

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices –
Part 9: Wafer to wafer bonding strength measurement for MEMS**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositif microélectromécaniques –
Partie 9: Mesure de la résistance de collage de deux plaquettes pour les MEMS**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-9:2011



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2011 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
Email: inmail@iec.ch
Web: 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.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

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

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

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.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices –
Part 9: Wafer to wafer bonding strength measurement for MEMS**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositif microélectromécaniques –
Partie 9: Mesure de la résistance de collage de deux plaquettes pour les MEMS**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

T

ICS 31.080.99

ISBN 978-2-88912-585-2

CONTENTS

FOREWORD.....	4
1 Scope	6
2 Normative references	6
3 Measurement methods	6
3.1 General	6
3.2 Visual test	6
3.2.1 Types of visual test	6
3.2.2 Equipment	7
3.2.3 Procedure	7
3.2.4 Expression of results	7
3.3 Pull test	7
3.3.1 General	7
3.3.2 Equipment	8
3.3.3 Procedure	8
3.3.4 Expression of results	9
3.4 Double cantilever beam test using blade	9
3.4.1 General	9
3.4.2 Equipment	11
3.4.3 Procedure	11
3.4.4 Expression of results	11
3.5 Electrostatic test	12
3.5.1 General	12
3.5.2 Equipment	13
3.5.3 Procedure	13
3.5.4 Expression of results	14
3.6 Blister test	14
3.6.1 General	14
3.6.2 Preparation of the specimens	15
3.6.3 Test apparatus and testing method	15
3.6.4 Report	16
3.7 Three-point bending test	16
3.7.1 General	16
3.7.2 Preparation of the specimens	17
3.7.3 Test apparatus and testing method	18
3.7.4 Report	19
3.8 Die shear test	19
3.8.1 General	19
3.8.2 Preparation of the specimens	20
3.8.3 Test apparatus	21
3.8.4 Test method	21
3.8.5 Shear bonding strength	22
3.8.6 Report	22
Annex A (informative) Example of bonding force	23
Annex B (informative) An example of the fabrication process for three-point bending specimens	24
Bibliography	25

Figure 1 – Bonding strength measurement – pull test.....	8
Figure 2 – Bonding strength measurement – double cantilever beam (DCB) test specimen using blade	10
Figure 3 – Bonding strength measurement – electrostatic test.....	13
Figure 4 – A specimen for blister test	15
Figure 5 – Three-point bending specimen and loading method	17
Figure 6 – Specimen geometry of three-point bending specimen	18
Figure 7 – Die shear testing set-up.....	19
Figure 8 – Size requirement of control tool and specimen	20
Figure 9 – Example of bonded region in test piece.....	20
Figure 10 – Setting of contact tool.....	22
Figure A.1 – An example of bonding force or load measurement with time at constant rate of upper fixture moving	23
Figure B.1 – An example of specimen preparation for three-point bending test	24
Table 1 – Example of visual test.....	7
Table 2 – Example of pull test.....	9
Table 3 – Example of Double Cantilever Beam test using blade	12
Table 4 – Example of electrostatic test	14

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-9:2011

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SEMICONDUCTOR DEVICES – MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –

Part 9: Wafer to wafer bonding strength measurement for MEMS

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 62047-9 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/82/FDIS	47F/92/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 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.

The contents of the corrigendum of March August 2012 have been included in this copy.

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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-9:2011

SEMICONDUCTOR DEVICES – MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –

Part 9: Wafer to wafer bonding strength measurement for MEMS

1 Scope

This standard describes bonding strength measurement method of wafer to wafer bonding, type of bonding process such as silicon to silicon fusion bonding, silicon to glass anodic bonding, etc., and applicable structure size during MEMS processing/assembly. The applicable wafer thickness is in the range of 10 μm to several millimeters.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application 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 60749-19, *Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods – Part 19: Die shear strength*

ISO 6892-1: 2009, *Metallic materials – Tensile testing – Part1: Method of test at room temperature*

ASTM E399-06e2: 2008, *Standard Test Method for Linear-Elastic Plane-Strain Fracture Toughness K_{Ic} of Metallic Materials*

3 Measurement methods

3.1 General

There are different ways to measure bonding strength such as visual test, pull test, double cantilever beam test using blade, electrostatic test, blister test, three-point bend test, and die shear test.

3.2 Visual test

3.2.1 Types of visual test

From colour change of silicon substrate and surface of glass, this method tells you only a general information like whether the material is bonded or not. The visual test shall be performed to confirm whether substantial other bonding tests are required, and/or to identify the area that the bonding tests shall be conducted.

Optical microscope shall be used to evaluate the bonding interface of glass to silicon and glass to glass.

An infrared (IR) camera shall be used to observe voids existing in the bonding interface of silicon to silicon

NOTE Visual test is a simple qualitative test method.

3.2.2 Equipment

One or a few equipments of optical microscope, scanning acoustic microscope, scanning electron microscope (SEM), transmission electron microscope (TEM), and IR or optical camera can be used.

3.2.3 Procedure

Steps to measure voids areas are as follows:

- To observe voids, use the IR or optical microscope.
- To take images of voids, use the IR or optical camera, or scanning acoustic microscope.
- Measure voids areas using the observed images.

3.2.4 Expression of results

Check and simply indicate using the mark “V” the observation result based on Note 1 in Table 1 for each case.

Table 1 – Example of visual test

	good	fair	poor
Visual test			

NOTE 1 good – complete bonded area fraction larger than 95 %, fair – complete bonded area fraction larger than 75 %, poor – complete bonded area fraction less than 75 %.

3.3 Pull test

3.3.1 General

As shown in Figure 1 this method is used to measure wafer bonding strength using general tensile test method. After preparing for bonded wafer using various methods, a bonded wafer is divided to square shaped specimens by dicing process. After dicing, dimensions of areas (A) are measured. Top-side and back-side of a specimen of wafer bonded are glued to top stud connected with load cell and bottom stud, respectively, using selective adhesive. And then it is pulled upward until fracturing. In case that the wafer-to-wafer bonding to be tested is very strong, fracture often occurs from the adhesive. In the case, pull test is not applicable. Therefore, pull test is applicable only the case that bonding is not very strong and fracture occurred at the bonding interface. During pulling process, applied force or fracture force (F_c) is measured with time as shown in Annex A. Therefore, bonding strength could be calculated by Equation (1).

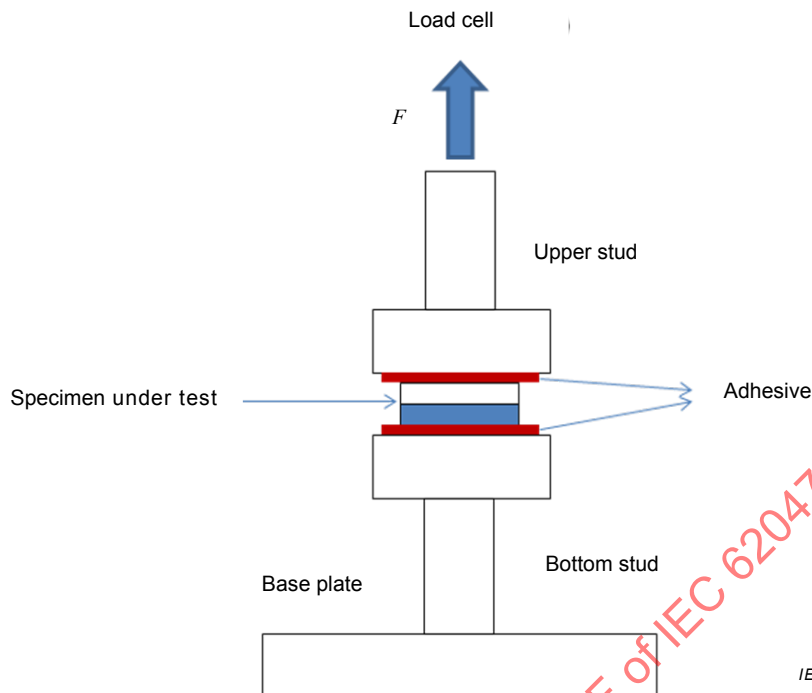
$$\sigma_c = \frac{F_c}{A} \quad (1)$$

where

σ_c is bonding strength when debonding or fracture occurs;

F_c is applied force (fracture force) when the debonding or fracture occurs;

A is the area of the test sample.



Key

Components

specimen under test:	a dice of bonded wafer
adhesive:	to glue with upper stud and bottom stud
upper stud:	to connect with a load cell
bottom stud:	to connect with a base plate
base plate:	fixture to keep a rigid state

Connections and supplies

load cell:	variable source of force
F	force: supplying for a testing specimen

Figure 1 – Bonding strength measurement – pull test

3.3.2 Equipment

General tensile tester with force meter or load cell should be used as shown in ISO 6892.

3.3.3 Procedure

Steps to observe fractured specimens are as follows:

- After bonding processes, for example, silicon to silicon bonding, silicon to glass bonding, bonded wafers are cut into square shape with dimension, for example, 5 mm by 5 mm to 10 mm by 10 mm using dicing process. Maximum load to specimens is limited by the capacity of load cell. So, maximum specimen size is also limited by the capacity of load cell. And the accuracy of load cell shall be equal to or less than 1 % of full scale and 1 % of reading.
- Specimens attached to upper and lower studs using adhesive. Adhesives should be well selected through consideration of specifications of them to endure until fracturing. And adhesive should not be applied at sides of bonded wafers.
- Lower stud is fixed to the bottom of apparatus and upper stud is connected to load cell or force meter to measure stress at fracture of specimens at room temperature. Stress vs. time curve shows maximum stress at fracture. Loading rate is in the range of 0,5 mm/min

to 1,5 mm/min. From fracture load data, we can calculate maximum strength. An example of load vs. time curve is shown in Annex B.

- d) After fracturing, observe fractured specimens by optical microscope or SEM.
- e) At least 10 specimens shall be tested for reliable data.

3.3.4 Expression of results

Check and write the force measured value in Table 2.

