

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-6:2009



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2009 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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.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



IEC 62047-6

Edition 1.0 2009-04

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

P

ICS 31.080.99

ISBN 978-2-88910-611-0

CONTENTS

FOREWORD.....	3
1 Scope.....	5
2 Normative references	5
3 Terms and definitions	5
4 Test piece	7
4.1 Design of test piece.....	7
4.2 Preparation of test piece	7
4.3 Test piece thickness.....	7
4.4 Storage prior to testing	7
5 Testing method and test apparatus.....	7
5.1 General.....	7
5.2 Method of gripping (mounting of test piece).....	8
5.3 Static loading test.....	8
5.4 Method of loading.....	8
5.5 Speed of testing	8
5.6 Environment control	8
6 Endurances (test termination).....	9
7 Test report.....	9
Annex A (informative) Technical background of this standard	10
Annex B (informative) Test piece	11
Annex C (informative) Displacement measurement	12
Annex D (informative) Testing environment.....	13
Annex E (informative) Number of test pieces	14
Bibliography.....	15

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-6:2009

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SEMICONDUCTOR DEVICES –
MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –****Part 6: Axial fatigue testing methods of thin film materials**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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 62047-6 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/15/FDIS	47F/17/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 the parts in the IEC 62047 series, 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 maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-6:2009

SEMICONDUCTOR DEVICES – MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –

Part 6: Axial fatigue testing methods of thin film materials

1 Scope

This International Standard specifies the method for axial tensile–tensile force fatigue testing of thin film materials with a length and width under 1 mm and a thickness in the range between 0,1 μm and 10 μm under constant force range or constant displacement range. Thin films are used as main structural materials for MEMS and micromachines.

The main structural materials for MEMS, micromachines, etc., have special features, such as typical dimensions of a few microns, material fabrication by deposition, and test piece fabrication by means of non-mechanical machining, including photolithography. This International Standard specifies the axial force fatigue testing methods for micro-sized smooth specimens, which enables a guarantee of accuracy corresponding to the special features. The tests are carried out at room temperatures, in air, with loading applied to the test piece along the longitudinal axis.

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

3 Terms and definitions

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

3.1

maximum force

P_{max}

highest algebraic value of applied force in a cycle

NOTE Adapted from ASTM E 1823-05a [1]¹.

3.2

minimum force

P_{min}

lowest algebraic value of applied force in a cycle

NOTE Adapted from ASTM E 1823-05a [1].

3.3

mean force

P_{mean}

algebraic average of the maximum and minimum forces in constant amplitude loading, or of individual cycles

NOTE Adapted from ASTM E 1823-05a [1].

¹ The figures between brackets refer to the Bibliography.

3.4
force range

ΔP

algebraic difference between the maximum and minimum forces in constant amplitude loading

3.5
maximum stress

$\sigma_{\max}$

highest algebraic value of applied stress in a cycle

3.6
minimum stress

$\sigma_{\min}$

lowest algebraic value of applied force in a cycle

3.7
mean stress

σ_{mean}

algebraic average of the maximum and minimum stress in constant amplitude loading, or of individual cycles

3.8
stress range

$\Delta \sigma$

algebraic difference between the maximum and minimum stresses in constant amplitude loading

3.9
maximum displacement

$\delta_{\max}$

highest algebraic value of applied displacement in a cycle

3.10
minimum displacement

$\delta_{\min}$

lowest algebraic value of applied displacement in a cycle

3.11
mean displacement

δ_{mean}

algebraic average of the maximum and minimum displacement in constant amplitude loading, or of individual cycles

3.12
displacement range

$\Delta \delta$

algebraic difference between the maximum and minimum displacements in constant amplitude loading

3.13
force ratio
stress ratio

R

algebraic ratio of the minimum force (or the minimum stress) to the maximum force (or the maximum stress)

4 Test piece

4.1 Design of test piece

In order to minimize the influence of size, the test piece should have dimensions of the same order as that of the objective device component. The shape and dimensions of the specimen should be based on Annex C of IEC 62047-2.

The dimensions of the plane shape of the specimen shall be within an accuracy range of $\pm 1\%$ as specified in IEC 62047-2. The length of the parallel part of the test piece shall be more than 2,5 times the width. See C.1 in IEC 62047-2. The curved part between the gripped ends and the parallel part should have a radius of curvature sufficient to not cause a fracture at the curved part due to stress concentration. See C.2 in IEC 62047-2.

