

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices –
Part 18: Bend testing methods of thin film materials**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques –
Partie 18: Méthodes d'essai de flexion des matériaux en couche mince**





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2013 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembé
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.

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables you 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It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 on-line 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 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) on-line.

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 la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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 CEI

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

Liens utiles:

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

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI 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.

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. 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 au monde 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 les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) en ligne.

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.



IEC 62047-18

Edition 1.0 2013-07

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices –
Part 18: Bend testing methods of thin film materials**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques –
Partie 18: Méthodes d'essai de flexion des matériaux en couche mince**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

M

ICS 31.080.99

ISBN 978-2-8322-0982-0

**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.....	3
1 Scope.....	5
2 Normative references	5
3 Symbols and designations	6
4 Test piece	6
4.1 Design of test piece.....	6
4.2 Preparation of test piece	7
4.3 Test piece width and thickness	7
4.4 Storage prior to testing	7
5 Testing method.....	7
5.1 General	7
5.2 Method for mounting of test piece.....	9
5.3 Method for loading.....	9
5.4 Speed of testing	9
5.5 Displacement measurement	9
5.6 Test environment.....	9
5.7 Data analysis	9
5.8 Material for test pieces	10
6 Test report.....	10
Annex A (informative) Precautions for the test piece/substrate interface	11
Annex B (informative) Precautions necessary for the force displacement relationship	12
Figure 1 – Schematically shown test piece with substrate	6
Figure 2 – Measurement method.....	8
Figure A.1 – Finishing angle of substrate contact area with test piece.....	11
Figure B.1 – Cantilever type bend test piece of metallic glass in accordance with IEC 62047-18.....	12
Figure B.2 – Typical example of relationship between force and displacement.....	13
Table 1 – Symbols and designation of test piece.....	6

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SEMICONDUCTOR DEVICES – MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –

Part 18: Bend testing methods of thin film materials

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.

International Standard IEC 62047-18 has been prepared by subcommittee 47F: Micro-electromechanical systems, of IEC technical committee 47: Semiconductor devices.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
47F/155/FDIS	47F/162/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard 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.

A list of all parts in the IEC 62047 series, published under the general title *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices*, can be found on the IEC website.

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.

SEMICONDUCTOR DEVICES – MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –

Part 18: Bend testing methods of thin film materials

1 Scope

This part of IEC 62047 specifies the method for bend testing of thin film materials with a length and width under 1 mm and a thickness in the range between 0,1 μm and 10 μm . Thin films are used as main structural materials for Micro-electromechanical Systems (abbreviated as MEMS in this document) and micromachines.

The main structural materials for MEMS, micromachines, etc., have special features, such as a few micron meter size, material fabrication by deposition, photolithography, and/ or non-mechanical machining test piece. This International Standard specifies the bend testing and test piece shape for micro-sized smooth cantilever type test pieces, which enables a guarantee of accuracy corresponding to the special features.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 62047-6:2009, *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 6: Axial fatigue testing methods of thin film materials*

3 Symbols and designations

Symbols and corresponding designations are given in Table 1.

Table 1 – Symbols and designation of test piece

Symbol	Unit	Designation
W	μm	Width of test piece
L	μm	Length of test piece
S	μm	Thickness of test piece
L_{PA} L_{PB}, L_{PC}	μm	Distance between loading point, A, B or C, and root of the test piece respectively
P	μN	Force
δ	μm	Displacement
I_z	$(\mu\text{m})^4$	Moment of inertia of area
E	MPa	Elastic modulus of cantilever material

Figure 1 below shows a typical shape of cantilever beam test piece.

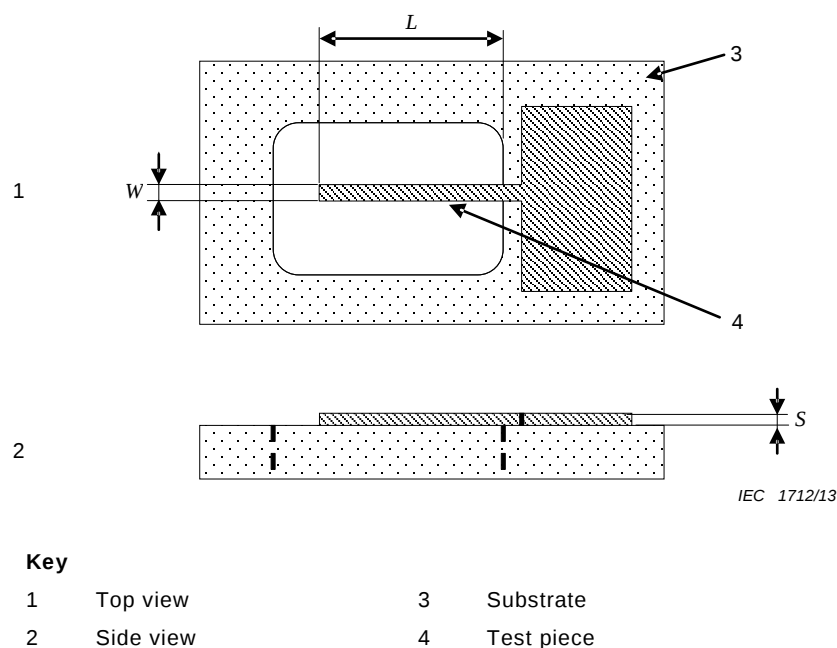


Figure 1 – Schematically shown test piece with substrate

4 Test piece

4.1 Design of test piece

The test pieces are of a shape of cantilever beam as shown in Figure 1 and the shape of their cross-section shall be simple, in order to facilitate calculation of the moment of inertia of area. The shape of the cross-section of the test piece should be simple, for example rectangular or trapezoid. The relation between test piece length (L) of the parallel part of the test piece, the width (W) and thickness (S) should be $10 > L/W > 5$ and $100 > L/S > 10$.

The fixed end of the test piece shall be placed within a substrate as shown in Figure 1. Contact point of the test piece with substrate is important to avoid plastic deformation and/or

fracture at the contact point of test piece root and substrate because of stress concentration (see Annex A). When a different shape of test piece is used which elastic deformation behavior does not follow Equation (1), the different shape of test piece and the equation in place of Equation (1) shall be recorded.

In order to minimize the influence of size, the size of test piece should have the same order as that of the objective device component.

4.2 Preparation of test piece

The test piece should be fabricated using the same process as when the thin film is applied to actual devices, because the mechanical properties depend on the fabrication processes. The test piece also shall be fabricated following the procedures specified in IEC 62047-6:2009, Clause 4.2 Preparation of test piece. The substrate removal process should be carefully chosen to prevent damaging the supporting part of the substrate (see Annex A) and the supporting part of the test piece.

