

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices –
Part 13: Bend - and shear - type test methods of measuring adhesive strength
for MEMS structures**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques –
Partie 13: Méthodes d'essais de types courbure et cisaillement de mesure de la
résistance d'adhérence pour les structures MEMS**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-13:2012



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2012 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 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.

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It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices –
Part 13: Bend - and shear - type test methods of measuring adhesive strength
for MEMS structures**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques –
Partie 13: Méthodes d'essais de types courbure et cisaillement de mesure de la
résistance d'adhérence pour les structures MEMS**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

P

ICS 31.080.99

ISBN 978-2-88912-937-9

**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 Terms and definitions	5
4 Test method	6
4.1 General.....	6
4.2 Data analysis	7
5 Test equipment.....	8
5.1 General.....	8
5.2 Actuator	8
5.3 Force measurement sensor	8
5.4 Alignment system	8
5.5 Recorder	8
6 Test pieces.....	9
6.1 Design of test pieces	9
6.2 Preparation of test pieces.....	9
7 Test conditions	9
7.1 Method for gripping	9
7.2 Speed of testing	9
7.3 Alignment of test piece	9
7.4 Test environment.....	10
8 Test report.....	10
Annex A (informative) Technical background	11
Bibliography.....	14
Figure 1 – Columnar test pieces	6
Figure 2 – Adhesive strength test method	7
Figure 3 – Alignment between columnar test piece and loading tool.....	10
Figure A.1 – Example of the RRT results (see [1])	11
Figure A.2 – Effects of aspect ratio of columnar test piece on the stress condition in bend type test (see [2])	12
Figure A.3 – Effects of knife edge angle of loading tool and aspect ratio of columnar test piece on the stress condition in bend test.....	13

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SEMICONDUCTOR DEVICES – MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –

Part 13: Bend - and shear - type test methods of measuring adhesive strength for MEMS structures

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 62047-13 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/109/FDIS	47F/119/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 of 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-13:2012

SEMICONDUCTOR DEVICES – MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –

Part 13: Bend - and shear - type test methods of measuring adhesive strength for MEMS structures

1 Scope

This part of IEC 62047 specifies the adhesive testing method between micro-sized elements and a substrate using the columnar shape of the specimens. This international standard can be applied to adhesive strength measurement of microstructures, prepared on a substrate, with width and thickness of 1 μm to 1 mm, respectively.

Micro-sized elements of MEMS devices are made up of laminated fine pattern films on a substrate, which are fabricated by deposition, plating, and/or coating with photolithography. MEMS devices include a large number of interfaces between dissimilar materials, at which delamination occasionally occurs during fabrication or in operation. Combination of the materials at the junction determines the adhesive strength; moreover, defects and residual stress in the vicinity of the interface, which are changing by processing condition, strongly affect the adhesive strength. This standard specifies the adhesive testing method for micro-sized-elements in order to optimally select materials and processing conditions for MEMS devices.

This standard does not particularly restrict test piece material, test piece size and performance of the measuring device, since the materials and size of MEMS device components range widely and testing machine for micro-sized materials has not been generalized.

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 62047-2:2006, *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 2: Tensile testing method of thin film materials*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

3.1

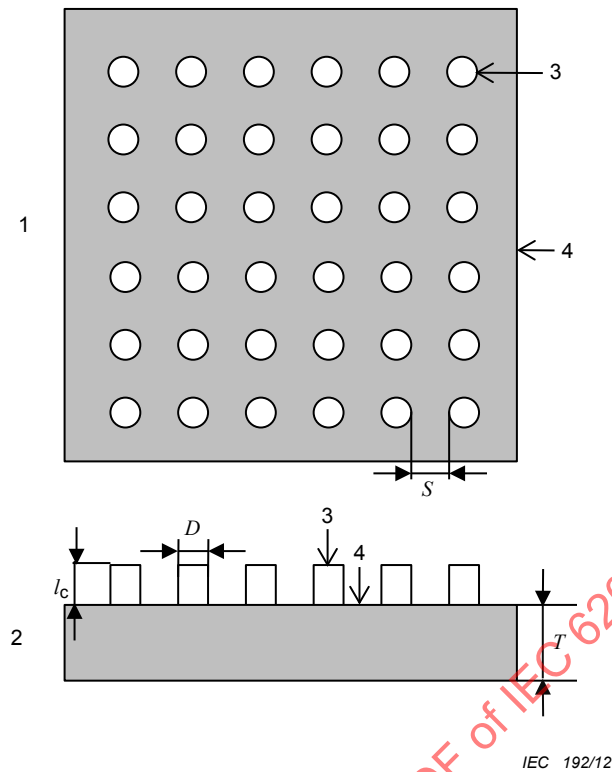
adhesive bend strength

nominal strength at failure on adhesive joint area by bending mode

3.2

adhesive shear strength

nominal strength at failure on adhesive joint area by shear mode



Key

	Configurations or specimen	Dimensions of specimen
1	Top view	D diameter of columnar test piece
2	Side view	l_c length of columnar test piece
3	Column type test piece	l_c/D aspect ratio of columnar test piece
4	Substrate	T thickness of substrate
		S spacing between columnar test pieces

Figure 1 – Columnar test pieces

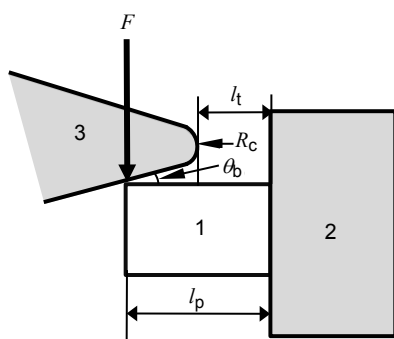
4 Test method

4.1 General

This standard specifies the adhesive testing methods between a columnar test piece (see Figure 1) and substrate. Displacement or force is applied to a columnar test piece at a constant speed and the force at delamination is measured to analyze the adhesive strength between the columnar test piece and substrate. A knife edge shape with tapered tip is utilized as the loading tool to apply the force to a columnar test piece. The angle of the knife edge is changed by loading types of measuring adhesive strength as follows.

