

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices –
Part 21: Test method for Poisson's ratio of thin film MEMS materials**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques –
Partie 21: Méthode d'essai relative au coefficient de Poisson des matériaux
MEMS en couche mince**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2014 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

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

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

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

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices –
Part 21: Test method for Poisson's ratio of thin film MEMS materials**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques –
Partie 21: Méthode d'essai relative au coefficient de Poisson des matériaux
MEMS en couche mince**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

M

ICS 31.080.99

ISBN 978-2-8322-1650-7

**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, definitions, symbols and designations	5
3.1 Terms and definitions.....	5
3.2 Symbols and designations	5
4 Test piece	6
4.1 General.....	6
4.2 Shape of the test piece	7
4.3 Measurement of dimensions	7
5 Testing method and test apparatus.....	7
5.1 Test principle	7
5.2 Test machine	7
5.3 Test procedure.....	7
5.3.1 Test procedure for type 1 test piece.....	7
5.3.2 Test procedure for type 2 test piece.....	8
5.4 Test environment	8
6 Test report.....	8
Annex A (informative) Measurement example of Poisson's ratio using type 1 test piece.....	9
A.1 Fabrication of the test piece	9
A.2 Dimensions of the test piece	9
A.3 Test procedures.....	9
A.4 Test results.....	10
Annex B (informative) Analysis of test results obtained from a type 2 test piece.....	11
B.1 General.....	11
B.2 Evaluation of stress and strain in circular and rectangular membranes	11
B.3 Evaluation of Poisson's ratio	12
Bibliography.....	13
Figure 1 – Two types of test pieces for the measurement of Poisson's ratio	6
Figure A.1 – Optical images of markers for strain measurement by DIC	9
Figure A.2 – Graphs of load and strain in the longitudinal and transverse directions	10
Table 1 – Symbols and designations of a test piece	6

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SEMICONDUCTOR DEVICES – MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –

Part 21: Test method for Poisson's ratio of thin film MEMS materials

FOREWORD

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

International Standard IEC 62047-21 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/185/FDIS	47F/189/RVD

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

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

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

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

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

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

SEMICONDUCTOR DEVICES – MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –

Part 21: Test method for Poisson's ratio of thin film MEMS materials

1 Scope

This part of IEC 62047 specifies the determination of Poisson's ratio from the test results obtained by the application of uniaxial and biaxial loads to thin-film micro-electromechanical systems (MEMS) materials with lengths and widths less than 10 mm and thicknesses less than 10 μm .

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 62047-8:2011, *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 8: Strip bending test method for tensile property measurement of thin films*

ASTM E 132-04:2010, *Standard test method for Poisson's ratio at room temperature*

3 Terms, definitions, symbols and designations

3.1 Terms and definitions

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

3.1.1

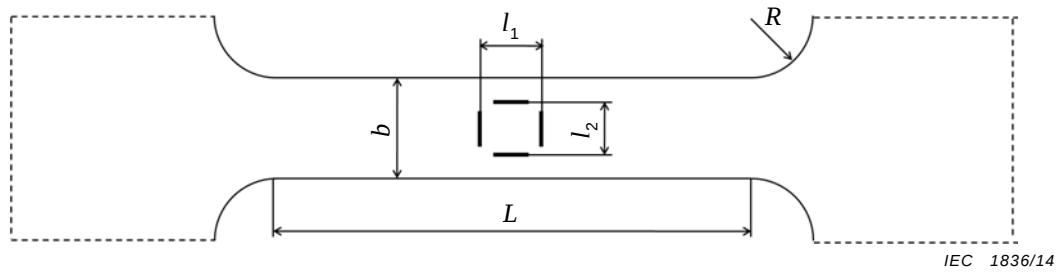
Poisson's ratio

ν

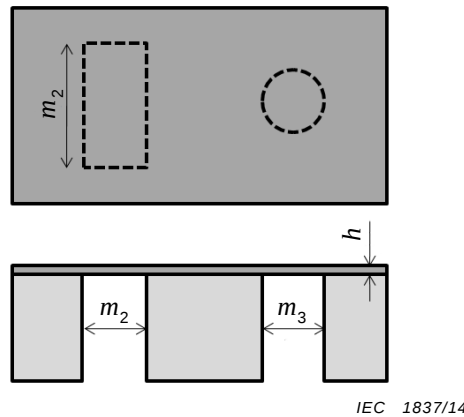
ratio of transverse strain multiplied by (-1) to the corresponding longitudinal strain resulting from uniformly distributed longitudinal stress below the proportional limit of the material, expressed as $-\varepsilon_t/\varepsilon_l$, where ε_t is transverse strain, and ε_l is longitudinal strain

3.2 Symbols and designations

Symbols and designations of two types of test pieces are presented in Figure 1 and Table 1, respectively.



a) Type 1 test piece for uniaxial tensile machine



b) Type 2 test piece for membrane bulging machine

Figure 1 – Two types of test pieces for the measurement of Poisson's ratio

Table 1 – Symbols and designations of a test piece

Symbol	Unit	Designation
l_1	μm	Gauge length for longitudinal strain measurement
l_2	μm	Gauge length for transverse strain measurement
b	μm	Width of test piece
L	μm	Overall length
R	μm	Filet radius of test piece
m_1	μm	Length of a rectangular membrane
m_2	μm	Width of a rectangular membrane
m_3	μm	Diameter of a circular membrane
h	μm	Thickness of membrane

4 Test piece

4.1 General

The test piece should be prepared using a fabrication process similar to the actual fabrication of devices. It should have dimensions on the same order as those of the mother device to minimise the effect of size-dependent properties. An example of the fabrication process can be found in IEC 62047-8. The gradient of the internal stress in the direction of thickness should be minimised using an annealing process, but the annealing process should be avoided when Young's modulus and Poisson's ratio of the sample can be affected. Two types of test pieces are utilised in this standard and are described in the following 4.2 and 4.3.

