

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices –
Part 25: Silicon based MEMS fabrication technology – Measurement method of
pull-press and shearing strength of micro bonding area**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques –
Partie 25: Technologie de fabrication de MEMS à base de silicium – Méthode de
mesure de la résistance à la traction-compression et au cisaillement d'une
micro zone de brasure**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2016 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 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

65 000 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 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

65 000 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.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices –
Part 25: Silicon based MEMS fabrication technology – Measurement method of
pull-press and shearing strength of micro bonding area**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques –
Partie 25: Technologie de fabrication de MEMS à base de silicium – Méthode de
mesure de la résistance à la traction-compression et au cisaillement d'une
micro zone de brasure**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.080.99

ISBN 978-2-8322-3609-3

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.....	4
1 Scope.....	6
2 Normative references.....	6
3 Terms and definitions	6
4 Requirements	7
4.1 Testing structure design requirements	7
4.2 Testing structure fabrication requirements	9
4.3 Testing environment requirements	9
5 Testing method.....	9
5.1 General.....	9
5.2 Pull-press testing method	9
5.2.1 Imposing the loading force	9
5.2.2 Pull-press testing method operation process	9
5.2.3 Pull-press testing method result process.....	10
5.3 Shearing testing method.....	10
5.3.1 Shearing testing method operation process	10
5.3.2 Shearing testing method result process	12
Annex A (informative) Dimensions for testing structure and tensile/compressive strength.....	13
A.1 Dimensions for testing structure	13
A.2 Tensile strength and compressive strength	13
Annex B (informative) Pull-press testing method example	21
B.1 Dimensions for testing structure	21
B.2 Tensile strength and compressive strength	21
Figure 1 – Pull-press testing structure	7
Figure 2 – Shearing testing structure.....	8
Figure 3 – Pull-press testing method operation process	10
Figure 4 – Shearing testing method operation process.....	11
Table 1 – Dimensions for shearing testing structure.....	12
Table A.1 – Dimensions for testing structure.....	13
Table A.2 – Tensile strength and compressive strength (bonding area: 10 µm × 10 µm).....	13
Table A.3 – Tensile strength and compressive strength (bonding area: 20 µm × 20 µm).....	14
Table A.4 – Tensile strength and compressive strength (bonding area: 30 µm × 30 µm).....	14
Table A.5 – Tensile strength and compressive strength (bonding area: 40 µm × 40 µm).....	15
Table A.6 – Tensile strength and compressive strength (bonding area: 50 µm × 50 µm).....	15
Table A.7 – Tensile strength and compressive strength (bonding area: 60 µm × 60 µm).....	15
Table A.8 – Tensile strength and compressive strength (bonding area: 70 µm × 70 µm).....	16
Table A.9 – Tensile strength and compressive strength (bonding area: 80 µm × 80 µm).....	16
Table A.10 – Tensile strength and compressive strength (bonding area: 90 µm × 90 µm).....	17
Table A.11 – Tensile strength and compressive strength (bonding area: 100 µm × 100 µm).....	17

Table A.12 – Tensile strength and compressive strength (bonding area: 110 μm $\times$ 110 μm).....	18
Table A.13 – Tensile strength and compressive strength (bonding area: 120 μm $\times$ 120 μm).....	18
Table A.14 – Tensile strength and compressive strength (bonding area: 130 μm $\times$ 130 μm).....	19
Table A.15 – Tensile strength and compressive strength (bonding area: 140 μm $\times$ 140 μm).....	19
Table A.16 – Tensile strength and compressive strength (bonding area: 150 μm $\times$ 150 μm).....	20
Table B.1 – Dimensions for testing structure.....	21
Table B.2 – Tensile strength and compressive strength (bonding area: 110 μm $\times$ 110 μm).....	21

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SEMICONDUCTOR DEVICES – MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –

Part 25: Silicon based MEMS fabrication technology – Measurement method of pull-press and shearing strength of micro bonding area

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 62047-25 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/249/FDIS	47F/252/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.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website 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 25: Silicon based MEMS fabrication technology – Measurement method of pull-press and shearing strength of micro bonding area

1 Scope

This part of IEC 62047 specifies the in-situ testing method to measure the bonding strength of micro bonding area which is fabricated by micromachining technologies used in silicon-based micro-electromechanical system (MEMS).

This document is applicable to the in-situ pull-press and shearing strength measurement of the micro bonding area fabricated by microelectronic technology process and other micromachining technology.

Micro anchor, fixed on the substrate through the micro bonding area, provides mechanical support of the movable sensing/actuating functional components in MEMS devices. With the devices scaling, the bonding strength degradation, induced by defects, contaminations and thermal mismatch stress on bonding surface, becomes severer. This standard specifies an in-situ testing method of the pull-press and shearing strength based on a patterned technique. This document does not need intricate instruments (such as scanning probe microscopy and nanoindenter) and to prepare the test specimen specially.

Since the testing structure in this standard can be implanted in device fabrication as a standard detection pattern, this document can provide a bridge, by which the fabrication foundry can give some quantitative reference for the designer.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 62047-1, *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 1: Terms and definitions*

ISO 10012, *Measurement management systems – Requirements for measurement processes and measuring equipment*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 62047-1 and ISO 10012 and the following apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

3.1

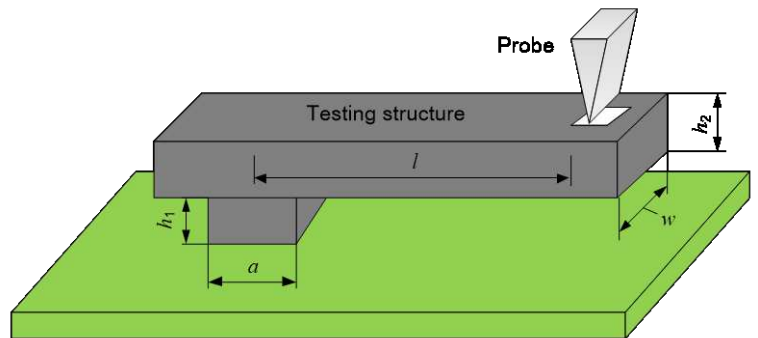
anchor

silicon-glass bonding area which supports the MEMS function structure

4 Requirements

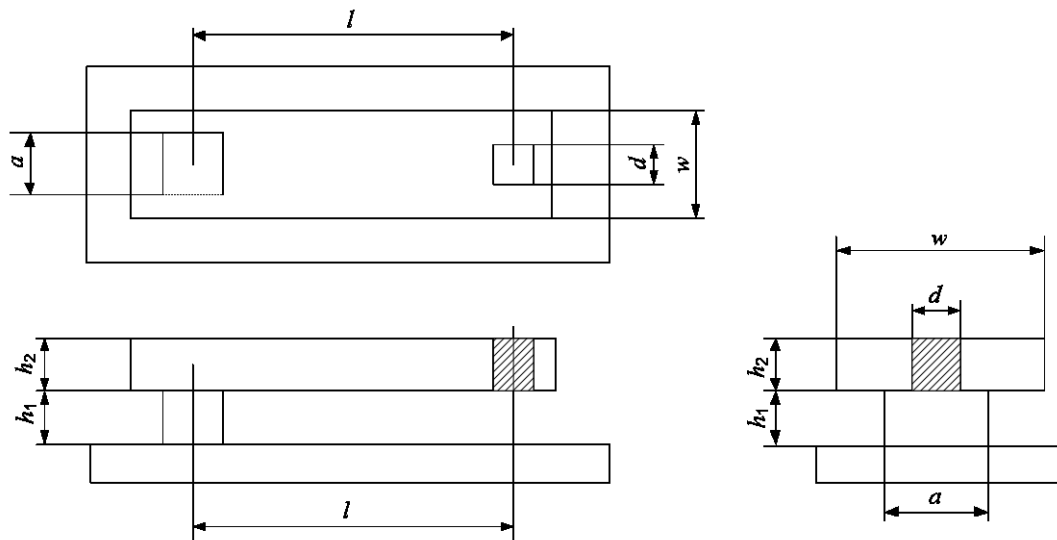
4.1 Testing structure design requirements

The schemes of testing structures are shown in Figure 1 and Figure 2.