The thin film, which has internal stress distribution along the thickness, cannot be tested due to curling after release from the substrate.

4.3 Test piece width and thickness

The width and thickness of each test piece shall be measured, as the film thickness is not usually uniform over a wafer. Both the width and thickness through the parallel part of the test piece shall be specified within the accuracy range of $\pm 1\%$ and $\pm 5\%$. Each test piece should be measured directly (see IEC 62047-6:2009, 4.3 Test piece thickness).

4.4 Storage prior to testing

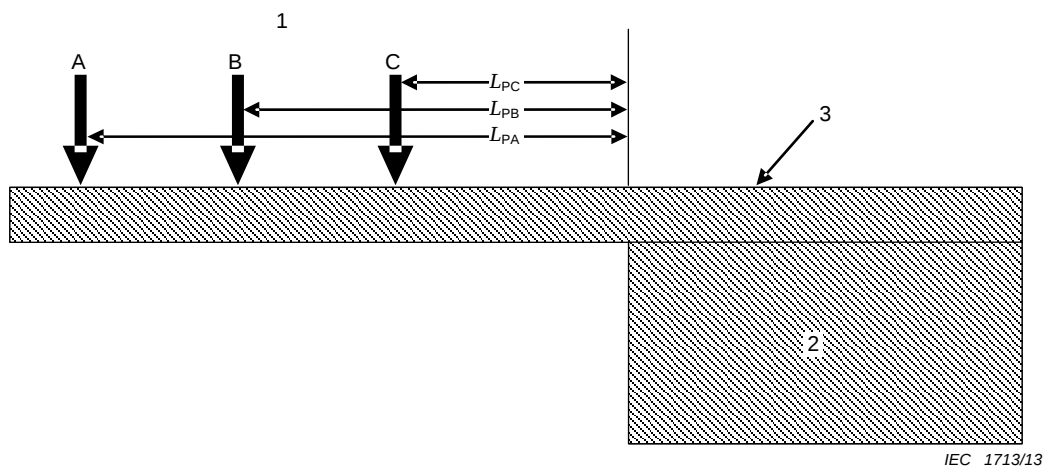
In the case of thin films, storage environment can affect the mechanical properties (see IEC 62047-6:2009, 4.4 Storage prior to testing).

5 Testing method

5.1 General

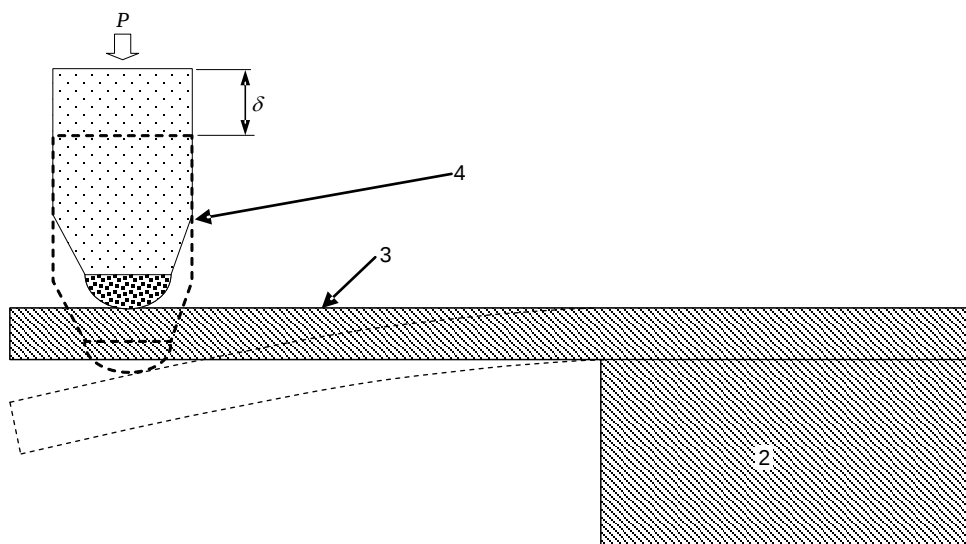
The employed testing machine includes features to facilitate displacement, loading and positioning, and should be equipped with a measurement system of force and displacement.

In case of measurement, loading is made on a point of the cantilever beam test piece as shown in Figure 2a) and 2b) using a sphere-shaped or a knife-edge shaped loading tool, and the positions of loading points (A, B or C) of test pieces as shown in Figure 2a) should be recorded with the relation between force (P) and displacement (δ) of the cantilever beam as shown in Figure 2c). The loading point location through the parallel part of the test piece shall be specified within the accuracy range of $\pm 1\%$ of the length of the test piece. The knife edge tip radius is $5\text{ }\mu\text{m}$ and the straightness shall be within the accuracy of $\pm 1\%$ of the length of the test piece. The angle between the knife-edge length direction and the test piece surface and the longitudinal direction of the test piece are within 2° and 4° respectively. These data shall be measured and recorded.



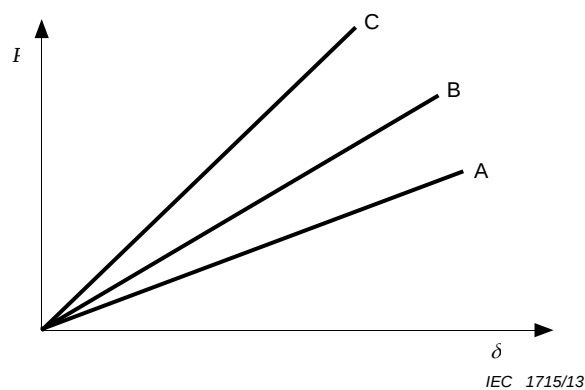
IEC 1713/13

a) Cantilever beam test piece with loading point



IEC 1714/13

b) Cantilever beam test piece with loading tool



IEC 1715/13

c) Relation between force and displacement

Key

- | | | | |
|---|---------------------------|---|--------------------------------|
| 1 | Loading point at A,B or C | 3 | Test piece |
| 2 | Substrate | 4 | Sphere shaped tip loading tool |

Figure 2 – Measurement method

5.2 Method for mounting of test piece

A substrate including test pieces shall be mounted on the testing equipment so that the loading axis and the test piece surface are aligned at a right angle. Fixing of test pieces to substrates and to testing machines shall meet the following requirements:

- a) The test pieces shall be securely fixed to the substrate, and shall not move during testing. The substrate should be firmly fixed on the tool of the test equipment, whose stiffness is higher than that of the substrate.
- b) During testing, the substrate of test piece should be fixed, and the direction of loading axis of the testing machine should be within 5 ° from perpendicular to the substrate surface.