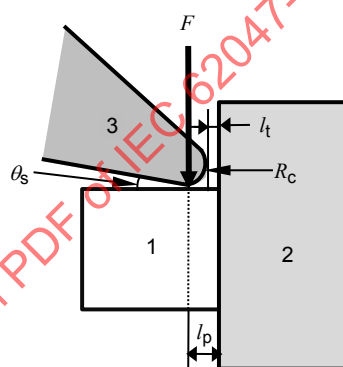
In case of measuring adhesive bend strength by applying bending force at the end of a columnar test piece (bend type test), the knife edge of loading tool is used by slanting its apex in the upper direction against the test piece as shown in Figure 2 a). In such a case, it is easier to align the loading tool and a test piece since point load is applied at the end of the columnar test piece. Attention should be drawn to the fact that the bend type test is not pure bending, which includes compression component to the columnar root. The compression component increases by increasing the contact angle of the knife edge. In order to minimize the effect of compression component, the contact angle of the knife edge (θ_b) should be within a range of from 10° to 20° .

In case of measuring adhesive shear strength by applying shear force on the lateral face of a columnar test piece (shear type test), line load is applied to the test piece using a loading tool which is parallel to the lateral face of the cylinder as shown in Figure 2 b). In such a case, the test apparatus should have a precise alignment system, which can align the knife edge parallel to the lateral face of the cylinder. Or alternatively, the knife edge of loading tool is used by slanting its apex in lower direction against the test piece as shown in Figure 2 b) to minimize the effects of bend stress (see Clause A.2). The angle error (θ_s) should be within a range of from 0° to 15°. It should be noted that the test results from the bend type test are affected by the aspect ratio (l_c/D), when the aspect ratio is less than 1,2. See Clause A.2. In addition, the columnar test piece with the aspect ratio of less than 0,5 should not be applied in the bend type test; because the effects of the aspect ratio on the shear and the compression stress on the adhesive joint area significantly increase when the aspect ratio decreases. See Clause A.2 and Clause A.3.



IEC 193/12

Figure 2a – Bend type test



IEC 194/12

Figure 2b – Shear type test

NOTE This figure illustrates two types of the test method for measuring adhesive strength between a columnar test piece and substrate.

Key

Configurations or specimen		Supply and dimensions of specimen	
1	Columnar test piece	F	loading force supplied by a kind of actuator
2	Substrate	l_p	distance between the loading position and substrate
3	Knife edge of loading tool	l_t	distance between the tip of the loading tool and substrate
		θ_b	angle between the lateral face of a columnar test piece and contact face of knife edge for bend type test
		θ_s	angle between the lateral face of a columnar test piece and contact face of knife edge for shear type test

Figure 2 – Adhesive strength test method

4.2 Data analysis

In adhesive strength test by bend loading, adhesive bend strength is calculated by the following Equation (1).

$$\sigma_a = \frac{M_a}{Z} = \frac{32F_{\max}l_p}{\pi D^3} = \frac{32F_{\max}l_c}{\pi D^3} \quad (1)$$

where

σ_a is the adhesive bend strength;
 Z is the section modulus of a columnar test piece;
 M_a is the bend moment at delamination;
 $F_{\max}$ is the maximum load at delamination;
 l_p is the loading point from the root of a columnar test piece.

In adhesive strength test by shear loading, adhesive shear strength is calculated by the following Equation (2).

$$\tau_a = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{4F_{\max}}{\pi D^2} \quad (2)$$

where

τ_a is the adhesive shear strength;
 A is the adhesive joint area between a columnar test piece and substrate;
 $F_{\max}$ is the maximum load at delamination.

In the bend type test, it is required to be attentive to the possibility of exfoliation due to shear force if the aspect ratio (l_c/D) of the columnar test piece is less than 1,2. See 4.1 and Clause A.2.

5 Test equipment

5.1 General

The test equipment shall be capable of applying microscopic displacement or micro-level force to the test piece. The test equipment consists of an actuator for applying displacement, a sensor for force measurement, a controller applying displacement or force at a constant speed, an alignment system between the test piece and the loading tool, and a recorder for detecting the load at delamination.

5.2 Actuator

Displacement or force should be linearly applied along the loading axis of the test piece at a constant speed. Thus, the actuator shall be capable of linearly applying displacement or force at a constant speed.

5.3 Force measurement sensor

Load cell with enough resolution, which guarantees 5 % accuracy of the measured adhesive strength shall be used for the force measurement. The force sensor shall be set to measure the force to the loading direction. The knife edge of the loading tool shall be located within the effective measuring area of the force sensor. See Figure 3.

5.4 Alignment system

The alignment system shall be capable of aligning the test piece and loading tool in the proper position to apply displacement or force in the correct direction (see 7.3).

5.5 Recorder

The test equipment shall include a recorder for detecting the force at delamination.

6 Test pieces

6.1 Design of test pieces

The test piece should satisfy the following two items:

- a) It is recommended that the dimensions of a test piece, such as the columnar diameter and length, are in the same order as the size of parts of a device to be evaluated;
- b) Every gap between the test pieces (S) should provide more than twice compared with both the diameter of columnar test piece (D) and the length of test piece (l_c) to prevent each piece from having an influence on the test of adjacent test piece (see Figure 1). In addition, the gap (S) should be sufficiently larger than the width of the knife edge tip of the loading tool (l_k) to avoid loading two columnar test pieces at the same time. See Figures 1 and 3.