IEC

a) The scheme of the pull-press testing structure



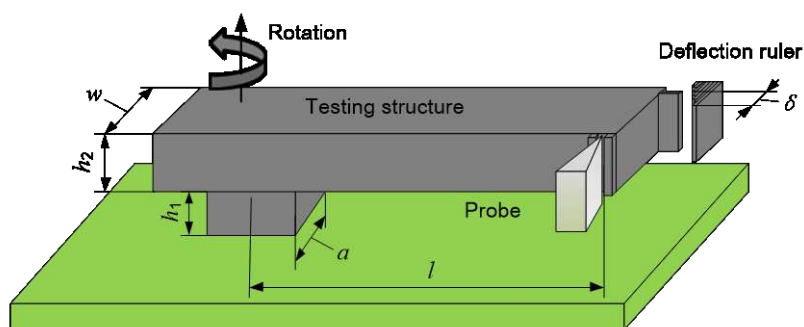
IEC

b) The three-view drawing of the pull-press testing structure

Key

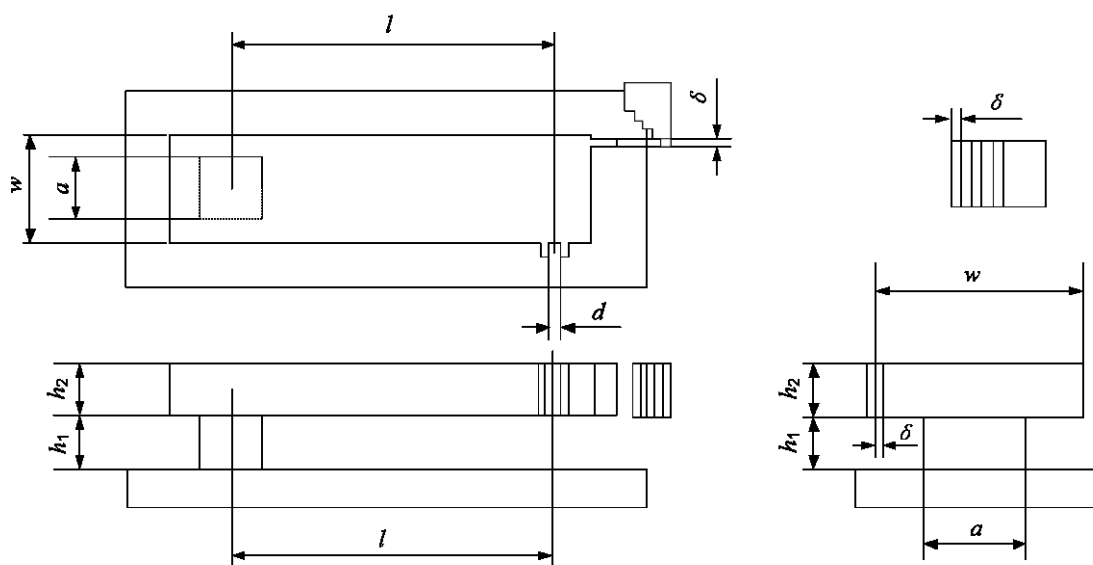
h_2	thickness of the testing structure arm
h_1	height of the anchor beam in the bonding area
a	side length of the bonding area
l	length of the testing structure arm, this parameter should be designed with sequential values
w	width of the testing structure arm
d	dimension of the loading point

Figure 1 – Pull-press testing structure



IEC

a) The scheme of the shearing testing structure



IEC

b) The three-view drawing of the shearing testing structure

Key

h_2	thickness of the testing structure arm
h_1	height of the anchor beam in the bonding area
a	side length of the bonding area
l	length of the testing structure arm
w	width of the testing structure arm
d	dimension of the loading point
δ	resolution of the rotation ruler

Figure 2 – Shearing testing structure

The design of the testing structure should be as follows:

- To prevent the testing structure arm from breaking earlier than the bonding area, the strength of the arm should be designed high enough. For instance, if the arm thickness is limited by design rule, a wider arm design is recommended.
- The arm length of pull-press strength testing structure should be designed with sequential values. The common difference, the length interval, should satisfy the requirement of the testing resolution. The consumed area by the testing structure should be also taken into consideration.

- c) The design of the ruler within the shearing strength testing structure should satisfy the resolution requirement. The ruler should be clearly monitored by the optical microscopy.
- d) The testing structure should be designed to be robust enough to withstand the dimension deviation induced by fabrication process. The roughness of the structure surface caused by the wet or dry etching process, isotropic or anisotropic etching process should be also taken in consideration in design work.

4.2 Testing structure fabrication requirements

Requirements for bulk silicon testing structures with micro bonding area(s) are the following:

- a) The fabrication of testing structures should meet the requirements of bulk silicon processes.
- b) The testing structure material is bulk silicon, so the physical and chemical characteristics should refer to the silicon wafer used in the practical fabrication processes.
- c) It is highly recommended to use RIE process to etch the anchor of the testing structure to ensure the anchor formation.

In case of strength testing of micro bonding area other than silicon based MEMS, similar structures may be prepared by using different materials, and other requirements shall be proposed.

4.3 Testing environment requirements

Testing environment requirements are the following:

- a) A kind of violent air flow is prohibited during the testing operation. The testing bench should be stabilized.
- b) Environmental contaminations caused by the dusts and fragments from the fracture of the testing structure should be taken into consideration in testing operation processes.

5 Testing method

5.1 General

During the testing operation process, the testing structure is placed on the probe station. The deformation or fracture of the structure is monitored by microscopy and the bonding strength can be calculated utilizing the testing structure parameters.

5.2 Pull-press testing method

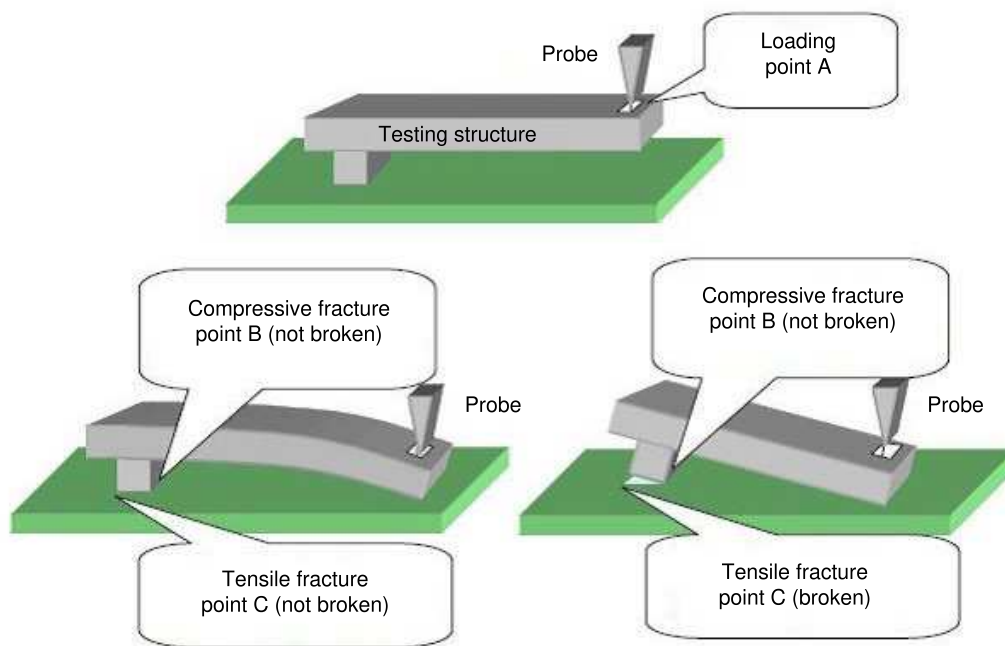
5.2.1 Imposing the loading force

During the testing operation with pull-press testing method, the loading force is imposed vertically at the loading point on the structure arm.

5.2.2 Pull-press testing method operation process

The pull-press testing method operation process is as follows:

- a) During the operation process, the chip with testing structure is fixed on the probe station. The loading force is imposed vertically at the loading point on the structure arm by the station needle (A) until the arm is deformed to contact with the bottom surface and the bonding area (B or C) is monitored by the microscopy, see Figure 3. The bonding strength is defined to be higher than $\sigma_{li,T}$ (or $\sigma_{li,C}$) while the fracture occurs in the structure with arm length of l_{i+1} ($l_i > l_{i+1}$) and does not occur in the structure with arm length of l_i , where $\sigma_{li,T}$ and $\sigma_{li,C}$ are tensile strength and compressive strength respectively, namely the maximum stress value at the bonding area when the corresponding testing structure arm deforms to contact with the bottom surface, acquired by finite element analysis. And subscript T and subscript C represent tensile and compressive stress respectively.



IEC

Figure 3 – Pull-press testing method operation process

- b) The loading should be perpendicular to the bottom surface and the loading process should be slow and stable. The needle and whole testing structure should be present in the field of views under an optical microscopy. When the arm contacts with the bottom surface (or the fracture occurs in the testing structure), the loading process should be stopped and the needle should be raised slowly until it is separated from the testing structure.