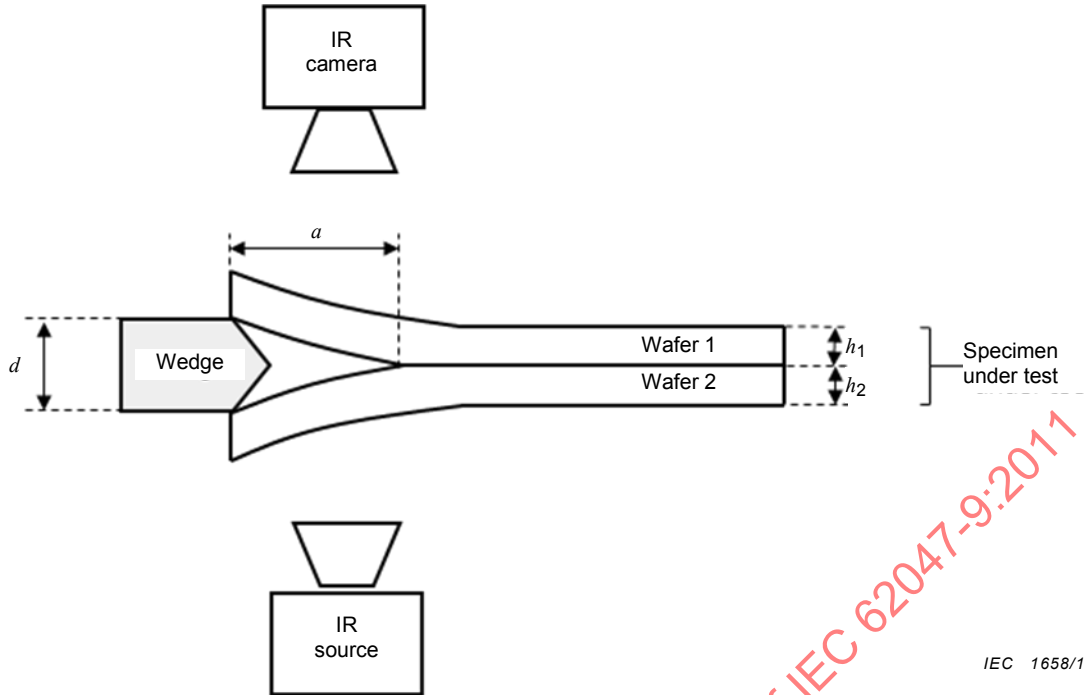
Table 2 – Example of pull test

Reference standard	
Type of material (fabrication method)	
Bonding method	
Shape and size of specimen	
Type of adhesive (or glue)	
Number of specimen	
Loading speed	
Measured fracture force (F_c)	
Bonded area of the test specimen (A)	
Bonding strength (σ_c)	

3.4 Double cantilever beam test using blade

3.4.1 General

The wedge-opening test is also called the double cantilever beam test (DCB) as shown in Figure 2. This testing method is suitable for bonded wafers using silicon to silicon fusion bonding and anodic bonding. In case that examined wafer-to-wafer bonding is too strong, one of the bonded wafers often breaks during this test procedure. In such a case, this method cannot be used as a quantitative test but as a qualitative test.



IEC 1658/11

Key

Components or observation tool

Dimensions of components

specimen under test:	a piece of wafer bonded with different kinds of wafer 1 and wafer 2.	h_1 :	thickness of wafer 1
wafer 1:	bonded with wafer 2	h_2 :	thickness of wafer 2
wafer 2:	bonded with wafer 1	a :	cracking length of split state layer between bonded wafer 1 and wafer 2
wedge:	part of a blade to drive a cracking layer in the specimen	d :	thickness of wedge part of the blade
IR source:	infrared beam source		
IR camera:	to measure cracked state length of the specimen		

Figure 2 – Bonding strength measurement – double cantilever beam (DCB) test specimen using blade

The crack length is resulted from energy balance between strain energy of freely loaded cantilevers and bonding energy at the bonding interface. Therefore, in this method, bonding strength is evaluated not by fracture stress but by critical strain energy release rate. Critical strain energy release rate is calculated as follows

$$G_c = \frac{3}{8} \frac{E_1 E_2 h_1^3 h_2^3}{(E_1 h_1^3 + E_2 h_2^3)} \frac{d^2}{a^4} \quad (2)$$

where

G_c is critical strain energy release rate (interfacial fracture toughness),

E_1 and E_2 are elastic coefficient of wafer 1 and 2;

h_1 and h_2 are thickness of wafer;

d is thickness of blade;

a is crack length.

In case of $E_1=E_2$ and $h_1= h_2$, Equation (2) becomes

$$G_c = \frac{3}{16} \frac{E h^3 d^2}{a^4} \quad (3)$$

In case of $h_1 \ll h_2$, Equation (2) becomes

$$G_c = \frac{3}{8} \frac{E_1 h_1^3 d^2}{a^4} \quad (4)$$

3.4.2 Equipment

Blade to test and sample fixture to fix should be used [1]¹.

Recommended blade thicknesses are in the range of 30 µm to 200 µm.

3.4.3 Procedure

- After bonding processes, for example, silicon to silicon bonding, silicon to glass bonding, the bonded wafer pair is cut into strips with the edges of wafers on at least one of their ends. Width of strip specimens should be smaller than the width of the blade.
- Set the stripe specimen to the sample fixture.
- Insert a blade from one end of the stripe specimen using a gap resulted from rounded wafer edges. Drive a crack along interface.
- Measure the crack length using an optical or IR camera, or a scanning acoustic microscope.
- Calculate the interfacial fracture toughness using Equation (2)
- At least 10 specimens should be tested for reliable data.

3.4.4 Expression of results

Write the measured values in Table 3. Then calculate G_c according to Equation (2), (3) or (4) and write the value in Table 3.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

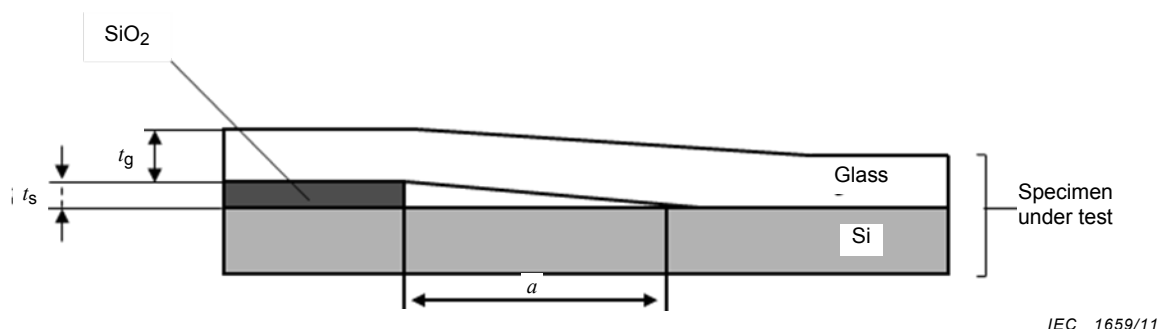
Table 3 – Example of Double Cantilever Beam test using blade

Shape of bonded specimen	
Fixing method of specimen	
Inserting speed of blade (optional)	
Number of specimens	
Crack length (a)	
Thickness of blade (d)	
Material of wafer 1	
Material of wafer 2	
Thickness of wafer 1 (h_1)	
Thickness of wafer 2 (h_2)	
Elastic coefficient of wafer 1 (E_1)	
Elastic coefficient of wafer 2 (E_2)	
Critical strain energy release rate (G_c)	

3.5 Electrostatic test

3.5.1 General

As shown in Figure 3, between Si wafer with patterned SiO_2 films and glass wafer, anodic bonding is done. Ranges of wafer thicknesses are normally 50 μm to 1 mm. By the measurement of unbonded lengths depended on bonding strengths around patterned SiO_2 films on Si wafer, we can compare bonding strengths of anodic bonded wafers. So, this method is convenient to utilize and allows you to compare qualitative bonding strength. The measurement condition was at room temperature. Wafer level sizes in the range of 1 " to 8 " or chip level sizes in the range of 1 cm^2 to 4 cm^2 are suitable for this experimental. Even though this method could be used for bonded wafer using other bonding methods, in order to avoid the difficulty to observe the unbonded length after bonding, it is better to use for only anodic bonded wafer between Si and glass wafers.



Key

Configurations or specimen

Dimensions of specimen under test

specimen under test:	bonded piece between Si wafer with patterned SiO ₂ films and glass wafer	t_g :	thickness of glass
SiO ₂ :	patterned film state layer bonded with a kind of glass layer and a silicon layer	t_s :	thickness of silicon
Si: silicon base layer	to be observed unbonded length at a cross sectional view	a :	unbonded length
glass:	layer bonded with Si and SiO ₂ by anodic bonding processes		

Figure 3 – Bonding strength measurement – electrostatic test

3.5.2 Equipment

Anodic bonder shall be used. General anodic bonder consists of vacuum chamber, holders for holding top wafer and bottom wafer before bonding process, load cell to push top wafer toward bottom wafer for initial bonding, electrical system to supply negative field to positive ion contained wafer, for example, Na⁺ contained glass, and heater to maintain constant temperature during process.

3.5.3 Procedure

Steps to measure the length of the unbonded area are as follows:

- In order to make specimens, the anodic bonding between Si wafer with patterned SiO₂ films and glass wafer is performed. SiO₂ thickness is more than 1 μm [2]. Anodic bonding is a simple process to join together a silicon wafer and a alkali ion containing glass substrate. The bonding is performed at a temperature between 200 °C and 500 °C in vacuum, air or in an inert gas environment. The application of 500 V to 1500 V across the two substrates, with the glass held at negative potential, causes mobile positive ions (mostly Na⁺) in the glass to migrate away from the silicon glass interface toward the cathode, leaving behind fixed negative charges in the glass. The bonding is complete when the ion current vanishes, indicating that all mobile ions have reached the cathode. The electrostatic attraction between the fixed negative charge in the glass and positive mirror charge induced in the silicon holds the two substrates together and facilitates the chemical bonding of glass to silicon [3]. Make the sample as shown in Figure 3 using anodic bonding process.
- Measure the length of the unbonded area using optical microscope or SEM (scanning electron microscope) for cross-section observation.
- At least ten specimens shall be tested for reliable data.