6.2 Preparation of test pieces

A number of columnar test pieces with the same manufacturing process and conditions are obtained, since a plurality of columnar test pieces are prepared on the same substrate.

The test pieces should satisfy the following two items:

- a) Test pieces should be prepared on a substrate through an almost identical manufacturing process and under the same manufacturing conditions as those applied when fabricating the thin film of the device to be evaluated;
- b) More than ten columnar test pieces should be prepared on the same substrate at the same time. Then, adhesive testing should be performed using more than ten columnar test pieces under the same testing conditions (see Clause A.1).

7 Test conditions

7.1 Method for gripping

Substrate of test pieces shall be fixed according to the following two items:

- a) Substrate of test pieces shall be fixed at test device ensuring not to move during adhesive strength test. Clauses A.2 and A.3 of IEC 62047-2:2006 shall apply;
- b) Substrate of test pieces shall be fixed such as the loading direction of the test device is parallel with the substrate surface. See 7.3.

7.2 Speed of testing

Displacement speed or loading speed should be constant. As the speed of testing will depend upon the testing environment, the type of testing machine employed and the stiffness of the test piece, the speed shall be the one which is more suitable for the particular combination of environment, material, test piece, and testing machine. Generally, the speed of testing should be chosen properly depending on the application of the materials.

7.3 Alignment of test piece

The alignment of the test piece shall satisfy the following item:

- a) The surface of the test piece substrate shall be parallel to the axis of loading direction within 3° accuracy. See Figure 3 a) ;

In addition, the alignment of loading equipment and substrate should satisfy the following three items:

- b) Contact surface of the loading knife edge shall be normal to the plane including loading axis and normal of a test piece substrate. See Figure 3 b);

- c) In the case of the bend type test, the distance between the loading tool and the substrate, l_t should be larger than 10 % of the columnar length (l_c) to avoid contact between each other. See Figure 2 a);
- d) In the case of the shear type test, the tip of loading tool should be kept at a distance (l_t) from the substrate to avoid contact between each other. l_t should be within a range of 10 % of the columnar diameter (D), provided that D is 10 μm and larger. l_t should be within 1 μm , provided that D is less than 10 μm . See Figure 2 b).

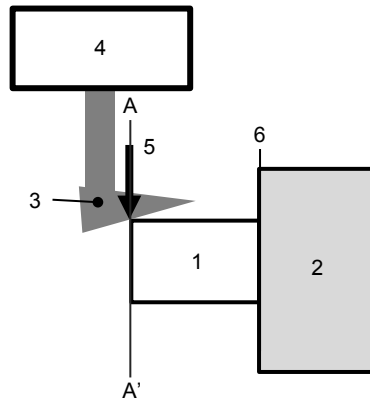


Figure 3a – Side view of columnar test piece and loading tool

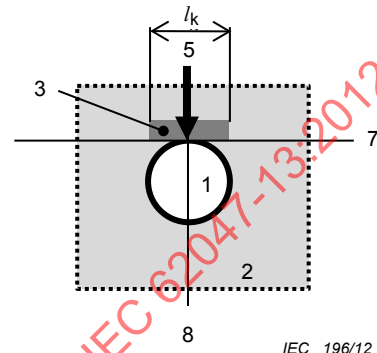


Figure 3b – Cross-section of A-A'

Key

Configurations or specimen		Direction or plane for alignment	
1	Columnar test piece	5	Loading axis (loading direction)
2	Test piece substrate	6	Surface of test piece substrate
3	Loading tool	7	Contact surface of the loading knife edge
4	Load cell	8	Plane including loading axis and normal of a test piece substrate
l_k	width of the knife edge tip		

Figure 3 – Alignment between columnar test piece and loading tool

7.4 Test environment

As the environment greatly affects the adhesive properties of micro-materials, the test temperature and humidity should be controlled within $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $\pm 5\%$, respectively.

8 Test report

Test reports shall include at least the following:

- reference to this standard, i.e. IEC 62047-13;
- materials of the columnar test piece and substrate;
- dimensions of the columnar test piece and substrate as well as spacing between adjacent columnar test piece;
- preparation method of test piece and the details;
- test conditions such as test device and test loading condition;
- test environment such as temperature and humidity;
- measurement results and calculated adhesive strength.

Annex A (informative)

Technical background

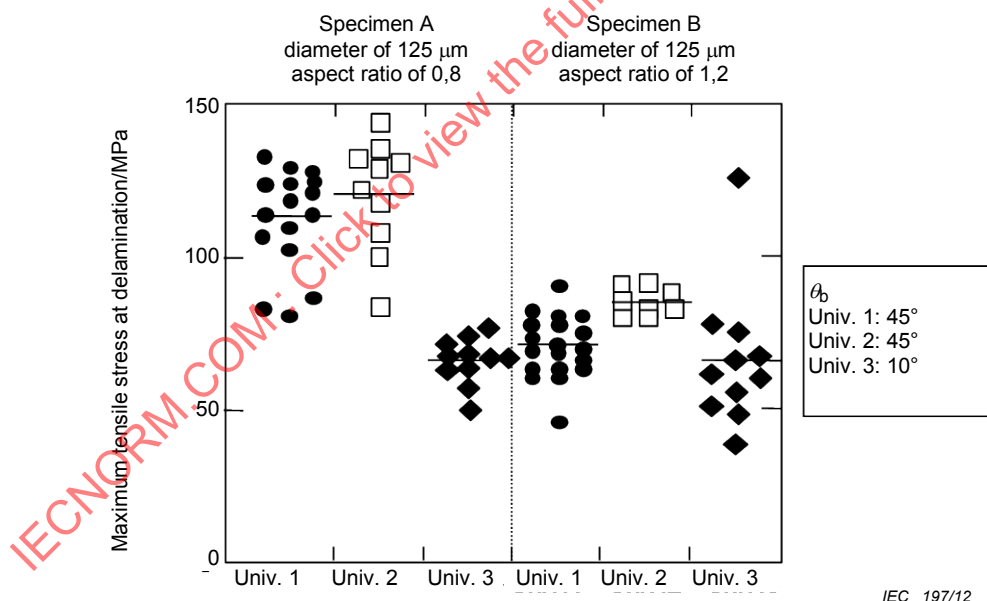
A.1 Outline of round-robin tests performed in Germany and Japan

Validities of adhesive strength test methods between a micro-sized columnar test piece and a substrate described in Clause 4, as well as the testing method presented in this standard are verified as results of round-robin tests (RRT) described as follows.