The gauge marks specified in IEC 62047-2 are not necessary if the marks may concentrate stress or initiate fatigue fractures.

4.2 Preparation of test piece

The test piece should be fabricated using a process as similar as possible to that of the device to which the thin film is to be applied. The test piece also should be fabricated following the procedures specified in IEC 62047-2. The substrate removal process should be carefully chosen to prevent damaging the test piece. See C.3 in IEC 62047-2.

The number of test pieces should be determined adequately according to the thin films tested. See Annex E.

4.3 Test piece thickness

The thickness of each test piece shall be measured, as the film thickness is not usually uniform over a wafer. The accuracy of the measurement shall be within 5 %. Each test piece should be measured directly. However, the film thickness at the step height of a window opening etched near the test piece can be used as the thickness of a specimen in order to avoid mechanical damage from the use of a stylus profiler, etc. Methods of measuring film thickness and measurement errors are given in C.4 of IEC 62047-2.

4.4 Storage prior to testing

In the case of thin films, the storage environment may affect the fatigue properties. If there is an interval between final preparation and testing, particular care should be taken in storing the test pieces, and the specimens should be examined by appropriate means to ensure that the surface has not deteriorated during the storage period. If any deterioration is observed that was not present after the specimens were prepared, testing shall not be performed. However, if the damage was introduced during the preparation processes, the test shall be performed.

5 Testing method and test apparatus

5.1 General

The testing machine should be equipped with a gripping mechanism appropriate for the test piece, as well as with a mechanism for applying cyclic loading. The cyclic loading applied to the test piece should be basically tensile-tensile mode loading.

For constant range force testing, maximum and minimum forces (or mean force and force range) shall be monitored and the testing machine should be equipped with a constant force range control system. For constant displacement range testing, the maximum and minimum

displacements (or mean displacement and displacement range) shall be monitored and the testing machine should be equipped with a constant displacement range control system.

A test-piece failure detection system should be provided and the number of loading (or displacement) cycles to failure shall be recorded.

5.2 Method of gripping (mounting of test piece)

Each test piece shall be mounted so that the loading axis and test piece axis are aligned. When gripping both ends of the test piece, care shall be taken to avoid applying excess force and/or bending stress to the test piece. The gripping methods indicated in Annex A of IEC 62047-2 are recommended for mounting the test pieces. In addition, the testing apparatus should be equipped with a test piece alignment mechanism to ensure that the tensile axis of the test piece is aligned with the loading direction of the test apparatus.

5.3 Static loading test

Static tensile testing of the test piece is recommended before fatigue testing in order to determine the testing conditions. Static tensile testing shall be carried out according to the procedures specified in IEC 62047-2.

5.4 Method of loading

If the specimen was fractured during the first loading cycle, the fracture stress shall be recorded and described in the report. The maximum and minimum forces (or mean force and force range) shall be kept constant during the constant force range test. The maximum and minimum displacement (or mean displacement and displacement range) shall be kept constant during the constant displacement range test.

A load cell with a resolution adequate to guarantee 5 % accuracy of the applied force shall be used. The drift of the load cell should be less than 1 % of the full-scale force during the testing. See Annex B in IEC 62047-2 regarding the accuracy of the load cell.

For constant displacement range testing, a displacement measurement system with a resolution adequate to guarantee 5 % accuracy of the applied displacement shall be used. See Annex C.

5.5 Speed of testing

As the frequency of the stress cycle will depend upon the testing environment, the type of testing machine employed, and the stiffness of the test piece, the frequency shall be that which is most suitable for the particular combination of environment, material, test piece, and testing machine. Generally, the frequency should be chosen properly depending on the application of thin film materials. In addition, the frequency shall not heat the test piece during the application of cyclic loading due to the rapid dissipation of strain energy in the test piece.

This practice does not apply to fatigue testing of viscoelastic films.

5.6 Environment control

As the environment greatly affects the fatigue properties of thin films, the testing temperature and humidity shall be monitored during testing. The testing temperature and relative humidity should be controlled to within ± 1 °C and ± 5 %, respectively. See Annex E. If it is difficult to control the testing temperature and humidity, these values shall be described in the test report.