3.5.4 Expression of results

Write the measured values in Table 4. This method is not exact quantitative method, but qualitative method. It is better that only this method could be used for quick and simple comparison method.

Table 4 – Example of electrostatic test

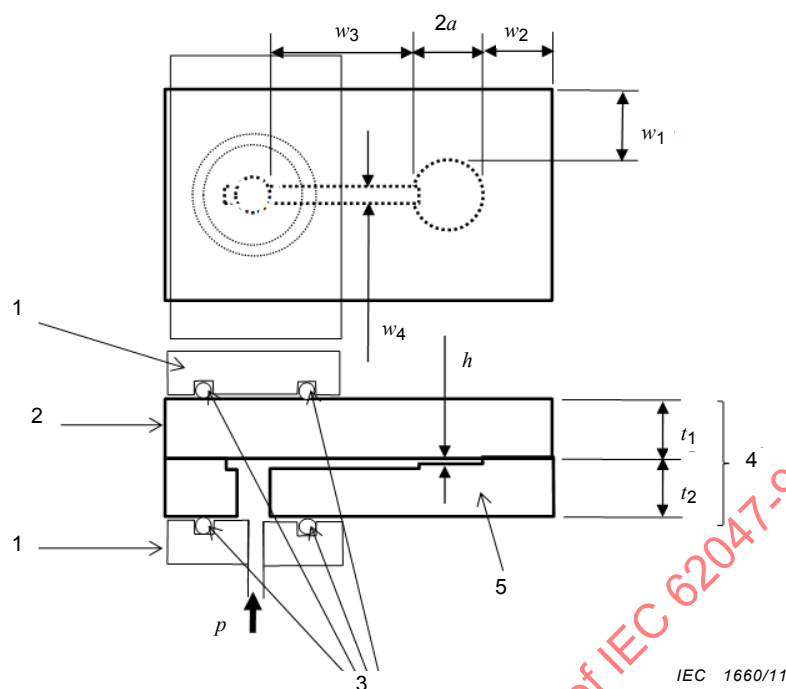
Bonding temperature	
Applied voltage	
Applied time of voltage	
Heating and cooling speed	
Thickness of SiO ₂	
SiO ₂ pattern (dotted or linear)	
Shape of bonded specimen	
Testing temperature and humidity	
Glass Material	
Elastic coefficient of Glass (E_g)	
Thickness of glass (t_g)	
Thickness of silicon (t_s)	
Unbonded length (a)	

3.6 Blister test

3.6.1 General

Blister test is suitable for evaluation of strong bond which is difficult to be evaluated by tensile test and double cantilever beam test. Tensile test has a problem of debonding from adhesive glue. Double cantilever beam test has a problem of breaking one of the bonded wafers before crack driving through the bonding interface. Blister test can minimize these problems. This testing method can be applied to any type of wafer bonding, provided that specimens can be prepared.

In this test, a bonded specimen with a hole, a channel and a thin cavity as shown in Figure 4 is used. Hydrostatic pressure line is connected to the specimen by mechanical clamping using a flange and a back side plate with O-rings. Through the hole and channel, hydrostatic pressure is applied to two inner surface of the cavity until debonding takes place.

**Key**

- 1 a part of flange
- 2 a front side plate
- 3 O-rings
- 4 specimen
- 5 a back side plate

Figure 4 – A specimen for blister test**3.6.2 Preparation of the specimens**

The hole, channel, and cavity structure should be made on one of the bonded wafers before bonding using a micro-fabrication method such as photolithography and etching, which do not introduce micro cracks. The shape of the cavity should be circle or square. Then the wafer is bonded to another wafer. After bonding, the bonded wafer pair is diced into the shape shown in Figure 4. Recommended dimensions of the specimen are as follows:

- $a > 5t_1, 5t_2$
- $w_1, w_2 > 2a$
- $w_3 > 4a$
- $w_4 < a/5$
- $h < t_1/20, t_2/20$

3.6.3 Test apparatus and testing method**3.6.3.1 Number of specimens**

At least ten specimens shall be measured.

3.6.3.2 Fixing of specimens

Hydrostatic pressure line is connected to the specimen by mechanical clamping using a flange and a back side plate with O-rings.

3.6.3.3 Applying hydrostatic pressure and bonding strength measurement

Hydrostatic pressure is applied to the cavity using gas pressure. Pressure increasing rate should be controlled by gas flow controller. The gas pressure should be gradually increased so that quasi-static conditions are satisfied. The pressure should be monitored by pressure gauge until the debonding. Debonding can be detected by specimen fracture, sudden decrease of gas pressure. Optical observation by visible light for transparent materials or by IR light for silicon is also effective to detect the initiation of debonding.

3.6.3.4 Environmental control

The temperature and humidity shall be kept at constant levels in the test environment during the test.

3.6.4 Report

The test report shall include details on all of the following points, at minimum:

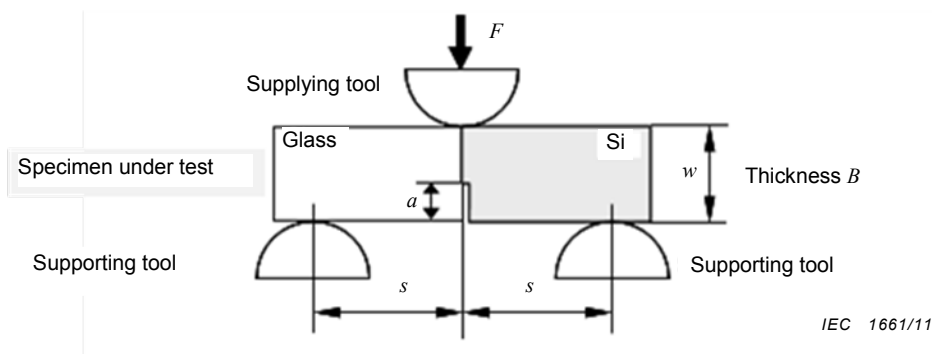
- a) reference to this standard;
- b) the bonded materials;
- c) the method and conditions of bonding;
- d) the shape of the specimen;
- e) the pressure at the debonding.

3.7 Three-point bending test

3.7.1 General

As shown in Figure 5, this testing method is a measurement method for evaluating the bond strength of bonding wafers by three-point bending. A specimen cut from the bonded wafer, in which an unbonded region is introduced into the interface, is subjected to a three point bending test to fracture the bonded interface. The bending fracture stress is then calculated with Equation (5).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-9:2011



Key			
Configurations or specimen		Supply and dimensions of specimen under test	
specimen under test:	region bonded piece between Si wafer and glass layer with unbonded	w:	width of the specimen
Si	bonded with a kind of glass layer	B:	thickness of the specimen
glass:	a kind of layer bonded with Si layer	a:	length of the unbonded region
supporting tools :	a kind of tools to receive loading force through testing specimen	s:	length of the span between tops of supporting tools
supplying tool	a kind of tool to apply loading force supplied from a load cell	F:	loading force supplied by a kind of load cell

Figure 5 – Three-point bending specimen and loading method

$$\sigma_c = \frac{6 F_c S}{B (W - a)^2} \tag{5}$$

- where
- σ_c is fracture stress;
 - F_c is fracture force of the specimen;
 - S is span;
 - W is width of the specimen;
 - B is thickness of the specimen;
 - a is length of the unbonded region.

This testing method can be applied to any type of bonding wafers, provided that specimens can be prepared. It has been developed for use with specimens of about 1 mm in thickness, in order to minimize the size effect.

3.7.2 Preparation of the specimens

A process as similar as possible to that applied to the device should be used to fabricate the test piece, including the bonding interface. The dimensions of specimens shown in Figure 6 are recommended as standard sizes. An unbonded region shall be introduced into the specimen in the manner shown in the figure. The recommended combination of the length (S), the width (W), and the length of the unbonded region (a) can be found by referring to Annex A3 of ASTM E399-06e2:2008. The width of the unbonded regions should be 0,01 mm. An example of the process to prepare the specimens is shown in Annex B. As the size may differ from specimen to specimen, all of the dimensions shall be measured before testing. These measurements shall have an accuracy of $\pm 1 \%$.

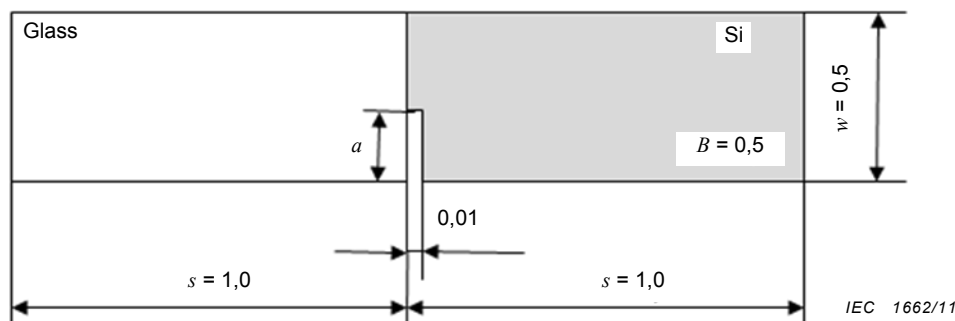


Figure 6 – Specimen geometry of three-point bending specimen

3.7.3 Test apparatus and testing method

3.7.3.1 Number of specimens

At least ten specimens shall be measured.

3.7.3.2 Fixing of specimens

The specimen shall be fixed to apply a three-point bending load, as shown in Figure 5. The following conditions shall be ensured during this step:

- the bonding boundary of the specimen and the loading axis of the test equipment are aligned;
- the specimen is set in a position where force can be applied parallel to the bonding boundary.

A good way to achieve this condition is to magnify the specimen fixture and loading part with an optical microscope. The rollers used to apply the load should be made from a material that will not significantly deform under the force applied during the testing. The recommended roller radius is 0,3 mm.

3.7.3.3 Applying force

The force should be applied with a mechanical testing machine capable of applying compressive loads on micro materials. Instrumented indentation equipment can be also used. The bonding boundary of the specimen and the loading axis of the testing equipment shall be aligned to ensure that the force is applied uniformly at the bonding interface.

3.7.3.4 Speed of testing

The load should be applied to the specimen at a loading speed of 0,1 mm/min using a fine drive mechanism that allows displacement control.

