

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Semiconductor devices – Flexible and stretchable semiconductor devices –
Part 4: Fatigue evaluation for flexible conductive thin film on the substrate for
flexible semiconductor devices**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs à semiconducteurs souples et
extensibles –**

**Partie 4: Evaluation de la fatigue pour les couches minces conductrices souples
sur les substrats pour dispositifs à semiconducteurs souples**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2019 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
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 corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 once a month by email.

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: sales@iec.ch.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 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.

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.

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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 une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 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.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Semiconductor devices – Flexible and stretchable semiconductor devices –
Part 4: Fatigue evaluation for flexible conductive thin film on the substrate for
flexible semiconductor devices**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs à semiconducteurs souples et
extensibles –
Partie 4: Evaluation de la fatigue pour les couches minces conductrices souples
sur les substrats pour dispositifs à semiconducteurs souples**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.080.99

ISBN 978-2-8322-6610-6

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....	3
1 Scope.....	5
2 Normative references	5
3 Terms and definitions	5
4 Test piece	6
4.1 Design of test piece	6
4.2 Preparation of a test piece	7
4.3 Measurement of dimensions	7
4.4 Storage prior to testing	7
5 Testing method and test apparatus.....	7
5.1 General.....	7
5.2 Test apparatus.....	7
5.3 Method of gripping	7
5.4 Bending test.....	8
5.5 Dynamic bending fatigue test	8
5.6 Static bending fatigue test.....	8
5.7 Bending fatigue test of flexible substrate.....	8
5.8 Speed of bending fatigue test	8
6 Test.....	8
6.1 Test procedure.....	8
6.2 Failure criterion (test termination)	9
6.3 Test environments	9
6.4 Recorded data	9
7 Test report.....	9
Annex A (informative) Various bending fatigue testers	10
Bibliography.....	13
Figure A.1 – Bending fatigue tester using curved mandrel and roller	10
Figure A.2 – Cyclic mandrel bending tester.....	11
Figure A.3 – Collapsing radius bending fatigue tester	11
Figure A.4 – X-Y-θ bending fatigue test method	11
Figure A.5 – Schematic of the bending fatigue test	12

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SEMICONDUCTOR DEVICES –
FLEXIBLE AND STRETCHABLE SEMICONDUCTOR DEVICES –****Part 4: Fatigue evaluation for flexible conductive thin film
on the substrate for flexible semiconductor devices**

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 62951-4 has been prepared by IEC technical committee 47: Semiconductor devices.

The text of this International Standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
47/2531/FDIS	47/2549/RVD

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

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

A list of all parts in the IEC 62951 series, published under the general title *Semiconductor devices – Flexible and stretchable semiconductor devices*, can be found on the IEC website.

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62951-4:2019

SEMICONDUCTOR DEVICES – FLEXIBLE AND STRETCHABLE SEMICONDUCTOR DEVICES –

Part 4: Fatigue evaluation for flexible conductive thin film on the substrate for flexible semiconductor devices

1 Scope

This part of IEC 62951 specifies an evaluation method of the bending fatigue properties of conductive thin film and flexible substrate for the application at flexible semiconductor devices. The films include any films deposited or bonded onto a non-conductive flexible substrate such as thin metal film, transparent conducting electrode, and thin silicon film used for flexible semiconductor devices. The electrical and mechanical behaviours of films on the substrate are evaluated. The fatigue test methods include dynamic bending fatigue test and static bending fatigue test.

2 Normative references

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

IEC 62047-2:2006, *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.

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

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

3.1 bending radius

radius of arc corresponding to the curvature of the central line between innermost and outermost surfaces of flexible electronic devices during a bending test

[SOURCE: IEC 62715-1-1:2013, 2.5.1, modified – The words "a flexible display device" have been replaced by "flexible electronic devices".]

3.2 critical bending radius

bending radius at which the failure of the flexible semiconductor devices occurs

Note 1 to entry: For the conductive films, the electrical resistance starts to exceed a predefined limit, and/or fracture of the film or caused by delamination or initiation of the cracks occurs, or by damage of the substrate.

3.3

flexible substrate

substrate with flexibility onto which conductive thin films will be deposited, bonded or attached

[SOURCE: IEC 62951-1:2017, 3.1.4.]

3.4

outer bending test

test, where the test piece is bent into a convex shape ($\cap$)

Note 1 to entry: Outer bending test induces tensile stress on the film.

Note 2 to entry: There are different names of outer bending test such as outward, face-out, or convex bending test.

3.5

inner bending test

test, where the test piece is bent into a concave shape ($\cup$)

Note 1 to entry: Inner bending test induces compressive stress on the film.

Note 2 to entry: There are different names of inner bending test such as inward, face-in, or concave bending test.

3.6

dynamic bending fatigue test

test designed for determining the bending properties of flexible semiconductor device to withstand the repeated strain for a certain period of time

3.7

static bending fatigue test

test designed for determining the bending properties of flexible semiconductor device to withstand the same strain for a certain period of time

Note 1 to entry: Test piece is bent at fixed bending radius for any length of time.

