the humidity generating systems.

a) Direct type (balanced humidity control)

Humidity is increased when the humidity of the chamber is less than the test humidity condition and dehumidified if the humidity is higher than the specified value. It is possible to obtain stable humidity conditions by balancing humidification and dehumidification. It is usually possible to set a wide range of humidity levels, and the response time is very fast to a change of setting conditions or to variations of load (specimens). It is also possible to set a complicated test condition. This type of humidity controller is most widely used.

b) Two-temperature type

First cool the air in the chamber to the dew temperature of the humidity at which a test is made to make the air to saturated vapour pressure, and then heat the air to the temperature and humidity of the test condition. There are several methods to obtain saturated humid air. The most commonly used method is to shower the air and pass the air through water by bubbling. It is possible to obtain stable and accurate humidity in this system but response time to condition changes is inferior to the direct method.

3) Remarks on the test equipment

a) A thermal insulation material is used for the outer wall of the test chamber to attain better thermal insulation. The performance of the insulation material used in the test chamber deteriorates after the use of the chamber for a long time, due to the absorption of water vapour inside of the chamber, and there is a case of dew formation on the inside wall of the chamber. Replacement of the inside wall and thermal insulation of the wall of a chamber are necessary in such a case.

b) The inside environment of the test chamber may be affected by the environment the equipment is installed in as the air in the room is directly fed into the chamber in the case of steady state temperature-humidity test. Air contamination in the room may affect the test results if there are some corrosive gasses such as chlorine, hydrogen sulfide or others alike. The test equipment should be installed in good air conditions.

4.2.4 Remarks on testing

The steady state temperature-humidity test and cyclic temperature-humidity test are made as specified in relevant standards but these standards described do not state the detailed know-how of the operation of a test. Some of the know-how of test performance is given here:

1) Wick

a) Deteriorated wick and exchange of wick

A dry and wet bulb hygrometer is usually used in the present steady state temperature-humidity test chamber. It is necessary to supply water to the wet bulb by means of a piece of cloth such as gauze (called wick). The wick may deteriorate after being used a long time and its colour may change. Such a deteriorated wick may affect the humidity measurement and the experimental results.

It is usually necessary to change a wick once a month. However, it is better to change a wick when the equipment is not used for a long time or the wick replacement history is uncertain.

b) Cleanliness of the wick in the market

Table 8 shows the result of the ion chromatography analysis of wicks obtained in the market. Some wicks contain a high concentration of contaminations. Some antibacterial wicks are treated with chloride chemicals to avoid contamination by germs. A clean wick should be used in a measurement of insulation deterioration.

Table 8 – Ionic impurity concentration of wick (10⁻⁶)

Specification	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻
General	229	3	210	13	6	14
Antibacterial treatment	28	5	6	638	82	39

2) Position of specimens in the test chamber

Air in the chamber is force circulated using a fan to keep the temperature and humidity in the chamber at the steady state. The air flow is obstructed by the presence of the specimens in the chamber. The positions of specimens should be carefully considered in order not to obstruct the air flow in the chamber, considering the air flow in the chamber as illustrated in Figure 14 a) and b). The position as illustrated in Figure 14 c) should be taken in case the number of specimens is large.

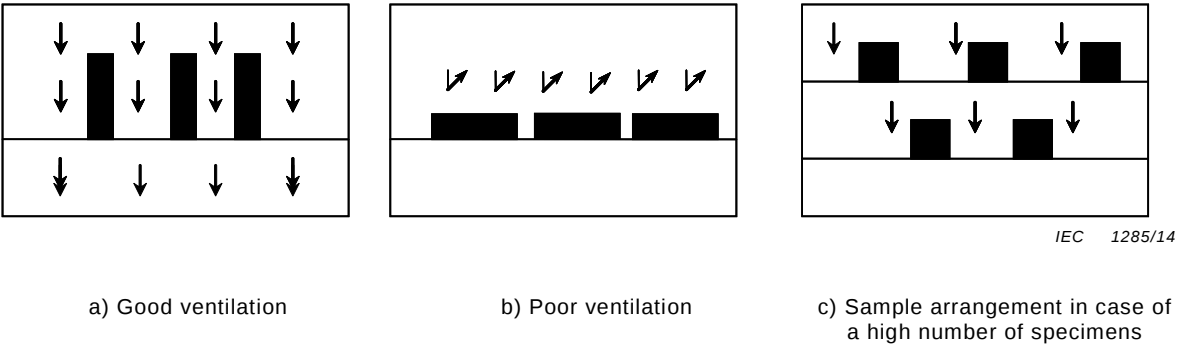


Figure 14 – Specimen arrangement and air flow in test chamber

There may be an appreciable temperature difference at the centre and at the inner wall of the chamber. A working space is defined for a steady state temperature-humidity test. Appropriate space in a chamber is illustrated in Figure 15 for a rectangular or a cubic chamber. An appropriate space for a chamber is in the range excluding 1/10 of the distance between facing walls as shown in Figure 15. Temperature deviation may be greater outside of this effective space and test specimens should be placed within this space in the chamber.

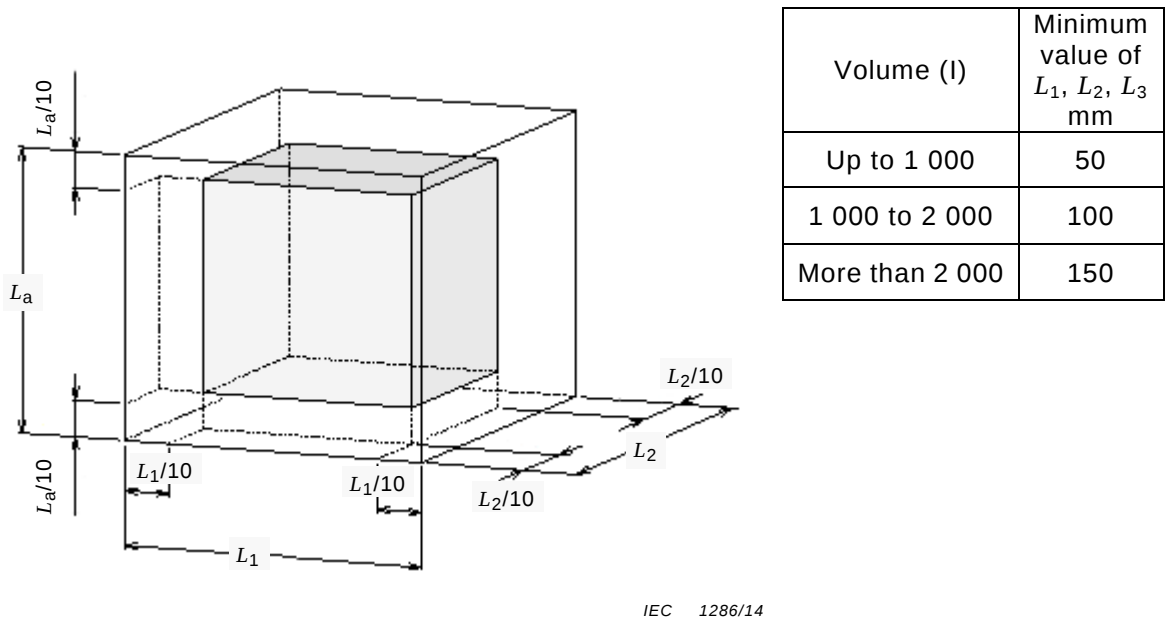


Figure 15 – Effective space in a test chamber

3) Sealing of cables feeding into the chamber

The cable protruding into the chamber should be firmly sealed so as not to leak the air in the chamber to the outside. Vapour may leak and the dew formed on a cable may also leak outside of the chamber if the sealing of the cables is not properly made.

4) Maintenance of the water quality of the water level controller of a steady state temperature-humidity test chamber

It is necessary to clean the bottom of the water pan of a humidifier of the chamber and the water level controller of a wick pan constantly. Water is not supplied constantly to the level controller of the wick pan and the chance of growing weed in the wick pan is somewhat higher than the water pan of the humidifier. A water mixing fan in some water level controllers is equipped at a lower position in a pan and the water temperature may rise. Chance of weed growth is higher in such a case. The water pan of a humidifier may have concentrated impurities in water and may damage the heater in it. The heater should also be cleaned periodically.

5) Removal of specimens from the test chamber after the test

Specimens are kept in a high temperature and high humidity environment in a steady state temperature and humidity test. Dew may develop on the specimen surface when specimens are taken out of the chamber. It is advised to keep the specimens for some time (1 h to 2 h) at 50 %RH and then to take them out for measurement.

4.3 Unsaturated pressurized vapour test or HAST (highly accelerated temperature and humidity stress test)

4.3.1 Purpose and outline of the test

The high temperature high humidity steady state test (unsaturated and pressurized vapour) specifies an environmental test applying a voltage to a printed wiring board at a high temperature and high humidity steady state condition in JPCA ET 08. This test is prepared to evaluate accelerated insulation degradation, resistance to migration, comparison of the characteristics of board materials, resistance to humidity of the insulation film (such as solder resist), and other characteristic deterioration of materials.

A HAST test is defined by JESD22-A110. It is a test with a high humidity environment performed at a temperature higher than the boiling temperature of water to accelerate material degradation

as described in 4.2. Water is absorbed into a specimen very rapidly in an environment of high temperature, high humidity and high pressure.

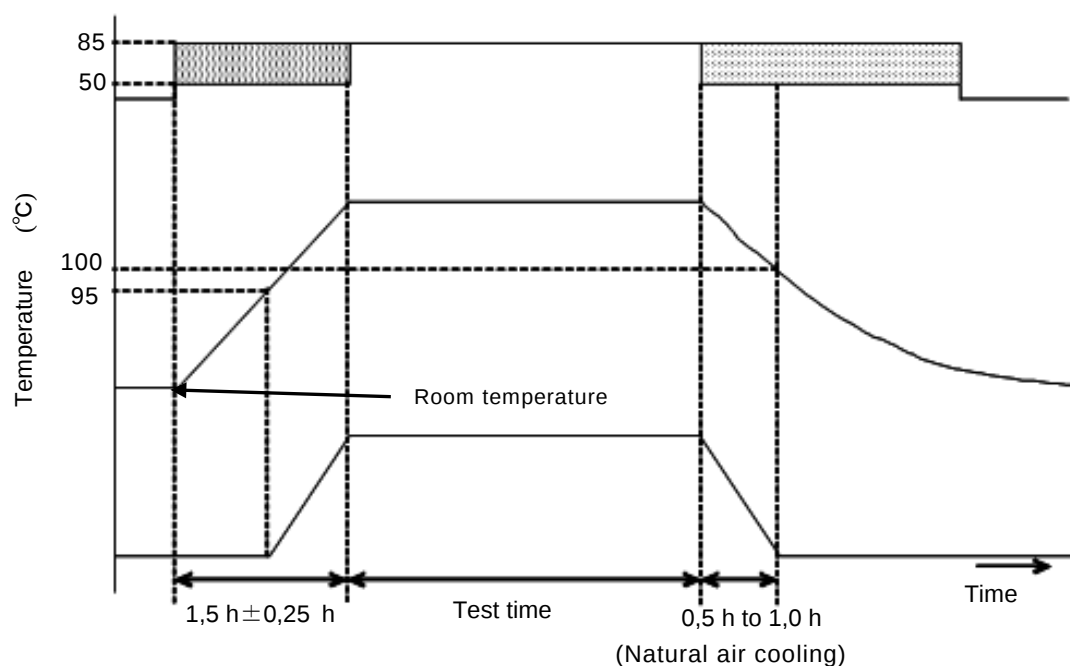
This test was originally developed as a corrosion test of semiconductor devices. This test was also introduced to evaluate electronic materials of high quality recently developed and used together with semiconductor devices as the conventional steady state test at 85 °C and 85 %RH requires a long time to develop appreciable degradation. A test for some material characteristics such as resins for glass transition temperature, T_g , and some other materials to be tested should also be considered.

The JPCA ET 08 states that “This test is designed to obtain results with higher deterioration acceleration. This test was originally developed to test semiconductor devices mounted in a package. The high temperature specified in this test may affect the life of the specimen considerably depending on the glass transition temperature of the resin tested and the test temperature. If the relationship of the acceleration factor of life between this test and the practical use is not clear, this test should be for the quality assurance of a product, but for a comparative evaluation of the product.

4.3.2 Temperature-humidity-pressure profile

The test profile is described based on IEC 60068-2-66 and EIAJ ED-4701/102 (high temperature high humidity bias test) shown in Figure 16. The profile of the HAST is basically the same as that of the steady-state temperature humidity test. The temperature of the test chamber is first raised and then the humidity is raised. At about 100 °C, the chamber is saturated with water vapour and air is driven out. The air valve is closed and the chamber temperature is raised to the test temperature and the inside pressure increases.

When a HAST equipment is switched on not with the programmed control but with the ordinary steady state temperature humidity test profile, the profile of the test may be different from the one shown in Figure 16.



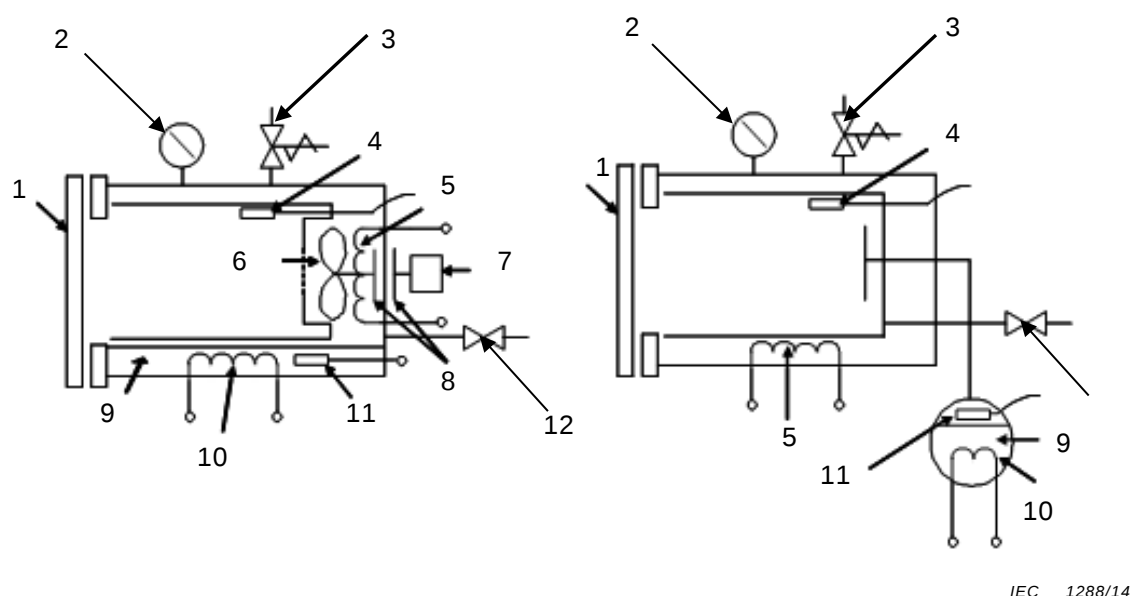
IEC 1287/14

Figure 16 – HAST profile

4.3.3 Structure of and remarks on the test equipment

1) Structure of test equipment

A typical structure of a HAST equipment is illustrated in Figure 17. There are two types of equipment: single-vessel and dual-vessel. The single-vessel type equipment has a fan for water vapour circulation. The speed of vapour circulation in the chamber is about 0,3 m/s, comparable to natural convection in the chamber. The water vapour vapourized from the bath placed at the bottom of the chamber is heated just before being sucked by the fan to a temperature higher than the surrounding water vapour and sent into the test chamber. Water vapour passing through the chamber is reflected at the door of the chamber and cooled while passing through the gap between the inner chamber and the wall of the pressurized chamber. Part of the vapour is condensed to water and drops to the water pan, and the water is again vapourized from the pan to supply the necessary water vapour. The dual-vessel type test equipment separates the test chamber and water vapour generation chamber to reduce temperature interference between the vapour generation chamber and the test chamber. This system does need to install the vapour circulation fan.



IEC 1288/14

a) Single-vessel type

b) Dual-vessel type

Key

- | | | |
|------------------------------------|--|-----------------------|
| 1. Door | 2. Pressure gauge | 3. Safety valve |
| 4. Temperature sensor for moisture | 5. Heater for moisture | 6. Fan |
| 7. Fan for air | 8. Magnetic coupling | 9. Humidifying water |
| 10. Heater for humidifying water | 11. Temperature sensor for humidifying water | 12. Air exhaust valve |

Figure 17 – Two types of HAST equipment and their structures

2) Remarks on the test equipment

HAST is very sensitive to test conditions such as the setting accuracy of temperature and humidity and the cleanliness of the test chamber as it is a highly accelerated test compared to conventional steady-state temperature-humidity test. It is very important that the test condition should be reproducible to its best condition. Some cases are described below based on the study made by the Study Group of the Accelerated Life Test of the JIEP.

a) Difference in failure time among different test equipment

A study was made of test results of different materials at different test laboratories. Different failure times were found for different tests as shown in Figure 18. Temperature and humidity were in the same range and no meaningful difference could be found but the failure time varied considerably. The cleanliness of the test chambers and the aging of the chambers may be a possible reason but no specific reason was found. It is important

in HAST to maintain the test system in good condition, otherwise the data obtained may not be very reliable.

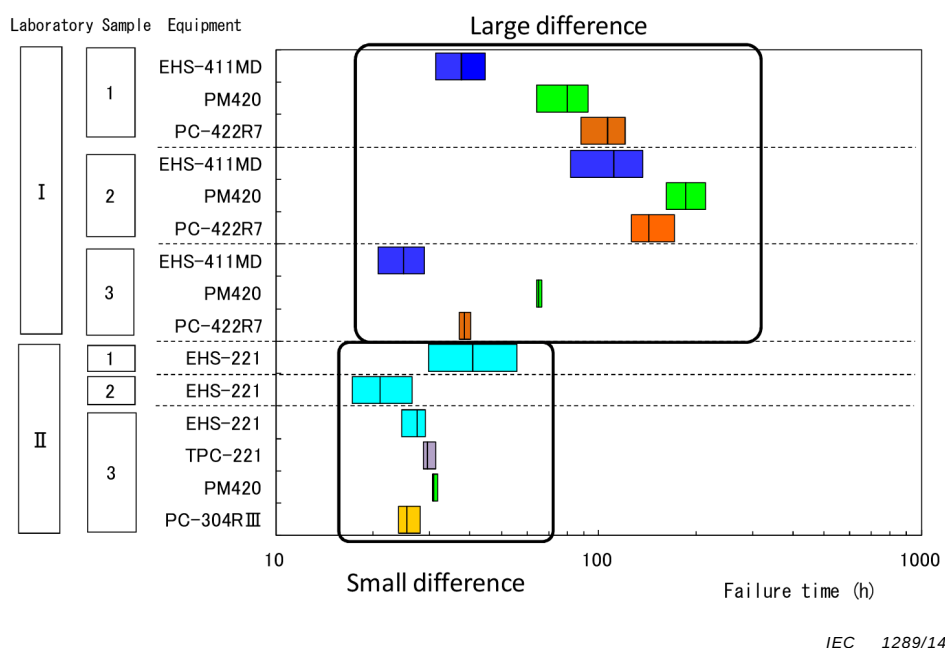
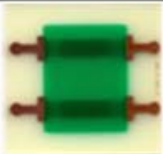
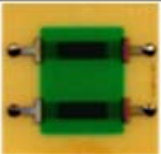
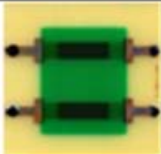
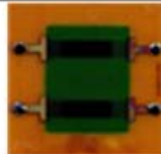
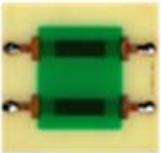
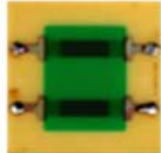
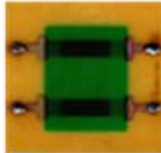
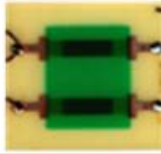


Figure 18 – Difference in failure time among different test laboratories

b) Effects of environment and of residue air of the test chamber

The HAST test chamber has a structure such that the air valve is open until the chamber is filled with water vapour at close to 100 °C to drive out the remaining air until the test environment in the chamber is established. The air valve is closed when the inside of the chamber is saturated with water vapour and its temperature is further increased to the test temperature at a higher pressure. The environment is not necessarily pure water vapour as there may exist some gases resolved in water and coming from the specimens.

An evidence of residue air in the chamber is the colour change of the specimens (boards). Figure 19 is an example of the study made by the Study Group of JIEP. The difference of colour of the boards may be caused by oxidation of the board surface in the chamber due to different degrees of contamination in the chamber, temperature rise speed, or different exhausting timing of air from the chamber. No clear correlation was found between the life and the colour change of the specimens. It is recommended to check the temperature and humidity in the chamber if they are within the predetermined range if the colouring of the specimens is significant.

Laboratory	Environmental test equipment maker			
	Initial	A	B	C
I				
II				
III				

IEC 1290/14

Figure 19 – Colour difference of specimen surface among different laboratories (130 °C/85 %RH/DC 50 V)

4.3.4 Remarks on performing HAST

1) Selection and maintenance of voltage applying cables

Table 9 shows materials and the heat resistance of cables in the market and used in voltage applying tests for high humidity tests. Cables with low hydrolysis and out-gassing are recommended for use in HAST environment. The surface of a cable may not be damaged after being used in HAST for a long time but cracks may be generated in the conductor and cable resistance may be increased.

Figure 20 shows an example of change in conductor resistance of a single wire cable and the pulling strength of such a cable. Cable resistance does not change significantly but the pull strength decreased appreciably after used in a high temperature-high humidity environment. It is recommended to exchange cables after use of 300 h each.

There are two types of cables, single wire cables and stranded wire cables. Degradation of cables may be different for these different types of cables. Cables used in HAST should be carefully checked.

Table 9 – Insulation covering materials for cables for voltage application

Type of covering material		Max. temperature for continuous use (°C)
Type	Material	
Fluoroplastics	PTFE	260
	PFA	260
	FEP	200
	ETFE	150
Polyethylene	Bridged polyethylene	90

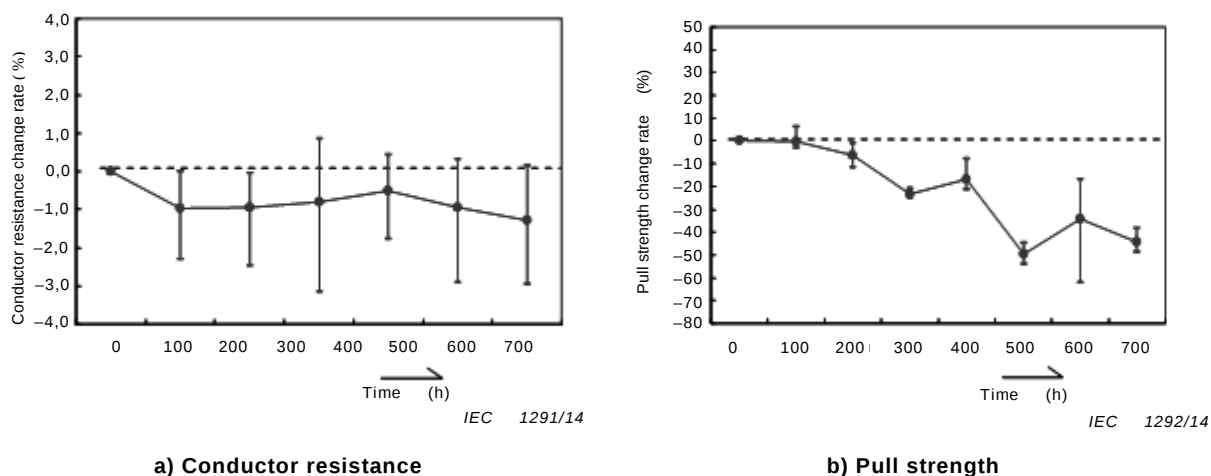


Figure 20 – Resistance and pull-strength of cables used in HAST (130 °C 85 %RH)

2) Installation of specimens in a HAST chamber

HAST equipment is usually equipped with a propeller type fan to circulate vapour in the chamber to keep a constant temperature and humidity distribution, but the environment is not necessarily uniform in temperature and humidity. The guarantee of a constant temperature-humidity range by the equipment manufacturers is within over 1/10 of the inner walls of the chamber as illustrated in Figure 15. The presence of too many specimens or a specimen touching the chamber wall may disturb the temperature-humidity distribution in a chamber. When a specimen touches the wall, water drops may fall on the specimen or dew may form and disrupt the test results.

3) Other remarks

- The racking material used for the specimen and the door of the chamber should be selected so that it does not decompose or generate free ions during the test and it should have sufficient heat resistance at the test temperatures.
- A wet bulb in a steady-state temperature-humidity test equipment is supplied in water through a piece of gauze called wick. The wet bulb in HAST equipment is installed in the water pan. If the water in the pan is contaminated, the contamination may move to the surface of the wet bulb and may not indicate the correct humidity in the chamber. It is necessary to clean the surface of a wet bulb periodically.
- The key difference between the HAST equipment and the steady-state temperature-humidity equipment is that a HAST system is a completely closed system to realize an environment with a temperature higher than that of the boiling point of water. The gas released from the specimens remains within the chamber and is not discharged outside of the chamber. The gas is combined (absorbed) with water and stays on the chamber wall. The adherence of such contaminated water to the surface of the wall may lead to contamination of the specimens and may give incorrect test results. It is necessary to clean the inside wall of a chamber after a HAST test using alcohol.
- An independent heating source is installed in the heating and the humidifying systems with a sheath heater. The humidity control heater is immersed in water and vulnerable to humidifying water. Use of city water from the tap may significantly reduce the life of the sheath heater as city water contains chlorine and calcium hydroxide. It is advised to use the water at the purity the manufacturer of the equipment recommends, usually distilled water as described in 4.7, item 2).
- It is recommended to perform a calibration of the control sensor of the chamber of the HAST equipment once a year.
- A specimen should be sufficiently preheated if the specimen is of a large thermal capacity for dew formation protection.

4.4 Saturated and pressurized vapour test

4.4.1 Purpose and outline of the test

The saturated and pressurized test is basically similar to HAST but with 100 %RH and without applied voltage. This test is generally called PCT (pressure cooker test). This test is mainly used to evaluate the corrosion of the metallic parts of a product.

The test condition of PCT is similar to the sterilization processing condition of medical instruments. The corrosion test by the pressurized water vapour method started with the saturated type test, but this method had some problems, such as an effect of dew drops and reproducibility of failures found in products used in the field. The unsaturated type test is now widely used.

4.4.2 Test profile

After the temperature of the test chamber has reached the test temperature, the humidity is increased until the test condition is reached. Temperature and humidity are then maintained at the test condition.

4.4.3 Remarks on test performing

PCT is basically the same as HAST but with a special condition of relative humidity of 100 %. Below are specific remarks on PCT.

1) Maintenance of cleanliness of the chamber

- a) PCT is performed in an environment of relatively higher humidity than HAST. The test chamber may be contaminated considerably as a test is made in an environment of high relative humidity compared to HAST; it is necessary that the chamber be thoroughly cleaned, including the sensor and inner wall. It is reported that after the return of the temperature of the chamber to room temperature, the saturation water is replaced after washing the chamber with the aid of a brush and two cycles of saturation operation at 130 ° C, 100% RH, for 2 h, followed by the replacement of the saturation water to effectively remove the contaminants that were attached to the inner wall of the test chamber.
- b) When the equipment is used for both PCT and HAST, electric connecting terminals are vulnerable to corrosion. It is necessary to check whether the electrical connection is in good condition by checking the terminal connection resistance when using the equipment for HAST after using it for the PCT.

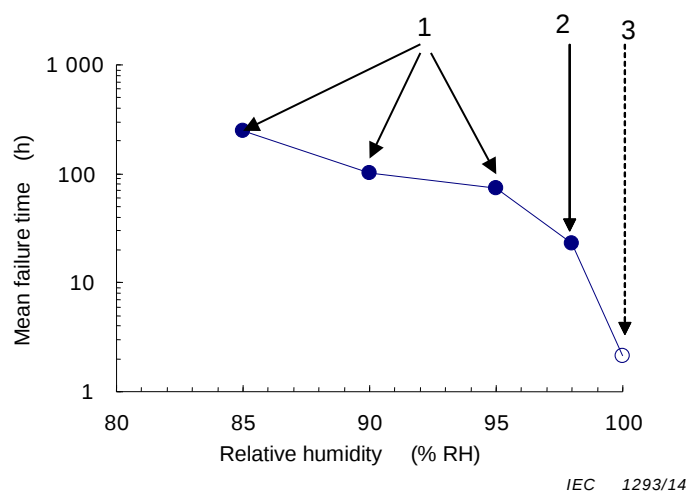
2) Installation of specimens in the chamber

Dew formation on the surface of a specimen may vary by the position of the specimen setting. The best specimen position may be found according to the purpose of the test.

3) Coexistence of both saturated and unsaturated humidity control environments

There are two types of tests, for the saturated humidity of 100 %RH (the so-called auto-clave state) and the dry-type (humidity is controlled at 98 %RH to 99 %RH). Both of them are called PCT. Both tests can be performed using the same equipment and the proper control system. Figure 21 shows the test results for these two conditions with an applied voltage. The failure time difference in these two conditions is clearly observed at nearly 100 %RH (a difference of about 1/10 times shorter). It is important to clarify in which condition the PCT is made.

PCT was once standardized by the EIAJ (Electronic Industries Association of Japan) but was withdrawn as the relation between the test results and failures in the field was not clear. The test is still used by many at the request of users of electronic devices. PCT gives quite different results, as stated before, due to the condition of saturation (100%RH) or almost saturation. We do not have a standard for this test and no agreed test condition. Should one perform the PCT test, details should be agreed upon by the user and supplier concerned.



Key

1. Unsaturated condition at 121 °C
2. Almost saturation in PCT control method at 121 °C
3. Saturated control (auto-clave) in PCT control method at 121 °C

Figure 21 –Difference between unsaturated and saturation control of PCT equipment (relative humidity and average failure time)

4.5 Dew cyclic test

4.5.1 Purpose and outline of the test

The dew formation test tests devices which are used in products having quite a severe field condition of considerable temperature changes encountered in, for example, mobile devices or electronic components used in automotives. Quite a temperature change may be experienced when a product is brought from a cold outside environment into a heated room (or vice versa) and dew may be formed on the surface of such equipment. A dew cycle test makes it possible to evaluate the accelerated insulation degradation and migration by dew formation, and is used for reliability evaluation of conductor patterns on printed wiring board or surface treatment.

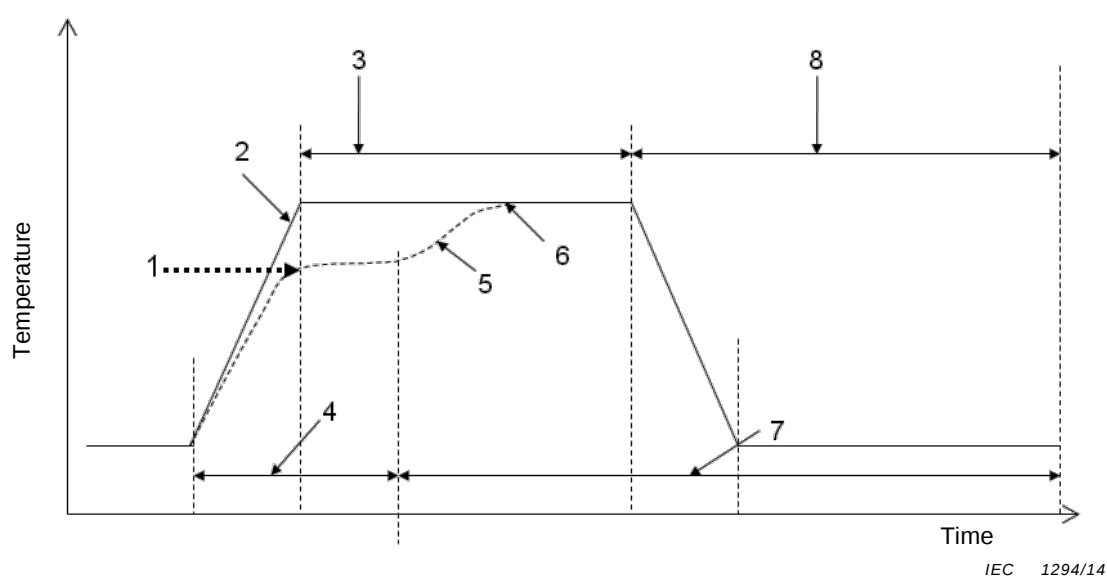
4.5.2 Dew cycle test temperature-humidity profile

Table 10 shows the test condition of a typical dew cycle test and Figure 22 shows the temperature-humidity profile. When a specimen is exposed to high temperature, its environmental temperature first increases rapidly and follows the rise of the surface temperature of the specimen but its temperature rise is delayed. Dew forms when the surface temperature reaches the dew point and then the dew begins to evaporate as there is not 100%RH. The surface temperature of the specimen is about the same as that of the wet bulb in an environment around the specimen. The specimen temperature increases after the dew evaporates to the temperature of the environment surrounding the specimen.

It should be noted that the temperature-humidity profile of a temperature difference of about 20 °C should be selected as the dew cycle test may be affected if the temperature difference between high and low temperatures is large.

Table 10 – Dew cycle test condition

Group	STD no.	Title	Test condition				
				Zone			
				t_1	t_2	t_3	t_4
JPCA	ET 06	Dew cycle test	1	5 °C /60 %RH 20 min	≤ 20 s	25 °C /90 %RH 20 min	≤ 15 min
			2	0 °C, 25 min	≤ 20 s	30 °C /90 %RH 25 min	≤ 15 min
			3	−5 °C, 30 min	≤ 20 s	35 °C/90 %RH 30 min	≤ 30 min

**Key**

- 1 Dew point temperature
- 2 This curve represents the test area temperature
- 3 High temperature period
- 4 Dew point period
- 5 This curve represents the specimen surface temperature
- 6 Wet-bulb temperature and dry-bulb temperature become the same temperature
- 7 Drying period
- 8 Low temperature period

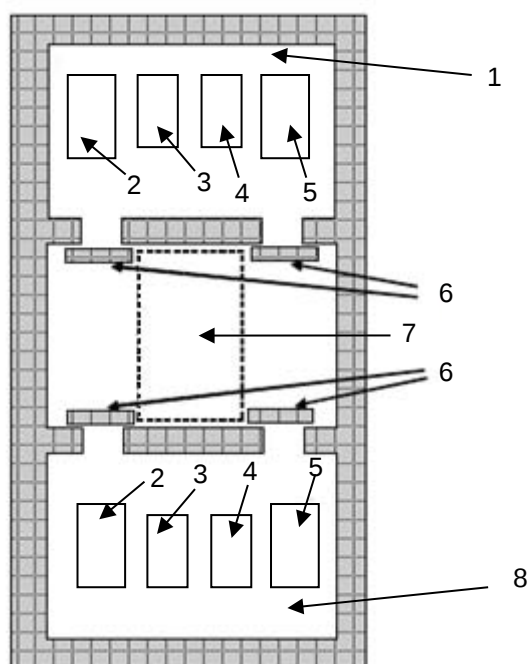
Figure 22 – Temperature-humidity profile of dew cycle test**4.5.3 Structure of the test equipment**

Construction of the dew cycle test equipment is shown in Figure 23. The low temperature chamber and the high temperature chamber are set to the predetermined condition. A very rapid temperature and humidity change is given to a specimen by moving the dampers in the test chamber to be connected from the low temperature-low humidity chamber to the high temperature-high humidity chamber. Dew formation is repeated by opening and closing the relevant dampers.

4.5.4 Remarks on the test method**1) Volume of dew****a) Temperature difference and size of dew drops**

Dew is formed in the process of temperature change of the specimen from low temperature to high temperature as the specimen temperature cannot follow the temperature change of the environment. Dew is formed at any temperature range when

the environment temperature changes from low to high. The size and weight of a dew drop are different for different environment temperatures even for the same temperature difference (Figure 23).

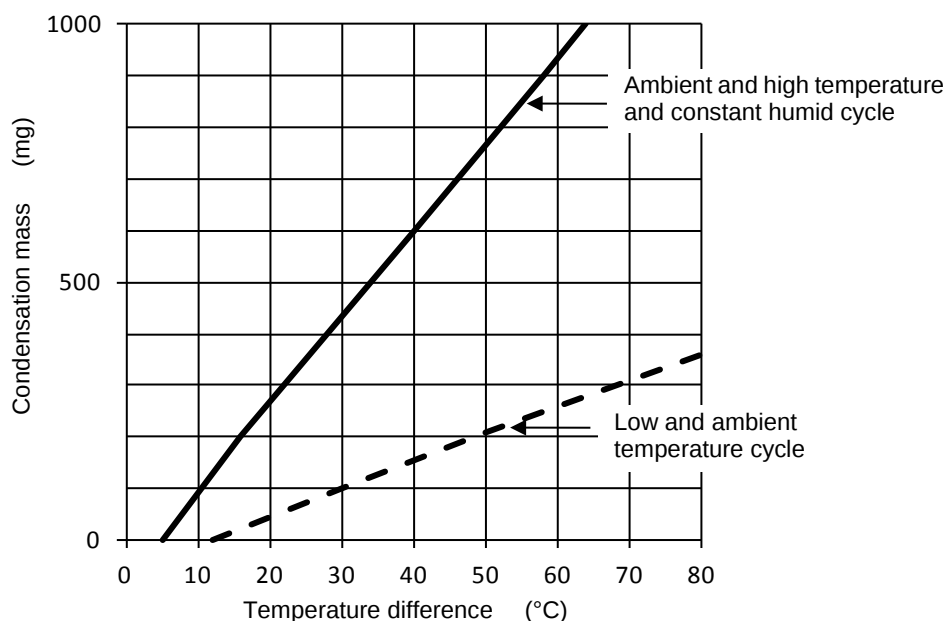


IEC 1295/14

Key

- 1 High temperature and humidity chamber
- 2 Humidifier
- 3 Air conditioner
- 4 Heater
- 5 Blower
- 6 Damper
- 7 Test area
- 8 Low temperature and humidity chamber

Figure 23 – Structure of dew test equipment



IEC 1296/14

Figure 24 – Dew-forming temperature and dew size

b) Control of dew formation

- i) Dew formation depends on the test condition and the time to expose a specimen to the environment. It is the prerequisite of a test that reproducibility is attained for the amount and the time dew exists on a specimen. It is necessary to have a stable control of the environment and an accurate measurement of temperature and humidity.
- ii) It is very difficult to measure the amount of dew formed. It depends on the thermal capacity and amount of water vapour absorbed. One should be very careful in designing the material of the specimen and its structure. It is especially important for a relative comparison test of the different specimens.

2) Other remarks

- a) The passage of cables into the test chamber should be hermetically sealed to keep the airtightness of the chamber as described in 4.2.4, item 3).
- b) Cables for power supply and connections to a specimen are sagged so as not to give mechanical stress to a specimen and also so that the dew condensation water does not directly drop to the specimen.
- c) Cables used in the equipment should be thermally resistive to the high temperature of the equipment environment.
- d) If the equipment door is opened during the experiment, the air of the high temperature and high humidity leaks out of the chamber and is very dangerous. If the door is opened right after the measurement, one may get burnt.
- e) A small specimen or a light specimen should be covered by an aluminium basket, a net or a bag so as not to be removed or blown away by the circulating air in the chamber.

3) An example of dew cycle test

There is no specified procedure to determine the best dew formation condition. One of the practiced procedures is described below.

Procedure:

- a) Selection of the environmental mode of dew formation (room temperature to high temperature, and low temperature to room temperature).

- b) Confirmation of dew size for the test temperature combination (low environmental temperature, high environmental temperature/humidity).
 - c) Decide the best dew formation condition from the relation between the size of the dew drop and the space between the conductor pattern lines.
- 4) An example of a study of the best dew formation condition

A study of dew drop size was made with the conditions shown in Table 11 to determine dew formation condition that a dew drop is densely distributed without contact with two conductor lines in the neighbourhood of a dew drop using FR-4 printed wiring board. Figure 25 shows the dew formed by the best dew formation conditions. Dew drops are densely present in conductor spaces but do not touch the two conductor lines. Dew formation condition for this case is 5 °C to 25 °C at 95 %RH.

Table 11 – Dew formation condition and dew size

Condensation condition	Water droplet size	Water droplet occupation rate between conductors
0 °C to 20 °C, 95 %RH	0,13 mm	35 %
5 °C to 20 °C, 95 %RH	0,08 mm	20 %
5 °C to 25 °C, 95 %RH	0,13 mm	38 %
20 °C to 40 °C, 95 %RH	0,40 mm	95 %
20 °C to 60 °C, 95 %RH	0,50 mm	100 %
NOTE 1 The gap between conductors is 0,318 mm.		
NOTE 2 Water droplets cross the gap when the occupation ratio is 40 % and above.		



IEC 1297/14

Figure 25 – Board surface at the best dew formation condition

4.5.5 An example of migration in the solder flux from the dew cycle test

1) Experiment

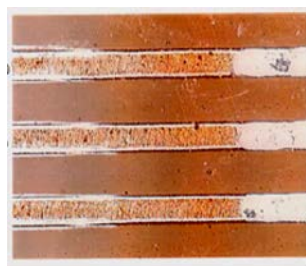
Migration was tested in a comb type conductor pattern covered with solder flux at the best dew formation condition shown in Table 12.

Table 12 – Dew cycle test condition

Environmental condition	5 °C to 25 °C, 95 %RH
Test cycle	40 cycles (about 27 h)
Test design	Comb type pattern in conformity with IPC
Substrate material	FR-4
Flux	RMA type
Applied voltage	DC 50 V

2) Result

Figure 26 shows the surface of a specimen before the experiment. The insulation resistance was $5 \times 10^7 \Omega$ but decreased to $6 \times 10^4 \Omega$ after a test time of 27 h and migration was found on the surface as shown in Figure 27.



IEC 1298/14

Figure 26 – Surface state before test

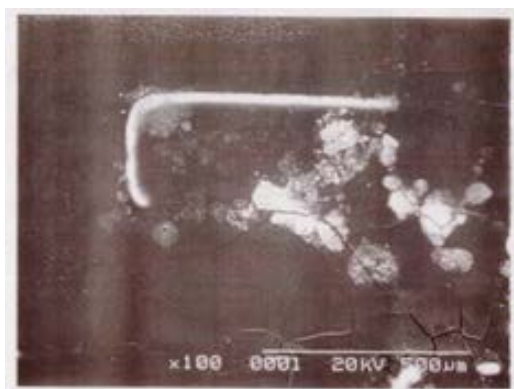


IEC 1299/14

Figure 27 – Surface state after 27 h

3) Failure analysis (including failure mechanism)

The generation of a crack was observed by SEM observation on the surface in the residue of the solder flux after 27 h of the dew cycle test as shown in Figure 28. An element analysis of the surface revealed presence of copper, the material of the conductor along the flux residue as shown in Figure 29. It is considered that the copper migration is the source of the insulation degradation. The failure mechanism elucidated from this study seems to be that the flux residue was cracked and water entered into the crack, causing copper ion migration and resulted in insulation failure in a short time. No such insulation degradation was observed when a similar specimen was left in an environment of 40 °C/95 %RH for 2 000 h, and no crack in the residue was observed.



IEC 1300/14

Figure 28 – SEM image of specimen surface after the test

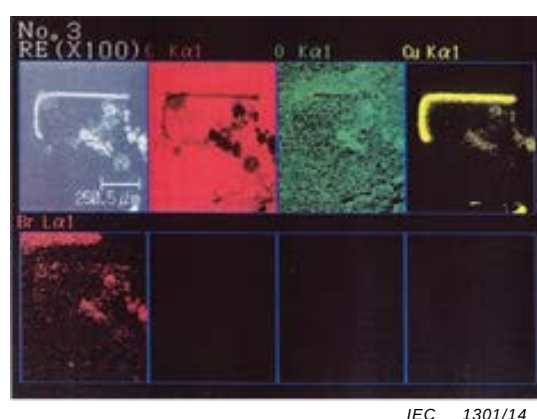


Figure 29 – Element analysis of the surface after the test

4.6 Simplified ion migration tests

4.6.1 General

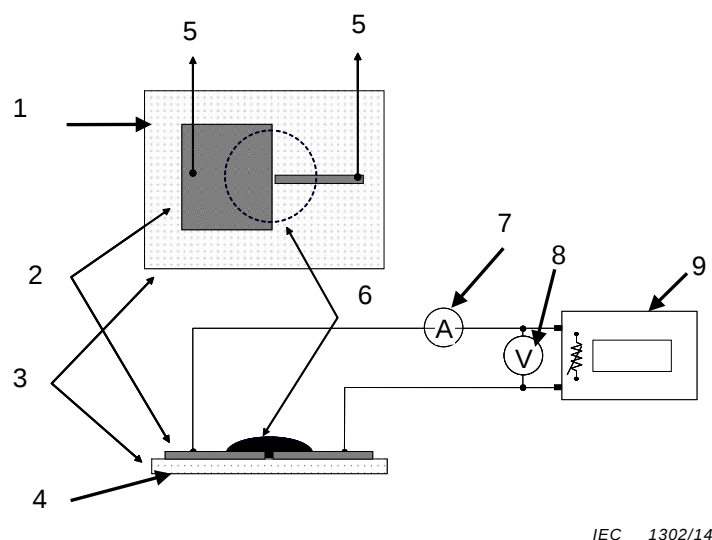
Sophisticated equipment is needed, in general, for migration tests as heating and humidifying of the test chamber environment is necessary, and a somewhat long time is required. There are two preliminary simplified test methods for a humidifying evaluation. These kinds of tests may be made as a preliminary test to evaluate test conditions before performing a real evaluation test of conductor materials, insulation materials, or covering materials such as solder resist. One is the de-ionized water drop test and the other is the diluted solution test.

4.6.2 De-ionized water drop method

This test method consists in dropping de-ionized water drops of very high insulation resistance to a facing pair of electrodes and in measuring the insulation resistance between these electrodes.

1) Measurement

The circuit diagram of the de-ionized water drop test is shown in Figure 30.



Key

- 1 Top view
- 2 Electrode
- 3 Substrate
- 4 Side view
- 5 To power supply
- 6 Water drop
- 7 Ammeter
- 8 Voltmeter
- 9 Power supply

Figure 30 – Circuit diagram of water drop test

2) Specimen

The specimen is a printed wiring board with a conductor pattern on it. A gap is formed between the conductors. L'équipement sophistiqué est nécessaire, en général, pour les essais de migration. Selection of the specimen type is based on the material of the specimen. Either type of gap may be selected.

3) Test procedure

- a) Prepare de-ionized water of resistivity greater than $10^6 \Omega \text{ cm}$.
- b) Drop water drops to cover the conductor gap using a pipette.
- c) Connect the electrodes to a power source and apply a specified voltage for a specified time. Measure the current through the conductors.
- d) The specimen is water-cleaned and dried. Observe the appearance of the gap. An example of migration is shown in Figure 31. Comparison of the gap condition and the leaking current is used for the evaluation of the degree of insulation between the gap.

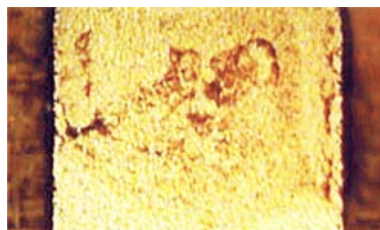


Figure 31 – Migration generated in the water drop test

4) Remarks

De-ionized water is highly purified water with a high resistivity. If left in the air, the de-ionized water may absorb CO_2 gas in the air and other water-soluble board contaminating

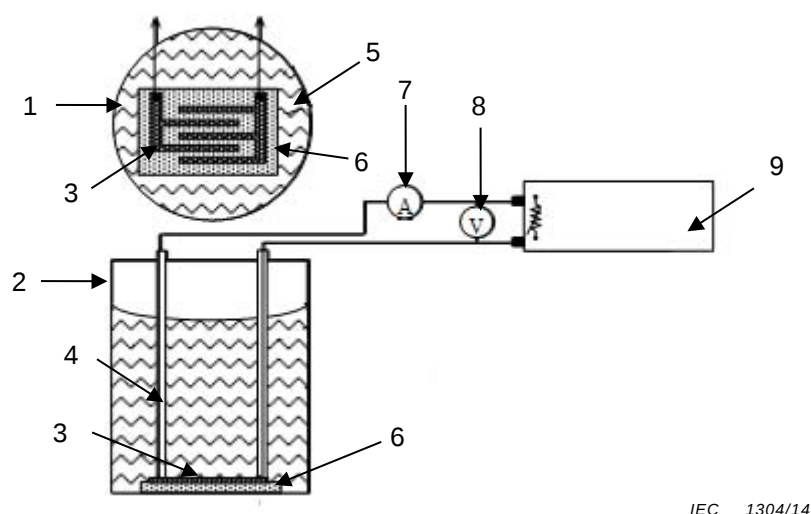
substances, and may decrease insulation resistance between the conductors. Measurements should be made in a short time and new water drops should be used for each measurement.

4.6.3 Diluted solution method

This method uses water with a very small amount of ionic salt in which a specimen is immersed and a voltage is applied between conductors. Current flows between conductors and the degree of migration may be evaluated.

1) Measurement

The test diagram is shown in Figure 32 and is similar to the electroerosion test. The specimen is immersed in a diluted ionic salt solution.



IEC 1304/14

Key

- 1 Top view
- 2 Side view
- 3 Electrode
- 4 Insulating coat
- 5 Weak electrolytic solution
- 6 Substrate
- 7 Ammeter
- 8 Voltmeter
- 9 Power supply

Figure 32 – Electroerosion test method using the diluted solution

2) Specimen

A comb type pattern is formed on an insulating board as shown in the upper illustration of Figure 32. Leads are soldered or welded to the electrodes and the leads and interconnections are covered by insulating resin so that the conductor and leads are not in contact with the diluted solution.

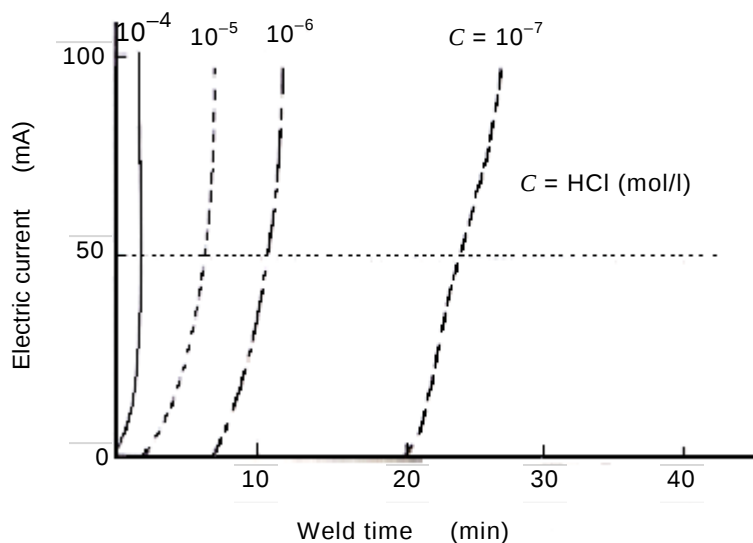
3) Procedure

- a) Prepare a (10^{-6} to 10^{-7}) mol/l HCl solution of specified refined salt.
- b) The specimen is immersed in a vessel with the solution and the specimen is connected to a power supply.
- c) Apply a specified voltage to the specimen and measure the current. Stop the test when the current has reached a specified value.

d) The specimen is water cleaned and dried, and then the conductor gap is observed.

4) Example of a test result

Described here is an analysis of the diluted solution test. It is a preliminary and simplified test performed prior to an impurity ion migration analysis in the printed wiring board. Figure 33 shows current-time correlations for different concentrations of HCl solution. The time to start the current is longer for a low concentration of the salt. The proper concentration was decided to be around (10^{-6} to 10^{-7}) mol/l HCl solution. The observation of precipitation on the specimen at 50 mA is shown in Figure 34, a similar pattern to the migration pattern. It was decided that a preliminary test can be made using this method.

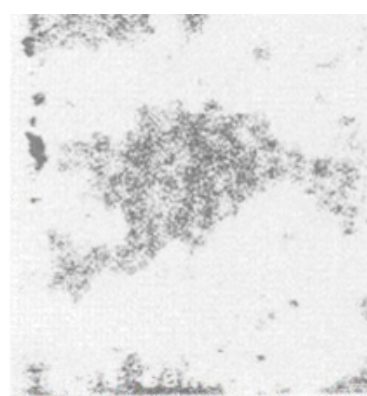


IEC 1305/14

Figure 33 – Current and concentration of electrolytic solution



IEC 1306/14



IEC 1307/14

a) Precipitation on a board

b) Analysis of precipitation copper (Cu)

Figure 34 – Precipitation on a specimen and its element analysis

4.7 Items to be noted in migration tests

1) Capability standard of steady-state temperature-humidity test equipment

IEC 60068-3-5 specifies the equipment for the steady-state temperature test and IEC 60068-3-6 for the steady-state humidity test. The Japan Testing Machinery Association (JTM) specifically described the capability test method and physical method to describe the performance of the temperature test chamber based on JTM K 07.

2) Water used in the test

The water used in the humidity resistance test is specified for its type, resistivity and dielectric constant as given in Table 13. De-ionized water is to be used in general.

Table 13 – Water quality for test

Standards organization	Standard number	Water quality
EIAJ	ED-4701/100	– distilled or de-ionized water – pH 6,0 to 7,2 at 23 °C, resistivity of more than 500 Ωm
IEC	IEC 60068-2-78	– resistivity of more than 0,05 MΩm
	IEC 60068-2-66	– distilled or de-ionized water – pH 6,0 to 7,2 at 23 °C, resistivity of more than 0,5 MΩcm (conductivity less than 2 µs/m)
JEDEC	JESD22-A101	– de-ionized water – resistivity of more than 1 MΩm at room temperature
IPC	IPC-TM-650	– distilled or de-ionized water – resistivity of more than 2 MΩcm

The important issue to be taken into consideration is the quality of the deionized water used in testing (concentration of ionic impurities). Table 14 shows the result of a study of ionic impurities checked by ion chromatography in water taken from various sources. Ionic impurity in water is in the following order: 1) tap water, 2) pure water, 3) ultrapure water. Ordinary pure water may be contaminated when it is kept in a reserve tank and may be more contaminated than tap water if it is left in room environment. The pure water used in the test should be introduced to the test chamber directly from the source to keep the time water is left in the room environment as short as possible.

It is possible to reduce contamination by cleaning the water pan in the test chamber and avoid damages to the heater caused by accumulated contamination. Do not use contaminated water and regularly clean the water pan.

Table 14 – Water quality change in steady-state temperature-humidity test (10⁻⁶)

Ion chromatograph analysis sample			Cation			Anion	
			Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
Water quality	Ultrapure water		0,1	0,1	–	0,3	0,3
	Pure water	Immediately after extraction	4,6	1,2	1,1	8,4	5,7
		leaving in room (after a week)	51,4	203,4	31,3	58,2	5,7
	Tap water		12,0	–	1,8	10,3	–
Water quality change in moisture test	In tank		7,4	31,0	5,5	14,0	11,7
	In humidification water reservoir	Before cleaning	212,0	369,0	159,0	889,0	1 190,0
		After cleaning	14,0	206,0	8,0	86,0	110,0

3) Other components used in the humidifying test:

a) Types of jigs used to install specimens in steady-state temperature-humidity and HAST test chambers

The main fastening and test voltage applying jigs available in the market for the test are given in Table 15. PTFE (Polytetrafluoroethylene) or resin material with equivalent heat resistance is used for the portion which fixes a specimen and serves as a specimen plug-in jig. Some special remarks on the jigs are given below.

- i) Select a material which has higher thermal resistance and does not generate outgas so as not to affect the test result.
 - ii) Use metal parts which are resistive to erosion such as SUS (steel use stainless).
 - iii) It is difficult to use the specimen holding jig in both the steady-state temperature-humidity test and HAST test environments, because the test conditions such as test temperature, vapour pressure, the capacity of test chamber and the temperature rising profile at the time of the test start are different between the steady-state temperature-humidity test and the HAST test. It is important to select the most suitable specimen holding jig in accord with the test condition.
- b) Ionic impurity concentration of the voltage applying cable used in a test chamber

The insulation cover of the cable used for voltage application to a specimen should have heat resistivity higher than the test temperature, and the covering material should be of the lowest possible ionic impurity (free ions) concentration. Ammonium ions for cation, and chlorine and sulfuric ions for anions are considered to be related to migration. Cover tubes and resin covers used for terminals should also be of low ionic impurity concentration. Table 15 shows the ionic impurity concentration found in voltage application cables available in the market.

Table 15 – Ionic impurities in voltage applying cables (10^{-6})

	NH_4^+	Cl^-	SO_4^{2-}
ETFE	0,07	0,45	0,20
Cross-linked polyethylene	0,85	0,77	0,42
Polytetrafluoroethylene coating	0,14	0,93	0,08
Heat shrinkage tube	1,79	2,53	1,60
Terminal cover	0,28	1,91	0,21

4) Specimen installation in a test chamber

The direction of a specimen in a test chamber may not have significant effect. Convection in the chamber (dual-vessel type system) is caused by natural flow of air and vapour. However, a forced convection system (single-vessel type system) may influence the test results due to the direction in which a specimen is installed in the chamber. A specimen should be installed in a chamber as shown in Figure 14 so that the convection flow does not hit the specimen directly and prevents dew formation on the specimen's surface. Enough space should be left between the chamber wall and the specimen. The specimen should be parallel to the convection flow direction to not interfere with the flow.

5 Electrical tests

5.1 Insulation resistance measurement

5.1.1 Standards of insulation resistance measurement

Table 16 gives the available standards of insulation resistance measurement.