3.7.3.5 Force measurement

The force measurement shall be performed with a load cell (force sensor) with a guaranteed resolution accuracy of 5 % of the measured fracture force.

3.7.3.6 Environmental control

The temperature and humidity shall be kept at constant levels in the test environment during the test.

3.7.3.7 Calculation of bending fracture stress

The bending fracture stress shall be calculated by Equation (5).

3.7.4 Report

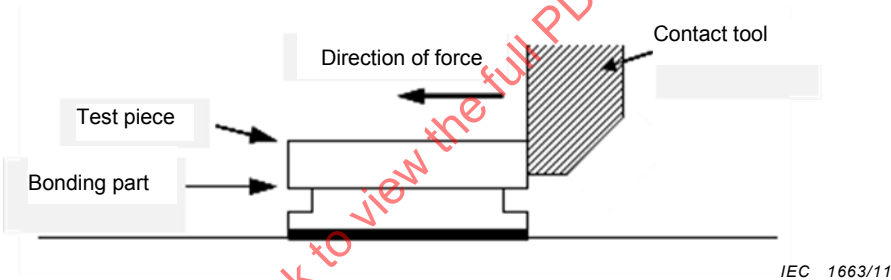
The test report shall include details on all of the following points, at minimum:

- a) reference to this standard;
- b) the bonded materials;
- c) the method and conditions of bonding;
- d) the shape of the specimen;
- e) the bending fracture stress.

3.8 Die shear test

3.8.1 General

The Die Shear Test is a method for measuring the shear bonding strength, as shown in Figure 7. One side of the bonding wafer is fixed, and shear force is applied to the other side of the wafer with a contact tool. The shear bonding force at the point of debonding is calculated by Equation (6).



Key

Configurations or specimen

- test piece: bonded piece of Si wafer with a bonded region
- bonding part: bonded layer within the bonded piece

Supplies

- direction of force: loading force supplied a kind of load cell
- contact tool: to supply loading force to a side surface of the bonded piece

Figure 7 – Die shear testing set-up

$$\tau_c = \frac{Q_c}{A_b} \tag{6}$$

where

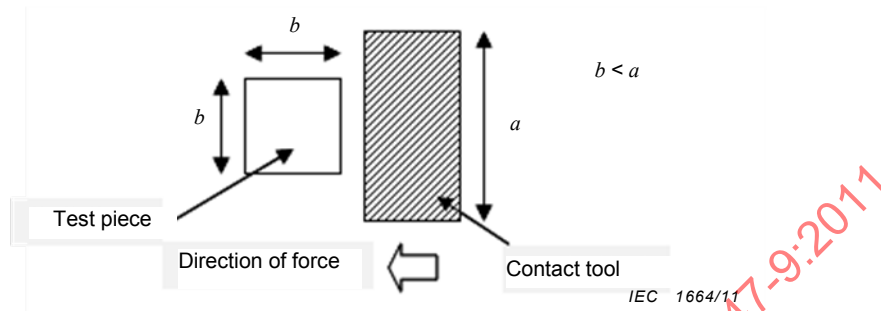
- τ_c is shear bonding strength;
- Q_c is shear force at the point of debonding;
- A_b is bonded area.

IEC 60749-19 has already been established for die shear testing to assess the strength of solder joints. The same standard can be applied for the measurement of wafer bonding strength for MEMS devices by reducing the dimensions of the specimens down to several millimeters and accounting for the method of specimen fabrication.

3.8.2 Preparation of the specimens

3.8.2.1 Shape and dimensions

The plane shape of the specimen should be several millimeters square. The length of one side of the specimen shall be smaller than that of the contact tool (see Figure 8). The thickness of each specimen should be determined based on the thicknesses of the wafers.



Key

Specimen and contact tool to supply loading force

test piece:	bonded piece of a kind of diced wafer with a bonded region
contact tool:	supply loading force to a side surface of the bonded piece

Supply and dimensions of specimen under test

direction of force:	loading force supplied a kind of load cell
a:	length of a side of the contact tool to receive loading force by a load cell
b:	length of sides of the bonded piece

Figure 8 – Size requirement of control tool and specimen

3.8.2.2 Bonded region

To avoid damaging the bonded region during dicing, the bonded region shall be formed in the middle of the specimen. An unbonded region, meanwhile, should be prepared around the edge of the specimen (See Figure 9). If the bond is not to be patterned, however, the bonded region can be extended to the edges. The area and shape of the bonded region should have the same dimensions in all specimens.

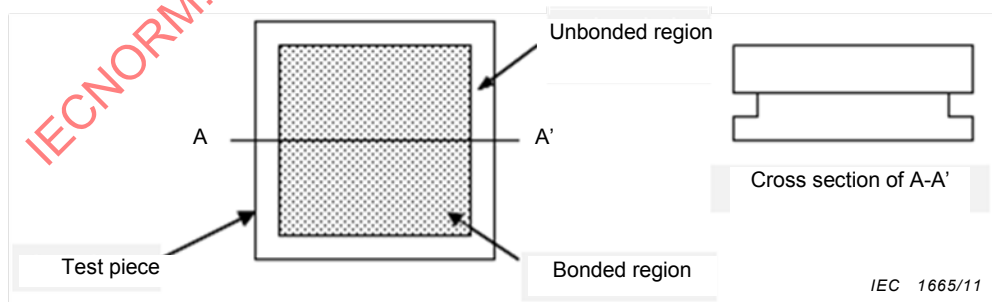


Figure 9 – Example of bonded region in test piece

3.8.2.3 Method for fabricating the specimen

The wafers shall be bonded after the bonded region is patterned, then diced after the bonding process is completed. The size of the planar shape and thickness of the specimens shall be measured after the patterning, bonding, and dicing.

3.8.3 Test apparatus

The apparatus for this testing shall be equipped with a force-applying instrument with an accuracy of 5 % of the full scale or 500 mN, whichever corresponds to greater tolerance. For testing, the apparatus should consist of a lever or linear motion force-applying instrument capable of applying the required stress. The test equipment shall also have the following features and capabilities:

- a) a contact tool capable of applying uniform force to the edge of the specimen;
- b) the contact tool shall be vertical to the edge of the specimen;
- c) a fixture with rotational capability relative to the specimen and the contact tool, to ensure line contact with the edge of the specimen. This tool shall come into contact with the whole edge of the specimen;
- d) a facility fitted with a suitable light source to allow visual observation (e.g., at 10 x magnification) of the specimen and contact tool during testing.

3.8.4 Test method

3.8.4.1 Number of specimens

At least ten specimens shall be measured.

3.8.4.2 Fixing specimens

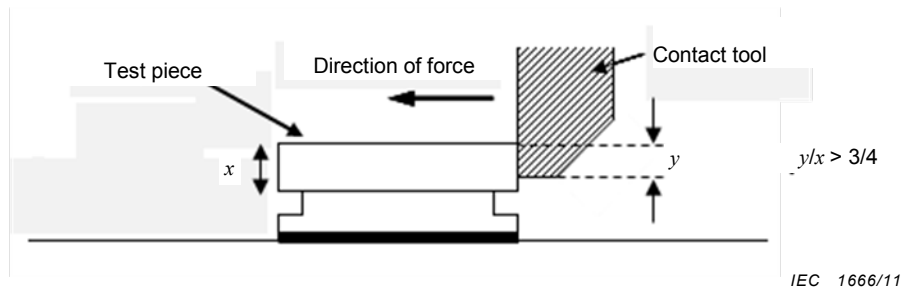
The specimen shall be fixed by pressing down on a chip formed from one side of the wafer, or with a sufficiently strong adhesive. If adhesive is used, steps should be taken to ensure that no adhesive flows to the top chip.

3.8.4.3 Applying shear force

The shear force shall be applied using the equipment specified in 3.8.3. The force shall be applied continuously to the specimen until the bonded interface incoherence. A shear force speed of approximately 0,1 mm/min is recommended.

The following precautionary steps are to be observed when conducting the test:

- a) when using a linear motion force-applying instrument, the direction of applied force shall be perpendicular to the specimen. The contact tool shall stay in contact with the entire edge of the specimen;
- b) the contact tool shall load against the edge of the specimen that most closely approximates a 90 ° angle (see Figure 10);
- c) the contact tool shall stay in contact with at least 3/4 of the thickness of the top chip (the side that is not fixed) (see Figure 10);
- d) the contact tool shall not move vertically relative to the specimen.



Key

Specimen and contact tool to supply loading force

Supply and dimensions of specimen under test

test piece: bonded piece of a kind of diced wafer with a bonded region

direction of force:

loading force supplied a kind of load cell

contact tool: supply loading force to a side surface of the bonded piece

x :

length of upper side layer of the bonded piece

y :

length of a side contacting with the contact tool to receive loading force by a load cell

Figure 10 – Setting of contact tool

3.8.5 Shear bonding strength

The shear bonding strength shall be calculated by Equation (6) based on the shear force (F_c) when decohesion occurs and the bonded area (A) measured after the test. The bonded area and size of the bonding part shall both be measured, as the shear bonding strength depends on both.

3.8.6 Report

The test report shall include details on all of the following points, at minimum:

- reference to this standard;
- structure, dimensions, materials, bonding conditions, and fabrication method for specimens;
- number of specimens;
- debonding criteria;
- shear force speed;
- shear bonding strength;
- fracture modes (interface failure or cohesion failure) and percentages.

Annex A (informative)

Example of bonding force

An example of bonding force or load measurement with time at constant rate of upper fixture moving is shown in Figure A.1. Specimen was fabricated by anodic bonding process between 500 μm thick Si wafer and 500 μm thick glass wafer. And bonded wafer was diced to form 5 mm by 5 mm square shape.