4.2 Shape of the test piece

Two types of test pieces are specified in this standard. Type 1 has a shape similar to a tensile specimen (Figure 1a), whereas type 2 has two membranes (Figure 1b). In type 1, two pairs of gauge markers shall be fashioned to define both longitudinal and transverse strains. By measuring the longitudinal and transverse strains, the Poisson's ratio is calculated by the ratio of $-\varepsilon_t/\varepsilon_l$ specified in 3.1. When a wrinkle forms in the test piece during the tensile test due to compressive strain in the transverse direction, undesirable out-of-plane deformation can lead to an error in the optical measurement, obscuring the optical measurement of transverse strain. In this case, a type 2 test piece should be used instead of a type 1 test piece. In type 2, circular and rectangular membranes are included in the test piece. The maximum deflections of the two membranes are measured simultaneously under a given pressure. The pressure applied to the two membranes should be identical. The out-of-plane deflection due to the applied pressure should be measured using an optical technique or atomic force microscopy (AFM) to minimise the mechanical disturbance of the test piece. For the rectangular membrane, the ratio between the length and width (m_1/m_2) should be larger than 4.

4.3 Measurement of dimensions

To analyse the test results, an accurate measurement of the test-piece dimensions is required because the dimensions are used to extract the mechanical properties of test materials. In the type 1 test piece, the longitudinal and transverse gauge lengths (l_1, l_2), width (b), and thickness (h) shall be measured with an error of less than $\pm 5\%$. In the type 2 test piece, the width (m_2) of the rectangular membrane, the diameter (m_3) of the circular membrane, and the film thickness (h) shall be measured with an error of less than $\pm 5\%$.

5 Testing method and test apparatus

5.1 Test principle

With a type 1 test piece, the test is performed by applying a tensile load to the test piece. The longitudinal and transverse strains induced by the tensile load should be uniform over a pre-defined gauge section in the elastic region of the test piece. The longitudinal and transverse strains should be measured simultaneously, and the time delay between them should be less than 1/100 of the data-sampling period. When there is curling in the test piece, it is difficult to measure the transverse strain. In this case, Poisson's ratio should be measured using a type 2 test piece. With a type 2 test piece, the test is performed by applying air pressure to the test piece. The circular and rectangular membranes should experience the same applied pressure. The deflections of both membranes should be measured simultaneously, and the time delay between them should be less than 1/100 of the data-sampling period.

5.2 Test machine

The test machine for a type 1 test piece is similar to a conventional tensile test machine, except that it is capable of measuring transverse strain. Due to the thinness of the test piece, the longitudinal and transverse strains shall be measured using optical techniques such as laser interferometry or digital image correlation (DIC). The test machine for a type 2 test piece consists of an air compressor, air regulator, pressure sensor, and displacement sensor for measuring out-of-plane deflections.

5.3 Test procedure

5.3.1 Test procedure for type 1 test piece

- a) Fix the test piece using the tensile grip. The longitudinal direction of the test piece shall be aligned with the actuating direction of the test apparatus, and the deviation angle shall be less than 1 degree, as specified in 4.4 of IEC 62047-8:2011.
- b) Verify the strain measurement unit for longitudinal and transverse strains. These strain signals shall be measured simultaneously with the load signal.

- c) Apply a tensile load to the test piece at a constant strain rate (or grip-to-grip displacement rate). The strain rate shall range from $0,01 \text{ min}^{-1}$ to 10 min^{-1} depending on the material system of the test piece and the actual usage condition of the customer.
- d) Unload the test apparatus when the load sufficiently exceeds the proportional limit.
- e) Draw a graph of the longitudinal and transverse strains with respect to load as described in ASTM E 132-04 and determine Poisson's ratio.

5.3.2 Test procedure for type 2 test piece

- a) Fix the test piece to the grip of the test apparatus. The grip should have inlet and outlet ports for air pressure and a connection port that allows air pressure to be applied to the test piece. The air pressure line in the grip should be designed to deliver identical pressure to both membranes in the test piece.
- b) Apply air pressure to both the circular and rectangular membranes in the test piece and measure the central deflections of both membranes and the applied pressure.
- c) Unload the test apparatus when the pressure exceeds the proportional limit of the test piece or if the membranes rupture.
- d) Analyse the test results and determine Poisson's ratio according to Annex B.

5.4 Test environment

Because the mechanical properties are temperature and humidity sensitive, fluctuations in temperature during the test shall be controlled to be less than $\pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, and the change in relative humidity (RH) in the testing laboratory shall be controlled to be less than $\pm 5 \text{ \% RH}$.

6 Test report

The test report shall contain the following information.

- a) Reference to this international standard;
- b) Test piece identification;
- c) Test piece material;
 - using a single crystal: crystallographic orientation;
 - using a poly-crystal: texture and grain size;
- d) Shape and dimensions of the test piece;
- e) Test piece fabrication method details:
 - deposition method;
 - annealing conditions;
 - fabrication conditions;
- f) Testing system:
 - testing apparatus;
 - load and strain measurement method (or pressure and deflection);
- g) Measured properties and results: Poisson's ratio, longitudinal and transverse strains versus applied load (or pressure) curve.