5.3 Method for loading

The contacting portion of the sphere part of the tool to be loaded on test pieces should be in the shape of a sphere as shown in Figure 2b) or a knife-edge. In case that the diameter of the sphere shape is extremely smaller than the thickness (S) and a width (W) of test pieces, the load should be carefully applied to avoid serious local deformation and fracture at the contact point of test piece with the sphere. Deformation of test pieces should be minimized within a range of pure elastic deformation. Movement of loading tool should go straight.

The displacement (δ) of cantilever beam shall be small for minimizing the contact point being off the initial loading point of test piece during bending.

A load cell with a resolution adequate to guarantee 5 % accuracy of the applied force shall be used. The drift of the load cell should be less than 1 % of the full-scale force during testing. (See IEC 62047-6:2009, 5.4 Method of loading.)

5.4 Speed of testing

The displacement speed or loading speed should be constant, and it shall be within the measurement equipment ability.

5.5 Displacement measurement

The resolution of the displacement sensor shall be more precise than 0,5 % of the maximum range of a displacement measurement. If possible, the direct measurement of test piece bending displacement (δ) is recommended because the load cell of low force range has a low stiffness.

5.6 Test environment

Testing temperature and humidity shall be controlled to avoid fluctuations during testing, and a particular attention is required for testing temperature.

5.7 Data analysis

The relation between force (P) and displacement (δ) of cantilever beam can be expressed as Equation (1) within an elastic region. When using a test piece of another shape, the shape shall be measured precisely with record. Data of force (P) and displacement (δ) shall be available to use with record.

$$\delta = \frac{PL_p^2}{3EI_z} \quad (1)$$

The relation between force (P) and displacement (δ) of the cantilever beam depends on the cross-sectional shape of the test piece, which is the moment of inertia of area (I_z), and the distance between the loading point and the root of the test piece. It is recommended that the

test piece shape, the measurement method and the measurement accuracy are recorded. Regarding the force and displacement relationship obtained as schematically shown in Figure 2c), the initiation part of the increasing force is sometimes not linear. This phenomenon is caused by twisted and/or curved shape of the test piece, partially delaminating of the test piece supporting part from the substrate or micro-fracture occurring at the contact point of the test piece with the loading tool. In this case, the results data should be used in the linear region only. When plastic deformation, fracture of supporting part of substrate and/or slip of loading tool on test piece occurs, the force and displacement relationship becomes not linear (see Annex B).

5.8 Material for test pieces

Cantilever beam type test pieces which enable to produce more than 5 pieces on the same substrate at the same time under the same conditions should be selected. The elastic modulus of the materials shall be known for reference of data analysis, and their elastic modulus shall be the same as or less than those of substrate materials in order to avoid stress concentration at the fixed portion (i.e. root of the cantilever beam test piece). Furthermore, higher yield stress is desirable for avoiding plastic deformation at the contact point of the root of the test piece with the substrate.

6 Test report

Test reports shall include at least the following information.

a) Mandatory

- 1) reference to this international standard
- 2) test piece material and elastic modulus for test pieces and substrate in the case of a single crystal: crystallographic orientation
- 3) method and details of test piece fabrication
 - method of thin film deposition
 - fabrication process
 - heat treatment (annealing) conditions
- 4) shape and dimensions of test pieces; especially
 - the moment of inertia of area (I_z)
- 5) bending test conditions
 - type of testing machines with resolution and capacity of force sensor and displacement sensor
 - testing environment (temperature and relative humidity)
 - displacement rate or loading rate
- 6) bending test results
 - tested test piece number
 - measurement and calculated value
 - comments in particular (defects, delamination or twist in test piece)

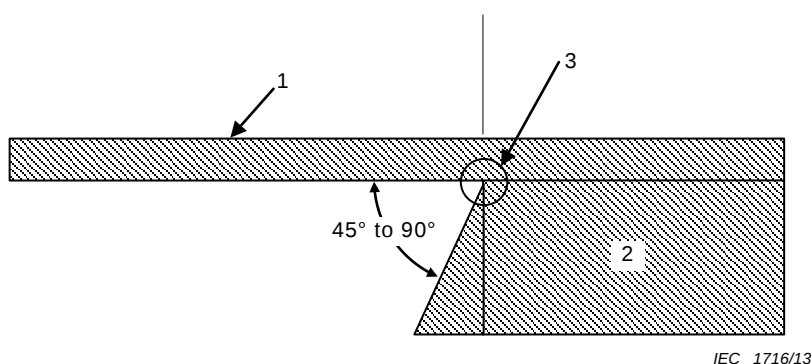
b) Optional

- 1) Microstructure
- 2) Internal stress
- 3) Surface roughness of test piece
- 4) Deformation characteristics

Annex A (informative)

Precautions for the test piece/substrate interface

The contact point of the test piece with the substrate is important to avoid the stress concentration that causes plastic deformation and/or fracture at the test piece and supporting part of the substrate. In order to avoid this phenomenon, the point of contact of the substrate with the test piece should be at an angle of 45° to a maximum of 90° as shown by arrow 3 in Figure A.1, and attention shall be paid to ensure that there is no critical etching damage at the corner.



Key

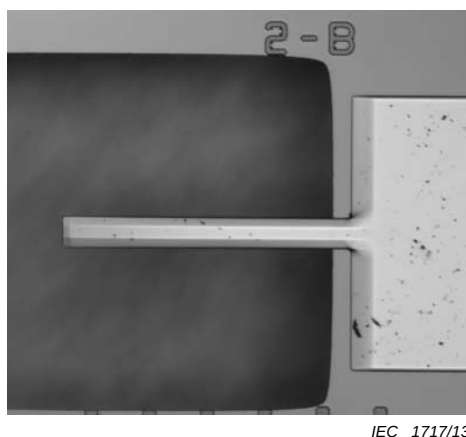
- 1 Test piece
- 2 Substrate
- 3 Stress concentrate part

Figure A.1 – Finishing angle of substrate contact area with test piece

Annex B (informative)