6 Endurances (test termination)

Fatigue testing shall continue until the test piece is fractured or a predetermined number of cycles has been applied to the test piece. The termination criterion (test piece fracture or predetermined number of cycles) shall be described in the test report.

7 Test report

The test report shall include the following information.

- Mandatory
 - a) reference to this International Standard, i.e. IEC 62047-6
 - b) test piece material
 - in the case of a single crystal: crystallographic orientation
 - c) method and details of test piece fabrication
 - method of thin film deposition
 - fabrication processes
 - heat treatment (annealing) conditions
 - d) shape and dimensions of test piece
 - e) fatigue test conditions
 - mean stress (in the case of displacement control, mean displacement)
 - stress range (in the case of displacement control, displacement range)
 - testing environment (temperature and relative humidity)
 - wave form (sinusoidal, triangular, ramp)
 - frequency
 - f) fatigue test result
 - number of applied cycles to failure. If the test piece is not fractured during a predetermined number of cycles, the number of cycles and the description “no failure” should be noted.
 - definition (type) of failure
- Optional
 - a) microstructure
 - in the case of polycrystalline thin film: texture and grain size
 - b) internal stress
 - c) surface roughness of test piece
 - d) brief description of fracture characteristics

Annex A (informative)

Technical background of this standard

A.1 Significance of axial loading fatigue testing for thin films

MEMS devices are usually prepared from thin films deposited on a substrate. The micromachining techniques used are similar to the deposition and etching techniques employed in LSI processing. The microstructure and surface roughness of thin films depend upon the processing conditions, and micro/nano defects may occur during processing. These defects affect the mechanical properties of the thin films. Therefore, the mechanical properties of thin films should be measured using specimens prepared by the same process that is used to prepare the actual applied devices. In particular, the fatigue properties of thin films are essential data for designing durable and reliable MEMS devices. To date, fatigue tests of micro-sized components, including thin films, have been carried out using on-chip type test structures [2]-[4] and micro-sized specimens [5]-[6] prepared from thin films. These methods are, however, not standardized, making it difficult to compare fatigue data from different institutions. To date, ISO 1099 [8] and ASTM E 466-96 [9] have been specified as standard testing methods for fatigue testing of macro-sized materials. Of these standard testing methods, the axial fatigue testing method was established first, and extended testing methods, including data processing such as S-N curves, have been specified. Axial fatigue testing is thus a fundamental testing method for evaluating the fatigue properties of material, as is tensile testing under static loading. Therefore, a general discussion of the fatigue properties of MEMS devices is possible by first specifying the method used for axial fatigue testing of thin films.

A.2 Outline of round-robin tests performed in Japan [10]

This standard specifies the method for axial tensile–tensile force fatigue testing of thin film materials based on the results of round-robin tests (RRT) on axial fatigue testing of thin films that were performed from 2003 to 2005 in Japan.

The RRT was carried out with the participation of several universities and research institutes in Japan. The materials used were single and polycrystalline Si thin films, and polycrystalline Al thin film. These thin films were deposited on Si wafers. Micro-sized specimens were prepared from the thin film layer on the same wafer in accordance with IEC 62047-2 using a photolithography technique. The geometry of each test piece was such that it fit the testing machine at the specified institute, but the dimensions of the parallel parts of each test piece were standardized in accordance with IEC 62047-2. Axial fatigue tests were carried out mostly under force control, and the load application, force measurement, and displacement measurement were noted. The effect of the environment (mainly humidity) on fatigue life was also examined. The results were plotted as S-N curves and cross comparison of fatigue life was made. The validity of the testing as a standardized method was investigated and summarized in this standard.

Annex B

(informative)

Test piece

The shape and dimensions of the specimen should be designed based on IEC 62047-2. The axial fatigue test condition is determined by the yield stress and fracture strength of the test piece. Fatigue test conditions are easier to determine if the same specimens for tensile testing are used. Incidentally, the geometry of the cross section of the test piece specified in IEC 62047-2 is proportionally reduced to that specified in ISO 6892 [11].