Annex A (informative)

Measurement example of Poisson's ratio using type 1 test piece

A.1 Fabrication of the test piece

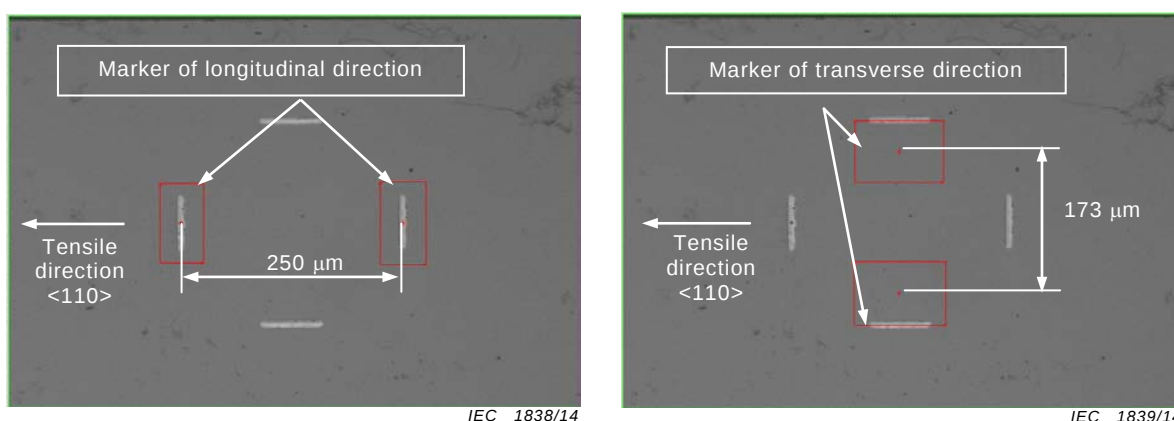
The test piece for measurement of Poisson's ratio is fabricated by MEMS processes. Similar fabrication processes can be found in Annex B of IEC 62047-8:2011.

A.2 Dimensions of the test piece

The test pieces should be fabricated with a length of 2 mm, a width of 500 μm , and a fillet radius of 5 mm (Figure 1). To analyse the test data, dimensions of the test pieces should be measured accurately. The thickness of the test piece is measured to be 2,8 μm using a scanning electron microscope. As shown in Figure A.1, longitudinal and transverse strains are measured after the markers for strain measurement are defined.

A.3 Test procedures

Tests are performed using a micro-tensile testing apparatus. After the test piece is fixed on jigs, uni-axial tensile force is applied in the longitudinal direction of the test piece using a piezoelectric actuator. The longitudinal direction coincides with the $\langle 110 \rangle$ direction of the test piece made of single-crystal silicon. The strain rate is 5×10^{-4} /s during the test. Longitudinal and transverse strains are measured using DIC with the images acquired from a microscope. Markers for DIC are shown in Figure A.1. Larger spacing between the two markers of the longitudinal direction leads to higher resolution of the strain measurement for a given optical system. In this test, the longitudinal and transverse gauge lengths are 250 μm and 173 μm , which are taken from the field of view of the optical system and maximum displacement of the test piece. Both longitudinal and transverse strains (ε_l , ε_t) and load (F) are acquired simultaneously by a data-acquisition module.



a) Markers for longitudinal strain

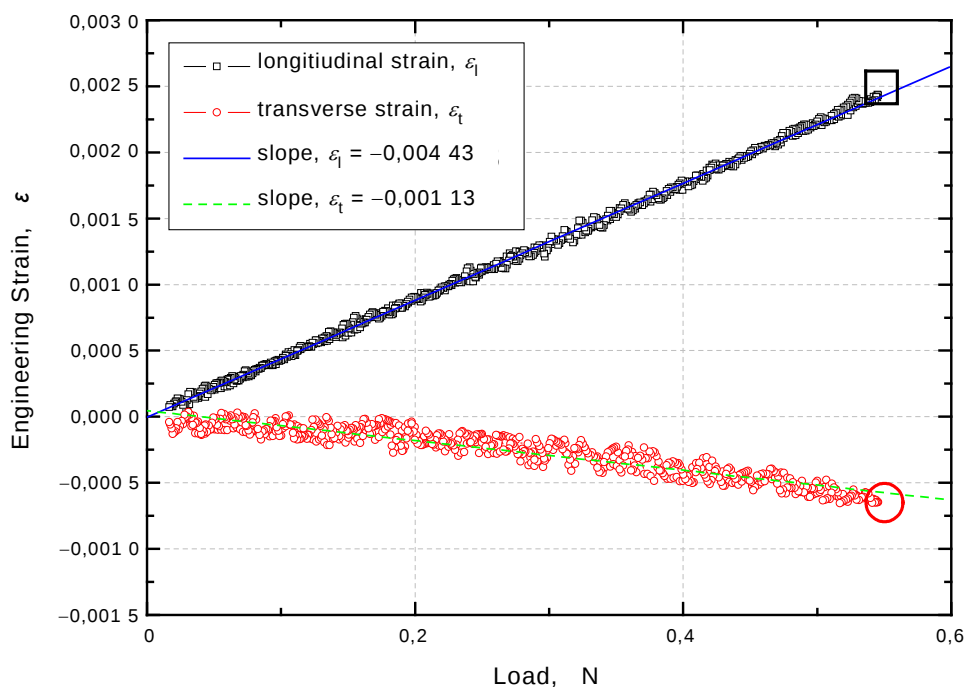
b) Markers for transverse strain

Figure A.1 – Optical images of markers for strain measurement by DIC

A.4 Test results

From the measured data, a F – ε curve can be obtained (Figure A.2). After fitting the two curves linearly, the slopes of the two curves are obtained as $d\varepsilon_l/dF = 0,004\,43$ and $d\varepsilon_t/dF = -0,001\,13$. Then, Poisson's ratio is calculated by

$$\nu = -\frac{d\varepsilon_t/dF}{d\varepsilon_l/dF} = 0,267. \quad (\text{A.1})$$



IEC 1840/14

Figure A.2 – Graphs of load and strain in the longitudinal and transverse directions

Annex B (informative)

Analysis of test results obtained from a type 2 test piece

B.1 General

The type 2 test piece membranes are isotropic and homogeneous. Bending stiffness of the membranes is assumed to be negligible, and this is acceptable for membranes for which the thickness is much less than the width and the diameter. The ratio between the length and the width of the rectangular membrane should be greater than 4.