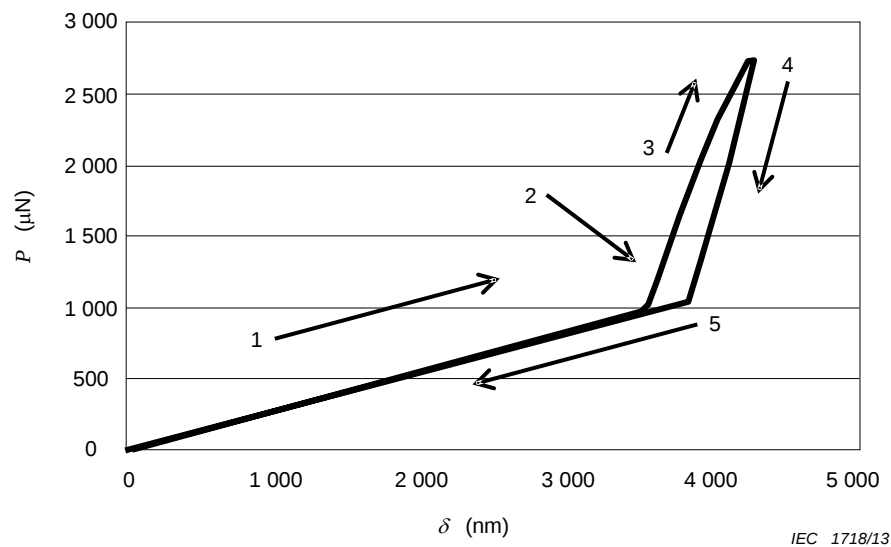
Precautions necessary for the force displacement relationship

Figure B.1 shows a cantilever type bend test piece of metallic glass ($\text{Pd}_{78}\text{Cu}_6\text{Si}_{16}$ (atomic percentage)) manufactured and tested in accordance with this standard. The dimension of this test piece is 500 μm of length and 50 μm of width.

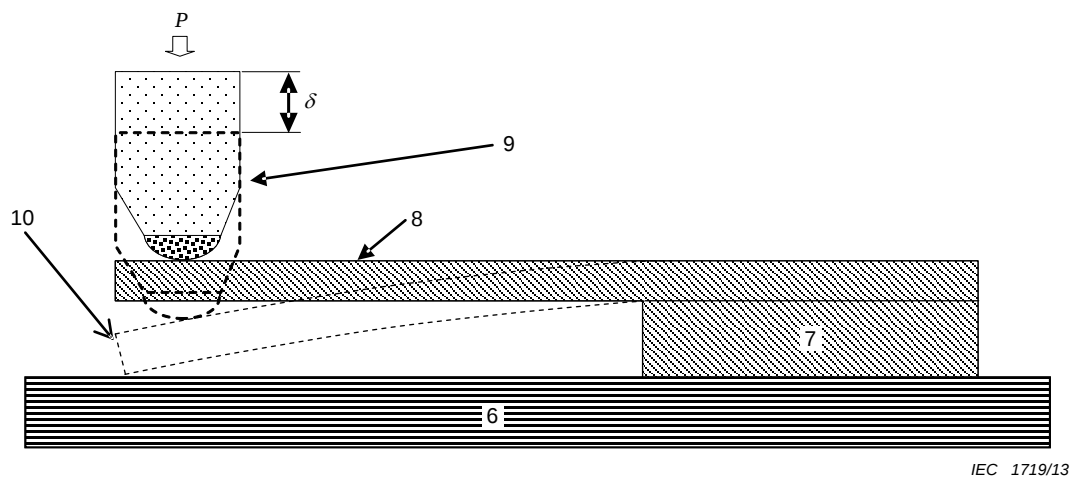


**Figure B.1 – Cantilever type bend test piece of metallic glass
in accordance with IEC 62047-18**

The test piece behaviour during the test following this standard is shown in Figure B.2. Displacement relationship is a straight line as shown in Figure B.2a) by arrow 1, where the test piece is deformed elastically. When the tip of the test piece touches to the substrate during loading (Figure B.2a) by arrow 2 and Figure B.2b) by arrow 10), force and displacement relation changes as shown in Figure B.2a) by arrow 3. When the test piece deforms plastically or the contacting point of test piece or the tip of the loading tool fractures, unloading curve does not fit with the loading curve as shown in Figure B.2a) by arrow 3, 4 and 5.



a) Force displacement relationship of the test piece shown in Figure B.1 tested following this standard



b) Schematic behavior of test piece during test

Key

- 1 linear part of loading
- 2 turning point at which the tip of the test piece touches the substrate thereby constraining the bending of the test piece, as shown by arrow 10 in Figure B.2.b)
- 3 nonlinear part of loading
- 4 nonlinear part of unloading
- 5 linear part of unloading
- 6 substrate
- 7 substrate for supporting the test piece
- 8 test piece
- 9 loading tool
- 10 touch to substrate during loading

Figure B.2 – Typical example of relationship between force and displacement

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	15
1 Domaine d'application	17
2 Références normatives	17
3 Symboles et désignations	18
4 Epreuve d'essai	18
4.1 Conception de l'épreuve d'essai	18
4.2 Préparation des épreuves d'essai	19
4.3 Largeur et épaisseur des épreuves d'essai	19
4.4 Stockage avant essais	19
5 Méthode d'essai	19
5.1 Généralités	19
5.2 Méthode de montage de l'épreuve d'essai	21
5.3 Méthode de charge	21
5.4 Vitesse des essais	21
5.5 Mesure de déplacement	21
5.6 Environnement d'essai	21
5.7 Analyse des données	21
5.8 Matériau pour les épreuves d'essai	22
6 Rapport d'essai	22
Annexe A (informative) Précautions pour l'interface entre épreuve d'essai et substrat	24
Annexe B (informative) Précautions nécessaires pour la relation entre la force et le déplacement	25
Figure 1 – Représentation schématique de l'épreuve d'essai avec substrat	18
Figure 2 – Méthode de mesure	20
Figure A.1 – Angle de finition de la zone de contact entre le substrat et l'épreuve d'essai	24
Figure B.1 – Épreuve d'essai de flexion de type en porte-à-faux faite de verre métallique, conformément à la CEI 62047-18	25
Figure B.2 – Exemple typique de relation entre force et déplacement	26
Tableau 1 – Symboles et désignation d'épreuve d'essai	18

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS –
DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

Partie 18: Méthodes d'essai de flexion des matériaux en couche mince

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI 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, la CEI – 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 la CEI"). 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 la CEI, participent également aux travaux. La CEI 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 la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI 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 la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI 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 la CEI. La CEI 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 la CEI, 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 la CEI, 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 la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, 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 la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI 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 Norme internationale CEI 62047-18 a été établie par le sous-comité 47F: Systèmes microélectromécaniques, du comité d'études 47 de la CEI: Dispositifs à semiconducteurs.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
47F/155/FDIS	47F/162/RVD

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

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

Une liste de toutes les parties de la série CEI 62047, publiées sous le titre général *Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

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 la CEI 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.

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

Partie 18: Méthodes d'essai de flexion des matériaux en couche mince

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62047 spécifie la méthode d'essai de flexion des matériaux en couche mince de longueur et largeur inférieures à 1 mm et d'épaisseur comprise entre 0,1 μm et 10 μm . Les couches minces sont les principales structures utilisées pour les matériaux des systèmes microélectromécaniques (dont l'abréviation utilisée dans le présent document est MEMS, *Micro-Electromechanical Systems*) et des micromachines.