3.8

S - N curve

plot of stress (S) against the number of cycles to failure

[SOURCE: IEC 62047-12:2011, 3.3, modified – The expression "plot of stress or strain" has been replaced by "plot of stress".]

3.9

ε - N curve

plot of strain (ε) against the number of cycles to failure

[SOURCE: IEC 62047-12:2011, 3.3, modified – The term has been modified and the expression "plot of stress or strain (S)" has been replaced by "plot of strain (ε).]

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 as much as possible. The shape of a test piece is based on 4.2 of IEC 62047-22:2014. Since the change in electrical resistance is related to strain or stress, the electrical resistance shall be measured in a region of nearly uniform strain. To measure electrical resistance, attach lead wires to the conductive thin film of the test piece. For uniform strain distribution, the shape of the test piece is a rectangular strip.

4.2 Preparation of a test piece

The test piece shall be prepared using the same fabrication process as the real device fabricated for flexible electronics and flexible semiconductor devices, because the mechanical and electrical properties depend on the fabrication processes. Thin conductive film shall be carefully prepared to prevent formation of cracks or flaws and delamination from the substrate.

4.3 Measurement of dimensions

The thickness and width of the conductive thin film and flexible substrate shall be accurately measured respectively, because the dimensions are used to determine the mechanical and electrical properties of test materials. Each test piece should be measured directly. Both the thickness and width of the test piece shall be specified within the maximum error of $\pm 1\%$ for the thickness and $\pm 5\%$ for the width. Thickness measurement shall be performed according to Clause 4 and Annex C of IEC 62047-2:2006. There can be some combinations of thin film and substrate where it is difficult to fulfil the tolerance of thickness measurement. In this case the average and the standard deviation of the thickness measurement should be reported.

4.4 Storage prior to testing

Care should be taken on the storage environment, because for thin films and flexible substrates there is a great risk to affect the electromechanical properties of the film by the storage environment. For example, oxidation on the test piece surface will deteriorate the electrical and mechanical properties of the test piece. If there is a longer duration 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.

5 Testing method and test apparatus

5.1 General

The test is performed by bending a test piece. The bending strain induced by the tensile or compressive load shall be uniform in a pre-defined gauge section in the elastic region of the substrate and the thin film. To measure the change in electrical resistance along with the change in mechanical strain, carefully select the gauge section. The gauge section for measuring mechanical strain shall be coincident with or scalable to that for measuring electrical resistance.

5.2 Test apparatus

The cyclic bending test equipment includes the clamp to hold a bending test sample, the moving part to shuttle, and control system which regulates cyclic bending number, moving distance, and moving speed while testing. Specimen should be securely clamped with gripping part during the test. Several cyclic bending test equipments are available and described in Annex A. It is not necessary that a certain type of bending test equipment be preferred. During the test, however, the test apparatus shall not cause any unintended damage to the test piece such as scratches and other defects.

5.3 Method of gripping

It is recommended that the test piece be tightly clamped. However, this should be carefully done in order to prevent local stress concentration in the clamped region. The stress concentration in the clamped region could generate some cracks or any damage on the film, resulting in failure of the film or substrate.

5.4 Bending test

The bending test of the test piece is recommended before the cyclic fatigue testing in order to determine the testing conditions such as critical bending radius and prevent too early failure of the test piece during the cyclic loading for the bending fatigue tests. For example, if the critical bending radius of the test piece is found to be 5 mm from the bending test, the use of a larger bending radius shall be recommended for the dynamic bending fatigue test.

5.5 Dynamic bending fatigue test

This test is to provide a standard procedure for determining the cyclic bending fatigue properties of flexible semiconductor devices to withstand the repeated strain for a certain period of time. This test can be performed in an outer bending mode or inner bending mode depending on the application of the films and devices.

5.6 Static bending fatigue test

This test is to provide a standard procedure for determining the bending fatigue properties of flexible semiconductor devices to withstand the same strain for a certain period of time. Each specimen is bent at fixed bending radius for a certain period of time. There are several types of bending test equipments to measure the static bending fatigue property of the semiconductor device. It is not necessary that a certain type of bending test method be preferred. Mandrel or round bar with a certain radius can be used. In order to make sure that the specimen is bent at a fixed bending radius, the specimen should be safely clamped with pressing tool or securely adhere to the test equipment.

5.7 Bending fatigue test of flexible substrate

The bending fatigue properties of the conductive thin films or semiconductor devices deposited on flexible substrates are influenced by the fatigue properties of flexible substrates. Therefore, the dynamic or static bending fatigue testing of the substrate itself is recommended prior to fatigue testing of the conductive thin films or semiconductor devices. Any damages, deformation, or cracks of the substrate should be carefully monitored during the bending fatigue test.

5.8 Speed of bending fatigue test

The frequency of the bending cycle will depend upon the testing environment, the type of testing machine employed, and the stiffness of the test piece. Generally, the frequency should be chosen properly depending on the application of flexible semiconductor devices. 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. It is recommended that the frequency of the cyclic motion should be within the range from around 0,1 Hz to 1 Hz. This practice does not apply to fatigue testing of the viscoelastic films.