Table 16 – Standards of insulation resistance measurement

Standard no	Standard name	Measurement condition
JPCA ET 01	Printed wiring board environmental test method	– Test voltage and voltage: DC 5 to 100 V recommended – Insulation resistance measuring method: Measurement inside or outside of chamber – Measurement changing time: IPC J-STD- 004 – Acceptance value Measurement inside of chamber: $1 \times 10^6 \Omega$ or more Measurement outside of chamber: $1 \times 10^7 \Omega$ or more
IPC-TM-650:1979, 2.5.27	Surface insulation resistance of raw printed wiring board material	– Measured voltage: DC 500 V – Measurement is within 60 s – After 24 h at 150 °C measurement
IPC-TM-650:2004, 2.6.3.3B	Surface insulation resistance, flux	– Applied voltage to the device DC 45 V to 50 V ± 10 %V – Measured voltage DC 100 V
UL 796	Printed wiring boards (silver migration)	– Measurement condition Minimum distance 1,6 kV/mm (40 V/mil) Max 1 000 V - Charging time 60 s – Test condition 35 % ± 2 %/1 344 h, rated voltage – After test 23 °C ± 2 °C/50 % RH/48 h measurement after neglect
ISO 9455	Soft soldering fluxes Test methods-Part17: Surface insulation resistance comb test and electrochemical migration test of flux residues	– Test condition 40 °C, 93 %RH or 85 °C, 85 %RH – Acceptance value under 100 MΩ ($1 \times 10^9 \Omega$) – Test voltage DC 50 V – After test 25 °C, 50 %RH, 2 h measurement after neglect

5.1.2 Measurement method of insulation resistance

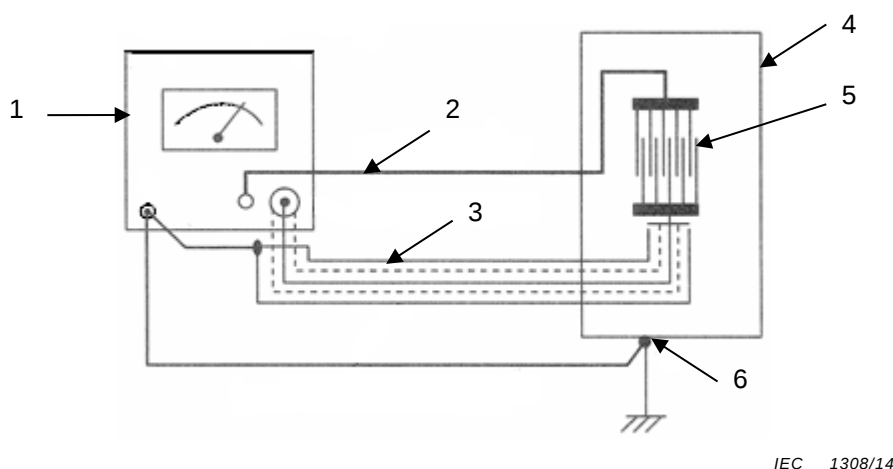
The insulation resistance measurement is commonly used to evaluate migration. There are two types of measurement, one is to measure the resistance of a specimen while it is taken out of the test chamber (measurement outside of the chamber), and the other is the measurement in situ condition while the specimen is kept in the testing environment and not taken out of the chamber for measurement (measurement in the chamber). The outside-of-the-chamber measurement is not a real insulation evaluation under the testing environment. Dew formation may occur when a specimen is taken out of the chamber after the chamber environment is brought to the outside environment. A specimen may change its characteristics by being taken out of the chamber into the outside environment. Measurement by not taking the specimen out of the chamber is usually recommended.

1) Outside-of-the-chamber measurement

- a) The chamber environment is first returned to the standard atmosphere condition and then a specimen is taken out of the chamber. The specimen is dried for a specified time and its

characteristics are measured within a specified time. All the measurements are made under the same temperature and humidity environment.

- b) The sample extracted from the chamber is maintained in the standard atmosphere for a specified time. It is then stored in a shielded box to not be influenced by the magnetic field or electrostatic field caused by the human body, as illustrated in Figure 35, and its insulation resistance is measured. A specimen should be left on a base made of polytetrafluoroethylene resin which has a high insulation resistance, or in a floating condition in the measurement. Insulated covers should be used for the voltage terminals of the equipment so as not to touch the terminals with bare hands. Care should be taken not to touch the resin material in the vicinity of the conductor while the measurement terminal (clip or probe) is connected to the measuring conductor pattern.
- c) Special care should be taken to use a glove so as not to touch a specimen by with bare hands. Spit should never be sprayed on the specimen surface.



IEC 1308/14

Key

- 1 Insulation resistance meter
- 2 Voltage
- 3 Shield cable
- 4 Shield box
- 5 Sample
- 6 Ground

Figure 35 – An example of insulation resistance measurement outside of the chamber

2) Measurement in the chamber

There is an automatic measuring system to measure of the insulation resistance of specimens using insulation resistors:

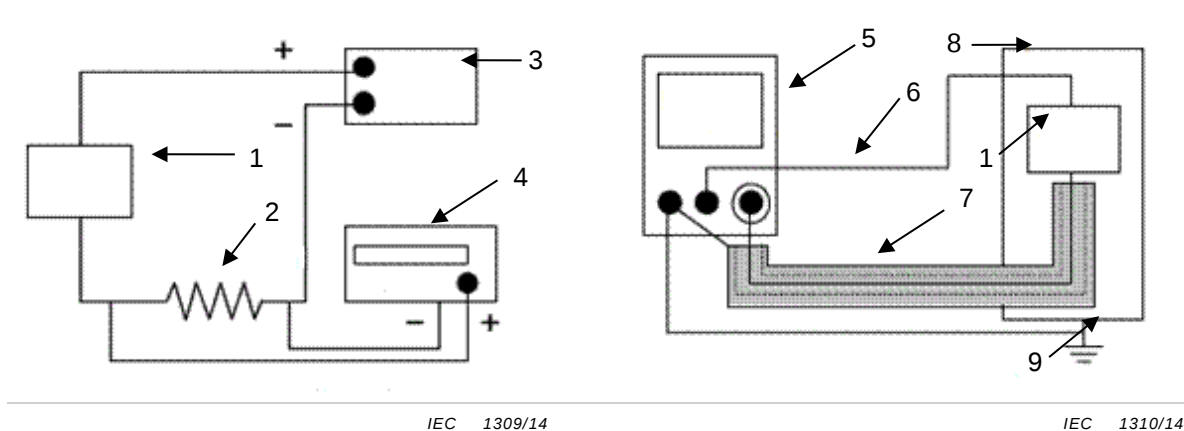
a) Principle

A current detecting resistor is connected to a specimen in a series and a constant voltage is applied to the circuit as illustrated in Figure 36 a). The current in the circuit is measured by measuring the voltage across the resistor. It is possible to measure the current continuously without interrupting the exposure of a specimen to the test environment. The measuring circuit may have an interference effect from other circuits and the number of wires increases if the measurement is made for many specimens. Care should be taken in the handling of cables.

b) Measurement using an insulation resistance meter

An insulation resistance meter as illustrated in Figure 36 b) is used to measure a high resistance to the order of $10^6 \Omega$ to $10^{12} \Omega$. It is generally possible to measure a resistance to the order of $10^{13} \Omega$. The testing circuit is also used for the measurement so

that the wiring of cables should be carefully made to an insulation resistance meter. A measurement system is available in the market to measure the insulation resistance of many specimens while the specimens are kept in a test chamber.



a) Measurement by voltage-drop method

b) Measurement by insulation resistance meter

Key

- 1 Sample
- 2 Resistance for detection
- 3 Power supply
- 4 Voltmeter
- 5 Insulation resistance meter
- 6 Voltage apply cable
- 7 Shield cable
- 8 Constant temperature chamber
- 9 Ground

Figure 36 – Circuit diagram of insulation resistance measurement**c) Automatic measurement system**

An automatic measurement system is usually used to avoid the complexity and inconvenience of cable wiring outside of the test chamber. The features of such an automatic system are described below.

i) Features of an automatic measurement system

Continuous measurement of insulation resistance is possible while a specimen is kept in a test chamber. An alarm can be ring when any abnormal effect is found in the measurement.

A test voltage is applied to each specimen and the leak current is continuously monitored for any arbitrary period of time. It is possible to identify the migration generation and its time. Basically there is no limit to the number of specimens to be measured in a single run. Simultaneous measurement of many specimens is possible.

ii) Automatic measurement systems available in the market have proprietary structures developed by manufacturers. Remarks on the selection of a system for laboratories are given below.

There is a possibility of having quasi-leakage of a specimen by water absorption. Equipment should have both high and low resistance, for the low range including measurement of $<10^6 \Omega$. The insulation resistance measurement range should include that of the measuring cables, including both ends of a cable.

Both specified and other additional test voltages should be able to be continuously applied. In the case of the system which can switch the test voltage and the

measurement voltage, the overshoot of the applied voltage should be checked using an oscilloscope.

Migration in a conductor gap should be sensitively detected (an increase of the leakage current between conductors should be clearly detected).

Migration in one specimen may also affect leakage current in other specimen.

It is desirable to limit leakage current when migration occurs to avoid burn of resin in specimens.

5.1.3 Special remarks on insulation resistance measurement

1) Relationship between static charging and leakage current in insulation resistance measurement

In some cases the charging should be specified before measurement. The current through the specimen decreases with time (increase of resistance) and reaches a steady state current when a voltage is applied to a specimen. This decrease of current (increase of resistance) depends on the absorption current. Time before the current reaching the approximately constant value may take more than several hours from several seconds depending on the specimen. However, a rather short time is actually taken for ease of measurement.

The current flowing in a specimen is composed of a time independent leakage current by free electrons and free ions in the specimen, and the absorption current in dielectrics (charging) as shown in Figure 37. The dielectric absorption current is caused by the polarization of atoms, i.e. electric dipole formation. The current due to the movement of these electric dipoles in dielectrics is the dielectric absorption current.

This current may not decrease uniformly in some materials and may not stabilize. The time of the measurement should be selected properly from the result of measuring the current-time relationship beforehand in such a case. It may take considerable time until the insulation resistance measurement value is stable especially for a product mounted on dielectrics such as capacitors as shown in Figure 38.

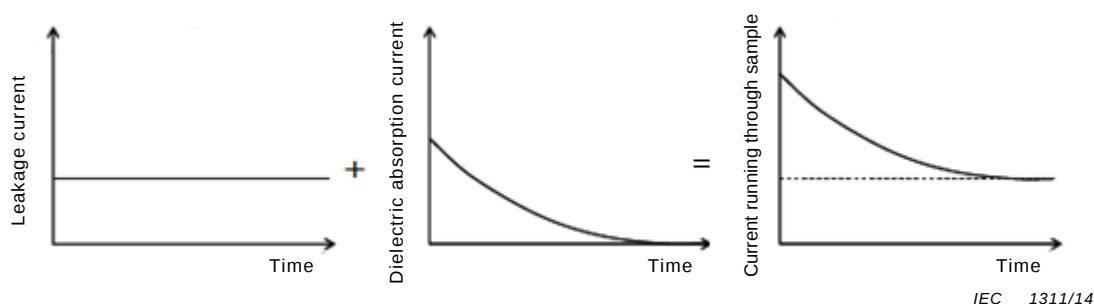


Figure 37 – Examples of leakage current characteristics

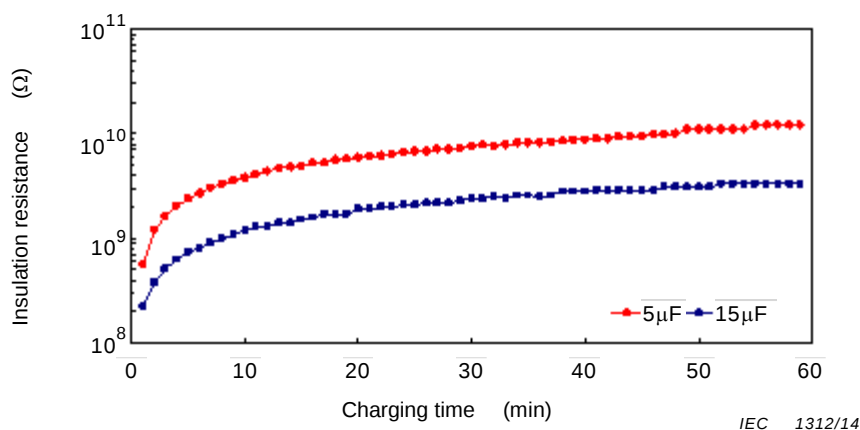
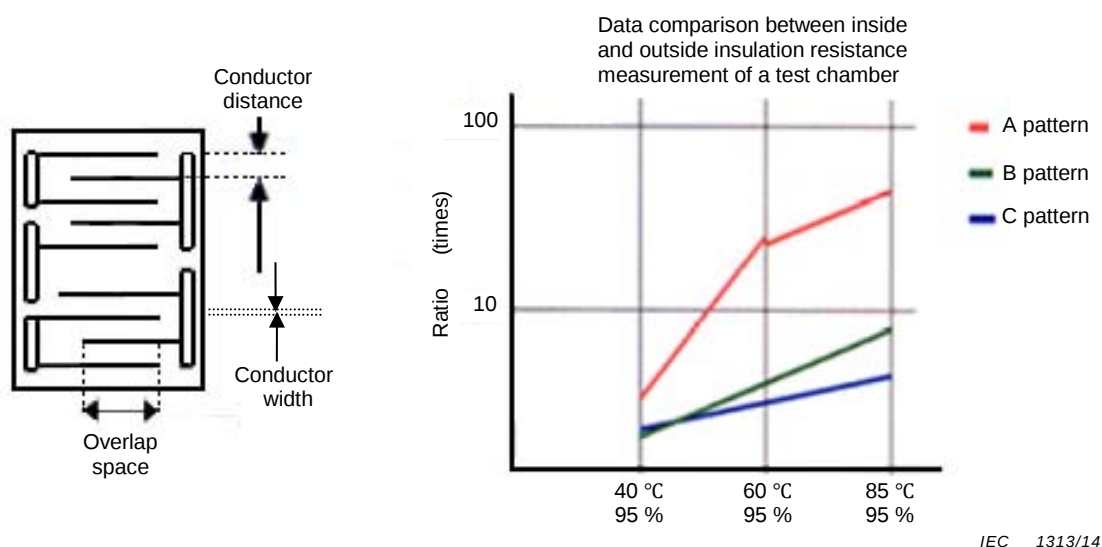


Figure 38 – Relationship insulation resistance with charging time of capacitor mounted boards

- 2) The difference between inside and outside insulation resistance measurement value of a test chamber are different more than up to 50 times (severe data when measured in a chamber) as shown in Figure 39.

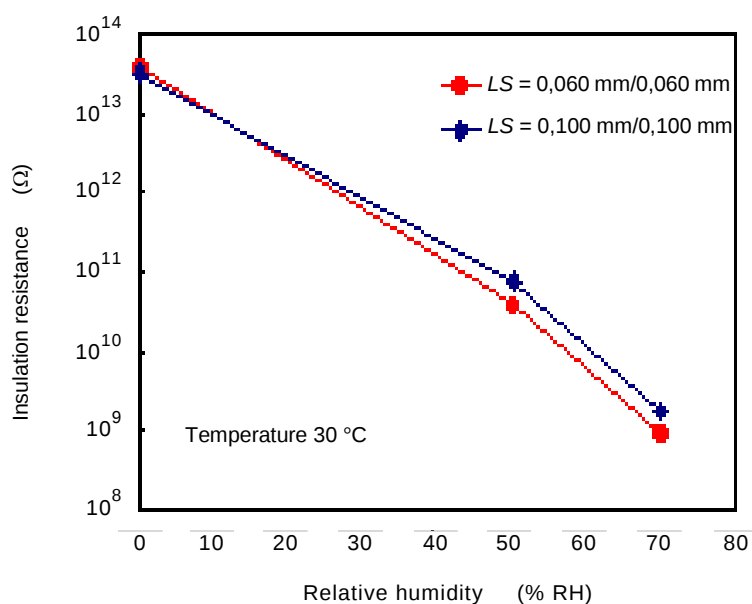


	A pattern	B pattern	C pattern
Conductor width	0,165 mm	0,318 mm	0,635 mm
Conductor distance	0,165 mm	0,318 mm	0,635 mm
Overlap space	15,75 mm	15,75 mm	15,75 mm

Figure 39 – Comparison of insulation resistance measurement inside and outside a test chamber

- 3) Relationship between relative humidity and insulation resistance

Insulation resistance when measured outside a test chamber may differ significantly depending on the measuring temperature and humidity. Insulation resistance measured for the exposed conductor pattern on a board can vary by two orders of magnitude as shown in Figure 40. IEC 60068-1 specifies the measuring environment as the standard atmospheric condition (15 °C to 35 °C and 25 % to 75 %RH), but the measured value may deviate considerably in these environments.



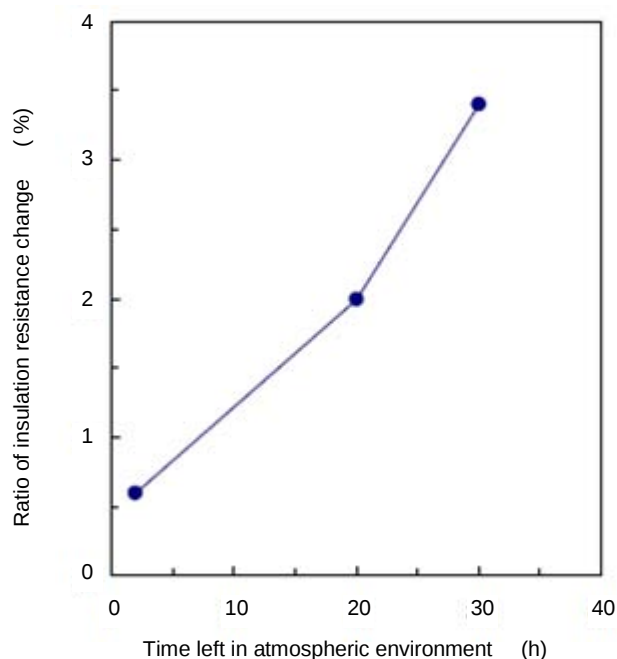
IEC 1314/14

Figure 40 – Relative humidity and insulation resistance

4) Effect of the time a specimen is kept outside a chamber on the insulation resistance

Care should be taken when a specimen is taken out of a chamber and is returned to the chamber for some reason. The resistance measurement when taking out a specimen of a chamber reflects the sample status changes from wet to dry and again back to wet state. Care about the dry condition of the specimen at the time of the insulation resistance measurement.

In most standards, measurement is required to be made within 48 h from the time the specimen is taken out of a chamber and returned back to the chamber within 96 h. There is a tendency for the insulation resistance to increase with time as the specimen is taken out as shown in Figure 41. It is not appropriate to leave a specimen for a long time outside a chamber. JPCA ET 01 specifies the time to take a specimen out of a chamber to be less than 5 % of the total test time.



IEC 1315/14

**Figure 41 – Effect of interruption of measurement on insulation resistance
(variation of insulation resistance with the time left in atmospheric environment)**

5.2 Measurement of dielectric characteristics

5.2.1 General

The present trend in the evaluation of reliability in humid environments is the measurement of the dielectric characteristics under environmental stress. Electrical characteristics are basically evaluated by insulation resistance. The evaluation of dielectric characteristics is getting more significance as electronic products today are handling very high frequency and high speed signal processing. It is necessary to consider the dielectric characteristics rather than simply the insulation resistance.

5.2.2 Dielectric characteristics of board surface

Positive charges in the material deviate their position toward the electric field vector and the negative charges toward the opposite direction when a DC voltage is applied to a dielectric material. This effect is called dielectric polarization. There are various types of polarization such as electron polarization, ionic polarization, directional polarization and boundary polarization. A type of polarization is selected for a material by constructing elements of the material. Rotation of dipoles occurs when an AC voltage with an angular frequency of ω is applied to such a material. The delay for such a rotation of dipoles occurs as the frequency increases. The electric field flux D then lags to the electric field E with an angle δ . E and D are expressed by the following equations:

$$E = E_0 e^{j\omega t} \quad (1)$$

$$D = D_0 e^{j(\omega t - \delta)} \quad (2)$$

The dielectric constant (complex) ε becomes $D = \varepsilon E$,

$$\begin{aligned}\varepsilon &= D/E = D_0 e^{j(\omega t - \delta)} / E_0 e^{j\omega t} \\ &= D_0 / E_0 e^{-j\delta} = D_0 / E_0 (\cos \delta - j \sin \delta) = \varepsilon' - j\varepsilon''\end{aligned}\quad (3)$$

A relation $\tan \delta = \varepsilon''/\varepsilon'$ is obtained from Equation (3). This $\tan \delta$ is called the dielectric tangent.

The energy consumed in a unit volume of dielectrics under an AC electric field power consumption density, W , can be calculated by the following Equation (6).

The current density I flowing in the dielectrics is:

$$I = dD/dt = j\omega D = j\omega \varepsilon E = j\omega \varepsilon' E + \omega \varepsilon'' E \quad (4)$$

The power consumption density W is then

$$W = EI \cos \theta = \omega E^2 \varepsilon'' \quad (5)$$

$$W = \omega E^2 \varepsilon' \tan \delta \quad (6)$$

where θ is the phase difference between E and I .

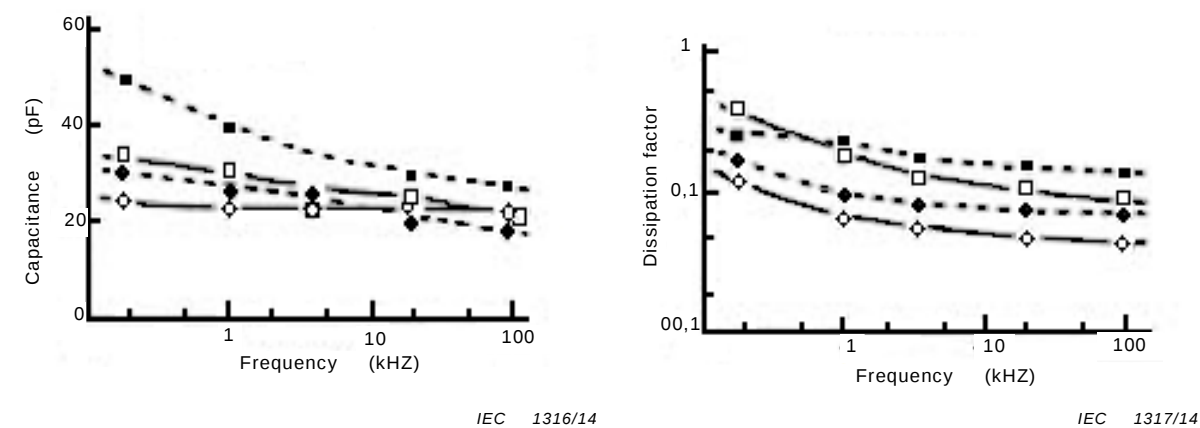
$\tan \delta$ is used as an indication of energy loss in a dielectrics. The frequency range in which this energy loss is observed depends on the type of polarization of the material. The larger the dipole moment, the slower it will follow the changes of the electric field. The dielectric dispersion appears at a low frequency range. The change of the dielectric constant with the frequency is called dielectric dispersion.

5.2.3 Migration and dielectric characteristics of the printed wiring board surface

There are some studies which show that the dielectric constant (static capacity) and $\tan \delta$ increase as migration proceeds; conversely, migration can be evaluated from the increase of the dielectric constant and $\tan \delta$. Some examples of such studies are given below.

1) Dielectric characteristics and migration on the surface of a board

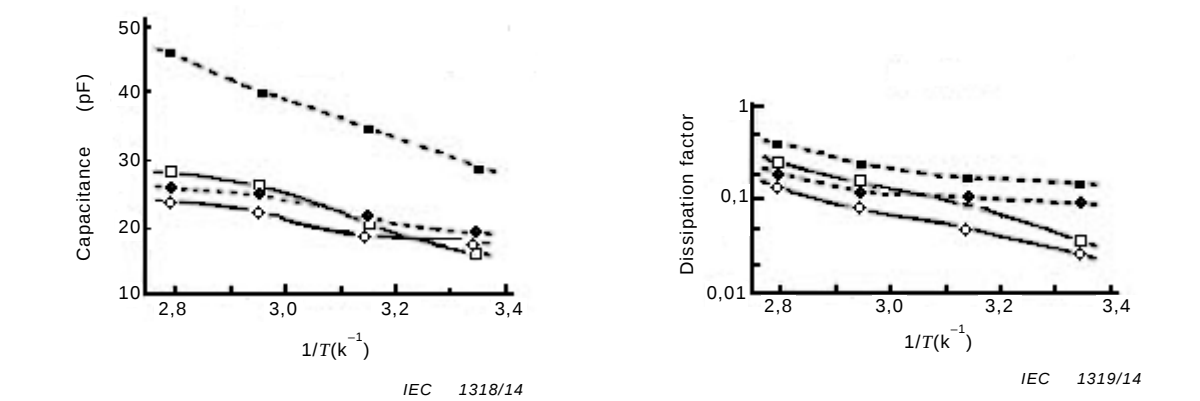
The first example is the case of a board made of a polyimide film and an adhesive layer. A comparison is made of the characteristics of un-degraded and degraded specimens treated in a high temperature and high humidity environment with an applied voltage. Figure 42 shows the frequency response and Figure 43 the temperature response. It is shown that both static capacitance and DF (dissipation factor, equivalent to $\tan \delta$) are increased. Measurement is made with a board so that an abnormal change may be detected if the local static capacitance and DF increases caused by migration are significant compared to the increases of the board itself. The characteristics of the board change with time especially at an environment of high temperature and high humidity. The characteristics of the adhesive film are improved at the early stage of the experiment and then degrade as time passes. It is necessary to isolate the degradation caused by migration.



Sample: polyimide system film
Degradation condition: 85 °C, 85 %RH, 50 V, 1 000 h
Measurement condition: 65 °C, 85 %RH

Sample	Symbol		Conductor distance (mm)
	Normal	Degradation	
A	○	●	2
C	□	■	2

Figure 42 – Frequency response of dielectric characteristics of printed wiring board

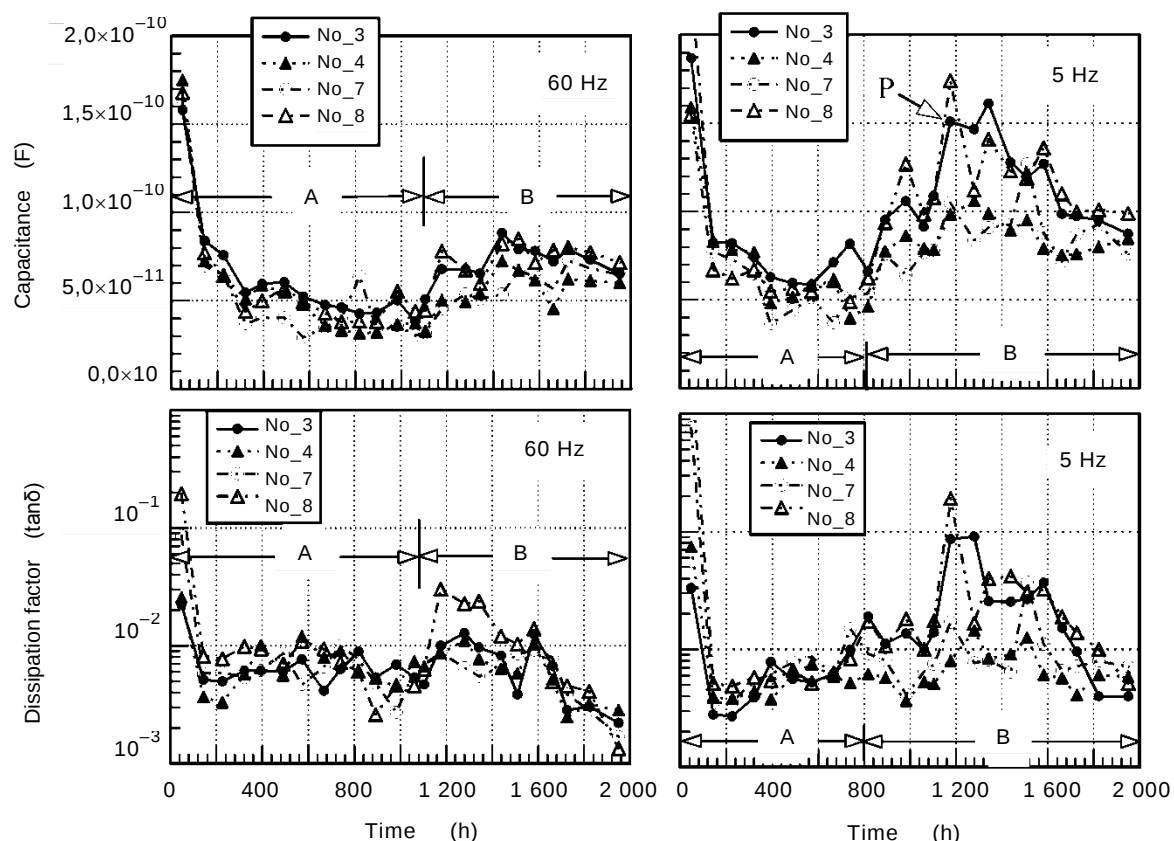


Sample: polyimide system film
Degradation condition: 85 °C, 85 %RH, 50 V, 1 000 h
Measurement condition: 85 %RH, 1 MHz

Sample	Symbol		Conductor distance (mm)
	Normal	Degradation	
A	○	●	2
C	□	■	2

Figure 43 – Temperature response of dielectric characteristics of printed wiring board

The other example is for the measurement of a glass-fiber reinforced epoxy board as shown in Figure 44. Degradation of the board in this case is not significant and the change due to migration is not significant either. Detection sensitivity in this case at high frequency is not very high but there is better detection sensitivity at a very low frequency of 5 Hz. This shows that the variation of the dielectric characteristics caused by migration is relevant to ion mobility in the board and gives better detection sensitivity. It should be noted that an increase of dielectric characteristics is accompanied with migration and that sensitivity is better at very low frequencies. It should also be noted that the characteristics of the board themselves may vary with the treatment in a chamber in a high temperature-high humidity environment in understanding the effect of migration in such a test.

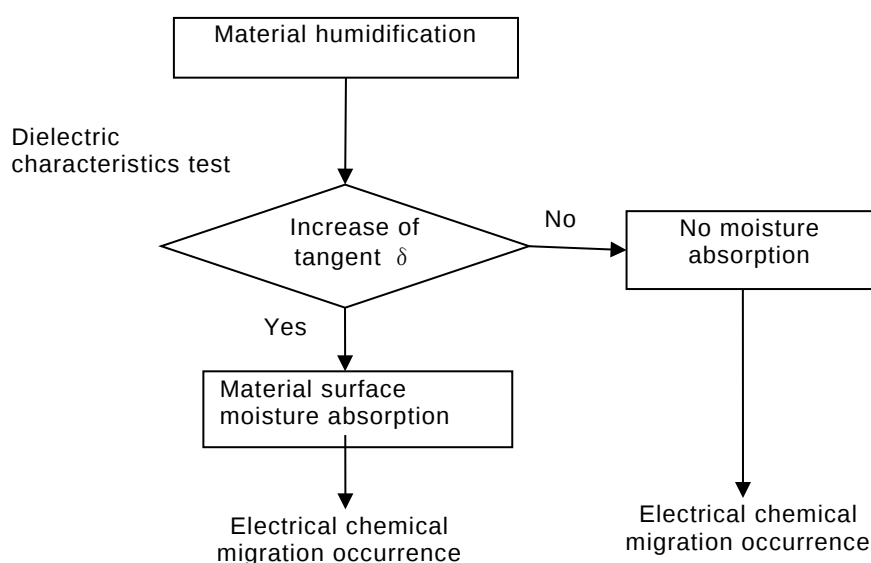


IEC 1320/14

Figure 44 – Changes of static capacitance and $\tan \delta$ of a specimen through a deterioration test

2) Application of dielectric characteristics measurement to flux evaluation

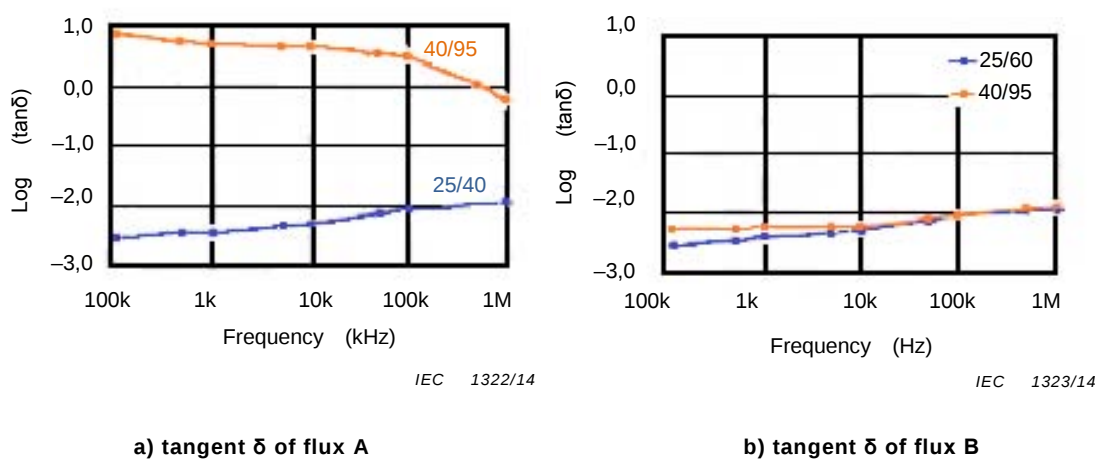
The soldering flux used in electronic equipment is basically resin, such as rosin, added with an activator such as halide acid salt of amine. It is a complex dispersion system of a mixture of two substances with different conductance and dielectric constants. There are countless interfaces of different materials, so the surface polarization in flux and its residue on the surface of a board can be detected. Water in the air is absorbed into a flux residue on the surface of a board if there is a substance with high water absorbability such as an ionic substance in the residue, and surface polarization occurs. It is possible to evaluate reliability changes due to flux using this method. Figure 45 shows a procedure to detect migration using the dielectric characteristics test.



IEC 1321/14

Figure 45 – Test procedure of a dielectric characteristics test

Figure 46 shows test results of two fluxes, one with a component of high water absorbability and the other of low water absorbability. A significant difference is observed in the dielectric tangent before and after water absorption. Migration was observed at a rather early time in an insulation resistance test for a specimen using a flux of high water absorbability.



IEC 1322/14

IEC 1323/14

a) tangent δ of flux A

b) tangent δ of flux B

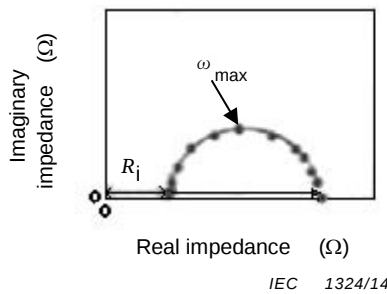
Figure 46 – Comparison of dielectric characteristics of two types of flux

5.2.4 Evaluation of migration by AC impedance measurement

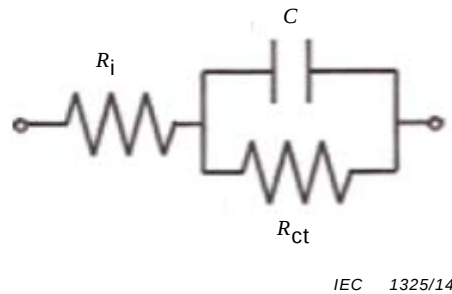
The AC impedance method is often used in electrochemistry. It is a method to study an interface and to observe reactions from a phase difference observed when a very small AC signal is applied to a specimen. R_i in an electrochemical reaction is the ion resistance to movement, R_{ct} is the electric charge resistance, and C is the capacitance of the electric double layer (interface capacitance) as illustrated in Figure 47. These values are available from the Cole-Cole plots at different frequencies. Distance on the horizontal axis from the origin to the start of the semi-circular curve is R_i , and the diameter of the semi-circle is R_{ct} . C is the inverse of the angular frequency at the top of the semi-circle (ω_{max}) times R_{ct} :

$$C = \frac{1}{\omega_{\max} \cdot R_{ct}}$$

Figure 48 shows the correlation of the generation process of the migration observed and the time variation of a Cole-Cole plot. This is an example of the progression of migration as the change with time of R_{ct} in an IC flip-chip module made of anisotropic conductive film (ACF). Observation was made of a specimen kept in an environment of 85 °C, 85 %RH with an applied voltage of 75 V DC added with an AC signal (10 kHz to 1 Hz) of an amplitude of 0,35 V. Figure 48 shows the time dependence of R_{ct} obtained from the Cole-Cole plot. The leakage current increased and R_{ct} decreased as migration progressed in the specimen.

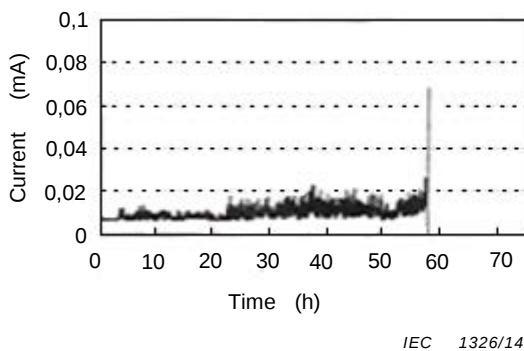


a) Cole-Cole plot

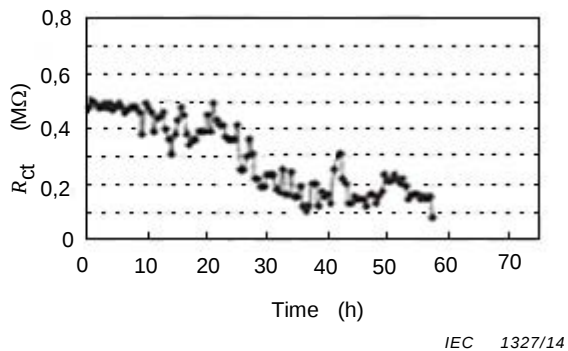


b) Equivalent circuit of plot a)

Figure 47 – Measurement principle of EIS (Electrical Insulation System)



a) Current



b) R_{ct}

Figure 48 – Gold (Au) plating, non-cleaning

6 Evaluation of failures and analysis

6.1 Criteria for failures

Migration is evaluated by measuring the leakage current or insulation resistance. A test is conducted until the insulation resistance decreases to a specified level and the time to reach that level is taken as the failure time. Table 17 gives the insulation resistance values regarded as failures specified by available standards.

The measurement of insulation resistance on its own cannot elucidate the state of failure or migration. It is necessary to study specimens to identify the region of migration and analyze the specific region using the techniques described in 6.3. The decrease of insulation resistance often recovers to a higher value but the decrease that once happens to a specimen means the specimen is in failure state. When a short circuit is formed by a dendrite growth or CAF, the

insulation resistance returns to a state that is not a failure because the dendrite or CAF disappears under the effect of the short-circuit current.

Table 17 – Criteria of migration failure by insulation resistance

Group	Standard no.	Criteria
JPCA	ET-01	Measurement inside of chamber: $< 1 \times 10^6 \Omega$ Measurement outside of chamber: $< 1 \times 10^7 \Omega$
IPC	6012	Class 1: Equipment in operation (no specified value) Class 2: $< 1 \times 10^8 \Omega$ Class 3: $< 5 \times 10^8 \Omega$

6.2 Data analysis

6.2.1 Analysis of experimental data

1) Evaluation of life

It is convenient to analyze the failure data obtained from measurement to plot on a Weibull probability distribution chart to estimate the life of the printed wiring board or of the equipment. It is desirable to have the number of specimens, n , to be more than 10. It is well known that the life of a product is expressed by a bathtub curve as illustrated in Figure 49. Failures in printed wiring boards caused by migration may be classified as the early failure period caused in the production process or due to some material defects and structures of the board. The random failure mode follows with a rather low constant failure rate, and lastly there is the wear-out failure mode. The time-dependent distribution of failures in boards can be expressed by a Weibull distribution and be plotted on a Weibull chart to analyze the failure mechanism and to estimate the failures to appear in the boards. The Weibull distribution function $F(t)$, the reliability function, $R(t)$, and the failure rate function $\lambda(t)$ are expressed by Equations (7), (8) and (10).

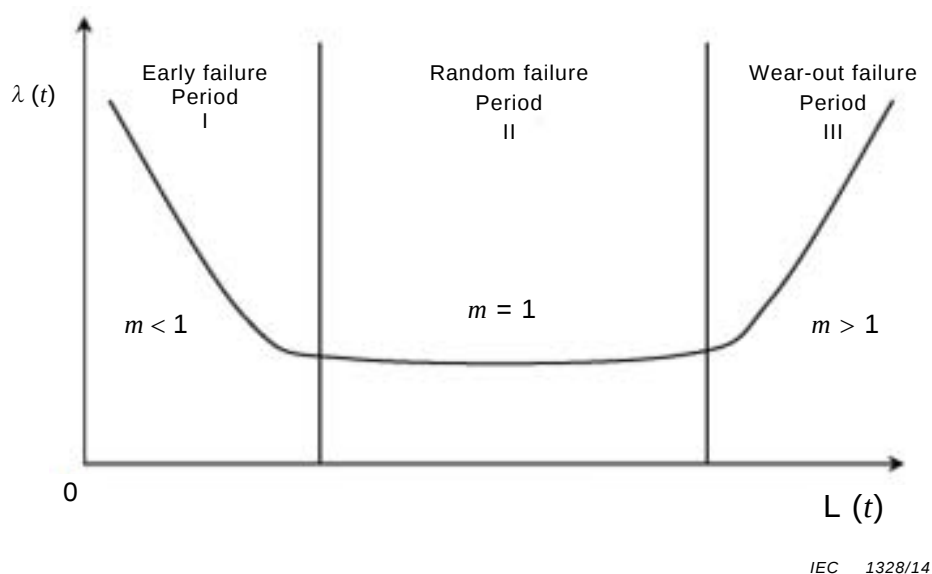


Figure 49 – Bath tub curve

m is the shape parameter; $m < 1$ is for the early failure period; $m = 1$ is for the random failure period and $m > 1$ is for the wear-out failure period. η is the scale parameter and is the time to failure of 63 %. In the case where $m = 1$, η is the MTTF (mean time to failure). γ is the position parameter and no failure occurs to this point.

The Weibull probability chart is a chart in graphic form of the equation (10) which is converted into equation (14). It is recommended to use the horizontal axis for the time parameter and the vertical axis to plot in a median rank of failures in an approximation expressed as $(i-0,3)/(n+0,4)$ in presenting experimental data on a Weibull chart. Here n is the number of specimens and i is the accumulated failures. The shape parameter (m) is obtained from the approximated linear line of the plot. An expected life time, or an averaged life time is then obtained.

2) Data processing of specimens with interrupted experiment

The Weibull type accumulation hazard plotting is often used for data analysis of a test in which a test is continued while another test is interrupted. This procedure can be applied to a case where there are more than one failure modes. One specific failure mode is handled as a failure mode in the study and other failures caused by other modes are treated as the data of an interrupted test. The accumulated hazard function $H(t)$ is expressed by equation (14) in terms of the Weibull distribution function $F(t)$. It is possible to obtain the shape parameter m by taking the natural logarithm for both of the axes. It is recommended to use the combined Weibull probability and accumulated hazard chart, a chart which can be used for both the Weibull probability and also the accumulated hazard for the analysis of the incomplete set of experimental data.

The Weibull distribution function $F(t)$ is expressed as

$$F(t) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^m\right\} \quad (7)$$

$$R(t) = \exp\left\{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^m\right\} \quad (8)$$

The failure rate function $\lambda(t)$ is

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{1}{R(t)} \cdot \frac{d(1-R(t))}{dt} = -\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt} \quad (9)$$

and

$$\lambda(t) = \frac{m}{\eta^m} (t-\gamma)^{m-1} \quad (10)$$

When $m = 1$

$$\lambda(t) = \frac{1}{\eta} \quad (11)$$

η = MTTF (or MTBF) has an exponential distribution.

Let $\gamma = 0$ in equation (7), then:

$$F(t) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m\right\} \quad (12)$$

and

$$1 - F(t) = \exp\left\{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m\right\} \quad (13)$$

Take the logarithm of both sides of the equation twice. It becomes

$$\ln[\ln\{1/(1-F(t))\}] = m\{\ln t - \ln \eta\} \quad (14)$$

The Weibull probability chart is the graphical expression of the equation. The accumulated hazard function $H(t)$ is expressed with ($\gamma = 0$) as equation (14) from the Weibull distribution function.

The Weibull distribution function is

$$F(t) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^m\right\}$$

The accumulated hazard function $H(t)$ is then

$$H(t) = \left(\frac{t}{\eta}\right)^m \quad (15)$$

We obtain $\ln H(t) = m(\ln t - \ln \eta)$ by taking the logarithm of both sides of the equation. Taking the vertical axis for $\ln H(t)$ and the horizontal axis for $\ln t$, the Weibull type accumulated hazard chart is obtained.

3) Remarks

a) Remarks on plotting experimental data to the Weibull probability chart

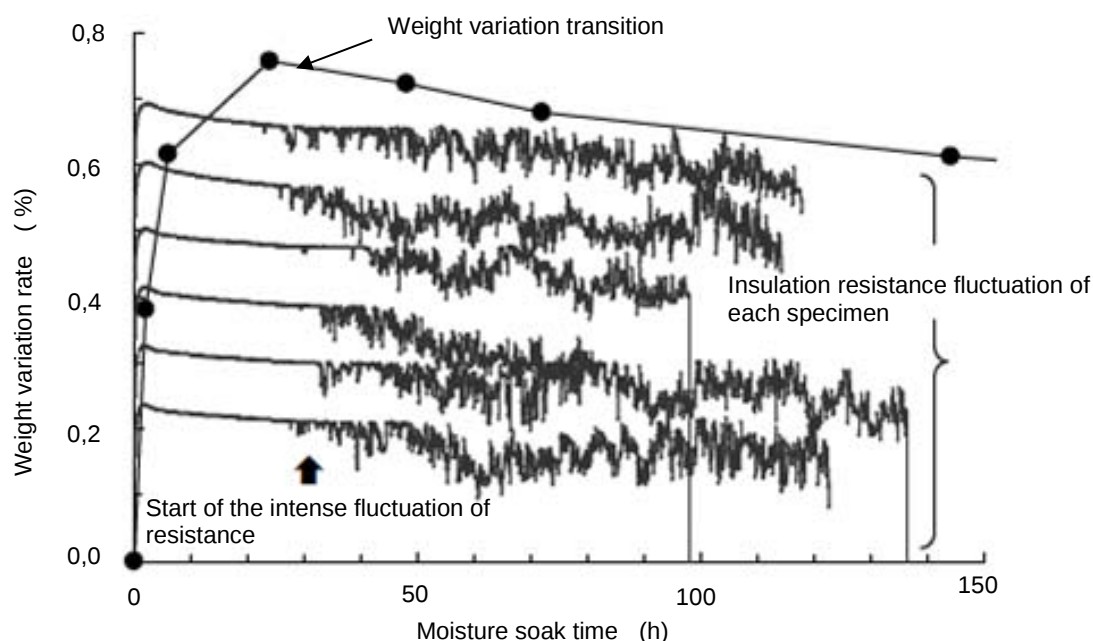
- i) The size of a plot on the chart should be larger than the width of the regression line to be drawn on the chart (approximate diameter of 1 mm).
- ii) The regression line should be drawn observing the entire plotting points.
- iii) The regression line should be drawn especially to cover the points distributed in the range from 10 % to 90 %.

b) Reading a Weibull probability chart

The failure mechanism should be the same for all the specimens and follow the Weibull distribution if a linear regression line is obtained. There are cases where a linear regression line is obtained in the Weibull plotting even if plural failure mechanisms exist in the specimens. Plotting on an accumulated hazard chart is useful in analyzing such failure mechanisms. There are cases where the failure mode in specimens is the same but failure mechanisms are different. The chart often shows in such cases a regression line with a bend. Failures developed within a range with a small accumulated failure probability, $F(t)$, may generate a significant number of failures in the future. It is very important to make a careful analysis of the failure mode to find the possible origins of failures.

6.2.2 Relationship of the parameters in the experimental data and an example of the analysis

Figure 50 shows an example of experimental data of water absorption and insulation degradation in a HAST of components made of an insulating material. It is possible to confirm the relationship between the time needed for weight loss and the time required for insulation resistance degradation by overlapping the data of the weight decrease (change of water absorability) with the variation data of insulation resistance. This is a case where the change of insulation resistance is caused by the variation of the material characteristics themselves. It is a very useful method to analyze the sources of parameter changes in a material.



IEC 1329/14

Figure 50 – Relation between the variation of insulation resistance and the weight changes by water absorption

6.2.3 Electric field strength distribution

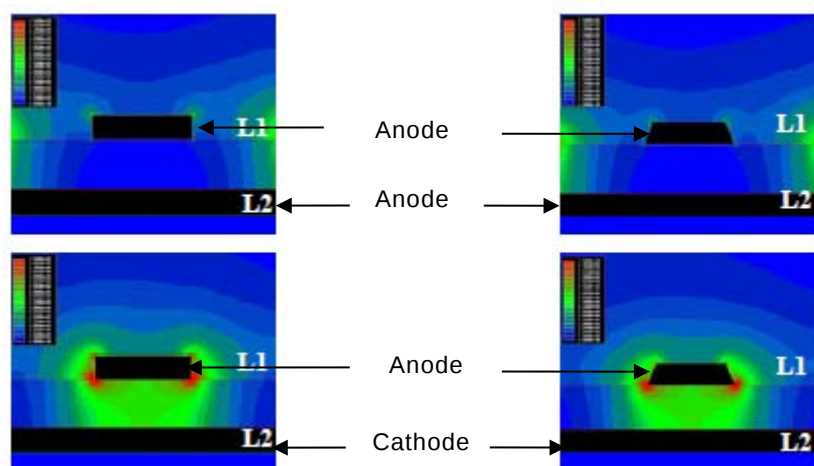
A limited element analysis of the electric field strength near a conductor pattern is useful for the analysis of experimental data. Below are some examples of such analyses.

1) Effect of the underlying conductor pattern in a multi-layer board

This is the case of an electric field analysis of electric field distribution around an anode conductor pattern when an electric voltage of 50 V DC is applied to a multi-layer board with an underlying conductor pattern (plane) and an infinitely spreading surface conductor pattern (line spacing of 0,080 mm) with an insulating layer in between. The analysis shows the electric field is concentrated as observed at the lower edges of the conductor pattern (line) in a cross section of a line. There is a tendency for an electric field to be slightly stronger for a conductor with a cross-section in a rectangular shape compared to a conductor with a cross-section in a trapezoid shape. The electric field strength around the conductor pattern in the top layer is affected by the electric field of the conductor in the lower layer.

2) The potential and electric field strength of a pair of parallel conductors

Figure 51 and Figure 52 show the potential distribution and electric field strength of a pair of parallel conductors of an infinite length with a spacing of 0,08 mm on an insulating resin layer with an applied voltage of 50 V DC between the conductors, and the case of a conductor pattern formed on an insulating layer and covered with solder resist. The potential at the edge of a conductor which is connected to a positive voltage (anode) is high and almost decreases according to movement distance from the anode to the cathode. The electric field strength is slightly higher at the anode edge than at the cathode edge, and is nearly constant in the area $\pm 25\%$ from the centre.

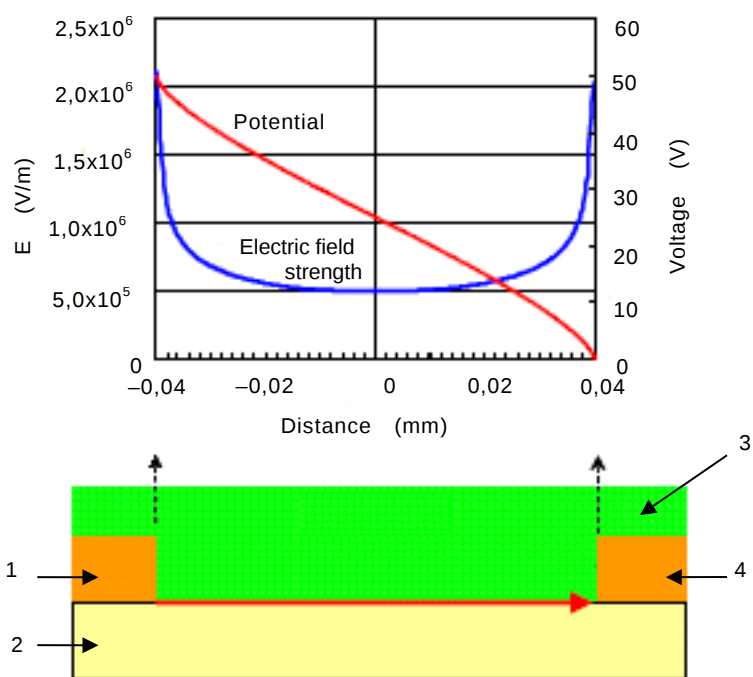


IEC 1330/14

a) The line form is a rectangle

b) The line form is a trapezium

Figure 51 – Distribution of electric field between line and plane



IEC 1331/14

Key

- 1 Anode
- 2 Base material
- 3 Solder resist
- 4 Cathode

Figure 52 – Distribution of the electric field between lines

6.3 Analysis of specimen with a failure, methods of analysis and case study**6.3.1 General**

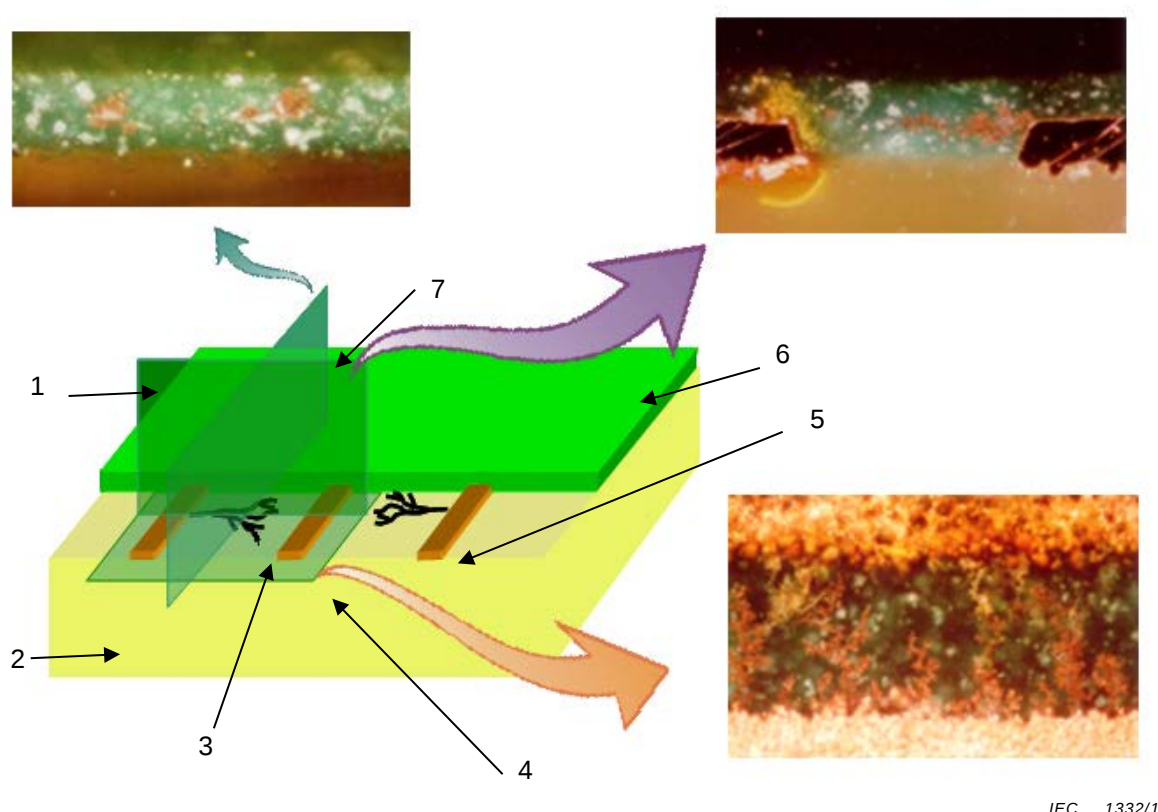
The analysis technique of a specimen with a failure caused by migration depends on the structure and position of the failure in the specimen. Failures in an inner layer may be observed

at the cross section revealed by the lapping of a specimen buried in resin. The thin film like solder resist may be observed by diagonal cutting method that there are more analysis points than the cross-section observation.

6.3.2 Cross section

1) Specimen preparation

The region with a failure is cross cut using a cutting instrument such as a diamond saw. Care should be taken not to impose stress to a failure itself of bend or vibration. The cutting face should be confirmed by deciding from which side the failure is to be observed. The failure analysis may differ considerably by the cutting position as shown in Figure 53.



Key

- 1 Direction A
- 2 Base material
- 3 Electrochemical migration
- 4 Direction C
- 5 Electrode
- 6 Solder resist
- 7 Direction B

Figure 53 – Different observations of the same dendrite according to different cross section cutting planes

2) Burying of a specimen

A piece of specimen to be observed is placed with the face to be observed downward in a resin filled in an appropriate container coated with a release agent. Use a jig to fix the specimen so that it does not tilt while the resin is hardened. The resin to be used may be selected from epoxy, acryl, or polyester resin depending on the proper curing temperature, curing time, compression during cure, fluidity, and hardness. Epoxy resin which cures at room temperature is often used. In the case of a specimen with a minute air gap, vacuum

impregnation equipment may be used to closely adhere to the resin or to remove the air bubble in the resin.

3) Cutting

A specimen buried and cured in resin block is cut close to the specimen. The lapping time is different by the cutting position.

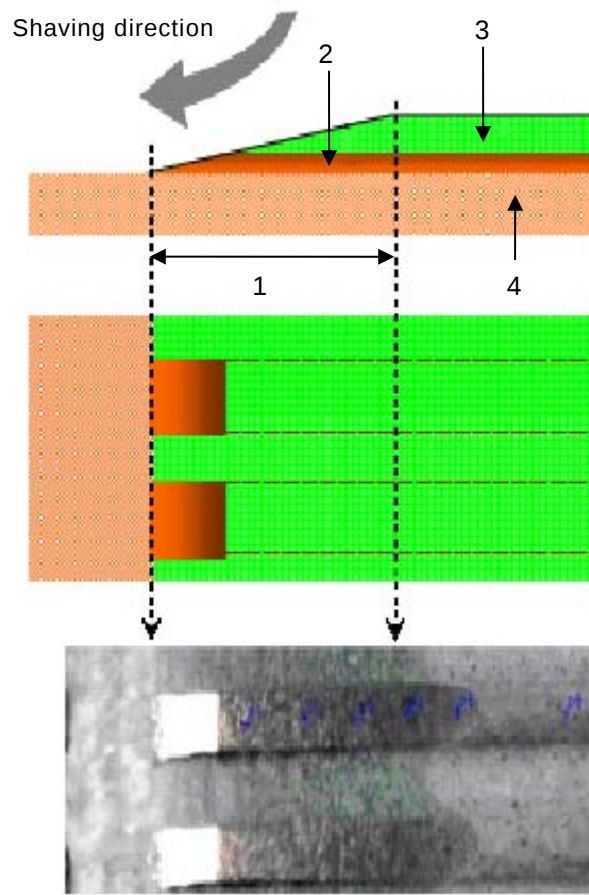
4) Lapping

A specimen is usually a mixture of hard and soft materials. It is difficult to lap a specimen with the same lapping condition. It is necessary to select a proper abrasive and lapping condition according to the property of the lapped surface and the object of analysis. Lapping may be divided into three steps, the first step is to expose the face to be observed, the second step is intermediate lapping and the third is the final lapping to reveal the clear surface of a specimen for analysis. The first lapping may be made using water resistant sandpaper (300 grit $\approx 85 \mu\text{m}$). The second step is made using an abrasive buff with a diamond powder of several micrometers. The final lapping removes scratches produced by lapping with an abrasive buff and aluminium oxide powder of grain size of about $0,05 \mu\text{m}$.