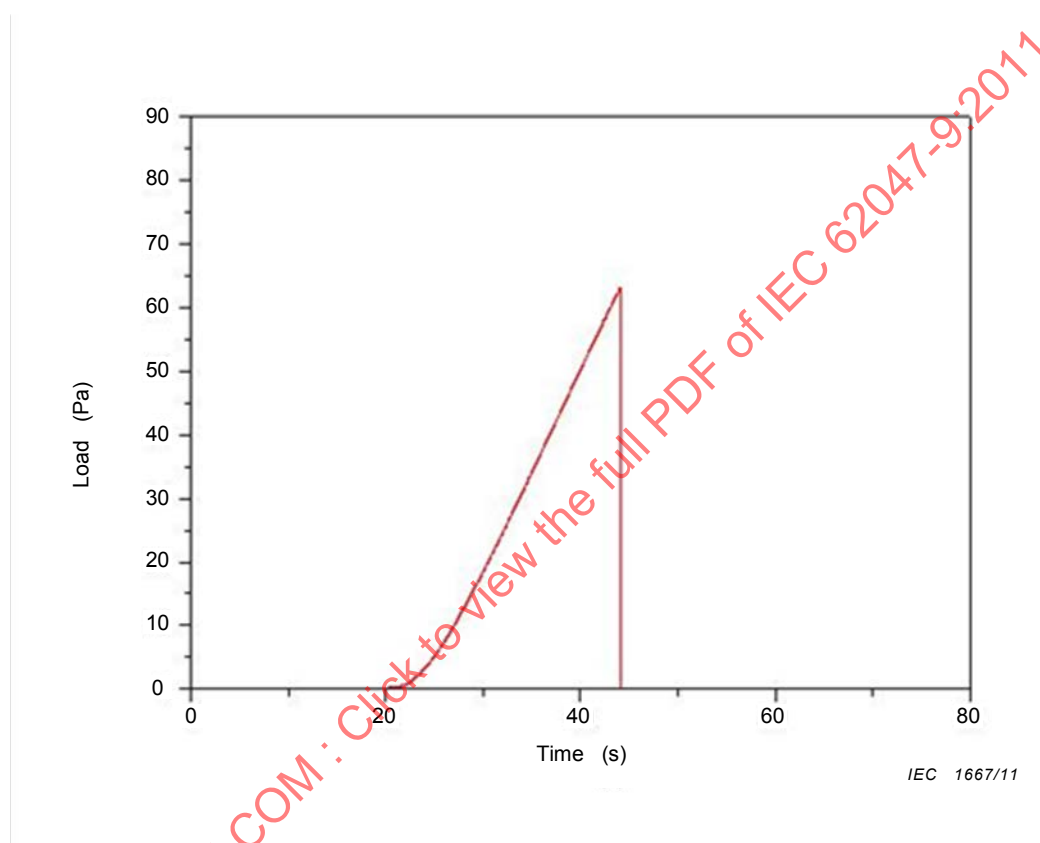


Figure A.1 – An example of bonding force or load measurement with time at constant rate of upper fixture moving

Annex B (informative)

An example of the fabrication process for three-point bending specimens

Several methods can be used to prepare the specimens for three-point bending. Figure B.1 shows an example of a method for fabricating bonded specimen for glass and silicon wafers.

Fabricate a 100 mm diameter bond between a 1 mm thick glass wafer and single crystalline silicon wafer of the same dimensions by anodic bonding. First, apply resist to the top of a silicon wafer with a thickness of 1 mm, then expose and develop to pattern the resist. Next, dry etch (ICP-RIE) the silicon wafer and mark the surface of the silicon substrate with a 2 μm indentation to form the artificial unbonded part. Remove the resist again, reapply, and expose and develop once more to set the pattern for forming silicon posts of the same width as the joints. Next, form the silicon posts by dry etching (ICP-RIE) the silicon wafer to a depth of 10 μm . Remove the resist, wash the silicon wafer and glass substrate in a mixed solution of sulfuric acid and hydrogen peroxide solution, and anodically bond the tops of the silicon posts and glass substrate. After bonding, separate the joints into the predetermined specimen shapes using half-cut and full-cut dicing. After bonding, separate the joints into the predetermined specimen shapes using half-cut and full-cut dicing.

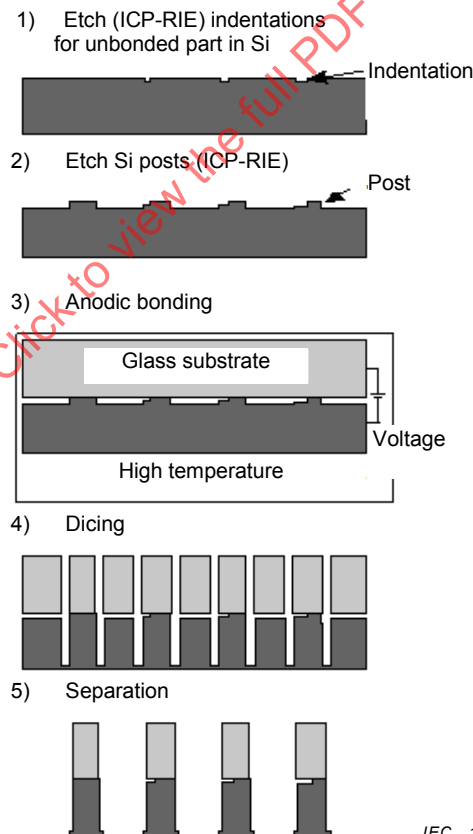


Figure B.1 – An example of specimen preparation for three-point bending test

Bibliography

- [1] T. Martini, J. Steinkirchner, and U. Gösele, J. Electrochem. Soc., Vol. 144, No. 1, January (1997) 354-357
- [2] D. Pasquariello, K. Hjort, J. Electrochem. Soc., Vol. 147, No. 6, (2000) 2343-2346.
- [3] Nadim Maluf, Kirt Williams, *Introduction to Microelectromechanical Systems Engineering*, Artech House (2004) p. 55.
- [4] IEC 62047-2, Ed. 1: *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 2: Tensile testing method of thin film materials*
- [5] ASTM E8M, *Standard test methods for tension testing of metallic materials*
- [6] IEC 60747-14-1: *Semiconductor devices – Part 14-1: Semiconductor sensors – General and classification*
- [7] IEC 62047-4, Ed. 1: *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 4: Generic specification for MEMS*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-9:2011

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	28
1 Domaine d'application	30
2 Références normatives	30
3 Méthodes de mesure	30
3.1 Généralités.....	30
3.2 Essai visuel	30
3.2.1 Types d'essais visuels	30
3.2.2 Équipement	31
3.2.3 Procédure.....	31
3.2.4 Expression des résultats	31
3.3 Essai de traction.....	31
3.3.1 Généralités	31
3.3.2 Équipement	32
3.3.3 Procédure.....	32
3.3.4 Expression des résultats	33
3.4 Essai double poutre utilisant une lame	33
3.4.1 Généralités	33
3.4.2 Équipement	35
3.4.3 Procédure.....	35
3.4.4 Expression des résultats	35
3.5 Essai électrostatique	36
3.5.1 Généralités	36
3.5.2 Équipement	37
3.5.3 Procédure.....	37
3.5.4 Expression des résultats	38
3.6 Essai de cloquage	38
3.6.1 Généralités	38
3.6.2 Préparation des éprouvettes.....	39
3.6.3 Méthode d'essai et appareillage d'essai	39
3.6.4 Rapport	40
3.7 Essai de courbure à trois points	40
3.7.1 Généralités	40
3.7.2 Préparation des éprouvettes.....	41
3.7.3 Méthode d'essai et appareillage d'essai	42
3.7.4 Rapport	43
3.8 Essai de résistance d'une pastille au cisaillement.....	43
3.8.1 Généralités	43
3.8.2 Préparation des éprouvettes.....	44
3.8.3 Appareillage d'essai.....	45
3.8.4 Méthode d'essai.....	45
3.8.5 Résistance du collage au cisaillement	46
3.8.6 Rapport	46
Annexe A (informative) Exemple de force de collage	47
Annexe B (informative) Exemple de processus de fabrication d'éprouvettes de courbure à trois points	48
Bibliographie	49

Figure 1 – Mesure de la résistance de collage – essai de traction	32
Figure 2 – Mesure de la résistance de collage – éprouvette d'essai double poutre (DCB) utilisant une lame	34
Figure 3 – Mesure de la résistance de collage – essai électrostatique	37
Figure 4 – Éprouvette pour essai de cloquage	39
Figure 5 – Méthode de charge et éprouvette de courbure à trois points	41
Figure 6 – Géométrie de l'éprouvette de courbure à trois points	42
Figure 7 – Montage d'essai de résistance d'une pastille au cisaillement	43
Figure 8 – Exigences sur la taille de l'outil de contrôle et de l'éprouvette	44
Figure 9 – Exemple de région collée sur l'éprouvette d'essai	45
Figure 10 – Réglage de l'outil de contact	46
Figure A.1 – Exemple de force de collage ou de mesure de charge en fonction du temps d'une fixation supérieure se déplaçant à vitesse constante	47
Figure B.1 – Exemple de préparation d'éprouvettes pour l'essai de courbure à trois points	48
Tableau 1 – Exemples d'essais visuels	31
Tableau 2 – Exemples d'essai de traction	33
Tableau 3 – Exemple d'essai double poutre utilisant une lame	36
Tableau 4 – Exemples d'essais électrostatiques	38

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-9:2011

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIF MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

Partie 9: Mesure de la résistance de collage de deux plaquettes pour les 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 62047-9 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/82/FDIS	47F/92/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.

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.

Le contenu du corrigendum de mars 2012 a été pris en considération dans cet exemplaire.

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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-9:2011

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIF MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

Partie 9: Mesure de la résistance de collage de deux plaquettes pour les MEMS

1 Domaine d'application

La présente norme décrit une méthode de mesure de la résistance de collage de deux plaquettes, le type de processus de liaison, par exemple le collage par fusion de deux plaquettes de silicium, le collage anodique d'une plaquette de silicium et d'une plaquette de verre, etc., et la taille de la structure applicable pendant le traitement ou l'assemblage de systèmes microélectromécaniques (MEMS). L'épaisseur de plaquette applicable est dans la gamme comprise entre 10 μm et plusieurs millimètres.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application 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).