5.2.3 Pull-press testing method result process

During the testing structure arm design process, a table, about the maximum compressive and tensile stress value at the bonding area when every testing structure arm in the design deforms to contact with the bottom surface, should be built. After the testing operation, the bonding strength can be referred to the table according to the arm length with which the anchor is broken.

In case that the stress cannot be obtained, the testing structure parameters in Annex A can be used. And the reference stress tables are listed from Table A.2 to Table A.16.

If the arm length is not listed in the reference tables, the relative stress can be interpolated from the table content.

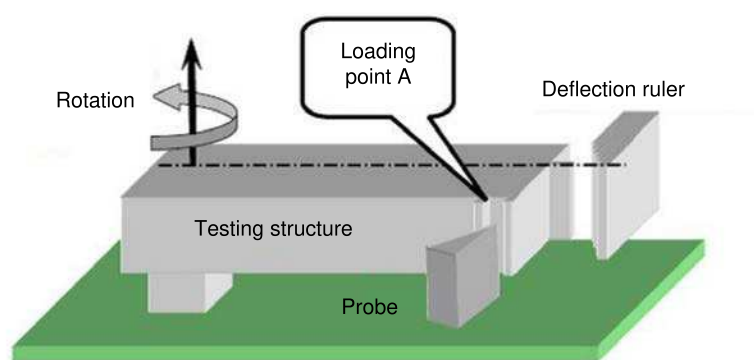
If the fracture occurs in the bulk silicon structure first, the bonding strength can be known as bigger than the bulk silicon strength.

5.3 Shearing testing method

5.3.1 Shearing testing method operation process

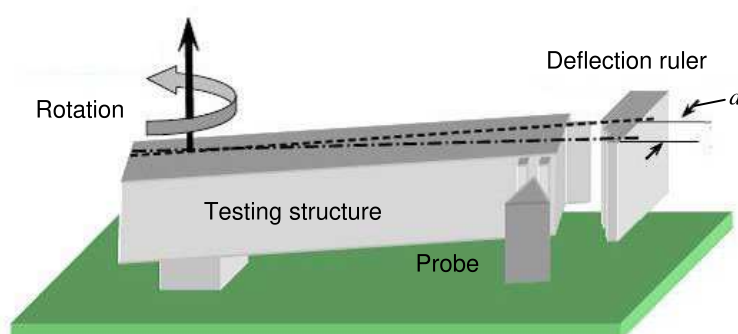
The shearing testing method operation process is as follows:

- a) During the operation process, the chip with testing structure is fixed on the probe station. The loading force is imposed laterally at the loading point on the structure arm by the station needle (A) and the deformation is monitored by the microscopy, see Figure 4. The rotation deflection can be read out from the ruler located at the end of the arm.



IEC

a) Before probe loading



IEC

b) Dimension of the rotation deflection at a monitoring length by the deflection ruler

Figure 4 – Shearing testing method operation process

- b) The loading should be parallel with the bottom surface and the loading process should be slow and stable. The needle and whole testing structure should be present in the field of views under the optical microscopy. When the fracture occurs in the testing structure or at the bonding area, the loading process should be stopped and the needle should be retracted slowly until it is separated with the testing structure.
- c) According to various bonding areas, the recommended testing structure dimensions are calculated in order to get a reasonable resolution and operation needle pressure, as listed in Table 1.

Table 1 – Dimensions for shearing testing structure

$a \times a \text{ (}\mu\text{m}^2\text{)}$	$w \times h_2 \text{ (}\mu\text{m}^2\text{)}$	$l \text{ (}\mu\text{m)}$
13×13	33×80	243
17×17	37×80	241
20×20	40×80	240
25×25	45×80	238
30×30	50×80	240
40×40	100×80	565
50×50	150×80	607
60×60	200×80	596
70×70	250×80	605
80×80	250×80	614
90×90	300×80	1 456
100×100	400×80	1 423
110×110	400×80	1 444
120×120	400×80	1 449

5.3.2 Shearing testing method result process

The shearing stress $\tau_{\max}$ can be calculated as:

$$\tau_{\max} = 0,14 \times \frac{h_2 w^3}{a^3 l^2} d$$

where

h_2 thickness of the testing structure arm

a side length of the bonding area

l length of the testing structure arm

w width of the testing structure arm

d rotation deflection

If the fracture occurs in the bulk silicon structure first, the bonding strength can be known as bigger than the bulk silicon strength.

Annex A (informative)

Dimensions for testing structure and tensile/compressive strength

A.1 Dimensions for testing structure

Ranges of dimensions for testing structure are described as Table A.1.

Table A.1 – Dimensions for testing structure

Dimensions in μm

l	a	h_2	w	h_1	d
300 to 2 000	10 to 150	20 ($a \leq 70$) 70 ($a > 70$)	200	80 ($a \leq 70$) 80 ($a > 70$)	100

A.2 Tensile strength and compressive strength

Tensile strength $\sigma_{L,T}$ and compressive strength $\sigma_{L,C}$ are described in the following tables, from Table A.2 to Table A.16.

Table A.2 – Tensile strength and compressive strength (bonding area: $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$)

l (μm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,C}$ (MPa)
800	1 072,1	-1 135,8
850	1 008,3	-1 067,9
900	951,6	-1 007,6
950	900,7	-953,5
1 000	855,1	-905,0
1 050	813,7	-861,0
1 100	776,0	-821,0
1 150	741,6	-784,4
1 200	710,0	-750,9
1 250	680,9	-720,0
1 300	654,2	-691,7
1 350	629,3	-665,3
1 400	606,2	-640,8

Table A.3 – Tensile strength and compressive strength (bonding area: 20 μm $\times$ 20 μm)

l (μm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,C}$ (MPa)
800	1 883,4	-1 751,9
850	1 699,4	-1 576,6
900	1 541,1	-1 426,5
950	1 403,8	-1 296,7
1 000	1 284,2	-1 184,1
1 050	1 179,4	-1 085,5
1 100	1 086,5	-998,6
1 150	1 004,5	-921,9
1 200	931,5	-853,8
1 250	866,0	-792,8
1 300	807,4	-738,3
1 350	754,4	-689,1
1 400	706,4	-644,7

Table A.4 – Tensile strength and compressive strength (bonding area: 30 μm $\times$ 30 μm)

l (μm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,C}$ (MPa)
800	1 558,3	-1 598,8
850	1 416,3	-1 496,4
900	1 296,4	-1 328,1
950	1 188,5	-1 253,9
1 000	1 096,4	-1 121,7
1 050	1 012,2	-1 066,7
1 100	939,8	-960,5
1 150	874,0	-892,8
1 200	814,9	-832,1
1 250	760,7	-800,3
1 300	712,7	-749,5
1 350	669,1	-703,4
1 400	629,4	-661,5

Table A.5 – Tensile strength and compressive strength (bonding area: 40 μm $\times$ 40 μm)

l (μm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,C}$ (MPa)
500	2 036,2	-2 142,1
550	1 736,4	-1 882,0
600	1 499,2	-1 569,7
650	1 306,9	-1 365,9
700	1 149,8	-1 199,7
750	1 019,3	-1 062,1
800	910,0	-947,1
850	817,4	-849,8
900	738,4	-766,9
950	670,2	-695,5
1 000	611,1	-633,7

Table A.6 – Tensile strength and compressive strength (bonding area: 50 μm $\times$ 50 μm)

l (μm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,C}$ (MPa)
500	1 241,9	-1 294,9
550	1 046,0	-1 087,1
600	893,4	-926,1
650	770,9	-797,9
700	672,6	-694,8
750	592,3	-610,3
800	525,2	-540,4
850	469,0	-481,9
900	421,0	-432,5
950	380,3	-390,2
1 000	345,2	-353,8

Table A.7 – Tensile strength and compressive strength (bonding area: 60 μm $\times$ 60 μm)

l (μm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,C}$ (MPa)
300	1 690,1	-1 813,2
320	1 505,5	-1 608,7
340	1 351,1	-1 438,6
360	1 219,2	-1 294,1
380	1 104,3	-1 168,7
400	1 005,9	-1 061,9
420	920,1	-969,0
440	844,3	-887,2
460	777,9	-815,8
480	719,0	-752,7
500	666,0	-696,0

Table A.8 – Tensile strength and compressive strength (bonding area: 70 μm $\times$ 70 μm)

l (μm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,C}$ (MPa)
300	1 136,0	-1 206,6
320	1 008,2	-1 065,9
340	901,6	-949,4
360	811,3	-851,0
380	733,0	-766,3
400	665,9	-694,1
420	607,9	-631,8
440	556,6	-577,1
460	511,9	-529,4
480	472,3	-487,4
500	436,7	-449,8