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-6:2009

Annex C (informative)

Displacement measurement

When gauge marks are placed on the test piece, the displacement should be measured by the interference light of the reflected light obtained by laser irradiation of the gauge mark and simultaneous sensing of two gauge marks by a double-field-of-view microscope, which shows two distant gauge marks at once. When gauge marks are difficult to place on the test piece or the distance between the gauge marks cannot be measured (due to high cyclic frequency of loading), the displacement of the gripping device or that of the actuator can be used, but a description of such measurement shall be included in the report.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-6:2009

Annex D (informative)

Testing environment

The testing environment has a more significant effect on the fatigue life of micro-sized materials than it does on that of macro-sized materials due to the larger specific surface area. Particularly, the fatigue life greatly depends upon the humidity during the test [4]. Therefore, control of the humidity during fatigue testing is critical for micro-sized materials.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-6:2009

Annex E (informative)

Number of test pieces

In general, fatigue data including fatigue life and fatigue strength are scattered widely, and the statistical analysis is becoming important for estimating fatigue life and strength. For bulk materials, these analyses are specified in ISO 12107 [12]. Based on this standard, the number of test pieces can be determined depending on the required reliability of test results. This standard is, however, limited to the analysis of fatigue data for materials exhibiting homogeneous behaviour due to a single mechanism of fatigue failure.

For metallic thin film materials, the fatigue is usually controlled by single mechanism, and the number of specimen can be determined based on ISO 12107. For Si thin film materials, however, several fatigue mechanisms are considered to be involved, and the possible fatigue mechanisms have not yet been identified. This indicates that the analysis method in ISO 12107 cannot be directly applicable for determining the number of test pieces for Si thin film materials.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-6:2009

Bibliography

- [1] ASTM E 1823-05a, *Standard terminology relating to fatigue and fracture testing*.
 - [2] Kahn, H., Ballarini, R., Mullen, R. L., Heuer, A. H., Electrostatically actuated failure of microfabricated polysilicon fracture mechanics specimens, *Proceedings of the Royal Society of London*, 455 (1999), pp. 3807-3823.
 - [3] Ando, T., Shikida, M. and Sato, K., Tensile-mode fatigue testing of silicon films as structural materials for MEMS, *Sensors and Actuators*, A93 (2001) pp. 70-75.
 - [4] Muhlstein, C. L., Brown, S. B. and Ritchie, R. O., High-cycle fatigue and durability of polycrystalline silicon thin films in ambient air, *Sensors and Actuators*, A94 (2001), pp. 177-188.
 - [5] Sharpe Jr., W. N. and Bagdahn, J., Fatigue testing of polysilicon – a Review, *Mechanics of Materials*, 36 (2004) pp. 3-11.
 - [6] Namazu, T. and Isono, Y., High-cycle fatigue damage evaluation for micro-nanoscale single crystal silicon under bending and tensile stressing, *Proc. 17th IEEE International Conference on MEMS 2004*, IEEE, Maastricht, Netherlands, (2004), pp. 149-152.
 - [7] Takashima, K. and Higo, Y., Fatigue and fracture of a Ni-P amorphous alloy thin film on the micrometer scale, *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 28 (2005), pp. 703-710.
 - [8] ISO 1099, *Metallic materials – Fatigue testing – Axial force-controlled method*
 - [9] ASTM E 466-96, *Standard practice for conducting force controlled constant amplitude axial fatigue tests of metallic materials*.
 - [10] Takashima, K, Round-Robin Test on Fatigue of Thin Films for MEMS Applications in Japan, *Proc. 2nd Workshop on Characterization of Materials for MEMS/MST Devices*, Micromachine Center, Japan, (2006) p.15.
 - [11] ISO 6892, *Metallic materials – Tensile testing at ambient temperature*
 - [12] ISO 12107, *Metallic materials – Fatigue testing – Statistical planning and analysis of data*
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	17
1 Domaine d'application	19
2 Références normatives	19
3 Termes et définitions	19
4 Éprouvette d'essai	21
4.1 Conception de l'éprouvette d'essai	21
4.2 Préparation de l'éprouvette d'essai	21
4.3 Epaisseur de l'éprouvette d'essai	21
4.4 Stockage avant essais	21
5 Méthode d'essai et appareillage d'essai	22
5.1 Généralités	22
5.2 Méthode de fixation (montage de l'éprouvette d'essai)	22
5.3 Essai de charge statique	22
5.4 Méthode de charge	22
5.5 Vitesse d'essai	22
5.6 Contrôle de l'environnement	23
6 Endurances (fin de l'essai)	23
7 Rapport d'essai	23
Annexe A (informative) Contexte technique de la présente norme	25
Annexe B (informative) Éprouvette d'essai	26
Annexe C (informative) Mesure du déplacement	27
Annexe D (informative) Environnement d'essai	28
Annexe E (informative) Nombre d'éprouvettes d'essai	29
Bibliographie	30