CEI 60749-19, *Dispositifs à semiconducteurs – Méthodes d'essais mécaniques et climatiques – Partie 19: Résistance de la pastille au cisaillement*

ISO 6892-1:2009, *Matériaux métalliques – Essai de traction – Partie 1: Méthode d'essai à température ambiante*

ASTM E399-06e2, 2008, *Standard Test Method for Linear-Elastic Plane-Strain Fracture Toughness K_{Ic} of Metallic Materials* (disponible en anglais seulement)

3 Méthodes de mesure

3.1 Généralités

Il existe différentes façons de mesurer la résistance de collage, via notamment un essai visuel, un essai de traction, un essai double poutre utilisant une lame, un essai électrostatique, un essai de cloquage, un essai de pliage trois points, et un essai de résistance d'une pastille au cisaillement.

3.2 Essai visuel

3.2.1 Types d'essais visuels

Cette méthode, basée sur le changement de couleur du substrat de silicium et de la surface de verre, donne des informations d'ordre général, elle indique par exemple si le matériau est collé ou non. Un essai visuel doit être effectué pour déterminer si d'autres importants essais de liaison sont requis, et/ou pour identifier la région sur laquelle les essais de liaison doivent être effectués.

Un microscope optique doit être utilisé pour évaluer l'interface de liaison entre le verre et le silicium et entre le verre et le verre.

Une caméra infrarouge (IR) doit être utilisée afin d'observer les cavités présentes au niveau de l'interface de liaison entre deux plaquettes de silicium.

NOTE Un essai visuel constitue simplement une méthode d'essai qualitatif.

3.2.2 Équipement

Un seul ou quelques équipements peuvent être utilisés. Par exemple, un microscope optique, un microscope acoustique à balayage, un microscope électronique à balayage (MEB), un microscope électronique en transmission (MET) et une caméra IR ou optique.

3.2.3 Procédure

Les étapes pour mesurer les surfaces des cavités sont les suivantes:

- Pour observer les cavités, on utilise un microscope IR ou optique.
- Pour obtenir des images des cavités, on utilise une caméra IR ou optique ou encore un microscope acoustique à balayage.
- Mesurer les surfaces des cavités en utilisant les images observées.

3.2.4 Expression des résultats

Contrôler et indiquer simplement le résultat des observations basé sur Note 1 en utilisant le signe "V" dans le Tableau 1 pour chaque cas.

Tableau 1 – Exemples d'essais visuels

	bon	acceptable	mauvais
Essai visuel			

NOTE 1 bon – la fraction complète de la surface collée est supérieure à 95 %, acceptable – la fraction complète de la surface collée est supérieure à 75 %, mauvais – la fraction complète de la surface collée est inférieure à 75 %.

3.3 Essai de traction

3.3.1 Généralités

Comme cela est représenté à la Figure 1, cette méthode est utilisée pour mesurer la résistance de collage entre plaquettes en utilisant une méthode d'essai en traction générale. Une fois préparées par diverses méthodes, les plaquettes collées sont divisées en éprouvettes carrées à l'aide d'un processus de découpage en dés. Lorsque le découpage en dés est terminé, les surfaces (A) sont mesurées. Le dessus et le dessous d'une éprouvette de plaquettes collées sont collés à la tige supérieure, qui est connectée à un capteur de charge, et à la tige inférieure, respectivement, à l'aide d'un adhésif sélectif. La tige supérieure est alors tirée vers le haut jusqu'à la rupture de l'éprouvette. Dans le cas où la liaison de deux plaquettes à soumettre aux essais est très forte, la rupture se produit souvent au niveau de l'adhésif. Dans ce cas, l'essai de traction n'est pas applicable. Par conséquent, l'essai de traction s'applique uniquement dans le cas où la liaison n'est pas très forte et que la fracture se produit au niveau de l'interface de liaison. Pendant le processus de traction, la force appliquée ou la force de rupture (F_c) est mesurée en fonction du temps comme cela est représenté à l'Annexe A. Ainsi, la résistance de collage peut être calculée par l'Équation (1).

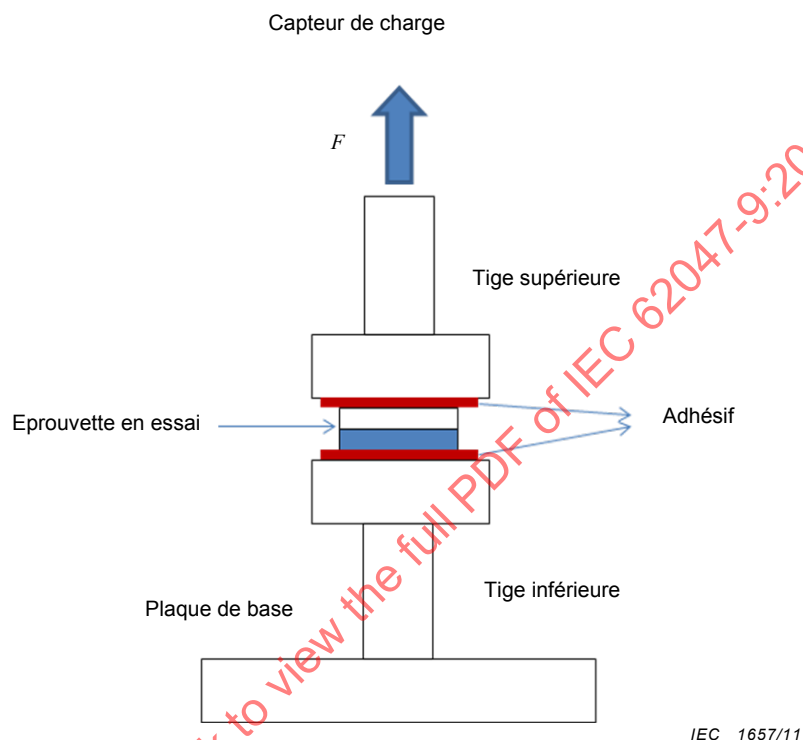
$$\sigma_c = \frac{F_c}{A} \quad (1)$$

où

σ_c est la résistance de collage à l'instant du décollement ou de la rupture;

F_c est la force appliquée (force de rupture) à l'instant du décollement ou de la rupture;

A est la surface de l'échantillon d'essai.



Légende

matériels

épreuve en essai: une découpe en dés de la plaquette collée

adhésif: pour coller avec la tige supérieure et la tige inférieure

tige supérieure: pour raccorder au capteur de charge

tige inférieure: pour raccorder à la plaque de base

plaque de base: fixation pour maintenir un état rigide

Connexions et alimentations

capteur de charge: source variable de force

F force: alimentation d'une épreuve d'essai

Figure 1 – Mesure de la résistance de collage – essai de traction

3.3.2 Équipement

Il convient d'utiliser un dynamomètre classique ou un capteur de charge comme cela est représenté dans la norme ISO 6892-1:2009.

3.3.3 Procédure

Les étapes pour observer les éprouvettes rompues sont les suivantes:

- a) Une fois la liaison effectuée, par exemple le collage de silicium sur du silicium ou le collage de silicium sur du verre, les plaquettes collées sont découpées en carrés de surface 5 mm par 5 mm ou 10 mm par 10 mm par exemple, en utilisant un processus découpage en dés. La charge maximum appliquée à l'éprouvette est limitée par la capacité du capteur de charge. La taille maximum de l'éprouvette est donc également limitée par la capacité du capteur de charge. En outre, la précision du capteur de charge doit être inférieure ou égale à 1 % de l'échelle totale et 1 % des valeurs mesurées.
- b) Les éprouvettes sont attachées aux tiges supérieure et inférieure à l'aide d'un adhésif. Il convient de sélectionner correctement les adhésifs en tenant compte de leur résistance avant la rupture. Et il convient de ne pas appliquer d'adhésif sur les côtés des plaquettes collées.
- c) La tige inférieure est fixée au fond de l'appareil et la tige supérieure est reliée à un capteur de charge ou à un dynamomètre pour mesurer la contrainte à la rupture des éprouvettes à la température de la salle. La courbe de la contrainte en fonction du temps montre la contrainte maximum à la rupture. La vitesse de charge est dans la gamme de 0,5 mm/min à 1,5 mm/min. La résistance maximum peut être calculée à partir des données de charge de rupture. Un exemple de courbe de la charge en fonction du temps est représenté à l'Annexe B.
- d) Après la rupture, observer les éprouvettes rompues au microscope optique ou au MEB.
- e) Il faut procéder à l'essai d'au moins dix éprouvettes pour obtenir des données fiables.

3.3.4 Expression des résultats

Vérifier et inscrire la valeur mesurée de la force dans le Tableau 2.

Tableau 2 – Exemples d'essai de traction

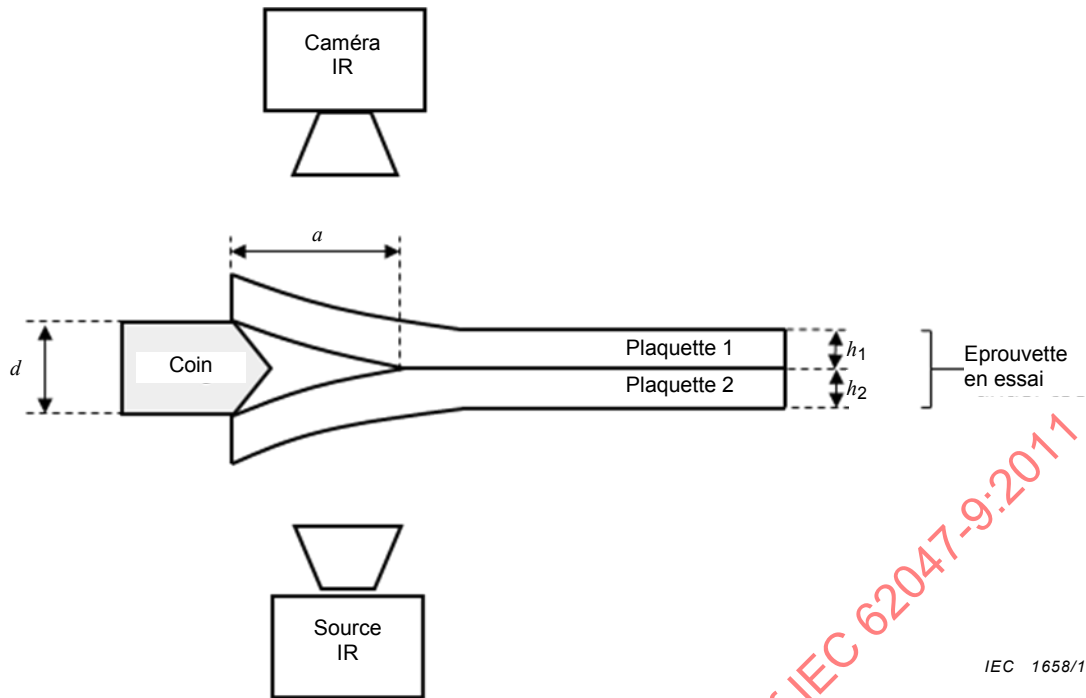
Norme de référence	
Type de matériau (méthode de fabrication)	
Méthode de liaison	
Forme et taille de l'éprouvette	
Type d'adhésif (ou de colle)	
Nombre d'éprouvettes	
Vitesse de charge	
Force de rupture mesurée (F_c)	
Surface collée de l'éprouvette d'essai (A)	
Résistance de collage (σ_c)	