Table A.9 – Tensile strength and compressive strength (bonding area: 80 μm $\times$ 80 μm)

l (μm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,C}$ (MPa)
800	2 547,6	-2 633,9
900	2 128,7	-2 189,6
1 000	1 804,8	-1 850,6
1 100	1 547,9	-1 585,4
1 200	1 346,3	-1 374,1
1 300	1 080,1	-1 202,3
1 400	1 043,2	-1 061,2
1 500	929,0	-943,7
1 600	831,5	-844,9
1 700	750,7	-761,0
1 800	680,3	-688,9
1 900	618,5	-626,7
2 000	566,4	-572,6

Table A.10 – Tensile strength and compressive strength (bonding area: 90 μm $\times$ 90 μm)

l (μm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,C}$ (MPa)
800	2 170,8	-2 257,1
900	1 791,2	-1 854,4
1 000	1 503,7	-1 551,3
1 100	1 280,5	-1 317,2
1 200	1 103,7	-1 132,6
1 300	961,1	-984,2
1 400	844,6	-863,4
1 500	748,1	-763,5
1 600	667,3	-680,1
1 700	598,9	-609,7
1 800	540,5	-549,7
1 900	490,3	-498,1
2 000	446,8	-453,5

**Table A.11 – Tensile strength and compressive strength
(bonding area: 100 μm $\times$ 100 μm)**

l (μm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,C}$ (MPa)
800	1 883,4	-1 751,9
850	1 699,4	-1 576,6
900	1 541,1	-1 426,5
950	1 403,8	-1 296,7
1 000	1 284,2	-1 184,1
1 050	1 179,4	-1 085,5
1 100	1 086,5	-998,6
1 150	1 004,5	-921,9
1 200	931,5	-853,8
1 250	866,0	-792,8
1 300	807,4	-738,3
1 350	754,4	-689,1
1 400	706,4	-644,7

**Table A.12 – Tensile strength and compressive strength
(bonding area: 110 μm $\times$ 110 μm)**

l (μm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,c}$ (MPa)
800	1 411,3	-1 413,9
850	1 268,7	-1 267,7
900	1 147,4	-1 143,4
950	1 042,2	-1 036,3
1 000	950,9	-943,6
1 050	871,3	-862,8
1 100	801,0	-791,9
1 150	739,1	-729,5
1 200	684,0	-674,2
1 250	634,9	-624,9
1 300	590,8	-580,8
1 350	551,2	-541,3
1 400	515,5	-505,6

**Table A.13 – Tensile strength and compressive strength
(bonding area: 120 μm $\times$ 120 μm)**

l (μm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,c}$ (MPa)
700	1 355,1	-1 309,5
750	1 199,5	-1 154,3
800	1 069,4	-1 025,5
850	959,3	-917,1
900	865,5	-824,9
950	784,2	-745,8
1 000	714,4	-677,7
1 050	653,3	-618,5
1 100	599,8	-566,7
1 150	552,6	-521,2
1 200	510,7	-480,9
1 250	473,4	-445,2
1 300	439,9	-413,1

**Table A.14 – Tensile strength and compressive strength
(bonding area: 130 μm $\times$ 130 μm)**

l (μm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,C}$ (MPa)
600	1 636,1	-1 466,8
625	1 522,9	-1 361,1
650	1 419,7	-1 265,5
675	1 327,5	-1 180,3
700	1 244,1	-1 103,4
725	1 167,7	-1 033,4
750	1 098,6	-970,1
775	1 035,7	-912,8
800	977,7	-860,0
825	924,0	-811,4
850	875,2	-767,2
875	830,2	-726,6
900	788,5	-689,1

**Table A.15 – Tensile strength and compressive strength
(bonding area: 140 μm $\times$ 140 μm)**

l (μm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,C}$ (MPa)
600	1 340,4	-1 356,2
625	1 246,0	-1 256,6
650	1 160,9	-1 167,2
675	1 084,3	-1 087,3
700	1 014,9	-1 015,1
725	952,1	-949,7
750	894,9	-890,5
775	842,8	-836,9
800	795,1	-787,8
825	751,1	-742,8
850	710,9	-701,7
875	673,7	-663,8
900	639,3	-629,1

**Table A.16 – Tensile strength and compressive strength
(bonding area: 150 μm $\times$ 150 μm)**

l (μm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,c}$ (MPa)
500	1 652,7	-1 538,9
525	1 515,2	-1 449,6
550	1 393,7	-1 285,5
575	1 286,8	-1 220,4
600	1 191,6	-1 125,8
625	1 106,8	-1 009,3
650	1 030,2	-966,7
675	961,6	-871,3
700	899,4	-812,6
725	843,0	-784,1
750	791,9	-734,8
775	745,3	-668,3
800	702,7	-628,6
825	663,5	-592,1
850	627,5	-577,0
875	594,4	-545,6
900	563,9	-500,5

Annex B (informative)

Pull-press testing method example

B.1 Dimensions for testing structure

To test the bonding strength of a silicon-glass-bonding sample with $110\ \mu\text{m} \times 110\ \mu\text{m}$ bonding area, the dimension parameters are listed in Table B.1. The arm sequence is designed from $800\ \mu\text{m}$ to $1\ 400\ \mu\text{m}$, with an interval of $50\ \mu\text{m}$.

Table B.1 – Dimensions for testing structure

Dimensions in μm

l	a	h_2	w	h_1	d
800 to 1 400	10 to 150	70	200	80	100

B.2 Tensile strength and compressive strength

The testing begins with the longest arm structure. The test should be carried out as given in 5.2.1 a). If no fracture occurs, raise the needle slowly, and continue to compress the next testing structure with shorter length.

Repeat the above operation. The bonding area does not fracture with $1\ 050\ \mu\text{m}$ length arm but fractures with $1\ 000\ \mu\text{m}$ length arm. The bonding strength is $950,9\ \text{MPa}$ referred to the data of Table B.2.

Table B.2 – Tensile strength and compressive strength (bonding area: $110\ \mu\text{m} \times 110\ \mu\text{m}$)

$l\ (\mu\text{m})$	$\sigma_{L,T}\ (\text{MPa})$	$\sigma_{L,C}\ (\text{MPa})$
800	1 411,3	-1 413,9
850	1 268,7	-1 267,7
900	1 147,4	-1 143,4
950	1 042,2	-1 036,3
1 000	950,9	-943,6
1 050	871,3	-862,8
1 100	801,0	-791,9
1 150	739,1	-729,5
1 200	684,0	-674,2
1 250	634,9	-624,9
1 300	590,8	-580,8
1 350	551,2	-541,3
1 400	515,5	-505,6

The higher resolution can be achieved when the smaller arm length interval is employed.

If the fracture occurs in the bulk silicon structure first, the bonding strength can be known as bigger than the bulk silicon strength.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	26
1 Domaine d'application.....	28
2 Références normatives	28
3 Termes et définitions	29
4 Exigences	29
4.1 Exigences de conception d'une structure d'essai.....	29
4.2 Exigences de fabrication d'une structure d'essai	32
4.3 Exigences de l'environnement d'essai.....	32
5 Méthode d'essais.....	32
5.1 Généralités	32
5.2 Méthode d'essai de traction-compression.....	32
5.2.1 Application de la force de la charge	32
5.2.2 Processus de fonctionnement de la méthode d'essai de traction-compression	32
5.2.3 Traitement des résultats de la méthode d'essai de traction-compression	33
5.3 Méthode d'essai de cisaillement	34
5.3.1 Processus de fonctionnement de la méthode d'essai de cisaillement.....	34
5.3.2 Traitement des résultats de la méthode d'essai de cisaillement	35
Annexe A (informative) Dimensions de la structure d'essai et résistance à la traction/compression.....	36
A.1 Dimensions de la structure d'essai.....	36
A.2 Résistance à la traction et à la compression	36
Annexe B (informative) Exemple de méthode d'essai de traction-compression	44
B.1 Dimensions de la structure d'essai.....	44
B.2 Résistance à la traction et à la compression	44
Figure 1 – Structure d'essai traction-compression.....	30
Figure 2 – Structure d'essai de cisaillement.....	31
Figure 3 – Processus de fonctionnement de la méthode d'essai de traction-compression	33
Figure 4 – Processus de fonctionnement de la méthode d'essai de cisaillement	34
Tableau 1 – Dimensions pour la structure d'essai de cisaillement	35
Tableau A.1 – Dimensions de la structure d'essai	36
Tableau A.2 – Résistance à la traction et à la compression (zone de brasure: 10 µm × 10 µm).....	36
Tableau A.3 – Résistance à la traction et à la compression (zone de brasure: 20 µm × 20 µm).....	37
Tableau A.4 – Résistance à la traction et à la compression (zone de brasure: 30 µm × 30 µm).....	37
Tableau A.5 – Résistance à la traction et à la compression (zone de brasure: 40 µm × 40 µm).....	38
Tableau A.6 – Résistance à la traction et à la compression (zone de brasure: 50 µm × 50 µm).....	38
Tableau A.7 – Résistance à la traction et à la compression (zone de brasure: 60 µm × 60 µm).....	38