B.2 Evaluation of stress and strain in circular and rectangular membranes

When air pressure (p) is applied to the two membrane types, circular and rectangular, the membranes are strained, and the corresponding stress builds up. For the circular membrane with a diameter D , a thickness h , and a central deflection δ_{circular} , the equi-biaxial stress (σ_{circular}) and strain ($\varepsilon_{\text{circular}}$) in the membrane are evaluated using the following equations according to [1]¹:

$$\sigma_{\text{circular}} = \frac{pD^2}{16h\delta_{\text{circular}}} \quad (\text{B.1})$$

$$\varepsilon_{\text{circular}} = \frac{2\delta_{\text{circular}}^2}{D^2} \quad (\text{B.2})$$

The stress and strain are related by the following equation:

$$\sigma_{\text{circular}} = \frac{E}{1-\nu} \varepsilon_{\text{circular}}. \quad (\text{B.3})$$

Here, E is Young's modulus, and ν is Poisson's ratio. For the rectangular membrane with a width W , a thickness h , and a central deflection δ_{rec} , the stress (σ_{rec}) and strain (ε_{rec}) are evaluated using the following equations:

$$\sigma_{\text{rec}} = \frac{pW^2}{8h\delta_{\text{rec}}} \quad (\text{B.4})$$

$$\varepsilon_{\text{rec}} = \frac{8\delta_{\text{rec}}^2}{3W^2} \quad (\text{B.5})$$

The stress and strain in the rectangular membrane are related by the following equation:

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

$$\sigma_{\text{rec}} = \frac{E}{1-\nu^2} \varepsilon_{\text{rec}} \quad (\text{B.6})$$

B.3 Evaluation of Poisson's ratio

From Equations (B.3) and (B.6), the following equation is obtained:

$$\frac{\sigma_{\text{circular}}}{\sigma_{\text{rec}}} = (1+\nu) \frac{\varepsilon_{\text{circular}}}{\varepsilon_{\text{rec}}} \quad (\text{B.7})$$

By inserting Equations (B.1), (B.2), (B.4), and (B.5) into Equation (B.7), the following equation is obtained:

$$\nu = 2 \left(\frac{D}{W} \right)^4 \left(\frac{\delta_{\text{rec}}}{\delta_{\text{circular}}} \right)^3 - 1 \quad (\text{B.8})$$

To measure Poisson's ratio using a type 2 test piece, it is not necessary to measure the applied pressure on the membranes when the two membranes undergo the same pressure. It is necessary to measure the dimensions and the deflections of the membranes during the test.

Bibliography

- [1] Xu, D., Liechti, K.M., *Bulge Testing Transparent Thin Films with Moiré Deflectometry*, Experimental Mechanics, Vol.50 (2010), pp. 217-225.
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	15
1 Domaine d'application	17
2 Références normatives	17
3 Termes, définitions, symboles et désignations	17
3.1 Termes et définitions	17
3.2 Symboles et désignations	17
4 Eprouvette d'essai	18
4.1 Généralités	18
4.2 Forme de l'éprouvette d'essai	19
4.3 Mesure des dimensions	19
5 Méthode et appareillage d'essai	19
5.1 Principe d'essai	19
5.2 Machine d'essai	19
5.3 Procédure d'essai	20
5.3.1 Procédure d'essai pour l'éprouvette d'essai de type 1.....	20
5.3.2 Procédure d'essai pour l'éprouvette d'essai de type 2.....	20
5.4 Environnement d'essai.....	20
6 Rapport d'essai	20
Annexe A (informative) Exemple de mesure du coefficient de Poisson utilisant une éprouvette d'essai de type 1	22
A.1 Fabrication de l'éprouvette d'essai	22
A.2 Dimensions de l'éprouvette d'essai	22
A.3 Procédures d'essai	22
A.4 Résultats d'essai	23
Annexe B (informative) Analyse des résultats d'essai obtenus par une éprouvette d'essai de type 2	24
B.1 Généralités	24
B.2 Evaluation de la contrainte et de la déformation des membranes circulaires et rectangulaires	24
B.3 Evaluation du coefficient de Poisson.....	25
Bibliographie.....	26
Figure 1 – Deux types d'éprouvettes d'essai pour la mesure du coefficient de Poisson	18
Figure A.1 – Images optiques des repères de mesure des déformations par la DIC	22
Figure A.2 – Graphiques de charge et déformation dans les sens longitudinal et transversal.....	23
Tableau 1 – Symboles et désignations d'une éprouvette d'essai	18

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

Partie 21: Méthode d'essai relative au coefficient de Poisson des matériaux MEMS en couche mince

AVANT-PROPOS

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

La Norme Internationale IEC 62047-21 a été établie par le sous-comité 47F: Systèmes microélectromécaniques, du comité d'études 47 de l'IEC: Dispositifs à semiconducteurs.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
47F/185/FDIS	47F/189/RVD

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

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

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

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

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

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

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

Partie 21: Méthode d'essai relative au coefficient de Poisson des matériaux MEMS en couche mince

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62047 spécifie la détermination du coefficient de Poisson à partir des résultats obtenus par l'application d'essais de charges uniaxiales et biaxiales aux matériaux pour systèmes microélectromécaniques (MEMS, *Micro-Electrical-Mechanical Systems*) à couche mince dont les longueurs et les largeurs sont inférieures à 10 mm et les épaisseurs sont inférieures à 10 μm .