3.4 Essai double poutre utilisant une lame

3.4.1 Généralités

L'essai d'ouverture à l'aide d'un coin s'appelle également l'essai double poutre (DCB)¹. Cet essai est représenté à la Figure 2. Cette méthode d'essai convient aux plaquettes collées utilisant le collage par fusion de deux plaquettes de silicium et le collage anodique. Si la liaison de deux plaquettes examinée est trop forte, une des plaquettes collées se casse souvent pendant cette procédure d'essai. Dans un tel cas, cette méthode peut être utilisée comme un essai qualitatif, mais pas comme un essai quantitatif.

¹ DCB = double cantilever beam.



IEC 1658/11

Légende

Composants ou outil d'observation

éprouvette en essai:	Un élément de la plaque collée aux différentes parties de plaque 1 et de plaque 2
plaque 1:	fixée à la plaque 2
plaque 2:	fixée à la plaque 1
coin:	partie d'une lame pour diriger une couche de claquage dans l'éprouvette
source IR:	Source de faisceau infrarouge
caméra IR:	Pour mesurer la longueur de la partie claquée de l'éprouvette

Dimensions des composants

h_1 :	épaisseur de la plaque 1
h_2 :	épaisseur de la plaque 2
a :	longueur de claquage de la couche répartie entre la plaque 1 et la plaque 2 collées
d :	épaisseur d'une partie de coin de la lame

Figure 2 – Mesure de la résistance de collage – éprouvette d'essai double poutre (DCB) utilisant une lame

La longueur de la fente résulte du bilan énergétique entre l'énergie de déformation des poutres chargées librement et de l'énergie de liaison au niveau de l'interface de liaison. Par conséquent, dans cette méthode, la résistance de collage n'est pas évaluée par la contrainte de rupture, mais par le taux de restitution de l'énergie de déformation critique. Le taux de restitution de l'énergie de déformation critique est calculé de la manière suivante

$$G_c = \frac{3}{8} \frac{E_1 E_2 h_1^3 h_2^3}{(E_1 h_1^3 + E_2 h_2^3)} \frac{d^2}{a^4} \quad (2)$$

où

G_c est le taux de restitution de l'énergie de déformation critique (ténacité à la rupture interfaciale),

E_1 et E_2 est le coefficient élastique des plaquettes 1 et 2;

h_1 et h_2 sont l'épaisseur des plaquettes;

d est l'épaisseur de la lame;

a est la longueur de la fente.

Si $E_1=E_2$ et $h_1=h_2$, l'Équation (2) devient

$$G_c = \frac{3}{16} \frac{E h^3 d^2}{a^4} \quad (3)$$

Si $h_1 \ll h_2$, l'Équation (2) devient

$$G_c = \frac{3}{8} \frac{E_1 h_1^3 d^2}{a^4} \quad (4)$$

3.4.2 Équipement

Il convient d'utiliser une lame destinée à l'essai et une fixation d'échantillon [1]².

Les épaisseurs de lame recommandées sont de l'ordre de 30 µm à 200 µm.

3.4.3 Procédure

- Une fois la liaison effectuée, par exemple le collage de silicium sur du silicium ou le collage de silicium sur du verre, les plaquettes collées sont découpées en bandes avec les bords des plaquettes sur au moins une de leurs extrémités. Il convient d'avoir une largeur de bande de l'éprouvette inférieure à la largeur de la lame
- placer l'éprouvette de bandes sur la fixation d'échantillon.
- Insérer une lame d'une extrémité d'une éprouvette en utilisant une fente d'une largeur de plaquette. créer une fente le long de l'interface
- Mesurer la longueur de la fente à l'aide d'une caméra IR ou optique ou encore d'un microscope acoustique à balayage.
- Calculer la ténacité à la rupture interfaciale à l'aide de l'équation (2)
- Il convient de procéder à l'essai d'au moins dix éprouvettes pour obtenir des données fiables.

3.4.4 Expression des résultats

Inscrire les valeurs mesurées dans le Tableau 3. Puis calculer G_c à l'aide de l'Équation (2), (3) ou (4) et inscrire la valeur dans le Tableau 3.

² Les figures entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

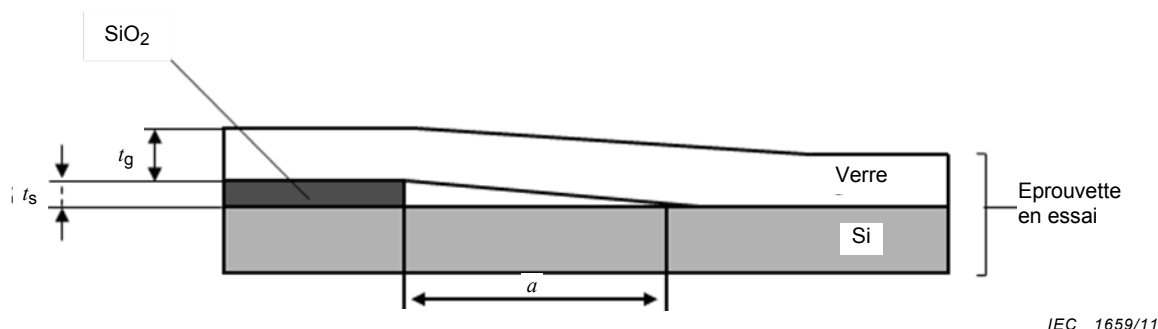
Tableau 3 – Exemple d'essai double poutre utilisant une lame

Forme de l'éprouvette collée	
Méthode de fixation de l'éprouvette	
Vitesse d'insertion de la lame (facultatif)	
Nombre d'éprouvettes	
Longueur de la fente (a)	
Épaisseur de la lame (d)	
Matériau de la plaquette 1	
Matériau de la plaquette 2	
Épaisseur de la plaquette 1 (h_1)	
Épaisseur de la plaquette 2 (h_2)	
Coefficient élastique de la plaquette 1 (E_1)	
Coefficient élastique de la plaquette 2 (E_2)	
Taux de restitution de l'énergie de déformation critique (G_c)	

3.5 Essai électrostatique

3.5.1 Généralités

Le collage anodique est réalisé comme cela est représenté à la Figure 3, entre la plaquette de silicium comportant des films de SiO_2 structurés et une plaquette de verre. Les gammes d'épaisseurs des plaquettes sont normalement comprises entre 50 μm et 1 mm. Bien que la mesure des longueurs non collées dépende des résistances de collage autour des films de SiO_2 structurés sur la plaquette de silicium, on peut comparer les résistances de collage des plaquettes collées par collage anodique. Ainsi, cette méthode est commode pour utiliser et permettre de comparer une résistance de collage qualitative. La mesure a été effectuée à température ambiante. Des plaquettes dont la taille est dans la gamme de 1 " à 8 " ou des pastilles dont la taille est dans la gamme de 1 cm^2 à 4 cm^2 conviennent pour cette expérience. Bien que cette méthode puisse être utilisée pour une plaquette collée utilisant d'autres méthodes de collage, afin d'éviter la difficulté d'observer une longueur non collée après le collage, il est préférable d'utiliser cette méthode uniquement avec des plaquettes de silicium et des plaquettes de verre collées par collage anodique.



Légende

Configurations ou éprouvette

éprouvette en essai:	pièce collée entre la plaquette de silicium avec films de SiO ₂ structurés et la plaquette en verre.
SiO ₂ :	couche d'état à films structurés collée avec une sorte de couche de verre et une couche de silicium
Si: couche à base de silicium	longueur décollée à observer sur une vue en coupe
verre:	couche collée avec du Si et du SiO ₂ par processus de collage anodique

Dimensions de l'éprouvette en essai

t_g :	épaisseur du verre
t_s :	épaisseur du silicium
a :	longueur décollée

Figure 3 – Mesure de la résistance de collage – essai électrostatique

3.5.2 Équipement

Un appareil de liaison anodique doit être utilisé. Un appareil de liaison anodique classique est constituée d'une chambre à vide, de supports pour soutenir la plaquette supérieure et la plaquette inférieure avant le processus de liaison, d'un capteur de charge pour pousser la plaquette supérieure vers la plaquette inférieure dans le cadre de la liaison initiale, d'un système électrique pour délivrer un champ négatif à la plaquette contenant des ions positifs, par exemple du verre contenant des ions Na⁺, et un réchauffeur pour maintenir la température constante pendant le processus.

3.5.3 Procédure

Les étapes pour observer la longueur de la région décollée sont les suivantes:

- Pour fabriquer les éprouvettes, le collage anodique est réalisé entre une plaquette de silicium comportant des films de SiO₂ structurés et une plaquette de verre. L'épaisseur de SiO₂ est supérieure à 1 μm [2]. La liaison anodique est un processus simple pour lier une plaquette de silicium et un substrat de verre contenant des ions alcalins. La liaison est réalisée à une température comprise entre 200 °C et 500 °C dans le vide, dans l'air ou dans un gaz inerte. L'application de 500 V à 1500 V aux bornes des deux substrats, le verre étant maintenu à un potentiel négatif, provoque la migration des ions mobiles positifs (principalement des ions Na⁺) dans le verre qui quittent l'interface entre le verre et le silicium pour rejoindre la cathode, laissant des charges négatives fixes dans le verre. La liaison est terminée lorsque le courant d'ions disparaît, indiquant que tous les ions mobiles ont atteint la cathode. L'attraction électrostatique entre la charge négative fixe dans le verre et la charge miroir positive induite dans le silicium maintient les deux substrats ensemble et facilite la liaison chimique entre le verre et le silicium [3]. Ceci constitue l'échantillon comme cela est représenté à la Figure 3 par le processus de collage anodique.
- Mesurer la longueur de la région décollée à l'aide d'un microscope optique ou d'un MEB (microscope électronique à balayage) pour observer la section transversale.

c) Procéder à l'essai d'au moins dix éprouvettes pour obtenir des données fiables.