5) Cleaning and drying

The lapped specimen should be cleaned under running water using a neutral detergent. The specimen should be dried quickly under a strong air flow using an air gun to prevent stain or erosion at the specimen surface.

Analysis of a specimen in the depth direction of a thin material such as solder resist is to be made before on a cross section formed by the vertical lapping of a specimen. It was possible to analyze only one or two points by infrared spectrophotometry (ATR, attenuated total reflectance) in the depth direction. Now it is possible to analyze more than five points by angle lapping of a specimen as illustrated in Figure 54. ATR analysis of an angle lapped specimen of solder resist at 5 points inside the film and a point on the surface revealed by infrared microspectroscopy (micro ATR) showed that the film right above the copper conductor and the top surface of the film had different structures as shown in Figure 55.



IEC 1333/14

Key

- 1 Shaving area
- 2 Line
- 3 Solder resist
- 4 Base material

Figure 54 – An example of angle lapping

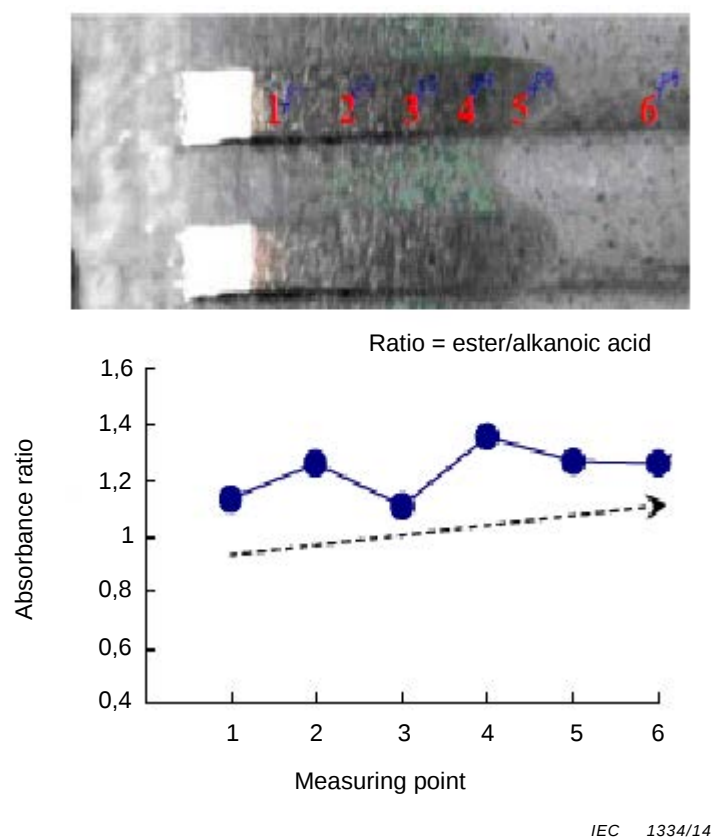


Figure 55 – Structure analysis of an angle lapped solder resist in the depth direction

6.3.3 Optical observation

Table 18 shows the methods used in the optical observation of the specimens.

Table 18 – Various methods for optical observation of failures

Observation method	Principle	Intended purpose	Detection limit
1. Stereo microscope	An optical microscope, which uses the visible wavelength of light and focuses the light with a refractive lens. A three-dimensional image can be recognized by viewing the object in both eyes.	Three-dimensional observation at low magnification.	Magnifying power: x4 to x100
2. Digital microscope	An optical microscope, which captures images with a camera and displays the object as a digitized image. A CCD (charge coupled device) camera is commonly used, and various functions can be integrated, such as an endoscope.	Defect detection of materials and parts at low to high magnification.	Magnifying power: x5 to x4 000
3. Metallographic microscope	An optical microscope, which illuminates the specimen from the surface, and is suitable for opaque materials such as metals. Both reflection and transmission observations are possible.	Defect detection of materials and parts at low to high magnification.	Magnifying power: x5 to x4 000
4. Polarising microscope	An optical microscope with a polarizer, which illuminates with a plane polarized light and where the rotation of the light can be analyzed. It is suitable for the observation of birefringence materials such as crystals and strained non-crystalline substances.	Characterization of polarized materials, crystals and composites.	Resolution: To the order of 1 μm
5. Laser microscope	An optical microscope whose light source is a laser beam. The laser beam scans the surface of the specimen with an AO (acoustic-optic) polarizer and a galvano-mirror. The reflected light from the specimen is captured by a CCD image sensor.	Three-dimensional image of the surface of a specimen, surface roughness analysis.	Resolution: To the order of 0,3 μm
6. Scanning electron microscope (SEM)	An electron microscope that provides the image of a secondary electron intensity emitted from the surface of the specimen. The image can be obtained by synchronizing the electron beam and the display equipment.	Surface analysis, including shape, surface roughness and composition.	Resolution: To the order of 0,3 μm to 0,7 μm

Observation method	Principle	Intended purpose	Detection limit
7. Transmission electron microscope (TEM)	An electron microscope that forms an image of the penetrated electrons with an electromagnetic lens by irradiating the accelerated electron beam to a specimen.	Elemental analysis characterization of crystal structure, substance identification.	Resolution: < 300 nm
8. Scanning probe microscope (SPM)	A group of microscopes that obtains an image of the surface using a probe that scans the specimen (f. ex. A scanning tunneling microscope). The relative position of the probe is controlled based on the force or potential between the probe and the specimen. Mapping images of surface structure, the values of physical properties can be obtained.	Microscopic surface observation, including surface roughness.	1 nm to 10 nm
9. Soft X-ray absorption/emission spectroscopy	X-ray spectroscopy with soft X-ray in ultra vacuum conditions that probes the partial occupied density of the electronic states of a material. X-ray spectroscopy observes the ejected electrons from the outermost atomic layers of the surface, and thus it can identify the elements, quantify the atomic concentrations, determine chemical bonding between elements in the layers. The X-ray absorption spectra are generally obtained by synchrotron radiation that generates tunable X-ray beams.	Non-destructive internal analysis of PCBs, including precipitation of metal components.	Resolution: < 100 nm
10. Atomic force microscope (AFM)	A scanning probe microscope which uses a micro scale cantilever with a sharp probe of which the radius of the curvature is in the nano meter order. The force between the probe and the specimen lead to a deflection of the cantilever. The forces measured in AFM are mechanical contact force, Van der Waals force, capillary force, chemical bonding, electrostatic force, magnetic force, etc.	Atomic level surface observation.	Resolution: Atomic order

6.3.4 Analysis methods

Table 19 shows the typical methods for the analysis of defects.

Table 19 – Various methods for defect analysis

Analysis method	Principle	Intended purpose	Measurement limit
1. Electron probe micro analyzer (EPMA)	A micro analysis system that irradiates a specimen with a focused (diameter < 1 micron) electron beam to detect the dispersed wavelength and intensity of a characteristic X-ray generated from the area where the electron beams reach (1 micron to 2 microns), with an X-ray spectrometer.	Qualitative and quantitative analysis of elements of the specimen surface.	Detectable elements: Br to U
2. Auger electron spectroscopy (AES)	A micro analysis system that irradiates the specimen with an electron beam to detect the Auger electron.	Element analysis of thin film below a few nanometers, in the depth direction.	Minimum contents: 0,1 %
3. X-ray photoelectron spectroscopy (XPS, ESCA)	A spectroscopy with X-ray irradiation that detects the kinetic energy of emitted photoelectrons.	Element analysis in the depth direction at a few nanometers below the surface, chemical bonding analysis.	Minimum contents: 0,1 %
4. Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)	A spectroscopy that measures the absorption or reflection of the infrared beam from a specimen. The spectrum is inherent to the independent substance, and it can identify the chemical structure of the unknown substance. The signal captured in the detector is transformed (Fourier transform) in a computer, to provide the infrared spectrum specific to the specimen.	Qualitative analysis of organic substances.	Minimum resolution: several tens of microns
5. Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX)	One of the X-ray spectroscopies that detects element-inherent X-rays emitted by the specimen due to electron beam irradiation. Quantitative measurement is possible by using standard materials for comparing the intensities.	Qualitative and quantitative micro analysis, area observation, line observation, and mapping images.	Detectable elements: Br to U

6.3.5 Defect observation and analysis

1) Observation of defects with an optical microscope

Figure 56 shows the migration (dendrite) induced for the conductor surface of a printed wiring board which did not have the solder resist coat on it. The observed image obtained by an optical microscope may not be the same due to difference in the illuminating light. The dark field observation can reveal a clearer image of a defect (Figure 56 b)) compared to observation in a bright field (Figure 56 a)) in the case where metal is precipitated on a specimen surface. Observation by transmitted light can give a better image in case there is not an appreciable colour difference and contrast between the precipitated metal and the

surface of the board (Figure 56 c)). The light source for the illumination may be selected from a halogen lamp, a xenon lamp, or a mercury lamp depending on the magnification of the observation, the material used, and the thickness of the specimen to be observed.

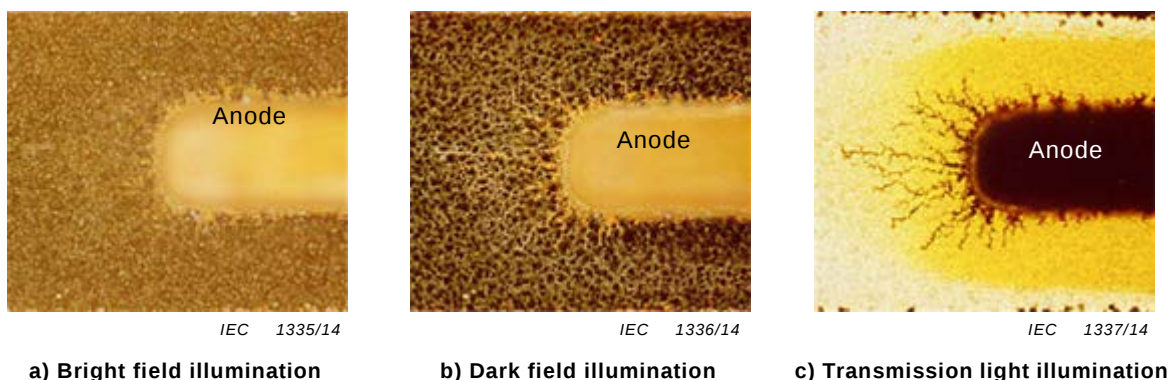


Figure 56 – Observed images of dendrite with different illumination methods (without solder resist)

2) Observation of defects with EPMA

Figure 57 shows the migration (dendrite) grown on the surface of a comb type electrode on an FR-4 board without solder resist tested under HAST. Photographs of the element mapping by EPMA of the dendrite induced are shown in Figure 57 d), e) and f). This analysis shows that the dendrite is precipitated at the protruded anchor part of the copper conductor on the surface (in the gap between the copper conductors).

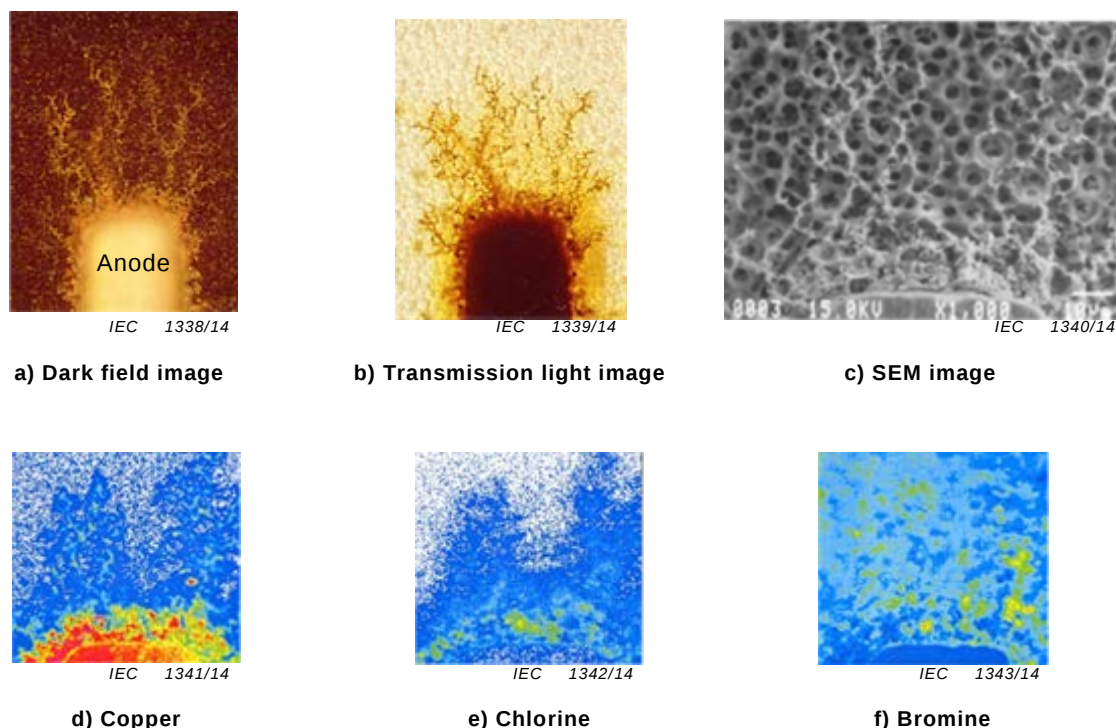
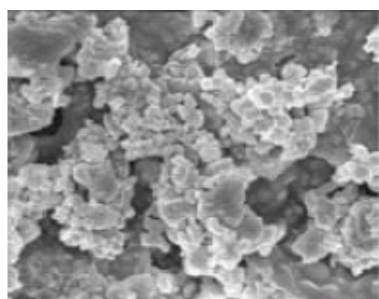


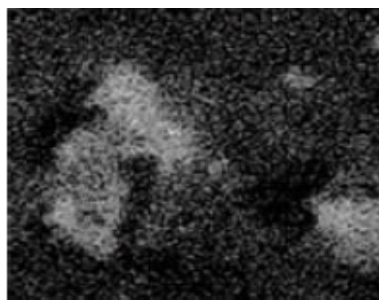
Figure 57 – EPMA analysis of migration (dendrite) on a comb type electrode

Figure 58 shows the region where migration was induced near the conductor under the solder resist of a specimen tested in HAST and the solder resist was removed for observation. The SEM observation shows the precipitation of copper in a swelling state.



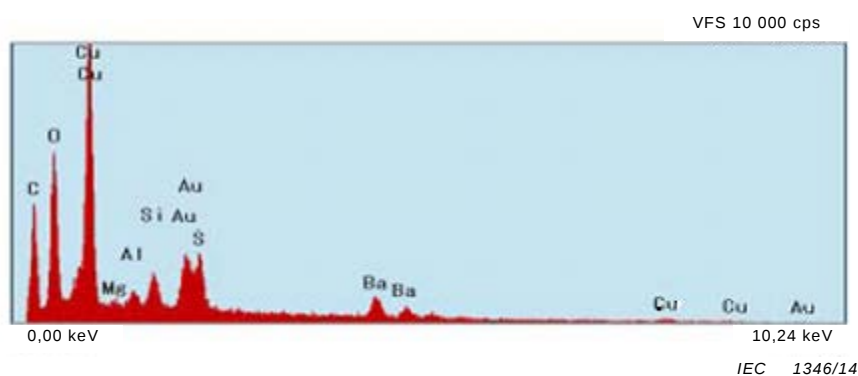
IEC 1344/14

a) SEM image



IEC 1345/14

b) Mapping image of copper



VFS 10 000 cps

0,00 keV

10,24 keV

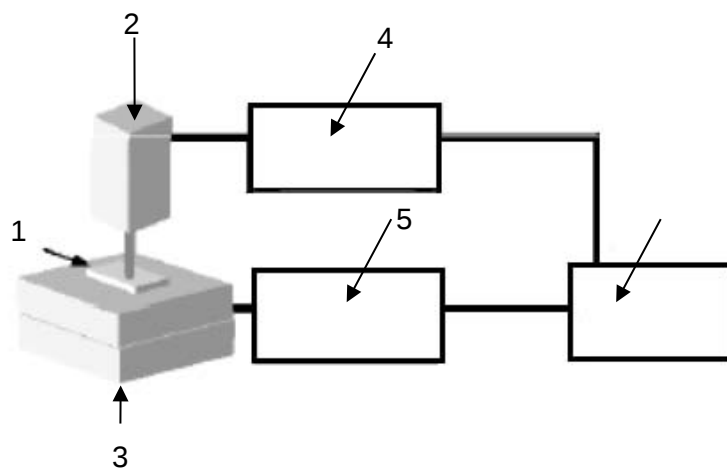
IEC 1346/14

c) Element analysis

Figure 58 – EPMA analysis of migration (dendrite) in the solder resist

3) Observation with AFM (atomic force microscope)

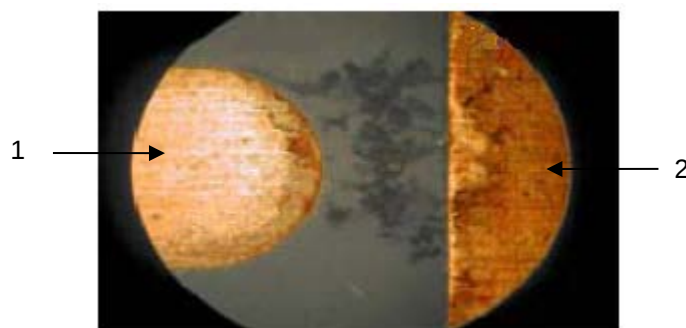
It is difficult to observe the 3D structure of a dendrite with an optical microscope or an electron microscope. Figure 61 shows an automatic measurement of the 3D structure of a dendrite using a 3D measuring system using a displacement meter by means of laser light focusing, as illustrated in Figure 59. Figure 60 shows the electrodes which the dendrite was generated.



IEC 1347/14

Key

- 1 Sample
- 2 Laser head
- 3 X-Y stage
- 4 Laser focus controller
- 5 X-Y stage controller
- 6 Computer

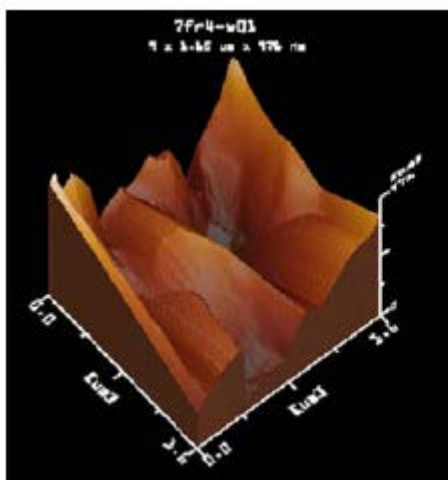
Figure 59 – 3D shape measuring system

IEC 1348/14

Key

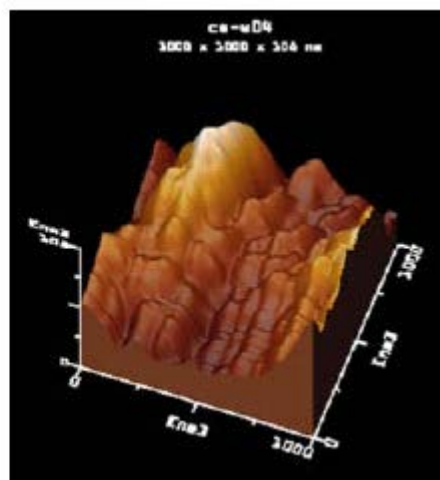
- 1 Anode
- 2 Cathode

Figure 60 – Electrodes which migration was generated



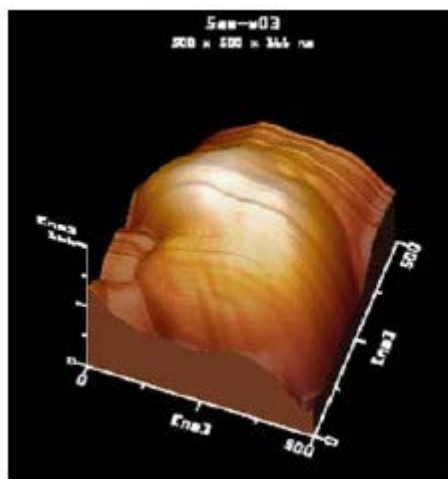
a) Anode before dendrite occurrence

IEC 1349/14



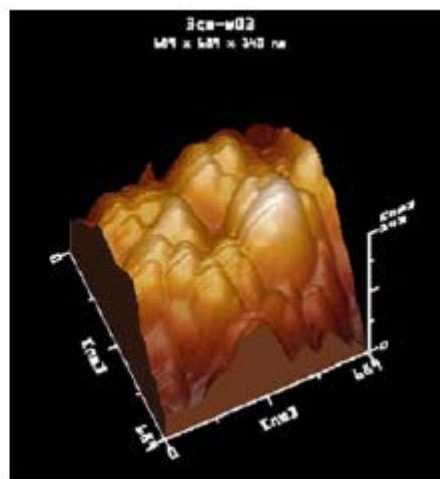
b) Cathode before dendrite occurrence

IEC 1350/14



c) Anode after dendrite occurrence

IEC 1351/14



d) Cathode after dendrite occurrence

IEC 1352/14

Figure 61 – 3D observation of electrodes before and after the test

It is possible to make a quantitative analysis of the amount of dissolution and precipitation of a metal electrode by knowing the 3D dimension of the electrodes. This analysis is also important in helping to know the changes of the electric field induced by the generation of a dendrite. Figure 62 shows the 3D observation of a dendrite.

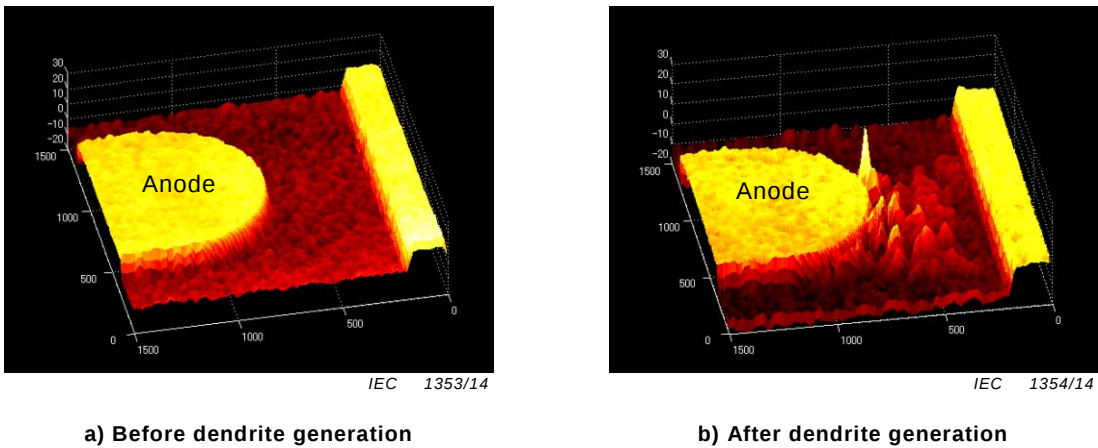


Figure 62 – 3D observation of dendrite

6.4 Special remarks on the migration phenomenon after the test

1) Specification of the board and criteria for evaluation

The effects of the arrangement of the conductor electrodes and shape are studied for a board made of glass cloth epoxy resin copper clad laminate and solder resist coated over the conductor with the structure shown in Table 20 tested under HAST with the conditions given in the table.

Table 20 – Board specification and test conditions

Items	Contents
Glass cloth epoxy resin copper clad laminate	FR-4/ T_g 120 °C to 130 °C (TMA method)
Solder mask	Low T_g type/ T_g :110 °C to 130 °C (TMA method)
Conductive pattern length	0,018 mm
Space between conductors	0,080 mm
Test conditions	HAST:130 °C,85 %RH,50 V/DC

2) Arrangement of conductor pattern and its shape

The effects of the arrangement of conductors and the shapes of the tip of a conductor for the following three cases were studied:

- a) The effect of the amount of overlap of the rectangular conductor pattern given in Table 21.
- b) The effect of the ratio of the area of two facing rectangular conductor patterns given in Table 22.
- c) The effect of the shape of the end points of the conductor patterns shown in Table 23.

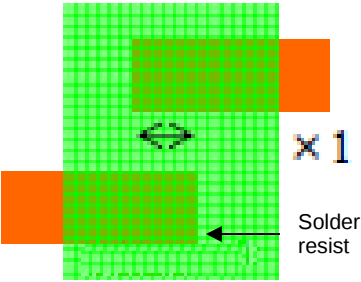
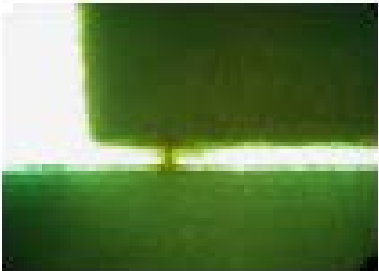
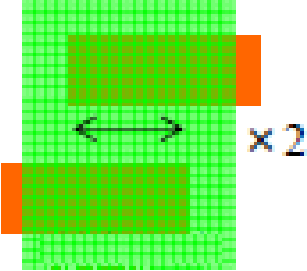
3) Evaluation

- a) Effect of the overlap length of the conductor pattern (see Table 21)
The time to failure was short for the conductor pattern with a larger overlap. There was no significant difference in the short circuit mode between the end part of the conductor and the main body of the conductor itself.
- b) Effect of the ratio of the areas of two facing rectangular conductor patterns (see Table 22)
There was a trend that the time to failure was short for a conductor pattern with a larger width. No significant difference in the short circuit mode was found. The current concentration at a narrower conductor could explain the test result.
- c) Effect of the shape of the end points of conductor patterns (see Table 23)

The time to failure is roughly in the order of the tip shape of the facing electrode of the conductor (round, flat, edged) for the flat end of a conductor. The time to failure for a pair of conductors of the same shape is roughly, i.e. the difference in the shape of the corner of the conductor: edged, flat, round. The area of the gap between electrodes, for example of the electric field concentration, may explain the difference.

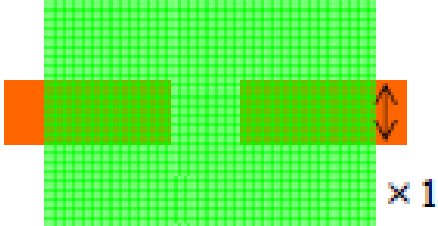
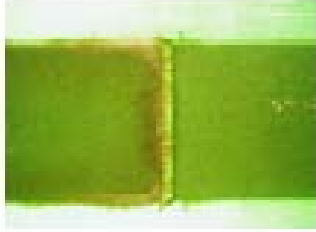
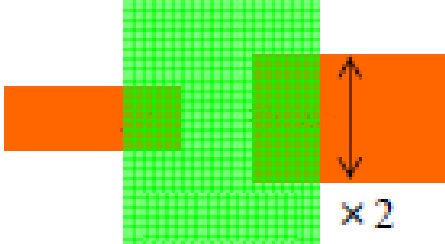
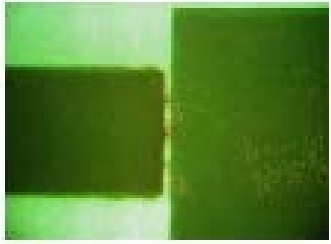
The shapes of electrodes and their arrangement can affect the time to failure. Care should be taken in deciding the electrode design.

Table 21 – Effect of the overlap of electrodes

Position and form	MTTF (h)	Failure mode
	373	
	250	

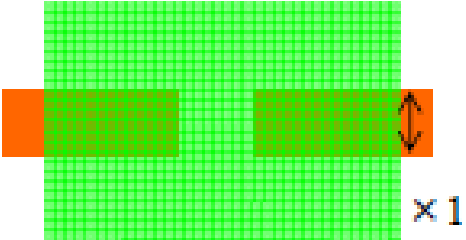
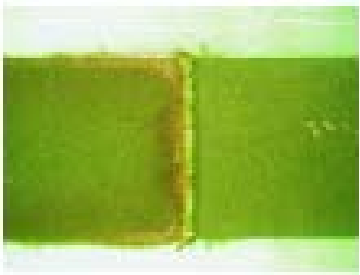
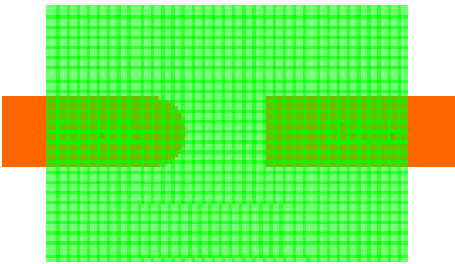
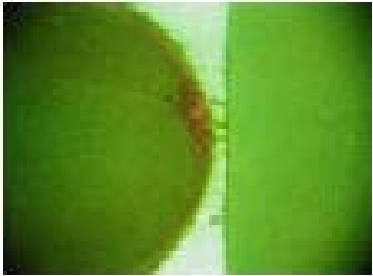
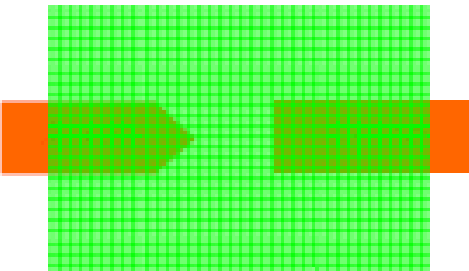
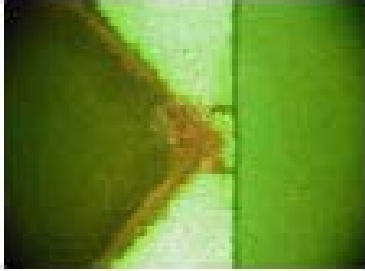
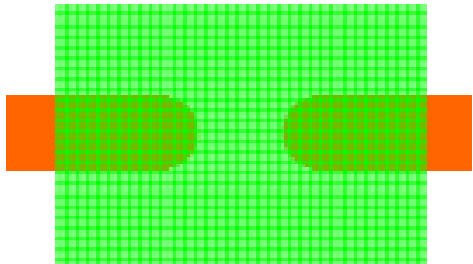
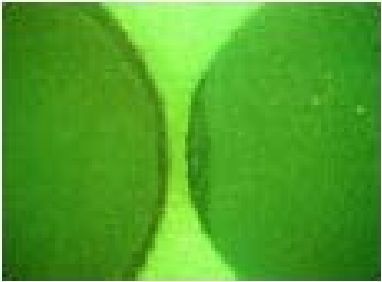
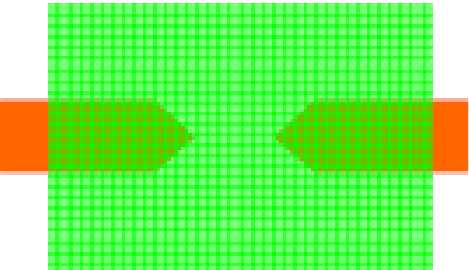
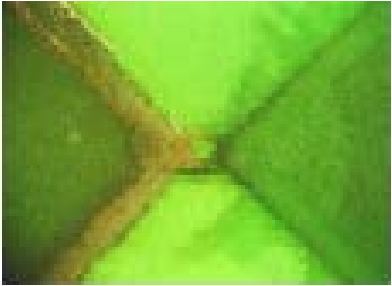
IEC 1355/14

Table 22 – Effect of the area of the conductor

Position and form	MTTF (h)	Failure mode
	432	
	197	

IEC 1356/14

Table 23 – Effect of the shape of the tip of the electrodes

Position and form	MTTF (h)	Failure mode
	432	
	484	
	257	
	450	
	590	
References: H. OKUMURA, T. TAKAHAGI, N. NAGAI and S. SHINGUBARA, <i>Depth Profile Analysis of Polyimide Film Treated by Potassium Hydroxide</i> , J.:Polym.:Sci.: Part B: Polym.:Phys.,41,:2071-2078:(2003) T. AWANO, T. ISHIKAWA,T., YOSHIMITSU and K. TAKAGI, <i>Insulation Reliability of Glass Cloth Material Based Copper Clad Laminates</i> , Printed Circuit World Convention, pp. 47-2-16, 1987 CHAO TANG, K. MITOBE and N. YOSHIMURA, <i>Ion-migration polarity and 3D shape evaluation in the WDT method</i> , IEE Japan Trans. Vol. 124-A, pp. 203-208, 2004.		

Annex A (informative)

Life evaluation

A.1 Voltage dependence of life

The voltage dependence of the voltage dependent life (t_V) shows good linear dependence when plotted on a log-log chart.

$$t_V = K_V V^{-n} \quad (\text{A.1})$$

K_V : constant.

This relation is applicable to the case the applied voltage is not constant but pulses. It is known that life in the applied strain and repeated cycle characteristics can also be in a linear relation when plotted on a log-log chart. The tangent of the line, n , is 1 to 2 in the case of degradation caused by migration, which is much smaller than the degradation caused by failures in the insulation defect at the rotation mechanism or by cables, where n is more than 5 or even in excess of 20. The tangent may differ by the applied voltage in the case of the rotation mechanism failure. This change of n means that the failure mechanism is different for the relevant n value regions. Degradation is not very significant in the case where voltage stress is low but it simply means that the stress condition is near the threshold value but the failure mechanism itself is the same.

A.2 Temperature dependence of life

The temperature dependence of the temperature dependent life, t_T , is expressed in the following equation.

$$t_T = K_T e^{E_a / KT} \quad (\text{A.2})$$

K_T : constant.

It is possible to obtain the activation energy E_a (eV) of the failure from the tangent of the line. The apparent activation energy is about 0,1 eV to 1 eV. If the gas constant ($R = 1,987 \text{ cal}(\text{mol-K})$) is used in the equation, the unit of activation energy is cal/mol.

A.3 Humidity dependence of life

A.3.1 General

It is not easy to understand the relation of humidity life t_H and humidity (H) as the experimental data is not well organized. This relation can be expressed as

$$t_H = K_H H^{-m} \quad (\text{A.3})$$

K_H : constant.

m is generally 3 to 6. The semi-log plot with a linear horizontal axis of humidity is expressed as

$$t_H = K_H \exp(-\lambda H) \quad (\text{A.4})$$

K_H : constant,

λ : failure rate.

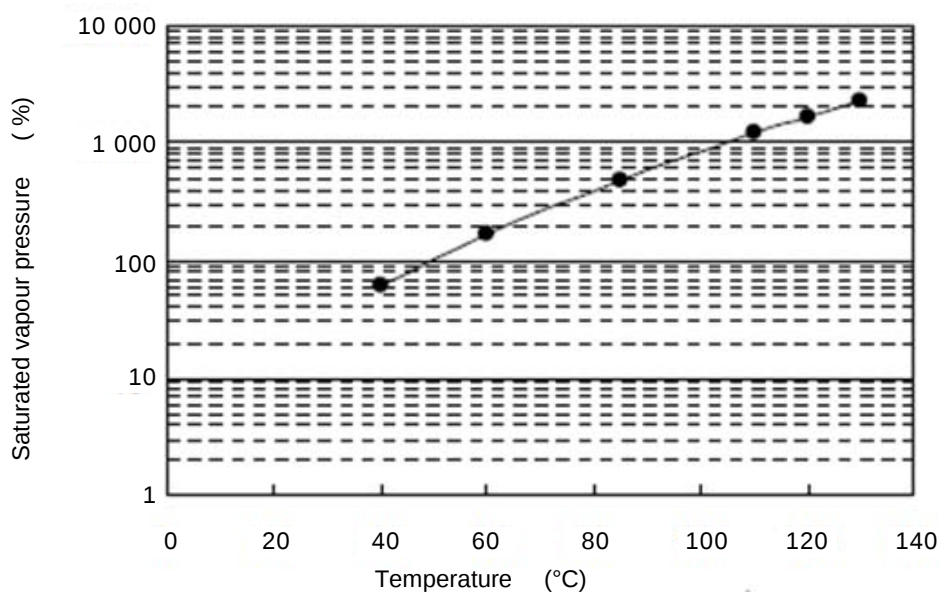
Now only data at a relatively high humidity range has been obtained but lifetime in the semi-log graph shows linearity to the humidity. By comparing the estimated lifetime at a low humidity, the estimated lifetime in a semi-log plot is slightly shortened as compared to a linear plot. Since the semi-log plot is evaluated the safety side of the estimated lifetime, in some cases the semi-log plot is adopted as the humidity dependence of life.

A.3.2 Relation between temperature (°C), relative humidity (%RH) and vapour pressure (hPa)

The relationship is shown in Table A.1 and Figure A.1.

Table A.1 – Vapour pressure at test temperature and relative humidity

Temperature/relative humidity	(Saturated) Vapour pressure (hPa)	Temperature/relative humidity	(Saturated) Vapour pressure (hPa)
40 °C/85 %RH	62,7	40 °C/90 %RH	66,4
60 °C/85 %RH	169,4	60 °C/90 %RH	179,4
85 °C/85 %RH	491,5	85 °C/90 %RH	520,4
110 °C/85 %RH	1 218	–	–
120 °C/85 %RH	1 687	–	–
130 °C/85 %RH	2 295	–	–



IEC 1358/14

Figure A.1 – Temperature and saturated vapour pressure

A.4 Acceleration test of life and acceleration factor

The life L in an accelerated life test is usually expressed as equation (A. 5) based on the Isling model.

$$L = t_V t_T t_H = KV^{-n} H^{-m} \exp(Ea/kT) \quad (\text{A.5})$$

The acceleration factor A_F for test conditions of voltage V , temperature T and humidity H compared to the actual field environment of applied voltage of V_0 , temperature T_0 and humidity H_0 is expressed in equation (A.6).

$$A_F = (V/V_0)^n (H/H_0)^m \exp \left\{ E_a / k \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \right\} \quad (\text{A.6})$$

A.5 Remarks

It should be noted that Equation (A.6) is valid only when the degradation mechanism is the same for the accelerated test and in the failures in the field. The life in an environmental test is very short, with a status where dew formation is observed on a part of specimen, comparative to life in actual use in the field where dew formation is not usually observed. When a test is made to evaluate life with a specimen which has electrodes on the surface and is not resin coated for surface protection, the test should be made by the dew cycle test especially when the effect of dew formation on life shortening is the purpose of the test.

There is a chance of short circuit if a foreign metal object is attached to a specimen, and the presence of a fibriform substance between electrodes may induce metal ion migration along the fibre of the substance. Regular voltage acceleration is not applicable in such a case.

There is a risk that the absorption of water vapour by the dust and a foreign substance on the surface of a specimen may result in partly high humidity condition and migration may be induced.

Annex B (informative)

Measurement of temperature-humidity

B.1 Measurement of temperature and humidity

B.1.1 General

It is important to use the same method used for monitoring the temperature and humidity in a test chamber for the check of the temperature and humidity. A most commonly used method is the use of a dry-and-wet bulb hygrometer. There are many other types of sensors in the market, however, the sensor to be used should be confirmed of the traceability with nationally approved standard meters. Systems and requirements imposed on hygrometers used in a steady-state temperature-humidity test chamber are stated below.

B.1.2 Commonly used temperature-humidity measurement systems and their merits

The dry-and-wet bulb hygrometer is usually used as it satisfies most of the requirements in the measurement. A platinum temperature sensing resistor (Pt 100 Ω), or a thermocouple T (copper-constantan) is usually used for the temperature detection as illustrated in Figure B.1. The problem with the use of a dry-and-wet bulb system is the necessity of supplying water to the wet bulb by means of a piece of cloth called wig. There may be the limitation of a long testing time due to the dirt attached to the wig suppressing the proper supply of water to the wet bulb. Various meters used in a steady-state temperature-humidity test chamber are listed in Table B.1.

B.1.3 Requirements for the humidity measurements in a steady-state temperature-humidity test chamber

- 1) Capability of measuring low to high ranges of both humidity and temperature.
- 2) Reliability of measurement of 95 % for reproducibility, drift, hysteresis and time variation, and of accuracy of several percentages for relative humidity.
- 3) Possibility of continuous measurement.
- 4) Possibility of conversion of data to electric signals for display, record, and computation and control.
- 5) Sensors should be small and should not affect the measuring environment.
- 6) Quick response to changes of environment in the chamber.
- 7) Low running cost and capability of long time measurement.
- 8) Easy maintenance or change of sensors.

B.2 Typical methods of temperature and humidity measurement

B.2.1 General

The most common measurement system uses the dry-and-wet bulb system and platinum temperature measurement resistors (Pt 100 Ω), or a thermocouple (copper-constantan). They are not expensive and can measure the ranges required for a test with the required accuracy.

B.2.2 Checking procedure for temperature measurement

Table B.1 – Merits of and remarks on various humidity measuring methods (applicable to steady state temperature-humidity tests)

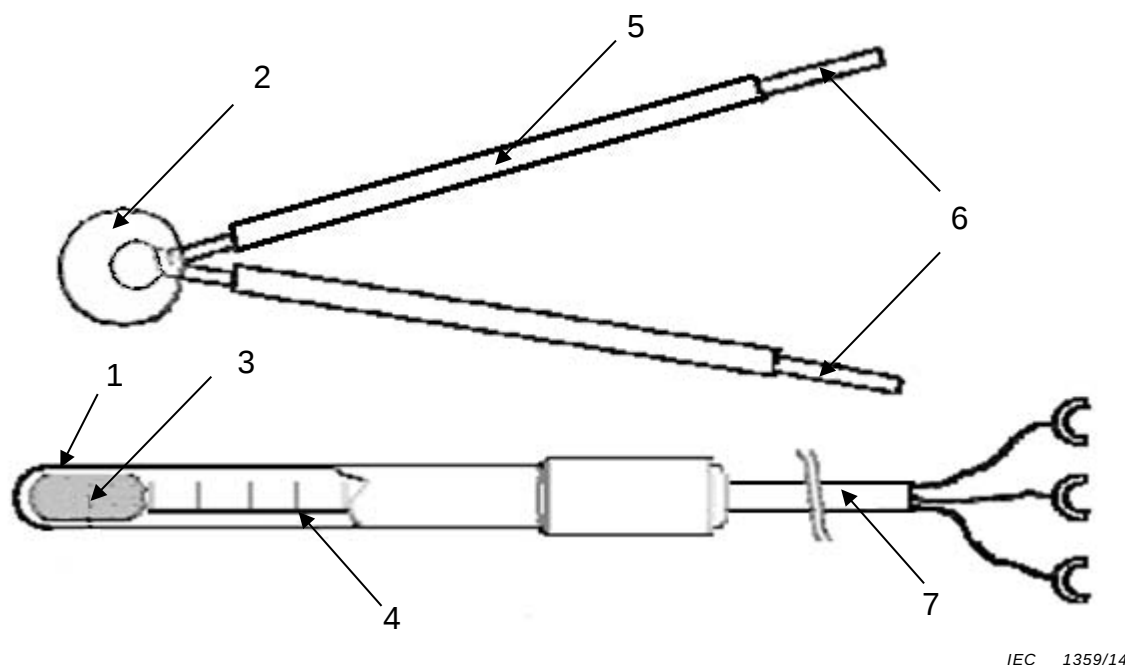
Humidity measurement method	Drawbacks and advantages
1. Psychomotor	Drawbacks: 1) Need for conversion function from measured wet-and-dry bulb temperature to relative humidity 2) Need for wick installation for wet bulb temperature detection 3) Need for automatic water supply to wick 4) Need for replacement through deterioration of water absorption ability 5) Affection to humidity value inside of chamber by wick water Advantages: 1) Inexpensive 2) Easy to use 3) Easy to revise
2. Dew point recorder	Drawbacks: 1) Costly and too large 2) Need for thermal insulation and calefaction on sampling routes 3) Need for conventional junction from dew-point to relative humidity 4) Need for cleaning of mirror surface area Advantages: 1) Wider measurement range (especially on low humid areas) 2) High accuracy
3. Capacitance humidity sensor	Drawbacks: 1) Need for regular revision to keep measurement accuracy 2) Characteristics drift by dirtiness 3) Slow recovery from condensation (need for filter installation) 4) Accidental error due to organic solvent Advantages: 1) High quality in response 2) High quality in linearity and stability 3) No water supply mechanism 4) Use available for high-humidity area 5) Compact size 6) Easy to control due to sequential measurement of temperature and humidity

- 1) Decide the requirement for the temperature measurement. First select the temperature range for the measurement. If not specified, the lower or upper limit temperature of the test equipment may be selected.
- 2) Take out all the specimens left in the test chamber.
- 3) Select the temperature sensors appropriate to the test chamber. Prepare the same sensors as used in the test chamber, generally speaking, a thermocouple sensor (copper-constantan) or a platinum resistor (Pt 100 Ω) for a low to medium temperature range, and a thermocouple (chromel-alumel) for a high temperature range ($> 200^{\circ}$). The accuracy of the sensor should be equal to or better than that used in the test chamber (response time of minimum of 10 s to maximum of 60 s). The tip of the sensor (chromel-alumel) should be of a diameter of 3 or 5 and of a wire diameter of 0,32 mm. The platinum resistor (Pt 100 Ω) is used for the three wire type with a protection tube.
- 4) Set at a proper position as shown in Figure 15 for more than four places in symmetric positions to the centre of the chamber. The wind velocity near the humidity sensor should be considered.

- 5) Connect the sensors to recorders which are calibrated.
- 6) Take a reading of the sensor(s) for a time of 30 min for every 1 min after the entire system reaches a stable state and calculate the temperature as illustrated in Figure B.1. Derive the average maximum temperature (humidity) and the average minimum temperature (humidity) relevant to the average temperature (humidity), and confirm the temperature is in the range of the temperature distribution the test equipment is designed for (re-calibrate if the temperature is not in the range the equipment is designed for).

B.2.3 Checking procedure for humidity measurement

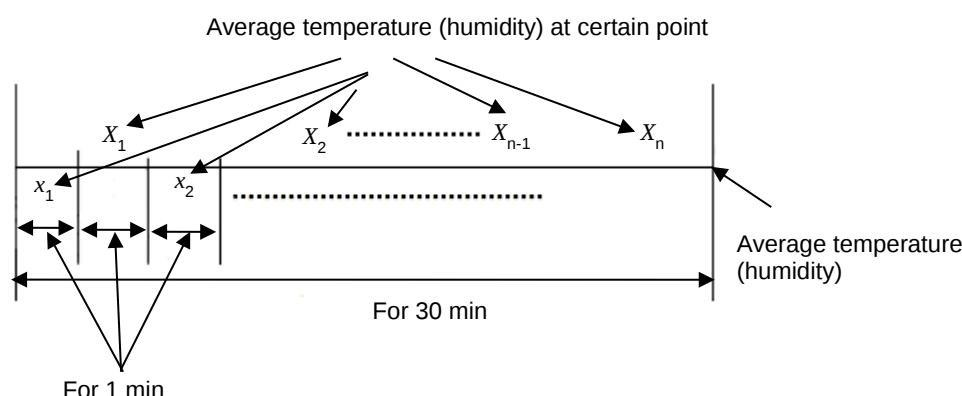
The basic procedure is the same as that for the temperature measurement. The dry-and-wet bulb method is used in many systems as the equipment is fairly well suited for the air-tight environment of a test chamber of not very large volume. (Most of these systems use the dry-and-wet bulb method.) It is possible to obtain the relative humidity using the relative humidity list with the dry-and-wet bulbs but it is necessary to select a proper method based on the air flow hitting the bulbs.



Key

- 1 Guard pipe (SUS304)
- 2 Brass ball
- 3 Temperature measuring element
- 4 Empty in case C
Filled with MgO in case D
- 5 Covering
- 6 Thermocouple wire
- 7 3-core lead wire

Figure B.1 – Specification of sensors used in the test and their shapes



IEC 1360/14

Figure B.2 – Calculation method of the average temperature (humidity), the average maximum temperature (humidity) and the average minimum temperature (humidity)

$X_1, X_2, \dots, X_n, x_1, x_2, \dots, x_m$ are the average temperature (humidity) at each measurement point. The average temperature (humidity) is the average of all measurement points. The average temperature (humidity):

$$(X_1 + X_2 + \dots + X_n + x_1 + x_2 + \dots + x_m) / (n + m) \quad (\text{B.1})$$

Where

$$n + m \leq 30.$$

$X_1, X_2, \dots, X_n$ are above the average temperature (humidity), and $x_1, x_2, \dots, x_m$ are beneath the average temperature (humidity). So the average maximum temperature (humidity) and the average minimum temperature (humidity) are:

The average maximum temperature (humidity) is:

$$(X_1 + X_2 + \dots + X_{n-1} + X_n) / n \quad (\text{B.2})$$

Where

n is the number of X .

The average minimum temperature (humidity) is:

$$(x_1 + x_2 + \dots + x_{m-1}) / m \quad (\text{B.3})$$

Where

m is the number of x .

B.2.4 Derivation of temperature in a chamber

The absolute humidity, D , is:

$$D = (H / 100) \{ 804 / (1 + 0,00366t) \} (e_s / p_0) \text{ [g/m}^3\text{]} \quad (\text{B.4})$$

where H is the relative humidity (RH %), t is the temperature ($^{\circ}\text{C}$), p_0 is the standard pressure (Pa), and e_s the saturated vapour pressure (Pa).

e_s is given as a numerical scheme in ISO 4677-1. The relative humidity and absolute humidity can be calculated from the above equation (B.4). The relative humidity should be calculated from the Splung equation given below (B.5) from the readings of the dry-and-wet bulbs of a hygrometer. This equation is also adopted in ISO 4677-1.

$$e = e'_s - A(P/755)(t - t') \quad (\text{B.5})$$

where t' is the temperature of wet bulb ($^{\circ}\text{C}$), e is the vapour pressure (Pa), e'_s is the saturated vapour pressure (Pa) at t' ($^{\circ}\text{C}$), P is the air pressure (Pa), and A is a factor ($A = 0,5$ when the wet bulb is not frozen and $A = 0,55$ when the bulb is frozen).

The relative humidity H can be obtained from the equation:

$$H = \frac{e}{e_s} \times 100 \quad [\%] \quad (\text{B.6})$$

An air flow of over 2,5 m/s to the wet bulb of a wet-and-dry bulb hygrometer is necessary to use equation (B.6). Another equation for a wet-and-dry bulb hygrometer is needed for calculation of the humidity in case such an air flow is not available. The Japan Association of Test Equipment has published the following Pelunter equation for this purpose in JTM K 01 .

$$e = e_W - \lambda P(1 + T_W/B)(T_D - T_W) \quad e = e_W - \lambda P \left(1 + \frac{T_W}{B}\right) (T_D - T_W) \quad [\text{Pa}] \quad (\text{B.7})$$

where e is the vapour pressure of the air in question (Pa), e_W is the saturated vapour pressure of the wet-bulb (Pa), T_D is the temperature of the dry bulb ($^{\circ}\text{C}$), T_W is the temperature of the wet bulb ($^{\circ}\text{C}$), and B and λ are constants (see Table B.2).

Table B.2 – Derivation of relative humidity from dry-and-wet bulb humidity meter

Wind speed around wet bulb (m/s)	Non frozen wet bulb		Frozen wet bulb	
	λ	B	λ	B
0 to 0,5	0,001 200	610	0,001 060	689
1 to 1,5	0,000 800	610	0,000 706	689
2,5 or over	0,000 656	610	0,000 579	689

B.2.5 Definition of relative humidity in HAST

Air can take in additional water vapour if the water vapour pressure is less than the saturated water vapour pressure up to the saturation. The ratio of the actual water vapour pressure to the saturated vapour pressure expressed in % is the relative humidity of the air in question. The relative humidity, ϕ , is expressed in the equation (B.8) with a water vapour partial pressure of P_W at temperature T and the saturation vapour pressure P_S at the same temperature T , as:

$$\Phi = \frac{P_W}{P_S} \times 100 \quad \phi = \frac{P_W}{P_S} \times 100 \quad (\%RH) \quad (\text{B.8})$$

Wet air may be considered as a mixture of dry air without any water vapour and of water vapour. The air pressure of the wet air, P , can be expressed from the law of Dalton (law of partial pressure) as the sum of both of the partial pressures of the dry air, P_a , and of the water vapour pressure, P_W , as

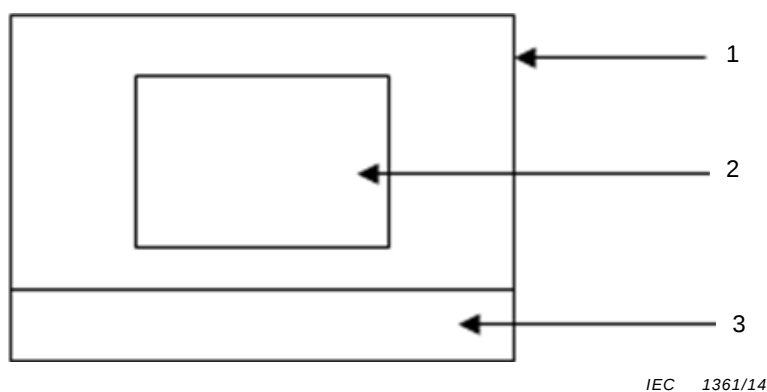
$$P = P_a + P_W \quad P = P_a + P_W \quad (\text{B.9})$$

Let the dry air of saturated air with $P_a = 0$, then

$$P = P_W = P_S \quad P = P_W = P_S \quad (\text{B.10})$$

A local region (the working space in Figure B.3) of a space of saturated air with temperature T , where it is further heated to T' , results in an unsaturated water vapour region. Let P'_S be the saturated water vapour pressure in this heated region and P_S the saturated water vapour pressure surrounding the heated region. Then the relative humidity, ϕ' , in a HAST environment is defined as

$$\phi' = \frac{P'_S}{P_S} \times 100 \quad \Phi' = \frac{P'_S}{P_S} \times 100 \quad (\%RH) \quad (\text{B.11})$$



Key

- 1 HAST chamber
Temperature in HAST chamber T
Saturated water vapour pressure in HAST chamber P_S
- 2 Working space
Temperature in test area T'
Saturated water vapour pressure in test area P'_S
- 3 Humidifying water

Figure B.3 – Relative humidity in a pressurized chamber

The direct measurement method of humidity in the environment used in HAST is not well established yet the test method is described in IEC 60068-2-66.

The relative humidity in this range is estimated from the indirect measurement of the temperature measurement and the dry-and-wet bulb method.

Bibliography

IEC 60068-1, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*

IEC 60068-2-2, *Environmental testing – Part 2-2: Tests – Test B: Dry heat*

IEC 60068-2-30, *Environmental testing – Part 2-30: Tests – Test Db: Damp heat, cyclic (12 h + 12 h cycle)*

IEC 60068-2-38, *Environmental testing – Part 2-38: Tests – Test Z/AD: Composite temperature/humidity cyclic test*

IEC 60068-2-66, *Environmental testing – Part 2: Test methods – Test Cx: Damp heat, steady state (unsaturated pressurized vapour)*

IEC 60068-2-67, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Cy: Damp heat, steady state, accelerated test primarily intended for components*

IEC 60068-2-78, *Environmental testing – Part 2-78: Tests – Test Cab: Damp heat, steady state*

IEC 60068-3-5, *Environmental testing – Part 3-5: Supporting documentation and guidance – Confirmation of the performance of temperature chambers*

IEC 60068-3-6, *Environmental testing – Part 3-6: Supporting documentation and guidance – Confirmation of the performance of temperature/humidity chambers*

IEC 60194, *Printed board design, manufacture and assembly – Terms and definitions*

IEC 60749-4, *Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods – Part 4: Damp heat, steady state, highly accelerated stress test (HAST)*

ISO 4677-1, *Atmospheres for conditioning and testing – Determination of relative humidity – Part 1: Aspirated psychrometer method*

ISO 9455 (all parts), *Soft soldering flux-Test methods*

ISO 9455-17, *Soft soldering flux-Test methods – Part 17: Surface insulation resistance comb test and electrochemical migration test of flux residues*

ANSI/ASQ Z1.4, *Sampling Procedures and Tables for Inspection by Attributes*

ANSI/ASQ Z1.9, *Sampling Procedures and Tables for Inspection by Variables for Percent Nonconforming*

ANSI J STD 004, *Requirements for Soldering Fluxes*

EIAJ ED-4701/100, *Environmental and endurance test methods for semiconductor devices*

EIAJ ED-4701/102, *Temperature and Humidity Bias test*

EIAJ D-4701/301, *Heat-proof test for Soldering*

IPC J-STD-004, *Requirements for Soldering Fluxes*

IPC-TM-650, *Test Methods Manual*, available at <<http://www.ipc.org/test-methods.aspx>>

IPC-TR-476A, *Electrochemical Migration: – Electrically induced Failures in Printed Wiring Assemblies*

IPC-9201A, *Surface Insulation Resistance Handbook*

IPC-SM-840, *Qualification and Performance Specification of Permanent Solder Mask*

JESD22-A101, *Steady State Temperature Humidity Bias Life Test*

JESD22-A102-C, *Accelerated moisture resistance – unbiased autoclave*

JESD22-A110, *Highly Accelerated Temperature and Humidity Stress Test (HAST),*

JESD22-A110-B, *Test Method A110-B: Highly-Accelerated Temperature and Humidity Stress Test (HAST)*

JESD22-A113, *Preconditioning of Nonhermetic Surface Mount Devices Prior to Reliability Testing*

JPCA BU 01, *Build up wiring board*

JPCA DG 02, *Performance Guide for Single-and Double sided Flexible printed wiring board*

JPCA ET 01, *Environmental test method for printed wiring board General*

JPCA ET 06, *Environmental test method for printed wiring board temperature and humidity cyclic test with low temperature*

JPCA ET 08, *Environmental test method for printed wiring board steady state high temperature and high humidity(unsaturated pressurized vapour) test*

JPCA ET 09, *Environmental test method for printed wiring board Dew cycle test*

JTM K 01, *Temperature and humidity chambers – Test and indication method for performance*

JTM K 07, *Temperature chambers – Test and indication method for performance*

MIL-HDBK-781A, *Handbook for reliability test methods, plans, and environments for engineering, development qualification, and production*

MIL-STD-690, *Failure Rate Sampling Plans and Procedures* UL 796, *Printed-Wiring Boards*

T. AWANO, T. ISHIKAWA, T. YOSHIMITSU, and K. TAKAGI, *Insulation reliability of glass cloth material based copper clad laminates*, Printed Circuit World Convention, pp.47-2-16,1987

P. J. BODDY, et al., *Accelerated life testing of flexible printed circuits*, IEEE 14th Ann. Proc. on Reliability Physics Symposium, pp. 108-117, 1976

The IEEE Computer Society, *CAF effect: challenges for fine pitch burn-in board design*, Bits 2003 Workshop, 3/2-5 2003.