Round-robin tests (RRT) were performed from 2008 to 2009 in Germany and Japan. The RRT were carried out with the participation of several universities in Germany and Japan.

The materials used in the RRT were epoxy type photoresist, SU-8 and silicon wafer. Several different dimensions of SU-8 columnar test pieces were prepared for the RRT. A number of the micro-sized columnar test pieces with each dimension were fabricated on each wafer under the same manufacturing condition. The RRT were carried out using each particular material testing machine for micro-sized materials in each institute, which can apply precise displacement and/or force with constant rate. Adhesive tests were carried out under displacement control mode and both force and displacement were measured during the tests. The adhesive strengths were compared within each of the different-sized columnar test pieces. On the basis of finding from the RRT, this standard was developed.

Figure A.1 shows an example of the testing results obtained from the RRT in each institute.



NOTE 1 This graph shows one of the RRT results, which is obtained from bend type tests using two different-sized SU-8 columns on Si substrate. 10 to 20 test pieces of each different-sized column were tested in each institute, because adhesive strength data tend to be scattered.

NOTE 2 In columnar test pieces with an aspect ratio of 1,2 (specimen B), the maximum tensile stress at delamination (the adhesive bend strength) is about the same in each laboratory.

NOTE 3 In columnar test pieces with an aspect ratio of 0,8 (specimen A), the adhesive bend strength is about the same as that in specimen B, when the knife edge angle of the loading tool (θ_b) is 10°. On the other hand, the adhesive bend strength is larger than that in specimen B, when θ_b is 45°.

Figure A.1 – Example of the RRT results (see [1]¹)

¹ Figures in square brackets refer to the bibliography.

A.2 Effects of the aspect ratio of columnar test piece on the adhesive bend strength in bend type test

This standard utilizes columnar shape as the adhesive test piece for evaluation of adhesive strength between micro-sized components and a substrate in MEMS. A reason to adopt the shape is that point loading at the end of the column is possible in the adhesive tests under bend loading condition. Therefore, proper loading can be applied to the end of the columnar specimen under the point loading mode without the strict adjustment for alignment.

However, consideration shall be given to the effects of the aspect ratio of the columnar specimens on adhesive strength obtained from the adhesive testing under the bend loading condition. Figure A.2 shows that the proportion of the shear stress to the maximum tensile stress increases when decreasing the aspect ratio.

In case of a columnar test piece with an aspect ratio of less than 0,5, there is high possibility that the delamination occurs by the shear stress because the proportion of the shear stress becomes larger, as shown in Figure A.2. Hence, the columnar test piece with the aspect ratio shall adopt shear loading type.

In the case of a columnar test with an aspect ratio of 0,5 to 1,2, the effective stress for delamination is transferred from the shear stress to the maximum tensile stress when increasing the aspect ratio as shown in Figure A.2. That is to say, it is not clear which causes the delamination: the shear stress, the maximum tensile stress or mixture of them. Therefore, it is recommended that the bend type test does not applied to the columnar test piece within the aspect ratio of 0,5 to 1,2.

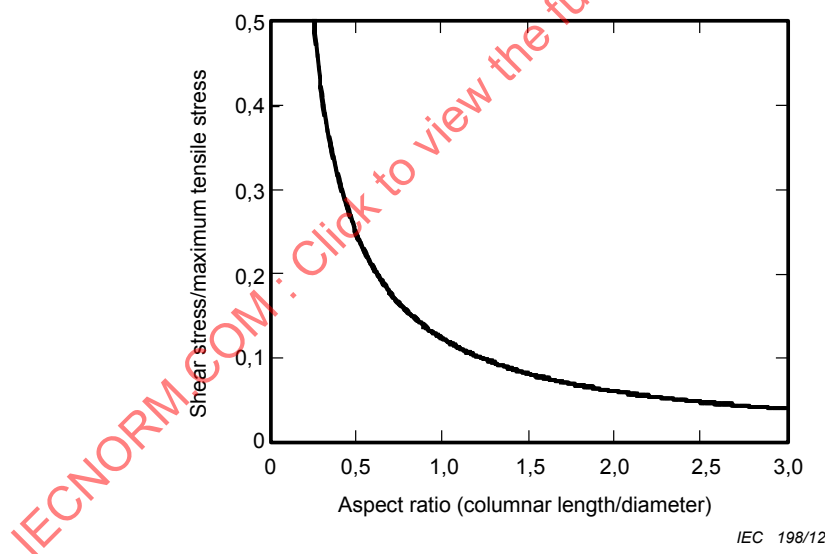
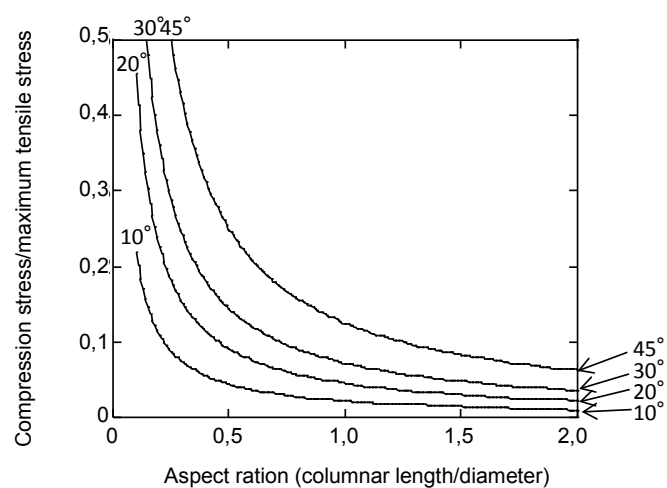