Tableau A.8 – Résistance à la traction et à la compression (zone de brasure: 70 μm $\times$ 70 μm).....	39
Tableau A.9 – Résistance à la traction et à la compression (zone de brasure: 80 μm $\times$ 80 μm).....	39
Tableau A.10 – Résistance à la traction et à la compression (zone de brasure: 90 μm $\times$ 90 μm).....	40
Tableau A.11 – Résistance à la traction et à la compression (zone de brasure: 100 μm $\times$ 100 μm).....	40
Tableau A.12 – Résistance à la traction et à la compression (zone de brasure: 110 μm $\times$ 110 μm).....	41
Tableau A.13 – Résistance à la traction et à la compression (zone de brasure: 120 μm $\times$ 120 μm).....	41
Tableau A.14 – Résistance à la traction et à la compression (zone de brasure: 130 μm $\times$ 130 μm).....	42
Tableau A.15 – Résistance à la traction et à la compression (zone de brasure: 140 μm $\times$ 140 μm).....	42
Tableau A.16 – Résistance à la traction et à la compression (zone de brasure: 150 μm $\times$ 150 μm).....	43
Tableau B.1 – Dimensions de la structure d'essai	44
Tableau B.2 – Résistance à la traction et à la compression (zone de brasure: 110 μm $\times$ 110 μm).....	44

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

Partie 25: Technologie de fabrication de MEMS à base de silicium – Méthode de mesure de la résistance à la traction-compression et au cisaillement d'une micro zone de brasure

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 Norme internationale IEC 62047-25 a été établie par le sous-comité 47F: Systèmes microélectromécaniques, du comité d'études 47 de l'IEC: Dispositifs à semiconducteurs.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
47F/249/FDIS	47F/252/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/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.

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

Partie 25: Technologie de fabrication de MEMS à base de silicium – Méthode de mesure de la résistance à la traction-compression et au cisaillement d'une micro zone de brasure

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62047 spécifie la méthode d'essai in situ pour mesurer la résistance de brasure d'une microzone de brasure fabriquée par des technologies de micro-usinage utilisées dans un système microélectromécanique (MEMS) à base de silicium.

Le présent document s'applique à la mesure in situ de la résistance à la traction-compression et de la résistance au cisaillement d'une microzone de brasure fabriquée par un processus microélectronique et d'autres technologies de micro-usinage.

Un microancrage, fixé sur le substrat à travers une microzone de brasure, fournit un support mécanique pour les composants fonctionnels mobiles de détection et d'actionnement dans des dispositifs MEMS. La petite taille des dispositifs augmente la dégradation de la résistance de zone de brasure induite par des défauts, des contaminations et des contraintes de désadaptation thermique sur la surface de brasure. Le présent document spécifie une méthode d'essai in situ de la résistance à la traction-compression et au cisaillement basée sur une technique structurée. La présente norme ne nécessite pas l'utilisation d'instruments complexes (par exemple, un microscope sonde à balayage ou un nano-indenteur), ni de préparation spéciale du spécimen d'essai.

Puisque la structure d'essai du présent document peut être implantée lors de la fabrication d'un dispositif sous la forme d'une structure de détection normalisée, la présente norme peut constituer un outil permettant à la fonderie de donner des quantités de référence au concepteur.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. 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).

IEC 62047-1, *Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques – Partie 1: Termes et définitions*

ISO 10012, *Systèmes de management de la mesure – Exigences pour les processus et les équipements de mesure*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 62047-1 et de l'ISO 10012, ainsi que les suivants, s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1

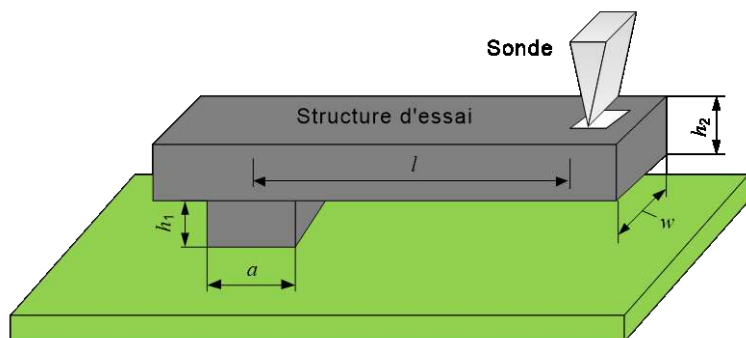
ancrage

zone de brasure silicium-verre qui supporte la structure MEMS

4 Exigences

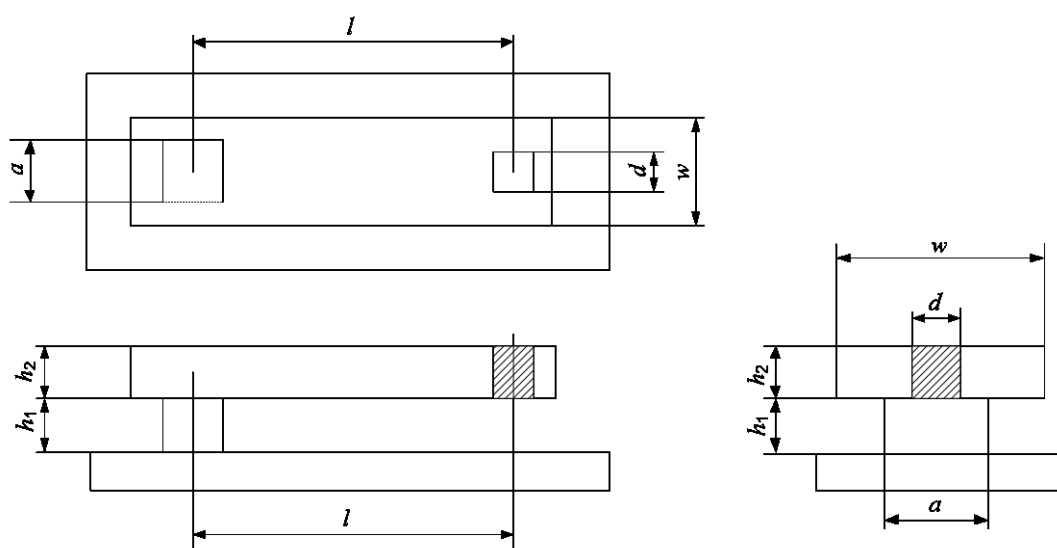
4.1 Exigences de conception d'une structure d'essai

Les mécanismes d'essai de structures sont représentés dans la Figure 1 et dans la Figure 2.