6 Test

6.1 Test procedure

The test procedure is as follows:

- a) Place the test piece into the holder. 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 5°. In case of outer bending test, the sample is facing upward to apply tensile stress, and in case of inner bending test, the sample is facing downward to apply the compressive stress.
- b) Measure the electrical properties such as electrical resistance of the test piece.
- c) The test piece is bent with a decreasing bending radius by controlling the moving distance from flat surface to a designated bending radius. The test is performed under a constant

bending stroke speed depending on the material system of the test piece and the actual usage condition of the customer. For the conductive films, change in electrical resistance should be measured in situ during test.

- d) Unload the test piece when electrical failure occurs in the test piece or fracture/damage of the film or the substrate occurs.

6.2 Failure criterion (test termination)

Fatigue testing shall continue until the test piece is cracked or failed, or until a predetermined number of cycles have been applied to the test piece depending on the application of flexible semiconductor. The termination criterion (test piece fracture or predetermined number of cycles) shall be described in the test report.

6.3 Test environments

It is recommended to perform a test under constant temperature and humidity. As the environmental conditions such as temperature and humidity affect the electrical and mechanical properties of thin films, the testing temperature and humidity shall be monitored during testing. Fluctuations in temperature during the test shall be controlled to be less than $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Flexible substrates made of certain polymeric materials can be sensitive to humidity; thus, the change in relative humidity (RH) in the testing laboratory shall be controlled to be less than $\pm 5\%$ RH for such materials. When the tests are completed, the environmental conditions should be recorded.

6.4 Recorded data

The failure of the specimen shall be recorded. $S-N$ curve is generally used for fatigue life prediction. However, for the bending fatigue test of flexible semiconductor devices, ε (strain)- N curve or critical bending radius- N curve can be more appropriate for the bending fatigue test.

7 Test report

The test report shall contain the following information.

a) Mandatory

- 1) Test piece material and substrate material
- 2) Test piece preparation procedures
- 3) Test piece dimensions and their measurement method
- 4) Description of the testing apparatus;
- 5) Fatigue test conditions
 - bending radius
 - speed of the test
 - testing environments (temperature and relative humidity)
 - bending mode (outer or inner bending)
- 6) Fatigue test result
 - Fatigue life ($S-N$, or $\varepsilon-N$, and critical bending radius- N) curve. 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.
 - Change of electrical resistance

b) Optional

- 1) Internal residual stress of the film
- 2) Surface roughness of test piece
- 3) Failure mechanism of the test piece

Annex A (informative)

Various bending fatigue testers

There are several equipments for the bending fatigue test which were suggested by several researchers. Bending fatigue equipment in Figure A.1 used a curved mandrel with a fixed radius [3]¹. The mandrel produces the concave and convex shapes for a cyclic bending, producing the concave and convex shapes. The rollers eliminate the vibration caused by the movement of the balance weight, which ensures smooth bending. Fatigue equipment in Figure A.2 also uses a mandrel and shaft which repeatedly rotates clockwise and counter clockwise [5]. One end of the sample is firmly fastened to the mandrel by a metal plate screwed on to the curved mandrel surface. The other end of the sample is clamped between a pair of thin metal plates, which, in turn, are held in place by a low-tension spring. The bending fatigue tester in Figure A.3 is known as a collapsing radius tester. The sample is mounted between the plates in a curved shape of some relatively large radius and it is subsequently squeezed between the plates. The bending radius is approximately the half of the distance between the plates. In the X-Y- θ system [6] as shown Figure A.4, the test piece is clamped in a flat position between a fixed plate and a co-planar plate mounted on top of a stack of two linear and one rotary motorized actuator. These actuators control the spatial coordinates of the specimen end in X-Y- θ space in such a way that the specimen end is positioned on the coordinates of a circumference. The details on the test method can be found in [6]. The angle θ is defined as the angle between the tangent to the test piece end and the X-axis. The bending tester shown in Figure A.5 includes the test piece holder to place a test piece, and control system in which separation distance is controlled by an actuator or motor. Use of an optical microscope is recommended to observe the existence of cracks on surface of the test piece during the test. The control system regulates the moving distance and moving speed while testing. The calculation of the bending radius is described in [7].