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).

IEC 62047-8:2011, *Dispositifs à semiconducteurs - Dispositifs microélectromécaniques - Partie 8: Méthode d'essai de la flexion de bandes en vue de la mesure des propriétés de traction des couches minces*

ASTM E 132-04:2010, *Standard test method for Poisson's ratio at room temperature* (disponible en anglais seulement)

3 Termes, définitions, symboles et désignations

3.1 Termes et définitions

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

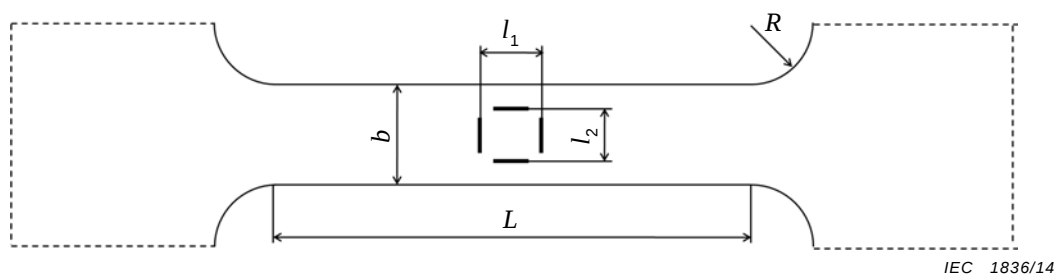
3.1.1 coefficient de Poisson

ν

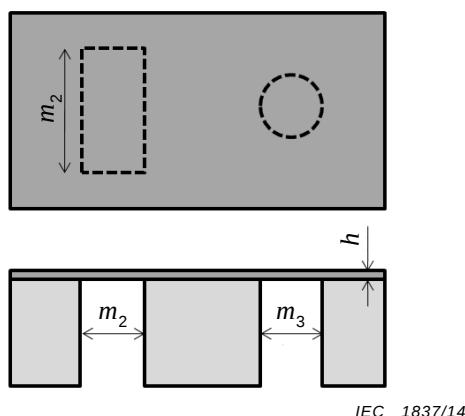
rapport entre la déformation transversale multipliée par (-1) et la déformation longitudinale correspondante résultant de la contrainte longitudinale répartie uniformément en dessous de la limite de proportionnalité du matériau, exprimé par $-\varepsilon_t/\varepsilon_l$, où ε_t est la déformation transversale, et ε_l est la déformation longitudinale

3.2 Symboles et désignations

Les symboles et les désignations de deux types d'éprouvettes sont représentés à la Figure 1 et dans Tableau 1, respectivement.



a) Éprouvette d'essai de type 1 pour machine de traction uniaxiale



b) Éprouvette d'essai de type 2 pour machine de gonflage de membranes

Figure 1 – Deux types d'éprouvettes d'essai pour la mesure du coefficient de Poisson

Tableau 1 – Symboles et désignations d'une éprouvette d'essai

Symbole	Unité	Désignation
l_1	μm	Longueur calibrée pour la mesure de déformation longitudinale
l_2	μm	Longueur calibrée pour la mesure de déformation transversale
b	μm	Largeur de l'éprouvette d'essai
L	μm	Longueur hors tout
R	μm	Rayon du congé de l'éprouvette d'essai
m_1	μm	Longueur d'une membrane rectangulaire
m_2	μm	Largeur d'une membrane rectangulaire
m_3	μm	Diamètre d'une membrane circulaire
h	μm	Épaisseur de membrane

4 Éprouvette d'essai

4.1 Généralités

Il convient de préparer l'éprouvette d'essai au moyen d'un procédé de fabrication analogue au procédé de fabrication de dispositifs réels. Elle doit posséder des dimensions du même ordre que celles du dispositif parent afin de minimiser l'effet de propriétés liées à la taille. Un exemple du procédé de fabrication figure dans l'IEC 62047-8. Il convient de minimiser le

gradient de la contrainte interne dans le sens de l'épaisseur au moyen d'un procédé de recuit, mais il convient d'éviter ledit procédé dans le cas où le module de Young et le coefficient de Poisson de l'échantillon pourraient en être affectés. Deux types d'éprouvettes d'essai sont utilisés dans la présente norme et sont décrits dans les 4.2 et 4.3 ci-après.

4.2 Forme de l'éprouvette d'essai

Deux types d'éprouvettes d'essai sont spécifiés dans la présente norme. Le type 1 possède une forme analogue à un spécimen pour la traction (Figure 1a), tandis que le type 2 possède deux membranes (Figure 1b). Dans le type 1, deux paires de repères de calibre doivent être façonnées pour définir les déformations longitudinale et transversale. En mesurant les déformations longitudinale et transversale, le coefficient de Poisson est calculé par le rapport de $-\varepsilon_t/\varepsilon_l$ spécifié en 3.1. Lorsqu'une ride se forme dans l'éprouvette d'essai pendant l'essai de traction du fait d'une déformation de compression dans le sens transversal, une déformation hors plan indésirable peut conduire à une erreur de mesure optique, en obscurcissant la mesure optique de la déformation transversale. Auquel cas, il convient d'utiliser une éprouvette d'essai de type 2 au lieu d'une éprouvette de type 1. Dans le type 2, des membranes circulaires et rectangulaires sont incluses dans l'éprouvette d'essai. Les déflexions maximales des deux membranes sont mesurées simultanément sous une pression donnée. Il convient que la pression appliquée aux deux membranes soit identique. Il convient de mesurer la déflexion hors-plan due à la pression appliquée au moyen d'une technique optique ou d'une microscopie à force atomique (AFM, *Atomic Force Microscopy*) en vue de minimiser la perturbation mécanique de l'éprouvette d'essai. S'agissant de la membrane rectangulaire, il convient que le rapport entre la longueur et la largeur (m_1/m_2) soit supérieur à 4.