Les structures des matériaux principaux pour les systèmes microélectromécaniques, les micromachines, etc., présentent des caractéristiques spéciales telles que des dimensions de l'ordre de quelques microns, la fabrication des matériaux par dépôt, la photolithographie et/ou les éprouvettes d'essai par usinage non mécanique. La présente Norme Internationale spécifie les essais de flexion et la forme des éprouvettes d'essai pour des éprouvettes d'essai de type en porte-à-faux lisses microminiaturisés, qui garantissent une précision correspondant aux caractéristiques spéciales.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 62047-6:2009, *Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques – Partie 6: Méthodes d'essais de fatigue axiale des matériaux en couche mince*

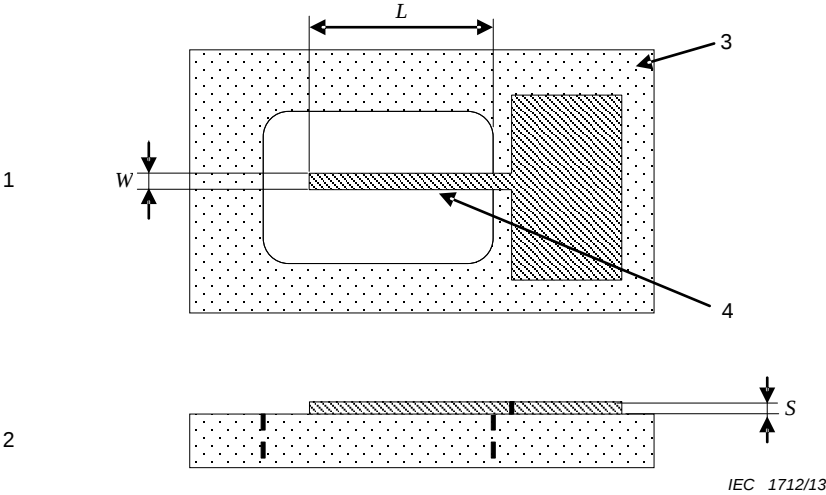
3 Symboles et désignations

Les symboles et les désignations correspondantes sont indiqués dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Symboles et désignation d'éprouvette d'essai

Symbole	Unité	Désignation
W	μm	Largeur de l'éprouvette d'essai
L	μm	Longueur de l'éprouvette d'essai
S	μm	Epaisseur de l'éprouvette d'essai
L_{PA} L_{PB}, L_{PC}	μm	Distance entre le point de charge, A, B, ou C, et la racine de l'échantillon, respectivement
P	μN	Force
δ	μm	Déplacement
I_z	$(\mu\text{m})^4$	Moment d'inertie de la zone
E	MPa	Module d'élasticité du matériau de la poutre en porte-à-faux

La Figure 1 ci-dessous représente une forme typique d'une éprouvette d'essai de poutre en porte-à-faux.



- Légende
- | | | | |
|---|---------------|---|--------------------|
| 1 | Vue de dessus | 3 | Substrat |
| 2 | Vue de profil | 4 | Éprouvette d'essai |

Figure 1 – Représentation schématique de l'éprouvette d'essai avec substrat

4 Eprouvette d'essai

4.1 Conception de l'éprouvette d'essai

Les éprouvettes d'essai ont la forme d'une poutre en porte-à-faux, représentée sur la Figure 1 et la forme de leur section transversale doit être simple pour calculer facilement le moment d'inertie de la zone. Il convient que la forme de la section transversale de l'éprouvette d'essai soit simple, par exemple rectangulaire ou trapézoïdale. Il convient que la relation entre la longueur de l'éprouvette d'essai (L) de la partie parallèle de l'éprouvette d'essai, la largeur (W) et l'épaisseur (S) soit $10 > L/W > 5$ et $100 > L/S > 10$.

L'extrémité fixe de l'éprouvette d'essai doit être placée dans un substrat comme représenté sur la Figure 1. Le point de contact entre l'éprouvette d'essai et le substrat est important pour éviter une déformation plastique et/ou une rupture au niveau du point de contact de la racine de l'éprouvette d'essai et de la partie de soutien du substrat en raison de la concentration des contraintes (voir Annexe A). Lorsqu'une forme différente de l'éprouvette d'essai est utilisée, dont le comportement à la déformation élastique ne suit pas l'Équation (1), la forme différente de l'éprouvette d'essai et l'équation à la place de l'Équation (1) doivent être enregistrées.

Afin de minimiser l'influence de la taille, il convient que la taille des éprouvettes d'essai soit du même ordre que celle du composant objectif du dispositif.

4.2 Préparation des éprouvettes d'essai

Il convient de fabriquer les éprouvettes d'essai en utilisant un processus identique à celui de l'application de la couche mince pour les dispositifs réels, parce que les propriétés mécaniques dépendent des processus de fabrication. Les éprouvettes d'essai doivent également être fabriqués en suivant les procédures spécifiées dans la CEI 62047-6:2009, Article 4.2 Préparation de l'éprouvette d'essai. Il convient de choisir avec soin le processus de retrait du substrat pour prévenir l'endommagement de la partie de support du substrat (voir Annexe A) et de la partie de support des éprouvettes d'essai.

La couche mince, qui comporte une distribution de contrainte interne le long de son épaisseur, ne peut pas être manipulée en raison d'ondulations après libération du substrat.

4.3 Largeur et épaisseur des éprouvettes d'essai

La largeur et l'épaisseur de chaque éprouvette d'essai doivent être mesurées car l'épaisseur de la couche sur une plaquette n'est généralement pas uniforme. La largeur et l'épaisseur dans la partie parallèle de l'éprouvette d'essai doivent être spécifiées dans la gamme de précision de $\pm 1\%$ et $\pm 5\%$. Il convient de mesurer directement chaque éprouvette d'essai (voir CEI 62047-6:2009, 4.3 Épaisseur de l'éprouvette d'essai).