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-6:2009

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS –
DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –****Partie 6: Méthodes d'essais de fatigue axiale
des matériaux en couche mince**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les publications CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et elles 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. Toute divergence entre toute Publication de la CEI et toute publication nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses publications.
- 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 propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété ou de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 62047-6 a été établie par le sous-comité 47F: Systèmes microélectromécaniques, du comité d'études 47 de la CEI: Dispositifs à semiconducteurs.

Le texte de la présente norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
47F/15/FDIS	47F/17/RVD

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

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

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance 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 encore
- modifiée.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-6:2009

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

Partie 6: Méthodes d'essais de fatigue axiale des matériaux en couche mince

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie la méthode relative à l'essai de fatigue pour une force axiale de traction-traction des matériaux en couche mince de longueur et largeur inférieures à 1 mm et d'une épaisseur comprise entre 0,1 μm et 10 μm dans le cadre d'une gamme de force constante ou d'une gamme de déplacement constant. Les couches minces sont utilisées comme matériaux de construction principaux pour les systèmes micro-électromécaniques (MEMS, *Micro-Electromechanical Systems*) et les micromachines.

Les matériaux de construction principaux pour les MEMS, les micromachines, etc. comportent des caractéristiques spéciales telles que des dimensions typiques de l'ordre de quelques microns, une fabrication de matériau par dépôt, et une fabrication d'éprouvettes d'essai au moyen d'un usinage non mécanique, qui peut être la photolithographie. La présente Norme internationale spécifie les méthodes d'essais de fatigue pour force axiale pour des éprouvettes lisses microminiaturisées, qui garantissent une précision correspondant aux caractéristiques spéciales. Les essais sont effectués à températures ambiantes, à l'air, en appliquant la charge à l'éprouvette le long de l'axe longitudinal.

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

3 Termes et définitions

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

3.1

force maximale

P_{max}

valeur algébrique la plus élevée de la force appliquée en un cycle

NOTE Adaptation de la norme ASTM E 1823-05a [1]¹.

3.2

force minimale

P_{min}

valeur algébrique la plus faible de la force appliquée en un cycle

NOTE Adaptation de la norme ASTM E 1823-05a [1].

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

3.3
force moyenne

P_{mean}

moyenne algébrique des forces maximale et minimale en charge d'amplitude constante, ou des cycles individuels

NOTE Adaptation de la norme ASTM E 1823-05a [1].

3.4
gamme de forces

ΔP

différence algébrique entre les forces maximale et minimale en charge d'amplitude constante

3.5
contrainte maximale

σ_{max}

valeur algébrique la plus élevée de la contrainte appliquée dans un cycle

3.6
contrainte minimale

σ_{min}

valeur algébrique la plus faible de la force appliquée en un cycle

3.7
contrainte moyenne

σ_{mean}

moyenne algébrique des contraintes maximale et minimale en charge d'amplitude constante, ou des cycles individuels

3.8
gamme de contraintes

$\Delta \sigma$

différence algébrique entre les contraintes maximale et minimale en charge d'amplitude constante

3.9
déplacement maximal

δ_{max}

valeur algébrique la plus élevée de déplacement appliqué dans un cycle

3.10
déplacement minimal

δ_{min}

valeur algébrique la plus faible de déplacement appliqué dans un cycle

3.11
déplacement moyen

δ_{mean}

moyenne algébrique du déplacement maximal et minimal en charge d'amplitude constante, ou des cycles individuels

3.12
gamme de déplacement

$\Delta \delta$

différence algébrique entre les déplacements maximal et minimal en charge d'amplitude constante

3.13

rapport des forces rapport des contraintes

R

rapport algébrique de la force minimale (ou de la contrainte minimale) à la force maximale (ou à la contrainte maximale)

4 Éprouvette d'essai

4.1 Conception de l'éprouvette d'essai

Afin de minimiser l'influence de la taille, il convient que l'éprouvette d'essai ait des dimensions du même ordre que celles du composant objectif du dispositif. Il convient que la forme et les dimensions de l'éprouvette soient fondées sur l'Annexe C de la CEI 62047-2.