4.3 Mesure des dimensions

Pour analyser les résultats d'essai, une mesure précise des dimensions de l'éprouvette d'essai est exigée étant donné que les dimensions sont utilisées pour dégager les propriétés mécaniques des matériaux d'essai. Dans l'éprouvette d'essai de type 1, les longueurs calibrées longitudinale et transversale (l_1 , l_2), la largeur (b), et l'épaisseur correspondantes (h) doivent être mesurées avec une erreur inférieure à $\pm 5\%$. Dans l'éprouvette d'essai de type 2, la largeur (m_2) de la membrane rectangulaire, le diamètre (m_3) de la membrane circulaire, et l'épaisseur de couche (h) doivent être mesurés avec une erreur inférieure à $\pm 5\%$.

5 Méthode et appareillage d'essai

5.1 Principe d'essai

Avec une éprouvette d'essai de type 1, l'essai est réalisé en appliquant une charge de traction à l'éprouvette. Il convient que les déformations longitudinale et transversale induites par la charge de traction soient uniformes sur une section de calibre prédéfinie dans la région élastique de l'éprouvette d'essai. Il convient de mesurer simultanément les déformations longitudinale et transversale, et il convient que l'intervalle de temps entre celles-ci soit inférieur à 1/100 de la période d'échantillonnage des données. Lorsque l'éprouvette d'essai présente une ondulation, il est difficile de mesurer la déformation transversale. Auquel cas, il convient de mesurer le rapport de Poisson à l'aide d'une éprouvette d'essai de type 2. Avec une éprouvette d'essai de type 2, l'essai est réalisé en appliquant une pression d'air à l'éprouvette. Il convient que les membranes circulaire et rectangulaire soient soumises à l'application de la même pression. Il convient de mesurer simultanément les déflexions des deux membranes, et il convient que l'intervalle de temps entre celles-ci soit inférieur à 1/100 de la période d'échantillonnage des données.

5.2 Machine d'essai

La machine d'essai pour une éprouvette d'essai de type 1 est analogue à une machine d'essai de traction conventionnelle, à ceci près qu'elle est capable de mesurer une déformation transversale. Du fait de la finesse de l'éprouvette d'essai, les déformations longitudinale et

transversale doivent être mesurées au moyen des techniques optiques telles que l'interférométrie laser ou la corrélation d'images numériques (DIC, *Digital Image Correlation*). La machine d'essai pour une éprouvette d'essai de type 2 comprend un compresseur d'air, un régulateur du débit d'air, un capteur de pression et un capteur de déplacement pour la mesure des déflexions hors plan.

5.3 Procédure d'essai

5.3.1 Procédure d'essai pour l'éprouvette d'essai de type 1

- a) Fixer l'éprouvette d'essai au moyen de l'élément de préhension de traction. Le sens longitudinal de l'éprouvette d'essai doit s'aligner avec le sens d'actionnement de l'appareillage d'essai, et l'angle de déviation doit être inférieur à 1 degré, comme spécifié en 4.4 de l'IEC 62047-8:2011.
- b) Vérifier l'unité de mesure de déformation pour les déformations longitudinale et transversale. Ces signaux de déformation doivent être mesurés simultanément avec le signal de charge.
- c) Appliquer une charge de traction à l'éprouvette d'essai à un taux de déformation (ou à un taux de déplacement entre éléments de préhension) constant. Le taux de déformation doit se situer entre $0,01 \text{ min}^{-1}$ et 10 min^{-1} selon le système de matériaux de l'éprouvette d'essai et les conditions réelles d'utilisation par le client.
- d) Décharger l'appareillage d'essai lorsque la charge dépasse de manière suffisante la limite de proportionnalité.
- e) Dessiner un graphique des déformations longitudinale et transversale par rapport à la charge telle que décrite dans l'ASTM E 132-04 et déterminer le coefficient de Poisson.

5.3.2 Procédure d'essai pour l'éprouvette d'essai de type 2

- a) Fixer l'éprouvette d'essai à l'élément de préhension de l'appareillage d'essai. Il convient que l'élément de préhension dispose de ports d'entrée et de sortie pour la pression d'air et un port de connexion permettant d'appliquer la pression d'air à l'éprouvette d'essai. Il convient de concevoir la conduite de pression d'air dans l'élément de préhension de manière à fournir une pression identique aux deux membranes situées dans l'éprouvette d'essai.
- b) Appliquer la pression d'air aux deux membranes, circulaire et rectangulaire, situées dans l'éprouvette d'essai et mesurer les déflexions centrales des deux membranes et la pression appliquée.
- c) Décharger l'appareillage d'essai lorsque la pression dépasse la limite de proportionnalité de l'éprouvette d'essai ou dans le cas où les membranes se rompent.
- d) Analyser les résultats d'essai et déterminer le coefficient de Poisson selon l'Annexe B.

5.4 Environnement d'essai

Les propriétés mécaniques étant sensibles à la température et à l'humidité, les fluctuations de température pendant l'essai doivent être régulées pour être inférieures à $\pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, et la variation de l'humidité relative (HR) dans le laboratoire d'essai doit être régulée pour demeurer inférieure à $\text{RH} \pm 5 \text{ } \%$.

6 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit contenir les informations suivantes.