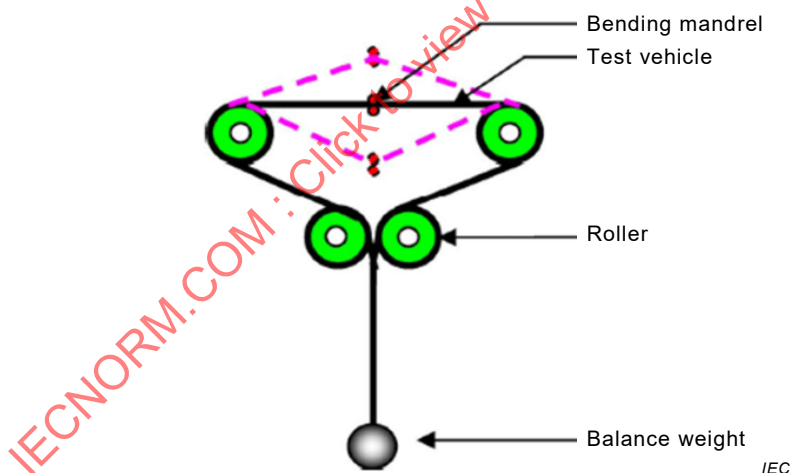
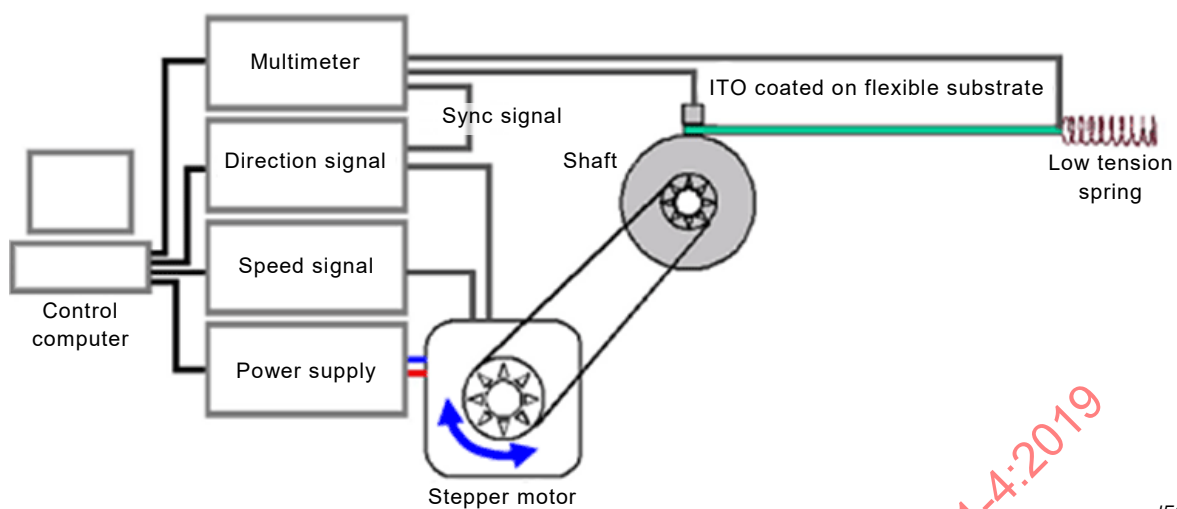


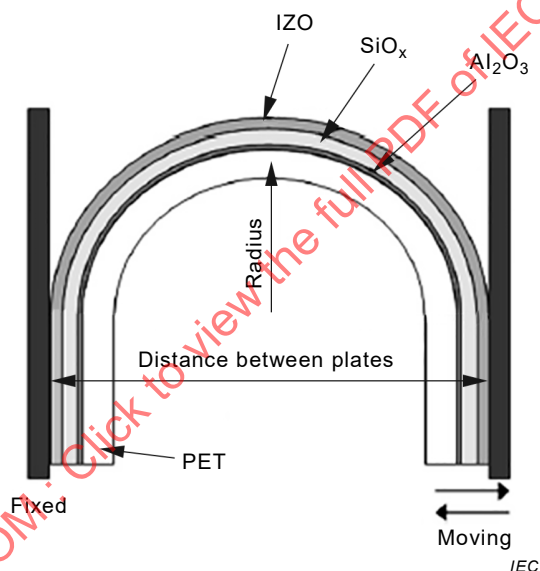
Figure A.1 – Bending fatigue tester using curved mandrel and roller

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.