IEC

a) Mécanisme de la structure d'essai de traction-compression



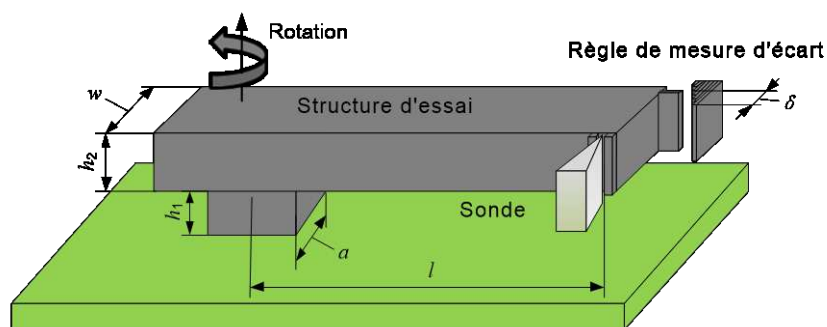
IEC

b) Trois vues de la structure d'essai de traction-compression

Légende

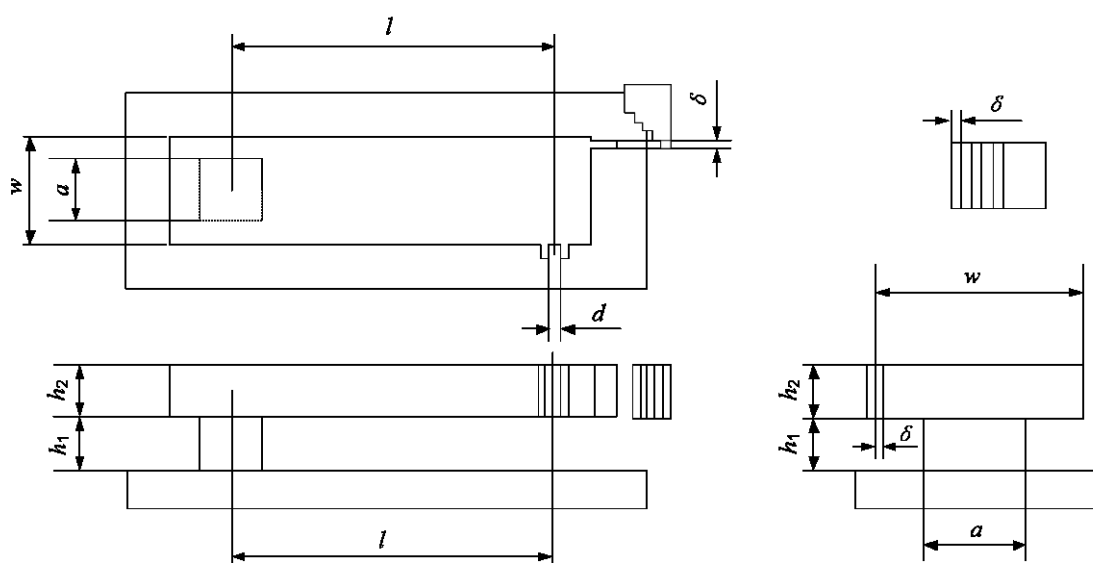
- h_2 épaisseur du bras de la structure d'essai;
- h_1 hauteur de la poutre d'ancrage dans la zone de brasure;
- a longueur du côté de la zone de brasure;
- l longueur du bras de la structure d'essai. Il convient de déterminer ce paramètre avec des valeurs séquentielles;
- w largeur du bras de la structure d'essai;
- d dimension du point d'application de la charge.

Figure 1 – Structure d'essai traction-compression



IEC

a) Mécanisme de la structure d'essai de cisaillement



IEC

b) Trois vues de la structure d'essai de cisaillement

Légende

- h_2 épaisseur du bras de la structure d'essai ;
 h_1 hauteur de la poutre d'ancrage dans la zone de brasure;
 a longueur du côté de la zone de brasure;
 l longueur du bras de la structure d'essai;
 w largeur du bras de la structure d'essai;
 d dimension du point d'application de la charge;
 δ résolution de la règle de rotation.

Figure 2 – Structure d'essai de cisaillement

Il convient que la structure d'essai soit conçue de la manière suivante:

- Pour empêcher le bras de la structure d'essai de rompre avant la zone de brasure, il convient que la résistance du bras soit suffisamment élevée. Par exemple, si l'épaisseur du bras est limitée par une règle de conception, il est recommandé de concevoir un bras plus large.
- Il convient de déterminer la longueur du bras de la structure d'essai de résistance à la traction-compression avec des valeurs séquentielles. Il convient que la différence

commune, l'intervalle de longueur, satisfasse aux exigences relatives à la résolution d'essai. Il convient également de tenir compte de la zone utilisée par la structure d'essai.

- c) Il convient que la conception de la règle dans la structure d'essai de résistance au cisaillement satisfasse aux exigences relatives à la résolution. Il convient de surveiller soigneusement la règle avec un microscope optique.
- d) Il convient que la structure d'essai soit suffisamment robuste pour supporter l'écart de dimension créé par le processus de fabrication. Il convient également que la conception tienne compte de la rugosité de la surface de la structure causée par le processus de gravure sèche ou humide et de gravure isotrope ou anisotrope.

4.2 Exigences de fabrication d'une structure d'essai

Les exigences relatives aux structures d'essai dans le silicium avec des microzones de brasure sont les suivantes:

- a) Il convient que la fabrication des structures d'essai satisfasse aux exigences relatives aux traitements du silicium.
- b) Le matériau de la structure d'essai est du silicium massif. Il convient donc que les caractéristiques physiques et chimiques se rapportent à la plaquette de silicium dans les processus de fabrication pratiques.
- c) Il est vivement recommandé de graver l'ancrage de la structure d'essai par un processus de gravure ionique réactive (RIE: Reactive Ion Etching) pour assurer la formation de l'ancrage.

Dans le cas d'essais de résistance d'une microzone de brasure pour des MEMS qui ne sont pas à base de silicium, des structures semblables peuvent être préparées avec des matériaux différents, et d'autres exigences doivent être proposées.

4.3 Exigences de l'environnement d'essai

Les exigences de l'environnement d'essai sont les suivantes:

- a) Tout courant d'air violent est interdit pendant les essais. Il convient de stabiliser le banc d'essai.
- b) Pendant les essais, il convient de tenir compte des contaminations environnementales causées par les poussières et des fragments de rupture de la structure d'essai.

5 Méthode d'essais

5.1 Généralités

Pendant les essais, la structure d'essai est placée sur le poste à sondes. La déformation ou la rupture de la structure est surveillée à l'aide d'un microscope et la résistance de brasure peut être calculée en utilisant les paramètres de la structure d'essai.

5.2 Méthode d'essai de traction-compression

5.2.1 Application de la force de la charge

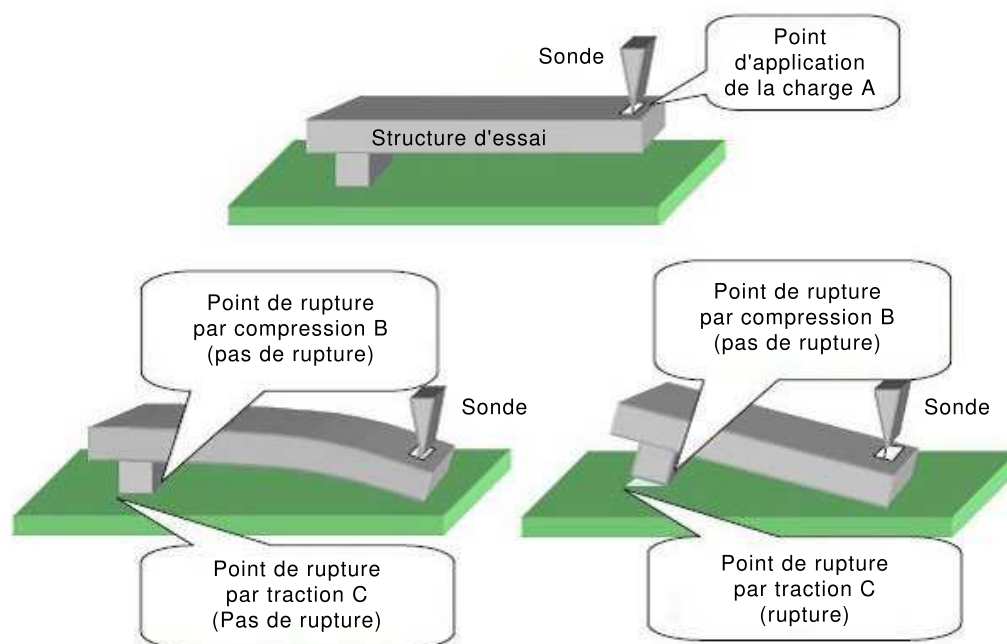
Pendant les essais de traction-compression, la force de la charge est appliquée verticalement au niveau du point d'application de la charge sur le bras de la structure.

5.2.2 Processus de fonctionnement de la méthode d'essai de traction-compression

Le processus de fonctionnement de la méthode d'essai de traction-compression est le suivant:

- a) Pendant le processus de fonctionnement, la puce équipée d'une structure d'essai est fixée sur un poste à sondes. La force de la charge est appliquée verticalement au niveau du point d'application de la charge sur le bras de la structure par l'aiguille du poste (A)

jusqu'à ce que le bras se déforme et entre en contact avec la surface inférieure. La zone de brasure (B ou C) est surveillée au microscope, voir Figure 3. La résistance de brasure est définie comme étant supérieure à $\sigma_{li,T}$ (ou $\sigma_{li,C}$) et la rupture se produit dans la structure avec un bras de longueur l_{i+1} ($l_i > l_{i+1}$), mais pas dans la structure avec un bras de longueur l_i , où $\sigma_{li,T}$ et $\sigma_{li,C}$ sont la résistance à la traction et la résistance à la compression, respectivement, à savoir la valeur maximale de la contrainte sur la zone de brasure lorsque le bras de la structure d'essai correspondante se déforme pour entrer en contact avec la surface inférieure, acquise par une analyse par la méthode des éléments finis. Les indices T et C signifient respectivement contrainte de "traction" et de "compression".



IEC

Figure 3 – Processus de fonctionnement de la méthode d'essai de traction-compression

- b) Il convient que la charge soit perpendiculaire à la surface inférieure et il convient que la charge soit appliquée lentement et de manière stable. Il convient que l'aiguille et l'ensemble de la structure d'essai soient placés dans le champ de vision d'un microscope optique. Lorsque le bras entre en contact avec la surface inférieure (ou en cas de rupture de la structure d'essai), il convient d'arrêter l'application de la charge et il convient de soulever lentement l'aiguille jusqu'à ce qu'elle ne touche plus la structure d'essai.