G. T. KOHMAN, et al. *Silver migration in electrical insulation*, BSTJ 34 299, 1955

S. J. KRUMBEIN, *Tutorial: Electrolytic models for metallic electro migration failure mechanisms*, IEEE Transactions on Reliability, Vol.44, No.4, pp. 539-548, 1995

D. J. LANDO, J. P. MITCHELL and T. L. WELSHER, *Conductive anodic filaments in reinforced polymeric dielectrics: formation and prevention*, IEEE 17th Ann. Proc. on Reliability Physics Symposium, pp. 51-63, 1979

M. POURBAIX, *Atlas d'équilibres électrochimiques*, Gauthier-Villars et Cie éd., 1963

M. REID, J. PUNCH, B. ROGERS, M. POMEROY, T. GALKIN, T. STENBERG, O. RISANEN, E. ELONEN, M. VILEN, and K. VAEKEVAEINEN, *Factor that influence ion migration on printed wiring boards*, Ann. Proc. Int. Phys. Symp. Vol. 43, pp. 300 – 304 (2005)

H. YAMAGUCHI, K. YAMAMOTO, K. TAKAGI, and Y. UDOH, *Insulation behavior of polyimide multilayer printed wiring boards*, Printed Circuit World Convention M. Matsumoto, Technical Paper, 1984

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	97
INTRODUCTION.....	99
1 Domaine d'application	100
2 Migration électrochimique.....	100
2.1 Défaillance de fonctionnement des matériels électroniques et électriques.....	100
2.2 Changement de nom de la migration provoquant une dégradation d'isolement et nature de la dégradation.....	101
2.2.1 Histoire de la dénomination de la migration provoquant une dégradation d'isolement	101
2.2.2 Processus de dégradation par la migration	101
2.3 Tracés de création de migration	101
3 Conditions et éprouvettes d'essai	103
3.1 Méthodes d'essai types.....	103
3.2 Éprouvettes dans des essais de migration	104
3.2.1 Conception des éprouvettes d'essai.....	104
3.2.2 Spécifications et choix des matériaux des éprouvettes	109
3.2.3 Remarques relatives à la préparation des éprouvettes.....	110
3.2.4 Stockage des éprouvettes	110
3.2.5 Prétraitement de l'éprouvette (cuisson et nettoyage)	111
3.2.6 Soins à prendre pour manipuler les éprouvettes	112
3.3 Nombre requis d'éprouvettes dans un essai.....	112
3.3.1 Spécification donnée dans la JPCA ET 01	112
3.3.2 Considération relative au nombre d'éprouvettes dans un essai	113
3.3.3 Considération relative aux nombres d'éprouvettes pour différents buts d'évaluation pour un essai	113
4 Méthodes d'essai.....	114
4.1 Généralités	114
4.2 Essai continu de température et d'humidité et essai cyclique de température et d'humidité	114
4.2.1 But et grandes lignes de l'essai	114
4.2.2 Profil d'essai.....	115
4.2.3 Matériel d'essai	118
4.2.4 Remarques relatives aux essais	120
4.3 Essai de vapeur pressurisée non saturée ou essai HAST (Essai fortement accélééré de contrainte de température et d'humidité)	122
4.3.1 But et grandes lignes de l'essai	122
4.3.2 Profil de température-humidité-pression	123
4.3.3 Structure du matériel d'essai et remarques sur celui-ci	124
4.3.4 Remarques relatives à l'exécution de l'essai HAST	127
4.4 Essai de vapeur pressurisée et saturée	130
4.4.1 But et grandes lignes de l'essai	130
4.4.2 Profil d'essai.....	130
4.4.3 Remarques relatives à l'exécution de l'essai.....	130
4.5 Essai cyclique de rosée	131
4.5.1 But et grandes lignes de l'essai	131
4.5.2 Profil de température et d'humidité dans l'essai cyclique de rosée	131
4.5.3 Structure du matériel d'essai	132

4.5.4	Remarques relatives à la méthode d'essai	132
4.5.5	Exemple de migration du flux de soudure dans l'essai cyclique de rosée	135
4.6	Essais simplifiés de migration d'ions	137
4.6.1	Généralités	137
4.6.2	Méthode à la goutte d'eau déionisée	137
4.6.3	Méthode à la solution diluée	139
4.7	Éléments devant être notés dans les essais de migration	140
5	Essais électriques	143
5.1	Mesure de résistance d'isolement	143
5.1.1	Normes de mesure de résistance d'isolement	143
5.1.2	Méthode de mesure de résistance d'isolement	143
5.1.3	Remarques spéciales relatives à la mesure de résistance d'isolement	146
5.2	Mesure des caractéristiques diélectriques	149
5.2.1	Généralités	149
5.2.2	Caractéristiques diélectriques de la surface d'une carte	149
5.2.3	Migration et caractéristiques diélectriques de la surface d'une carte à circuit imprimée	150
5.2.4	Évaluation de la migration par mesure d'impédance en courant alternatif c.a.	153
6	Évaluation des défaillances et analyse	154
6.1	Critères pour les défaillances	154
6.2	Analyse des données	155
6.2.1	Analyse des données expérimentales	155
6.2.2	Relation des paramètres dans les données expérimentales et exemple d'analyse	157
6.2.3	Distribution de l'intensité de champ électrique	158
6.3	Analyse d'éprouvette avec une défaillance, méthodes d'analyse et étude de cas	160
6.3.1	Généralités	160
6.3.2	Section transversale	160
6.3.3	Observation optique	164
6.3.4	Méthodes d'analyse	166
6.3.5	Observation et analyse de défauts	166
6.4	Remarques spéciales relatives au phénomène de migration après l'essai	171
Annexe A (informative)	Évaluation de la durée de vie	175
A.1	Dépendance de la durée de vie vis-à-vis de la tension	175
A.2	Dépendance de la durée de vie vis-à-vis de la température	175
A.3	Dépendance de la durée de vie vis-à-vis de l'humidité	175
A.3.1	Généralités	175
A.3.2	Relation entre température (°C), humidité relative (% HR) et pression de vapeur (hPa)	176
A.4	Essai d'accélération de la durée de vie et facteur d'accélération	177
A.5	Remarques	177
Annexe B (informative)	Mesure de température et d'humidité	178
B.1	Mesure de température et d'humidité	178
B.1.1	Généralités	178
B.1.2	Systèmes de mesure de la température et de l'humidité communément utilisés et leurs mérites	178
B.1.3	Exigences relatives aux mesures de l'humidité dans une chambre d'essai continu de température et d'humidité	178

B.2	Méthodes types de mesure de la température et de l'humidité	178
B.2.1	Généralités	178
B.2.2	Procédure de vérification pour la mesure de la température	179
B.2.3	Procédure de vérification pour la mesure de l'humidité	180
B.2.4	Dérivation de la température dans une chambre	182
B.2.5	Définition de l'humidité relative dans l'essai HAST	183
	Bibliographie.....	185
	Figure 1 – Principales causes de la dégradation d'isolement dans les matériels électroniques	100
	Figure 2 – Tracés de production de la migration	102
	Figure 3 – Tracé en peigne de base.....	104
	Figure 4 – Tracé fin de type peigne.....	105
	Figure 5 – Tracé du type peigne du Groupe ECM (mm).....	106
	Figure 6 – Tracé en peigne pour la résistance d'isolement d'une carte souple à circuit imprimé.....	106
	Figure 7 – Tracé d'évaluation de l'isolement pour les trous débouchants et les trous d'interconnexion.....	107
	Figure 8 – Détails du tracé d'évaluation d'isolement de la Figure 7 (coupe de 4 et 5).....	108
	Figure 9 – Tracé d'essai du groupe d'étude de la migration.....	108
	Figure 10 – Profil recommandé d'augmentation de la température et de l'humidité.....	115
	Figure 11 – Profil cyclique d'humidité (12 h+ 12 h).....	116
	Figure 12 – Profils d'essai cyclique de température et d'humidité combinées	117
	Figure 13 – Structure du matériel pour l'essai continu de température et d'humidité	118
	Figure 14 – Disposition des éprouvettes et flux d'air dans la chambre d'essai	120
	Figure 15 – Espace efficace dans une chambre d'essai	122
	Figure 16 – Profil d'essai HAST	124
	Figure 17 – Deux types de matériel d'essai HAST et leurs structures.....	125
	Figure 18 – Différence de durée de défaillance dans différents laboratoires d'essais	126
	Figure 19 – Différence de couleur de la surface des éprouvettes dans différents laboratoires (130 °C/85 %HR/50 V c.c.)	127
	Figure 20 – Résistance et résistance à la traction des câbles utilisés dans l'essai HAST (130 °C 85 % HR)	128
	Figure 21 – Différence entre la commande dans des conditions de non-saturation et de saturation du matériel PCT (humidité relative et durée moyenne de défaillance)	131
	Figure 22 – Profil de température et d'humidité de l'essai cyclique de rosée	132
	Figure 23 – Structure du matériel d'essai de rosée	133
	Figure 24 – Température de formation de rosée et taille de rosée.....	134
	Figure 25 – Surface de la carte dans la meilleure condition de formation de rosée	135
	Figure 26 – État de la surface avant l'essai.....	136
	Figure 27 – État de la surface après 27 h.....	136
	Figure 28 – Image MEB de la surface de l'éprouvette après l'essai	137
	Figure 29 – Analyse élémentaire de la surface après l'essai	137
	Figure 30 – Schéma de circuit de l'essai à la goutte d'eau	138
	Figure 31 – Migration générée dans l'essai à la goutte d'eau	138
	Figure 32 – Méthode d'essai d'électroérosion utilisant la solution diluée	139

Figure 33 – Courant et concentration de la solution électrolytique.....	140
Figure 34 – Formation de précipité sur une éprouvette et son analyse élémentaire.....	140
Figure 35 – Exemple de mesure de résistance d'isolement à l'extérieur de la chambre	144
Figure 36 – Schéma de circuit de la mesure de résistance d'isolement	145
Figure 37 – Exemples de caractéristiques de courant de fuite	146
Figure 38 – Variation de la résistance d'isolement en fonction de la durée de charge des cartes montées sur des condensateurs	147
Figure 39 – Comparaison des mesures de la résistance d'isolement à l'intérieur et à l'extérieur d'une chambre d'essai	147
Figure 40 – Humidité relative et résistance d'isolement.....	148
Figure 41 – Effet de l'interruption de la mesure sur la résistance d'isolement (variation de la résistance d'isolement avec la durée de séjour dans l'environnement atmosphérique).....	149
Figure 42 – Réponse en fréquence des caractéristiques diélectriques de la carte à circuit imprimé	151
Figure 43 – Réponse en température des caractéristiques diélectriques de la carte à circuit imprimé	151
Figure 44 – Variations de la capacité statique et de $\tan \delta$ d'une éprouvette pendant un essai de détérioration	152
Figure 45 – Procédure d'essai pour un essai de caractéristiques diélectriques	153
Figure 46 – Comparaison des caractéristiques diélectriques de deux types de flux	153
Figure 47 – Principe de mesure de SIE (Système d'isolation électrique)	154
Figure 48 – Placage d'or (Au), non-nettoyage	154
Figure 49 – Courbe en baignoire.....	155
Figure 50 – Relation entre la variation de la résistance d'isolement et les variations de poids par absorption d'eau.....	158
Figure 51 – Distribution du champ électrique entre une ligne et un plan.....	159
Figure 52 – Distribution du champ électrique entre de lignes	159
Figure 53 – Différentes observations de la même dendrite selon différents plans de coupe de section transversale.....	160
Figure 54 – Exemple de rodage oblique à l'abrasif.....	162
Figure 55 – Analyse de structure d'un masque de soudure rodée obliquement à l'abrasif dans le sens de la profondeur	163
Figure 56 – Images de dendrite observées par différentes méthodes d'éclairage (sans masque de soudure)	167
Figure 57 – Analyse par EPMA de la migration (dendrite) sur une électrode du type peigne	167
Figure 58 – Analyse par EPMA de la migration (dendrite) dans le masque de soudure	168
Figure 59 – Système de mesure 3D	169
Figure 60 – Électrodes sur lesquelles la migration a été créée.....	169
Figure 61 – Observation 3D des électrodes avant et après l'essai.....	170
Figure 62 – Observation 3D d'une dendrite	171
Figure A.1 – Température et pression de vapeur saturée	176
Figure B.1 – Spécification des capteurs utilisés dans l'essai et leurs formes	181
Figure B.2 – Méthode de calcul de la température (l'humidité) moyenne, de la température (l'humidité) maximale moyenne et de la température (l'humidité) minimale moyenne.....	181

Figure B.3 – Humidité relative dans une chambre pressurisée	184
Tableau 1 – Normes pour les essais de migration	103
Tableau 2 – Tracé normalisé de type peigne (basé sur l'IPC-SM-840)	105
Tableau 3 – Tracé fin de type peigne (basé sur la JPCA BU 01)	105
Tableau 4 – Dimension du tracé d'évaluation d'isolement pour les trous débouchants	108
Tableau 5 – Prétraitement de surface pour carte à circuit imprimé	112
Tableau 6 – Nombre d'éprouvettes (JPCA ET 01)	113
Tableau 7 – Nombre approché des éprouvettes requises en fonction du but de l'essai.....	113
Tableau 8 – Concentration des impuretés ioniques d'une mèche (10^{-6})	120
Tableau 9 – Matériaux de couverture d'isolation pour les câbles dans une application de tension électrique.....	128
Tableau 10 – Condition d'essai cyclique de rosée	132
Tableau 11 – Condition de formation de rosée et taille de la rosée	135
Tableau 12 – Condition d'essai cyclique de rosée	136
Tableau 13 – Qualité de l'eau pour l'essai.....	141
Tableau 14 – Variation de la qualité de l'eau dans l'essai continu de température et d'humidité (10^{-6})	141
Tableau 15 – Impuretés ioniques dans les câbles d'application de tension (10^{-6}).....	142
Tableau 16 – Normes de mesure de résistance d'isolement.....	143
Tableau 17 – Critères de défaillance de migration par résistance d'isolement	155
Tableau 18 – Diverses méthodes d'observation optique des défaillances.....	164
Tableau 19 – Diverses méthodes d'analyse de défauts	166
Tableau 20 – Spécification de la carte et conditions d'essai.....	171
Tableau 21 – Effet du chevauchement des électrodes.....	172
Tableau 22 – Effet de l'aire du conducteur	173
Tableau 23 – Effet de la forme du bout des électrodes.....	174
Tableau A.1 – Pression de vapeur à la température et à l'humidité relative de l'essai	176
Tableau B.1 – Mérites et remarques relatives aux diverses méthodes de mesure de l'humidité (applicables aux essais continus de température et d'humidité)	179
Tableau B.2 – Dérivation de l'humidité relative à partir d'un hygromètre à bulbes sec et humide.....	183

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MIGRATION ÉLECTROCHIMIQUE DANS LES CARTES A CIRCUITS
IMPRIMÉS ET ASSEMBLAGES – MÉCANISMES ET ESSAIS**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La tâche principale des comités d'études de l'IEC est l'élaboration des Normes internationales. Toutefois, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique lorsqu'il a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

L'IEC/TR 62866, qui est un rapport technique, a été établie par le comité d'études 91 de l'IEC: Techniques d'assemblage des composants électroniques.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
91/1102/DTR	91/1128/RVC

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de ce rapport technique.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IMPORTANT – Le logo "*colour inside*" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

De nos jours, les produits électroniques comprenant des composants sont conçus pour satisfaire aux demandes de miniaturisation, de fonctionnalité élevée et de produits respectant l'environnement. Différents types de dégradation se produisent dans les produits électroniques utilisés dans le domaine. Des mesures appropriées sont requises pour atténuer une telle dégradation du point de vue de l'assurance de la fiabilité. Une étude a été menée pour développer la compréhension du phénomène et a proposé des méthodes d'essai pour la migration électrochimique en vue de supprimer la migration dans les produits utilisés sur le terrain.

Ce Rapport technique est relatif à la migration électrochimique comprenant le filament anodique conducteur (CAF (conductive anodic filament)). Spécifiquement, il se présente comme suit:

- Non seulement l'essai continu d'humidité et de température, mais aussi l'essai cyclique d'humidité et de température, l'essai de vapeur pressurisée non saturée, l'essai de pression de vapeur pressurisée saturée, l'essai cyclique de condensation de rosée et l'essai à la goutte d'eau sont expliqués pour l'essai préliminaire.
- Pour ce qui concerne la méthode de mesure de la résistance d'isolement, des explications sont données non seulement pour la mesure manuelle, mais aussi pour une mesure automatique, une méthode relative aux caractéristiques diélectriques et une méthode relative à l'impédance en courant alternatif (c.a.). En outre, la différence entre la mesure pendant que l'éprouvette est maintenue dans l'environnement d'essai et pas extraite de la chambre pour la mesure et la mesure de la résistance d'une éprouvette pendant qu'elle est extraite de la chambre d'essai ainsi que le mérite d'une mesure automatique sont également décrits.
- Le matériel utilisé pour l'analyse, la méthode d'observation de pièce défaillante et les exemples qui sont utilisés pour l'analyse sont expliqués.

Ce Rapport technique génère un certain nombre d'avantages pour l'utilisateur:

Utilité	l'utilisateur peut examiner l'essai de migration électrochimique en un court laps de temps, et peut l'utiliser comme un indicateur de l'analyse exacte.
Choix de la méthode d'essai	la comparaison des conditions d'essai devient facile, car l'utilisateur trouve clairement la méthode d'essai qui répond à la condition d'exploitation du matériel ou à l'objectif. En comparaison à la résistance de mesure d'une éprouvette pendant qu'elle est extraite de la chambre d'essai après retour de la chambre d'essai aux conditions atmosphériques normalisées, la mesure dans la chambre d'essai par mesure automatique ne subit pas le changement environnemental d'une éprouvette au moment de la mesure et, puisqu'il peut effectuer la mesure en continu, le changement de résistance et la durée de défaillance peuvent être correctement appréhendés.
Évitement des problèmes	en observant la notice relative à l'essai, l'utilisateur peut éviter les problèmes et exécuter l'essai et l'analyse de manière efficace.

MIGRATION ÉLECTROCHIMIQUE DANS LES CARTES A CIRCUITS IMPRIMÉS ET ASSEMBLAGES – MÉCANISMES ET ESSAIS

1 Domaine d'application

Le présent Rapport technique décrit dans le détail l'histoire de la dégradation des cartes à circuits imprimés provoquée par la migration électrochimique, la méthode de mesure, l'observation de la défaillance et les remarques relatives aux essais.

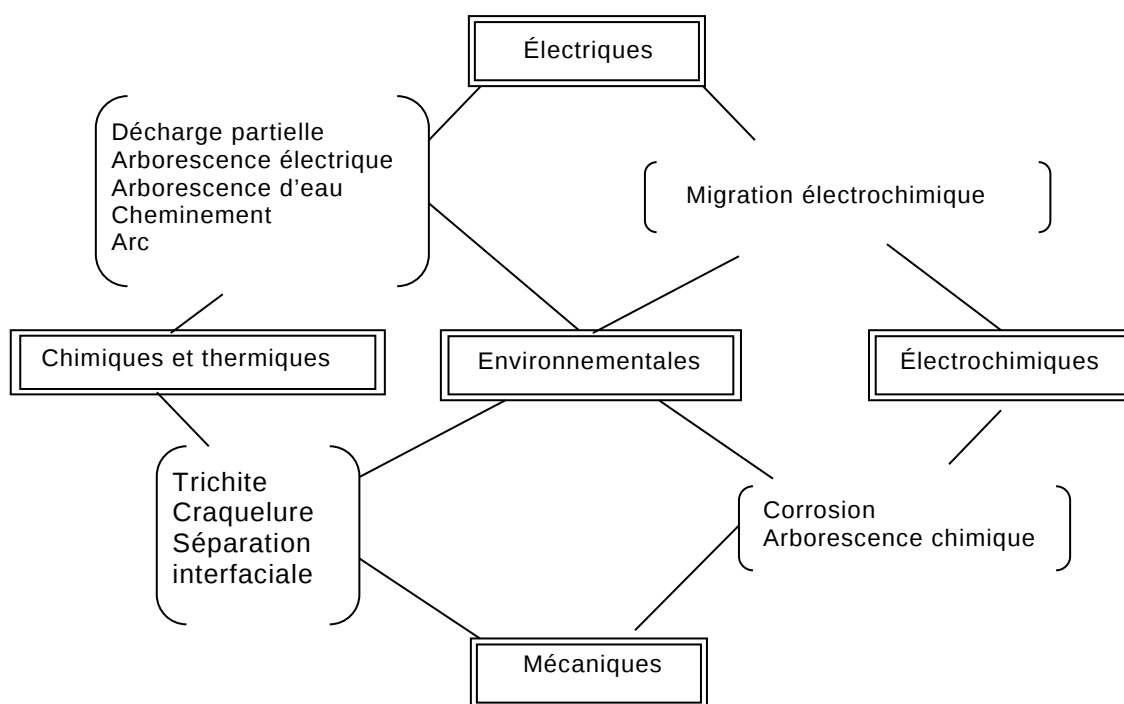
2 Migration électrochimique

NOTE La migration électronique est parfois appelée "migration d'ion". Dans le présent Rapport technique, la migration électrochimique/migration d'ion sera appelée "migration".

2.1 Défaillance de fonctionnement des matériels électroniques et électriques

Il est notoire que des défaillances dues à divers phénomènes de dégradation se créent dans les produits électriques et électroniques au cours de leur utilisation sur le terrain. Les causes de ces défaillances sont classées à la Figure 1. Les causes peuvent être classées comme ayant une origine électrique, thermique, mécanique ou électrochimique. Elles sont entrelacées les unes avec les autres. L'environnement dans lequel est utilisé le matériel a aussi une influence sur l'établissement des défaillances.

La croissance d'un filament électriquement conducteur due à la migration met en court-circuit deux conducteurs lorsqu'une tension de polarisation est appliquée entre eux et conduit à un mauvais fonctionnement du matériel.



IEC 1272/14

Figure 1 – Principales causes de la dégradation d'isolement dans les matériaux électroniques

2.2 Changement de nom de la migration provoquant une dégradation d'isolement et nature de la dégradation

2.2.1 Histoire de la dénomination de la migration provoquant une dégradation d'isolement

La migration provoquant une défaillance d'isolement avait été appelée "migration d'ion" au Japon. Un changement de la définition du phénomène a conduit à un changement du nom en "migration électrochimique", mais le nom de "migration d'ion" est parfois encore utilisé. La description ci-après est l'historique du changement de nom.

Le premier rapport relatif à une défaillance d'isolement a été produit en 1955, la défaillance provoquée par la migration des atomes d'argent y étant rapporté et le phénomène appelé "migration d'argenté". Il a également été constaté que d'autres atomes métalliques, y compris Pb et Cu, provoquaient de semblables défaillances d'isolement et, de ce fait, le phénomène a été appelé "migration de métal". Le terme "électromigration" a été utilisé comme terme général pour le phénomène, et est utilisé pendant longtemps dans la méthode d'essai de l'IPC, à savoir l'IPC-TM-650:1987, 2.6.14A.

Il avait été constaté depuis la dernière moitié des années 1960 que les défaillances d'interconnexion dans des dispositifs à semi-conducteurs étaient des problèmes sérieux, car le courant circulant à travers un conducteur augmentait considérablement. Ce phénomène a également été appelé "électromigration". L'ouverture d'un conducteur était provoquée par le mouvement des atomes métalliques en raison d'une densité de courant accrue, ce qui avait produit des couches denses et éparses au sein du conducteur et avait conduit à une rupture du conducteur.

L'IPC changea le nom du phénomène en "migration électrochimique" dans son Rapport technique IPC-TR-467A et mit au point une nouvelle méthode d'essai, IPC-TM-650:2000, 2.6.14C, que l'ISO adopta comme norme ISO 9455-17. L'IEC 60194 qui fournit les termes et définitions pour la conception, la fabrication et l'assemblage de cartes à circuit utilise toujours le terme "électromigration". Toutefois, le nom devrait être changé dans un futur proche.

NOTE L'IPC-9201A utilise et définit tant l'électromigration (EMg) que la migration électrochimique (ECMg).

Références: 1) KOHMAN G. T., et al. *Silver migration in electrical insulation*, BSTJ 34 299, 1955

2) POURBAIX, M., *Atlas d'Equilibres Electrochimiques*, Gauthier-Villars et Cie ed., 1963

2.2.2 Processus de dégradation par la migration

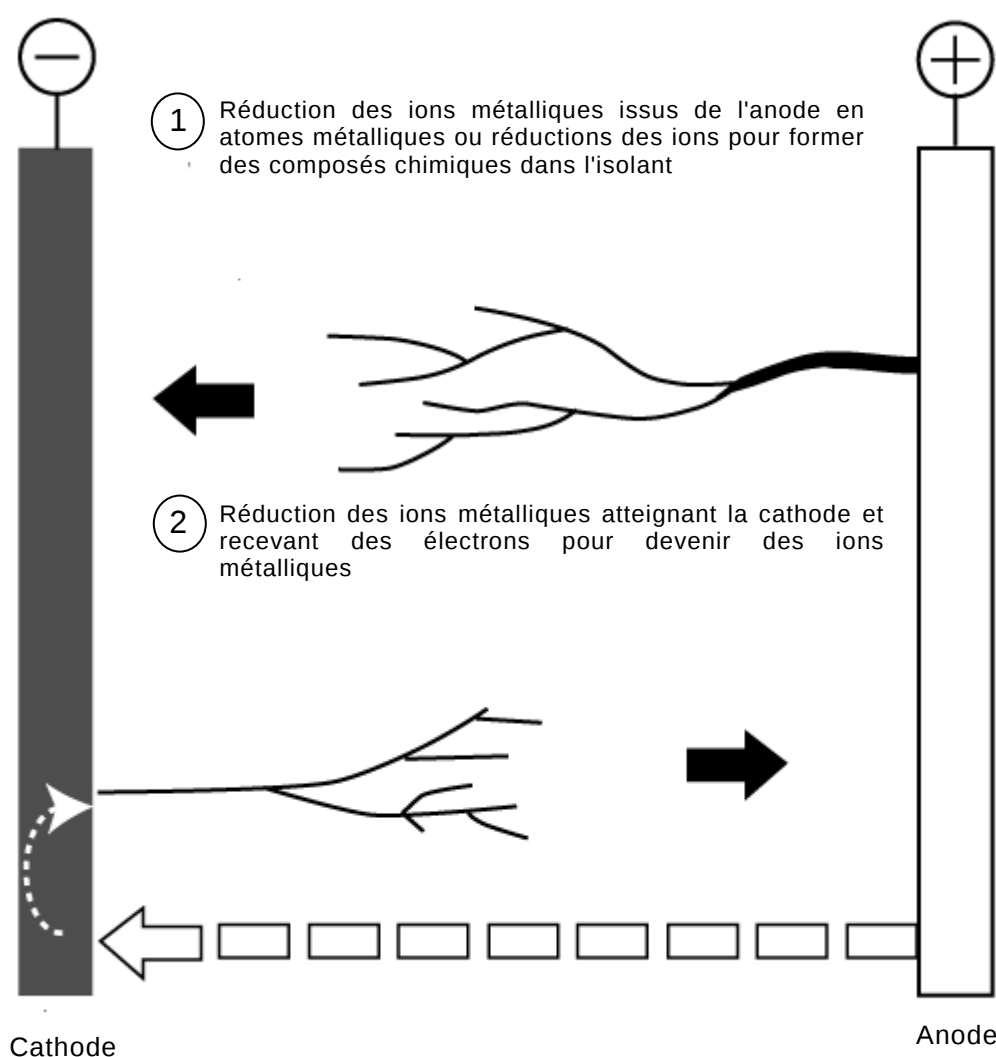
Une bonne isolation entre les électrodes peut être maintenue dans l'application de la tension continue (c.c.) entre les électrodes sur une carte à circuit imprimé des matériels électroniques, tant que les électrodes sont isolées par un matériau isolant ayant une résistivité élevée. Si le matériau isolant absorbe l'humidité et la résistance d'isolement diminue, les contaminants ioniques résiduels dans le matériau isolant ou les ions dans l'humidité absorbée deviendront actifs et les atomes de métaux dans le matériau seront ionisés. Des ions de métaux provenant des électrodes métalliques, soit une anode, soit une cathode, se dissolvent dans l'électrolyte humidifié. Les ions sont transférés à travers l'électrolyte par la force du champ électrique. Les ions métalliques (migration) se déplacent vers une électrode et donnent des dendrites. Les dendrites pontent l'électrode conductrice voisine. La création de la migration (électrochimique) est décrite en 2.3.

2.3 Tracés de création de migration

La migration commence dans l'anode par la dissolution sous forme d'ions métalliques par une réaction électrochimique. Ce phénomène comporte deux cas (voir Figure 2). Dans le premier cas, la réduction des ions en atomes métalliques ou en molécules de composés chimiques se produit quelque part entre les électrodes. Dans le second cas, la réduction des ions métalliques se produit lorsque les ions atteignent la cathode.

Le premier cas est observé lorsque le matériau isolant maintient encore une résistance élevée de l'ordre de $10^8 \Omega$ ou plus. Le second cas est souvent observé dans l'essai fortement accéléré de contrainte de température et d'humidité (HAST), dans lequel la résistance d'isolement est réduite par la présence de rosée, de masque de soudure ou de couche de couverture sur la surface de l'isolant.

La différence dans ces deux cas de migration semble être due à la différence de degré de facilité avec lequel les ions métalliques se déplacent. Le second type de migration devient dominant lorsqu'il se produit une diminution de résistance apparente et les ions métalliques peuvent se déplacer plus facilement que dans le premier cas, alors que le premier type est dominant lorsque les ions métalliques se dissolvent de l'anode, mais ne peuvent pas se déplacer facilement dans l'isolant. Le changement d'un mécanisme de migration à l'autre n'est pas un phénomène indépendant, mais il est simplement dû à la différence de résistivité d'isolement du matériau électrolytique entre les électrodes.



IEC 1273/14

Figure 2 – Tracés de production de la migration

3 Conditions et éprouvettes d'essai

3.1 Méthodes d'essai types

La principale méthode d'essai pour la migration est montrée dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Normes pour les essais de migration

Éléments	Conditions d'humidification		Durée et polarisation		Document n°.	
Température/ humidité, essai continu	40 °C ± 2 °C 93 % ± 3 %HR		168 ₀ ⁺²⁴ h 500 h ± 48 h 1 000 h ± 96 h		IEC 60068-2-78	
	60 °C ± 2 °C 93 ₋₃ ⁺² %HR		168 ₀ ⁺²⁴ h, 500 h ± 48 h 1 000 h ± 96 h		IEC 60068-2-78	
	85 °C ± 2 °C 85 % ± 3 %HR		168 ₀ ⁺²⁴ h, 500 h ± 48 h 1 000 h ± 96 h		IEC 60068-2-67	
Essai cyclique de température et d'humidité	Humidité relative (HR): 90 % à 98 % 80 % en période de montée et de descente 1) Exposition à l'humidité suivie de l'exposition au froid 2) Exposition à l'humidité non suivie de l'exposition au froid		Selon accord entre l'utilisateur et le fournisseur Environ 1 000 h Une tension continue (c.c.) de 30 V à 50 V est habituellement spécifiée.		IEC 60068-2-38	
Essai de vapeur pressurisée non saturée	110 °C ± 2 °C, 85 % ± 5 %HR 120 °C ± 2 °C, 85 % ± 5 %HR 130 °C ± 2 °C, 85 % ± 5 %HR		96/192/408 ₀ ⁺² h 48/96/192 ₀ ⁺² h 24/48/96 + ₀ ⁺² h		IEC 60068-2-66	
	130 °C ± 2 °C 85 % ± 5 %HR		96 h		JESD22-A110-B	
Essai de vapeur pressurisée saturée	121 °C, 205kPa (100 % HR)		2 h, maximum 8 h Aucune tension appliquée		JESD22-A102-C	
	Prétraitement (205 kPa), 30 min Puis bain de brasure à 260 °C				IPC-TM-650:1994, 2.3.16.1C	
Essai cyclique de condensation de rosée	Condition	Zone				JPCA ET 09
		t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	
	1	5 °C/ 60 %HR	≤ 20 s	25 °C/90 %HR, 20 min	≤ 15 min	
	2	0 °C, 25 min	≤ 20 s	30 °C/90 %HR, 20 min	≤ 15 min	
	3	−5 °C, 30 min	≤ 20 s	35 °C/90 %HR, 20 min	≤ 15 min	

3.2 Éprouvettes dans des essais de migration

3.2.1 Conception des éprouvettes d'essai

La conception des éprouvettes pour l'évaluation de la migration dépend de la région d'une carte à circuit imprimé pour évaluer la migration. Il convient de choisir une impression conductrice (ou tracé conducteur) pour l'essai selon la JPCA ET 01 de l'Association japonaise de circuits et d'emballage de produits électroniques.

Seules les impressions pour la mesure de l'isolement en surface sont décrites ici. Les matériaux des éprouvettes sont également définis dans la précédente édition du JPCA ET 01.

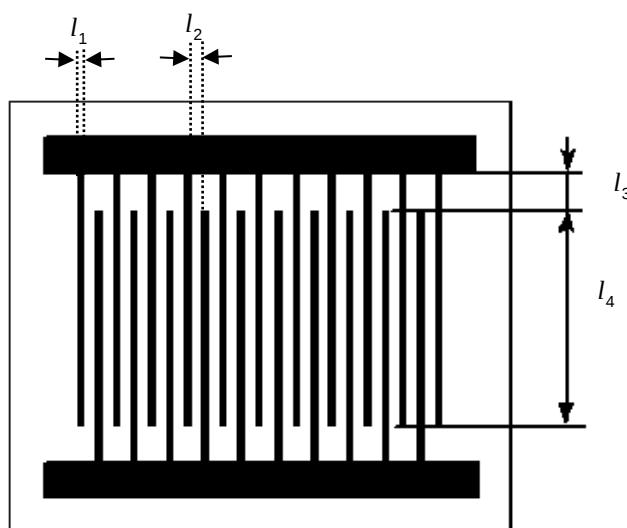
3.2.1.1 Tracé pour l'évaluation de la résistance d'isolement de surface

"Surface" signifie ici le plan de la carte, mais ne signifie pas la surface de la carte elle-même. Le tracé peut être utilisé pour les couches superficielles tant supérieure qu'inférieure et aussi pour les couches internes d'une carte. La taille réelle des électrodes utilisée dans les produits peut aussi être utilisée pour les éprouvettes d'essai. Deux types de tracés sont spécifiés dans le présent document.

1) JPCA ET 01

a) Tracé normalisé

Les dimensions normalisées données à la Figure 3 et dans le Tableau 2 sont spécifiées. Ces dimensions sont également compatibles avec celles qui sont spécifiées dans l'IPC-SM-840. Les tracés fins ne sont pas spécifiés ici. Les tracés normalisés sont largement utilisés dans l'industrie et les résultats de mesure peuvent être utilisés dans la comparaison des données sur le terrain pratique. Il convient que la distance entre deux tracés soit supérieure à 20 mm lorsque plus d'un tracé est utilisé sur la même carte.



IEC 1274/14

Figure 3 – Tracé en peigne de base

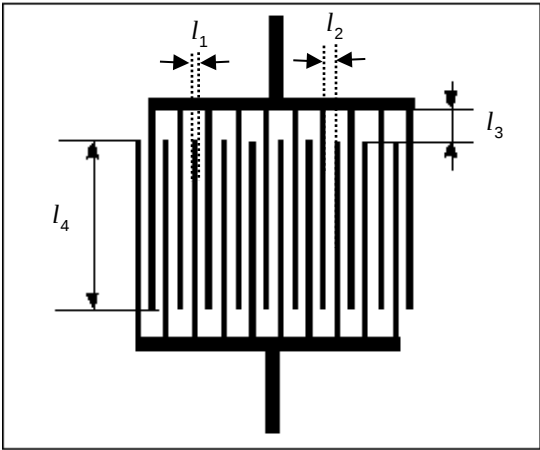
Tableau 2 – Tracé normalisé de type peigne (basé sur l'IPC-SM-840)

Dimensions en millimètres

Tracé	A	B	C
Largeur de conducteur (l_1)	0,165	0,318	0,635
Espace entre conducteurs (l_2)	0,165	0,318	0,635
Recouvrement (l_4)	15,75	15,75	15,75
Distance entre sommet et base de conducteur (l_3)	$\geq 5,0$	$\geq 5,0$	$\geq 5,0$

b) Tracé fin

Nombreuses sont les cartes qui utilisent maintenant les tracés fins. Les tracés fins sont spécifiés à la Figure 4 et dans le Tableau 3 du présent document. Un tracé plus fin, qui n'est pas énoncé dans le Tableau 3 comme ceux de moins de 50 μm , peut être défini dans les spécifications individuelles.



IEC 1275/14

Figure 4 – Tracé fin de type peigne

Tableau 3 – Tracé fin de type peigne (basé sur la JPCA BU 01)

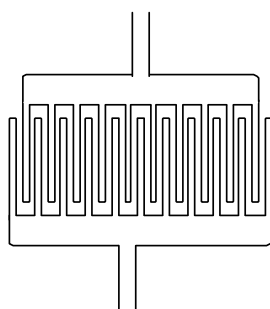
Tracé	FA	FB	FC
Largeur de conducteur (l_1)	50 μm	75 μm	100 μm
Espace entre conducteurs (l_2)	50 μm	75 μm	100 μm
Recouvrement (l_4)	10,0 mm	10,0 mm	10,0mm
Distance entre sommet et base de conducteur (l_3)	$\geq 5,0$ mm	$\geq 5,0$ mm	$\geq 5,0$ mm

Il convient que la distance entre distance le bout du conducteur et le tracé de base du type peigne (l_3) soit supérieure à 5,0 mm, car les résultats obtenus peuvent être altérés si cette distance est plus courte. Seule est définie ici la longueur de recouvrement des conducteurs du tracé en peigne. Il convient que la forme du bout du conducteur ait un effet sur les résultats, mais seule la distance est définie ici, car il peut s'avérer difficile et peu pratique de définir la forme exacte du bout du conducteur.

2) Autre tracé d'essai

a) Tracé d'essai utilisé par le groupe d'étude de la migration (Groupe ECM)

Le Groupe ECM utilise le tracé représenté à la Figure 5.



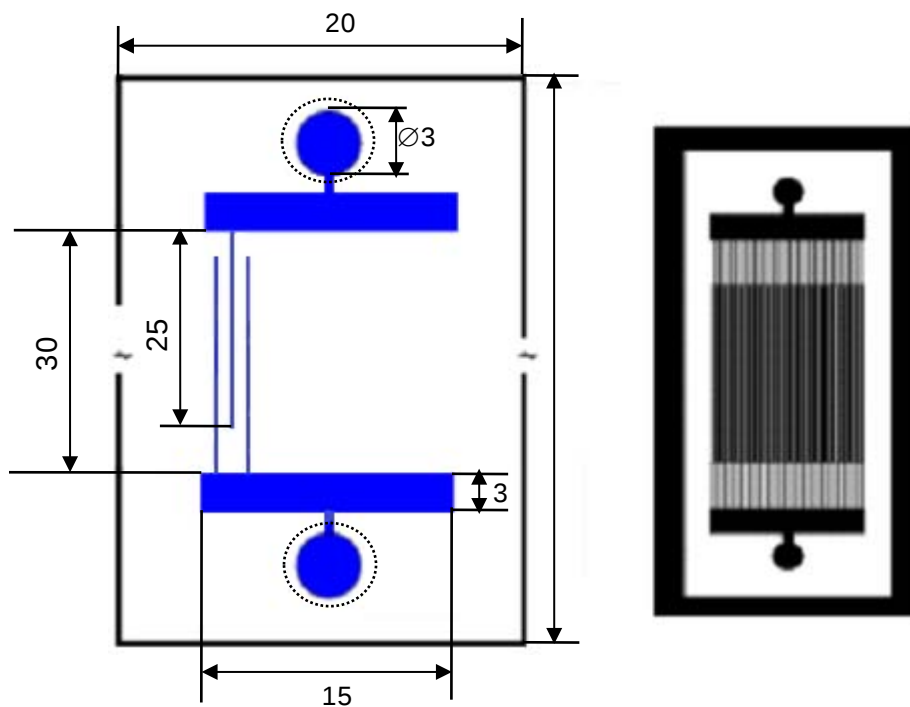
IEC 1276/14

Figure 5 – Tracé du type peigne du Groupe ECM (mm)

b) Tracé d'essai utilisé pour une carte imprimée souple (voir JPCA DG 02)

Le tracé d'essai spécifié dans la JPCA DG 02 est montré à la Figure 6. Le guide de conception pour une carte souple inclut la couche de couverture et le revêtement de couverture fabriqués à partir du même matériau. Le nombre de paires de conducteurs est de 75. La largeur des conducteurs et l'espace entre conducteurs (L/S) sont choisis dans la plage de (60/60) μm à (100/100) μm .

Dimension en millimètres



IEC 1277/14

NOTE Les surfaces circulaires entourées des cercles en pointillés sont les ouvertures de la couche de couverture et du revêtement de couverture.

Figure 6 – Tracé en peigne pour la résistance d'isolement d'une carte souple à circuit imprimé

3) Tracé de mesure de résistance d'isolement pour une couche interne entre deux couches internes

Le tracé d'évaluation de la couche intérieure d'une carte multicouche est également un tracé en peigne, le même tracé que celui du tracé pour l'évaluation de la couche

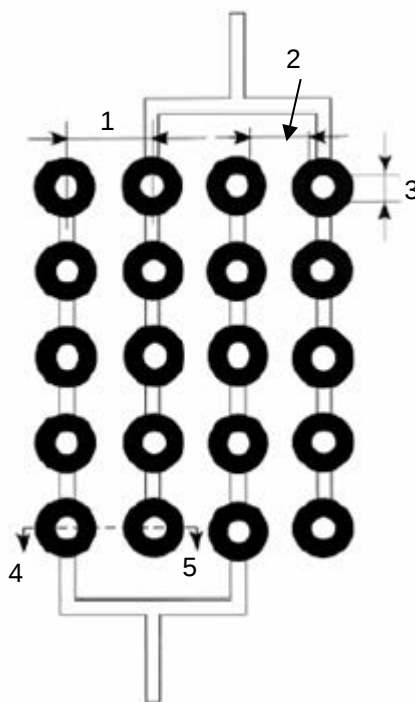
superficielle. Les mêmes tracés sont formés sur deux couches adjacentes. Une des couches peut être la couche superficielle de la carte.

4) Tracé de mesure de résistance d'isolement entre trous débouchants

a) JPCA ET 01

L'évaluation de l'isolement entre les trous débouchants ou trous d'interconnexion est effectuée en utilisant le tracé de deux rangées de trous débouchants ou trous d'interconnexion l'une en face de l'autre (voir Figure 7). Les détails de la Figure 7 sont montrés à la Figure 8. Les dimensions des trous sont données dans le Tableau 4. Les trous sont connectés électriquement. Les figures montrent le cas des trous débouchants. Le diamètre des trous est maintenu constant. Le nombre de trous sur une ligne n'est pas inférieur à cinq. Il convient de veiller à ce qu'une migration d'ions ne se produise pas entre les potentiels conducteurs d'alimentation (habituellement sur la couche superficielle).

Les propriétés du stratifié cuivré (CCL) ont une dépendance directionnelle (verticalement, horizontalement et en diagonale par rapport à la direction de la fibre de tissu de verre). Les résultats d'essai peuvent dépendre de l'agencement des trous et de la direction de la carte utilisée. Il est conseillé d'évaluer la carte en utilisant des éprouvettes avec différentes directions des trous.

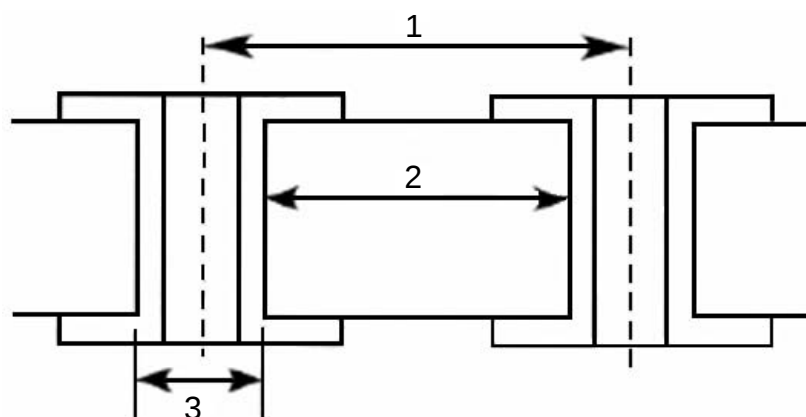


IEC 1278/14

Légende

- 1 Pas des trous (p)
- 2 Distance entre parois (s)
- 3 Diamètre de trou (d)
- 4 et 5 Section transversale

Figure 7 – Tracé d'évaluation de l'isolement pour les trous débouchants et les trous d'interconnexion



IEC 1279/14

Légende

- 1 Pas des trous (p)
- 2 Distance entre parois (s)
- 3 Diamètre de trou (d)

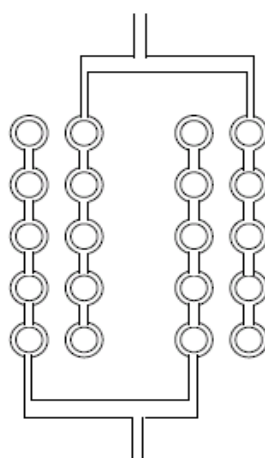
Figure 8 – Détails du tracé d'évaluation d'isolement de la Figure 7 (coupe de 4 et 5)

Tableau 4 – Dimension du tracé d'évaluation d'isolement pour les trous débouchants

Diamètre de trou (d) (μm)	300					
Distance entre parois (s) (μm)	150	200	250	300	350	400
Pas des trous (p) (μm)	450	500	550	600	650	700
Agencement du tracé	n trous $\times$ 4 rangées ($n \geq 5$)					

b) Tracé d'essai du Groupe ECM

Le groupe d'étude de la migration utilisait le tracé d'essai montré à la Figure 9 pour les essais de migration et essais CAF. Le diamètre de trou et la séparation des trous sont spécifiés pour chaque essai.



IEC 1280/14

Figure 9 – Tracé d'essai du groupe d'étude de la migration

Il est nécessaire de concevoir un tracé d'essai pour l'évaluation de la résistance d'isolement entre les trous, les couches internes pour l'alimentation électrique et/ou le plan de masse d'une carte en faisant varier la distance d'isolement. En raison du changement de la distance d'isolement par le déplacement de la position pendant la fabrication, il est nécessaire de concevoir le motif d'essai de manière à modifier le diamètre du trou et le diamètre de la distance d'isolement de la couche intérieure afin d'évaluer une variation de la résistance d'isolement. Il est souhaitable de préparer deux jeux de tracés d'essai et d'effectuer les essais en prenant le tracé de couche interne comme électrode positive et le trou comme électrode négative pour l'un des jeux d'essais et ensuite d'inverser la polarité de l'électrode pour l'autre jeu d'essais.

3.2.2 Spécifications et choix des matériaux des éprouvettes

1) Stratifié cuivré (CCL)

Il existe deux types de CCL, l'un pour les cartes imprimées rigides ordinaires et l'autre pour les cartes souples à circuits imprimés. Le CCL pour les cartes rigides utilise du tissu de verre comme matériau de base, le stratifié avec du préimprégné de résine et des feuilles de cuivre. Les produits peuvent être classés en fonction des matériaux utilisés comme étant des stratifiés papier-phénol ou des stratifiés verre-polyimide ou par les spécifications de qualité comme FR-4, GPY ou CEM-3. Les cartes souples sont des stratifiés de pellicule de résine et de feuille de cuivre et elles peuvent être classées comme stratifiés de polyimide ou stratifiés de polyester. Les stratifiés de polyimide sont divisés en plus en cartes de stratifiés adhésifs et cartes de stratifiés non adhésifs.

Il convient de choisir la feuille de cuivre appropriée en fonction du but de l'essai. Il convient d'utiliser un stratifié de cuivre à forte résistance à la migration, tout spécialement lorsqu'il s'agit d'évaluer les matériaux résistant à la migration et les caractéristiques précises des cartes. La résistivité de migration varie considérablement avec le choix de la résine utilisée. Il est rapporté que le stratifié verre-polyimide a une résistivité CAF de dix fois en comparaison au stratifié verre-époxy de qualité FR-4. Les caractéristiques de migration du stratifié verre-époxy de qualité FR-4 varie considérablement en fonction de la composition de la résine, des types de tissu de verre et de la quantité de résine utilisée. La migration dans les cartes souples à stratifié de feuille de cuivre varie considérablement si de l'adhésif est utilisé. Les stratifiés de polyimide sans adhésifs ont une résistivité de migration considérablement meilleure en comparaison à ceux qui utilisent des adhésifs.

2) Feuille de cuivre

Il existe deux types de feuille de cuivre selon les méthodes de fabrication. L'un des types est la feuille de cuivre électrodéposée et l'autre est la feuille ouvrée. La feuille de cuivre électrodéposée est utilisée dans la plupart des cartes rigides, alors que les deux types, à savoir feuilles de cuivre électrodéposées et feuilles de cuivre ouvrées, sont utilisés dans les cartes souples en fonction des exigences relatives aux propriétés des cartes. Pour les feuilles ayant le type, l'épaisseur, la rugosité de surface et le traitement de surface appropriés, il convient de choisir la feuille de cuivre pour évaluation. L'épaisseur de la feuille de cuivre utilisé dans une couche interne peut affecter la propriété de stratification du tracé de conducteur interne et la migration. La rugosité de surface de la feuille de cuivre utilisée pour former le tracé en peigne peut affecter l'adhérence de la feuille de cuivre et, donc, la formation des électrodes. Si la rugosité de surface est très élevée, la surface rugueuse de la feuille de cuivre peut ne pas être suffisamment attaquée lors de la formation des électrodes et le cuivre résiduel peut rester dans l'espace vide entre les électrodes de cuivre. La feuille de cuivre ayant une surface rugueuse peut également toucher le tissu de verre des cartes stratifiées. Elles peuvent devenir le facteur provoquant la migration. D'autre part, une surface très lisse diminue l'adhérence de la feuille de cuivre et peut entraîner un écaillage pendant l'essai.

3) Masque de soudure

Il existe trois types de masques de soudure: le type développement, le type thermodurcissable et le type polymérisable aux UV. La plupart des masques de soudure utilisés en production sont du type développement. Ce type de pellicule de masque de soudure est formé sur une carte par sérigraphie, pulvérisation, application au rideau ou stratification de pellicule et ensuite les tracés sont fabriqués par photolithographie.

Il est nécessaire de choisir le type correct de masque de soudure pour l'évaluation de la carte. Le choix dépend du but de l'essai et des dimensions des électrodes. Il convient d'utiliser une technique bien établie pour appliquer le masque de soudure. Un durcissement insuffisant du masque peut entraîner une corrosion du tracé d'électrode et l'ouverture du circuit d'essai. La dégradation de la résistance d'isolement ne peut pas être détectée dans ce cas. Des vides peuvent se former si des bulles sont incluses dans le masque de soudure. Les bulles sont créées par sérigraphie à l'interface du masque et du cuivre sous-jacent. Une détérioration de l'isolement s'observe même dans le cas d'un espacement de 250 µm entre électrodes en raison de la dégradation due aux vides. Il convient d'optimiser les conditions de sérigraphie et la durée de maintien d'une éprouvette dans une chambre pour le durcissement, notamment en cas d'utilisation de tracé fin pour les éprouvettes d'essai.

Il est notoire que des vides sont observés même dans les masques de soudure du type à pellicule sèche. Toutefois, dans ce cas, les vides n'affectent pas considérablement la dégradation de la résistance d'isolement, car les électrodes sont bien recouvertes d'une pellicule sèche. Il peut cependant exister le cas où le masque de soudure du type à pellicule sèche peut avoir une adhérence inférieure, en comparaison au masque du type liquide. La corrosion peut se produire à l'interface et la pression interne créée par les précipités peut rompre la pellicule du masque et provoquer une migration.

3.2.3 Remarques relatives à la préparation des éprouvettes

1) Tracé de surface

Le résultat de l'essai de migration peut être altéré par le traitement de surface de la carte (tel que le traitement aux UV ou le traitement au plasma), le traitement de surface des tracés de conducteurs (tel que l'électrodéposition) et la présence ou l'absence de conditions de formation du masque de soudure. Il convient de nettoyer soigneusement la surface de la carte avant d'appliquer le masque de soudure. Il convient de vérifier soigneusement les conditions de formation et de séchage du masque afin de ne pas former des vides et des régions n'ayant pas durci. Il convient que des piqûres et des parties non plaquées ne se forment pas sur l'électrode lorsque la surface du tracé de conducteurs est plaquée par électrodéposition.

Les résidus de flux peuvent provoquer un défaut d'isolement lorsqu'un câble est soudé au conducteur. Il convient de nettoyer à fond le joint brasé. La chaleur de brasage peut également détériorer une éprouvette et il convient donc de réaliser le brasage en un temps le plus court possible.

2) Tracé interne

Tout comme dans le cas du tracé de surface, le traitement de surface de la carte elle-même ou le traitement de surface du tracé de conducteurs (états d'oxydation ou de réduction) peut altérer les résultats d'essai pour le tracé interne. Dans le processus de stratification de la carte, il convient d'effectuer un nettoyage suffisant et approfondi des couches de stratification. Il convient également de vérifier l'état de la stratification afin de ne pas provoquer de délamination.

3) Trous débouchants et trous d'interconnexion

Les conditions de formation de trous, y compris le forage, le déglaçage ou le placage par électrodéposition de la paroi interne d'un trou peuvent altérer les résultats de l'essai de migration. Il convient également de soigneusement vérifier ces conditions.

3.2.4 Stockage des éprouvettes

La poussière et quelques particules étrangères peuvent se déposer sur la surface des éprouvettes si les éprouvettes sont laissées à l'air libre dans une chambre. Dans le cas des matériaux résineux organiques, la quantité de vapeur d'eau absorbée augmente au fil du temps et les caractéristiques d'isolement des éprouvettes peuvent se détériorer. Il convient de prendre soin lors du stockage des échantillons:

- 1) Il convient de stocker les éprouvettes dans des sachets en plastique ou dans un dessiccateur pour les protéger de la contamination. Si elles sont laissées à l'air libre, leur

surface peut s'oxyder, se sulfurer ou se salifier. Il convient de disposer d'une boîte dans laquelle l'humidité intérieure peut être régulée ou qui est emplie de gaz inerte.

- 2) Il convient de décharger la surface du bureau avant de manipuler les éprouvettes afin de les protéger du dépôt de poussière.

3.2.5 Prétraitement de l'éprouvette (cuisson et nettoyage)

La saleté entre les tracés de conducteurs (poussière, saleté, etc.) ou l'absorption de l'eau sont les causes de détérioration de la résistance d'isolement et doivent être soigneusement contrôlées avant l'essai. Le prétraitement des éprouvettes avant l'essai peut réinitialiser la section cible de l'éprouvette lorsque l'évaluation est planifiée pour contrôler les effets de la fabrication des cartes. Le prétraitement peut être utilisé pour appliquer des contraintes environnementales (chaleur, historique d'humidité, etc.) à l'éprouvette. Il convient de choisir le prétraitement en fonction du but de l'évaluation. Des explications données ci-après se rapportent aux différents prétraitements utilisés pour les essais dans le présent document.

1) Nécessité du prétraitement

a) Cas où le prétraitement est nécessaire

- Évaluation de la conception du tracé de conducteurs lorsque l'état de surface n'a pas d'importance significative.
- Comparaison des caractéristiques des éprouvettes qui sont fabriquées à des moments différents ou des éprouvettes qui sont stockées pendant longtemps et dont les états de surface peuvent donc avoir changé, par contamination de la surface ou absorption d'eau, par exemple.
- Élimination du résidu de flux sur la surface du conducteur.
- Autre.

b) Cas où le prétraitement n'est pas nécessaire

- Le nettoyage utilisant de l'alcool ou de l'acétone peut dissoudre des impuretés des éprouvettes contenant des substances organiques.
- Évaluation du processus et des matériaux de traitement de surface
- Autre.

2) Prétraitement

Le Tableau 5 donne le prétraitement général de carte à circuit imprimé

Tableau 5 – Prétraitement de surface pour carte à circuit imprimé

But	Norme	Processus
Nettoyage	ISO 9455-17	Prétraitement des tracés de cuivre pour l'essai de flux: 1) nettoyer l'éprouvette avec de l'eau purifiée en utilisant une brosse douce pendant 30 s 2) rincer par pulvérisation avec de l'eau purifiée 3) nettoyer l'éprouvette avec de l'alcool isopropylique en utilisant une brosse douce pendant 30 s 4) rincer avec de l'alcool isopropylique 5) sécher l'éprouvette dans un sécheur pendant 3 h à 60 °C
Séchage	IEC 60068-1	Les éprouvettes sont maintenues dans les conditions suivantes pendant 6 h pour le préséchage, si nécessaire, avant le début d'une série de mesures: 55 °C ± 2 °C, < 20 % HR, pression atmosphérique de 95 kPa à 106 kPa
	IEC 60068-2-2	Maintenir l'éprouvette à 25 °C ± 5 °C, et 45 % HR à 75 % HR jusqu'à ce que la température de l'éprouvette devienne stable à la température. Faire passer l'humidité de 95 % HR à 100 % HR en 1 h au maximum.
	EIAJ ED-4701/301	Traitement thermique qui est habituellement effectué comme prétraitement pour le brasage (125 °C ± 5 °C/24 h)
Préconditionnement	EIAJ ED-4701/301 JESD22-A113	Traitement thermique et traitement sous humidité en fonction des effets d'environnement occasionnés au processus d'assemblage des paquets de composants pour montage en surface (SMD)

3.2.6 Soins à prendre pour manipuler les éprouvettes

Il convient de manipuler avec beaucoup de soin les éprouvettes, car la contamination de la surface affecte considérablement les résultats.

- 1) Il convient que les opérateurs utilisent des masques et des gants de latex jetables.
- 2) Il convient d'effectuer la tâche sur une feuille de papier exempte de poussière.
- 3) Utiliser un flux exempt de chlore.
- 4) Couvrir le tracé conducteur avec un papier exempt de poussière utilisé en salle blanche pour le brasage afin de ne pas faire gicler le flux à la surface de l'éprouvette.

3.3 Nombre requis d'éprouvettes dans un essai

3.3.1 Spécification donnée dans la JPCA ET 01

Le nombre requis d'éprouvettes dépend du but de l'essai, par exemple si l'essai concerne des produits d'essai ou pour des produits de grande série. Il existe quelques références qui donnent clairement des chiffres pour n'importe quel but spécifique d'un essai. Le Tableau 6 donne des lignes directrices grossières pour le nombre requis d'éprouvettes en fonction du but d'un essai.