4.4 Stockage avant essais

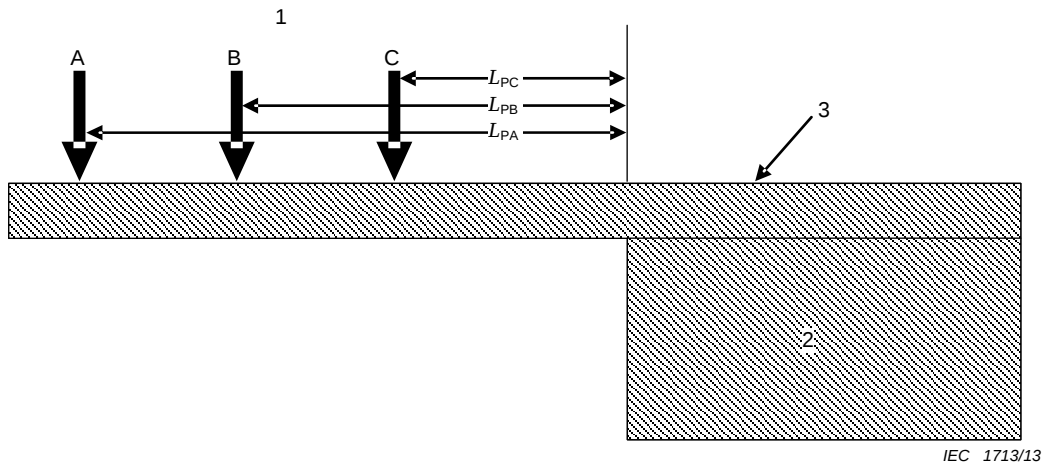
Dans le cas de couches minces, l'environnement de stockage peut affecter les propriétés mécaniques (voir CEI 62047-6:2009, 4.4 Stockage avant essais).

5 Méthode d'essai

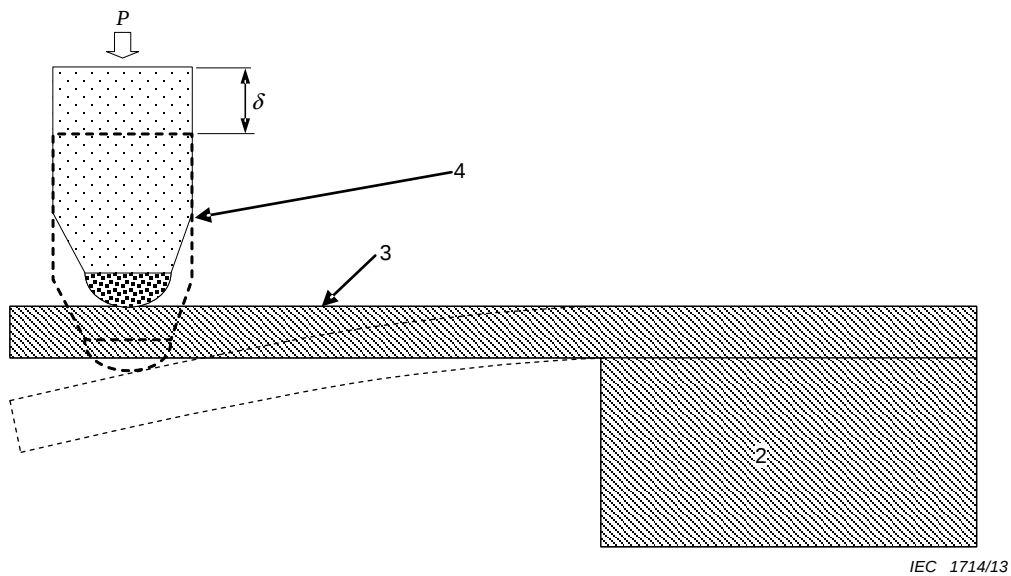
5.1 Généralités

La machine d'essai utilisée est dotée de fonctionnalités facilitant le déplacement, la charge et le positionnement et il convient qu'elle soit équipée d'un système de mesure de la force et du déplacement.

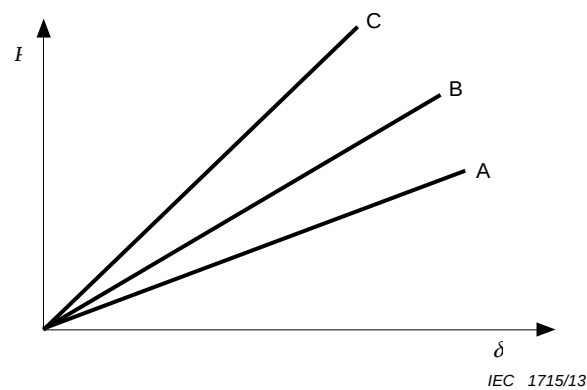
Dans le cas d'une mesure, la charge est appliquée sur un point de l'éprouvette d'essai de poutre en porte-à-faux, comme représenté sur les Figures 2a) et 2b) à l'aide d'un outil de charge en forme de sphère ou à extrémité sphérique ou amincie, et il convient d'enregistrer les positions des points de charge (A, B ou C) des éprouvettes d'essai comme représenté sur la Figure 2a) avec la relation entre la force (P) et le déplacement (δ) de la poutre en porte-à-faux comme représenté sur la Figure 2c). L'emplacement du point de charge dans la partie parallèle de l'éprouvette d'essai doit être spécifié dans la gamme de précision de $\pm 1\%$ de la longueur de l'éprouvette d'essai. Le rayon de l'extrémité amincie est de $5\ \mu\text{m}$ et la précision de la rectitude doit être $\pm 1\%$ de la longueur de l'éprouvette d'essai. L'angle entre la direction de la longueur de l'extrémité amincie et la surface de l'éprouvette d'essai et la direction longitudinale de l'éprouvette d'essai sont respectivement 2° et 4° . Ces données doivent être mesurées et enregistrées.



a) Épreuve d'essai de poutre en porte-à-faux avec point de charge



b) Épreuve d'essai de poutre en porte-à-faux avec outil d'application de charge



c) Relation entre force et déplacement

Légende

- 1 Point de charge en A, B ou C
2 Substrat

- 3 Épreuve d'essai
4 Outil d'application de charge à extrémité sphérique

Figure 2 – Méthode de mesure

5.2 Méthode de montage de l'éprouvette d'essai

Un substrat incluant des éprouvettes d'essai doit être monté sur l'équipement d'essai de sorte que l'axe de charge et la surface de l'éprouvette d'essai forment un angle droit. La fixation des éprouvettes d'essai sur les substrats et sur les machines d'essai doit satisfaire aux exigences suivantes:

- a) Les éprouvettes d'essai doivent être fermement attachées au substrat et ne doivent pas bouger pendant les essais. Il convient d'attacher fermement le substrat sur l'outil de l'équipement d'essai présentant une rigidité plus élevée que celle du substrat.
- b) Pendant les essais, il convient d'attacher le substrat de l'éprouvette d'essai et il convient que la direction de l'axe de charge de la machine d'essai ne s'écarte pas de plus de 5 ° par rapport à la perpendiculaire à la surface du substrat.