- a) Référence à la présente norme internationale;
- b) Identification de l'éprouvette d'essai;
- c) Matériau de l'éprouvette d'essai;
 - utilisant un monocristal: orientation cristallographique;
 - utilisant un polycristal: texture et granulométrie;

- d) Forme et dimensions de l'éprouvette d'essai;
- e) Détails concernant la méthode de fabrication de l'éprouvette d'essai:
 - méthode de dépôt;
 - conditions de recuit;
 - conditions de fabrication;
- f) Système d'essais:
 - appareillage d'essai;
 - méthode de mesure de la charge et de la déformation (ou pression et déflexion);
- g) Propriétés mesurées et résultats: coefficient de Poisson, courbe des déformations longitudinale et transversale fonction de la courbe de la charge (ou pression) appliquée.

Annexe A (informative)

Exemple de mesure du coefficient de Poisson utilisant une éprouvette d'essai de type 1

A.1 Fabrication de l'éprouvette d'essai

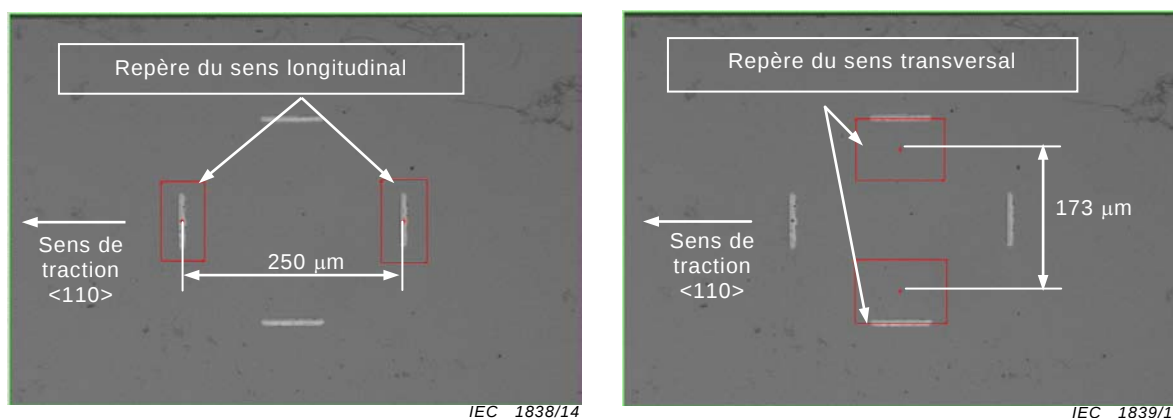
L'éprouvette d'essai pour la mesure du coefficient de Poisson est fabriquée par des procédés MEMS. Des procédés de fabrication analogues figurent à l'Annexe B de l'IEC 62047-8:2011.

A.2 Dimensions de l'éprouvette d'essai

Il convient de fabriquer les éprouvettes d'essai avec une longueur de 2 mm, une largeur de 500 μm , et un rayon de congé de 5 mm (Figure 1). Pour analyser les données d'essai, il convient de mesurer de manière précise les dimensions des éprouvettes d'essai. La mesure de l'épaisseur de l'éprouvette d'essai doit donner la valeur de 2,8 μm , au moyen d'un microscope électronique à balayage. Comme l'indique la Figure A.1, les déformations longitudinale et transversale sont mesurées après avoir défini les repères pour la mesure des déformations.

A.3 Procédures d'essai

Les essais sont réalisés à l'aide d'un appareillage d'essai de microtraction. Après avoir fixé l'éprouvette d'essai sur des gabarits, un effort de traction uniaxiale est appliqué dans le sens longitudinal de l'éprouvette d'essai à l'aide d'un actionneur piézoélectrique. Le sens longitudinal coïncide avec le sens $\langle 110 \rangle$ de l'éprouvette d'essai constituée de silicium monocristallin. Le taux de déformation est égal à $5 \times 10^{-4}/\text{s}$ pendant l'essai. Les déformations longitudinale et transversale sont mesurées à l'aide de la DIC dont l'acquisition des images est effectuée par un microscope. Les repères pour la DIC sont illustrés à la Figure A.1. Un espacement plus grand entre les deux repères du sens longitudinal donne lieu à une résolution supérieure de la mesure des déformations pour un système optique donné. Dans le présent essai, les longueurs calibrées longitudinale et transversale sont respectivement de 250 μm et de 173 μm , relevées depuis le champ de vision du système optique et le déplacement maximal de l'éprouvette d'essai. L'acquisition des déformations longitudinale et transversale (ε_l , ε_t) et de la charge (F) est effectuée simultanément par un module d'acquisition de données.