Tableau 6 – Nombre d'éprouvettes (JPCA ET 01)

But	Concept de base
Évaluation de produit d'essai	Appareil discret: $n \geq 5$ $n \geq 10$ est recommandé
Évaluation de produit de grande série	Appareil discret: $n \geq 10$

3.3.2 Considération relative au nombre d'éprouvettes dans un essai

Le nombre des éprouvettes requises à différents stades de la production est spécifié dans la norme JPCA (voir Tableau 6). Pour l'évaluation de produits à un stade de production d'essai, n peut être de 5, mais $n \geq 10$ est recommandé. La différence de nombre pour le but spécifique d'un essai n'est pas normalisée dans le présent Rapport technique, mais elle est donnée dans le Tableau 7 comme référence.

Tableau 7 – Nombre approché des éprouvettes requises en fonction du but de l'essai

But			Considération
Différence de stades de production	Évaluation de la conception et de la production d'essai		Composant discret: $n \geq 5$ $n \geq 10$ est recommandé
	Évaluation de produits de grande série		Composant discret: $n \geq 10$
Différence de but d'un essai	a	Défaillances initiales	– Il est très difficile de décider de la valeur de n du point de vue théorique.
	b	Défaillances aléatoires	– La meilleure méthode est de changer la valeur conventionnellement acceptée du nombre d'éprouvettes afin d'obtenir un résultat raisonnable.
	c	Niveaux de défaillance (λ , MTTF (durée moyenne de fonctionnement avant défaillance))	– Il est possible de décider de la valeur de n d'un point de vue statistique. – n peut devenir très grand si un essai accéléré n'est pas adopté.
	d	Durée de vie	– Une considération semblable aux cas a et b est valable. – Seulement pour un composant unique ayant une durée de vie finie.

3.3.3 Considération relative aux nombres d'éprouvettes pour différents buts d'évaluation pour un essai

1) Le but est a, b, ou d:

- Pour a et b

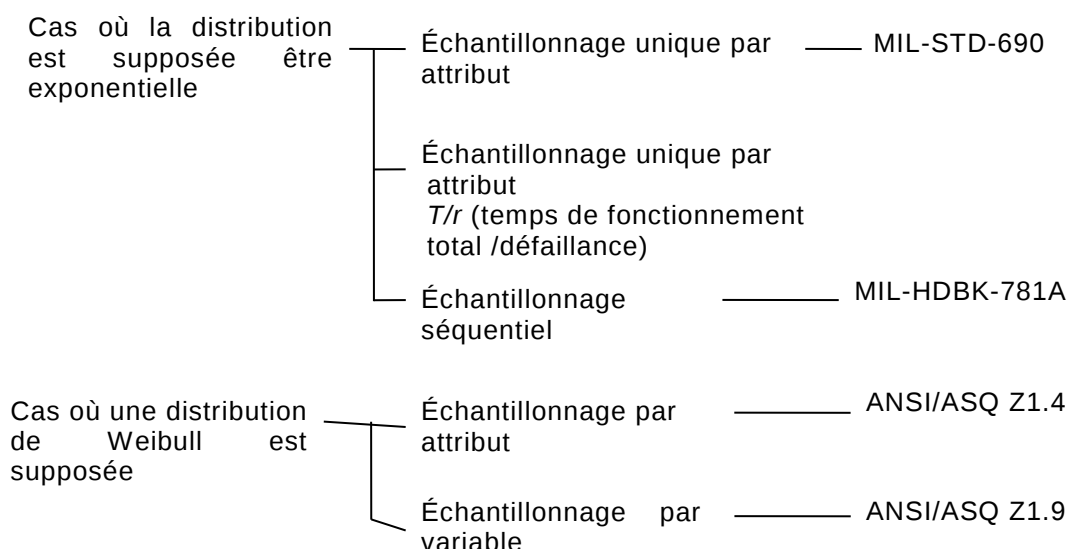
La méthode pour déterminer le nombre n à partir des données disponibles relatives à la génération de composants défectueux du point de vue de la détection d'un lot de défaillance à un niveau de fiabilité de 90 %

- Pour d

La méthode pour déterminer le nombre n dans le processus d'approbation de la moyenne et de la différence de qualité afin de confirmer qu'il n'y a pas de différence de qualité du composant d'intérêt.

2) Le but est c

Il existe plusieurs méthodes d'échantillonnage pour choisir n afin d'étudier λ , le taux de défaillance et la MTTF (durée moyenne de fonctionnement avant défaillance) par un essai approprié.



Pour les détails, se référer à la norme susmentionnée ou au chapitre des méthodes statistiques d'échantillonnage dans l'essai de fiabilité du manuel.

Le nombre $n \geq 30$ est requis pour avoir une confirmation objective de la durée de vie d'un produit. Certains disent que $n \geq 20$ est nécessaire pour avoir un facteur d'accélération dans l'analyse de Weibull alors qu'il existe un texte exigeant $n \geq 50$. Le coût d'un essai est grosso modo proportionnel au nombre d'éprouvettes, mais la qualité et la quantité d'informations qu'un essai permet d'obtenir augmentent avec le nombre d'échantillons. Il est nécessaire de décider d'un nombre correct d'éprouvettes dans l'analyse d'évaluation et il convient de choisir un nombre optimal en tenant compte du coût, de la durée d'essai et de la comparaison des résultats aux données disponibles obtenues dans des essais antérieurs. Un nombre minimal de 10 semble être nécessaire dans tous les cas.

4 Méthodes d'essai

4.1 Généralités

Chaque essai est réalisé en utilisant l'essai normalisé individuel. L'Article 4 décrit les résumés du but, le matériel d'essai et la méthode d'essai ainsi que les éléments devant être notés pour chaque essai relatif à la migration d'ion.

4.2 Essai continu de température et d'humidité et essai cyclique de température et d'humidité

4.2.1 But et grandes lignes de l'essai

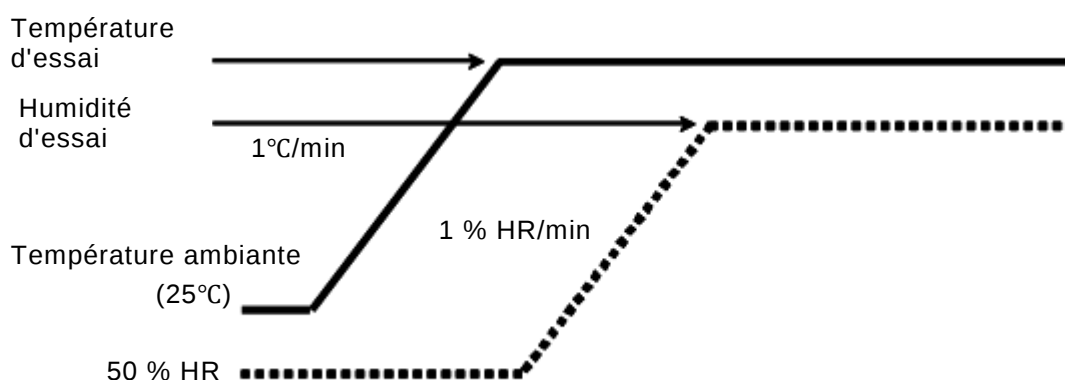
Il existe deux types d'essai dans cette catégorie. L'un concerne l'essai consistant à maintenir une éprouvette dans un environnement dont la température et l'humidité sont spécifiées pendant une durée spécifiée. L'autre, qui est appelé essai cyclique, consiste à exposer une éprouvette dans un environnement où une variation de la température et de l'humidité est de 1 cycle par jour. L'essai continu de température et d'humidité est bien adapté pour un essai consistant à vérifier la dégradation de l'isolement due à l'absorption de vapeur d'eau, alors que l'essai cyclique est utilisé pour une dégradation de l'isolement due à une formation forcée de rosée dans un environnement selon la Figure 11. Il existe un autre type de cycle de température et d'humidité conforme à la Figure 12 qui inclut une basse température (de congélation) pour vérifier les effets tant d'un environnement de congélation que d'un environnement à haute température sur une éprouvette. Cet essai qui comporte la formation de rosée peut ne pas être très stable, car la formation de rosée sur une éprouvette n'est pas un phénomène stable. Un essai cyclique de formation de rosée avec des conditions d'environnement plus réalistes est décrit en 4.5. Dans ce type de mesure, la stabilisation de

l'éprouvette dans l'environnement d'essais, notamment la variation des conditions d'humidité, a une très grande importance. Les récentes améliorations apportées aux matériaux exigent immanquablement une très longue durée pour un tel essai de température et d'humidité.

4.2.2 Profil d'essai

1) Profil de l'essai continu de température et d'humidité

Il convient de prendre un soin particulier pour la formation de rosée sur une éprouvette lorsque la température de la surface de l'éprouvette est inférieure au point de rosée de la chambre d'essai. La rosée peut se former sur la surface de l'éprouvette dans ce cas. La rosée peut facilement se former lorsque la capacité thermique d'une éprouvette est élevée et il y a une différence entre la température de la chambre et celle de l'éprouvette. Un tel essai est souvent réalisé avec un profil de température représenté à la Figure 10 pour éviter la formation de rosée. La température est d'abord augmentée, puis l'humidité est augmentée pour éviter la formation de rosée sur la surface de l'éprouvette. Il convient de faire varier lentement la température à une vitesse d'augmentation de 1 °C/min et avec une augmentation de l'humidité inférieure à 1 % HR/min.

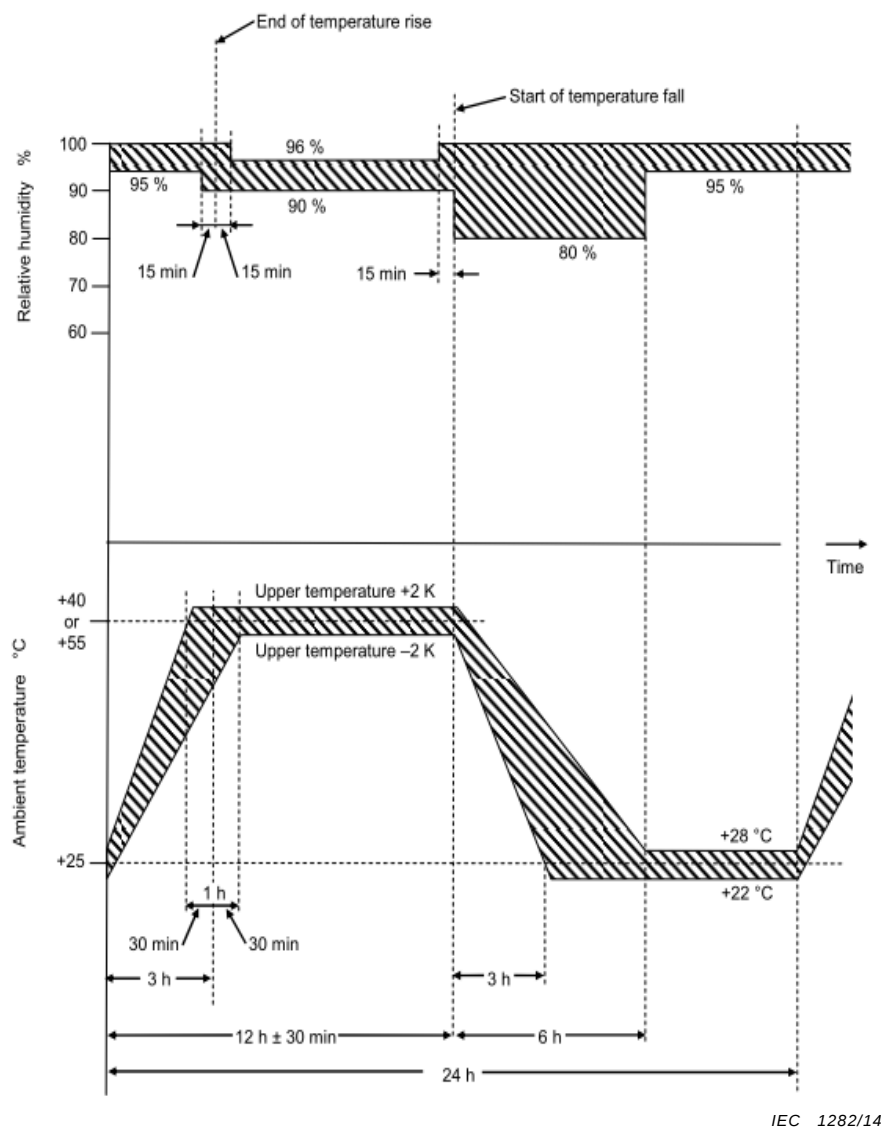


IEC 1281/14

Figure 10 – Profil recommandé d'augmentation de la température et de l'humidité

2) Profil de l'essai cyclique de température et d'humidité

Le but de l'essai cyclique est de vérifier l'effet de la formation de rosée. Il n'est pas nécessaire de prendre les mêmes précautions pour éviter la formation de rosée que celles qui sont prises dans le cas de l'essai continu de température et d'humidité. Le suivi de la température d'une éprouvette par rapport à la variation de la température de la chambre est important dans un tel changement cyclique. Contrôler la température et l'humidité de la manière spécifiée dans la spécification individuelle. La Figure 11 et la Figure 12 sont respectivement les profils de température spécifiés dans l'IEC 60068-2-30 et dans l'IEC 60068-2-38.



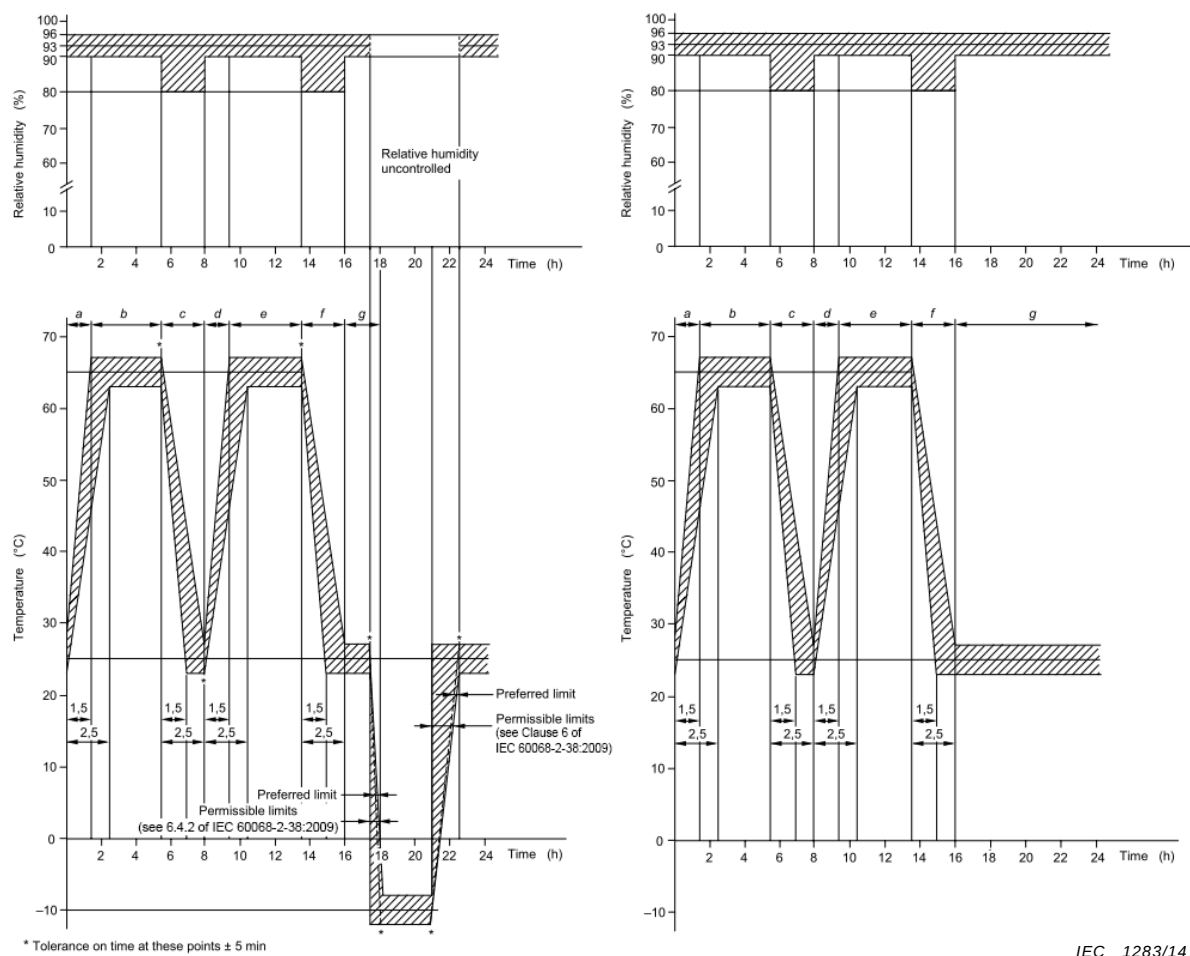
IEC 1282/14

SOURCE: IEC 60068-2-30:2005, Figure 2b.

Légende

Anglais	Français
End of temperature rise	Fin de l'échauffement
Start of temperature fall	Début de la chute de température
Relative humidity %	Humidité relative %
Time	Durée
Ambient temperature °C	Température ambiante °C
+40 or +55	+40 ou +55
Upper temperature + 2 K	Température supérieure + 2 K
Upper temperature – 2 K	Température supérieure – 2 K

Figure 11 – Profil cyclique d'humidité (12 h+ 12 h)



SOURCE: IEC 60068-2-38:2009, Figure 2 and Figure 3.

Voir 6.4 de l'IEC 60068-2-38:2009.

Légende

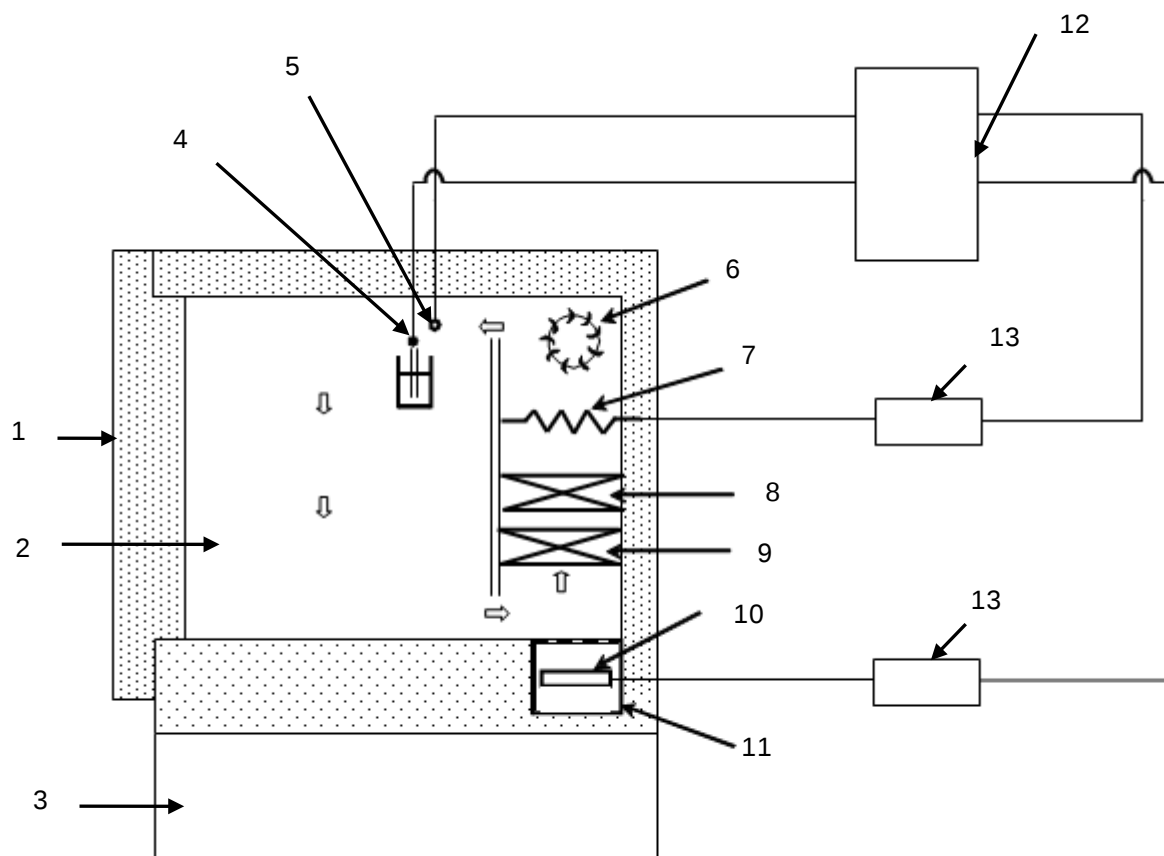
Anglais	Français
Relative humidity (%)	Humidité relative (%)
Relative humidity uncontrolled	Humidité relative non contrôlée
Time (h)	Durée (h)
Temperature (°C)	Température (°C)
Preferred limit	Limite préférentielle
Permissible limits (see Clause 6 of IEC 60068-2-38:2009)	Limites admissibles (voir l'Article 6 de l'IEC 60068-2-38:2009)
Permissible limits (see 6.4.2 of IEC 60068-2-38:2009)	Limites admissibles (voir 6.4.2 de l'IEC 60068-2-38:2009)
* Tolerance on time at these points ± 5 min	* Tolérance sur le temps en ces points ± 5 min

Figure 12 – Profils d'essai cyclique de température et d'humidité combinées

4.2.3 Matériel d'essai

1) Construction

La structure type du matériel pour l'essai continu de température et d'humidité est montrée à la Figure 13 et les principaux éléments du matériel sont décrits.



IEC 1284/14

Légende

1 Porte	2 Espace de travail	3 Salle des machines
4 Capteur de température pour l'humidité	5 Capteur de température	6 Ventilateur
7 Chauffage	8 Refroidisseur	9 Déshumidificateur
10 Chauffage pour l'humidité	11 Eau d'humidification	12 Contrôleur de température et d'humidité
13 Relais statique (SSR)		

Figure 13 – Structure du matériel pour l'essai continu de température et d'humidité

a) Ventilateur

Le ventilateur utilisé dans le matériel peut être un ventilateur sirocco, un ventilateur à hélice ou un ventilateur à flux axial selon le vent exigé dans le matériel. Selon la température de la chambre, le ventilateur peut être en acier inoxydable, alliage d'aluminium ou acier au carbone.

b) Chauffage

Selon la chaleur et l'environnement requis dans la chambre, le chauffage peut être un chauffage à lame, un chauffage isolé au caoutchouc silicone ou un chauffage à gaine. Certaines chambres utilisent un élément chauffant à effet Peltier.

c) Refroidisseur

Un réfrigérateur à compression mécanique est d'usage courant. Certaines chambres utilisent un élément chauffant à effet Peltier.

d) Déshumidificateur

Un déshumidificateur est fondamentalement le même en tant que refroidisseur. Certains systèmes utilisent un refroidisseur comme déshumidificateur.

e) Humidificateur

Il existe plusieurs types d'humidificateurs. À savoir: un humidificateur du type bac qui a un bac avec chauffage, l'eau étant versée dans le bac et chauffée pour générer de la vapeur d'eau; un bloc humidificateur qui envoie de la vapeur d'eau générée dans un système installé à l'extérieur d'une chambre et envoie la vapeur dans la chambre; un humidificateur à ultrasons qui vaporise de fines gouttes d'eau tombées sur un vibreur à ultrasons ou un humidificateur du type à pulvérisation d'aérosol. L'humidificateur à bac est largement utilisé en raison de sa structure simple qui n'exige qu'un faible espace et aussi en raison de son faible coût.

2) Système de régulation de la température et de l'humidité de la chambre d'essai

L'essai continu de température et d'humidité et l'essai cyclique de température et d'humidité peuvent être réalisés en utilisant le même matériel. La chambre d'essai peut être classée dans les types ci-après par les systèmes de production d'humidité.

a) Type direct (contrôle d'humidité équilibrée)

L'humidité est augmentée lorsque l'humidité de la chambre est inférieure à la condition d'humidité d'essai et elle est "déshumidifiée" si l'humidité est supérieure à la valeur spécifiée. Il est possible d'obtenir des conditions stables d'humidité en équilibrant l'humidification et la déshumidification. Il est habituellement possible d'établir une large plage de niveaux d'humidité et le temps de réponse à un changement des conditions de réglage ou à des variations de la charge (éprouvettes) est très court. Il est également possible de fixer une condition d'essai compliquée. Ce type de régulateur d'humidité est le plus largement utilisé.

b) Type à deux températures

En premier lieu, refroidir la chambre à la température de rosée de l'humidité à laquelle est réalisé un essai pour porter l'air à une pression de vapeur saturée et ensuite chauffer l'air à la température et à l'humidité de la condition d'essai. Il existe plusieurs méthodes pour obtenir de l'air humide saturé. La méthode la plus couramment utilisée consiste à pulvériser dans l'air et de faire passer l'air à travers l'eau par bullage. Il est possible d'obtenir des valeurs stables et précises de l'humidité dans ce système, mais le temps de réponse aux variations de conditions est qualitativement inférieur à celui de la méthode directe.

3) Remarques relatives au matériel d'essai

a) Un matériau d'isolation thermique est utilisé pour la paroi extérieure de la chambre d'essai afin d'obtenir une meilleure isolation thermique. La performance du matériau d'isolation utilisé dans la chambre d'essai se dégrade après une utilisation de longue durée de la chambre, du fait de l'absorption de vapeur d'eau à l'intérieur de la chambre, et il y a le risque de formation de rosée sur la paroi intérieure de la chambre. Le remplacement de la paroi intérieure et l'isolation thermique de la paroi de la chambre sont nécessaires dans ce cas.

b) L'environnement à l'intérieur de la chambre d'essai peut être altéré par l'environnement dans lequel le matériel est installé, car l'air dans la salle est directement alimenté dans la chambre lors de l'essai continu de température et d'humidité. La contamination de l'air dans la salle peut influencer sur les résultats d'essai en présence de certains gaz corrosifs tels que le chlore, le sulfure d'hydrogène ou autres gaz analogues. Il convient d'installer le matériel d'essai dans de bonnes conditions d'air.

4.2.4 Remarques relatives aux essais

L'essai continu de température et d'humidité et l'essai cyclique de température et d'humidité sont réalisés selon les modalités spécifiées dans les normes correspondantes, mais ces normes décrites n'énoncent pas le savoir-faire détaillé du fonctionnement d'un essai. Une certaine partie du savoir-faire concernant l'exécution des essais est donnée ici.

1) Mèche

a) Mèche détériorée et changement de mèche

Un hygromètre au bulb sec et humide est généralement utilisé dans la présente chambre d'essai continu de température et d'humidité. Il est nécessaire d'alimenter le bulbe humide en eau au moyen d'un morceau de tissu tel qu'une gaze (appelé "mèche"). La mèche peut se détériorer après une longue utilisation et sa couleur peut changer. Une mèche détériorée peut altérer la mesure de l'humidité et les résultats expérimentaux.

Il est nécessaire de changer une mèche, habituellement une fois par mois. Il vaut mieux changer de mèche lorsque le matériel n'est pas utilisé pendant longtemps ou l'historique des remplacements de mèche est incertain.

b) Propreté de la mèche du marché

Le Tableau 8 montre le résultat d'une analyse par chromatographie ionique de mèches obtenues sur le marché. Certaines mèches contiennent une concentration élevée de contaminants. Certaines mèches antibactériennes sont traitées avec des produits chimiques à base de chlorures pour éviter la contamination par des germes. Pour une mesure de la détérioration de l'isolation, il convient d'utiliser une mèche propre.

Tableau 8 – Concentration des impuretés ioniques d'une mèche (10^{-6})

Spécification	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻
En général	229	3	210	13	6	14
Traitement antibactérien	28	5	6	638	82	39

2) Position des éprouvettes dans la chambre d'essai

L'air dans la chambre est mis en circulation forcée par un ventilateur afin de maintenir la température et l'humidité de la chambre en régime établi. Le flux de l'air est obstrué par la présence d'éprouvettes dans la chambre. Il convient de prendre soigneusement en considération les positions des éprouvettes afin de ne pas obstruer le flux d'air dans la chambre, étant donné le flux d'air dans la chambre tel qu'illustré à la Figure 14 a) et b). Lorsque le nombre d'éprouvettes est élevé, il convient d'adopter la position illustrée à la Figure 14 c).

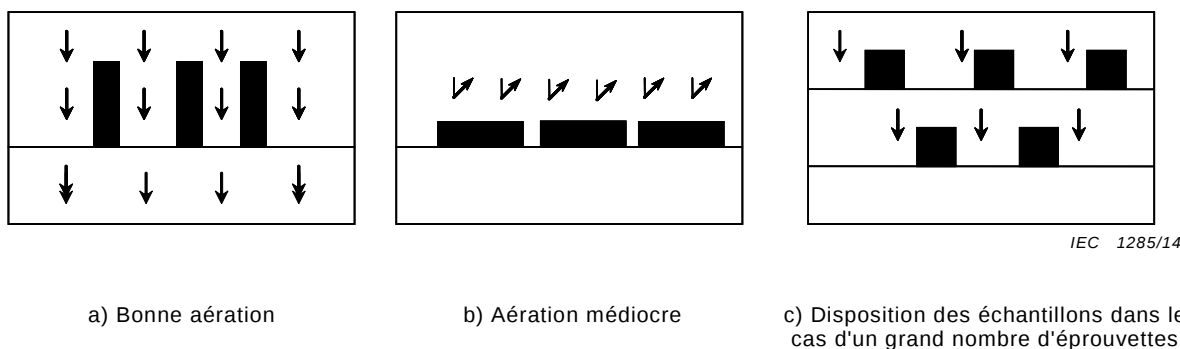
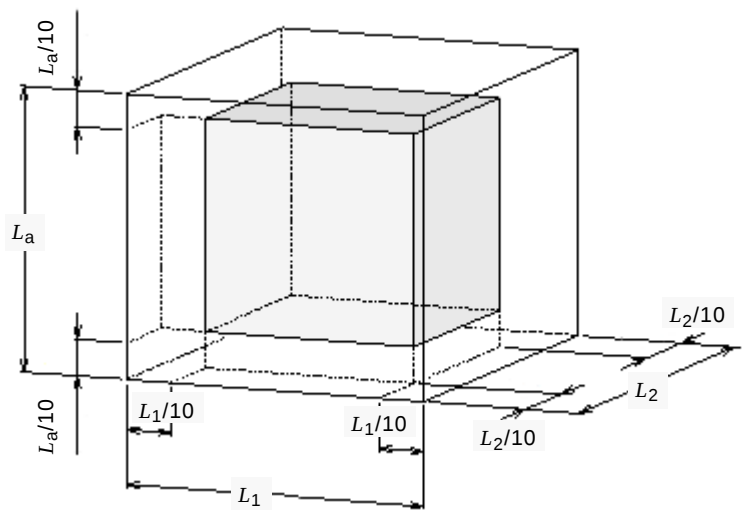


Figure 14 – Disposition des éprouvettes et flux d'air dans la chambre d'essai

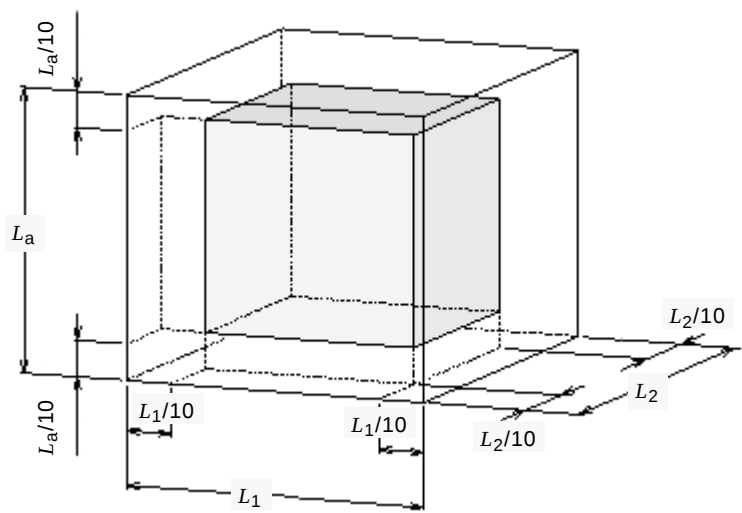
Il peut y avoir une différence appréciable de la température au centre et à la paroi intérieure de la chambre. Une aire de travail est définie pour un essai continu de température et d'humidité. L'espace approprié dans une chambre est illustré à la



IEC 1286/14

Volume (l)	Minimum value of L_1, L_2, L_3 mm
Jusqu'à 1 000	50
1 000 à 2 000	100
Plus de 2 000	150

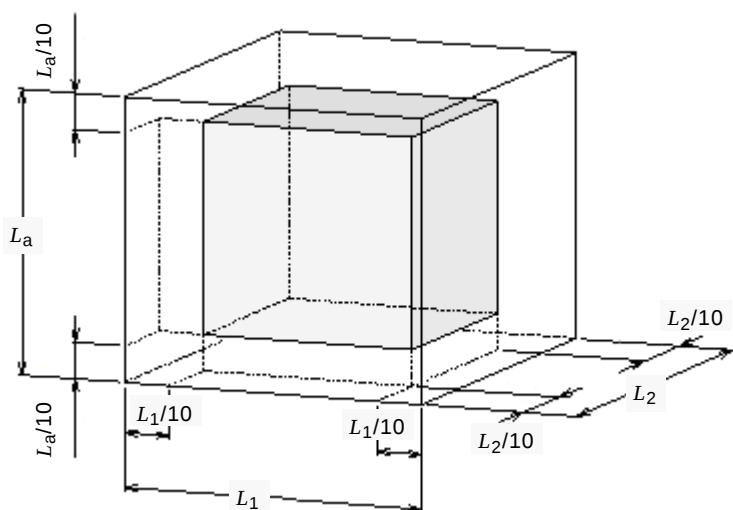
Figure 15 dans le cas d'une chambre rectangulaire ou cubique. Un espace approprié pour une chambre se situe dans l'intervalle excluant 1/10 de la distance entre les parois opposées comme le montre la



IEC 1286/14

Volume (l)	Minimum value of L_1, L_2, L_3 mm
Jusqu'à 1 000	50
1 000 à 2 000	100
Plus de 2 000	150

Figure 15. L'écart de la température peut être grand à l'extérieur de cet espace efficace et il convient de placer les éprouvettes d'essai dans cet espace dans la chambre.



IEC 1286/14

Volume (l)	Minimum value of L_1, L_2, L_3 mm
Jusqu'à 1 000	50
1 000 à 2 000	100
Plus de 2 000	150

Figure 15 – Espace efficace dans une chambre d'essai

3) Étanchéité des câbles d'alimentation pénétrant dans la chambre

Il convient que le câble pénétrant dans une chambre soit fermement étanchéisé afin de ne pas provoquer de fuite de l'air de la chambre vers l'extérieur. La vapeur peut fuir et la rosée formée sur un câble peut aussi fuir à l'extérieur de la chambre si l'étanchéité des câbles n'est pas correctement réalisée.

4) Maintenance de la qualité de l'eau du contrôleur de niveau d'eau d'une chambre d'essai continu de température et d'humidité

Il est nécessaire de nettoyer constamment le fond du bac d'eau d'un humidificateur de la chambre et le contrôleur de niveau d'eau du bac à mèche. L'eau n'est pas constamment alimentée au contrôleur de niveau du bac à mèche et le risque de croissance de mauvaise herbe est quelque peu supérieur dans le bac à mèche en comparaison au bac d'eau de l'humidificateur. Un ventilateur de mélange d'eau dans certains contrôleurs de niveau d'eau est installé à une position inférieure dans un bac et la température de l'eau peut s'élever. Le risque de croissance de mauvaise herbe est plus grand dans un tel cas. Le bac d'eau d'un humidificateur peut avoir concentré les impuretés dans l'eau et peut endommager le chauffage qu'il contient. Il convient de nettoyer régulièrement le chauffage.

5) Extraction des éprouvettes de la chambre d'essai après l'essai

Les s éprouvettes sont maintenues dans un environnement à température élevée et à humidité élevée dans l'essai continu de température et d'humidité. La rosée peut se former sur la surface des éprouvettes lorsque celles-ci sont extraites de la chambre. Il est conseillé de maintenir les éprouvettes un certain temps (1 h à 2 h) à 50 % HR et de les sortir ensuite pour la mesure.

4.3 Essai de vapeur pressurisée non saturée ou essai HAST (Essai fortement accéléré de contrainte de température et d'humidité)

4.3.1 But et grandes lignes de l'essai

L'essai continu de température élevée et d'humidité élevée (vapeur non saturée et pressurisée) spécifie un essai d'environnement appliquant une tension à une carte à circuit imprimé dans un état de régime établi de haute température et d'humidité élevée dans la JPCA ET 08. Cet essai est préparé pour évaluer la dégradation accélérée de l'isolement, la résistance à la migration, la comparaison des caractéristiques des matériaux des cartes, la résistance à l'humidité de la pellicule isolante (telle qu'un masque de soudure), et la dégradation d'autres caractéristiques des matériaux.

Un essai HAST est défini par la JESD22-A110. Il s'agit d'un essai avec un environnement d'humidité élevée qui est réalisé à une température supérieure à la température d'ébullition de l'eau pour accélérer la dégradation des matériaux selon la description en 4.2. L'eau est très rapidement absorbée dans une éprouvette dans un environnement de température élevée, d'humidité élevée et de pression élevée.

Cet essai a été initialement mis au point comme un essai de corrosion des dispositifs à semiconducteurs. Cet essai a été également introduit pour évaluer les matériaux électroniques de haute qualité récemment mis au point et utilisés avec des dispositifs à semiconducteurs, car l'essai continu conventionnel à 85 °C et 85 % HR exige une longue durée pour provoquer une dégradation appréciable. Il convient de prendre en considération un essai pour certaines caractéristiques de matériaux tels que les résines pour température de transition vitreuse, T_g , et quelques autres matériaux qui doivent être soumis à essai.

La JPCA ET 08 énonce que "Cet essai est conçu pour obtenir des résultats avec une plus forte accélération de la détérioration. Cet essai a été initialement mis au point pour soumettre à essai des dispositifs à semi-conducteurs montés dans un boîtier. Selon la température de transition vitreuse de la résine soumise à essai et la température d'essai, la haute température spécifiée dans cet essai peut considérablement altérer la durée de vie de l'éprouvette. Si la relation du facteur d'accélération de la durée de vie entre cet essai et l'utilisation pratique n'est pas claire, il convient que cet essai soit réalisé pour l'assurance qualité d'un produit, mais pour l'évaluation comparative du produit.

4.3.2 Profil de température-humidité-pression

Le profil d'essai est décrit en se basant sur l'IEC 60068-2-66 et l'EIAJ ED-4701/102 (essai de polarisation de température élevée et d'humidité élevée) selon la Figure 16. Le profil de l'essai HAST est fondamentalement le même que celui de l'essai continu de température et d'humidité. La température de la chambre d'essai est d'abord augmentée et ensuite l'humidité est augmentée. À environ 100 °C, la chambre est saturée de vapeur d'eau et l'air est expulsé. Le robinet d'air est fermé, la température de la chambre est élevée à la température d'essai et la pression interne augmente.

Lorsqu'un matériel d'essai HAST est mis sous tension, non pas avec la commande programmée, mais avec le profil ordinaire de l'essai continu de température et d'humidité, le profil de l'essai peut être différent de celui représenté à la Figure 16.

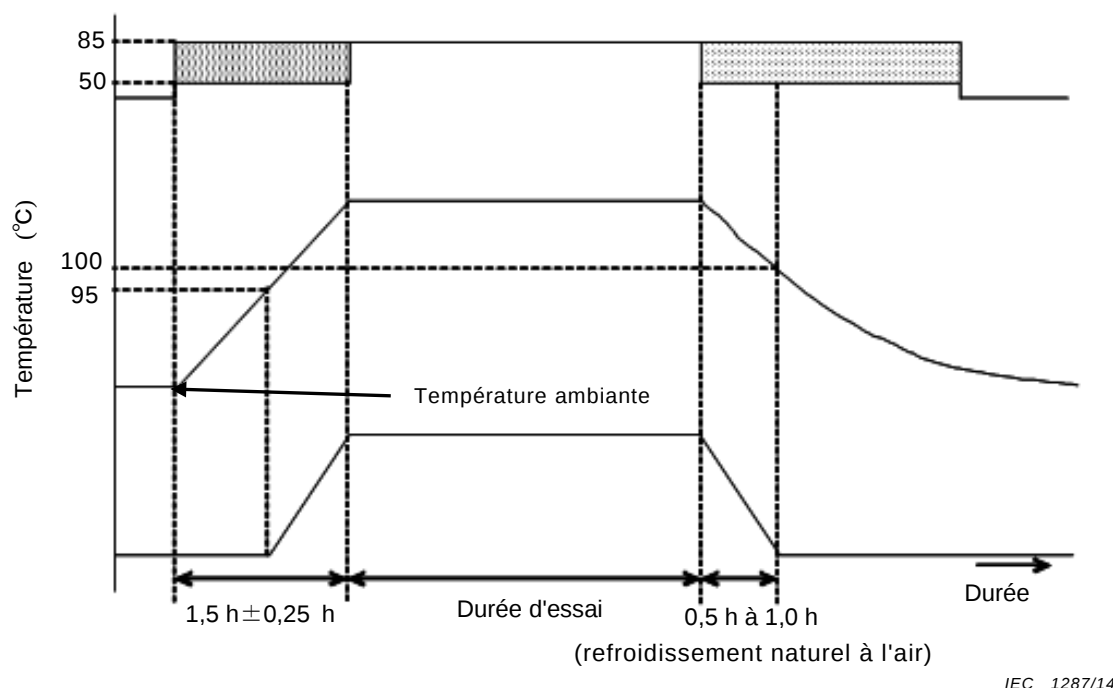
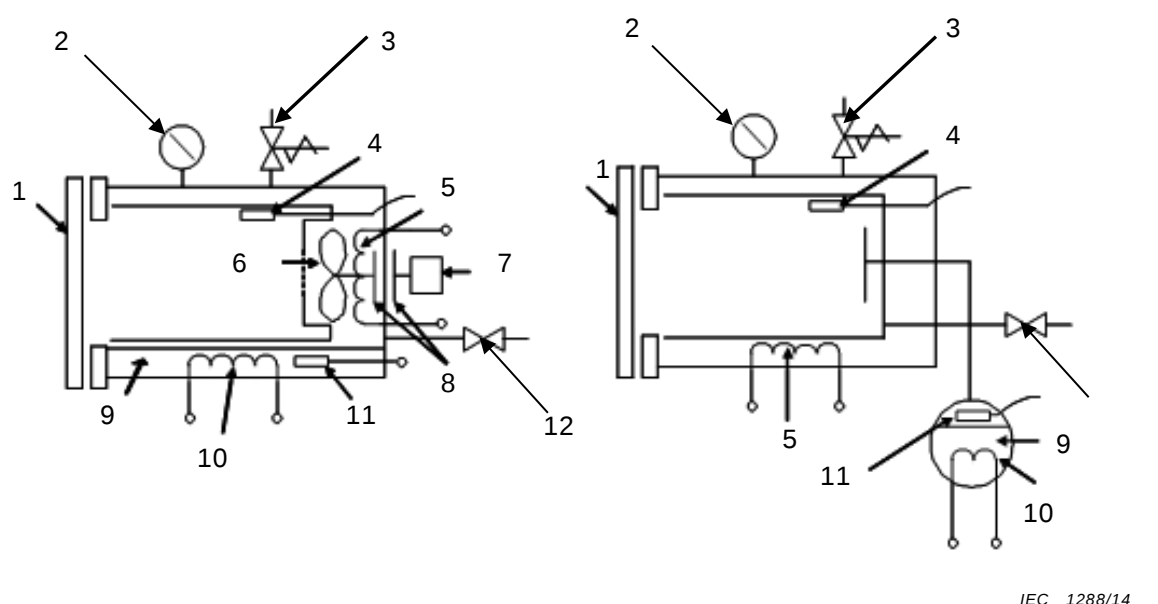


Figure 16 – Profil d'essai HAST

4.3.3 Structure du matériel d'essai et remarques sur celui-ci

1) Structure du matériel d'essai

Une structure type d'un matériel d'essai HAST est montrée à la Figure 17. Il existe deux types de matériel: à un seul récipient et à deux récipients. Le matériel à un seul récipient a un ventilateur pour la circulation de la vapeur d'eau. La vitesse de circulation de la vapeur dans la chambre est de l'ordre de 0,3 m/s, comparable à la convection naturelle dans la chambre. La vapeur d'eau vaporisée à partir de la plaque placée en bas de la chambre est chauffée juste avant d'être aspirée par le ventilateur à une température supérieure à celle de la vapeur d'eau environnante et envoyée dans la chambre d'essai. La vapeur d'eau passant à travers la chambre est réfléchiée à la porte de la chambre et refroidie pendant qu'elle passe par l'espace entre la chambre intérieure et la paroi de la chambre sous pression. Une partie de la vapeur est condensée en eau et tombe dans le bac d'eau, l'eau est de nouveau vaporisée du bac pour produire la vapeur d'eau nécessaire à l'alimentation. Le matériel d'essai à deux récipients sépare la chambre d'essai et la chambre de production de vapeur d'eau pour réduire l'interférence de température entre la chambre de production de vapeur et la chambre d'essai. Ce système a besoin de l'installation d'un ventilateur faisant circuler la vapeur.



IEC 1288/14

a) Type à un seul récipient

b) Type à deux récipients

Légende

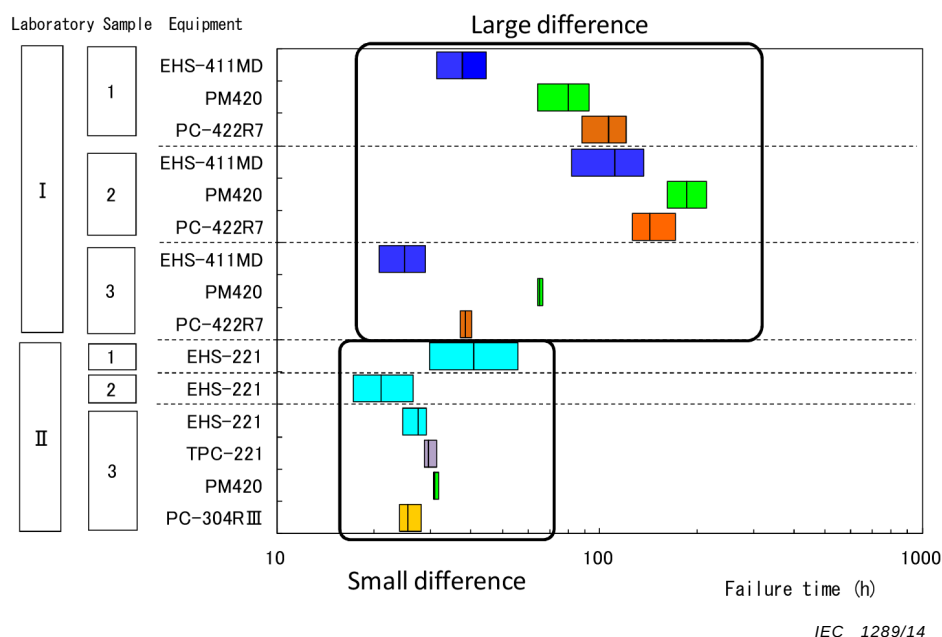
- | | | |
|---|--|-----------------------------------|
| 1. Porte | 2. Jauge de pression | 3. Soupape de sûreté |
| 4. Capteur de température pour l'humidité | 5. Chauffage pour l'humidité | 6. Ventilateur |
| 7. Ventilateur pour l'air | 8. Couplage magnétique | 9. Eau d'humidification |
| 10. Chauffage pour l'eau d'humidification | 11. Capteur de température pour l'eau d'humidification | 12. Soupape d'évacuation de l'air |

Figure 17 – Deux types de matériel d'essai HAST et leurs structures**2) Remarques relatives au matériel d'essai**

L'essai HAST est très sensible aux conditions d'essai telles que la précision de réglage de la température et de l'humidité et la propreté de la chambre d'essai, car c'est un essai fortement accéléré en comparaison au conventionnel essai en continu de température et d'humidité. Un aspect très important: il convient que la condition d'essai soit reproductible à sa meilleure condition. Certains cas sont décrits ci-dessous en s'appuyant sur l'étude menée par le Groupe d'étude de l'essai accéléré de durée de vie de la JIEP.

a) Différence de durée de défaillance entre les différents matériels d'essai

Une étude a été menée sur les résultats d'essai de matériaux différents dans des laboratoires d'essais différents. Des durées de défaillance différentes ont été constatées pour des essais différents (voir Figure 18). Même si la température et l'humidité se situaient dans la même plage et aucune différence significative n'avait pu être constatée, la durée de défaillance s'est avérée varier considérablement. La propreté des chambres d'essai et leur vieillissement peuvent constituer une raison possible, mais aucune cause spécifique n'a été trouvée. Dans l'essai HAST, il est important de maintenir le système d'essai en bon état; autrement, les données obtenues peuvent ne pas être très fiables.



Légende

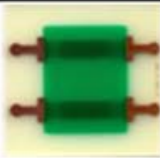
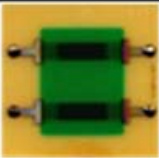
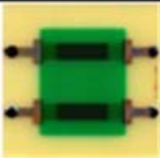
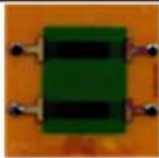
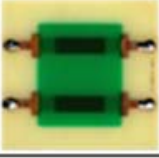
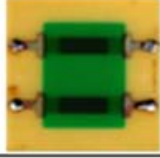
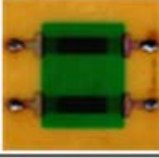
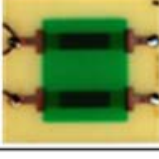
Anglais	Français
Laboratory	Laboratoire
Sample	Échantillon
Equipment	Matériel
Large difference	Grande différence
Small difference	Faible différence
Failure time	Durée de défaillance

Figure 18 – Différence de durée de défaillance dans différents laboratoires d'essais

b) Effets de l'environnement et de l'air résiduel de la chambre d'essai

La chambre pour l'essai HAST a une structure telle que le robinet d'air est ouvert jusqu'à ce que la chambre soit emplie de vapeur d'eau à environ 100 °C pour expulser l'air résiduel jusqu'à l'établissement de l'environnement d'essai dans la chambre. Le robinet est fermé lorsque l'intérieur de la chambre est saturé de vapeur d'eau et sa température est ensuite élevée à la température d'essai à une pression plus élevée. L'environnement n'est pas nécessairement de la pure vapeur d'eau, car il peut y avoir des gaz dissous dans l'eau et provenant des éprouvettes.

Une preuve de présence d'air résiduel dans la chambre est le changement de couleur des éprouvettes (cartes). La Figure 19 est un exemple de l'étude menée par le Groupe d'étude de la JEP. La différence de couleur des cartes peut être due à l'oxydation de la surface des cartes dans la chambre en raison des degrés différents de contamination dans la chambre et de vitesse d'échauffement, ou à la différence des instants d'évacuation de l'air de la chambre. Aucune corrélation claire n'a été constatée entre la durée de vie et le changement de couleur des éprouvettes. Il convient de vérifier que la température et l'humidité dans la chambre se situent dans la plage prédéterminée si la coloration des éprouvettes est significative.

Laboratoire	Fabricant du matériel d'essai d'environnement			
	État initial	A	B	C
I				
II				
III				

IEC 1290/14

Figure 19 – Différence de couleur de la surface des échantillons dans différents laboratoires (130 °C/85 %HR/50 V c.c.)

4.3.4 Remarques relatives à l'exécution de l'essai HAST

1) Choix et maintenance des câbles d'application de la tension électrique

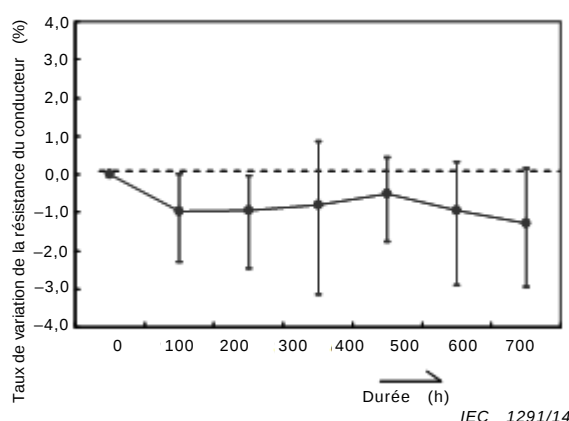
Le Tableau 9 montre les matériaux et la résistance à la chaleur des câbles vendus sur le marché et utilisés dans des essais d'application de tension électrique pour les essais d'humidité élevée. Pour l'environnement d'essai HAST, il convient d'utiliser des câbles de faible l'hydrolyse et faible dégazage. La surface d'un câble peut ne pas avoir été endommagée après une utilisation de longue durée dans l'essai HAST, mais des fissures peuvent avoir été produites dans le conducteur et la résistance du câble peut avoir augmenté.

La Figure 20 montre un exemple de variation de la résistance du conducteur d'un câble monoconducteur et la résistance à la traction d'un tel câble. La résistance du câble ne varie pas considérablement, mais la résistance à la traction diminue sensiblement après son utilisation dans l'environnement de température élevée et d'humidité élevée. Il convient de remplacer les câbles après chaque utilisation de 300 h.

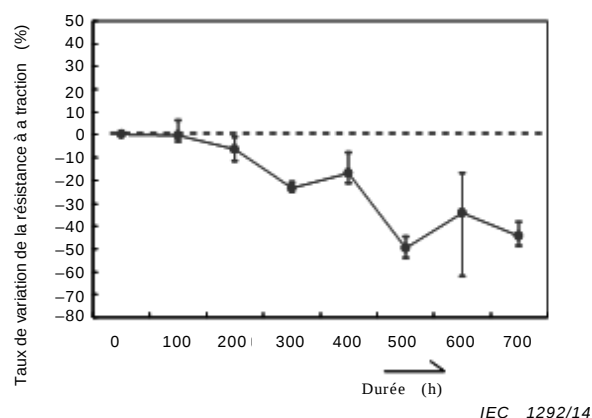
Il y a deux types de câbles, à savoir le câble monoconducteur et le câble à fils toronnés. La dégradation du câble peut être différente pour ces différents types de câbles. Il convient de vérifier soigneusement les câbles utilisés dans l'essai HAST.

Tableau 9 – Matériaux de couverture d'isolation pour les câbles dans une application de tension électrique

Type de matériau de couverture		Température max. pour l'utilisation continue (°C)
Type	Matériau	
Plastiques fluorés	PTFE (polytétrafluoréthylène)	260
	PFA (phosphonoformate)	260
	FEP (éthylène-propylène fluoré)	200
	ETFE (éthylène tétrafluoroéthylène)	150
Polyéthylène	Polyéthylène ponté	90



a) Résistance de conducteur

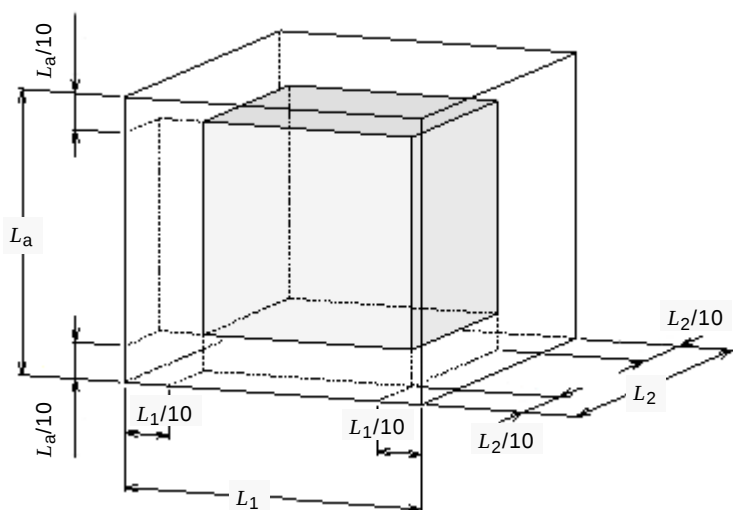


b) Résistance à la traction

Figure 20 – Résistance et résistance à la traction des câbles utilisés dans l'essai HAST (130 °C 85 % HR)

2) Installation des éprouvettes dans une chambre d'essai HAST

Le matériel d'essai HAST est habituellement équipé d'un ventilateur à hélice pour faire circuler la vapeur dans la chambre afin de maintenir une distribution constante de la température et de l'humidité, mais l'environnement n'est pas forcément uniforme en température et humidité. La garantie de la gamme constante de température-humidité par les fabricants d'équipement est l'intérieur plus 1/10 des dimensions de la paroi interne de la chambre, comme illustré dans la



IEC 1286/14

Volume (l)	Minimum value of L_1, L_2, L_3 mm
Jusqu'à 1 000	50
1 000 à 2 000	100
Plus de 2 000	150

Figure 15. La présence d'un trop grand nombre d'éprouvettes ou d'une éprouvette touchant la paroi de la chambre peut perturber la distribution de la température et de l'humidité dans une chambre. Lorsqu'une éprouvette touche la paroi, des gouttes d'eau peuvent tomber sur l'éprouvette ou la rosée peut se former et perturber les résultats d'essai.

3) Autres remarques

- Quant au matériau de basculement utilisé pour l'éprouvette et la porte de la chambre, il convient d'en choisir un qui ne se décompose pas ou ne produit pas d'ions libres pendant l'essai et qui ait une résistance à la chaleur suffisante aux températures d'essai.
- Un bulbe humide dans le matériel d'essai continu de température et d'humidité est alimenté en eau au moyen d'un morceau de gaze appelé "mèche". Le bulbe humide dans le matériel d'essai HAST est installé dans le bac d'eau. Si l'eau du bac est contaminée, cette contamination peut se déplacer vers la surface du bulbe humide et celui-ci peut ne pas indiquer la valeur correcte de l'humidité de la chambre. Il est nécessaire de nettoyer périodiquement la surface d'un bulbe humide.
- La principale différence entre le matériel d'essai HAST et le matériel d'essai continu de température et d'humidité est qu'un système HAST est un système complètement fermé pour réaliser un environnement d'une température supérieure au point d'ébullition de l'eau. Le gaz libéré des éprouvettes reste dans la chambre et n'est pas évacué vers l'extérieur de la chambre. Le gaz est combiné (absorbé) avec l'eau et reste sur la paroi de la chambre. L'adhérence de cette eau contaminée à la surface de la paroi peut conduire à une contamination des éprouvettes et peut donner des résultats d'essai incorrects. Il est nécessaire de nettoyer à l'alcool la paroi interne d'une chambre après un essai HAST.
- Une source chauffante indépendante est installée dans les systèmes de chauffage et d'humidification avec un chauffage à gaine. Le chauffage de contrôle d'humidité est immergé dans l'eau et vulnérable à l'eau d'humidification. L'utilisation de l'eau de ville du robinet peut réduire considérablement la durée de vie du chauffage à gaine, car l'eau contient du chlore et de l'hydroxyde de calcium. Il est conseillé d'utiliser de l'eau à la pureté recommandée par le fabricant du matériel, habituellement de l'eau distillée décrite en 4.7, point 2).
- Il convient de réaliser une fois par an un étalonnage du capteur de contrôle de la chambre du matériel d'essai HAST.
- Pour la protection contre la formation de rosée, il convient de préchauffer suffisamment l'éprouvette si elle a une capacité thermique élevée.