5.2.3 Traitement des résultats de la méthode d'essai de traction-compression

Dans le cadre du processus de conception du bras de la structure d'essai, il convient d'établir un tableau sur la valeur maximale de la contrainte de compression et de traction sur la zone de brasure lorsque le bras de la structure d'essai se déforme pour entrer en contact avec la surface inférieure. A la fin des essais, la résistance de brasure peut être comparée au tableau en fonction de la longueur du bras pour laquelle l'ancrage est rompu.

Si la contrainte ne peut pas être obtenue, les paramètres de la structure d'essai de l'Annexe A peuvent être utilisés. Les Tableau A.2 à Tableau A.16 sont les tableaux de contrainte de référence.

Si la longueur du bras n'apparaît pas dans les tableaux de référence, la contrainte peut être interpolée à partir des valeurs des tableaux.

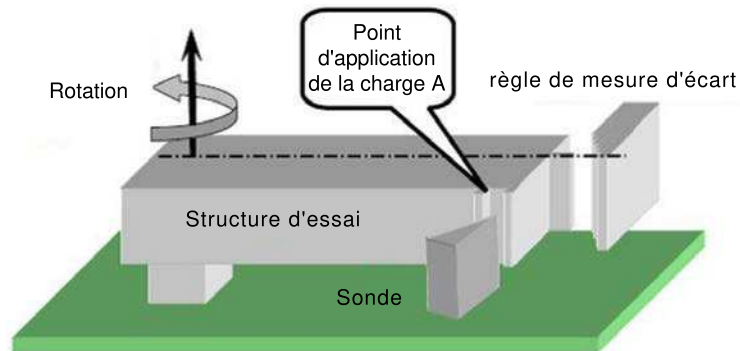
Si la structure en silicium est la première à rompre, la résistance de brasure peut être reconnue comme étant supérieure à la résistance du silicium.

5.3 Méthode d'essai de cisaillement

5.3.1 Processus de fonctionnement de la méthode d'essai de cisaillement

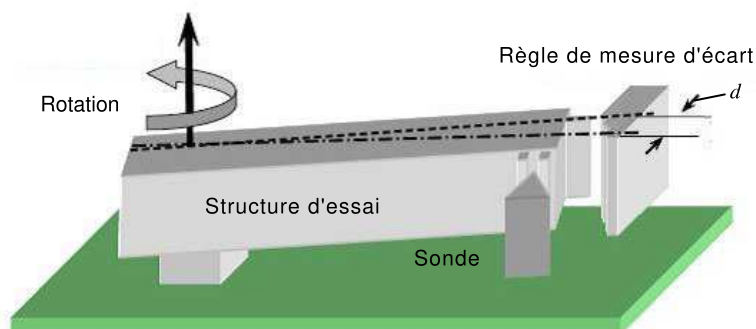
Le processus de fonctionnement de la méthode d'essai de cisaillement est le suivant:

- a) Pendant le processus de fonctionnement, la puce équipée d'une structure d'essai est fixée sur un poste à sondes. La force de la charge est appliquée latéralement au niveau du point d'application de la charge sur le bras de la structure par l'aiguille du poste (A) et la déformation est surveillée au microscope (voir Figure 4). L'écart de rotation peut être lu sur la règle placée à l'extrémité du bras.



IEC

a) Avant l'application de la charge de la sonde



IEC

b) Dimension de l'écart de rotation à une distance de contrôle par la règle de mesure d'écart

Figure 4 – Processus de fonctionnement de la méthode d'essai de cisaillement

- b) Il convient que la charge soit parallèle à la surface inférieure et il convient que la charge soit appliquée lentement et de manière stable. Il convient que l'aiguille et l'ensemble de la structure d'essai soient placés dans le champ de vision d'un microscope optique. Lorsque la rupture se produit au niveau de la structure d'essai ou de la zone de brasure, il convient d'arrêter l'application de la charge et il convient de retirer lentement l'aiguille jusqu'à ce qu'elle ne touche plus la structure d'essai.
- c) En raison des différentes zones de brasure, les dimensions recommandées pour la structure d'essai sont calculées pour donner une résolution et une pression de l'aiguille raisonnables (voir Tableau 1).

Tableau 1 – Dimensions pour la structure d'essai de cisaillement

$a \times a \text{ (}\mu\text{m}^2\text{)}$	$w \times h_2 \text{ (}\mu\text{m}^2\text{)}$	$l \text{ (}\mu\text{m)}$
13 × 13	33 × 80	243
17 × 17	37 × 80	241
20 × 20	40 × 80	240
25 × 25	45 × 80	238
30 × 30	50 × 80	240
40 × 40	100 × 80	565
50 × 50	150 × 80	607
60 × 60	200 × 80	596
70 × 70	250 × 80	605
80 × 80	250 × 80	614
90 × 90	300 × 80	1 456
100 × 100	400 × 80	1 423
110 × 110	400 × 80	1 444
120 × 120	400 × 80	1 449

5.3.2 Traitement des résultats de la méthode d'essai de cisaillement

La contrainte de cisaillement $\tau_{\max}$ peut être calculée de la manière suivante:

$$\tau_{\max} = 0,14 \times \frac{h_2 w^3}{a^3 l^2} d$$

où

h_2 épaisseur du bras de la structure d'essai;

a longueur du côté de la zone de brasure;

l longueur du bras de la structure d'essai;

w largeur du bras de la structure d'essai;

d écart de rotation.

Si la structure en silicium est la première à rompre, la résistance de brasure peut être reconnue comme étant supérieure à la résistance du silicium.

Annexe A (informative)

Dimensions de la structure d'essai et résistance à la traction/compression

A.1 Dimensions de la structure d'essai

Les plages de dimensions de la structure d'essai sont données dans le Tableau A.1.

Tableau A.1 – Dimensions de la structure d'essai

Dimensions en μm

l	a	h_2	w	h_1	d
300 à 2 000	10 à 150	20 ($a \leq 70$) 70 ($a > 70$)	200	80 ($a \leq 70$) 80 ($a > 70$)	100

A.2 Résistance à la traction et à la compression

La résistance à la traction $\sigma_{L,T}$ et la résistance à la compression $\sigma_{L,C}$ sont décrites dans les tableaux suivants, du Tableau A.2 au Tableau A.16.

**Tableau A.2 – Résistance à la traction et à la compression
(zone de brasure: $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$)**

l (μm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,C}$ (MPa)
800	1 072,1	-1 135,8
850	1 008,3	-1 067,9
900	951,6	-1 007,6
950	900,7	-953,5
1 000	855,1	-905,0
1 050	813,7	-861,0
1 100	776,0	-821,0
1 150	741,6	-784,4
1 200	710,0	-750,9
1 250	680,9	-720,0
1 300	654,2	-691,7
1 350	629,3	-665,3
1 400	606,2	-640,8

**Tableau A.3 – Résistance à la traction et à la compression
(zone de brasure: 20 μm $\times$ 20 μm)**

l (μm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,c}$ (MPa)
800	1 883,4	-1 751,9
850	1 699,4	-1 576,6
900	1 541,1	-1 426,5
950	1 403,8	-1 296,7
1 000	1 284,2	-1 184,1
1 050	1 179,4	-1 085,5
1 100	1 086,5	-998,6
1 150	1 004,5	-921,9
1 200	931,5	-853,8
1 250	866,0	-792,8
1 300	807,4	-738,3
1 350	754,4	-689,1
1 400	706,4	-644,7

**Tableau A.4 – Résistance à la traction et à la compression
(zone de brasure: 30 μm $\times$ 30 μm)**

l (μm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,c}$ (MPa)
800	1 558,3	-1 598,8
850	1 416,3	-1 496,4
900	1 296,4	-1 328,1
950	1 188,5	-1 253,9
1 000	1 096,4	-1 121,7
1 050	1 012,2	-1 066,7
1 100	939,8	-960,5
1 150	874,0	-892,8
1 200	814,9	-832,1
1 250	760,7	-800,3
1 300	712,7	-749,5
1 350	669,1	-703,4
1 400	629,4	-661,5

**Tableau A.5 – Résistance à la traction et à la compression
(zone de brasure: 40 μm $\times$ 40 μm)**

l (μm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,C}$ (MPa)
500	2 036,2	-2 142,1
550	1 736,4	-1 882,0
600	1 499,2	-1 569,7
650	1 306,9	-1 365,9
700	1 149,8	-1 199,7
750	1 019,3	-1 062,1
800	910,0	-947,1
850	817,4	-849,8
900	738,4	-766,9
950	670,2	-695,5
1 000	611,1	-633,7