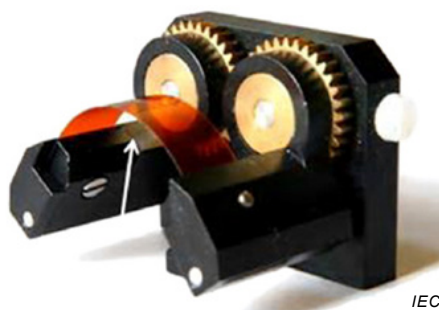
IEC

Figure A.2 – Cyclic mandrel bending tester



IEC

Figure A.3 – Collapsing radius bending fatigue tester



IEC

Figure A.4 – X-Y-θ bending fatigue test method

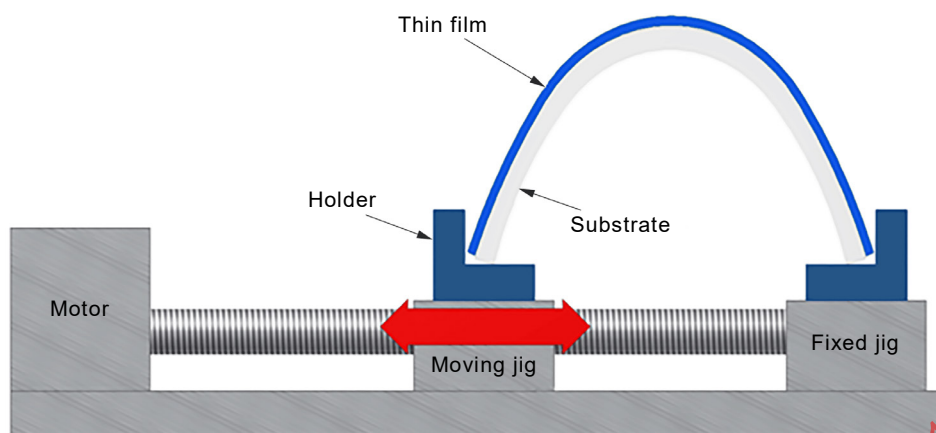


Figure A.5 – Schematic of the bending fatigue test

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62951-4:2019

Bibliography

- [1] IEC 62047-12:2011, *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 12: Bending fatigue testing method of thin film materials using resonant vibration of MEMS structures*
 - [2] IEC 62047-22:2014, *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 22: Electromechanical tensile test method for conductive thin films on flexible substrates*
 - [3] IEC 62715-1-1:2013, *Flexible display devices – Part 1-1: Terminology and letter symbols*
 - [4] IEC 62951-1, *Semiconductor devices – Flexible and stretchable semiconductor devices – Part 1: Bending test method for conductive thin films on flexible substrates*
 - [5] K. Alzoubi, S. Lu, B. Sammakia, *Experimental and Analytical Studies on the High Cycle Fatigue of Thin Film Metal on PET Substrate for Flexible Electronics Applications*, IEEE Transaction on Components, Packaging, and Manufacturing Technology, Vol. 1, 2011, pp.43-51.
 - [6] D. R. Cairns and G. P. Crawford, *Electromechanical Properties of Transparent Conducting Substrates for Flexible Electronic Displays*, Proceedings of the IEEE, Vol. 93, 2005, pp. 1451-1458.
 - [7] S. Grego, J. Lewis, Erick Vick, and D. Temple, *Development and Evaluation of Bend-Testing Techniques for Flexible-Display Applications*, Vol. 13, 2005, pp. 575-581.
 - [8] S.-I. Park, J.-H. Ahn, X. Feng, S. Wang, Y. Huang, and J.A. Rogers, *Theoretical and Experimental Studies of Bending of Inorganic Electronic Materials on Plastic Substrates*, Advanced Functional Materials, Vol.18, 2008, pp. 2673.
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	15
1 Domaine d'application	17
2 Références normatives	17
3 Termes et définitions	17
4 Eprouvette	18
4.1 Conception de l'éprouvette	18
4.2 Préparation d'une éprouvette	19
4.3 Mesurage des dimensions	19
4.4 Stockage avant les essais	19
5 Méthode d'essai et appareillage d'essai	19
5.1 Généralités	19
5.2 Appareillage d'essai	19
5.3 Méthode de serrage	20
5.4 Essai de courbure	20
5.5 Essai de fatigue en flexion dynamique	20
5.6 Essai de fatigue en flexion statique	20
5.7 Essai de fatigue en flexion d'un substrat souple	20
5.8 Vitesse de l'essai de fatigue en flexion	20
6 Essai	21
6.1 Mode opératoire	21
6.2 Critère de défaillance (fin de l'essai)	21
6.3 Environnements d'essai	21
6.4 Données enregistrées	21
7 Rapport d'essai	21
Annexe A (informative) Différents appareillages d'essai de fatigue en flexion	23
Bibliographie	26
Figure A.1 – Appareillage d'essai de fatigue en flexion utilisant un mandrin courbe et des rouleaux	23
Figure A.2 – Appareillage d'essai de courbure cyclique à mandrin	24
Figure A.3 – Appareillage d'essai de fatigue en flexion à rayon d'écrasement	24
Figure A.4 – Méthode d'essai de fatigue en flexion X-Y- θ	24
Figure A.5 – Schéma de l'essai de fatigue en flexion	25

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS –
DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS SOUPLES ET EXTENSIBLES –****Partie 4: Evaluation de la fatigue pour les couches minces conductrices
souples sur les substrats pour dispositifs à semiconducteurs souples****AVANT-PROPOS**

- 1) La Commission Électrotechnique 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. À 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 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 62951-4 a été établie par le comité d'études 47 de l'IEC: Dispositifs à semiconducteurs.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
47/2531/FDIS	47/2549/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 internationale.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62951 publiées sous le titre général *Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs à semiconducteurs souples et extensibles* peut être consultée sur le site internet de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document 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 au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62951-4:2019

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS SOUPLES ET EXTENSIBLES –

Partie 4: Evaluation de la fatigue pour les couches minces conductrices souples sur les substrats pour dispositifs à semiconducteurs souples

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62951 spécifie une méthode d'évaluation des propriétés de fatigue en flexion des couches souples conductrices et des substrats souples pour l'application à des dispositifs semiconducteurs souples. Les couches comprennent toute couche déposée ou collée sur un substrat souple non conducteur telle qu'une couche métallique mince, une électrode conductrice transparente et une couche de silicium mince utilisée pour des dispositifs à semiconducteurs souples. L'évaluation porte sur les comportements électriques et mécaniques des couches sur les substrats. Les méthodes d'essai de fatigue comprennent l'essai de fatigue en flexion dynamique et l'essai de fatigue en flexion statique.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 62047-2:2006, *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.