a) Repères pour la déformation longitudinale

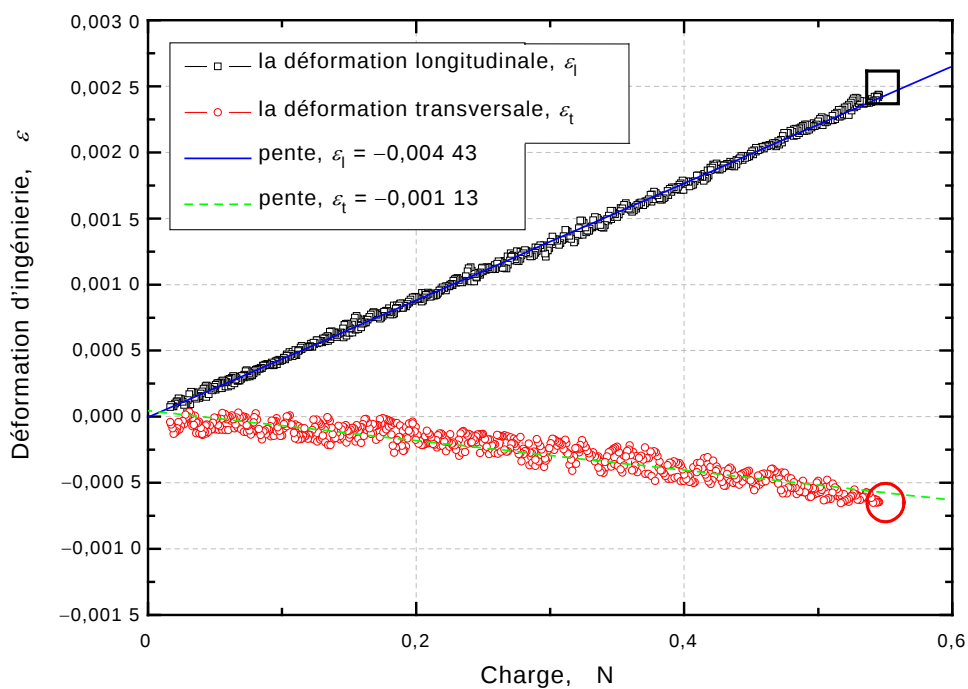
b) Repères pour la déformation transversale

Figure A.1 – Images optiques des repères de mesure des déformations par la DIC

A.4 Résultats d'essai

À partir des données mesurées, on obtient une courbe $F-\varepsilon$ (Figure A.2). Après l'ajustement linéaire des deux courbes, les pentes des deux courbes sont obtenues par $d\varepsilon_l/dF = 0,004\,43$ et $d\varepsilon_t/dF = -0,001\,13$. Puis, le coefficient de Poisson est calculé par

$$\nu = -\frac{d\varepsilon_t/dF}{d\varepsilon_l/dF} = 0,267. \quad (\text{A.1})$$



IEC 1840/14

Figure A.2 – Graphiques de charge et déformation dans les sens longitudinal et transversal

Annexe B (informative)

Analyse des résultats d'essai obtenus par une éprouvette d'essai de type 2

B.1 Généralités

Les membranes de l'éprouvette d'essai de type 2 sont isotropes et homogènes. On prend pour hypothèse que la rigidité à la courbure des membranes est négligeable, et ceci est acceptable pour les membranes dont l'épaisseur est nettement inférieure à la largeur et au diamètre. Il convient que le rapport entre la longueur et la largeur de la membrane rectangulaire soit supérieur à 4.

B.2 Evaluation de la contrainte et de la déformation des membranes circulaires et rectangulaires

Lorsque la pression d'air (p) est appliquée aux deux types de membrane, circulaire et rectangulaire, les membranes sont soumises à un effort, et la contrainte correspondante se développe. Pour la membrane circulaire dont le diamètre est D , l'épaisseur h , et la déflexion centrale δ_{circular} , la contrainte équibiaxiale (σ_{circular}) et la déformation équibiaxiale ($\varepsilon_{\text{circular}}$) dans la membrane sont évaluées au moyen des équations suivantes, conformément à [1]¹:

$$\sigma_{\text{circular}} = \frac{pD^2}{16h\delta_{\text{circular}}} \quad (\text{B.1})$$

$$\varepsilon_{\text{circular}} = \frac{2\delta_{\text{circular}}^2}{D^2} \quad (\text{B.2})$$

La contrainte et la déformation sont liées par l'équation suivante:

$$\sigma_{\text{circular}} = \frac{E}{1-\nu} \varepsilon_{\text{circular}} \quad (\text{B.3})$$

Ici, E est le module de Young et ν est le coefficient de Poisson. S'agissant de la membrane rectangulaire dont la largeur est W , l'épaisseur h , et la déflexion centrale δ_{rec} , la contrainte (σ_{rec}) et la déformation (ε_{rec}) sont évaluées au moyen des équations suivantes:

$$\sigma_{\text{rec}} = \frac{pW^2}{8h\delta_{\text{rec}}} \quad (\text{B.4})$$

$$\varepsilon_{\text{rec}} = \frac{8\delta_{\text{rec}}^2}{3W^2} \quad (\text{B.5})$$

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

La contrainte et la déformation dans la membrane rectangulaire sont liées par l'équation suivante:

$$\sigma_{\text{rec}} = \frac{E}{1-\nu^2} \varepsilon_{\text{rec}} \quad (\text{B.6})$$

B.3 Evaluation du coefficient de Poisson

À partir des Équations (B.3) et (B.6), est obtenue l'équation suivante:

$$\frac{\sigma_{\text{circular}}}{\sigma_{\text{rec}}} = (1+\nu) \frac{\varepsilon_{\text{circular}}}{\varepsilon_{\text{rec}}} \quad (\text{B.7})$$

En insérant les Équations (B.1), (B.2), (B.4), et (B.5) dans l'Équation (B.7), l'équation suivante est obtenue:

$$\nu = 2 \left(\frac{D}{W} \right)^4 \left(\frac{\delta_{\text{rec}}}{\delta_{\text{circular}}} \right)^3 - 1 \quad (\text{B.8})$$

Pour mesurer le coefficient de Poisson au moyen de l'éprouvette d'essai de type 2, il n'est pas nécessaire de mesurer la pression appliquée sur les membranes lorsque les deux membranes sont soumises à la même pression. Il est nécessaire de mesurer les dimensions et les déflexions des membranes pendant l'essai.

Bibliographie

- [1] Xu, D., Liechti, K.M., *Bulge Testing Transparent Thin Films with Moiré Deflectometry*, Experimental Mechanics, Vol.50 (2010), pp. 217-225. (disponible en anglais seulement)
-

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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