3.5.4 Expression des résultats

Inscrire les valeurs mesurées dans le Tableau 4. Cette méthode n'est pas une méthode quantitative exacte, mais une méthode qualitative. Il est préférable de n'utiliser que cette méthode comme méthode de comparaison rapide et simple.

Tableau 4 – Exemples d'essais électrostatiques

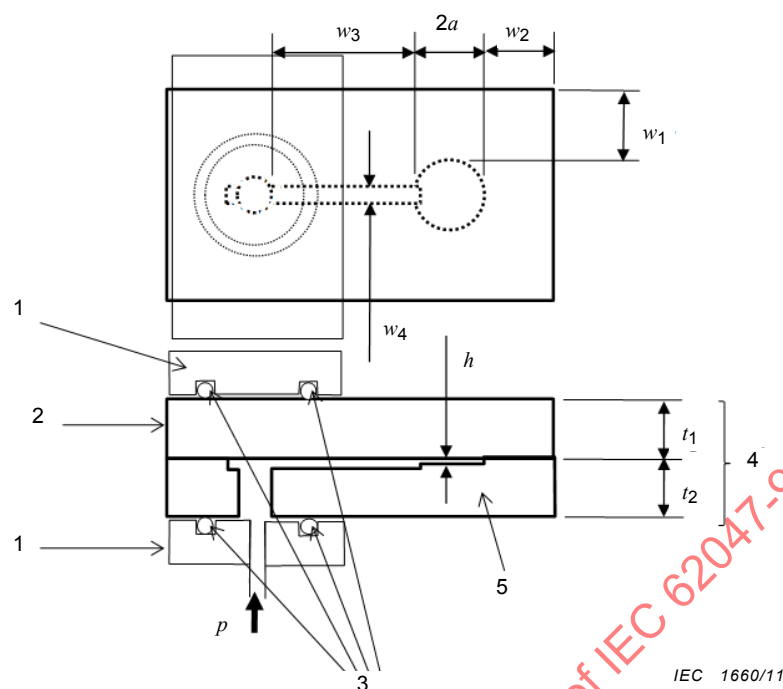
Température de liaison	
Tension appliquée	
Durée d'application de la tension	
Vitesse de chauffage et de refroidissement	
Épaisseur de SiO ₂	
Structure du SiO ₂ (pointillé ou linéaire)	
Forme de l'éprouvette collée	
Température et humidité de l'essai	
Matériau du verre	
Coefficient élastique du verre (E_g)	
Épaisseur du verre (t_g)	
Épaisseur du silicium (t_s)	
Longueur non collée (a)	

3.6 Essai de cloquage

3.6.1 Généralités

L'essai de cloquage convient à l'évaluation d'une liaison forte difficile à évaluer par un essai de traction ou un essai double poutre. L'essai en traction présente le problème de décoller la colle adhésive. L'essai double poutre présente le problème de casser une des plaquettes collées avant de créer une fente dans l'interface de liaison. L'essai de cloquage permet de minimiser ces problèmes. Cette méthode d'essai peut être appliquée à n'importe quel type de liaison de plaquettes, à condition que des éprouvettes puissent être préparées.

Dans cet essai, on utilise une éprouvette collée comportant un trou, un canal et une mince cavité comme cela est représenté à la Figure 4. Une ligne de pression hydrostatique est reliée à l'éprouvette par serrage mécanique à l'aide d'une bride et d'une plaque arrière à joints toriques. Par le trou et le canal, on applique une pression hydrostatique aux deux surfaces internes de la cavité jusqu'à ce que le décollement se produise.



Légende

- 1 Une partie de la bride
- 2 Une plaque avant
- 3 joint torique
- 4 éprouvette
- 5 Une plaque arrière

Figure 4 – Éprouvette pour essai de cloquage

3.6.2 Préparation des éprouvettes

Il convient de fabriquer le trou, le canal et la cavité sur une des plaquettes collées avant de procéder au collage en utilisant une méthode de micro-fabrication telle que la photolithographie et la gravure, qui n'introduit pas de microfissures. Il convient que la cavité soit de forme carrée ou circulaire. La plaquette est ensuite collée sur une autre plaquette. Une fois collées, les deux plaquettes sont découpées en dés dans la forme représentée à la Figure 4. Les dimensions recommandées de l'éprouvette sont les suivantes:

- $a > 5t_1, 5t_2$
- $w_1, w_2 > 2a$
- $w_3 > 4a$
- $w_4 < a/5$
- $h < t_1/20, t_2/20$

3.6.3 Méthode d'essai et appareillage d'essai

3.6.3.1 Nombre d'éprouvettes

Au moins dix éprouvettes doivent être mesurées.

3.6.3.2 Fixation des éprouvettes

Une conduite de pression hydrostatique est raccordée à l'éprouvette par serrage mécanique utilisant une bride et une plaque arrière avec des joints toriques.

3.6.3.3 Application d'une pression hydrostatique et mesure de la résistance de collage

Une pression hydrostatique est appliquée à la cavité en utilisant la pression du gaz. Il convient de contrôler le taux d'augmentation de la pression à l'aide d'un régulateur de débit de gaz. Il convient d'augmenter progressivement la pression du gaz afin de satisfaire à des conditions quasi statiques. Il convient de surveiller la pression à l'aide d'un manomètre jusqu'au décollement. Le décollement peut être détecté par la rupture de l'éprouvette ou une chute brutale de la pression du gaz. L'observation optique à l'aide d'une lumière visible pour les matériaux transparents ou par une lumière IR pour le silicium permet également de détecter efficacement le début du décollement.

3.6.3.4 Contrôle de l'environnement

La température et l'humidité doivent être maintenues à des niveaux constants dans l'environnement de l'essai pendant l'essai.

3.6.4 Rapport

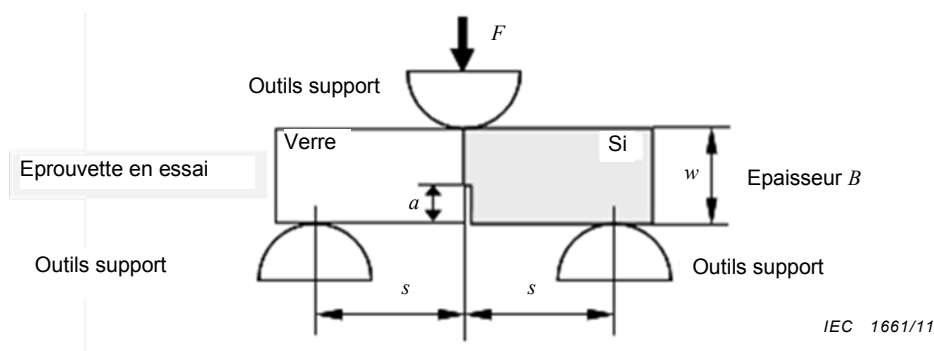
Le rapport d'essai doit au moins inclure les informations détaillées sur les points suivants:

- a) une référence à la présente norme;
- b) les matériaux collés;
- c) la méthode et les conditions de collage;
- d) la forme de l'éprouvette;
- e) la pression au moment du décollement.

3.7 Essai de courbure à trois points

3.7.1 Généralités

Comme cela est représenté à la Figure 5, cette méthode d'essai est une méthode de mesure destinée à évaluer la résistance de collage entre des plaquettes collées par une courbure à trois points. Une éprouvette coupée dans la plaquette collée, dans l'interface de laquelle on introduit une région non collée, est soumise à un essai de courbure à trois points pour rompre l'interface collée. La contrainte de rupture par courbure est alors calculée en utilisant l'Équation (5).



Légende

Configurations ou éprouvette

éprouvette en essai:	partie de la région collée entre la plaquette silicium et la couche en verre décollée
Si	collée avec un type de couche de verre
verre	un type de couche collée à la couche Si
outils support:	un type d'outils pour recevoir la force de charge à travers l'éprouvette en essai
outil d'alimentation	un type d'outil pour appliquer la force de charge fournie depuis le capteur de charge

Alimentation et dimensions des éprouvettes en essai

w :	largeur de l'éprouvette
B :	épaisseur de l'éprouvette
a :	longueur de la zone décollée
s :	longueur de l'intervalle entre les sommets des outils de support
F :	force de charge fournie par un type de capteur de charge

Figure 5 – Méthode de charge et éprouvette de courbure à trois points

$$\sigma_c = \frac{6F_c s}{B(W-a)^2} \quad (5)$$

où

σ_c est la contrainte de rupture;

F_c est la force de rupture de l'éprouvette;

s est l'intervalle entre appuis;

W est la largeur du spécimen;

B est l'épaisseur du spécimen;

a est la longueur de la région non collée.

Cette méthode d'essai peut être appliquée à n'importe quel type de liaison de plaquettes, à condition que des éprouvettes puissent être préparées. Elle a été développée pour être utilisée avec des éprouvettes d'environ 1 mm d'épaisseur, afin de réduire au minimum l'effet de la taille.

3.7.2 Préparation des éprouvettes

Il convient d'utiliser un processus qui ressemble autant que possible à celui appliqué au dispositif pour fabriquer l'éprouvette d'essai, y compris l'interface de liaison. Les dimensions des éprouvettes représentées à la Figure 6 sont les dimensions standards recommandées. Une région non collée doit être introduite dans l'éprouvette de la façon représentée sur la figure. La combinaison recommandée de longueur (s), de largeur (W) et de longueur de la région non collée (a) est indiquée à l'Annexe A3 de la norme ASTM E399-06e2:2008. Il convient que la largeur des régions non collées soit 0,01 mm. Un exemple du processus de