Figure A.2 – Effects of aspect ratio of columnar test piece on the stress condition in bend type test (see [2])

A.3 Effects of knife edge angle of loading tool on the adhesive bend strength in bend type test

In the case of the bend type test, the proportion of compression stress at the adhesive joint area to maximum tensile stress at the columnar root increases when increasing the knife edge angle of loading tool (θ_b). The effects cannot be neglected at the larger angle of θ_b as shown in Figure A.3. Hence, θ_b should be within the range of 10° to 20° in the bend type test.



IEC 199/12

NOTE Each line in this graph shows the calculated result using each different knife edge angle of loading tool to the lateral face of columnar test piece.

Figure A.3 – Effects of knife edge angle of loading tool and aspect ratio of columnar test piece on the stress condition in bend test

Bibliography

- [1] Toshikazu Tasaki, Tso-Fu Mark Chang, Chiemi Ishiyama, Masato Sone, *Study on delamination mechanism of SU-8 micropillars on a Si-substrate under bend loading by Weibull analysis* Microelectronic Engineering 88 (2011) 2132–2134
- [2] Chiemi Ishiyama, Akinobu Shibata, Masato Sone, and Yakichi Higo Effects of Aspect Ratio of Photoresist Patterns on Adhesive Strength between Microsized SU-8 Columns and Silicon Substrate under Bend Loading Condition Japanese Journal of Applied Physics 49 (2010) 06GN14

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-13:2012

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-13:2012

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	17
1 Domaine d'application	19
2 Références normatives	19
3 Termes et définitions	19
4 Méthode d'essai	20
4.1 Généralités	20
4.2 Analyse des données	22
5 Equipement d'essai	22
5.1 Généralités	22
5.2 Actionneur	22
5.3 Capteur de mesure de la force	22
5.4 Système d'alignement	23
5.5 Appareil enregistreur	23
6 Echantillons d'essai	23
6.1 Conception des échantillons d'essai	23
6.2 Préparation des échantillons d'essai	23
7 Conditions d'essais	23
7.1 Méthode de préhension	23
7.2 Vitesse d'essai	24
7.3 Alignement de l'échantillon d'essai	24
7.4 Environnement d'essai	25
8 Rapport d'essai	25
Annexe A (informative) Contexte technique	26
Bibliographie	30
Figure 1 – Échantillons d'essai en colonnes	20
Figure 2 – Méthode de l'essai de la résistance d'adhérence	21
Figure 3 – Alignement d'une échantillon d'essai en colonnes et d'un outil de charge	24
Figure A.1 – Exemple de résultats des RRT (voir Bibliographie [1])	27
Figure A.2 – Effet du rapport de forme de l'échantillon d'essai en colonnes sur la contrainte de traction dans des conditions d'effort de courbure (see Bibliography [2])	28
Figure A.3 – Effets de l'angle de la lame de couteau de l'outil de charge et du rapport de forme de l'échantillon d'essai en colonnes sur la condition de contrainte en essai de type courbure	29

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

Partie 13: Méthodes d'essais de types courbure et cisaillement de mesure de la résistance d'adhérence pour les structures MEMS

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 62047-13 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/109/FDIS	47F/119/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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-13:2012

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

Partie 13: Méthodes d'essais de types courbure et cisaillement de mesure de la résistance d'adhérence pour les structures MEMS

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62047 spécifie la méthode d'essai d'adhérence entre des éléments microminiaturisés et un substrat au moyen d'éprouvettes de forme en colonnes. La présente norme internationale peut être appliquée à la mesure de la résistance d'adhérence des microstructures, préparées sur un substrat, dont la largeur et l'épaisseur sont de 1 μm à 1 mm, respectivement.

Les éléments microminiaturisés de dispositifs MEMS sont composés de couches stratifiées de configuration fine sur un substrat, qui sont fabriquées par dépôt, métallisation, et/ou revêtement avec photolithographie. Les dispositifs MEMS comprennent un grand nombre d'interfaces entre des matériaux dissemblables, sur lesquels se produit occasionnellement un décollement interlaminaire au cours de la fabrication ou du fonctionnement. La combinaison des matériaux à la jonction détermine la résistance d'adhérence; de plus, les défauts et une contrainte résiduelle au voisinage de l'interface, qui varient de par les conditions de traitement, influent fortement sur la résistance d'adhérence. La présente norme spécifie la méthode d'essai d'adhérence pour les éléments microminiaturisés, en vue d'une sélection optimale des matériaux et des conditions de traitement pour les dispositifs MEMS.

La présente norme ne présente pas de restrictions particulières relatives au matériau des éprouvettes d'essai, à la taille de ces dernières, ni à la performance du dispositif de mesure, étant donné que les matériaux et la taille des composants des dispositifs MEMS comportent une large gamme et que les machines d'essais pour les matériaux microminiaturisés n'ont pas été généralisées.