4.4 Essai de vapeur pressurisée et saturée

4.4.1 But et grandes lignes de l'essai

L'essai de vapeur pressurisée et saturée est fondamentalement semblable à l'essai HAST, mais avec 100 % HR et sans tension appliquée. Cet essai est généralement appelé PCT (essai au cuiseur sous pression). Cet essai est utilisé principalement pour évaluer la corrosion des pièces métalliques d'un produit.

La condition d'essai PCT est semblable à la condition de traitement de stérilisation des instruments médicaux. L'essai de corrosion par la méthode de vapeur d'eau pressurisée commençait par l'essai de type saturé, mais cette méthode a eu un certain nombre de problèmes, tels que l'effet des gouttes de rosée et la reproductibilité des défaillances dans les produits utilisés sur le terrain. L'essai de type non saturé est maintenant largement utilisé.

4.4.2 Profil d'essai

Après que la température de la chambre d'essai a atteint la température d'essai, le taux d'humidité est augmenté jusqu'à ce que la condition d'essai est atteinte. La température et l'humidité sont ensuite maintenues à la condition d'essai.

4.4.3 Remarques relatives à l'exécution de l'essai

L'essai PCT est fondamentalement le même que l'essai HAST, mais avec la condition spéciale d'humidité relative (HR) de 100 %. Des remarques spécifiques relatives à l'essai PCT sont présentées ci-dessous.

1) Maintenance de la propreté de la chambre

- a) L'essai PCT est réalisé dans un environnement d'une humidité relativement plus élevée en comparaison à l'essai HAST. La chambre d'essai peut être considérablement contaminée, car l'essai est réalisé dans un environnement d'humidité relative élevée, en comparaison à l'essai HAST; il est nécessaire de nettoyer à fond la chambre, y compris le capteur et la paroi interne. Il est rapporté qu'après le retour de la température de la chambre à la température ambiante, l'eau de saturation est remplacée après lavage de la chambre avec l'aide d'une brosse et deux cycles de fonctionnement à la saturation avec la condition (130 °C, 100 % HR, 2 h), suivis du remplacement de l'eau de saturation pour éliminer effectivement les contaminants qui s'étaient fixés à la paroi interne de la chambre d'essai.
- b) Lorsque le matériel est utilisé à la fois pour l'essai PCT et l'essai HAST, les bornes de connexion électrique sont vulnérables à la corrosion. Il est nécessaire de vérifier si la connexion électrique est en bon état en vérifiant la résistance de connexion des bornes lors de l'utilisation du matériel pour l'essai HAST après l'avoir utilisé pour l'essai PCT.

2) Installation des éprouvettes dans la chambre

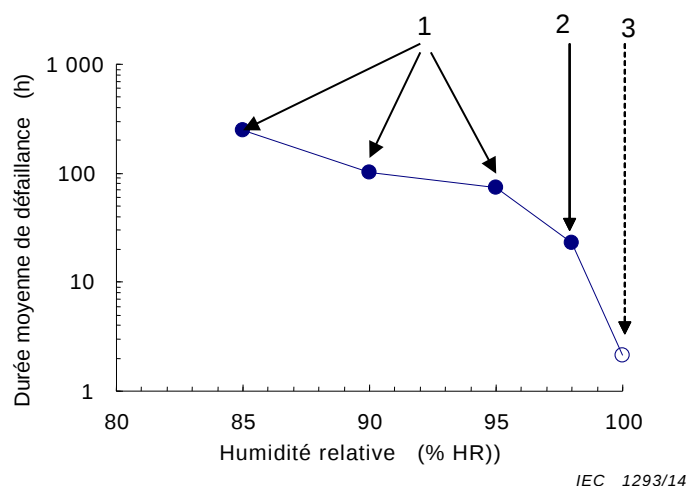
La formation de rosée sur la surface d'une éprouvette peut varier selon la position de l'éprouvette. La meilleure position de l'éprouvette peut être trouvée selon le but de l'essai.

3) Coexistence des environnements de contrôle d'humidité tant saturés que non saturés.

Il existe deux types d'essais, celui pour l'humidité saturée de 100% HR (l'état d'autoclave) et le type sec (l'humidité est réglée à une valeur de 98 %HR à 99 %HR). Ces types sont tous les deux appelés PCT. Les deux essais peuvent être réalisés en utilisant le même matériel et le système de commande approprié. La Figure 21 montre les résultats d'essai pour ces deux conditions avec application d'une tension électrique. La différence de durée de défaillance dans ces deux conditions est clairement visible à environ 100% (une différence d'environ 1/10 plus court). Il est important de préciser clairement dans quelle condition le PCT est réalisé.

Le PCT a été autrefois normalisé par l'EIAJ (Association pour le développement de l'industrie électronique japonaise), mais il a été supprimé, car la relation entre les résultats d'essai et les défaillances sur le terrain n'était pas claire. L'essai est encore largement utilisé à la demande des utilisateurs de dispositifs électroniques. Le PCT donne

des résultats bien différents, comme énoncé auparavant, en raison de l'état de saturation (100% HR) ou de quasi saturation. Il n'existe ni une norme pour cet essai ni une condition d'essai ayant fait l'objet d'un accord. Si l'essai PCT est réalisé, il convient que les détails fassent l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fournisseur concerné.



Légende

1. État non saturé à 121 °C
2. Quasi saturation dans la méthode de commande PCT à 121 °C
3. Commande saturée (autoclave) dans la méthode de commande PCT à 121 °C

Figure 21 – Différence entre la commande dans des conditions de non-saturation et de saturation du matériel PCT (humidité relative et durée moyenne de défaillance)

4.5 Essai cyclique de rosée

4.5.1 But et grandes lignes de l'essai

L'essai de formation de rosée soumet à essai des dispositifs qui sont utilisés dans des produits soumis à des conditions assez sévères de changements considérables de température rencontrées sur le terrain avec, par exemple, les appareils mobiles ou les composants électroniques utilisés dans l'automobile. Un changement de température peut avoir lieu lorsqu'un produit est introduit d'un environnement extérieur froid dans une salle chauffée (ou vice versa) et la rosée peut se former sur la surface d'un tel matériel. Un test cyclique de rosée permet d'évaluer la dégradation accélérée de l'isolation et la migration par la formation de rosée. Cet essai est utilisé pour l'évaluation de la fiabilité des tracés conducteurs sur une carte à circuit imprimé ou du traitement de surface.

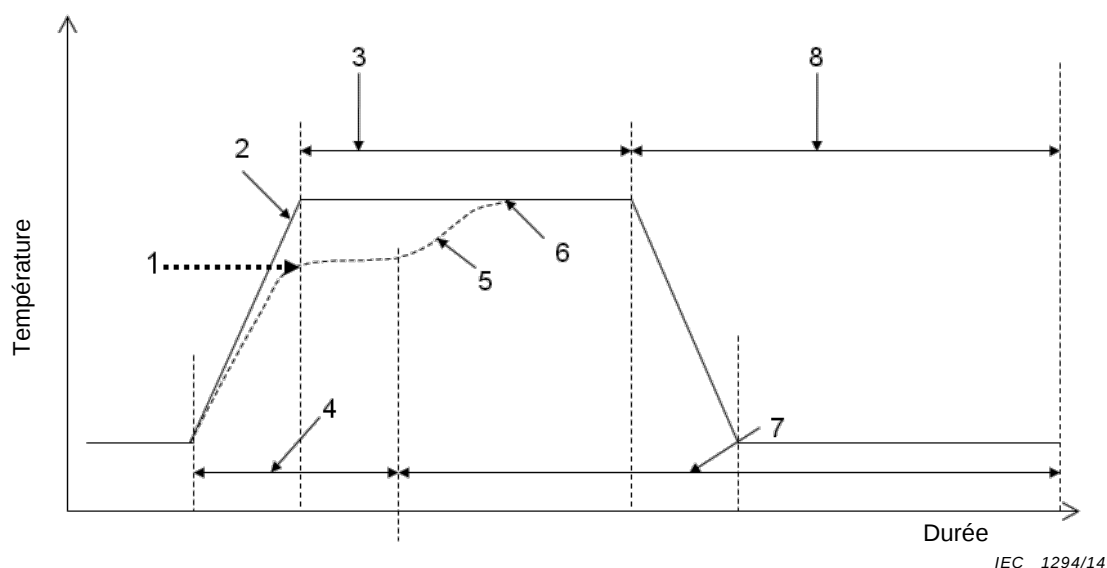
4.5.2 Profil de température et d'humidité dans l'essai cyclique de rosée

Le Tableau 10 montre la condition d'essai d'un essai cyclique de rosée type et la Figure 22 montre le profil de température et d'humidité. Lorsqu'une éprouvette est exposée à une haute température, sa température environnementale augmente d'abord rapidement et suit l'élévation de la température de la surface de l'éprouvette, mais son échauffement est retardé. La rosée se forme lorsque la température de la surface atteint la température de rosée et ensuite la rosée commence à s'évaporer parce que l'humidité n'est pas de 100 %. La température de la surface de l'éprouvette est à peu près la même que celle du bulbe humide dans l'environnement autour de l'éprouvette. La température de l'éprouvette augmente après que la rosée s'évapore à la température de l'environnement autour de l'éprouvette.

Il convient de noter que le profil température-humidité d'une différence de température d'environ 20 °C soit choisi comme essai de cycle de rosée peut être affectée si la différence de température entre les hautes et basses températures est importante.

Tableau 10 – Condition d'essai cyclique de rosée

Groupe	STD (Norme) n°.	Titre	Condition d'essai				
				Zone			
				t_1	t_2	t_3	t_4
JPCA	ET 06	Essai cyclique de rosée	1	5 °C /60 %HR 20 min	≤ 20 s	25 °C /90 %HR 20 min	≤ 15 min
			2	0 °C, 25 min	≤ 20 s	30 °C /90 % HR 25 min	≤ 15 min
			3	−5 °C, 30 min	≤ 20 s	35 °C /90 %HR 30 min	≤ 30 min



IEC 1294/14

Légende

- 1 Température au point de rosée
- 2 Cette courbe représente la température de la zone d'essai.
- 3 Durée à haute température
- 4 Durée au point de rosée
- 5 Cette courbe représente la température à la surface de l'éprouvette.
- 6 La température de bulbe humide et la température de bulbe sec deviennent égales à la même température.
- 7 Durée de séchage
- 8 Durée à basse température

Figure 22 – Profil de température et d'humidité de l'essai cyclique de rosée

4.5.3 Structure du matériel d'essai

La construction du matériel d'essai cyclique de rosée est montrée à la Figure 23. La chambre à basse température et la chambre à haute température sont placées à l'état prédéterminé. Une variation très rapide de la température et de l'humidité est donnée à une éprouvette en déplaçant les amortisseurs dans la chambre d'essai à connecter à partir de la chambre faible température faible humidité jusqu'à la chambre haute température haute humidité. La formation de rosée est répétée en s'ouvrant et fermant les mouilleurs appropriés.

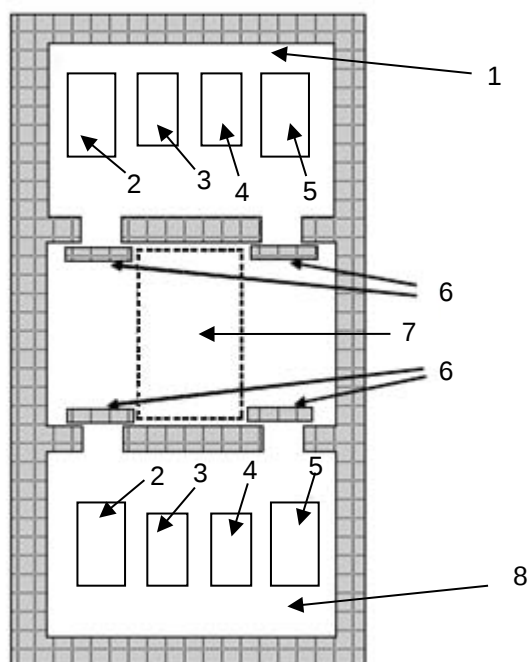
4.5.4 Remarques relatives à la méthode d'essai

1) Volume de rosée

a) Différence de température et taille des gouttes de rosée

La rosée se forme au cours du processus de passage de la température de l'éprouvette de la température basse à la température élevée, car la température de l'éprouvette ne peut pas suivre la variation de température de l'environnement. La rosée se forme à n'importe quelle plage de température lorsque la température de l'environnement passe d'une valeur basse à une valeur élevée. La taille et le poids

d'une goutte de rosée sont différents à des températures d'environnement différentes, même si la différence de température est la même (Figure 23).

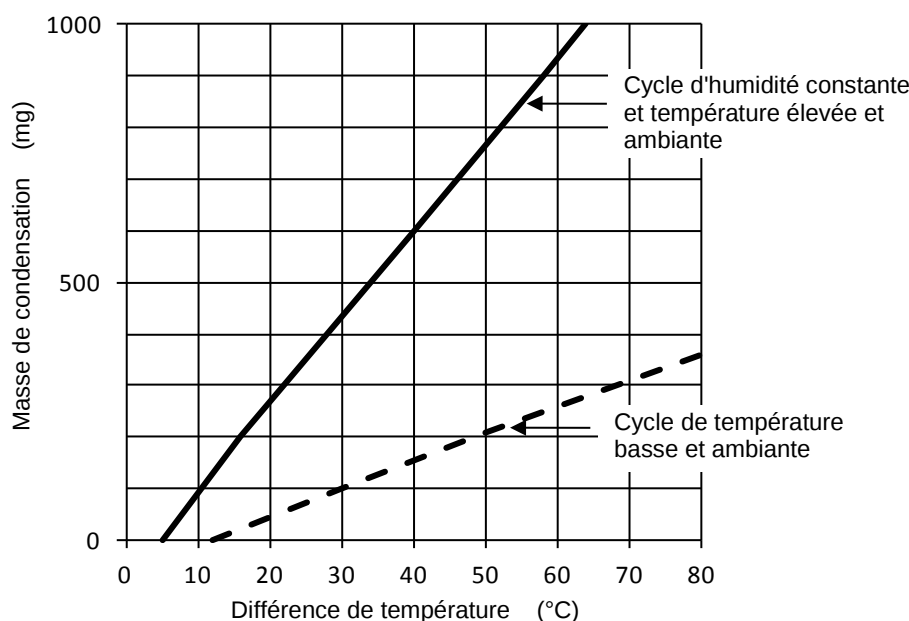


IEC 1295/14

Légende

- 1 Chambre à température élevée et humidité élevée
- 2 Humidificateur
- 3 Climatiser
- 4 Chauffage
- 5 Ventilateur
- 6 Mouilleur
- 7 Zone d'essai
- 8 Chambre à basse température et faible humidité

Figure 23 – Structure du matériel d'essai de rosée



IEC 1296/14

Figure 24 – Température de formation de rosée et taille de rosée

b) Contrôle de la formation de rosée

- i) La formation de rosée dépend de la condition d'essai et de la durée d'exposition d'une éprouvette à l'environnement. La condition préalable à un essai est la reproductibilité de la quantité et de la durée de présence de la rosée sur une éprouvette. Il est nécessaire de disposer d'un contrôle stable de l'environnement et d'une mesure précise de la température et de l'humidité.
- ii) Il est très difficile de mesurer la quantité de rosée formée. Elle dépend de la capacité thermique et de la quantité de vapeur d'eau absorbée. Il convient de faire preuve de vigilance au moment de concevoir le matériau de l'éprouvette et sa structure. Cela est particulièrement important pour un essai de comparaison relative des différentes éprouvettes.

2) Autres remarques

- a) Il convient de sceller hermétiquement le passage des câbles pénétrant dans la chambre d'afin de maintenir l'étanchéité à l'air de la chambre conformément à la description en 4.2.4, point 3).
- b) Les câbles d'alimentation électrique et les connexions à une éprouvette sont fléchis afin de ne pas appliquer de contrainte mécanique à une éprouvette et aussi afin que l'eau de condensation en rosée ne tombe pas directement sur l'éprouvette.
- c) Il convient que les câbles utilisés dans le matériel soient thermiquement résistants à la haute température de l'environnement du matériel.
- d) Si la porte du matériel est ouverte pendant l'expérimentation, l'air à haute température et humidité élevée fuit de la chambre, ce qui est très dangereux. Si la porte est ouverte juste après la mesure, quelqu'un peut se brûler.
- e) Il convient qu'une petite éprouvette ou une éprouvette légère soit couverte d'un panier d'aluminium, d'un filet ou d'un sac afin qu'elle ne soit pas enlevée ou soufflée par l'air circulant dans la chambre.

3) Exemple d'essai cyclique de rosée

Il n'existe pas de procédure spécifiée pour déterminer la meilleure condition de formation de rosée. Une des procédures appliquées dans la pratique est décrite ci-dessous.

Procédure:

- a) Choisir le mode environnemental de formation de rosée (température ambiante à haute température, et basse température à température ambiante).
 - b) Confirmer la taille de rosée pour la combinaison de température d'essai (basse température d'environnement, haute température/humidité d'environnement).
 - c) Décider de la meilleure condition de formation de rosée à partir de la relation entre la taille des gouttes de rosée et l'espace compris entre les lignes des tracés conducteurs.
- 4) Exemple d'étude de la meilleure condition de formation de rosée

Une étude de la taille des gouttes de rosée a été menée dans les conditions montrées dans le Tableau 11 pour déterminer la condition de formation de rosée où les gouttes de rosée sont densément distribuées sans contact avec deux lignes de conducteurs dans le voisinage d'une goutte de rosée en utilisant une carte à circuit imprimé FR-4. La Figure 25 montre la rosée formée dans les meilleures conditions de formation de rosée. Les gouttes de rosée sont densément présentes dans les espaces entre conducteurs, mais ne touchent pas deux lignes de conducteurs. Dans ce cas, la condition de formation de rosée pour ce cas est: 5 °C à 25 °C à 95 % HR.

Tableau 11 – Condition de formation de rosée et taille de la rosée

Condition de condensation	Taille des gouttelettes d'eau	Taux d'occupation des gouttes d'eau entre les conducteurs
0 °C à 20 °C, 95 % HR	0,13 mm	35 %
5 °C à 20 °C, 95 % HR	0,08 mm	20 %
5 °C à 25 °C, 95 % HR	0,13 mm	38 %
20 °C à 40 °C, 95 % HR	0,40 mm	95 %
20 °C à 60 °C, 95 % HR	0,50 mm	100 %
NOTE 1 L'espace entre conducteurs est de 0,318 mm.		
NOTE 2 Les gouttelettes d'eau franchissent l'espace lorsque le taux d'occupation est de 40 % ou plus.		



IEC 1297/14

Figure 25 – Surface de la carte dans la meilleure condition de formation de rosée

4.5.5 Exemple de migration du flux de soudure dans l'essai cyclique de rosée

1) Expérimentation

La migration a été soumise à essai dans un tracé conducteur du type peigne couvert de flux de soudure dans la meilleure condition de formation de rosée montrée dans le Tableau 12.

Tableau 12 – Condition d'essai cyclique de rosée

Condition d'environnement	5 °C to 25 °C, 95 % HR
Cycle d'essai	40 cycles (environ 27 h)
Conception d'essai	Tracé du type peigne en conformité avec l'IPC
Matériau du substrat	FR-4
Flux	Type RMA (Rosin, Mildly Activated)
Tension appliquée	50 V c.c.

2) Résultat

La Figure 26 montre la surface d'une éprouvette avant l'expérimentation. La résistance d'isolement était de $5 \times 10^7 \Omega$, mais est tombée à $6 \times 10^4 \Omega$ après une durée d'essai de 27 h et la migration a été décelée sur la surface (voir Figure 27).



Figure 26 – État de la surface avant l'essai



Figure 27 – État de la surface après 27 h

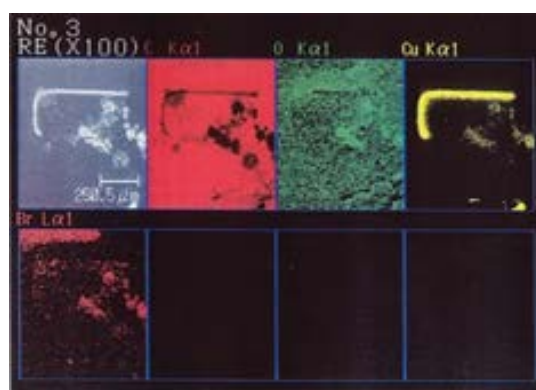
3) Analyse de défaillance (y compris le mécanisme de défaillance)

La création d'une craquelure a été observée par examen au MEB (microscope électronique à balayage) sur la surface dans le résidu du flux de soudure après 27 h de l'essai de cycle de rosée (voir Figure 28). Une analyse élémentaire de la surface a révélé la présence de cuivre, le matériau du conducteur le long du résidu de flux (voir Figure 29). La migration du cuivre est considérée comme étant la source de la dégradation de l'isolation. Le mécanisme de défaillance élucidé à partir de cette étude semble être que le résidu de flux s'était fissuré et l'eau est entrée dans la fissure, provoquant la migration des ions de cuivre et a conduit à la défaillance de l'isolation en un cours laps de temps. Aucune dégradation de l'isolant n'a été observée lorsqu'une éprouvette similaire a été laissée dans un environnement de 40 °C/95% HR pendant 2 000 h, et aucune fissure dans le résidu n'a été observée.



IEC 1300/14

Figure 28 – Image MEB de la surface de l'éprouvette après l'essai



IEC 1301/14

Figure 29 – Analyse élémentaire de la surface après l'essai

4.6 Essais simplifiés de migration d'ions

4.6.1 Généralités

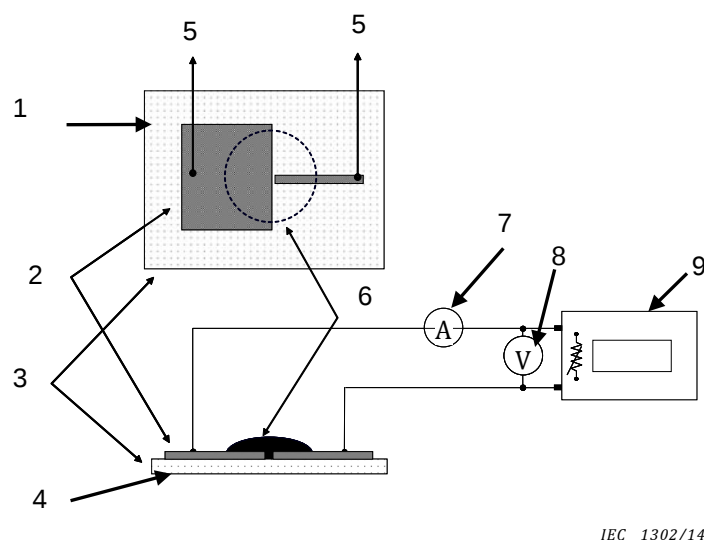
L'équipement sophistiqué est nécessaire, en général, pour les essais de migration, car le chauffage et l'humidification de l'environnement de la chambre d'essai sont nécessaires et une durée relativement longue est requise. Il existe deux méthodes préliminaires simplifiées d'essai pour l'évaluation de l'humidification. Ces types d'essais peuvent être réalisés comme un essai préliminaire pour évaluer les conditions d'essai avant de réaliser un essai réel d'évaluation des matériaux des conducteurs ou des matériaux de couverture tels qu'un masque de soudure. L'une des méthodes est l'essai à la goutte d'eau déionisée et l'autre l'essai à la solution diluée.

4.6.2 Méthode à la goutte d'eau déionisée

Cette méthode d'essai consiste à lâcher des gouttes d'eau déionisée de très grande résistance d'isolement sur une paire d'électrodes et à mesurer la résistance d'isolement entre ces électrodes

1) Mesure

Le schéma de circuit de l'essai à la goutte d'eau déionisée est montré à la Figure 30.



IEC 1302/14

Légende

- 1 Vue de dessus
- 2 Électrode
- 3 Substrat
- 4 Vue de côté
- 5 Vers l'alimentation électrique
- 6 Goutte d'eau
- 7 Ampèremètre
- 8 Voltmètre
- 9 Alimentation électrique

Figure 30 – Schéma de circuit de l'essai à la goutte d'eau

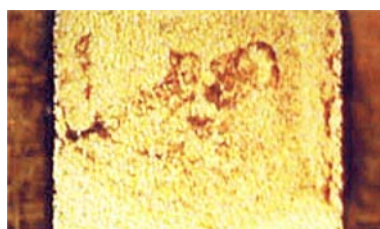
2) Éprouvette

L'éprouvette est une carte à circuit imprimé comportant un tracé conducteur. Un espace est formé entre les conducteurs. Il existe deux types de formes du conducteur, l'un est du type symétrique et l'autre du type asymétrique. Le choix du type d'éprouvette est fondé sur le matériau de l'éprouvette. L'un ou l'autre type d'espace peut être choisi.

3) Procédure d'essai

- a) Préparer de l'eau déionisée ayant une résistivité supérieure à $10^6 \Omega \text{ cm}$.
- b) À l'aide d'une pipette, lâcher des gouttes d'eau pour couvrir l'espace entre conducteurs.
- c) Relier les électrodes à une source d'alimentation électrique et appliquer une tension spécifiée pendant une durée spécifiée. Mesurer le courant à travers les conducteurs.

L'éprouvette est nettoyée à l'eau et séchée. Observer l'aspect de l'espace. Un exemple de migration est montré à la Figure 31. La comparaison de l'état de l'espace vide et du courant de fuite est utilisée pour l'évaluation du degré d'isolement entre les espaces vides.



IEC 1303/14

Figure 31 – Migration générée dans l'essai à la goutte d'eau

4) Remarques

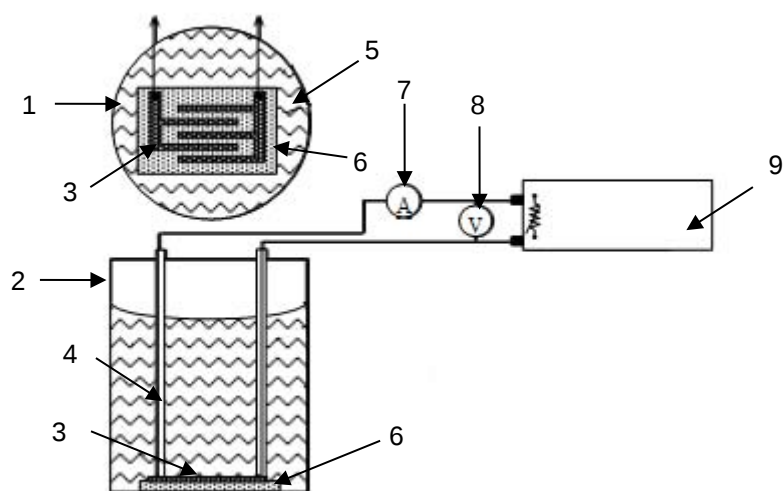
L'eau déionisée est de l'eau hautement purifiée ayant une résistivité élevée. Si elle est laissée à l'air, l'eau déionisée peut absorber le gaz CO_2 contenu dans l'air et d'autres substances contaminantes de la carte qui sont solubles dans l'eau et peut diminuer la résistance d'isolement entre les conducteurs. Il convient de faire la mesure en un court laps de temps et il convient d'utiliser de nouvelles gouttes d'eau pour chaque mesure.

4.6.3 Méthode à la solution diluée

Cette méthode utilise de l'eau avec une très faible quantité de sel ionique dans laquelle une éprouvette est immergée et une tension est appliquée entre les conducteurs. Le courant circule entre les conducteurs et le degré de migration peut être évalué.

1) Mesure

Le diagramme d'essai est montré à la Figure 32 et est semblable à celui de l'essai d'électroérosion. L'éprouvette est immergée dans une solution saline ionique diluée.



IEC 1304/14

Légende

- 1 Vue de dessus
- 2 Vue de côté
- 3 Électrode
- 4 Revêtement isolant
- 5 Solution électrolytique faible
- 6 Substrat
- 7 Ampèremètre
- 8 Voltmètre
- 9 Alimentation électrique

Figure 32 – Méthode d'essai d'électroérosion utilisant la solution diluée

2) Éprouvette

Un tracé de type peigne est formé sur une carte isolante telle que montrée sur l'illustration supérieure à la Figure 32. Les fils sont brasés ou soudés aux électrodes. Les fils et leurs interconnexions sont recouverts de résine isolante afin que les fils et le conducteur ne soient pas en contact direct avec la solution diluée.

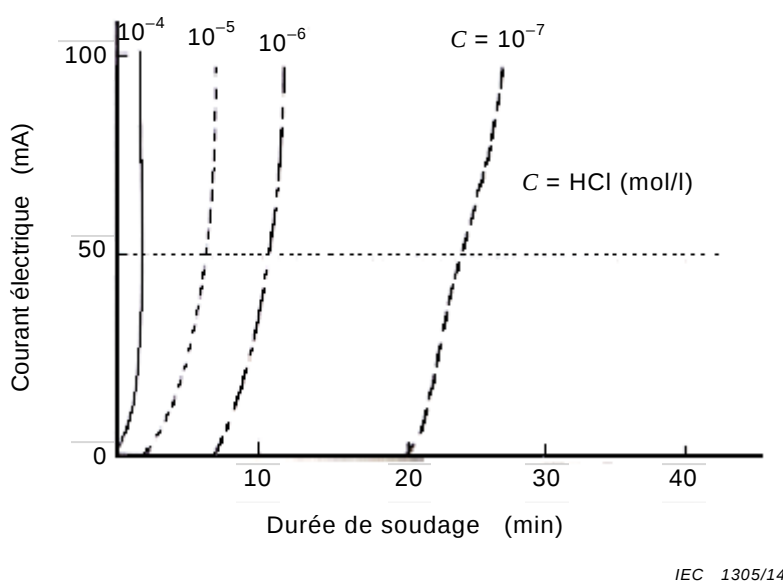
3) Procédure

- a) Préparer une solution dans HCL de $(10^{-6}$ à $10^{-7})$ mol/l de sel raffiné spécifié.
- b) L'éprouvette est immergée dans un récipient contenant la solution et raccordée à une alimentation électrique.

- c) Appliquer la tension spécifiée à l'éprouvette et mesurer le courant. Arrêter l'essai lorsque le courant a atteint la valeur spécifiée.
- d) L'éprouvette est nettoyée à l'eau et séchée. Observer alors l'espace vide entre les conducteurs.

4) Exemple de résultat d'essai

Une analyse de l'essai à la solution diluée est décrite ici. Il s'agit d'un essai préliminaire et simplifié qui est réalisé avant l'analyse de la migration des ions d'impureté dans la carte à circuit imprimé. La Figure 33 montre les corrélations entre le courant et la durée pour différentes concentrations de la solution de HCl. La durée du démarrage du courant est plus longue lorsque la concentration de sel est faible. Il a été décidé que la concentration correcte correspondait à une solution de HCL à (10^{-6} to 10^{-7}) mol/l. La formation de précipité sur l'éprouvette à 50 mA est montrée à la Figure 34, un tracé similaire au modèle de migration. Il a été décidé qu'un essai préliminaire était faisable avec cette méthode.



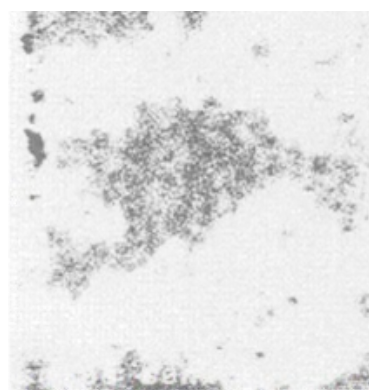
IEC 1305/14

Figure 33 – Courant et concentration de la solution électrolytique



IEC 1306/14

a) Formation de précipité sur une carte



IEC 1307/14

b) Analyse de précipité cuivre (Cu)

Figure 34 – Formation de précipité sur une éprouvette et son analyse élémentaire

4.7 Éléments devant être notés dans les essais de migration

- 1) Norme de capacité du matériel pour l'essai continu de température et d'humidité

L'IEC 60068-3-5 spécifie le matériel pour l'essai continu de température et l'IEC 60068-3-6 celui de l'essai continu d'humidité. L'Association japonaise des essais machines (JTM) a spécifiquement décrit la méthode d'essai de capacité et la méthode physique pour décrire les performances de la chambre d'essai de température sur la base de JTM K 07.

2) Eau utilisée dans l'essai

L'eau utilisée dans l'essai de résistance à l'humidité est spécifiée pour son type, sa résistivité et sa constante diélectrique (voir Tableau 13). En général, c'est de l'eau déionisée qui doit être utilisée.

Tableau 13 – Qualité de l'eau pour l'essai

Organisme de normalisation	Numéro de norme	Qualité de l'eau
EIAJ	ED-4701/100	– eau distillée ou déionisée – pH 6,0 à 7,2 à 23 °C, résistivité supérieure à 500 Ωm
IEC	IEC 60068-2-78	– résistivité supérieure à 0,05 $\text{M}\Omega\text{m}$
	IEC 60068-2-66	– eau distillée ou déionisée – pH 6,0 à 7,2 à 23°C, résistivité supérieure à 0,5 $\text{M}\Omega\text{cm}$ (conductivité inférieure à 2 $\mu\text{S/m}$)
JEDEC	JESD22-A101	– eau déionisée – résistivité supérieure à 1 $\text{M}\Omega\text{m}$ à la température ambiante
IPC	IPC-TM-650	– eau distillée ou déionisée – résistivité supérieure à 2 $\text{M}\Omega\text{cm}$

La question importante à prendre en considération est la qualité de l'eau déminéralisée utilisée dans les essais (concentration d'impuretés ioniques). Le Tableau 14 montre le résultat d'une étude d'impuretés ioniques contrôlées par chromatographie ionique dans l'eau provenant de différentes sources. La quantité d'impureté ionique contenue dans l'eau se classe dans l'ordre: 1) eau de robinet, 2) eau pure, 3) eau ultrapure. L'eau pure ordinaire peut être contaminée si elle est laissée dans un réservoir de réserve et elle peut être plus contaminée que l'eau de robinet si elle est laissée dans l'environnement d'une salle. Il convient que l'eau pure utilisée dans l'essai soit introduite dans la chambre d'essai directement à partir de la source afin de raccourcir le plus possible la durée du séjour de l'eau dans l'environnement de la salle.

Il est possible de réduire la contamination en nettoyant le bac d'eau dans la chambre d'essai et d'éviter les dommages occasionnés au chauffage en raison de la contamination accumulée. Ne pas utiliser d'eau contaminée et nettoyer régulièrement le bac d'eau.

Tableau 14 – Variation de la qualité de l'eau dans l'essai continu de température et d'humidité (10^{-6})

Échantillon d'analyse par chromatographie ionique			Cation			Anion	
			Na^+	NH_4^+	K^+	Cl^-	SO_4^{2-}
Qualité de l'eau	Eau ultrapure		0,1	0,1	–	0,3	0,3
	Eau pure	Immédiatement après extraction	4,6	1,2	1,1	8,4	5,7
		séjour en salle (après une semaine)	51,4	203,4	31,3	58,2	5,7
	Eau de robinet		12,0	–	1,8	10,3	–
Variation de la	Dans un réservoir		7,4	31,0	5,5	14,0	11,7

Échantillon d'analyse par chromatographie ionique			Cation			Anion	
			Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
qualité de l'eau dans l'essai d'humidité	Dans un réservoir d'eau d'humidification	Avant nettoyage	212,0	369,0	159,0	889,0	1 190,0
		Après nettoyage	14,0	206,0	8,0	86,0	110,0

3) Autres composants utilisés dans l'essai d'humidification

a) Types de gabarits utilisés pour installer les éprouvettes dans les chambres d'essai continu de température et d'humidité et d'essai HAST

Les principaux dispositifs de serrage et d'application de tension d'essai qui sont disponibles sur le marché pour l'essai sont donnés dans le Tableau 15. Le PTFT (Polytétrafluoréthylène) ou un matériau en résine ayant une résistance à la chaleur équivalente est utilisé pour la partie qui fixe une éprouvette et sert de montage d'insertion de l'éprouvette. Des remarques particulières concernant les dispositifs de montage sont données ci-dessous.

- i) Choisir un matériau qui a une plus grande résistance à la chaleur et ne produit pas de dégazage, afin de ne pas altérer le résultat d'essai.
- ii) Utiliser des pièces métalliques qui résistent à la corrosion telles qu'un SUS (acier inoxydable).
- iii) Il est difficile d'utiliser le dispositif de maintien de l'éprouvette dans l'environnement d'essai de température et d'humidité en même temps que dans l'environnement d'essai HAST, car les conditions d'essai, telles que la température d'essai, la pression de vapeur, la capacité de la chambre d'essai et le profil d'échauffement au commencement de l'essai, diffèrent entre l'essai continu de température et d'humidité et l'essai HAST. Il est important de choisir le dispositif de maintien d'éprouvette le plus adapté à la condition d'essai.

b) Concentration d'impuretés ioniques dans le câble d'application de la tension utilisé dans une chambre d'essai

Il convient que la couverture isolante du cordon utilisé pour appliquer la tension à une éprouvette ait une résistance à la chaleur supérieure à la température d'essai, et il convient que le matériau de couverture ait la plus faible concentration possible d'impuretés ioniques (ions libres). Les ions ammonium pour les cations et les ions chlorure et sulfure pour les anions sont considérés comme étant liés à la migration. Il convient que les tubes de couverture et les couvertures en résine utilisés pour les bornes aient également une faible concentration d'impuretés ioniques. Le Tableau 15 montre la concentration d'impuretés ioniques décelée dans les câbles d'application de tension disponibles sur le marché.

Tableau 15 – Impuretés ioniques dans les câbles d'application de tension (10⁻⁶)

	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
ETFE (éthylène tétrafluoroéthylène)	0,07	0,45	0,20
Polytétrafluoréthylène	0,85	0,77	0,42
Revêtement Téflon	0,14	0,93	0,08
Tube thermorétrécissable	1,79	2,53	1,60
Couverture de borne	0,28	1,91	0,21

4) Installation de l'éprouvette dans une chambre d'essai

La direction d'une éprouvette dans une chambre d'essai peut ne pas avoir d'effet significatif. La convection dans la chambre (système à deux récipients) est provoquée par l'écoulement naturel de l'air et de la vapeur. Toutefois, un système de convection forcée (système à un seul récipient) peut altérer les résultats de l'essai en raison du sens dans lequel une éprouvette est installée dans la chambre. Il convient d'installer l'éprouvette

dans la chambre de la manière montrée à la Figure 14 afin que le flux de convection ne frappe pas directement l'éprouvette et empêche la formation de rosée sur la surface de l'éprouvette. Il convient de laisser un espace suffisant entre la paroi de la chambre et l'éprouvette. Il convient que l'éprouvette soit parallèle à la direction du flux de convection afin de ne pas perturber le flux.

5 Essais électriques

5.1 Mesure de résistance d'isolement

5.1.1 Normes de mesure de résistance d'isolement

Le Tableau 16 donne les normes disponibles pour la mesure de la résistance d'isolement.

Tableau 16 – Normes de mesure de résistance d'isolement

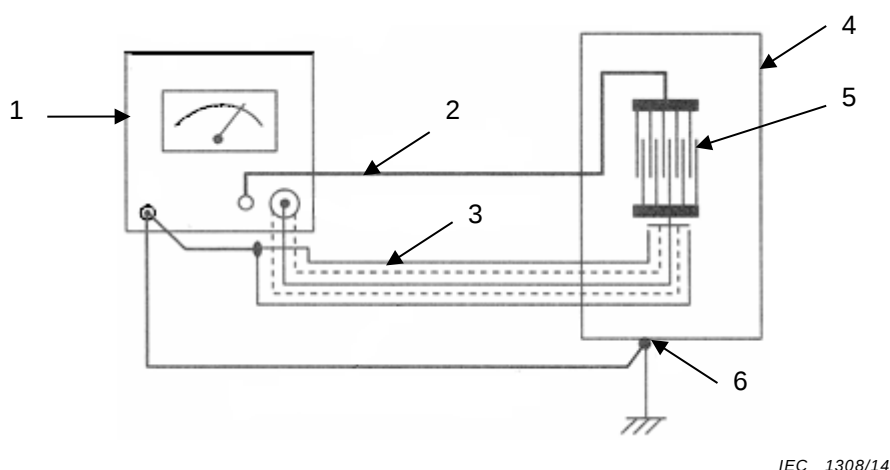
Norme n°	Nom de la norme	Condition de mesure
JPCA ET 01	Méthode d'essai d'environnement de carte à circuit imprimé	– Tension d'essai et tension: (5 à 100) V cc recommandée – Méthode de mesure de résistance d'isolement: Mesure à l'intérieur ou à l'extérieur de la chambre – Temps de changement de mesure: IPC J-STD- 004 – Valeur d'acceptation Mesure à l'intérieur de la chambre: $1 \times 10^6 \Omega$ ou plus Mesure à l'extérieur de la chambre: $1 \times 10^7 \Omega$ ou plus
IPC-TM-650:1979, 2.5.27	Résistance d'isolement de la surface du matériau brut de la carte à circuit imprimé	– Tension mesurée: 500 V c.c. – La mesure est réalisée dans les 60 s – Mesure après 24 h à 150 °C
IPC-TM-650:2004, 2.6.3.3B	Résistance d'isolement de la surface, flux	– Tension c.c. appliquée au dispositif 45 V à 50 V ± 10 %V – Tension mesurée 100 V c.c.
UL 796	Cartes à circuits imprimés (migration d'argent)	– Condition de mesure Distance minimale 1,6 kV/mm (40 V/mil) Max 1 000 V – Durée de charge 60 s – Condition d'essai 35 % ± 2 %/1 344 h, tension assignée – Mesure après essai 23 °C ± 2 °C/50 % HR/48 h après négligence
ISO 9455	Flux de brasage tendre – Méthodes d'essai – Partie 17: Essai au peigne et essai de migration électrochimique de résistance d'isolement de surface des résidus de flux	– Condition d'essai 40 °C, 93 % HR ou 85 °C, 85 % HR – Valeur d'acceptation en dessous de 100 MΩ ($1 \times 10^9 \Omega$) – Tension d'essai 50 V c.c. – Mesure après essai 25 °C, 50 % HR, 2 h après négligence

5.1.2 Méthode de mesure de résistance d'isolement

La mesure de la résistance d'isolement est communément utilisée pour évaluer la migration. Il existe deux types de mesures, l'une consiste à mesurer la résistance d'une éprouvette pendant qu'elle est extraite de la chambre d'essai (mesure à l'extérieur de la chambre) et l'autre est la mesure en condition in situ pendant que l'éprouvette est maintenue dans l'environnement d'essais et n'est pas extraite de la chambre pour la mesure (mesure dans la chambre). La mesure à l'extérieur de la chambre n'est pas une réelle évaluation de l'isolement dans l'environnement d'essai. La formation de rosée peut se produire lorsqu'une éprouvette est extraite de la chambre après que l'environnement de la chambre a été porté à l'environnement extérieur. Une éprouvette peut changer ses caractéristiques en étant extraite de la chambre pour être mise dans l'environnement extérieur. La mesure effectuée en ne sortant pas l'éprouvette de la chambre est habituellement recommandée.

1) Mesure à l'extérieur de la chambre

- a) L'environnement de la chambre est d'abord remis dans la condition atmosphérique normalisée et ensuite une éprouvette est extraite de la chambre. L'éprouvette est séchée pendant une durée spécifiée et ses caractéristiques sont mesurées dans un intervalle de temps spécifié. Toutes les mesures sont réalisées dans le même environnement de température et d'humidité.
- b) L'éprouvette extraite de la chambre est maintenue dans l'atmosphère normalisée pendant une durée spécifiée. Ensuite, elle est stockée dans une boîte blindée afin de n'avoir aucune influence du champ magnétique ou du champ électrostatique dû à l'effet du corps humain (voir Figure 35) et sa résistance d'isolement est mesurée. Il convient de laisser une éprouvette sur une base en résine de polytétrafluoroéthylène qui a une résistance d'isolement élevée ou dans un état flottant dans la mesure. Il convient d'utiliser des caches isolés pour les bornes d'alimentation électrique du matériel afin de ne pas toucher ces bornes avec les mains nues. Il convient de veiller à ne pas toucher le matériau de résine au voisinage du conducteur du conducteur de mesure (cosse ou sonde) est reliée au tracé conducteur de mesure.
- c) Il convient de veiller spécialement à utiliser un gant afin de ne pas toucher une éprouvette avec les mains nues. Il convient de ne jamais postillonner sur la surface de l'éprouvette.



IEC 1308/14

Légende

- 1 Instrument de mesure de résistance d'isolement
- 2 Tension
- 3 Câble blindé
- 4 Boîte blindée
- 5 Échantillon
- 6 Masse

Figure 35 – Exemple de mesure de résistance d'isolement à l'extérieur de la chambre

2) Mesure dans la chambre

Il existe un système de mesure automatique pour mesurer la résistance d'isolement d'éprouvettes en utilisant des éléments de résistance d'isolation:

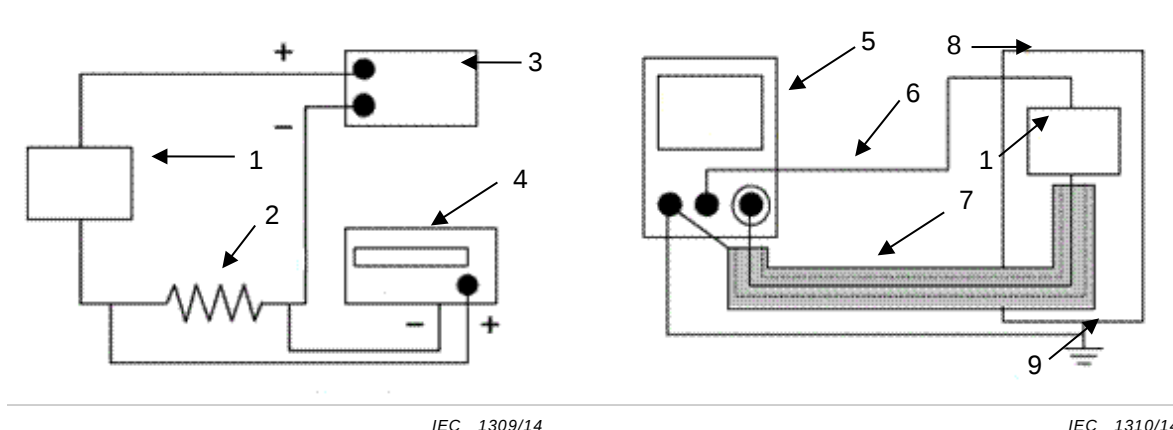
a) Principe

Une résistance détectant le courant est reliée en série à une éprouvette et une tension constante est appliquée au circuit conformément à la Figure 36 a). Le courant dans le circuit est mesuré en mesurant la tension aux bornes de la résistance. Il est possible de mesurer le courant en continu sans interrompre l'exposition d'une éprouvette à l'environnement d'essai. Le circuit de mesure peut avoir un effet d'interférence provoqué par d'autres circuits et le nombre de fils augmente si la mesure est réalisée

pour un grand nombre d'éprouvettes. Il convient de faire preuve de vigilance au moment de manipuler les câbles.

b) Mesure utilisant un instrument de mesure de résistance d'isolement

Un instrument de mesure de résistance d'isolement tel qu'illustré à la Figure 36 b) est utilisé pour mesurer une résistance élevée de l'ordre de $10^6 \Omega$ à $10^{12} \Omega$. Il est généralement possible de mesurer une résistance de l'ordre de $10^{13} \Omega$. Le circuit d'essai est également utilisé pour la mesure et il convient de raccorder avec soin les câbles à un instrument de mesure de résistance d'isolation. Un système de mesure est disponible sur le marché pour mesurer la résistance d'isolement d'un grand nombre d'éprouvettes pendant que les éprouvettes sont maintenues dans une chambre d'essai.



a) Mesure par la méthode de la chute de tension

b) Mesure par un instrument de mesure de résistance d'isolement

Légende

- 1 Échantillon
- 2 Résistance pour la détection
- 3 Alimentation électrique
- 4 Voltmètre
- 5 Instrument de mesure de résistance d'isolement
- 6 Câble d'application de tension
- 7 Câble blindé
- 8 Chambre à température constante
- 9 Masse

Figure 36 – Schéma de circuit de la mesure de résistance d'isolement

c) Système de mesure automatique

Un système de mesure automatique est habituellement utilisé pour éviter la complexité et l'inconfort des fils de câblage à l'extérieur de la chambre d'essai. Les caractéristiques d'un tel système automatique sont décrites ci-dessous.

i) Caractéristiques d'un système automatique

Une mesure continue de la résistance d'isolement est possible pendant qu'une éprouvette est maintenue dans une chambre d'essai. Une alarme peut sonner lorsqu'un effet anormal est décelé dans la mesure.

Une tension d'essai est appliquée à chaque éprouvette et le courant de fuite est surveillé en continu pendant une durée arbitraire quelconque. Il est possible d'identifier la génération d'une migration et sa durée. Fondamentalement, il n'y a pas de limite au nombre d'éprouvettes devant être mesurées en une seule et même passe. La mesure simultanée de plusieurs éprouvettes est possible.

- ii) Les systèmes automatiques de mesure disponibles sur le marché ont des structures propriétaires développées par des fabricants. Des remarques relatives au choix d'un système pour les laboratoires sont données ci-dessous.

Il y a une possibilité d'avoir la quasi fuite d'une éprouvette par absorption d'eau. Il convient que le matériel ait à la fois une résistance élevée et une résistance faible, pour la gamme inférieure comprenant la mesure de $<10^6 \Omega$. Il convient que la plage de mesure de la résistance d'isolement inclue celle des câbles de mesure, y compris les deux extrémités d'un câble.

Il convient que les tensions d'essai spécifiées ainsi que les autres tensions d'essai puissent être appliquées en permanence. Dans le cas du système qui peut commuter la tension d'essai et la tension de mesure, il convient que le dépassement de la tension appliquée soit vérifié en utilisant un oscilloscope.

Il convient que la migration dans un espace entre conducteurs soit détectée de façon sensible (il convient de détecter nettement une augmentation du courant de fuite entre les conducteurs).

La migration dans une éprouvette peut également affecter le courant de fuite dans une autre éprouvette.

Lorsqu'une migration se produit, il est souhaitable de limiter le courant de fuite pour éviter que la résine dans les éprouvettes ne brûle.

5.1.3 Remarques spéciales relatives à la mesure de résistance d'isolement

- 1) Relation entre le courant de charge statique et de fuite dans la mesure de la résistance d'isolement

Dans certains cas la charge devrait être spécifiée avant la mesure. Le courant à travers l'éprouvette diminue au fil du temps (augmentation de la résistance) et atteint un courant de régime établi lorsqu'une tension est appliquée à l'éprouvette. Cette diminution du courant (augmentation de la résistance) dépend du courant d'absorption. Selon l'éprouvette, la durée avant que le courant n'atteigne la valeur approximativement constante peut être de plusieurs heures, plutôt que de quelques secondes. Cependant, pour faciliter la mesure, la durée effectivement prise est plutôt courte.

Le courant circulant dans une éprouvette se compose, d'une part, du courant de fuite indépendant du temps qui est créé par les électrons libres et les ions libres dans l'éprouvette et, d'autre part, du courant d'absorption dans le diélectrique (charge) conformément à la Figure 37. Le courant d'absorption diélectrique est provoqué par la polarisation des atomes, c'est-à-dire la formation de dipôle électrique. Le courant dû au mouvement de ces dipôles électriques dans le diélectrique est le courant d'absorption diélectrique.

Ce courant peut ne pas décroître uniformément dans certains matériaux et peut ne pas se stabiliser. Dans ce cas, il convient de choisir correctement la durée de mesure à partir du résultat de la mesure préalable de la relation du courant en fonction du temps (courant-temps). Il peut s'écouler une durée considérable avant que la valeur mesurée de la résistance d'isolement ne soit stable, notamment dans le cas d'un produit monté sur un diélectrique tel que les condensateurs dans le cas montré à la Figure 38.

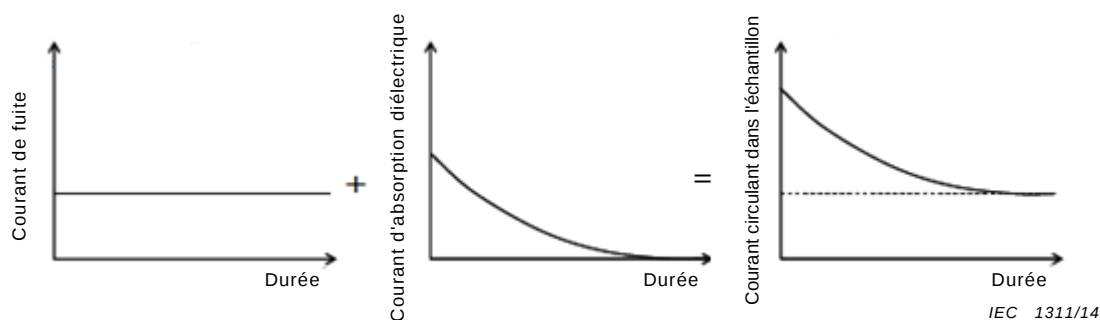


Figure 37 – Exemples de caractéristiques de courant de fuite

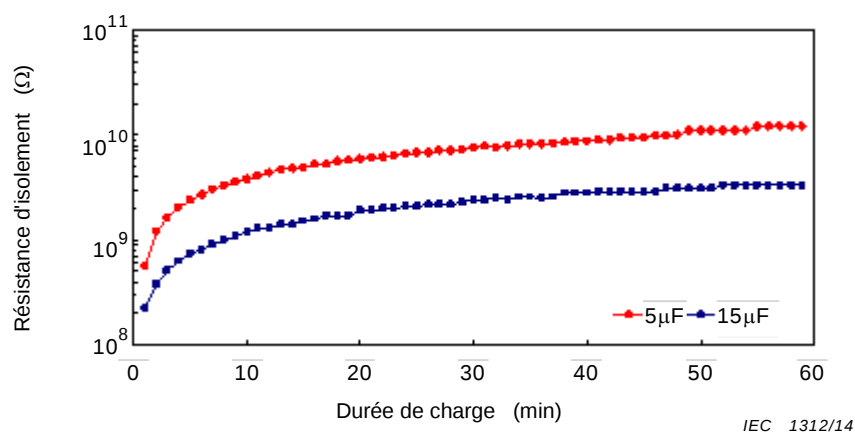
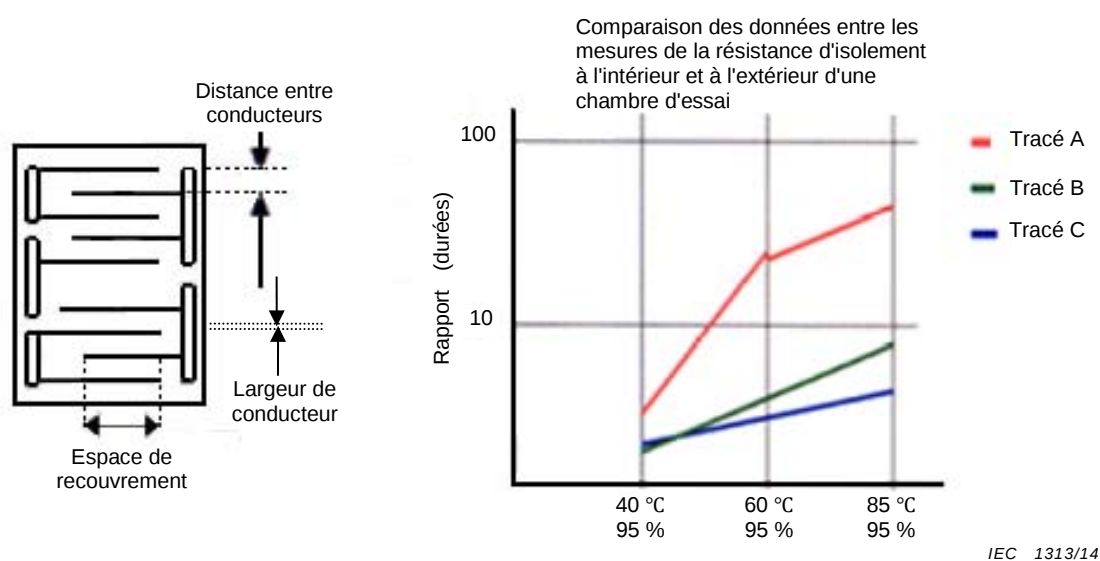


Figure 38 – Variation de la résistance d'isolement en fonction de la durée de charge des cartes montées sur des condensateurs

- 2) Les valeurs de la résistance d'isolement mesurées à l'intérieur et à l'extérieur d'une chambre d'essai diffèrent d'un facteur pouvant être de plus 50 fois (les données extrêmes mesurées dans une chambre) comme le montre la Figure 39.



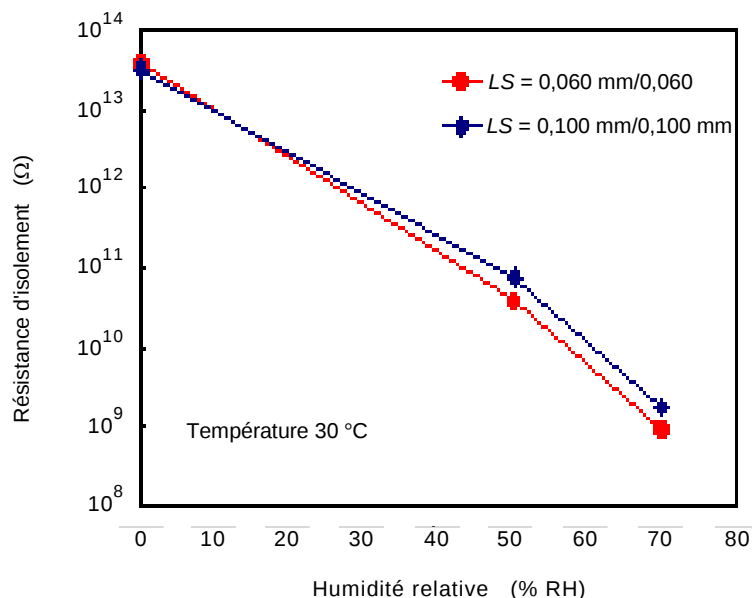
	Tracé A	Tracé B	Tracé C
Largeur de conducteur	0,165 mm	0,318 mm	0,635 mm
Distance entre conducteurs	0,165 mm	0,318 mm	0,635 mm
Espace de recouvrement	15,75 mm	15,75 mm	15,75 mm

Figure 39 – Comparaison des mesures de la résistance d'isolement à l'intérieur et à l'extérieur d'une chambre d'essai

- 3) Relation entre l'humidité relative et la résistance d'isolement

Les valeurs mesurées à l'extérieur d'une chambre d'essai de la a résistance d'isolement peuvent différer considérablement selon la température et l'humidité de mesure. La résistance d'isolement mesurée pour le tracé conducteur exposé sur une carte peut varier

de deux ordres de grandeur comme le montre la Figure 40. L'IEC 60068-1 spécifie l'environnement de mesure comme étant la condition atmosphérique normalisée (15 °C to 35 °C et (25 à 75) % HR), mais la valeur mesurée peut s'écarter considérablement de ces valeurs dans ces environnements.