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

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

3.1

rayon de courbure

rayon d'un arc correspondant à la courbure de l'axe entre la surface la plus profonde et la surface la plus extérieure d'un dispositif électronique souple au cours d'un essai de courbure

[SOURCE: IEC 62715-1-1:2013, 2.5.1, modifié – L'expression "un dispositif flexible d'affichage" a été remplacée par "un dispositif électronique souple".]

3.2

rayon de courbure critique

rayon de courbure auquel se produit la défaillance des dispositifs à semiconducteurs souples

Note 1 à l'article: Pour les couches conductrices, la résistance électrique commence à dépasser une limite prédéfinie et/ou une rupture de la couche provoquée par un décollement interlaminaire se produit ou des fissures apparaissent, ou le substrat est endommagé.

3.3

substrat souple

substrat présentant des propriétés de souplesse sur lequel des couches minces conductrices sont déposées, collées ou fixées

[SOURCE: IEC 62951-1:2017, 3.1.4 (disponible en anglais seulement)]

3.4

essai de courbure externe

essai au cours duquel l'éprouvette est courbée pour obtenir une forme convexe ($\cap$)

Note 1 à l'article: L'essai de courbure externe induit une contrainte de traction sur la couche.

Note 2 à l'article: Il existe plusieurs termes pour désigner l'essai de courbure externe: essai de courbure vers l'extérieur, essai de courbure orientée vers l'extérieur ou essai de courbure convexe.

3.5

essai de courbure interne

essai au cours duquel l'éprouvette est courbée pour obtenir une forme concave ($\cup$)

Note 1 à l'article: L'essai de courbure interne induit une contrainte de compression sur la couche.

Note 2 à l'article: Il existe plusieurs termes pour désigner l'essai de courbure interne: essai de courbure vers l'intérieur, essai de courbure orientée vers l'intérieur ou essai de courbure concave.

3.6

essai de fatigue en flexion dynamique

essai conçu pour déterminer les propriétés de flexion d'un dispositif à semiconducteurs souple pour résister à une contrainte répétée pendant un laps de temps donné

3.7

essai de fatigue en flexion statique

essai conçu pour déterminer les propriétés de flexion d'un dispositif à semiconducteurs souple pour résister à la même contrainte pendant un laps de temps donné

Note 1 à l'article: L'éprouvette est courbée en appliquant un rayon de courbure fixe quelle que soit la durée d'application.

3.8

courbe S - N

tracé de la contrainte (S) en fonction du nombre de cycles avant défaillance

[SOURCE: IEC 62047-12:2011, 3.3, modifié – L'expression "tracé de la contrainte ou de déformation (S)" a été remplacée par "tracé de la contrainte".]

3.9

courbe ε - N

tracé de la déformation (ε) en fonction du nombre de cycles avant défaillance

[SOURCE: IEC 62047-12:2011, 3.3, modifié – Le terme a été modifié et l'expression " tracé de la contrainte ou de la déformation (S)" a été remplacée par "tracé de la déformation (ε)".]

4 Eprouvette

4.1 Conception de l'éprouvette

Afin de réduire le plus possible l'influence de la taille, il convient que les dimensions de l'éprouvette se rapprochent le plus possible de celles du composant du dispositif concerné. La forme d'une éprouvette est basée sur celle présentée en 4.2 de l'IEC 62047-22:2014. Puisque sa variation est liée à la déformation ou à la contrainte, la résistance électrique doit

être mesurée dans une zone de déformation quasiment uniforme. Afin de mesurer la résistance électrique, fixer les fils de sortie à la couche conductrice mince de l'éprouvette. Une éprouvette en forme de bande rectangulaire est utilisée afin d'obtenir une distribution uniforme de la déformation.

4.2 Préparation d'une éprouvette

Etant donné que les propriétés mécaniques et électriques dépendent des processus de fabrication, l'éprouvette doit être préparée en utilisant le même processus de fabrication que celui utilisé pour le dispositif réel destiné aux composants électroniques souples et aux dispositifs à semiconducteurs souples. La couche mince conductrice doit être préparée avec soin pour empêcher la formation de fissures ou de défauts et un décollement interlaminaire du substrat.