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 62047-2:2006, *Dispositifs à semi-conducteurs – Dispositifs microélectromécaniques – Partie 2: Méthode d'essai de traction des matériaux en couche mince*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1

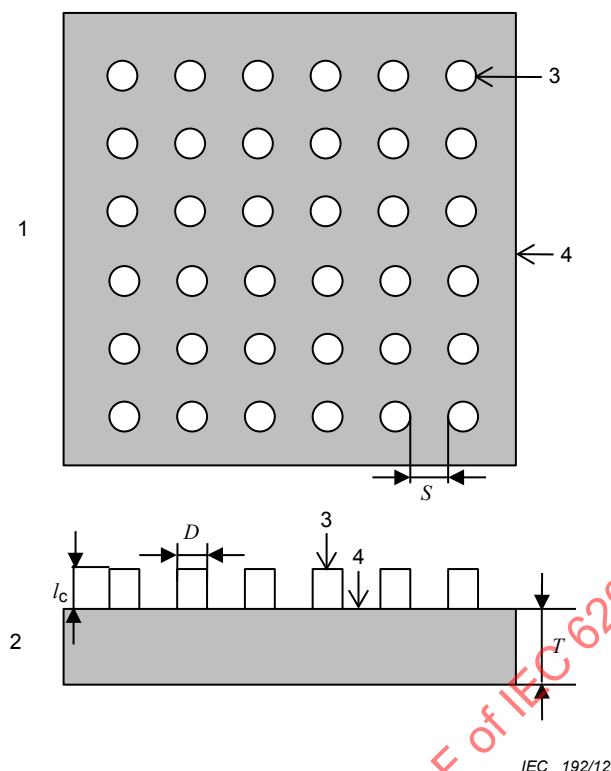
résistance d'adhérence à la courbure

résistance nominale à la rupture au voisinage de la zone de liaison adhésive, par mode de courbure

3.2

résistance d'adhérence au cisaillement

résistance nominale à la rupture au voisinage de la zone de liaison adhésive, par cisaillement



Légende

	Configurations ou éprouvette		Dimensions de l'éprouvette
1	Vue de dessus	D	Diamètre de l'éprouvette d'essai en colonnes
2	Vue latérale	l_c	Longueur de l'éprouvette d'essai en colonnes
3	Éprouvette d'essai en colonnes	l_c/D	rapport de forme de l'éprouvette d'essai en colonnes
4	Substrat	T	épaisseur de substrat
		S	espacement entre les éprouvettes d'essais en colonnes

Figure 1 – Éprouvettes d'essai en colonnes

4 Méthode d'essai

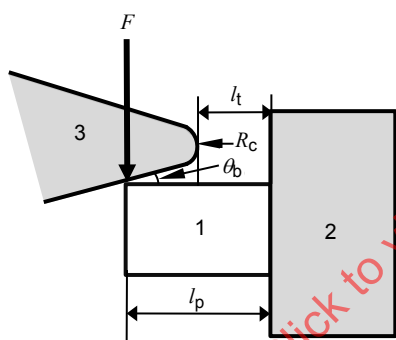
4.1 Généralités

La présente norme spécifie les méthodes d'essais d'adhérence entre une éprouvette d'essai en colonnes (voir Figure 1) et le substrat. Le déplacement ou la force est appliqué à une éprouvette d'essai en colonnes à une vitesse constante et la force lors du décollement interlaminaire est mesurée pour analyser la résistance d'adhérence entre l'éprouvette d'essai en colonnes et le substrat. Un outil en forme de lame de couteau à pointe conique est utilisé en tant qu'outil de charge, pour appliquer la force à une éprouvette d'essai en colonnes. On modifie un angle de la lame de couteau par types de charge de mesure de la résistance d'adhérence, de la façon suivante.

Dans le cas de la mesure de la résistance d'adhérence à la courbure en appliquant une force de courbure à l'extrémité d'une éprouvette d'essai en colonnes (essai de type courbure), la lame de couteau de l'outil de charge est utilisée en inclinant son sommet vers le haut par rapport à l'éprouvette d'essai comme représenté à la Figure 2 a). Dans ce cas, il est plus aisé d'aligner l'outil de charge et l'éprouvette d'essai car une charge concentrée est appliquée à l'extrémité de l'éprouvette d'essai en colonnes. Il convient de veiller à ce que l'essai de type courbure ne soit pas une flexion pure, ce qui inclut une composante de compression à la racine en colonnes. La composante de compression augmente avec l'augmentation de l'angle

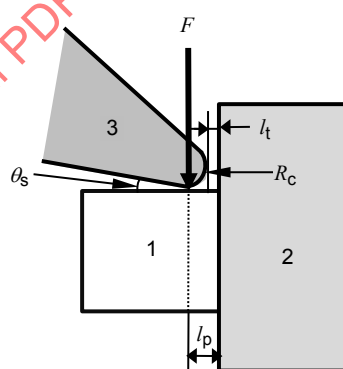
de contact de la lame de couteau. Afin de réduire l'effet de la composante de compression, il convient que l'angle de contact de la lame de couteau (θ_b) se situe dans une plage comprise entre 10° et 20°.

Dans le cas d'une mesure de la résistance d'adhérence au cisaillement en appliquant une force de cisaillement sur la face latérale d'une éprouvette d'essai en colonnes (essai de type cisaillement), une charge en ligne est appliquée à l'éprouvette d'essai au moyen d'un outil de charge qui est parallèle à la face latérale du cylindre, comme l'illustre la Figure 2 b). Dans un tel cas, il convient que l'appareillage d'essai comporte un système d'alignement précis, qui permette l'alignement de la lame de couteau parallèlement à la face latérale du cylindre. Ou en variante, la lame de couteau de l'outil de charge est utilisée en inclinant son sommet vers le bas par rapport à l'éprouvette d'essai comme le montre la Figure 2 b), en vue de réduire les effets liés à la contrainte de courbure (voir l'Article A.2). Il convient que l'erreur d'angle (θ_s) se situe dans une plage comprise entre 0° et 15°. Il convient de noter que, les résultats d'essai de l'essai de type courbure sont affectés par le rapport de forme (l_c/D), lorsque le rapport de forme est inférieur à 1,2. Voir l'Article A.2. En outre, il convient de ne pas appliquer l'essai de type courbure à l'éprouvette d'essai en colonnes dont le rapport de forme est inférieur à 0,5; parce que les effets du rapport de forme sur le cisaillement et la contrainte de compression au voisinage de la zone de liaison adhésive augmentent de manière significative avec la baisse du rapport de forme. Voir les Articles A.2 et A.3.