**Tableau A.6 – Résistance à la traction et à la compression
(zone de brasure: 50 μm $\times$ 50 μm)**

l (μm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,C}$ (MPa)
500	1 241,9	-1 294,9
550	1 046,0	-1 087,1
600	893,4	-926,1
650	770,9	-797,9
700	672,6	-694,8
750	592,3	-610,3
800	525,2	-540,4
850	469,0	-481,9
900	421,0	-432,5
950	380,3	-390,2
1 000	345,2	-353,8

**Tableau A.7 – Résistance à la traction et à la compression
(zone de brasure: 60 μm $\times$ 60 μm)**

l (μm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,C}$ (MPa)
300	1 690,1	-1 813,2
320	1 505,5	-1 608,7
340	1 351,1	-1 438,6
360	1 219,2	-1 294,1
380	1 104,3	-1 168,7
400	1 005,9	-1 061,9
420	920,1	-969,0
440	844,3	-887,2
460	777,9	-815,8
480	719,0	-752,7
500	666,0	-696,0

**Tableau A.8 – Résistance à la traction et à la compression
(zone de brasure: 70 μm $\times$ 70 μm)**

l (μm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,C}$ (MPa)
300	1 136,0	-1 206,6
320	1 008,2	-1 065,9
340	901,6	-949,4
360	811,3	-851,0
380	733,0	-766,3
400	665,9	-694,1
420	607,9	-631,8
440	556,6	-577,1
460	511,9	-529,4
480	472,3	-487,4
500	436,7	-449,8

**Tableau A.9 – Résistance à la traction et à la compression
(zone de brasure: 80 μm $\times$ 80 μm)**

l (μm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,C}$ (MPa)
800	2 547,6	-2 633,9
900	2 128,7	-2 189,6
1 000	1 804,8	-1 850,6
1 100	1 547,9	-1 585,4
1 200	1 346,3	-1 374,1
1 300	1 080,1	-1 202,3
1 400	1 043,2	-1 061,2
1 500	929,0	-943,7
1 600	831,5	-844,9
1 700	750,7	-761,0
1 800	680,3	-688,9
1 900	618,5	-626,7
2 000	566,4	-572,6

**Tableau A.10 – Résistance à la traction et à la compression
(zone de brasure: 90 µm × 90 µm)**

l (µm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,c}$ (MPa)
800	2 170,8	-2 257,1
900	1 791,2	-1 854,4
1 000	1 503,7	-1 551,3
1 100	1 280,5	-1 317,2
1 200	1 103,7	-1 132,6
1 300	961,1	-984,2
1 400	844,6	-863,4
1 500	748,1	-763,5
1 600	667,3	-680,1
1 700	598,9	-609,7
1 800	540,5	-549,7
1 900	490,3	-498,1
2 000	446,8	-453,5

**Tableau A.11 – Résistance à la traction et à la compression
(zone de brasure: 100 µm × 100 µm)**

l (µm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,c}$ (MPa)
800	1 883,4	-1 751,9
850	1 699,4	-1 576,6
900	1 541,1	-1 426,5
950	1 403,8	-1 296,7
1 000	1 284,2	-1 184,1
1 050	1 179,4	-1 085,5
1 100	1 086,5	-998,6
1 150	1 004,5	-921,9
1 200	931,5	-853,8
1 250	866,0	-792,8
1 300	807,4	-738,3
1 350	754,4	-689,1
1 400	706,4	-644,7

**Tableau A.12 – Résistance à la traction et à la compression
(zone de brasure: 110 μm $\times$ 110 μm)**

l (μm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,C}$ (MPa)
800	1 411,3	-1 413,9
850	1 268,7	-1 267,7
900	1 147,4	-1 143,4
950	1 042,2	-1 036,3
1 000	950,9	-943,6
1 050	871,3	-862,8
1 100	801,0	-791,9
1 150	739,1	-729,5
1 200	684,0	-674,2
1 250	634,9	-624,9
1 300	590,8	-580,8
1 350	551,2	-541,3
1 400	515,5	-505,6

**Tableau A.13 – Résistance à la traction et à la compression
(zone de brasure: 120 μm $\times$ 120 μm)**

l (μm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,C}$ (MPa)
700	1 355,1	-1 309,5
750	1 199,5	-1 154,3
800	1 069,4	-1 025,5
850	959,3	-917,1
900	865,5	-824,9
950	784,2	-745,8
1 000	714,4	-677,7
1 050	653,3	-618,5
1 100	599,8	-566,7
1 150	552,6	-521,2
1 200	510,7	-480,9
1 250	473,4	-445,2
1 300	439,9	-413,1

**Tableau A.14 – Résistance à la traction et à la compression
(zone de brasure: 130 µm × 130 µm)**

l (µm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,C}$ (MPa)
600	1 636,1	-1 466,8
625	1 522,9	-1 361,1
650	1 419,7	-1 265,5
675	1 327,5	-1 180,3
700	1 244,1	-1 103,4
725	1 167,7	-1 033,4
750	1 098,6	-970,1
775	1 035,7	-912,8
800	977,7	-860,0
825	924,0	-811,4
850	875,2	-767,2
875	830,2	-726,6
900	788,5	-689,1

**Tableau A.15 – Résistance à la traction et à la compression
(zone de brasure: 140 µm × 140 µm)**

l (µm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,C}$ (MPa)
600	1 340,4	-1 356,2
625	1 246,0	-1 256,6
650	1 160,9	-1 167,2
675	1 084,3	-1 087,3
700	1 014,9	-1 015,1
725	952,1	-949,7
750	894,9	-890,5
775	842,8	-836,9
800	795,1	-787,8
825	751,1	-742,8
850	710,9	-701,7
875	673,7	-663,8
900	639,3	-629,1

**Tableau A.16 – Résistance à la traction et à la compression
(zone de brasure: 150 μm $\times$ 150 μm)**

l (μm)	$\sigma_{L,T}$ (MPa)	$\sigma_{L,c}$ (MPa)
500	1 652,7	-1 538,9
525	1 515,2	-1 449,6
550	1 393,7	-1 285,5
575	1 286,8	-1 220,4
600	1 191,6	-1 125,8
625	1 106,8	-1 009,3
650	1 030,2	-966,7
675	961,6	-871,3
700	899,4	-812,6
725	843,0	-784,1
750	791,9	-734,8
775	745,3	-668,3
800	702,7	-628,6
825	663,5	-592,1
850	627,5	-577,0
875	594,4	-545,6
900	563,9	-500,5

Annexe B (informative)

Exemple de méthode d'essai de traction-compression

B.1 Dimensions de la structure d'essai

Pour contrôler la résistance de brasure d'un échantillon de brasure silicium-verre dont la zone de brasure est de $110\ \mu\text{m} \times 110\ \mu\text{m}$, les paramètres des dimensions sont donnés dans le Tableau B.1. Les valeurs séquentielles du bras sont comprises entre $800\ \mu\text{m}$ et $1\ 400\ \mu\text{m}$, avec un intervalle de $50\ \mu\text{m}$.

Tableau B.1 – Dimensions de la structure d'essai

Dimensions en μm

l	a	h_2	w	h_1	d
800 à 1 400	10 à 150	70	200	80	100

B.2 Résistance à la traction et à la compression

L'essai commence avec le bras le plus long. Il convient de réaliser l'essai conformément à 5.2.1 a). S'il n'y a pas de rupture, soulever lentement l'aiguille et compresser la structure d'essai suivante de longueur plus petite.

Répéter l'opération ci-dessus. La zone de brasure ne rompt pas avec un bras de $1\ 050\ \mu\text{m}$ de long, mais elle rompt avec un bras de $1\ 000\ \mu\text{m}$ de long. En se référant au Tableau B.2, on déduit que la résistance de la brasure est de $950,9\ \text{MPa}$.

**Tableau B.2 – Résistance à la traction et à la compression
(zone de brasure: $110\ \mu\text{m} \times 110\ \mu\text{m}$)**

$l\ (\mu\text{m})$	$\sigma_{L,T}\ (\text{MPa})$	$\sigma_{L,C}\ (\text{MPa})$
800	1 411,3	-1 413,9
850	1 268,7	-1 267,7
900	1 147,4	-1 143,4
950	1 042,2	-1 036,3
1 000	950,9	-943,6
1 050	871,3	-862,8
1 100	801,0	-791,9
1 150	739,1	-729,5
1 200	684,0	-674,2
1 250	634,9	-624,9
1 300	590,8	-580,8
1 350	551,2	-541,3
1 400	515,5	-505,6

Une meilleure résolution peut être obtenue en utilisant des intervalles plus petits sur le bras.

Si la structure en silicium est la première à rompre, la résistance de brasure peut être reconnue comme étant supérieure à la résistance du silicium.

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