5.3 Méthode de charge

Il convient que la région de contact de la partie sphérique de l'outil à charger sur des éprouvettes d'essai soit en forme de sphère comme représenté sur la Figure 2b) ou une extrémité amincie. Si le diamètre de la sphère est largement plus petit que l'épaisseur (S) et la largeur (W) des éprouvettes d'essai, il convient d'appliquer avec soin la charge pour éviter de graves déformations locales et des ruptures au niveau du point de contact de l'éprouvette d'essai avec la sphère. Il convient de minimiser les déformations des éprouvettes d'essai pour qu'elles restent dans une gamme de déformations élastiques pures. Il convient que le mouvement de l'outil d'application de charge soit direct.

Le déplacement (δ) de la poutre en porte-à-faux doit être petit pour que le point de contact ne s'écarte pas trop du point de charge initial de l'éprouvette d'essai pendant une flexion.

Une cellule de charge avec une résolution appropriée pour garantir une précision de 5 % de la force appliquée doit être utilisée. Il convient que la dérive de la cellule de charge soit inférieure à 1 % de la force pleine échelle au cours de l'essai. (Voir la CEI 62047-6:2009, 5.4 Méthode de charge.)

5.4 Vitesse des essais

Il convient que la vitesse de déplacement ou la vitesse de charge soient constantes et elles doivent pouvoir être mesurées par l'équipement de mesure.

5.5 Mesure de déplacement

La précision de la résolution du capteur de déplacement doit être meilleure que 0,5 % de la gamme maximale d'une mesure de déplacement. Si possible, il est recommandé de mesurer directement le déplacement en flexion de l'éprouvette d'essai (δ) parce que la cellule de charge de gamme de force faible a une faible rigidité.

5.6 Environnement d'essai

L'humidité et la température d'essai doivent être contrôlées pour éviter les fluctuations pendant les essais; la température d'essai devant faire l'objet d'une attention particulière.

5.7 Analyse des données

La relation entre la force (P) et le déplacement (δ) de la poutre en porte-à-faux peut être exprimée par l'Équation (1) dans une zone élastique. Lors de l'utilisation d'une éprouvette d'essai d'une autre forme, la forme doit être exactement mesurée avec disque. Les données de la force (P) et du déplacement (δ) doivent être disponibles pour l'utilisation avec enregistrement.

$$\delta = \frac{PL_p^2}{3EI_z} \quad (1)$$

La relation entre la force (P) et le déplacement (δ) de la poutre en porte-à-faux dépend de la forme de la section transversale de l'éprouvette d'essai, qui est le moment d'inertie de la zone (I_z), et de la distance entre le point de charge et la racine de l'éprouvette d'essai. Il est recommandé d'enregistrer la forme de l'éprouvette d'essai, la méthode de mesure et la précision de la mesure. Concernant la relation entre la force et le déplacement obtenue comme cela est représenté schématiquement sur la Figure 2c), l'augmentation initiale de la force n'est pas toujours linéaire. Ce phénomène est causé par la forme torsadée et/ou courbée de l'éprouvette d'essai, entraînant un décollement partiel entre la partie de support de l'éprouvette d'essai et le substrat ou une micro-rupture au niveau du point de contact entre l'éprouvette d'essai et l'outil d'application de charge. Dans ce cas, il convient d'utiliser les données des résultats uniquement dans la région linéaire. En cas de déformation plastique, de rupture de la partie de support du substrat et/ou de glissement de l'outil d'application de charge sur l'éprouvette d'essai, la relation entre la force et le déplacement devient non linéaire (voir Annexe B).

5.8 Matériau pour les éprouvettes d'essai

Il convient de choisir des éprouvettes d'essai de type de poutre en porte-à-faux qui permettent de produire plus de cinq poutres en porte-à-faux sur le même substrat au même moment et dans les mêmes conditions. Le module élastique des matériaux doit être celui connu comme référence de l'analyse des données, et les modules élastiques doivent être inférieurs ou égaux à ceux des matériaux du substrat pour éviter la concentration de contraintes au niveau de la partie fixe (c'est-à-dire la racine de l'éprouvette d'essai de poutre en porte-à-faux). En outre, une limite d'élasticité plus grande est souhaitable pour éviter une déformation plastique au niveau du point de contact entre la racine de l'éprouvette d'essai et le substrat.

6 Rapport d'essai

Les rapports d'essai doivent au moins comporter les éléments suivants.

a) Obligatoire

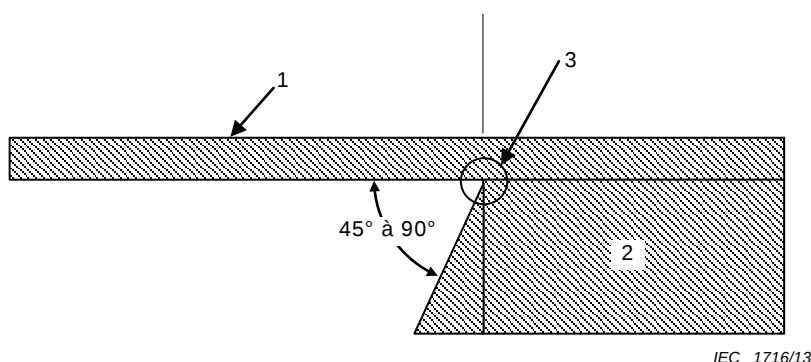
- 1) la référence à la présente Norme internationale
- 2) les matériaux de l'éprouvette d'essai et le module élastique pour les éprouvettes d'essai et le substrat dans le cas d'un monocristal: orientation cristallographique
- 3) méthode et détails de fabrication d'éprouvette d'essais
 - méthode de dépôt de couches minces
 - processus de fabrication
 - conditions de traitement thermique (recuit)
- 4) forme et dimensions des éprouvettes d'essai; en particulier
 - le moment d'inertie de la zone (I_z)
- 5) les conditions d'essai de flexion
 - type des machines d'essai avec la résolution et la capacité du capteur de force et du capteur de déplacement utilisés
 - environnement d'essai (température et humidité relative)
 - taux de déplacement ou taux de charge
- 6) les résultats d'essai de flexion
 - numéro de l'éprouvette d'essai testé
 - mesure et valeur calculée

- commentaires, en particulier (défauts, décollement interlaminaire, ou torsion dans une éprouvette d'essai)
- b) En option
- 1) Microstructure
 - 2) contrainte interne
 - 3) rugosité de surface de l'éprouvette d'essai
 - 4) caractéristiques de déformation

Annexe A (informative)

Précautions pour l'interface entre éprouvette d'essai et substrat

Le point de contact entre l'éprouvette d'essai et le substrat est important pour éviter la concentration des contraintes qui cause une déformation plastique et/ou une rupture au niveau de l'éprouvette d'essai et de la partie de soutien du substrat. Afin d'éviter ce phénomène, il convient que le point de contact du substrat avec l'éprouvette d'essai soit à un angle compris entre 45° et 90° , comme indiqué par la flèche 3 de la Figure A.1, et l'attention doit être accordée pour s'assurer qu'il n'y a aucun dommage de gravure critique.