IEC 193/12

Figure 2a – Essai de type courbure



IEC 194/12

Figure 2b – Essai de type cisaillement

NOTE Cette figure illustre les deux types de la méthode d'essai prévue pour mesurer la résistance d'adhérence entre une éprouvette d'essai en colonnes et le substrat.

Légende

	Configurations ou éprouvette	Fourniture et dimensions de l'éprouvette
1	Éprouvette d'essai en colonnes	F effort de charge fourni par un certain type d'actionneur
2	Substrat	l_p distance entre la position de la charge et le substrat
3	Lame de couteau de l'outil de charge	l_t distance entre la pointe de l'outil de charge et le substrat
		θ_b angle situé entre la face latérale d'une éprouvette d'essai en colonnes et la face de contact de la lame de couteau pour l'essai de type courbure
		θ_s angle situé entre la face latérale d'une éprouvette d'essai en colonnes et la face de contact de la lame de couteau pour l'essai de type cisaillement

Figure 2 – Méthode d'essai de la résistance d'adhérence

4.2 Analyse des données

Dans l'essai de résistance d'adhérence par effort de courbure, la résistance d'adhérence à la courbure est calculée par l'Équation suivante (1).

$$\sigma_a = \frac{M_a}{Z} = \frac{32F_{\max}l_p}{\pi D^3} = \frac{32F_{\max}l_c}{\pi D^3} \quad (1)$$

où

σ_a est la résistance d'adhérence à la courbure;
 Z est le module de section d'une éprouvette d'essai en colonnes;
 M_a est le moment de courbure lors du décollement interlaminaire;
 $F_{\max}$ est la charge maximale lors du décollement interlaminaire;
 l_p est le point d'application de la charge depuis la racine d'une éprouvette d'essai en colonnes.

Dans l'essai de résistance d'adhérence par effort de cisaillement, la résistance d'adhérence au cisaillement est calculée par l'Équation suivante (2).

$$\tau_a = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{4F_{\max}}{\pi D^2} \quad (2)$$

où

τ_a est la résistance d'adhérence à la courbure;
 A est la zone de liaison adhésive entre une éprouvette d'essai en colonnes et le substrat;
 $F_{\max}$ est la charge maximale lors du décollement interlaminaire.

Dans un essai de type effort de courbure, il est exigé de prêter attention à l'éventualité d'une exfoliation due à la force de cisaillement, si le rapport de forme (l_c/D) de l'éprouvette d'essai en colonnes est inférieur à 1,2. Voir 4.1 et l'Article A.2.

5 Equipement d'essai

5.1 Généralités

L'équipement d'essai doit être en mesure d'appliquer à l'éprouvette d'essai un déplacement microscopique ou une force de niveau micro. L'équipement d'essai est constitué d'un actionneur prévu pour appliquer un déplacement, d'un capteur de mesure de la force, d'un régulateur permettant d'appliquer le déplacement ou la force à une vitesse constante, d'un système d'alignement entre l'éprouvette d'essai et l'outil de charge, et d'un appareil enregistreur destiné à détecter la charge lors du décollement interlaminaire.

5.2 Actionneur

Il convient d'appliquer le déplacement ou la force de manière linéaire le long de l'axe de charge de l'éprouvette d'essai à une vitesse constante. De ce fait, l'actionneur doit être en mesure d'appliquer linéairement le déplacement ou la force à une vitesse constante.

5.3 Capteur de mesure de la force

Une cellule de charge dotée d'une résolution suffisante, qui garantisse une précision de 5 % de la résistance d'adhérence mesurée, doit être utilisée pour mesurer la force. Le capteur de force doit être réglé pour mesurer la force dans le sens de la charge. La lame de couteau de

L'outil de charge doit être située à l'intérieur de la surface de mesure utile du capteur de force. Voir la Figure 3.

5.4 Système d'alignement

Le système d'alignement doit permettre l'alignement entre l'éprouvette d'essai et l'outil de charge dans la position appropriée, en vue d'appliquer le déplacement ou la force dans l'axe approprié (voir 7.3).

5.5 Appareil enregistreur

L'équipement d'essai doit comprendre un appareil enregistreur, en vue de détecter la force lors du décollement interlaminaire.

6 Eprouvettes d'essai

6.1 Conception des éprouvettes d'essai

Il convient que l'éprouvette d'essai satisfasse aux deux points suivants:

- Les dimensions d'une éprouvette d'essai, telles que le diamètre et la longueur en colonnes, sont recommandés pour être du même ordre que la taille des parties d'un dispositif à évaluer;
- Il est recommandé que chaque espacement entre les éprouvettes d'essai (S) soit supérieur à deux fois le diamètre de l'éprouvette d'essai en colonnes (D) et la longueur de l'éprouvette d'essai (l_c), afin d'empêcher l'éprouvette d'essai d'exercer une influence sur l'essai de l'éprouvette d'essai adjacente (voir la Figure 1). De plus, il est recommandé que l'espacement (S) soit suffisamment supérieur à la largeur d'une pointe de lame de couteau de l'outil de charge (l_k) pour empêcher de soumettre à l'effort deux éprouvettes d'essai en colonnes en même temps. Voir les Figures 1 et 3.

6.2 Préparation des éprouvettes d'essai

Un certain nombre d'éprouvettes d'essai en colonnes impliquant les mêmes processus et conditions de fabrication est obtenu, étant donné que plusieurs éprouvettes d'essai en colonnes sont préparées sur le même substrat.