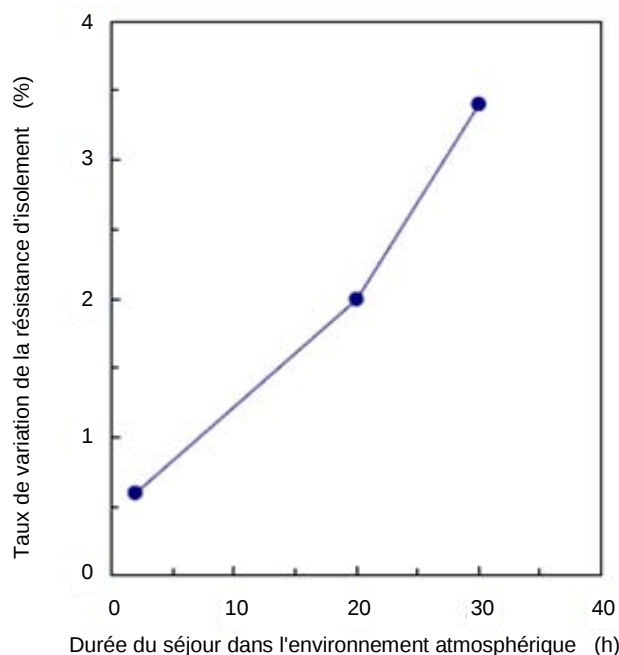
IEC 1314/14

Figure 40 – Humidité relative et résistance d'isolement

- 4) Effet sur la résistance d'isolement de la durée pendant laquelle une éprouvette est maintenue à l'extérieur d'une chambre

Il convient de faire preuve de vigilance lorsqu'une éprouvette est extraite d'une chambre et remise dans la chambre pour une raison quelconque. La mesure de la résistance au moment de prendre une éprouvette d'une chambre reflète les changements d'état de l'éprouvette de son passage de l'état humide à l'état sec et de nouveau à l'état humide.

Dans la plupart des normes, la mesure doit être effectuée dans les 48 h suivant le moment où l'éprouvette est extraite de la chambre et remise dans la chambre dans les 96 h. La résistance d'isolement a tendance à augmenter avec la durée lorsque l'éprouvette est extraite (voir Figure 41). Il n'est pas approprié de laisser longtemps une éprouvette à l'extérieur d'une chambre. La JPCA ET 01 spécifie la durée pour extraire une éprouvette d'une chambre comme étant inférieure à 5 % de la durée d'essai totale.



IEC 1315/14

**Figure 41 – Effet de l'interruption de la mesure sur la résistance d'isolement
(variation de la résistance d'isolement avec la durée de séjour dans
l'environnement atmosphérique)**

5.2 Mesure des caractéristiques diélectriques

5.2.1 Généralités

La tendance actuelle dans l'évaluation de la fiabilité dans les environnements humides est de mesurer les caractéristiques diélectriques sous contrainte environnementale. Les caractéristiques électriques sont fondamentalement évaluées par le biais de la résistance d'isolement. L'évaluation de caractéristiques diélectriques prend de plus en plus d'importance, car les produits électroniques gèrent aujourd'hui un traitement de signal de très haute fréquence et de grande vitesse. Il est nécessaire de prendre en considération les caractéristiques diélectriques, plutôt que simplement la résistance d'isolement.

5.2.2 Caractéristiques diélectriques de la surface d'une carte

Les charges positives dans le matériau dévient leur position vers le vecteur champ électrique et les charges négatives vers le sens opposé lorsqu'une tension continue (c.c.) est appliquée à un matériau diélectrique. Cet effet s'appelle "polarisation diélectrique". Il existe divers types de polarisation tels que la polarisation électronique, la polarisation ionique, la polarisation par orientation et la polarisation interfaciale. Un type de polarisation est choisi pour un matériau en construisant les éléments du matériau. La rotation des dipôles se produit lorsqu'une tension alternative (c.a.) à une fréquence angulaire ω est appliquée à ce matériau. Le retard pour une telle rotation des dipôles se produit à mesure que la fréquence augmente. Le flux de champ électrique D est alors en retard par rapport au champ électrique E d'un angle δ . E et D sont exprimés par les équations suivantes:

$$E = E_0 e^{j\omega t} \quad (1)$$

$$D = D_0 e^{j(\omega t - \delta)} \quad (2)$$

La constante diélectrique (complexe) ε devient $D = \varepsilon E$,

$$\begin{aligned}\varepsilon &= D/E = D_0 e^{j(\omega t - \delta)} / E_0 e^{j\omega t} \\ &= D_0 / E_0 e^{-j\delta} = D_0 / E_0 (\cos \delta - j \sin \delta) = \varepsilon' - j\varepsilon''\end{aligned}\quad (3)$$

La relation $\tan \delta = \varepsilon'' / \varepsilon'$ est obtenue à partir de l'Équation (3). Cette $\tan \delta$ est appelée la tangente diélectrique.

L'énergie consommée dans une unité de volume de diélectrique sous un champ électrique c.a., la densité de puissance consommée W , peut être calculée par l'Équation (6) ci-après.

La densité de courant I circulant dans le diélectrique est:

$$I = dD/dt = j\omega D = j\omega \varepsilon E = j\omega \varepsilon' E + \omega \varepsilon'' E \quad (4)$$

La densité de puissance consommée W est alors

$$W = EI \cos \theta = \omega E^2 \varepsilon'' \quad (5)$$

$$W = \omega E^2 \varepsilon' \tan \delta \quad (6)$$

où θ est la différence de phase entre E et I .

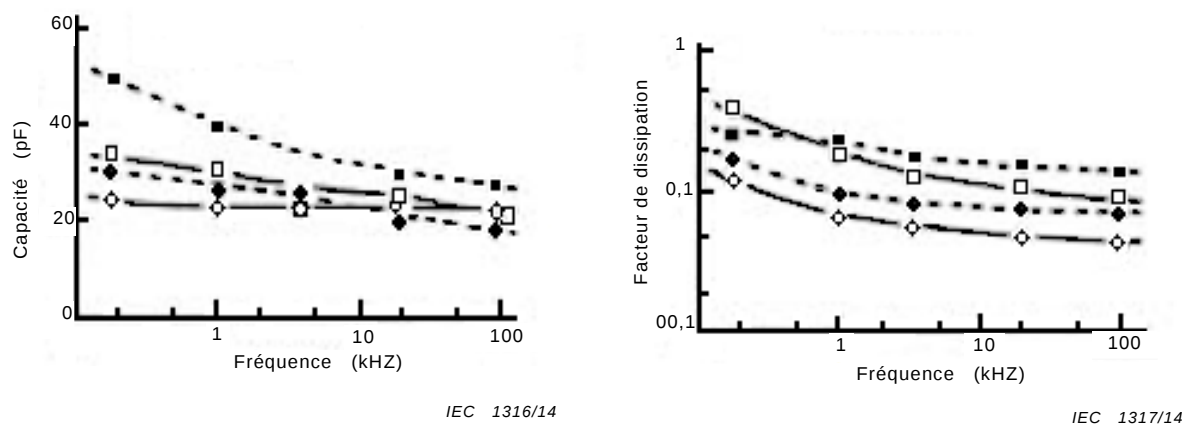
La valeur $\tan \delta$ est utilisée comme une indication de perte d'énergie dans un diélectrique. La plage de fréquences dans laquelle cette perte d'énergie est observée dépend du type de polarisation du matériau. Plus le moment du dipôle est grand, plus lentement il suivra les variations du champ électrique. La dispersion diélectrique apparaît à sa plage basse de fréquences. La variation de la constante diélectrique avec la fréquence est appelée dispersion diélectrique.

5.2.3 Migration et caractéristiques diélectriques de la surface d'une carte à circuit imprimée

Certaines études montrent que la constante diélectrique (capacité statique) et $\tan \delta$ augmentent à mesure que la migration se poursuit; réciproquement, la migration peut être évaluée par rapport à l'augmentation de la constante diélectrique et de $\tan \delta$. Un certain nombre d'exemples de ces études sont donnés ci-dessous.

1) Caractéristiques diélectriques et migration sur la surface d'une carte

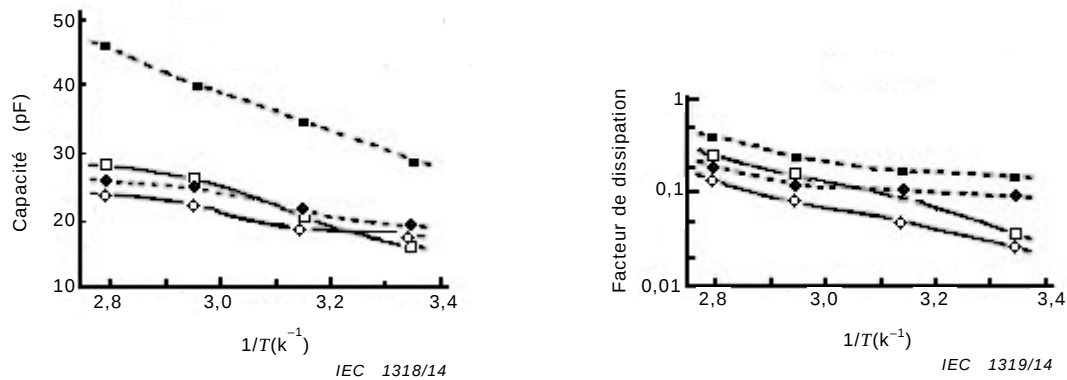
Le premier exemple est le cas d'une carte constituée d'une pellicule de polyimide et d'une couche d'adhésif. Les caractéristiques des éprouvettes non dégradées et dégradées traitées dans un environnement de haute température-forte humidité avec application de tension sont comparées. La Figure 42 montre la réponse en fréquence et la Figure 43 la réponse en température. Il est montré que la capacité statique et DF (le facteur de dissipation, l'équivalent de $\tan \delta$) augmentent. La mesure est effectuée avec une carte afin de pouvoir détecter tout changement anormal si les augmentations de la capacité statique locale et de DF qui sont dues à la migration sont significatives en comparaison aux augmentations relatives à la carte proprement dite. Les caractéristiques de la carte varient au fil du temps, notamment dans un environnement de haute température et forte humidité. Les caractéristiques de la pellicule adhésive s'améliorent au stade précoce de l'expérimentation et se dégradent au fil du temps. Il est nécessaire d'isoler la dégradation due à la migration.



Échantillon: pellicule de système polyimide
Condition pour la dégradation: 85 °C, 85 % HR, 50 V, 1 000 h
Condition de mesure: 65 °C, 85 %HR

Échantillon	Symbole		Distance entre conducteurs (mm)
	Normal	Dégradation	
A	○	●	2
C	□	■	2

Figure 42 – Réponse en fréquence des caractéristiques diélectriques de la carte à circuit imprimé

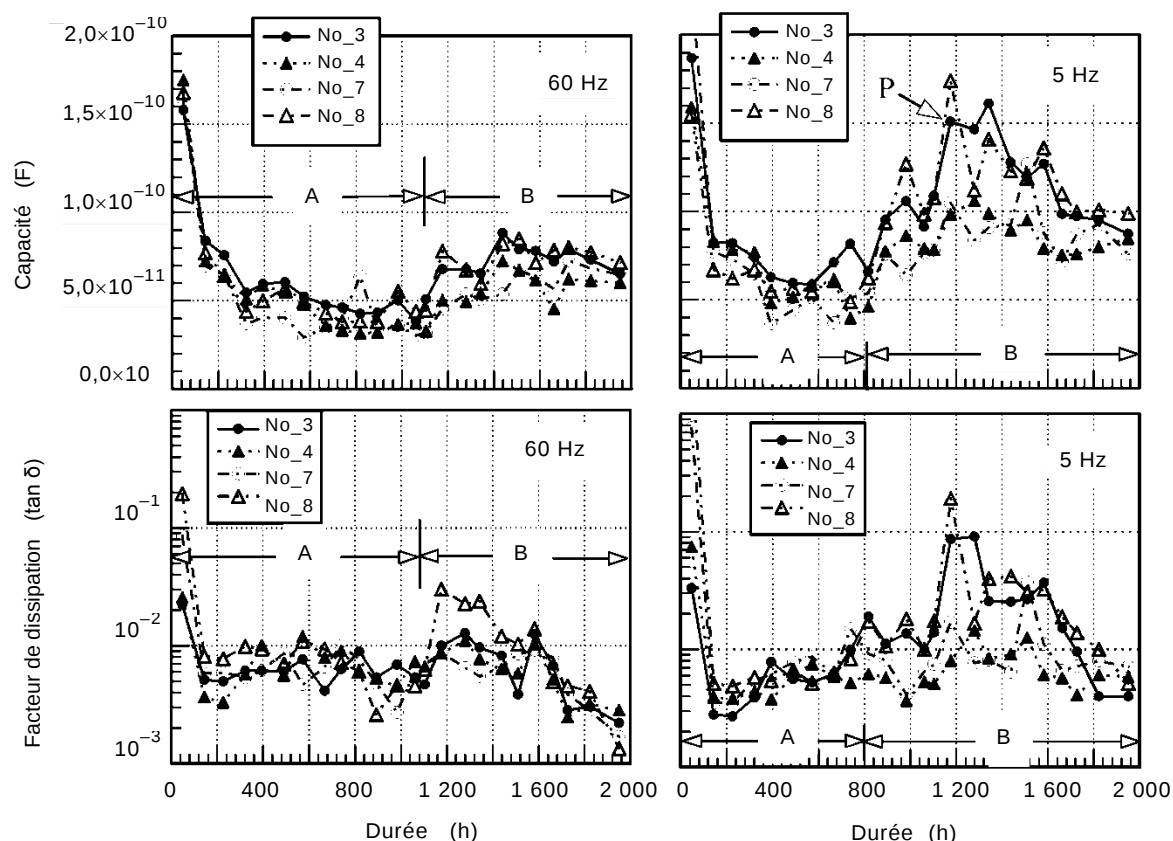


Échantillon: pellicule de système polyimide
Condition pour la dégradation: 85 °C, 85 % HR, 50 V, 1 000 h
Condition de mesure: 85 %HR, 1 MHz

Échantillon	Symbole		Distance entre conducteurs (mm)
	Normal	Dégradation	
A	○	●	2
C	□	■	2

Figure 43 – Réponse en température des caractéristiques diélectriques de la carte à circuit imprimé

L'autre exemple concerne la mesure d'une carte en époxy renforcé à la fibre de verre (voir Figure 44). La dégradation de la carte dans ce cas n'est pas significative et la variation due à la migration n'est pas significative non plus. La sensibilité de la détection dans ce cas à haute fréquence n'est pas très élevée, mais la sensibilité de détection est meilleure à la très basse fréquence de 5 Hz. Cela montre que la variation des caractéristiques diélectriques due à la migration a un rapport avec la mobilité des ions dans la carte et donne une meilleure sensibilité de détection. Il convient de noter qu'une augmentation des caractéristiques diélectriques est accompagnée de migration et que la sensibilité est meilleure aux très basses fréquences. Il convient également de noter que les caractéristiques de la carte elles-mêmes peuvent varier avec le traitement dans une chambre dans un environnement de haute température-forte humidité pour bien comprendre l'effet de la migration dans un tel essai.

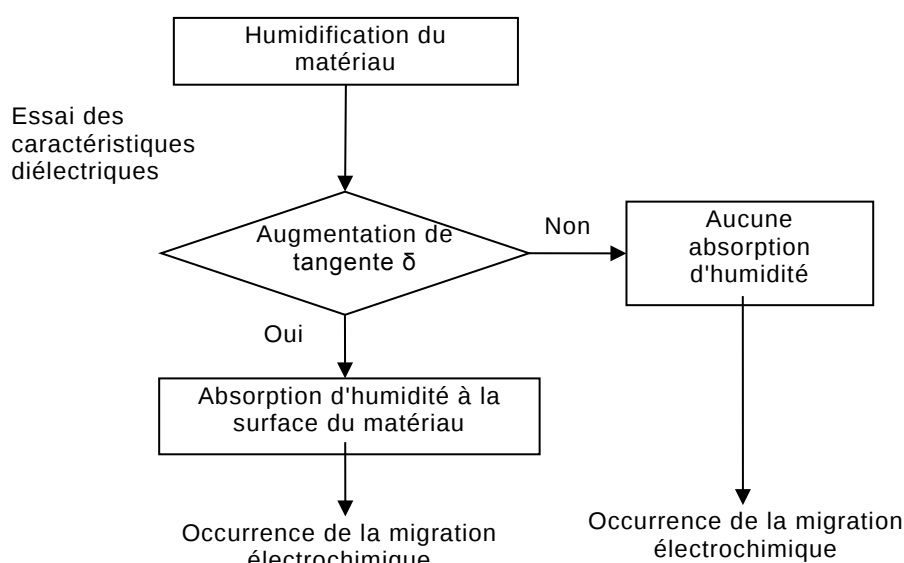


IEC 1320/14

Figure 44 – Variations de la capacité statique et de $\tan \delta$ d'une éprouvette pendant un essai de détérioration

2) Application de la mesure de caractéristiques diélectriques à l'évaluation de flux

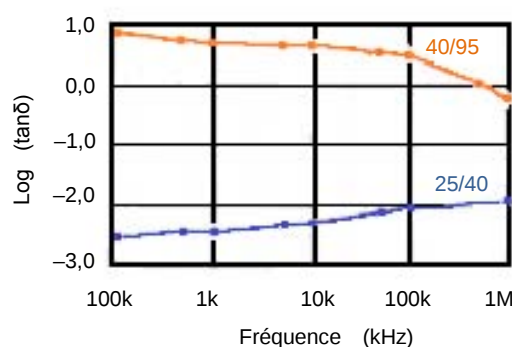
Le flux de soudage utilisé dans le matériel électronique est fondamentalement de la résine, telle que la colophane, ajoutée avec un activateur tel que le sel d'acide halogéné d'une amine. Il s'agit d'un système de dispersion complexe d'un mélange de deux substances avec des valeurs différentes de la conductance et de la constante diélectrique. Il existe d'innombrables interfaces de matériaux différents et, de ce fait, la polarisation de la surface dans le flux et son résidu sur la surface d'une carte peut être détectée. L'eau contenue dans l'air est absorbée dans le résidu du flux sur la surface d'une carte s'il y a une substance ayant une forte capacité d'absorber l'eau telle qu'une substance ionique dans le résidu et il se produit une polarisation de la surface. Il est possible d'évaluer les variations de la fiabilité dues au flux en utilisant cette méthode. La Figure 45 montre une procédure de détection de la migration utilisant l'essai des caractéristiques diélectriques.



IEC 1321/14

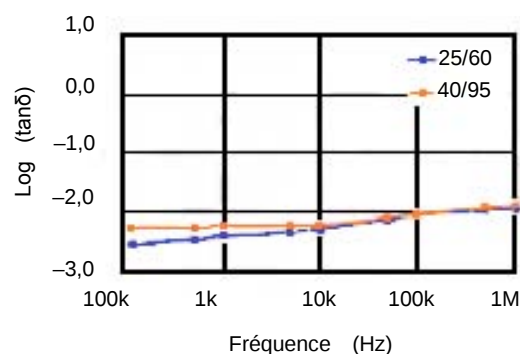
Figure 45 – Procédure d'essai pour un essai de caractéristiques diélectriques

La Figure 46 montre des résultats d'essai de deux flux, un avec un composant ayant une forte capacité d'absorber l'eau et l'autre une faible capacité d'absorber l'eau. Une différence considérable est observée pour tangente diélectrique avant et après l'absorption d'eau. Une migration a été observée à un instant plutôt précoce dans un essai de résistance d'isolement pour une éprouvette utilisant un flux ayant une forte capacité d'absorption d'eau.



IEC 1322/14

a) tangente δ du flux A



IEC 1323/14

b) tangente δ du flux B

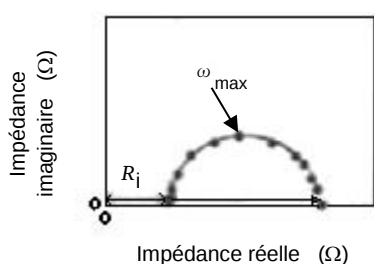
Figure 46 – Comparaison des caractéristiques diélectriques de deux types de flux

5.2.4 Évaluation de la migration par mesure d'impédance en courant alternatif c.a.

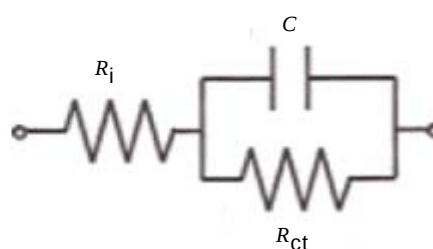
La méthode d'impédance est souvent utilisée en électrochimie. Il s'agit d'une méthode pour étudier une interface et observer des réactions à partir d'une différence de phase observée lorsqu'un très faible signal alternatif est appliqué à une éprouvette. R_i dans une réaction électrochimique est la résistance des ions au mouvement, R_{ct} est la résistance de la charge électrique, et C la capacité de la double couche électrique (capacité d'interface) conformément à la Figure 47. Les valeurs sont disponibles à partir des diagrammes de Cole-Cole à différentes fréquences. La distance sur l'axe horizontal entre l'origine et le début du demi-cercle est R_i , et le diamètre du demi-cercle est R_{ct} . C est l'inverse de la fréquence angulaire au sommet du demi-cercle (ω_{max}) fois R_{ct} :

$$C = \frac{1}{\omega_{\max} \cdot R_{ct}}$$

La Figure 48 montre la corrélation du processus de création de la migration observée et de la variation du temps d'un diagramme de Cole-Cole. Ceci est un exemple de la progression de la migration comme la variation au fil du temps de R_{ct} dans un module de puces à bosses à circuits intégrés fabriqué à partir d'une pellicule conductrice anisotropique (ACF (Anisotropic Conductive Film (ACF))). L'observation a été réalisée sur une éprouvette maintenue dans un environnement à 85 °C, 85 % HR avec une tension appliquée de 75 V c.c ajoutée avec un signal c.a. (10 kHz à 1 Hz) d'une amplitude de 0,35 V. La Figure 48 montre la dépendance du temps de R_{ct} obtenue à partir du diagramme de Cole-Cole. Le courant de fuite a augmenté et R_{ct} a diminué à mesure que la migration se poursuivait dans l'éprouvette.



IEC 1324/14

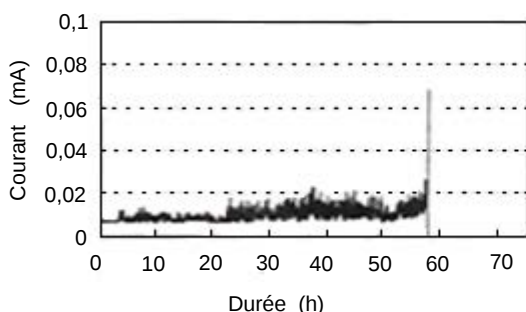


IEC 1325/14

a) Diagramme de Cole-Cole

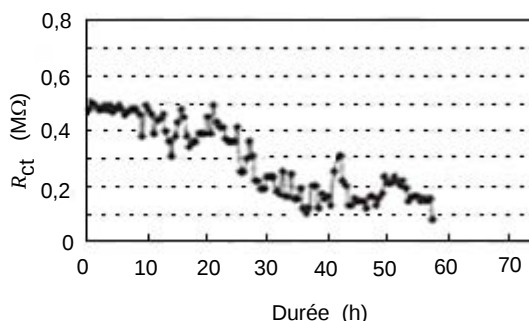
b) Circuit équivalent du diagramme a)

Figure 47 – Principe de mesure de SIE (Système d'isolation électrique)



IEC 1326/14

a) Courant



IEC 1327/14

b) R_{ct}

Figure 48 – Placage d'or (Au), non-nettoyage

6 Évaluation des défaillances et analyse

6.1 Critères pour les défaillances

La migration est évaluée en mesurant le courant de fuite ou la résistance d'isolement. Un essai est mené jusqu'à ce que la résistance d'isolement chute à un niveau spécifié et la durée pour atteindre le niveau en question est prise comme durée de défaillance. Le Tableau 17 donne les valeurs de résistance d'isolement considérées comme des défaillances spécifiées par des normes disponibles.

La mesure de la résistance d'isolement seulement ne peut pas élucider l'état de défaillance ou de migration. Il est nécessaire d'étudier les éprouvettes pour identifier la région de migration et pour analyser la région spécifique en utilisant les techniques décrites en 6.3. La diminution de la résistance d'isolement récupère souvent à une valeur plus élevée, mais la

diminution qui se produit sur une éprouvette signifie que l'éprouvette est en l'état de défaillance. Lorsqu'un court-circuit est formé par une croissance de dendrite ou CAF, la résistance d'isolement retourne à un état qui n'est pas une défaillance, car la dendrite ou CAF disparaît sous l'effet du courant de court-circuit.

Tableau 17 – Critères de défaillance de migration par résistance d'isolement

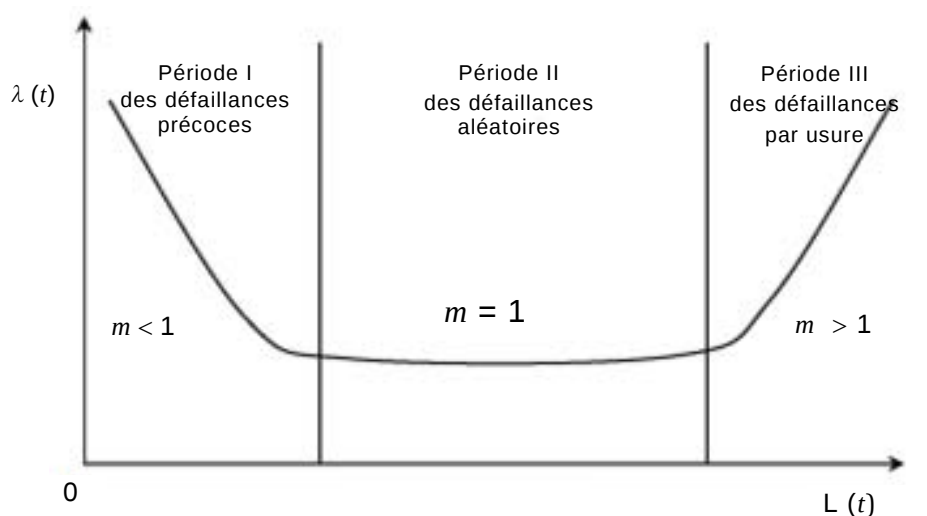
Groupe	Norme n°	Critères
JPCA	ET-01	Mesure à l'intérieur de la chambre: $< 1 \times 10^6 \Omega$ Mesure à l'extérieur de la chambre $< 1 \times 10^7 \Omega$
IPC	6012	Classe 1: Matériel en fonctionnement (aucune valeur spécifiée) Classe 2: $< 1 \times 10^8 \Omega$ Classe 3: $< 5 \times 10^8 \Omega$

6.2 Analyse des données

6.2.1 Analyse des données expérimentales

1) Évaluation de la durée de vie

Il est commode d'analyser les données de défaillance obtenues à partir de la mesure à pointer sur la distribution de probabilité de Weibull pour estimer la durée de vie de la carte à circuit imprimé ou du matériel. Il est souhaitable d'avoir un nombre d'éprouvettes, n , supérieur à 10. Il est bien connu que la durée de vie d'un produit est exprimée par une courbe en baignoire telle qu'illustrée à la Figure 49. Les défaillances dans les cartes à circuits imprimés provoquées par migration peuvent être classées comme correspondant à la période de défaillance précoce causée dans le processus de production ou causée par certains défauts et structures du matériau de la carte. Le mode de défaillance aléatoire suit avec un taux de défaillance constant plutôt faible et, en dernier, il y a le mode de défaillance par usure. La distribution dépendant du temps des défaillances dans les cartes peut être exprimée par une distribution de Weibull et être pointée sur un diagramme de Weibull pour analyser le mécanisme de défaillance et pour estimer les défaillances apparaissant dans les cartes. La fonction de distribution de Weibull $F(t)$, la fonction de fiabilité, $R(t)$, et la fonction du taux de défaillance $\lambda(t)$ sont exprimées par les Équations (7), (8) et (10).



IEC 1328/14

Figure 49 – Courbe en baignoire

m est le paramètre de forme; $m < 1$ concerne la période des défaillances précoces; $m = 1$ concerne la période des défaillances aléatoires et $m > 1$ concerne la période des défaillances par usure. η est le paramètre d'échelle et il est la durée de fonctionnement avant défaillance de 63 %. Si $m = 1$, η est la MTTF (durée moyenne de fonctionnement avant défaillance). γ est le paramètre de position et aucune défaillance ne se produit en ce point.

Le diagramme de probabilité de Weibull est un diagramme sous forme graphique de l'Équation (10) qui est convertie en Équation (14). Il convient d'utiliser l'axe horizontal pour le paramètre "durée" et l'axe vertical pour pointer dans un rang médian des défaillances dans une approximation exprimée par $(i-0,3)/(n+0,4)$ pour présenter les données expérimentales sur un diagramme de Weibull. Ici, n est le nombre d'éprouvettes et i représente les défaillances cumulées. Le paramètre de forme (m) est obtenu à partir de la ligne d'approximation linéaire du diagramme. Une espérance de la durée de vie, ou une durée de vie moyenne, est alors obtenue.

2) Traitement des données des éprouvettes avec expérimentation interrompue

Le pointage des dangers d'accumulation du type Weibull est souvent utilisé pour l'analyse des données d'un essai dans lequel un essai est poursuivi alors qu'un autre essai est interrompu. Cette procédure peut être appliquée à un cas où il y a plus d'un mode de défaillance. Un mode de défaillance spécifique est traité comme un mode de défaillance dans l'étude et les autres défaillances provoquées par d'autres modes sont traitées comme étant les données d'un essai interrompu. La fonction des dangers cumulés $H(t)$ est exprimée par l'Équation (14) en termes de la fonction de distribution de Weibull $F(t)$. Il est possible d'obtenir le paramètre de forme m en prenant le logarithme népérien pour les deux axes. Il convient d'utiliser le diagramme combiné de probabilité de Weibull et des dangers cumulés, diagramme qui peut être utilisé tant pour la probabilité de Weibull que pour le danger cumulé dans l'analyse du jeu incomplet de données expérimentales.

La fonction de distribution de Weibull $F(t)$ est exprimée comme étant

$$F(t) = 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^m \right\} \quad (7)$$

$$R(t) = \exp \left\{ - \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^m \right\} \quad (8)$$

La fonction "taux de défaillances" $\lambda(t)$ est

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{1}{R(t)} \bullet \frac{d(1 - R(t))}{dt} = - \frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt} \quad (9)$$

et

$$\lambda(t) = \frac{m}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{m-1} \quad (10)$$

Lorsque $m = 1$

$$\lambda(t) = \frac{1}{\eta} \quad (11)$$

η = MTTF (ou MTBF, c'est-à-dire moyenne des temps de bon fonctionnement) a une distribution exponentielle.

Posons $\gamma = 0$ dans l'Équation (7), alors:

$$F(t) = 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{t}{\eta} \right)^m \right\} \quad (12)$$

et

$$1 - F(t) = \exp\left\{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m\right\} \quad (13)$$

Prendre à deux reprises le logarithme des deux membres de l'équation. Elle devient alors

$$\ln[\ln\{1/(1 - F(t))\}] = m[\ln t - \ln \eta] \quad (14)$$

Le diagramme de probabilité de Weibull est l'expression graphique de l'équation. La fonction des dangers cumulés $H(t)$ est exprimée avec ($\gamma = 0$) par l'Équation (14) à partir de la fonction de distribution de Weibull.

La fonction de distribution de Weibull est

$$F(t) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta}\right)^m\right\}$$

La fonction des dangers cumulés $H(t)$ est alors

$$H(t) = \left(\frac{t}{\eta}\right)^m \quad (15)$$

On obtient $\ln H(t) = m(\ln t - \ln \eta)$ en prenant le logarithme des deux membres de l'équation. En prenant l'axe vertical pour $\ln H(t)$ et l'axe horizontal pour $\ln t$, on obtient le diagramme de dangers cumulés du type Weibull.

3) Remarques

a) Remarques relatives au pointage des données expérimentales sur le diagramme de probabilité de Weibull

- i) Il convient que la taille d'un point sur le diagramme soit plus grande que la largeur de la ligne de régression devant être tracée sur le diagramme (diamètre approché de 1 mm).
- ii) Il convient de tracer la ligne de régression en observant tous les points relevés.
- iii) Il convient de tracer la ligne de régression pour couvrir notamment les points distribués dans la plage de 10 % à 90 %.

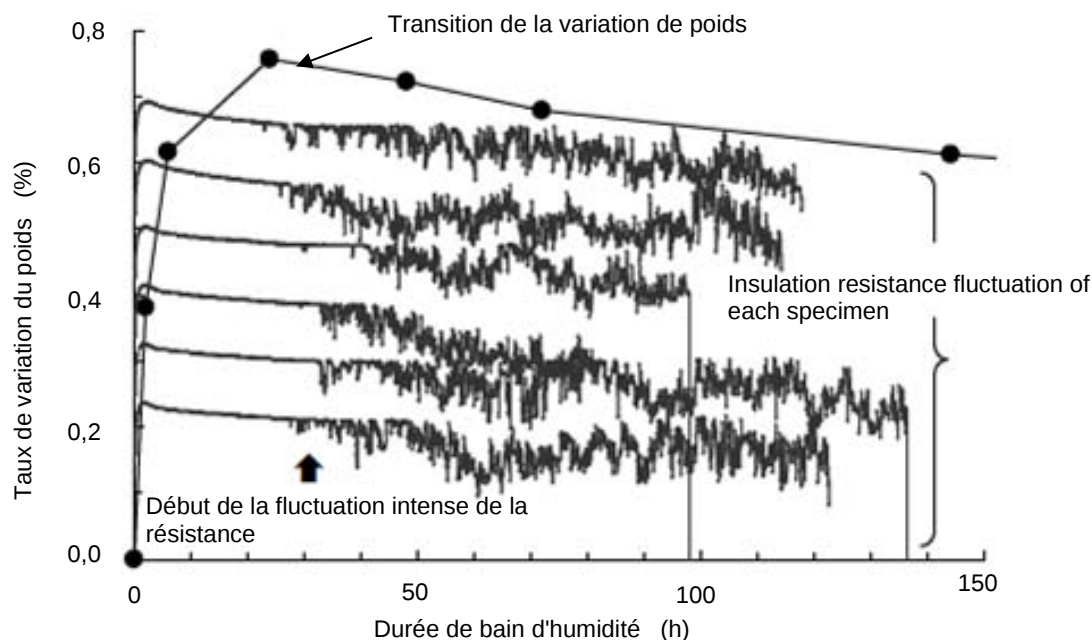
b) Lecture d'un diagramme de probabilité de Weibull

Il convient que le mécanisme de défaillance soit le même pour toutes les éprouvettes et suive la distribution de Weibull si une ligne de régression linéaire est obtenue. Il existe des cas où une droite de régression est obtenue dans le pointage de Weibull même si plusieurs mécanismes de défaillance existent dans les éprouvettes. Le pointage sur un diagramme de dangers cumulés est utile pour l'analyse de tels mécanismes de défaillance. Il existe des cas où le mode de défaillance dans les éprouvettes est le même, mais les mécanismes de défaillance sont différents. Dans ces cas, le diagramme montre souvent une ligne de régression avec un coude. Les défaillances formées dans une plage avec une faible probabilité de défaillances cumulées, $F(t)$, peuvent générer un nombre considérable de défaillances dans le futur. Il est très important d'effectuer une analyse soignée du mode de défaillance pour déceler les origines possibles des défaillances.

6.2.2 Relation des paramètres dans les données expérimentales et exemple d'analyse

La Figure 50 montre un exemple de données expérimentales relatives à l'absorption d'eau et à la dégradation d'isolement dans un essai HAST réalisés sur des composants fabriqués à partir d'un matériau isolant. Il est possible de confirmer la relation entre la durée nécessaire pour la perte de poids et la durée requise pour la dégradation de résistance d'isolement en superposant les données de la diminution de poids (changement de capacité d'absorber l'eau)

avec les données de variation de la résistance d'isolement. Il existe un cas où la variation de la résistance d'isolement est provoquée par la variation des caractéristiques de matériau elles-mêmes. Il s'agit d'une méthode très utile pour analyser les sources de variations des paramètres d'un matériau.



IEC 1329/14

Figure 50 – Relation entre la variation de la résistance d'isolement et les variations de poids par absorption d'eau

6.2.3 Distribution de l'intensité de champ électrique

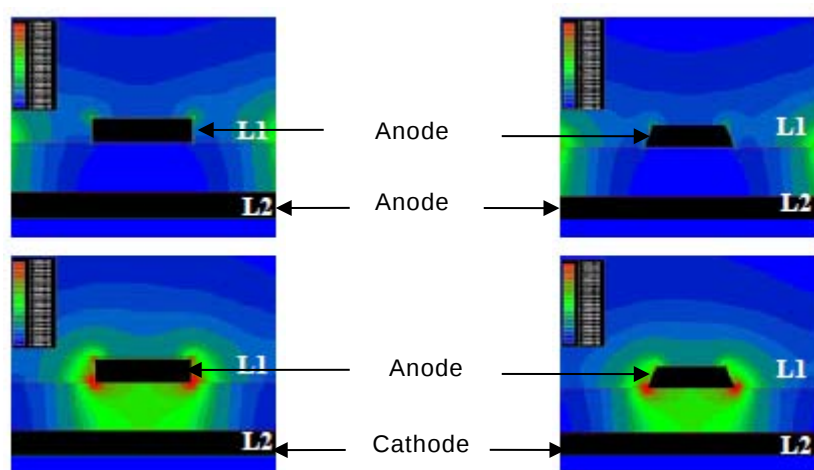
Une analyse élémentaire limitée de l'intensité du champ électrique près d'un tracé conducteur est utile pour l'analyse des données expérimentales. Un certain nombre d'exemples de ces analyses sont donnés ci-dessous.

1) Effet du tracé conducteur sous-jacent dans une carte multicouche

Il s'agit du cas d'une analyse de champ électrique de la distribution de champ électrique autour d'un tracé conducteur anodique lorsqu'une tension électrique de 50 V c.c. est appliquée à une carte multicouche avec un tracé conducteur sous-jacent (plan) et un tracé conducteur de surface s'étalant à l'infini (espacement de ligne de 0,080 mm) avec une couche isolante placés entre eux. L'analyse montre que le champ électrique est concentré tel qu'observé aux bords inférieurs du tracé conducteur (ligne) dans une section transversale d'une ligne. Un champ électrique a tendance à être légèrement plus fort pour un conducteur ayant une section rectangulaire en comparaison à un conducteur ayant une section trapézoïdale. L'intensité du champ électrique autour du tracé conducteur dans la couche supérieure est affectée par le champ électrique du conducteur dans la couche inférieure.

2) Potentiel et intensité du champ électrique d'une paire de conducteurs parallèles

La Figure 51 et la Figure 52 montrent la distribution du potentiel et l'intensité du champ électrique d'une paire de conducteurs parallèles de longueur infinie avec un espacement de 0,08 mm sur une couche de résine isolante avec une tension appliquée de 50 V c.c. entre les conducteurs, et le cas d'un tracé conducteur formé sur une couche isolante et recouvert d'un masque de soudure. Le potentiel au bord d'un conducteur qui est connecté à une tension positive (anode) est élevé et diminue presque selon la distance de déplacement de l'anode vers la cathode. L'intensité du champ électrique est légèrement plus élevée au bord anodique qu'au bord cathodique et elle est presque constante dans la zone $\pm 25\%$ à partir du centre.

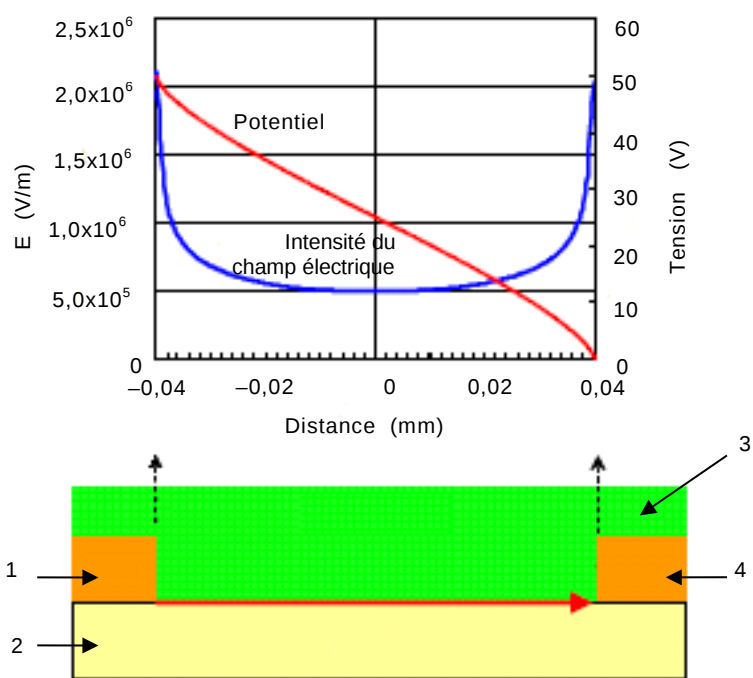


IEC 1330/14

a) La forme de la ligne est un rectangle

b) La forme de la ligne est un trapèze

Figure 51 – Distribution du champ électrique entre une ligne et un plan



IEC 1331/14

Légende

- 1 Anode
- 2 Matériau de base
- 3 Masque de soudure
- 4 Cathode

Figure 52 – Distribution du champ électrique entre de lignes

6.3 Analyse d'éprouvette avec une défaillance, méthodes d'analyse et étude de cas

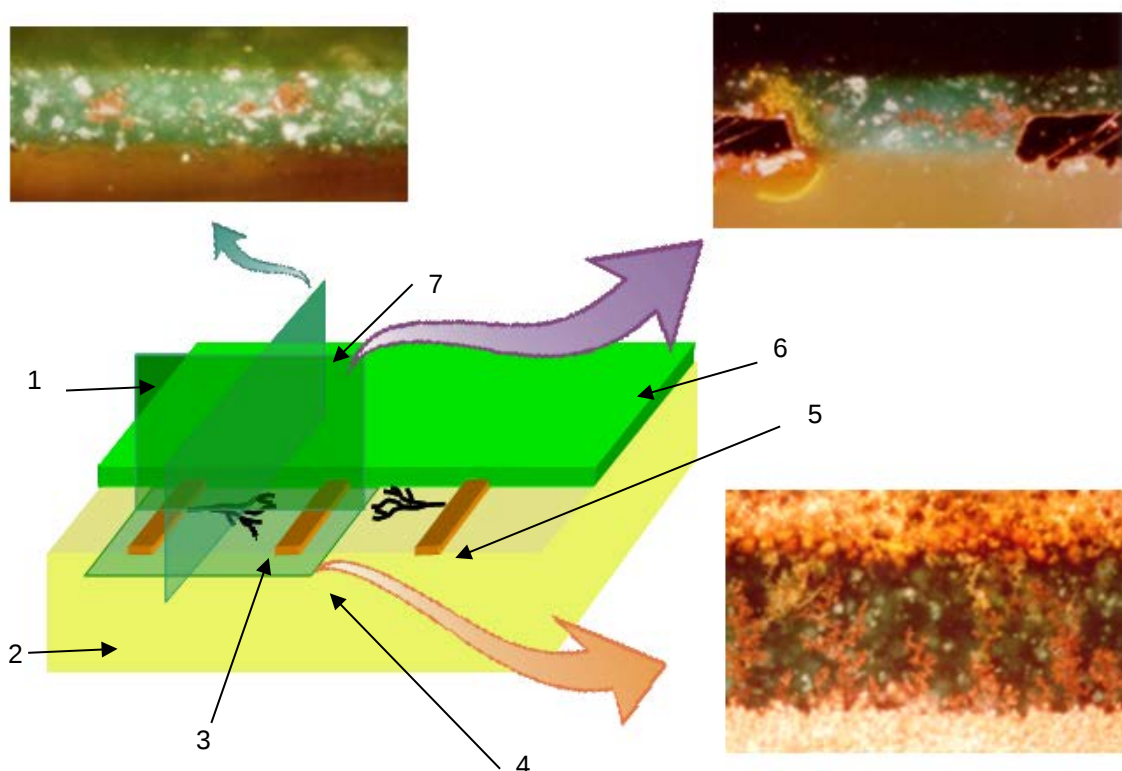
6.3.1 Généralités

La technique d'analyse d'une éprouvette avec une défaillance provoquée par une migration dépend de la structure et de la position de la défaillance dans l'éprouvette. Les défaillances dans une couche interne peuvent être observées à la section transversale révélée par le rodage à l'abrasif d'une éprouvette enfouie dans de la résine. Le masque de soudure semblable à une mince pellicule peut être observée par la méthode de découpe diagonale où il y a plus de points d'analyse que dans l'observation de la section transversale.

6.3.2 Section transversale

1) Préparation de l'éprouvette

La région avec la défaillance est découpée transversalement à l'aide d'un instrument de coupe tel qu'une scie à diamant. Il convient de veiller à ne pas imposer à la défaillance elle-même une contrainte de coude ou de vibration. Il convient de confirmer la face de coupe en décidant du côté à partir duquel la défaillance doit être observée. L'analyse de défaillance peut différer considérablement selon la position de coupe (voir Figure 53).



IEC 1332/14

Légende

- 1 Sens A
- 2 Matériau de base
- 3 Migration électrochimique
- 4 Sens C
- 5 Électrode
- 6 Masque de soudure
- 7 Sens B

Figure 53 – Différentes observations de la même dendrite selon différents plans de coupe de section transversale

2) Enfouissement d'une éprouvette

Un morceau de l'éprouvette qui doit être observée est placé, la face à observer vers le bas, dans une résine emplie dans un conteneur approprié revêtu d'un agent de démoulage. Utiliser un dispositif de montage pour fixer l'éprouvette de sorte qu'elle ne puisse basculer lorsque la résine se polymérise. La résine qui doit être utilisée peut être choisie parmi les résines époxy, acryliques ou polyester selon la température correcte de polymérisation, la durée de polymérisation, la compression après polymérisation, la fluidité et la dureté. La résine époxy qui polymérise à la température ambiante est souvent utilisée. Dans le cas d'une éprouvette ayant un minuscule espace d'air, le matériel d'imprégnation sous vide peut être utilisé pour une forte adhérence à la résine ou pour éliminer les bulles d'air dans la résine.

3) Découpe

Une éprouvette enfouie et polymérisée dans un bloc de résine est découpée près de l'éprouvette. La durée de rodage à l'abrasif diffère selon la position de coupe.

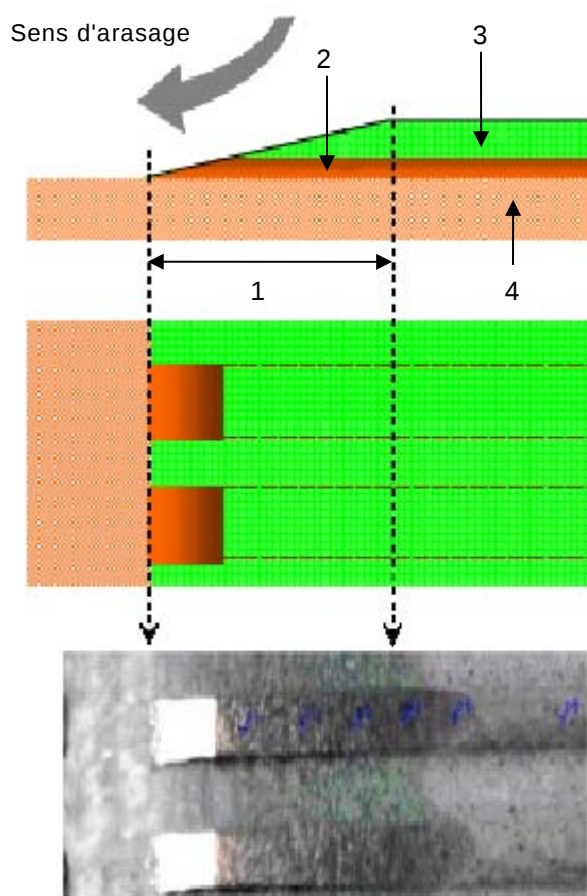
4) Rodage à l'abrasif

Une éprouvette est habituellement un mélange de matériaux durs et mous. Il est difficile de roder une éprouvette à l'abrasif dans la même condition de rodage. Il est nécessaire de choisir un abrasif correct et une condition de rodage appropriée selon la propriété de la surface rodée et l'objet de l'analyse. Le rodage à l'abrasif peut être divisé en trois étapes; la première étape consiste à exposer la face devant être observée, la deuxième étape est le rodage intermédiaire à l'abrasif et la troisième est le rodage final à l'abrasif pour révéler la surface nette d'une éprouvette pour l'analyse. Le premier rodage peut être effectué à l'aide d'un papier abrasif résistant à l'eau (grain 300 $\approx$ 85 μ m). La deuxième étape est effectuée à l'aide d'un polissoir avec de la poudre de diamant de plusieurs microns. Le rodage final élimine les rayures produites par le rodage au polissoir et la poudre d'oxyde d'aluminium de taille de grains de 0,05 μ m environ.

5) Nettoyage et séchage

Il convient que l'éprouvette rodée à l'abrasif soit nettoyée sous l'eau courante en utilisant un détergent neutre. Il convient de sécher rapidement l'éprouvette sous un fort débit d'air à l'aide d'un pistolet pneumatique pour prévenir les taches ou l'érosion à la surface de l'éprouvette.

L'analyse d'une éprouvette dans le sens de la profondeur d'un matériau mince tel que le masque de soudure avait été effectuée auparavant sur une section transversale formée par le rodage vertical d'une éprouvette. Il n'était possible d'analyser qu'un ou deux points par spectrophotométrie infrarouge (ATR, attenuated total reflectance, c'est-à-dire réflectance totale atténuée) dans le sens de la profondeur. Maintenant, il est possible d'analyser plus de cinq points par un rodage oblique d'une éprouvette tel que montré à la Figure 54. L'analyse ATR d'une éprouvette rodée obliquement à l'abrasif d'un masque de soudure en 5 points à l'intérieur de la pellicule et un point sur la surface révélée par microspectroscopie infrarouge (micro-ATR) a montré que la pellicule juste au-dessus du conducteur de cuivre et la surface supérieure de la pellicule avaient des structures différentes (voir Figure 55).

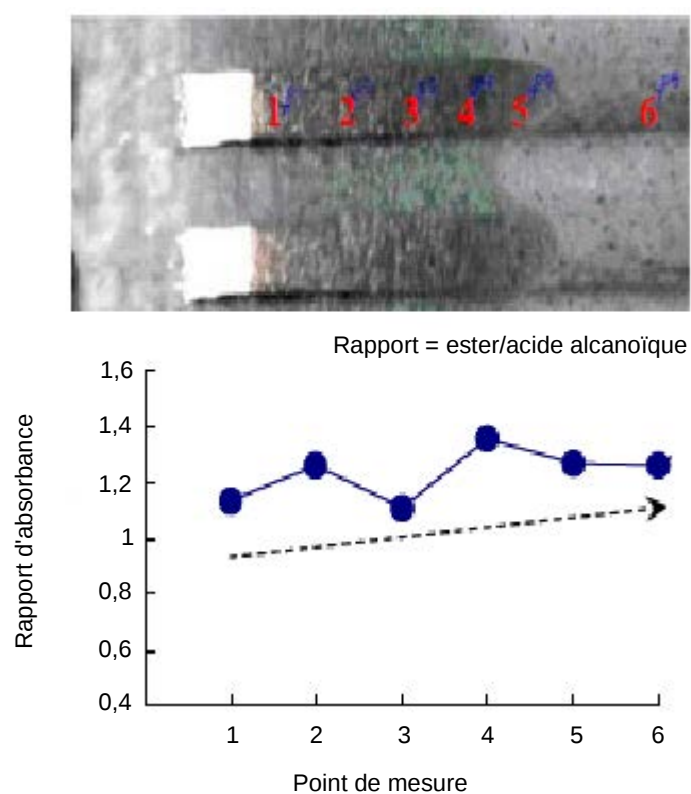


IEC 1333/14

Légende

- 1 Zone d'arasage
- 2 Ligne
- 3 Masque de soudure
- 4 Matériau de base

Figure 54 – Exemple de rodage oblique à l'abrasif



IEC 1334/14

Figure 55 – Analyse de structure d'un masque de soudure rodée obliquement à l'abrasif dans le sens de la profondeur

6.3.3 Observation optique

Le Tableau 18 montre les méthodes utilisées dans l'observation optique des éprouvettes.

Tableau 18 – Diverses méthodes d'observation optique des défauts

Méthode d'observation	Principe	But prévu	Limite de détection
1. Stéréomicroscope	Microscope optique qui utilise la longueur d'onde visible de la lumière et focalise la lumière avec une lentille de réfraction. Une image tridimensionnelle peut être reconnue en visionnant l'objet dans les deux yeux.	Observation en trois dimensions à faible grossissement.	Grossissement optique: x4 à x100
2. Microscope numérique	Microscope optique qui capture des images avec une caméra et affiche l'objet sous la forme d'une image numérisée. Une caméra CCD (charge coupled device, c'est-à-dire caméra à dispositif à transfert de charge) est communément utilisée et diverses fonctions peuvent être intégrées, telles qu'un endoscope.	Détection de défauts de matériaux et de pièces à un grossissement faible à fort	Grossissement optique: x5 à x4 000
3. Microscope métallographique	Microscope optique qui éclaire l'éprouvette à partir de la surface et qui est adapté aux matériaux opaques tels que les métaux. Les observations tant par réflexion que par transmission sont possibles.	Détection de défauts de matériaux et de pièces à un grossissement faible à fort	Grossissement optique: x5 à x4 000
4. Microscope polarisant	Microscope optique avec un polariseur, qui éclaire avec une lumière polarisée plane et où la rotation de la lumière peut être analysée. Il est adapté à l'observation des matériaux biréfringents tels que les cristaux et les substances non cristallines contraintes.	Caractérisation des matériaux, des cristaux et des composites polarisés.	Résolution: de l'ordre de 1 µm
5. Microscope laser	Microscope optique dont la source lumineuse est un faisceau laser. Le faisceau laser balaye la surface de l'éprouvette avec un polariseur AO (acoustic-optic, c'est-à-dire opto-acoustique) et un miroir galvanométrique. La lumière réfléchie de l'éprouvette est captée par un capteur d'images CCD.	Image tridimensionnelle de la surface d'une éprouvette, analyse de rugosité de surface.	Résolution: de l'ordre de 0,3 micron
6. Microscope électronique à balayage (MEB)	Microscope électronique qui fournit l'image d'une intensité d'électrons secondaire émise à partir de la surface de l'éprouvette. L'image peut être obtenue en synchronisant le faisceau d'électrons et le matériel d'affichage.	Analyse de surface, y compris la forme, la rugosité de surface et la composition.	Résolution: de l'ordre de 0,3 micron à 0,7 micron

Méthode d'observation	Principe	But prévu	Limite de détection
7. Microscope électronique à transmission (MET)	Microscope électronique qui forme une image des électrons introduits avec une lentille électromagnétique en irradiant l'éprouvette du faisceau d'électrons accélérés.	Caractérisation par analyse élémentaire de la structure cristalline, identification de substance	Résolution: < 300 nm
8. Microscope sonde à balayage; SPM	Groupe de microscopes qui obtient une image de la surface en utilisant une sonde qui balaye l'éprouvette (par exemple: un microscope à balayage à effet tunnel). La position relative de la sonde est commandée en se basant sur la force ou le potentiel entre la sonde et l'éprouvette. En cartographiant les images de la structure de la surface, il est possible d'obtenir les valeurs des propriétés physiques.	Observation de la surface au microscope, y compris la rugosité de surface.	1 nm à 10 nm
9. Spectroscopie d'absorption/émission de rayons X mous	Spectroscopie des rayons X avec des rayons X mous dans des conditions d'ultravide qui sonde la densité partielle d'occupation des états électroniques d'un matériau. La spectroscopie des rayons X observe les électrons éjectés des couches atomiques extérieures de la surface et elle peut donc identifier les éléments, quantifier les concentrations atomiques, déterminer la liaison chimique entre les éléments dans les couches. Les spectres d'absorption des rayons X sont généralement obtenus par le rayonnement synchrotron qui génère des faisceaux de rayons X réglables.	Analyse interne non destructive des cartes à circuits imprimés (PCB), y compris la précipitation de composés métalliques.	Résolution: < 100 nm
10. Microscope à force atomique (AFM)	Microscope sonde à balayage qui utilise un microlevier avec une sonde acérée dont le rayon de courbure est de l'ordre du nanomètre. La force entre la sonde et l'éprouvette conduit à une flexion du microlevier. Les forces mesurées dans l'AFM sont la force mécanique de contact, la force de Van der Waals, la force capillaire, la liaison chimique, la force électrostatique, la force magnétique, etc.	Observation de la surface au niveau atomique	Résolution: de l'ordre de l'atome

6.3.4 Méthodes d'analyse

Le Tableau 19 montre les méthodes types pour l'analyse des défauts.