Les dimensions de la forme plane de l'éprouvette doivent se situer à l'intérieur d'une plage de précision de ± 1 %, comme spécifié dans la CEI 62047-2. La longueur de la partie parallèle de l'éprouvette d'essai doit être supérieure à 2,5 fois la largeur. Voir C.1 de la CEI 62047-2. Il convient que la partie courbe entre les extrémités fixées et la partie parallèle comporte un rayon de courbure suffisamment grand pour ne pas rompre à la partie courbe en raison d'une concentration de contrainte. Voir C.2 de la CEI 62047-2.

Les marques repères spécifiées dans la CEI 62047-2 ne sont pas nécessaires si les marques peuvent concentrer une contrainte ou initier des ruptures de fatigue.

4.2 Préparation de l'éprouvette d'essai

Il convient de fabriquer l'éprouvette d'essai en utilisant un procédé aussi similaire que possible à celui du dispositif où doit être appliquée la couche mince. Il convient de fabriquer l'éprouvette d'essai en suivant les procédures spécifiées dans la CEI 62047-2. Il convient de choisir avec soin le processus d'élimination du substrat pour prévenir l'endommagement de l'éprouvette d'essai. Voir C.3 de la CEI 62047-2.

Il convient de déterminer correctement le nombre d'éprouvettes d'essai selon les couches minces soumises à l'essai. Voir l'Annexe E.

4.3 Épaisseur de l'éprouvette d'essai

L'épaisseur de chaque éprouvette d'essai doit être mesurée car l'épaisseur de la couche n'est habituellement pas uniforme sur une plaquette. La précision de la mesure doit se situer à 5 % près. Il convient de mesurer directement chaque éprouvette d'essai. Cependant, l'épaisseur de couche au niveau de la hauteur de pas d'une ouverture de fenêtre gravée près de l'éprouvette d'essai peut être utilisée en tant qu'épaisseur d'une éprouvette afin d'éviter les dommages mécaniques provoqués par l'utilisation d'un profileur à pointe. Les méthodes de mesure de l'épaisseur de couche et les erreurs de mesure figurent en C.4 de la CEI 62047-2.

4.4 Stockage avant essais

Dans le cas de couches minces, l'environnement de stockage peut affecter les propriétés de fatigue. S'il existe un intervalle de temps entre la préparation finale et les essais, il convient de bien veiller au stockage des éprouvettes d'essai et il convient d'examiner les échantillons par des moyens appropriés pour s'assurer que la surface n'a pas été détériorée au cours de la période de stockage. Si on observe une détérioration quelconque qui n'était pas présente après que les éprouvettes ont été préparées, les essais ne doivent pas être réalisés. Cependant, si le dommage s'est introduit au cours des processus de préparation, l'essai doit être réalisé.

5 Méthode d'essai et appareillage d'essai

5.1 Généralités

Il convient d'équiper la machine d'essai avec un mécanisme de fixation approprié à l'éprouvette d'essai, ainsi qu'avec un mécanisme pour l'application de la charge cyclique. Il convient que la charge cyclique appliquée à l'éprouvette d'essai soit fondamentalement une charge en mode traction-traction.

Pour les essais de force dans une gamme constante, les forces maximale et minimale (ou la force moyenne et la gamme de force) doivent être surveillées et il convient d'équiper la machine d'essai avec un système de commande dans une gamme de force constante. Pour les essais dans une gamme de déplacement constant, les déplacements maximal et minimal (ou le déplacement moyen et la gamme de déplacement) doivent être surveillés et il convient d'équiper la machine d'essai avec un système de commande dans une gamme de déplacement constant.

Il convient de prévoir un système de détection de défaillance des éprouvettes d'essai, et le nombre de cycles de charge (ou de déplacement) doit être consigné.

5.2 Méthode de fixation (montage de l'éprouvette d'essai)

Chaque éprouvette d'essai doit être montée de sorte que l'axe de charge et l'axe de l'éprouvette d'essai soient alignés. Lors de la fixation des deux extrémités de l'éprouvette d'essai, il faut prendre soin d'éviter d'appliquer une force excessive et/ou une contrainte de flexion à l'éprouvette d'essai. Les méthodes de fixation indiquées dans l'Annexe A de la CEI 62047-2 sont recommandées pour le montage des éprouvettes d'essai. En outre, il convient d'équiper l'appareillage d'essai avec un mécanisme d'alignement de l'éprouvette d'essai pour s'assurer que l'axe de traction de l'éprouvette d'essai est aligné avec le sens de la charge de l'appareillage d'essai.

5.3 Essai de charge statique

L'essai de traction statique de l'éprouvette d'essai est recommandé avant l'essai de fatigue afin de déterminer les conditions d'essai. L'essai de traction statique doit être effectué conformément aux procédures spécifiées dans la CEI 62047-2.

5.4 Méthode de charge

Si l'éprouvette s'est rompue au premier cycle de charge, la contrainte de rupture doit être consignée et décrite dans le rapport. Les forces maximale et minimale (ou la force moyenne et la gamme de force) doivent être maintenues constantes au cours de l'essai de gamme de force constante. Les déplacements maximal et minimal (ou le déplacement moyen et la gamme de déplacement) doivent être maintenus constants au cours de l'essai de gamme de déplacement constant.

Une cellule de charge avec une résolution appropriée pour garantir une précision de 5 % de la force appliquée doit être utilisée. Il convient que la dérive de la cellule de charge soit inférieure à 1 % de la force pleine échelle au cours de l'essai. Voir l'Annexe B de la CEI 62047-2 concernant la précision de la cellule de charge.

Pour l'essai de gamme de déplacement constant, un système de mesure du déplacement avec une résolution appropriée pour garantir une précision de 5 % du déplacement appliqué doit être utilisé. Voir l'Annexe C.

5.5 Vitesse d'essai

Comme la fréquence du cycle de contrainte dépend de l'environnement d'essai, du type de machine d'essai employé, et de la rigidité de l'éprouvette d'essai, la fréquence doit être celle

qui est la plus appropriée pour la combinaison particulière d'environnement, de matériau, d'éprouvette et de machine d'essai. Généralement, il convient de choisir correctement la fréquence en fonction de l'application des matériaux en couche mince. De plus, la fréquence ne doit pas échauffer l'éprouvette d'essai au cours de l'application de la charge cyclique en raison de la dissipation rapide de l'énergie de déformation dans l'éprouvette d'essai.

Cette pratique ne s'applique pas à l'essai de fatigue des couches viscoélastiques.

5.6 Contrôle de l'environnement

Comme l'environnement affecte considérablement les propriétés de fatigue des couches minces, la température d'essai et l'humidité doivent être surveillées au cours de l'essai. Il convient de contrôler la température d'essai et l'humidité relative à ± 1 °C et ± 5 % près, respectivement. Voir l'Annexe E. S'il s'avère difficile de contrôler la température d'essai et l'humidité, ces valeurs doivent être décrites dans le rapport d'essai.

6 Endurances (fin de l'essai)

L'essai de fatigue doit se poursuivre jusqu'à ce que l'éprouvette d'essai se rompe ou qu'un nombre prédéterminé de cycles ait été appliqué à l'éprouvette. Le critère de fin (rupture de l'éprouvette d'essai ou nombre prédéterminé de cycles) doit être décrit dans le rapport d'essai.

7 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit fournir les indications suivantes.

- Obligatoires
 - a) la référence à la présente Norme Internationale, c'est-à-dire la CEI 62047-6
 - b) le matériau de la pièce d'essai
 - dans le cas d'un monocristal: l'orientation cristallographique
 - c) la méthode et les détails de fabrication de l'éprouvette
 - la méthode de dépôt de couches minces
 - les processus de fabrication
 - les conditions (de recuit) de traitement thermique
 - d) la forme et les dimensions de l'éprouvette d'essai
 - e) les conditions d'essai de fatigue
 - la contrainte moyenne (dans le cas de commande de déplacement, de déplacement moyen)
 - la gamme de contraintes (dans le cas de commande de déplacement, gamme de déplacements)
 - l'environnement d'essai (température et humidité relative)
 - la forme d'onde (sinusoïdale, triangulaire, rampe)
 - la fréquence
 - f) le résultat d'essai de fatigue
 - le nombre de cycles appliqués avant défaillance. Si l'éprouvette d'essai ne se rompt pas au cours d'un nombre prédéterminé de cycles, il convient de noter le nombre de cycles et la description "pas de défaillance".
 - la définition (le type) de défaillance
- Facultatives
 - a) la microstructure