4.3 Mesurage des dimensions

L'épaisseur et la largeur de la couche mince conductrice et du substrat souple doivent être mesurées avec précision parce que les dimensions sont utilisées pour déterminer les propriétés électriques et mécaniques des matériaux d'essai. Il convient de mesurer directement chaque éprouvette. L'épaisseur et la largeur de l'éprouvette doivent être spécifiées avec une erreur maximale de $\pm 1\%$ pour l'épaisseur et de $\pm 5\%$ pour la largeur. L'épaisseur doit être mesurée conformément à l'Article 4 et à l'Annexe C de l'IEC 62047-2:2006. Il peut exister certaines combinaisons de couche mince et substrat pour lesquelles il est difficile de satisfaire à la tolérance en ce qui concerne la mesure de l'épaisseur. Dans ce cas, il convient de consigner la moyenne et l'écart type de la mesure de l'épaisseur.

4.4 Stockage avant les essais

Il convient que l'environnement de stockage fasse l'objet d'une attention particulière; en effet, il existe un risque important que l'environnement de stockage altère les propriétés électromécaniques de la couche dans le cas de couches minces et de substrats souples. Par exemple, l'oxydation de la surface de l'éprouvette détériore les propriétés électriques et mécaniques de celle-ci. S'il s'écoule un laps de temps assez long entre la préparation finale et les essais, il convient d'accorder une attention particulière au stockage des éprouvettes et d'examiner les spécimens par des moyens appropriés pour s'assurer que la surface n'a pas été détériorée au cours de la période de stockage. Si une détérioration quelconque qui n'existait pas à l'issue de la préparation des spécimens est observée, les essais ne doivent pas être réalisés.

5 Méthode d'essai et appareillage d'essai

5.1 Généralités

L'essai consiste à courber une éprouvette. La flexion induite par la charge de traction ou de compression doit être uniforme dans une section de mesure prédéfinie dans la zone élastique du substrat ou de la couche mince. Pour mesurer la variation de la résistance électrique ainsi que la variation de la déformation mécanique, choisir avec soin la section de mesure. La section de mesure utilisée pour mesurer la déformation mécanique doit coïncider ou pouvoir être adaptée à celle utilisée pour mesurer la résistance électrique.

5.2 Appareillage d'essai

L'appareil utilisé pour l'essai de courbure cyclique comprend la bride de maintien de l'échantillon d'essai, la pièce mobile à déplacer et le système de commande qui régule le nombre de flexions cycliques, la distance et la vitesse de déplacement pendant l'essai. Il convient de bien serrer le spécimen avec la partie de serrage pendant l'essai. Il existe plusieurs appareils utilisés pour l'essai de courbure cyclique et ils sont décrits à l'Annexe A. Il n'y a pas nécessairement de préférence pour un certain type d'équipement de test de flexion. Pendant l'essai, l'appareillage d'essai ne doit toutefois pas causer de dommages involontaires à l'éprouvette, comme des rayures ou d'autres défauts.

5.3 Méthode de serrage

Il convient que l'éprouvette soit bien serrée. Cependant, il convient de procéder avec précaution pour éviter une concentration locale des contraintes dans la zone du serrage. La concentration des contraintes dans la zone du serrage peut provoquer des fissures ou d'autres types de détériorations sur la couche, entraînant une défaillance de la couche ou du substrat.

5.4 Essai de courbure

Il est recommandé de réaliser l'essai de courbure de l'éprouvette avant les essais de fatigue cyclique afin de déterminer les conditions d'essai, comme le rayon de courbure critique, et d'éviter une défaillance précoce de l'éprouvette pendant l'application de charge cyclique pour les essais de fatigue en flexion. Par exemple, si le rayon de courbure critique de l'éprouvette se trouve à 5 mm de l'essai de courbure, l'utilisation d'un rayon de courbure plus grand doit être recommandée pour l'essai de fatigue en flexion dynamique.

5.5 Essai de fatigue en flexion dynamique

Le présent essai est destiné à fournir un mode opératoire normalisé pour déterminer les propriétés de fatigue en flexion cyclique des dispositifs à semiconducteurs souples quant à leur résistance à une contrainte répétée pendant un laps de temps donné. Le présent essai peut être réalisé en mode de courbure externe ou en mode de courbure interne en fonction de l'application des couches et des dispositifs.

5.6 Essai de fatigue en flexion statique

Le présent essai est destiné à fournir un mode opératoire normalisé pour déterminer les propriétés de fatigue en flexion des dispositifs à semiconducteurs souples quant à leur résistance à la même contrainte pendant un laps de temps donné. Chaque spécimen est courbé selon un rayon de courbure fixe pendant un laps de temps donné. Il existe plusieurs types d'appareils pour réaliser l'essai de courbure afin de mesurer la propriété de fatigue en flexion statique d'un dispositif à semiconducteurs. Il n'existe pas de méthode d'essai de courbure préférentielle. Un mandrin ou une barre ronde avec un rayon donné peut être utilisé. Afin de garantir que le spécimen est courbé selon un rayon de courbure fixe, il convient de bien le serrer au moyen d'un outil de pression ou qu'il adhère solidement à l'appareil d'essai.