Il convient que les éprouvettes d'essai satisfassent aux deux points suivants:

- Il convient de préparer les éprouvettes d'essai sur un substrat par le biais d'un processus de fabrication et de conditions de fabrication quasiment identiques à ceux appliqués dans le cas de fabrication de couche mince d'un dispositif devant être évalué;
- Il convient de préparer un nombre d'éprouvettes d'essai en colonnes supérieur à dix sur le même substrat, en même temps. Puis, il convient de réaliser l'essai d'adhérence au moyen de plus de dix numéros d'éprouvettes d'essai en colonnes dans les mêmes conditions d'essais (voir l'Article A.1).

7 Conditions d'essais

7.1 Méthode de préhension

Le substrat des éprouvettes d'essai doit être fixé en répondant aux deux points suivants:

- Le substrat des éprouvettes d'essai doit être fixé au dispositif d'essai, de telle manière à assurer son immobilité pendant l'essai de résistance d'adhérence. Les Articles A.2 et A.3 de la CEI 62047-2:2006 doivent s'appliquer;
- Le substrat des éprouvettes d'essai doit être fixé dans un sens tel que le sens de charge du dispositif d'essai soit parallèle à la surface du substrat. Voir le 7.3.

7.2 Vitesse d'essai

Il convient que soit constante la vitesse de déplacement ou la vitesse de charge. Comme la vitesse d'essai dépend de l'environnement d'essai, du type de machine d'essai employé, et de la rigidité de l'éprouvette d'essai, la vitesse doit être celle qui est la plus appropriée pour la combinaison particulière d'environnement, de matériau, d'éprouvette et de machine d'essai. Généralement, il convient de choisir correctement la vitesse d'essai en fonction de l'application des matériaux.

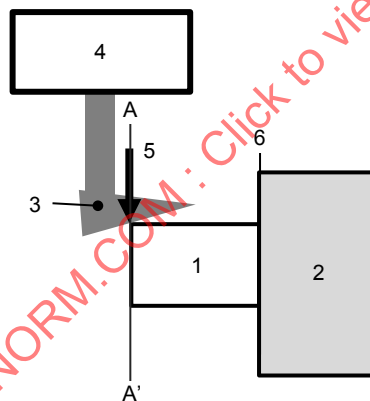
7.3 Alignement de l'éprouvette d'essai

L'alignement de l'éprouvette d'essai doit satisfaire le point suivant:

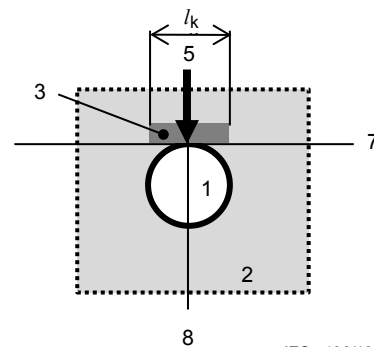
- a) La surface du substrat de l'éprouvette d'essai doit être parallèle à l'axe du sens de la charge à une précision de 3°. Voir la Figure 3 a);

De plus, il convient que l'alignement de l'équipement de charge et du substrat satisfasse aux trois points suivants:

- b) La surface de contact de la lame de couteau de charge doit être normale au plan comprenant l'axe de charge et être normale sur le substrat de l'éprouvette d'essai. Voir la Figure 3 b);
- c) Dans le cas de l'essai de type courbure, il convient que la distance entre l'outil de charge et le substrat, l_t soit supérieure à 10 % de la longueur colonnaire (l_c) afin d'éviter le contact entre les deux. Voir la Figure 2 a);
- d) Dans le cas de l'essai de type cisaillement, il convient de maintenir la pointe de l'outil de charge à une certaine distance (l_t) du substrat pour éviter le contact entre les deux. Il convient que la distance l_t se situe dans une plage de 10 % du diamètre colonnaire (D), à condition que D soit supérieur ou égal à 10 μm . Il convient que l_t soit à 1 μm près, à condition que D soit inférieur à 10 μm . Voir Figure la 2 b).



IEC 195/12



IEC 196/12

Figure 3a – Vue latérale d'une éprouvette d'essai en colonne et outil de charge

Figure 3b – Section A-A'

Légende

Configurations ou éprouvette	Sens ou plan de l'alignement
1 Éprouvette d'essai en colonnes	5 Axe de la charge (sens de la charge)
2 Substrat de l'éprouvette d'essai	6 Surface du substrat de l'éprouvette d'essai
3 Outil de charge	7 Surface de contact de la lame de couteau de charge
4 Cellule de charge	8 Plan incluant l'axe de charge et normal sur le substrat d'une éprouvette d'essai
l_k largeur de la pointe de la lame de couteau	

Figure 3 – Alignement d'une éprouvette d'essai en colonnes et d'un outil de charge

7.4 Environnement d'essai

Comme l'environnement compromet grandement les propriétés d'adhérence des micromatériaux, il convient de réguler la température d'essai et l'humidité à $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $\pm 5\%$, respectivement.

8 Rapport d'essai

Les rapports d'essai doivent inclure au moins les informations suivantes:

- a) la référence à la présente norme, c'est-à-dire la CEI 62047-13;
- b) les matériaux de l'éprouvette d'essai en colonnes et du substrat;
- c) les dimensions de l'éprouvette d'essai en colonnes et du substrat, ainsi que l'espacement entre les éprouvettes d'essai adjacentes;
- d) la méthode de préparation de l'éprouvette d'essai et les détails;
- e) les conditions d'essai telles que celles liées au dispositif d'essai et celles de la charge d'essai;
- f) l'environnement d'essai tel que la température et l'humidité;
- g) les résultats de mesure et la résistance d'adhérence calculée.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-13:2012