- dans le cas de couche mince polycristalline: la texture et la taille de grain
- b) la contrainte interne
- c) la rugosité de surface de l'éprouvette d'essai
- d) une brève description des caractéristiques de rupture

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-6:2009

Annexe A **(informative)**

Contexte technique de la présente norme

A.1 Signification des essais de fatigue à charge axiale pour les couches minces

Les dispositifs MEMS sont habituellement préparés à partir de couches minces déposées sur un substrat. Les techniques de micro-usinage utilisées sont similaires aux techniques de dépôts et de gravure employées dans le processus LSI (*Large Scale Integration*, intégration à grande échelle). La microstructure et la rugosité de surface des couches minces dépendent des conditions de traitement et des micro/nano défauts susceptibles de survenir au cours du traitement. Ces défauts affectent les propriétés mécaniques des couches minces. De ce fait, il convient que les propriétés mécaniques des couches minces soient mesurées en utilisant des éprouvettes préparées par le même processus que celui utilisé pour préparer les dispositifs appliqués réels. En particulier, les propriétés de fatigue des couches minces constituent des données essentielles pour la conception de dispositifs MEMS durables et fiables. A ce jour, les essais de fatigue des composants microminiaturisés, y compris des couches minces, ont été effectués au moyen de structures d'essai de type sur puce [2]-[4] et d'éprouvettes microminiaturisées [5]-[6] préparées à partir de couches minces. Cependant, ces méthodes ne sont pas normalisées ce qui rend difficile la comparaison de données de fatigue provenant d'institutions différentes. A ce jour, l'ISO 1099 [8] et l'ASTM E 466-96 [9] ont été spécifiées comme fournissant les méthodes d'essai normalisées pour l'essai de fatigue des matériaux de taille macroscopique. Parmi ces méthodes d'essai normalisées, la méthode d'essai de fatigue axiale a été établie en premier, et des méthodes d'essai étendues, y compris le traitement de données tel que les courbes S-N, ont été spécifiées. L'essai de fatigue axiale constitue ainsi une méthode d'essai fondamentale pour l'évaluation des propriétés de fatigue du matériau, comme l'est l'essai de traction en charge statique. Par conséquent, une discussion générale des propriétés de fatigue des dispositifs MEMS est possible en spécifiant en premier lieu la méthode utilisée pour l'essai de fatigue axiale des couches minces.

A.2 Aperçu des essais inter-laboratoires (*round-robin*) pratiqués au Japon [10]

La présente norme spécifie la méthode d'essai de fatigue pour force axiale de traction-traction des matériaux en couche mince fondée sur les résultats des essais inter-laboratoires (RRT, *round-robin test*) sur l'essai de fatigue axiale des couches minces pratiqué de 2003 à 2005 au Japon.

Le RRT a été effectué avec la participation de plusieurs universités et instituts de recherche du Japon. Les matériaux utilisés étaient les couches minces en silicium monocristallin et polycristallin, et la couche mince en aluminium polycristallin. Ces couches minces ont été déposées sur des plaquettes de silicium. Les éprouvettes microminiaturisées ont été préparées à partir de la couche mince sur la même plaquette conformément à la CEI 62047-2 au moyen d'une technique photolithographique. La géométrie de chaque éprouvette d'essai était telle qu'elle s'adaptait à la machine d'essai de l'institut spécifié, mais les dimensions des parties parallèles de chaque éprouvette d'essai ont été normalisées conformément à la CEI 62047-2. Les essais de fatigue axiale ont été effectués la plupart du temps sous un contrôle de la force, et l'application de la charge, la mesure de la force et la mesure du déplacement ont été notées. L'effet de l'environnement (principalement l'humidité) sur la durée de vie en fatigue a également été examiné. Les résultats ont été tracés en courbes S-N et une comparaison croisée de la durée de vie en fatigue a été effectuée. La validité de l'essai comme méthode normalisée a été étudiée et résumée dans la présente norme.