Légende

- 1 Éprouvette d'essai
- 2 Substrat
- 3 Région de concentration de contrainte

**Figure A.1 – Angle de finition de la zone de contact
entre le substrat et l'éprouvette d'essai**

Annexe B (informative)

Précautions nécessaires pour la relation entre la force et le déplacement

La Figure B.1 représente une éprouvette d'essai de flexion de type en porte-à-faux fait de verre métallique ($\text{Pd}_{78}\text{Cu}_6\text{Si}_{16}$ (pourcentage atomique)), fabriqué et soumis aux essais conformément à la présente norme. Cette éprouvette d'essai a pour dimension 500 μm en longueur et 50 μm en largeur.

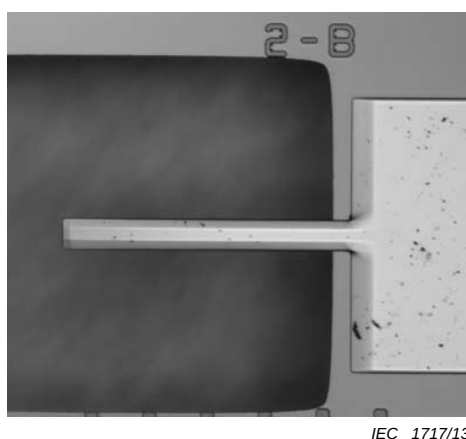
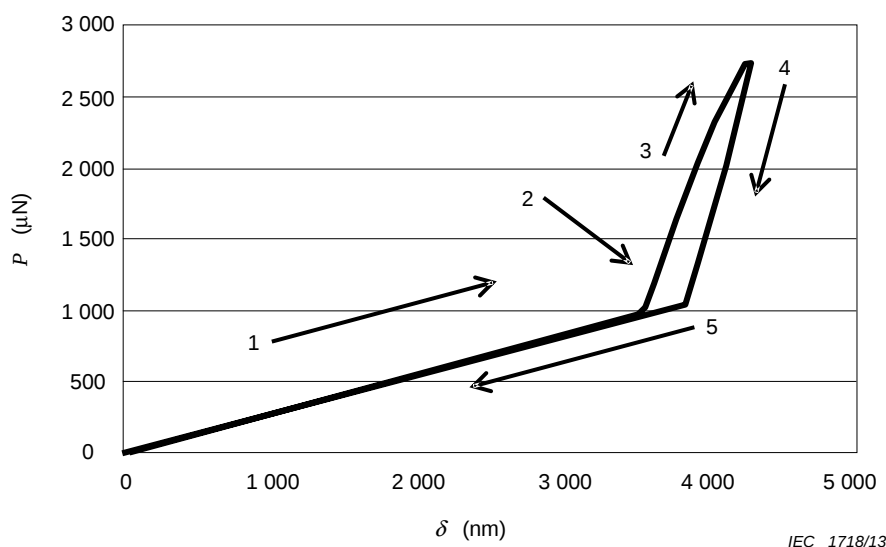
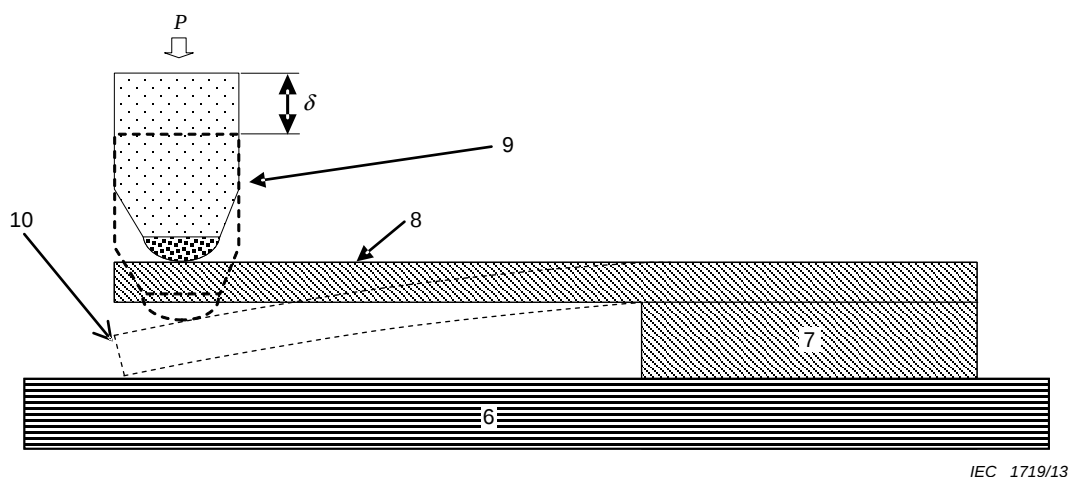


Figure B.1 – Éprouvette d'essai de flexion de type en porte-à-faux faite de verre métallique, conformément à la CEI 62047-18

Le comportement schématique de l'éprouvette d'essai pendant l'essai conforme à la présente norme est représenté sur la Figure B.2. La relation de déplacement est une ligne droite, comme représentée par la flèche 1 de la Figure B.2.a), lorsque l'éprouvette d'essai est déformée de manière élastique. Lorsque l'extrémité de l'éprouvette d'essai touche le substrat pendant la charge, flèche 2 de la Figure B.2.a) et flèche 10) de la Figure B.2.b), la relation entre la force et le déplacement suit une courbe différente, représentée par la flèche 3 de la Figure B.2.a). Lorsque l'éprouvette subit une déformation plastique ou bien le point de contact de l'éprouvette ou l'extrémité des ruptures de l'outil de charge, la courbe de décharge ne correspond pas à la courbe de charge comme indiqué par les flèches 3, 4 et 5 de la Figure B.2.a).



a) Relation entre force et déplacement de l'éprouvette d'essai représentée sur la Figure B.1, soumise à un essai conforme à la présente norme



b) Comportement schématique de l'éprouvette d'essai pendant l'essai

Légende

- 1 partie linéaire de la charge
- 2 point de courbure auquel l'extrémité de l'éprouvette d'essai est en contact avec le substrat, ce qui freine la flexion de l'éprouvette d'essai, comme indiqué par la flèche 10 sur la Figure B.2.b)
- 3 partie non linéaire de la charge
- 4 partie non linéaire de la décharge
- 5 partie linéaire de la décharge
- 6 substrat
- 7 substrat pour soutenir l'éprouvette d'essai
- 8 éprouvette d'essai
- 9 outil d'application de charge
- 10 contact avec le substrat pendant la charge

Figure B.2 – Exemple typique de relation entre force et déplacement

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