5.7 Essai de fatigue en flexion d'un substrat souple

Les propriétés de fatigue en flexion des couches minces conductrices ou des dispositifs à semiconducteurs déposés sur des substrats souples sont influencées par les propriétés de fatigue des substrats souples. C'est pourquoi il est recommandé de réaliser l'essai de fatigue en flexion dynamique ou statique du substrat proprement dit avant l'essai de fatigue des couches minces conductrices ou des dispositifs à semiconducteurs. Il convient de surveiller attentivement toute détérioration, déformation ou fissure du substrat pendant l'essai de fatigue en flexion.

5.8 Vitesse de l'essai de fatigue en flexion

La fréquence du cycle de flexion dépend de l'environnement d'essai, du type d'appareillage d'essai utilisé et de la rigidité de l'éprouvette. Il convient généralement de choisir la fréquence appropriée en fonction de l'application des dispositifs à semiconducteurs souples. En outre, la fréquence ne doit pas chauffer l'éprouvette pendant l'application de charge cyclique en raison de la dissipation rapide de l'énergie de déformation dans l'éprouvette. Il est recommandé que la fréquence du mouvement cyclique soit comprise entre 0,1 Hz et 1 Hz environ. Cette pratique ne s'applique pas aux essais de fatigue des couches viscoélastiques.

6 Essai

6.1 Mode opératoire

Le mode opératoire est le suivant:

- a) Placer l'éprouvette dans le support. L'axe longitudinal de l'éprouvette doit s'aligner sur le sens d'actionnement de l'appareillage d'essai, et l'angle de déviation doit être inférieur à 5°. Dans le cas d'un essai de courbure externe, l'échantillon est orienté vers le haut pour appliquer la contrainte de traction, et dans le cas d'un essai de courbure interne, l'échantillon est orienté vers le bas pour appliquer la contrainte de compression.
- b) Mesurer les propriétés électriques comme la résistance électrique de l'éprouvette.
- c) L'éprouvette est courbée selon un rayon de courbure décroissant en contrôlant la distance du déplacement entre la surface plane et un rayon de courbure défini. L'essai est effectué avec une vitesse d'application de courbure constante qui dépend des matériaux de l'éprouvette et des conditions réelles d'utilisation du client. Pour les couches conductrices, il convient de mesurer les variations de la résistance électrique in situ pendant l'essai.
- d) Décharger l'éprouvette lorsqu'une défaillance électrique se produit sur celle-ci ou en cas de rupture/détérioration de la couche ou du substrat.

6.2 Critère de défaillance (fin de l'essai)

Les essais de fatigue doivent continuer jusqu'à ce que l'éprouvette soit fissurée ou subisse une défaillance, ou jusqu'à ce qu'un nombre prédéterminé de cycles ait été appliqué à l'éprouvette en fonction de l'application du semiconducteur souple. Le critère de fin (rupture de l'éprouvette ou nombre de cycles prédéterminé) doit être décrit dans le rapport d'essai.

6.3 Environnements d'essai

Il est recommandé de réaliser un essai sous une température et une humidité constantes. Etant donné que les conditions environnementales telles que la température et l'humidité affectent les propriétés électriques et mécaniques des couches minces, la température et l'humidité d'essai doivent être surveillées au cours de l'essai. Les fluctuations de température pendant l'essai doivent être contrôlées et être inférieures à ± 2 °C. Les substrats souples faits de certains polymères peuvent être sensibles à l'humidité. Les variations de l'humidité relative (RH) dans le laboratoire d'essai doivent par conséquent être contrôlées et être inférieures à ± 5 % RH pour de tels matériaux. A la fin des essais, il convient de consigner les conditions environnementales.

6.4 Données enregistrées

La défaillance de l'éprouvette doit être enregistrée. La courbe $S-N$ est généralement utilisée pour prévoir la résistance à la fatigue. Toutefois, pour l'essai de fatigue en flexion des dispositifs à semiconducteurs souples, la courbe ε (déformation)- N ou la courbe rayon de courbure critique- N peut être mieux appropriée pour l'essai de fatigue en flexion.

7 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit contenir les informations suivantes.

- a) Obligatoires
 - 1) Matériau de l'éprouvette et matériau du substrat
 - 2) Procédures de préparation de l'éprouvette
 - 3) Dimensions de l'éprouvette et méthode de mesure de celles-ci
 - 4) Description de l'appareillage d'essai
 - 5) Conditions de l'essai de fatigue

- rayon de courbure
- vitesse de l'essai
- environnements d'essai (température et humidité relative)
- mode de courbure (courbure externe ou interne)

6) Résultat de l'essai de fatigue

- Courbe de résistance à la fatigue (S-N, ou ε -N, et rayon de courbure critique-N). Si l'éprouvette ne se rompt pas au cours d'un nombre prédéterminé de cycles, il convient de noter ce nombre et l'indication "pas de défaillance".
- variation de la résistance électrique

b) Facultatives

- 1) Contrainte résiduelle interne de la couche
- 2) Rugosité de surface de l'éprouvette
- 3) Mécanisme de défaillance de l'éprouvette

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62951-4:2019