Tableau 19 – Diverses méthodes d'analyse de défauts

Méthode d'analyse	Principe	But prévu	Limite de mesure
1. Microanalyseur à sonde électronique (Electron probe micro analyzer (EPMA)) ou Microsonde de Castaing	Système de microanalyse qui irradie une éprouvette avec un faisceau focalisé (diamètre < 1 micron) d'électrons pour détecter la longueur d'onde dispersée et l'intensité d'un rayon X caractéristique produit à partir de la zone de pénétration des faisceaux d'électrons (1 micron à 2 microns), avec un spectromètre à rayons X.	Analyse qualitative et quantitative des éléments de la surface de l'éprouvette.	Éléments détectables: Br à U
2. Spectroscopie Augier (AES (Auger electron spectroscopy))	Système de microanalyse qui irradie l'éprouvette avec un faisceau d'électrons pour détecter l'électron d'Auger.	Analyse élémentaire de la mince pellicule en dessous de quelques nanomètres, dans le sens de la profondeur	Teneurs minimales: 0,1 %
3. Spectroscopie photoélectronique X (X-ray photoelectron spectroscopy (XPS, ESCA (Electron Spectroscopy for Chemical Analysis, c'est-à-dire Spectroscopie électronique pour l'analyse chimique)))	Spectroscopie avec irradiation aux rayons X qui détecte l'énergie cinétique des photoélectrons émis.	Analyse élémentaire dans le sens de la profondeur à quelques nanomètres en dessous de la surface, analyse de liaison chimique	Teneurs minimales: 0,1 %
4. Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR))	Spectroscopie qui mesure l'absorption ou la réflexion du faisceau infrarouge issu d'une éprouvette. Le spectre est inhérent à la substance indépendante et il peut identifier la structure chimique de la substance inconnue. Le signal capté dans le détecteur est transformé (transformation de Fourier) dans un ordinateur pour fournir le spectre infrarouge spécifique à l'éprouvette.	Analyse qualitative de substances organiques	Résolution minimale: quelques dizaines de microns
5. Spectroscopie X dispersive (EDX (Energy-dispersive X-ray spectroscopy))	Une des spectroscopies X qui détecte les rayons X inhérents à des éléments qui sont émis par l'éprouvette à la suite de l'irradiation par un faisceau d'électrons. La mesure quantitative est possible en utilisant des matériaux étalons pour comparer les intensités.	Microanalyse qualitative et quantitative, observation de zone, observation de ligne, et images de cartographie.	Éléments détectables: Br à U

6.3.5 Observation et analyse de défauts

1) Observation de défauts avec un microscope optique

La Figure 56 montre la migration (dendrites) induite pour la surface de conducteur d'une carte à circuit imprimé sur laquelle il n'y avait pas de masque de soudure. L'image

observée qui est obtenue par un microscope optique peut ne pas être la même en raison de la différence de lumière d'éclairage. L'observation en champ sombre peut révéler une image plus claire d'un défaut (Figure 56 b)) en comparaison à l'observation en champ brillant (Figure 56 a)) dans le cas où le métal précipite sur la surface d'une éprouvette. L'observation par la lumière transmise peut donner une meilleure image s'il n'y a pas une différence de couleur et un contraste appréciables entre le métal précipité et la surface de la carte (Figure 56 c)). La source lumineuse pour l'éclairage peut être choisie parmi une lampe à halogène, une lampe au xénon ou une lampe au mercure selon le grossissement optique de l'observation, le matériau utilisé et l'épaisseur de l'éprouvette qui doit être observée.



Figure 56 – Images de dendrite observées par différentes méthodes d'éclairage (sans masque de soudure)

2) Observation de défauts par EPMA (microsonde de Castaing)

La Figure 57 montre la migration (dendrite) sur la surface d'une électrode de type peigne sur une carte FR-4 sans masque de soudure soumise à un essai HAST. Des photographies du mapping des éléments par EPMA de la dendrite induite sont montrées à la Figure 57 d), e) et f). Cette analyse montre que la dendrite précipite à la partie d'ancre saillante du conducteur de cuivre sur la surface (dans l'espace vide entre les conducteurs de cuivre).

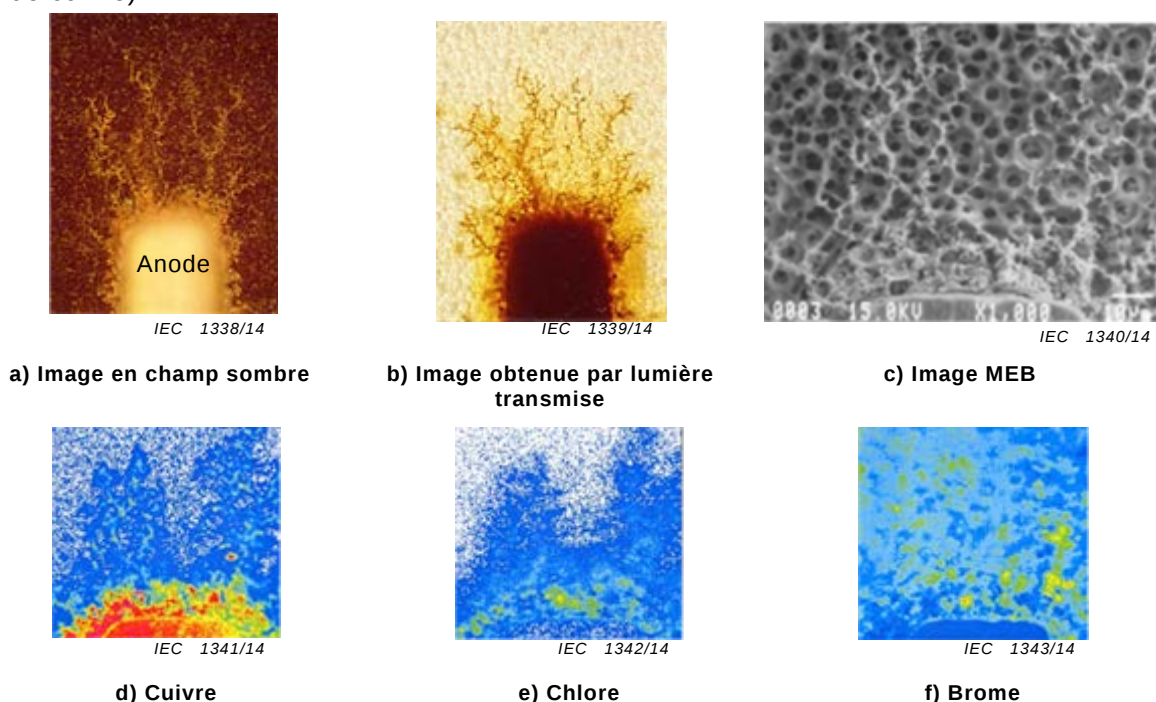
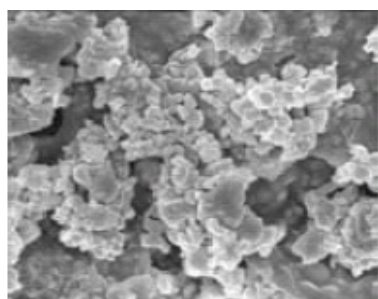


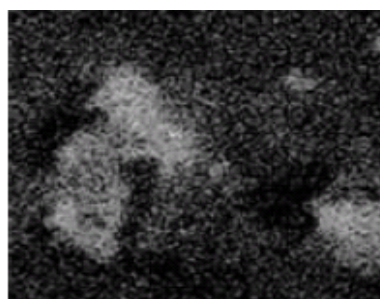
Figure 57 – Analyse par EPMA de la migration (dendrite) sur une électrode du type peigne

La Figure 58 montre la région où la migration a été induite près du conducteur sous le masque de soudure d'une éprouvette soumise à un essai HAST et le masque de soudure avait été retirée pour l'observation. L'observation au MEB montre le précipité de cuivre dans un état de gonflement.



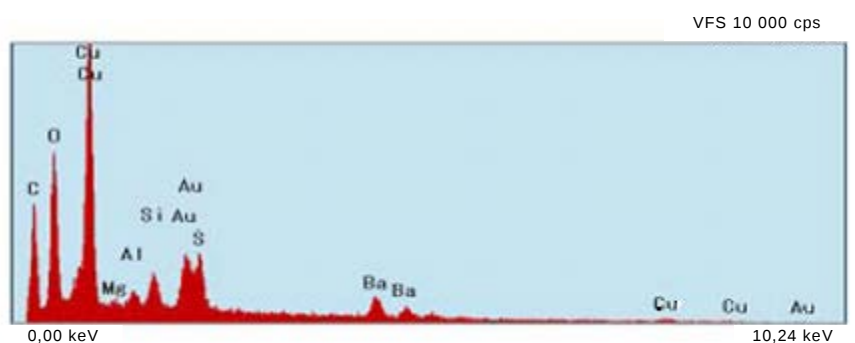
IEC 1344/14

a) Image MEB



IEC 1345/14

b) Image cartographique du cuivre



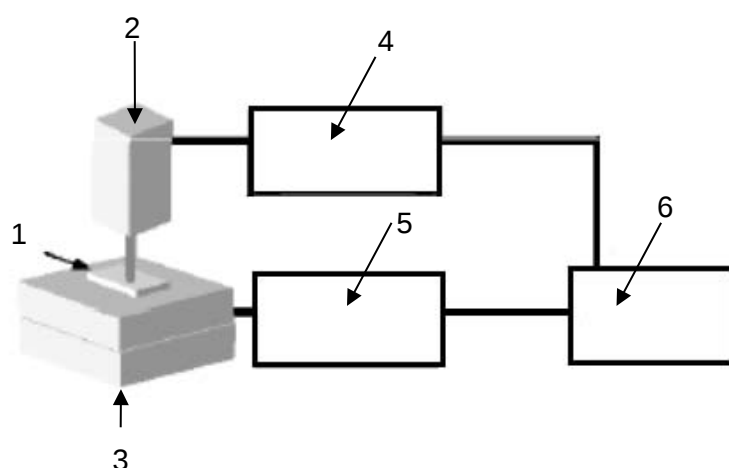
IEC 1346/14

c) Analyse élémentaire

Figure 58 – Analyse par EPMA de la migration (dendrite) dans le masque de soudure

3) Observation avec l'AFM (Microscope à force atomique)

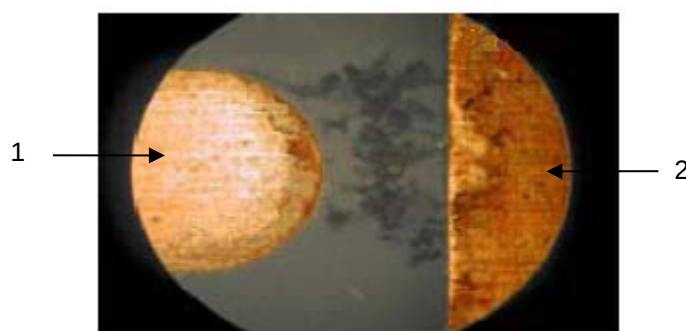
Il est difficile d'observer la structure tridimensionnelle d'une dendrite avec un microscope optique ou un microscope électronique. La Figure 61 montre une mesure automatique de la structure 3D d'une dendrite en utilisant un système de mesure 3D à l'aide d'un instrument de mesure de déplacement au moyen d'une focalisation de lumière laser (voir la Figure 59). La Figure 60 montre les électrodes sur lesquelles la dendrite a été créée.



IEC 1347/14

Légende

- 1 Échantillon
- 2 Tête laser
- 3 Platine X-Y
- 4 Dispositif de commande de focalisation laser
- 5 Dispositif de commande de la platine X-Y
- 6 Calculateur/ordinateur

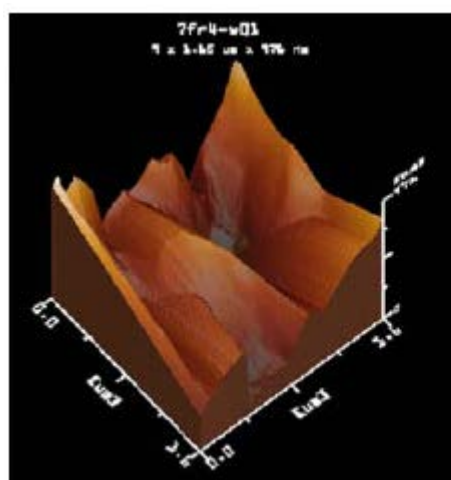
Figure 59 – Système de mesure 3D

IEC 1348/14

Légende

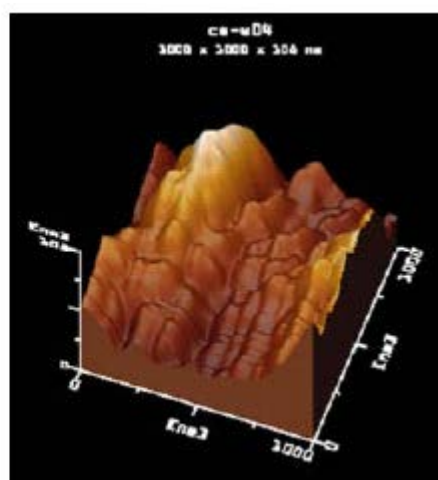
- 1 Anode
- 2 Cathode

Figure 60 – Électrodes sur lesquelles la migration a été créée



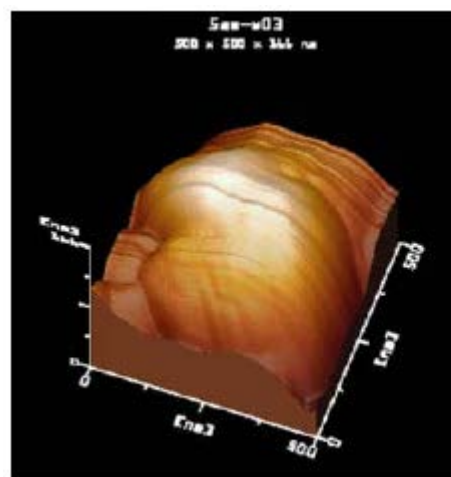
a) Anode avant l'occurrence de la dendrite

IEC 1349/14



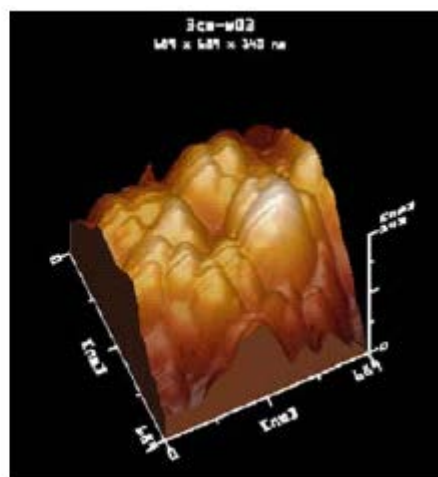
b) Cathode avant l'occurrence de la dendrite

IEC 1350/14



c) Anode après l'occurrence de la dendrite

IEC 1351/14

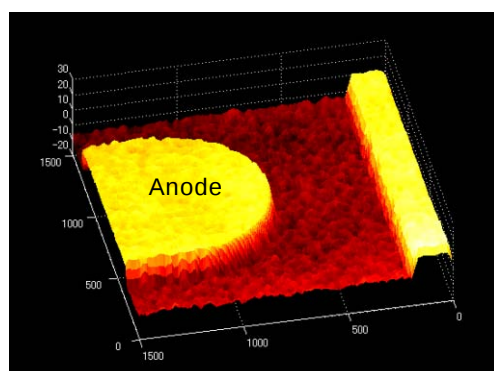


d) Cathode après l'occurrence de la dendrite

IEC 1352/14

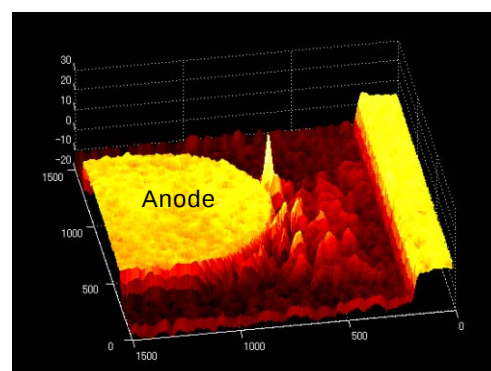
Figure 61 – Observation 3D des électrodes avant et après l'essai

Il est possible d'effectuer une analyse quantitative de la quantité de dissolution et de précipité d'une électrode métallique en connaissant la dimension 3D des électrodes. Cette analyse est également importante pour aider à connaître les variations du champ électrique induites par la création d'une dendrite. La Figure 62 montre l'observation 3D d'une dendrite.



IEC 1353/14

a) Avant la création de la dendrite



IEC 1354/14

b) Après la création de la dendrite

Figure 62 – Observation 3D d'une dendrite

6.4 Remarques spéciales relatives au phénomène de migration après l'essai

1) Spécification de la carte et critères pour l'évaluation

Les effets de l'agencement des électrodes de conducteurs et de la forme sont étudiés pour une carte en stratifié tissu de verre-résine époxy recouvert de cuivre et un masque de soudure couchée par-dessus le conducteur avec la structure montrée dans le Tableau 20 dans un essai HAST dans les conditions données dans le Tableau.

Tableau 20 – Spécification de la carte et conditions d'essai

Éléments	Contenu
Stratifié tissu de verre-résine époxy recouvert de cuivre	FR-4/ T_g 120 °C à 130 °C (méthode TMA (thermomechanical analyzer (analyseur thermomécanique)))
Masque de soudure	Type faible T_g / T_g : 110 °C à 130 °C (méthode TMA)
Longueur de l'impression conductrice	0,018mm
Espace entre conducteurs	0,080mm
Conditions d'essai	HAST: 130 °C, 85 %HR, 50 V/CC

2) Agencement du tracé conducteur et sa forme

Les effets de l'agencement des conducteurs et les formes du bout d'un conducteur pour les trois cas ci-après ont été étudiés:

- L'effet de la grandeur de chevauchement du tracé conducteur rectangulaire (Tableau 21).
- L'effet du rapport des aires de deux tracés conducteurs rectangulaires l'un en face de l'autre (Tableau 22).
- L'effet de la forme des points d'extrémités des tracés conducteurs (Tableau 23).

3) Évaluation

- Effet de la longueur de chevauchement du tracé conducteur (voir Tableau 21)

La durée de fonctionnement avant défaillance était courte pour le tracé conducteur présentant un chevauchement plus grand. Il n'y avait pas de différence significative dans le mode de court-circuit entre la partie d'extrémité du conducteur et le corps principal du conducteur lui-même.

- Effet du rapport des aires de deux tracés conducteurs rectangulaires l'un en face de l'autre (voir Tableau 22).

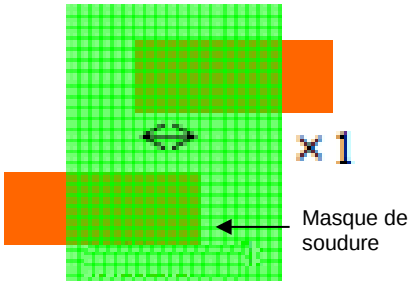
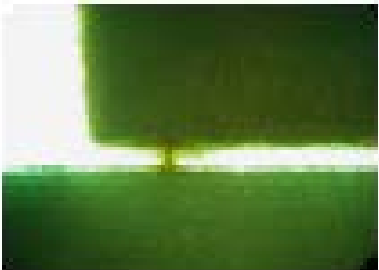
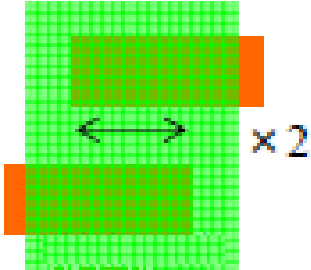
La durée de fonctionnement avant défaillance avait tendance à être courte pour un tracé conducteur ayant une largeur plus grande. Aucune différence significative n'a été décelée pour le mode de court-circuit. La concentration du courant au niveau d'un conducteur plus étroit pourrait expliquer le résultat d'essai.

c) Effet de la forme des points d'extrémité des tracés conducteurs (voir Tableau 23)

La durée de fonctionnement avant défaillance se présente grosso modo dans l'ordre de la forme du bout de l'électrode opposée du conducteur (ronde, plate, profilée) pour l'extrémité plate du conducteur. La durée de fonctionnement avant défaillance pour une paire de conducteurs de la même forme se présente grosso modo dans l'ordre: profilée, plate, ronde. L'aire de l'espace vide entre les électrodes, par exemple, de la concentration du champ électrique, peut expliquer la différence.

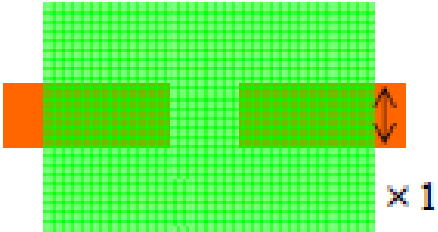
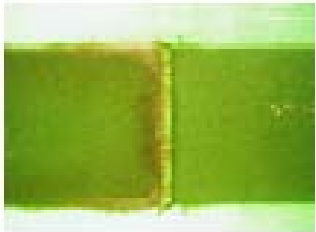
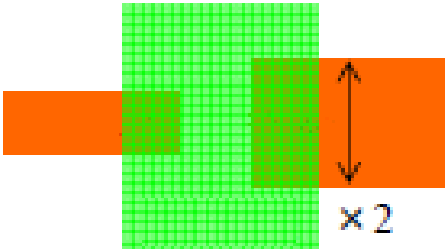
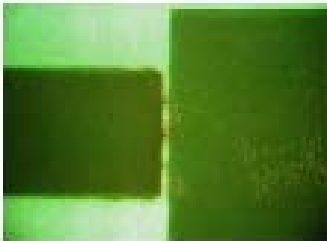
Les formes des électrodes et leur agencement peuvent avoir un effet sur la durée de fonctionnement avant défaillance. Il convient de faire preuve de vigilance au moment de décider de la conception des électrodes.

Tableau 21 – Effet du chevauchement des électrodes

Position et forme	MTTF (h)	Mode de défaillance
	373	
	250	

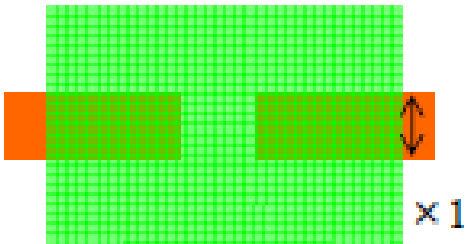
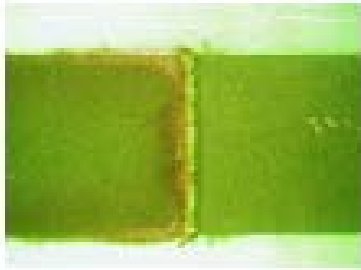
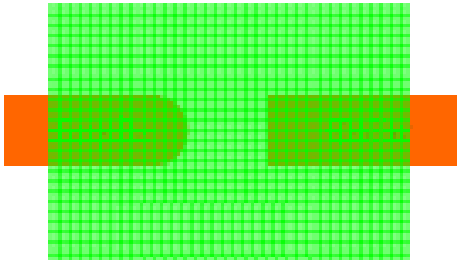
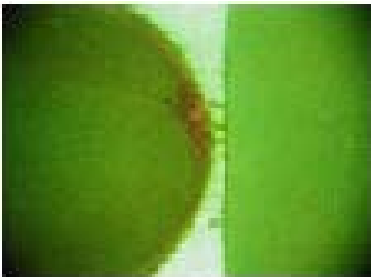
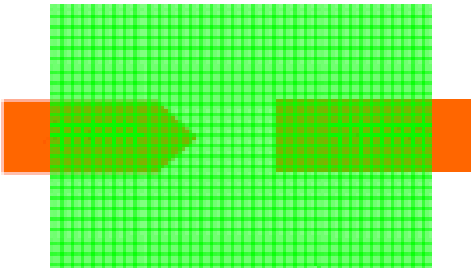
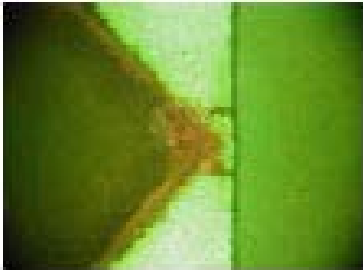
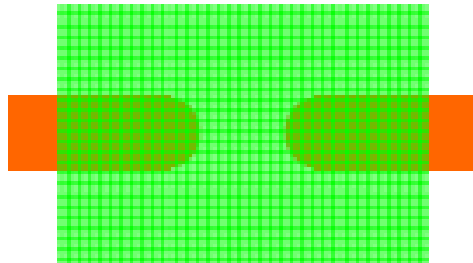
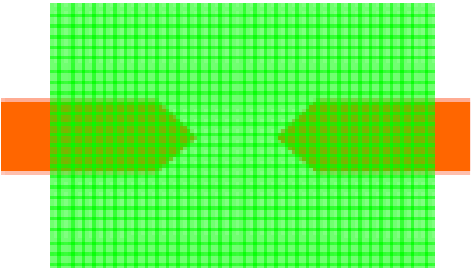
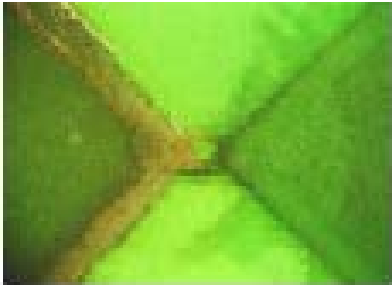
IEC 1355/14

Tableau 22 – Effet de l'aire du conducteur

Position et forme	MTTF (h)	Mode de défaillance
	432	
	197	

IEC 1356/14

Tableau 23 – Effet de la forme du bout des électrodes

Position et forme	MTTF (h)	Mode de défaillance
	432	
	484	
	257	
	450	
	590	
IEC 1357/14		
Références:		
H. OKUMURA, T. TAKAHAGI, N. NAGAI and S. SHINGUBARA, <i>Depth Profile Analysis of Polyimide Film Treated by Potassium Hydroxide</i> , J.:Polym.:Sci.: Part B: Polym.:Phys.,41,:2071-2078:(2003)		
T. AWANO, T. ISHIKAWA,T,. YOSHIMITSU and K. TAKAGI, <i>Insulation Reliability of Glass Cloth Material Based Copper Clad Laminates</i> , Printed Circuit World Convention, pp. 47-2-16, 1987		
CHAO TANG, K. MITOBE and N. YOSHIMURA, <i>Ion-migration polarity and 3D shape evaluation in the WDT method</i> , IEE Japan Trans. Vol. 124-A, pp. 203-208, 2004.		

Annexe A (informative)

Évaluation de la durée de vie

A.1 Dépendance de la durée de vie vis-à-vis de la tension

La dépendance de la tension de la durée de vie dépendante de la tension (t_V) montre une bonne dépendance linéaire lorsqu'elle est tracée sur un diagramme log-log.

$$t_V = K_V V^{-n} \quad (\text{A.1})$$

K_V : constante.

Cette relation est applicable dans le cas où la tension appliquée n'est pas constante, mais se présente sous la forme d'impulsions. On sait que la durée de vie sous la déformation appliquée et les caractéristiques cycliques répétées sont également en relation linéaire lorsqu'elles sont tracées sur un diagramme log-log. La tangente (c'est-à-dire la pente) de la ligne, n , est de 1 à 2 dans le cas de la dégradation provoquée par une migration, ce qui est beaucoup plus faible que la dégradation causée par des défaillances dans le défaut d'Isolation au niveau du mécanisme de rotation ou par les câbles, où n est supérieur à 5 ou même supérieur à 20. La tangente peut différer selon la tension appliquée dans le cas de la défaillance du mécanisme de rotation. Cette variation de n signifie que le mécanisme de défaillance est différent pour les régions de valeur n concernées. La dégradation n'est pas très significative dans le cas où la contrainte de tension est faible, ce qui signifie seulement que la condition de contrainte est proche de la valeur de seuil mais le mécanisme de défaillance proprement dit est le même.

A.2 Dépendance de la durée de vie vis-à-vis de la température

La dépendance de la température de la durée de vie dépendante de la température, t_T , est exprimée par l'équation ci-après.

$$t_T = K_T^{E_a / KT} \quad (\text{A.2})$$

K_T : constante.

Il est possible d'obtenir l'énergie d'activation E_a (eV) de la défaillance à partir de la tangente de la ligne. L'énergie d'activation apparente est d'environ 0,1 eV à 1 eV. Si la constante des gaz ($R = 1,987 \text{ cal}(\text{mol-K})$) est utilisée dans l'équation, l'unité d'expression de l'énergie d'activation est cal/mol.

A.3 Dépendance de la durée de vie vis-à-vis de l'humidité

A.3.1 Généralités

Il n'est pas facile de comprendre la relation entre la durée de vie dépendante de l'humidité t_H et l'humidité (H) car nous n'avons de données expérimentales bien organisées. Cette relation peut être exprimée sous la forme

$$t_H = K_H H^{-m} \quad (\text{A.3})$$

K_H : constante.

m est généralement de 3 à 6. Le tracé semilogarithmique avec l'humidité comme axe horizontal linéaire est exprimé par

$$t_H = K_H \exp(-\lambda H) \quad (\text{A.4})$$

K_H : constante,

λ : taux de défaillance.

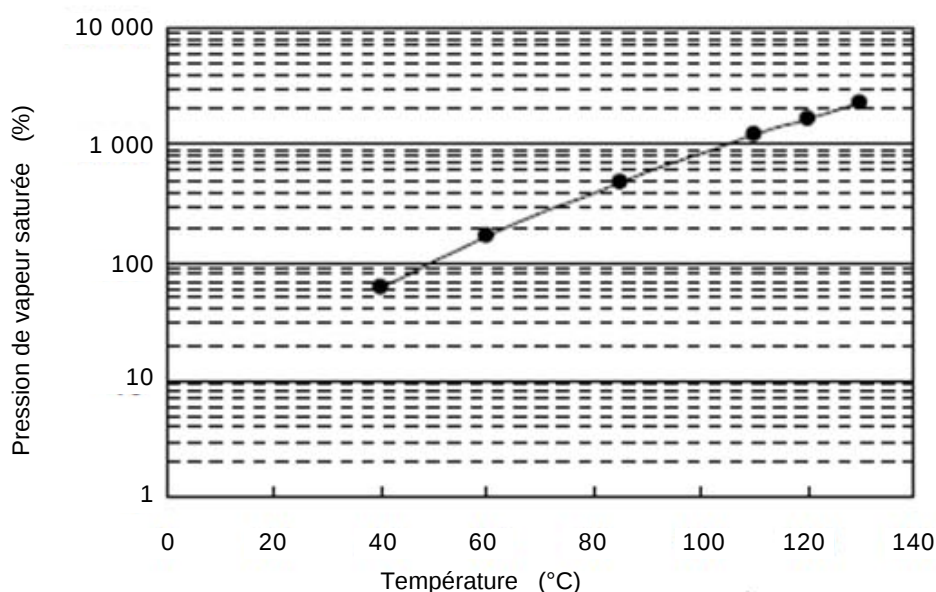
Maintenant, seul les données pour une plage de forte humidité ont été obtenues, mais la durée de vie dans le graphique semi-logarithmique montre la linéarité de l'humidité. La comparaison des données de durée de vie à faible humidité montre qu'un tracé semilogarithmique semble montrer une durée de vie légèrement plus courte. Le tracé semilogarithmique fournissant les données pour un côté plus sûr de l'analyse, il est adopté dans certains cas.

A.3.2 Relation entre température (°C), humidité relative (% HR) et pression de vapeur (hPa)

La relation est montrée dans le Tableau A.1 et à la Figure A.1.

Tableau A.1 – Pression de vapeur à la température et à l'humidité relative de l'essai

Température/humidité relative	Pression de vapeur (saturée)	Température/humidité relative	Pression de vapeur (saturée) (hPa)
40 °C/85 %HR	62,7	40 °C/90 %HR	66,4
60 °C/85 %HR	169,4	60 °C/90 %HR	179,4
85 °C/85 %HR	491,5	85 °C/90 %HR	520,4
110 °C/85 %HR	1 218	–	–
120 °C/85 %HR	1 687	–	–
130 °C/85 %HR	2 295	–	–



IEC 1358/14

Figure A.1 – Température et pression de vapeur saturée

A.4 Essai d'accélération de la durée de vie et facteur d'accélération

La durée de vie L dans un essai accéléré de durée de vie est habituellement exprimée sous la forme de l'Équation (A. 5) basée sur le modèle d'Isling.

$$L = t_V t_T t_H = KV^{-n} H^{-m} \exp(Ea/kT) \quad (\text{A.5})$$

Le facteur d'accélération A_F pour les conditions d'essai de tension V , de température T et d'humidité H en comparaison à l'environnement réel sur le terrain de la tension appliquée V_0 , de la température T_0 et de l'humidité H_0 est exprimé dans l'Équation (A.6).

$$A_F = (V/V_0)^n (H/H_0)^m \exp \left\{ E_a/k \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \right\} \quad A_F = (V/V_0)^n (H/H_0)^m \exp \left\{ E_a/k \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \right\} \quad (\text{A.6})$$

A.5 Remarques

Il convient de noter que l'Équation (A.6) est valide seulement lorsque le mécanisme de dégradation est le même pour l'essai accéléré et dans les défaillances sur le terrain. La durée de vie dans un essai d'environnement est très courte, avec un statut où la formation de rosée est observée sur une partie de l'éprouvette, en comparaison à la durée de vie dans l'utilisation réelle sur le terrain où la formation de rosée n'est pas habituellement observée. Lorsqu'un essai est réalisé pour évaluer la durée de vie avec une éprouvette qui porte des électrodes sur la surface et n'est pas revêtue de résine pour la protection de la surface, il convient de mener l'essai par l'essai cyclique de rosée, notamment lorsque l'effet de la formation de rosée sur le raccourcissement de la durée de vie est le but de l'essai.

Il y a un risque de court-circuit si un objet métallique étranger est fixé à une éprouvette, et la présence d'une substance fibriforme entre les électrodes peut induire la migration d'ions métalliques le long de la fibre de la substance. L'accélération régulière de la tension n'est pas applicable dans ce cas.

Il y a un risque que l'absorption de la vapeur d'eau par la poussière et une substance étrangère sur la surface d'une éprouvette puisse conduire à une condition d'humidité en partie élevée et que la migration puisse être induite.

Annexe B (informative)

Mesure de température et d'humidité

B.1 Mesure de température et d'humidité

B.1.1 Généralités

Il est important d'utiliser la même méthode qui a servi pour surveiller la température et l'humidité dans une chambre d'essai pour la vérification de la température et de l'humidité. La méthode la plus communément utilisée est l'utilisation d'un hygromètre à bulbes sec et humide. Il y a beaucoup d'autres types de capteurs sur le marché; cependant, il convient que le capteur qui doit être utilisé soit confirmé par la traçabilité à des instruments de mesure normalisés approuvés au plan national. Les systèmes et les exigences imposés aux hygromètres utilisés dans une chambre d'essai continu de température et d'humidité sont énoncés ci-dessous.

B.1.2 Systèmes de mesure de la température et de l'humidité communément utilisés et leurs mérites

L'hygromètre à bulbes sec et humide est habituellement utilisé car il satisfait à la plupart des exigences de la mesure. On utilise habituellement une résistance détectrice de température en platine (Pt 100 Ω) ou un thermocouple T (cuivre-constantan) pour la détection de la température conformément à la Figure B.1. Le problème avec l'utilisation d'un système à bulbes sec et humide est la nécessité d'alimenter en eau le bulbe humide au moyen d'un morceau de tissu appelé "perruque". Il peut y avoir une limitation d'une longue durée d'essai en ce que la saleté fixée à la perruque empêche la correcte alimentation en eau du bulbe humide. Divers instruments de mesure utilisés dans une chambre d'essai continu de température et d'humidité sont énumérés dans le Tableau B.1.

B.1.3 Exigences relatives aux mesures de l'humidité dans une chambre d'essai continu de température et d'humidité

- 1) Capacité de mesurer les plages basse à haute de la température et de l'humidité.
- 2) Fiabilité de mesure de 95 % pour la reproductibilité, la dérive, l'hystérésis et la variation de durée et de la précision de plusieurs pourcentages pour l'humidité relative.
- 3) Possibilité de mesure en continu.
- 4) Possibilité de conversion des données en signaux électriques pour l'affichage, l'enregistrement, le calcul et la commande.
- 5) Il convient que les capteurs soient de petites dimensions et n'aient pas d'effet sur l'environnement de mesure.
- 6) Réponse rapide aux variations de l'environnement dans la chambre.
- 7) Faible coût de fonctionnement et capacité de mesure de longue durée.
- 8) Maintenance aisée ou remplacement facile des capteurs.

B.2 Méthodes types de mesure de la température et de l'humidité

B.2.1 Généralités

Le système de mesure le plus courant utilise le système à bulbes sec et humide et des résistances de mesure de la température en platine (Pt 100 Ω), ou un thermocouple (cuivre-constantan). Ils ne sont pas coûteux et peuvent mesurer les plages requises pour un essai avec la précision requise.

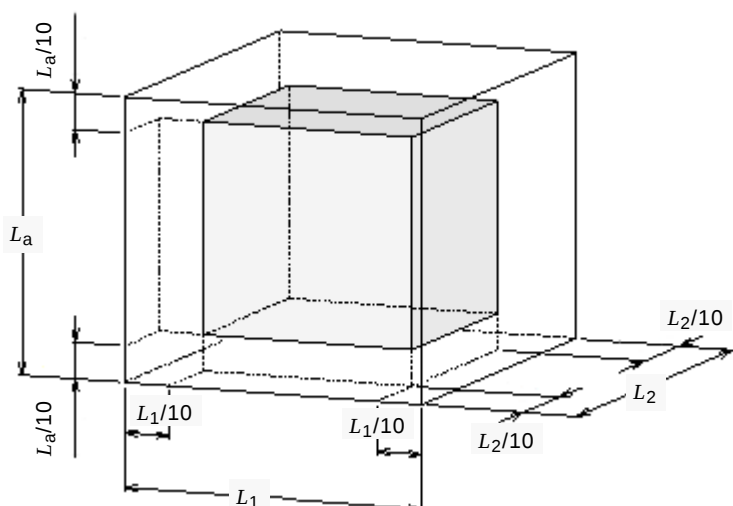
B.2.2 Procédure de vérification pour la mesure de la température**Tableau B.1 – Mérites et remarques relatives aux diverses méthodes de mesure de l'humidité (applicables aux essais continus de température et d'humidité)**

Méthode de mesure de l'humidité	Inconvénients et avantages
1. Psychomètre	Inconvénients 1) Nécessité d'une fonction convertissant la température mesurée des bulbes sec et humide en humidité relative 2) Nécessité de l'installation de la perruque pour la détection de la température du bulbe humide 3) Nécessité de l'alimentation automatique en eau de la perruque 4) Nécessité de remplacement à cause de la dégradation de la capacité d'absorption d'eau 5) Effet de l'eau de la perruque sur la valeur de l'humidité à l'intérieur de chambre Avantages: 1) Peu coûteux 2) Facile à utiliser 3) Facile à réviser
2. Enregistreur de point de rosée	Inconvénients 1) Coûteux et trop volumineux 2) Nécessité d'une isolation thermique et caléfaction sur les trajets de prélèvement 3) Nécessité d'une fonction conventionnelle reliant le point de rosée à l'humidité relative 4) Nécessité de nettoyer la surface du miroir Avantages: 1) Plage de mesure plus large (notamment sur les zones de faible humidité) 2) Précision élevée
3. Capteur capacitif d'humidité	Inconvénients 1) Nécessité d'une révision régulière pour conserver la précision de mesure 2) Dérive des caractéristiques à cause de la saleté 3) Lente récupération après condensation (nécessité de l'installation d'un filtre) 4) Erreur accidentelle due à un solvant organique Avantages: 1) Qualité élevée de la réponse 2) Qualité élevée de la linéarité et de la stabilité 3) Absence de mécanisme d'alimentation en eau 4) Utilisation disponible pour zone d'humidité élevée 5) Taille compacte 6) Facile à commander en raison de la mesure séquentielle de la température et de l'humidité

- 1) Décider de l'exigence relative à la mesure de la température. En premier lieu, choisir la plage de température pour la mesure. Si elle n'est pas spécifiée, la température limite inférieure ou supérieure du matériel d'essai peut être choisie.
- 2) Extraire toutes les éprouvettes laissées dans la chambre d'essai.
- 3) Choisir les capteurs de température appropriés à la chambre d'essai. Préparer les mêmes capteurs que ceux utilisés dans la chambre d'essai, d'une manière générale, un capteur à thermocouple (cuivre-constantan) ou une résistance de platine (Pt 100 Ω) pour une plage de températures basse à moyenne, et un thermocouple (chromel-alumel) pour une plage de températures élevées (> 200°). Il convient que la précision du capteur soit supérieure ou égale à celle de celui qui est utilisé dans la chambre d'essai (temps de réponse d'un minimum de 10 s à un maximum de 60 s). Il convient que le bout du capteur (chromel-

alumel) soit d'un diamètre 3 ou 5 et d'un diamètre de fil de 0,32 mm. La résistance de platine (Pt 100 Ω) est utilisée pour le type à trois fils avec un tube de protection.

- 4) Fixer une position correcte conforme à la



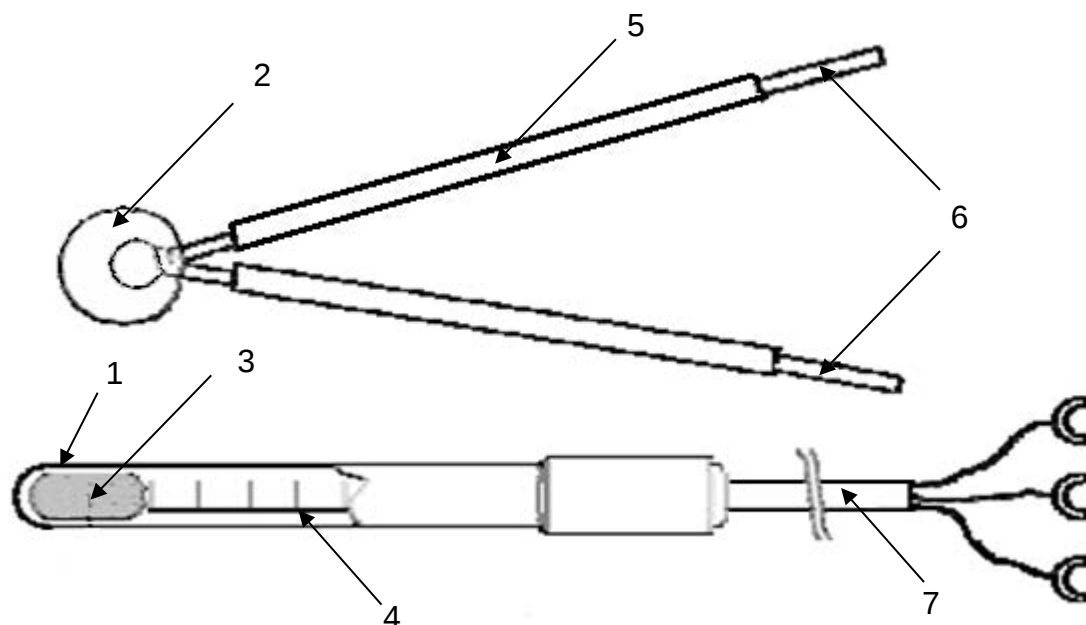
Volume (l)	Minimum value of L_1, L_2, L_3 mm
Jusqu'à 1 000	50
1 000 à 2 000	100
Plus de 2 000	150

IEC 1286/14

- 5) Figure 15 pour plus de quatre endroits en des positions symétriques par rapport au centre de la chambre. Il convient de prendre en considération la vitesse du vent à proximité du capteur d'humidité.
- 6) Connecter les capteurs à des enregistreurs qui sont étalonnés.
- 7) Prendre un relevé de lecteur du/des capteur (s) pendant une durée de 30 min pour chaque 1 min après que le système entier atteint un état stable et calculer la température conformément à la Figure B.1. Dérivée la température (l'humidité) maximale moyenne et la température (l'humidité) minimale moyenne correspondant à la température (l'humidité) moyenne (humidité), et confirmer que la température se situe dans la plage de la distribution de température pour laquelle le matériel d'essai est conçu (réétalonner si la température ne se situe pas dans la plage pour laquelle le matériel est conçu).

B.2.3 Procédure de vérification pour la mesure de l'humidité

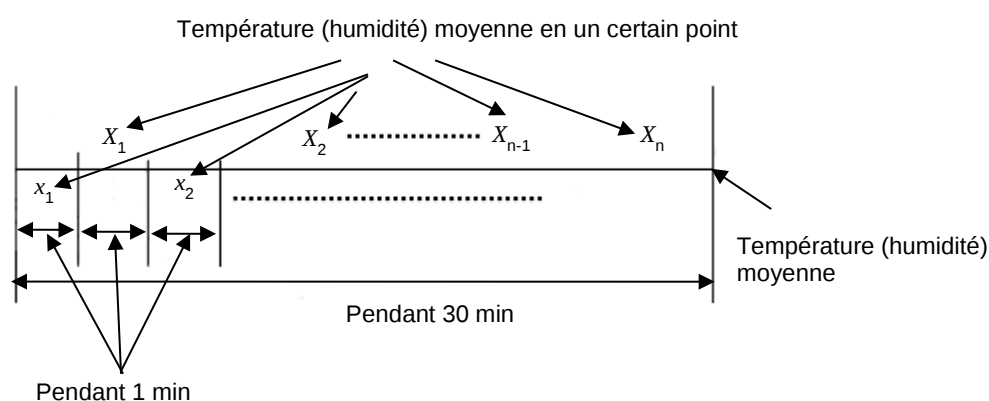
La procédure de base est identique à celle qui est utilisée pour la mesure de la température. La méthode aux bulbes sec et humide est utilisée dans de nombreux systèmes, car le matériel est assez bien adapté à l'environnement étanche à l'air d'une chambre d'essai n'ayant pas un très grand volume. (La plupart de ces systèmes utilisent la méthode des bulbes sec et humide.) Il est possible d'obtenir l'humidité relative en utilisant la liste d'humidités relatives avec les bulbes sec et humide, mais il est nécessaire de choisir une méthode correcte basée sur le débit d'air atteignant les bulbes.



IEC 1359/14

Légende

- 1 Tube de garde (SUS304)
- 2 Boule de laiton
- 3 Élément de mesure de température
- 4 Vide dans le cas C
Empli de MgO dans le cas D
- 5 Revêtement
- 6 Fil thermocouple
- 7 Fil conducteur à trois âmes

Figure B.1 – Spécification des capteurs utilisés dans l'essai et leurs formes

IEC 1360/14

Figure B.2 – Méthode de calcul de la température (l'humidité) moyenne, de la température (l'humidité) maximale moyenne et de la température (l'humidité) minimale moyenne

$X_1, X_2, \dots, X_n, x_1, x_2, \dots, x_m$ sont les températures (humidités) moyennes à chaque point de mesure. La température (l'humidité) moyenne est la moyenne de tous les points de mesure. La température (l'humidité) moyenne:

$$(X_1 + X_2 + \dots + X_n + x_1 + x_2 + \dots + x_m) / (n + m) \quad (\text{B.1})$$

où

$$n + m \leq 30.$$

$X_1, X_2, \dots, X_n$ se situent au-dessus de la température (l'humidité) moyenne et $x_1, x_2, \dots, x_m$ se situent en dessous de la température (l'humidité) moyenne. Ainsi, la température (l'humidité) maximale moyenne et la température (l'humidité) minimale moyenne sont:

La température (l'humidité) maximale moyenne est:

$$(X_1 + X_2 + \dots + X_{n-1} + X_n) / n \quad (\text{B.2})$$

où

n est le nombre des X .

La température (l'humidité) minimale moyenne est:

$$(x_1 + x_2 + \dots + x_{m-1} + x_m) / m \quad (\text{B.3})$$

où

m est le nombre des x .

B.2.4 Dérivation de la température dans une chambre

L'humidité absolue, D , est:

$$D = (H / 100) \{ 804 / (1 + 0,00366t) \} (e_s / p_0) \text{ (g/m}^3\text{)} \quad (\text{B.4})$$

où H est l'humidité relative (HR %), t est la température (°C), p_0 est la pression normalisée (Pa), et e_s la pression de vapeur saturée (Pa).

e_s est donnée comme un schéma numérique dans l'ISO 4677-1. L'humidité relative et l'humidité absolue peuvent être calculées à partir de l'Équation (B.4) ci-dessus. Il convient de calculer l'humidité relative à partir de l'équation de Splung donnée ci-dessous (B.5) à partir des relevés de lecture des bulbes sec et humide d'un hygromètre. L'équation est également adoptée dans l'ISO 4677-1.

$$e = e'_s - A(P / 755) (t - t') \quad (\text{B.5})$$

où t' est la température du bulbe humide (°C), e est la pression de vapeur (Pa), e'_s est la pression de vapeur saturée (Pa) à t' (°C), P est la pression de l'air (Pa), et A est un facteur ($A = 0,5$ lorsque le bulbe humide n'est pas gelé et $A = 0,55$ lorsque le bulbe est gelé).

L'humidité relative H peut être obtenue à partir de l'équation:

$$H = \frac{e}{e_s} \times 100 \text{ (\%)} \quad (\text{B.6})$$

Un écoulement d'air à plus de 2,5 m/s frappant le bulbe humide d'un hygromètre à bulbes sec et humide est nécessaire pour utiliser l'Équation (B.6). Une autre équation pour l'hygromètre à bulbes sec et humide est nécessaire pour le calcul de l'humidité au cas où un tel écoulement d'air n'est pas disponible. La Japan Association of Test Equipment a publié l'équation de Pelunter ci-après à cet effet dans la JTM K 01:

$$e = e_W - \lambda P \left(1 + \frac{T_W}{B} \right) (T_D - T_W) \text{ (Pa)} \quad (\text{B.7})$$

où e est la pression de vapeur de l'air en question (Pa), e_W est la pression de vapeur saturée du bulbe humide (Pa), T_D est la température du bulbe sec (°C), T_W est la température du bulbe humide (°C), et B et λ sont des constantes (voir Tableau B.2).

**Tableau B.2 – Dérivation de l'humidité relative
à partir d'un hygromètre à bulbes sec et humide**

Vitesse du vent autour du bulbe humide (m/s)	Bulbe humide non gelé		Bulbe humide gelé	
	λ	B	λ	B
0 à 0,5	0,001 200	610	0,001 060	689
1 à 1,5	0,000 800	610	0,000 706	689
2,5 ou au-dessus	0,000 656	610	0,000 579	689

B.2.5 Définition de l'humidité relative dans l'essai HAST

L'air peut prendre de la vapeur d'eau supplémentaire si la pression de la vapeur d'eau est inférieure à la pression de vapeur d'eau saturée jusqu'à la saturation. Le rapport de la pression de vapeur d'eau réelle sur la pression de vapeur saturée exprimé en % est l'humidité relative de l'air en question. L'humidité relative, ϕ , est exprimée dans l'Équation (B.8) avec une pression partielle de vapeur d'eau de P_W à la température T et la pression de vapeur à la saturation P_S à la même température T , comme étant:

$$\phi = \frac{P_W}{P_S} \times 100 \text{ (%HR)} \quad (\text{B.8})$$

L'air humide peut être considéré comme étant un mélange d'air sec sans aucune vapeur d'eau et de vapeur d'eau. La pression atmosphérique de l'air humide, P , peut être exprimée à partir de la loi de Dalton (loi des pressions partielles) comme étant la somme des pressions partielles de l'air sec, P_a , et de la pression de vapeur d'eau, P_W :

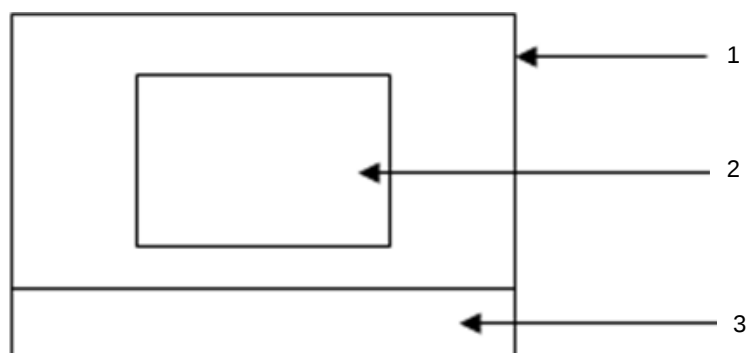
$$P = P_a + P_W \quad (\text{B.9})$$

Soit l'air sec de l'air saturé avec $P_a = 0$, alors

$$P = P_W = P_S \quad (\text{B.10})$$

Une région locale (l'espace de travail à la Figure B.3) d'un espace d'air saturé à la température T , où il est chauffé davantage jusqu'à T' , conduit à une région de vapeur d'eau non saturée. Soient P'_S la pression de vapeur d'eau chauffée et P_S la pression de vapeur d'eau saturée autour de la région chauffée. Alors l'humidité relative, ϕ' , dans un environnement HAST est définie comme étant

$$\phi' = \frac{P'_S}{P_S} \times 100 \text{ (%HR)} \quad (\text{B.11})$$



IEC 1361/14

Légende

- 1 Chambre d'essai HAST
Température dans la chambre d'essai HAST T
Pression de vapeur d'eau saturée dans la chambre d'essai HAST P_s
- 2 Espace de travail
Température dans la zone d'essai T'
Pression de vapeur d'eau saturée dans la zone d'essai P'_s
- 3 Eau d'humidification

Figure B.3 – Humidité relative dans une chambre pressurisée

La méthode de mesure directe de l'humidité dans l'environnement utilisé dans un essai HAST n'est pas bien établie, bien que la méthode d'essai soit décrite dans l'IEC 60068-2-66.

L'humidité relative dans cette plage est estimée à partir de la mesure indirecte de mesure de température et de la méthode aux bulbes sec et humide.

Bibliographie

IEC 60068-1, *Essais d'environnement – Partie 1: Généralités et lignes directrices*

IEC 60068-2-2, *Essais d'environnement – Partie 2-2: Essais – Essai B: Chaleur sèche*

IEC 60068-2-30, *Essais d'environnement – Partie 2-30: Essais – Essai Db: Essai cyclique de chaleur humide (cycle de 12 h + 12 h)*

IEC 60068-2-38, *Essais d'environnement – Partie 2-38: Essais – Essai Z/AD: Essai cyclique composite de température et d'humidité*

IEC 60068-2-66, *Essais d'environnement – Partie 2: Méthodes d'essai – Essai Cx: Essai continu de chaleur humide (vapeur pressurisée non saturée)*

IEC 60068-2-67, *Essais d'environnement – Partie 2: Essais – Essai Cy: Essai continu de chaleur humide, essai accéléré applicable en premier lieu aux composants*

IEC 60068-2-78, *Essais d'environnement – Partie 2-78: Essais – Essai Cab: Chaleur humide, essai continu*

IEC 60068-3-5, *Essais d'environnement – Partie 3-5: Documentation d'accompagnement et guide – Confirmation des performances des chambres d'essai en température*

IEC 60068-3-6, *Essais d'environnement – Partie 3-6: Documentation d'accompagnement et guide – Confirmation des performances des chambres d'essai en température et humidité*

IEC 60194, *Conception, fabrication et assemblage des cartes imprimées – Termes et définitions*

IEC 60749-4, *Dispositifs à semiconducteurs – Méthodes d'essais mécaniques et climatiques – Partie 4: Essai continu fortement accéléré de contrainte de chaleur humide (HAST)*

ISO 4677-1, *Atmosphères de conditionnement et d'essai – Détermination de l'humidité relative – Partie 1: Méthode utilisant un psychromètre à aspiration*

ISO 9455 (toutes les parties), *Flux de brasage tendre – Méthodes d'essai*

ISO 9455-17, *Flux de brasage tendre – Méthodes d'essai – Partie 17: Essai au peigne et essai de migration électrochimique de résistance d'isolement de surface des résidus de flux*

ANSI/ASQ Z1.4, *Sampling Procedures and Tables for Inspection by Attributes*

ANSI/ASQ Z1.9, *Sampling Procedures and Tables for Inspection by Variables for Percent Nonconforming*

ANSI J STD 004, *Requirements for Soldering Fluxes*

EIAJ ED-4701/100, *Environmental and endurance test methods for semiconductor devices*

EIAJ ED-4701/102, *Temperature and Humidity Bias test*

EIAJ D-4701/301, *Heat-proof test for Soldering*

IPC J-STD-004, *Requirements for Soldering Fluxes*

IPC-TM-650, *Test Methods Manual*, disponible à l'adresse: <<http://www.ipc.org/test-methods.aspx>>

IPC-TR-476A, *Electrochemical Migration: – Electrically induced Failures in Printed Wiring Assemblies*

IPC-9201A, *Surface Insulation Resistance Handbook*

IPC-SM-840, *Qualification and Performance Specification of Permanent Solder Mask*

JESD22-A101, *Steady State Temperature Humidity Bias Life Test*

JESD22-A102-C, *Accelerated moisture resistance – unbiased autoclave*

JESD22-A110, *Highly Accelerated Temperature and Humidity Stress Test (HAST)*,

JESD22-A110-B, *Test Method A110-B: Highly-Accelerated Temperature and Humidity Stress Test (HAST)*

JESD22-A113, *Preconditioning of Nonhermetic Surface Mount Devices Prior to Reliability Testing*

JPCA BU 01, *Build up wiring board*

JPCA DG 02, *Performance Guide for Single-and Double sided Flexible printed wiring board*

JPCA ET 01, *Environmental test method for printed wiring board General*

JPCA ET 06, *Environmental test method for printed wiring board temperature and humidity cyclic test with low temperature*

JPCA ET 08, *Environmental test method for printed wiring board steady state high temperature and high humidity (unsaturated pressurized vapour) test*

JPCA ET 09, *Environmental test method for printed wiring board Dew cycle test*

JTM K 01, *Temperature and humidity chambers – Test and indication method for performance*

JTM K 07, *Temperature chambers – Test and indication method for performance*

MIL-HDBK-781A, *Handbook for reliability test methods, plans, and environments for engineering, development qualification, and production*

MIL-STD-690, *Failure Rate Sampling Plans and Procedures UL 796, Printed-Wiring Boards*

T. AWANO, T. ISHIKAWA, T. YOSHIMITSU, and K. TAKAGI, *Insulation reliability of glass cloth material based copper clad laminates*, Printed Circuit World Convention, pp.47-2-16,1987

P. J. BODDY, et al., *Accelerated life testing of flexible printed circuits*, IEEE 14th Ann. Proc. on Reliability Physics Symposium, pp. 108-117, 1976

The IEEE Computer Society, *CAF effect: challenges for fine pitch burn-in board design*, Bits 2003 Workshop, 3/2-5 2003.

G. T. KOHMAN, et al. *Silver migration in electrical insulation*, BSTJ 34 299, 1955

S. J. KRUMBEIN, *Tutorial: Electrolytic models for metallic electro migration failure mechanisms*, IEEE Transactions on Reliability, Vol.44, No.4, pp. 539-548, 1995

D. J. LANDO, J. P. MITCHELL and T. L. WELSHER, *Conductive anodic filaments in reinforced polymeric dielectrics: formation and prevention*, IEEE 17th Ann. Proc. on Reliability Physics Symposium, pp. 51-63, 1979

M. POURBAIX, *Atlas d'équilibres électrochimiques*, Gauthier-Villars et Cie éd., 1963

M. REID, J. PUNCH, B. ROGERS, M. POMEROY, T. GALKIN, T. STENBERG, O. RISANEN, E. ELONEN, M. VILEN, and K. VAEKEVAEINEN, *Factor that influence ion migration on printed wiring boards*, Ann. Proc. Int. Phys. Symp. Vol. 43, pp. 300 – 304 (2005)

H. YAMAGUCHI, K. YAMAMOTO, K. TAKAGI, and Y. UDOH, *Insulation behavior of polyimide multilayer printed wiring boards*, Printed Circuit World Convention M. Matsumoto, Technical Paper, 1984

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch