

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices –
Part 35: Test method of electrical characteristics under bending deformation
for flexible electromechanical devices**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques –
Partie 35: Méthode d'essai des caractéristiques électriques sous déformation
par courbure de dispositifs électromécaniques 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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 – Micro-electromechanical devices –
Part 35: Test method of electrical characteristics under bending deformation
for flexible electromechanical devices**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques –
Partie 35: Méthode d'essai des caractéristiques électriques sous déformation
par courbure de dispositifs électromécaniques souples**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.080.99

ISBN 978-2-8322-7636-5

**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.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
3.1 General.....	7
3.2 Loading configurations	7
3.3 Measure of loading levels	8
4 Test piece	8
4.1 General.....	8
4.2 Shape of a test piece	8
5 Test method	9
5.1 Principle	9
5.2 Test apparatus.....	10
5.3 Procedure	10
5.3.1 Testing conditions	10
5.3.2 Selection of bending direction.....	11
5.3.3 Determination of bending axes	11
5.3.4 Measurement of test piece dimensions	11
5.3.5 Measurement of folding distance	12
5.3.6 Number of tests	12
5.3.7 Instrumentation.....	12
5.3.8 End of testing	13
6 Test report.....	13
6.1 General.....	13
6.2 Bending direction(s) and in-plane locations of bending axes	13
6.3 Dimensions of the test piece	14
6.4 Performance degradation characteristics with the folding distance	14
6.5 Distance at a defined operation limit	15
6.6 Testing conditions.....	15
Annex A (normative) Example of flexible MEMS device.....	16
Annex B (informative) Controls for appropriate performance instrumentation and setting of bending axis position.....	18
B.1 Loading wall design with electric accessing cavity and fine adjustment capability for bending axis location during the test	18
B.2 Special arrangement of the target parts of device to obtain a number of bending axis locations in a single testing	19
Annex C (informative) Loading principle for extremely thin soft devices	20
Annex D (informative) Issues related to local loading severity	21
D.1 Possible inhomogeneity in local curvature and parameter of loading	21
D.2 Possible variations of loading parameter	21
Figure 1 – Schematic illustration of a flexible MEMS test piece	9
Figure 2 – Principle of folding test.....	10
Figure 3 – Selection of bending axis	12
Figure 4 – Illustration of performance degradation in the test report.....	14

Figure A.1 – Target part and loading configuration of test piece for organic thin-film transistor device	16
Figure A.2 – Device performance degradation behaviour and distances at defined operation limits for an organic thin-film effect transistor	17
Figure B.1 – Loading point adjustment mechanism	18
Figure B.2 – Cascade arrangement of target parts for efficient testing	19
Figure C.1 – Bending configuration	20
Figure D.1 – Possibility of inhomogeneous local curvature distribution	21

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-35:2019

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SEMICONDUCTOR DEVICES –
MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –
Part 35: Test method of electrical characteristics under bending
deformation for flexible electromechanical 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 62047-35 has been prepared by subcommittee 47F: Micro-electromechanical devices, of IEC technical committee 47: Semiconductor devices.

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

FDIS	Report on voting
47F/344/FDIS	47F/352/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 62047 series, published under the general title *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this 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 62047-35:2019

INTRODUCTION

In the recent trend toward ubiquitous sensor society and the world of internet of things, demand and thus the market for softer electronic devices are quickly expanding. That is what flexible micro-electromechanical devices are for, some of which are already released into the market. Even a so-called foldable device is under development and will soon appear in the market. However, to operate trillions of such devices for the comfort and safety of human beings, the reliability of the individual devices is a critical concern. Especially in the case of flexible devices, robustness against bending deformation is an important issue which is shared among all the producers and users of such devices. In order to understand how safe a situation is, critical conditions for possible dangers should be thoroughly determined so that the potential risk can be for the first time managed. In this context, flexible devices should be folded in two at least once so that every possible critical failure actually appears. This standard procedure of testing is designed with the emphasis on such a point and with the applicability not only to already emerging flexible devices but also to so-called foldable devices which still function even when the device is folded.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-35:2019

SEMICONDUCTOR DEVICES – MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES – Part 35: Test method of electrical characteristics under bending deformation for flexible electromechanical devices

1 Scope

This part of IEC 62047 specifies the test method of electrical characteristics under bending deformation for flexible electromechanical devices. These devices include passive micro components and/or active micro components on the flexible film or embedded in the flexible film. The desired in-plane dimensions of the device for the test method ranges typically from 1 mm to 300 mm and the thickness ranges from 10 μm to 1 mm, but these are not limiting values. The test method is so designed as to bend devices in a quasi-static manner monotonically up to the maximum possible curvature, i.e. until the device is completely folded, so that the entire degradation behaviour of the electric property under bending deformation is obtained. This document is essential to estimate the safety margin under a certain bending deformation and indispensable for reliable design of the product employing these devices.

2 Normative references

There are no normative references in this document.

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 General

3.1.1

flexible micro-electromechanical system flexible MEMS

device with structured semiconductor and/or mechanical components electrically connected to each other, being assembled onto or embedded into flexible substrate and operated without unacceptable loss of its functions under bending deformation

EXAMPLE Organic transistors, thermistors, smart diapers with wet sensors and smart epidermal patches for health care, etc.

Note 1 to entry: This note applies to the French language only.

3.2 Loading configurations

3.2.1

bending axis

line on a device around which the device is bent with the minimum radius of curvature

Note 1 to entry: Due to the characteristics of this document, the bending axis can be and should be placed at arbitrary positions in arbitrary directions in accordance with the requirements of the evaluation. The actual positions and directions shall be intentionally determined according to the structures on the test piece.

3.2.2

bending direction

direction in which the device is bent

3.3 Measure of loading levels

3.3.1

d

folding distance

distance between two loading walls, representing the load level applied to the device

Note 1 to entry: The degree of bending given to the device is here represented by the distance between two walls approaching close to each other to bend the device, which is denoted as the folding distance.

Note 2 to entry: This measure may be optionally converted to the radius of curvature given around a bending axis but it may not be uniform between the two walls especially when the rigidity distribution around the bending axis is not homogeneous due to the heterogeneity of structures. More details are given in Annex D.

3.3.2

d_1

distance at defined operation limit

folding distance(s) corresponding to unacceptable deterioration(s) in the electrical performance of the test piece

Note 1 to entry: More details can be found in Annex A.

4 Test piece

4.1 General

A flexible MEMS device, which is bent in use, can in principle be a test piece as it is and subjected to the evaluation of this document. In principle, this test method is applicable without restriction as to the size and shape of the devices. However, for ease of a load application, it may be cut into a rectangular shape with target parts to be loaded at the center as mentioned in 4.2. More methods for test piece preparation are suggested in Annex B.

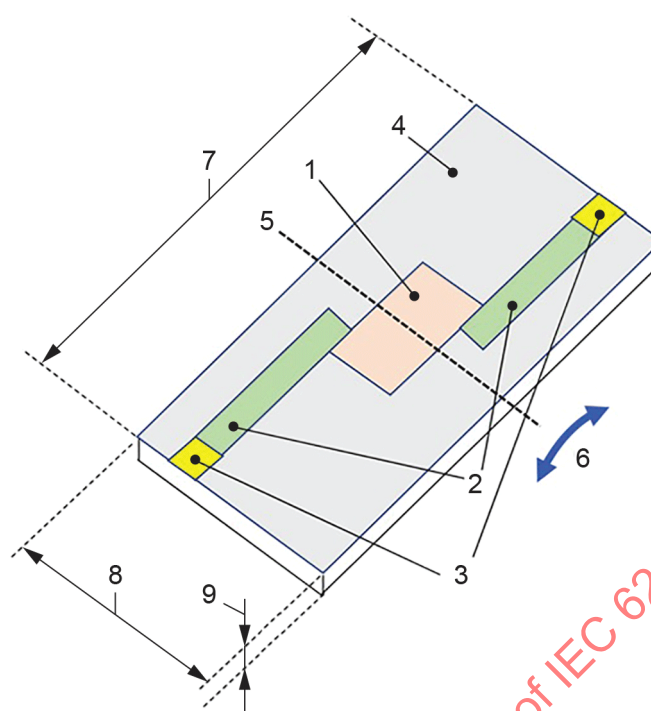
4.2 Shape of a test piece

A rectangular shape of the test piece should be used for the ease of experiment as shown in Figure 1. It may be necessary to cut out a part of the devices for the test, especially when the target part to be tested, which determines its own functional feature, is not located in the center of the device. In this case, the test piece shall be prepared in a rectangular form by cutting a part out of the entire device with the target part located at the center of two parallel edges which should also be parallel to the bending axis. This is because the point to be loaded to the end is limited in this test method only along the bending axis likely coming out at the center due to the loading scheme explained in 5.1.

In this document, the length l and the width w of test piece are the dimensions of the test piece in the perpendicular and parallel direction to the bending axis, respectively. Because of the structures assembled on or embedded in the flexible substrate, the thickness may not be uniform over the entire device and hence depends on the location.

As a number of target parts can be arranged on a substrate, especially for testing purposes in accordance with this document, some recommendations are given in Annex B.

NOTE The length and width can be interchangeable when the bending axis is rotated by 90°, which is symbolically illustrated in Figure 3.



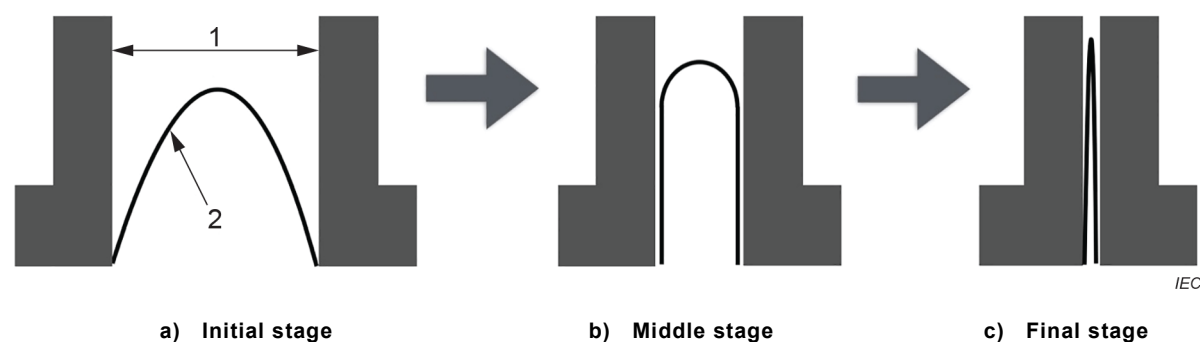
IEC

Key

- | | |
|----------------|----------------------|
| 1 target part | 2 interconnects |
| 3 electrodes | 4 flexible substrate |
| 5 bending axis | 6 bending direction |
| 7 length | 8 width |
| 9 thickness | |

Figure 1 – Schematic illustration of a flexible MEMS test piece**5 Test method****5.1 Principle**

The principles of loading to the test piece are illustrated in Figure 2. The device shall be inserted between two walls sliding closer to each other as illustrated in Figure 2 a). Then let the distance between two walls, i.e. folding distance d , be gradually shortened as shown in Figure 2 b) until finally touching each other with the folded test piece in between as in Figure 2 c). While the device is folded gradually tighter and tighter, its functions should be evaluated to find which portion of the performance could be maintained while the folding distance is applied.



Key

- 1 folding distance d
- 2 test piece

Figure 2 – Principle of folding test

5.2 Test apparatus

There is no special requirement for the configuration of the test apparatus in this document, as long the device can be folded tighter and tighter until the end of the test. However, the width and height of the walls shall be longer, preferably at least by 5 %, than the width and half the length of the test piece, respectively, so that the whole test piece is firmly pressed by the walls. The surface flatness and parallelism of the walls are carefully prepared so that they do not touch each other before the end of the test. The variance of the gap between the walls shall be smaller than the thickness of the test piece. The surface roughness and flatness of the walls are recommended to be less than 1/10 of the thickness of the test piece so as not to distort the test piece by bumps of the wall except for the intended bending deformation. Either wall or both walls are shifted by a motor drive system, or a manually-actuated linear stage. A number of recommendations for the convenience of experiment can be found in Annex B and Annex C.

The folding distance shall be measured to an accuracy of less than 5 % relative to the folding distance itself. Therefore, it may be suggested to use a number of tools, for example a scale for the millimeter range, a micrometer gauge for the submillimeter range, or a laser displacement meter or microscopy for the micron and sub-micron range.

NOTE Not an absolute error for full range measurement but a relative error on the folding distance is of importance to maintain the reproducibility in the bending deformation, especially around the end of the test, because the nominal curvature can be approximated by $2/d$ under the bending deformation as shown in Figure 2b). In addition, the value of d ranges from l , for example more than 100 mm, to $2l$, for example values less than a millimeter. The dimension with such a wide range is difficult to measure with an accuracy of less than 1 % by a ready-made apparatus. That is why the accuracy of the folding distance is noted in terms of the relative value with an accuracy of 5 % for the ease of experiment in this document.

5.3 Procedure

5.3.1 Testing conditions

Since the aim of this document is to see the deterioration behaviour of a device's performance by bending to the end of possible curvature, it may not always be easy to find the testing speed adequately corresponding to the conditions of the actual device operation. Therefore, the evaluation of time-dependent deformation behaviour such as visco-elasticity is regarded here as out of the scope, and thus the holding time between two loading steps before starting the instrumentation as well as the loading speed itself are not specified here. It is here simply suggested to keep the holding time for measurement the same for all the steps and be aware of any drift after increasing the folding distance. The test speed and holding time determined by the user shall be included in the test report, for example 1 per minute of the wall moving speed and 1-min holding time per each measurement. Since substrates for flexible MEMS may often be made of polymeric materials, the deformation behaviour should be in principle more or less time-dependent. Non-elastic time-dependent behaviour should be mentioned in the test report, if any is noticed.

Other conditions for testing, such as temperature and humidity, etc., shall be so far as possible the same as those where the devices are operated in actual use.

NOTE 1 Since the aim of this document is to see the deterioration behaviour of the device's performance against monotonic bending to the end of possible curvature, it may not be always easy to find testing conditions (especially speed) which adequately correspond to those of the actual device operation. In such cases, the users are responsible for determining the conditions and report them appropriately as mentioned in 6.6.

NOTE 2 When the length of the test piece l is 20 mm, the candidates for wall speed are 20 mm/min, 50 mm/min, 100 mm/min, 200 mm/min, etc. If a real-time monitoring system is available for measurement, the holding time can possibly be zero.

5.3.2 Selection of bending direction

Set the test piece on the test apparatus, with the side to be loaded in a convex way facing upward. Choice of this side, the bending direction in which the test piece is loaded, should follow in principle the condition in which the device is actually bent during its service. However, in order to explore possible failure modes, the two bending directions may be examined regardless of how the device is actually used.

NOTE When a test piece as shown in Figure 1 is set on the test apparatus with the target part facing upward, the test piece is loaded in a convex way and the target part is strained. On the other hand, for the test under the opposite bending direction, the test piece is set with the target part facing downward and the target part is compressed. In the test report, the curvilinear arrow is denoted in a concave form.

5.3.3 Determination of bending axes

Select a characteristic axis of individual devices to be tested. In addition, at least another direction of 90° to this axis should also be tested as shown in Figure 3. The actual selection of the directions is left to the suppliers and users. It is noted here that the actual bending axes appearing at the end of the test may somehow not be exactly at the position expected, likely because of a possible error in the test piece preparation and inhomogeneous stiffness distribution over the device. Therefore, a fine adjustment of the bending axis location may be necessary during the loading process. Possible methods for the precise control for this adjustment are available in Annex B.

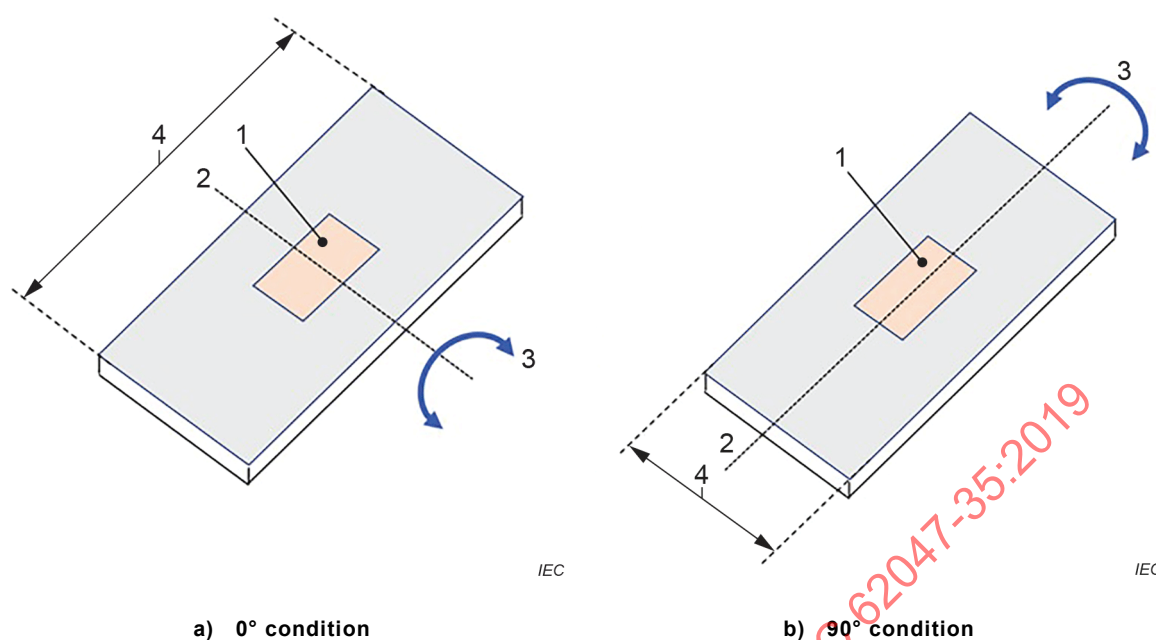
5.3.4 Measurement of test piece dimensions

The length and width of the test piece shall be measured and recorded for each test piece. Measurement of the length of the device is critical because of the loading scheme explained in 5.2. It shall be measured to an accuracy of 1 % relative to the length itself. Dimensions in the direction parallel to the bending axis are not important but may also be measured in the same way. Thickness may vary among different points over the test piece due to its inhomogeneous structures. Therefore it shall also be measured at a number of typical points, for example both the substrate part and the target part. A profilometer can measure the local thickness of test piece with sufficient accuracy.

NOTE 1 As the preferable methods and accuracy in the measurement strongly depend on the individual devices, nothing is normatively specified in this document. Instead, users of this procedure are responsible for choosing adequate methods for their devices and reporting accuracy in the test report as described later.

NOTE 2 Since the distribution of thickness strongly depends on the structure of individual devices subjected to the test, selection of measuring points is left to the users.

NOTE 3 It is optional to report the dimensions except for length because the width and the thickness are just a supporting information for the design of the test apparatus for this document.



Key

- | | |
|---------------------|----------------|
| 1 target part | 2 bending axis |
| 3 bending direction | 4 length |

Figure 3 – Selection of bending axis

5.3.5 Measurement of folding distance

The distance between two walls is measured and recorded as the folding distance at each measurement of the device performance. It shall be measured to an accuracy of 5 % relative to the folding distance itself. Therefore, it may be suggested to use a scale for the millimeter range, a micrometer gauge for the submillimeter range, or a laser displacement meter or microscopy for the micron range.

5.3.6 Number of tests

A number of different positions shall be tested in the same way, i.e., a number of different locations of the bending axes shall be loaded in this document. This is because the point of the device to be loaded to the end is limited only along the bending axes, and because the device may be bent at an arbitrary position in actual use. More details about the possible issues and solutions to this problem are described in Annex B.

The number of test pieces to be tested is not specified in this document. However, as regards the information on reproducibility, more than two specimens should be tested under the same condition and the number shall be stated in the test report.

5.3.7 Instrumentation

Set the test piece on the apparatus and let the two walls come closer, step by step, to each other. At each step, measure the folding distance d and the device performance (which are the characteristic functions of the device) while loading. The test shall be continued until the loading walls cannot be closer any more to each other. Finally, unload the folded test piece and identify the exact location of the bending axis.

The device performance and its accuracy of measurement strongly depend on individual devices. Therefore, nothing is normatively specified in this document. Instead, users of this procedure should be responsible for adequate evaluation of the performance of their devices and for reporting the accuracy of instrumentation in the test report as described in Clause 6.

5.3.8 End of testing

Stop the test when the walls will not come closer to each other anymore. It is not recommended to stop the test before the folding distance reaches twice the maximum thickness of the test piece.

Depending on the actuator system to drive the walls, the physical forces applied to the device at this stage can change. Since this document is not for a compression test of folded devices, testing should be stopped when an abrupt increase is detected by any means in the resistance of walls against further driving.

NOTE The test piece can be bent as long as room remains on the concave side. Due to the thickness of the test piece, however, the two loading walls cannot be closer to each other anymore beyond a certain point. This situation is the end of the test. This is likely twice as long as the maximum thickness of the device but it also may not always be exactly equal to it. Because the thickness may not be uniform for the case of structured devices as explained in 4.2, room may still remain locally around the bending axis even when structures apart from the bending axis touch each other so that the walls cannot be closer any more. In the meantime, when the point of maximum thickness touches the other point with the thickness less than the maximum thickness, the distance at the end of the test is obviously less than twice the maximum thickness.

6 Test report

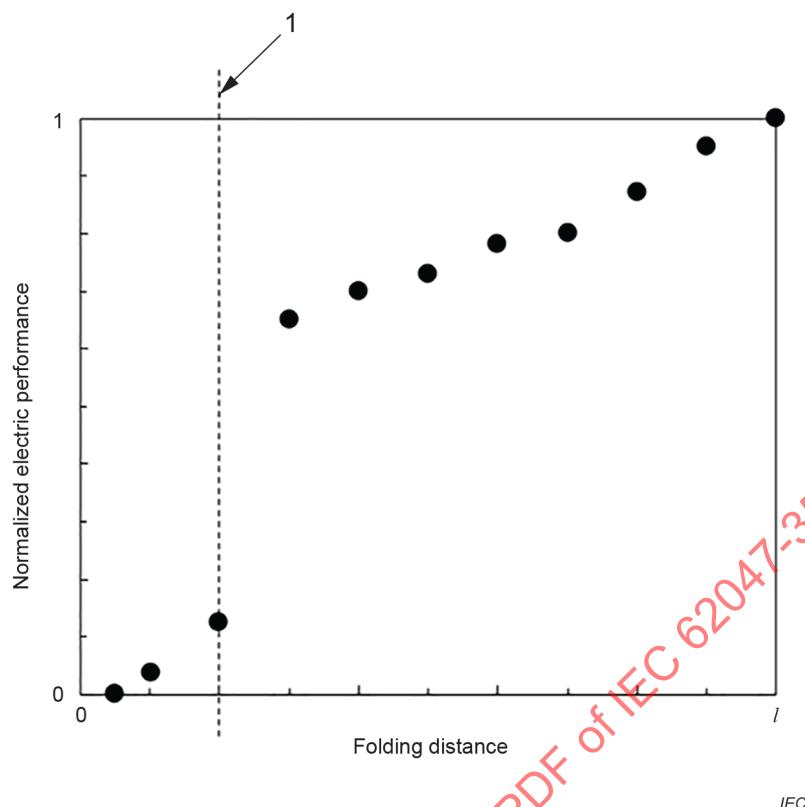
6.1 General

The information in 6.2 to 6.6 shall be included in the test report of this document. The testing conditions determined by users as mentioned in 5.3.1 shall be included as well.

6.2 Bending direction(s) and in-plane locations of bending axes

The bending direction(s) and detailed locations of the bending axes on the device shall be reported, preferably with illustrations as shown in Figure 3 as an example. In case a test piece was bent with more than one axis in a single test, it is highly recommended to dispose of the result and try the test again with a shorter length of test piece (see Annex C).

The methods and accuracy of measurement for these parameters should be included in the test report, though they are not normatively specified since they strongly depend on individual devices.



Key

1 distance at defined operation limit

Figure 4 – Illustration of performance degradation in the test report

6.3 Dimensions of the test piece

At least the length of the test piece shall be reported. However, other dimensions such as width and thickness should be reported, if necessary.

NOTE Since a device is deformed by pushing its ends to come closer to each other for the case of the test shown in Figure 2, the distance between the two ends, i.e., length, dominates its deformation against the folding distance in the early stage of testing (Figure 2 a)). Therefore, length is the most essential parameter to be reported for each test. In the meantime, although deformation is determined only by the folding distance and is independent of the test piece dimensions in the middle stage (Figure 2 b)), the folding distance in the last stage (Figure 2 c)) is intimately correlated with thickness distribution over the entire length and width of the test piece. Thus the width and thickness are optionally reported in addition to length, in order to fully inform the geometrical characteristics of the test piece.

6.4 Performance degradation characteristics with the folding distance

Supply in a graphical manner the relationship between the device performance plotted along the ordinate and the folding distance d along the abscissa. Examples are shown in Figure 4. The parameters along the ordinate can be selected in an arbitrary manner depending on the device function to be examined, i.e. voltage, current or resistance. On the contrary, attention should be paid to the parameter to indicate the folding distance along the abscissa. The parameters along the abscissa may optionally be either the absolute distance between two walls which is the original meaning of the folding distance, the distance between two walls normalized by the length of the test piece, or the average diameter of curvature calculated with the assumption of uniform bending deformation between the two walls. How the loading parameter along the abscissa is defined shall be clearly stated in the report. The meanings of these variations of the loading parameters are discussed further in Annex D.

6.5 Distance at a defined operation limit

If a sudden decrease of the device performance is noticeable and (or) the device performance decreases beyond unacceptable levels (see item 1 of Figure 4) at certain points of loading, the existence of these distances shall be reported in a separate comment to inform the users and producers of the risk of the operation.

NOTE Since the degrees of sudden changes and unacceptable levels strongly depend on the individual cases of the devices and their purposes of operation, a definition on what the operation limits are is left to the users' subjective decision.

6.6 Testing conditions

The holding time between two loading steps before starting the instrumentation as well as the loading speed itself are determined by the user and included in a test report, for example 10 mm/min of the wall moving speed and 1-min holding time for each measurement. Other conditions for testing, such as temperature and humidity, etc., shall be also reported.

Since substrates for flexible MEMS are often made of polymeric materials, the deformation behaviour should be in principle more or less time-dependent. Non-elastic time-dependent behaviour should be mentioned in the test report, if any.

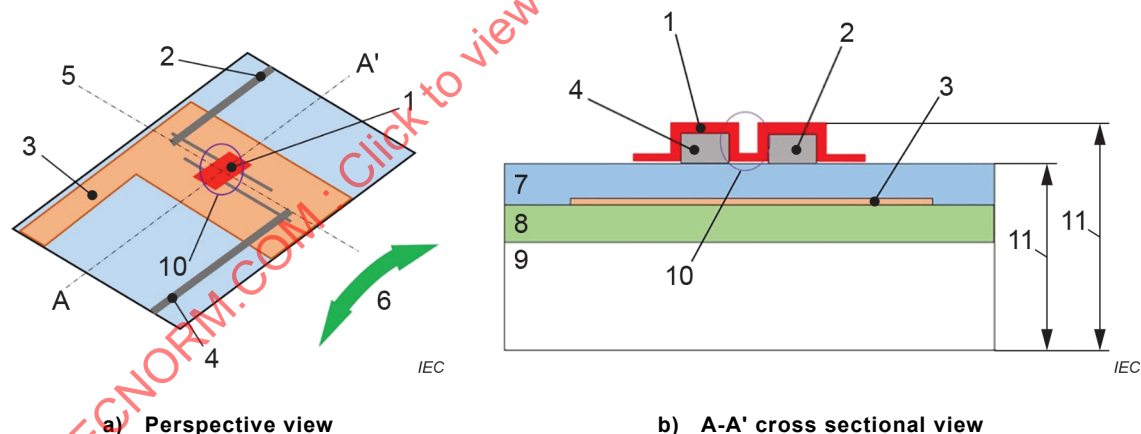
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-35:2019

Annex A (normative)

Example of flexible MEMS device

Flexible MEMS devices may be composed of a number of characteristic structures with their own functional features assembled together onto flexible substrates. For example, as shown in Figure A.1, a flexible organic field effect transistor is composed of source, drain and gate structures with silver-printed electrodes connecting them together. Such blocks of components with their own functional features are here called target parts, whose performance is subjected to evaluation in this document. Definitions of specific target parts are not strictly determined nor limited by size, materials, features, but flexibly defined depending on individual devices.

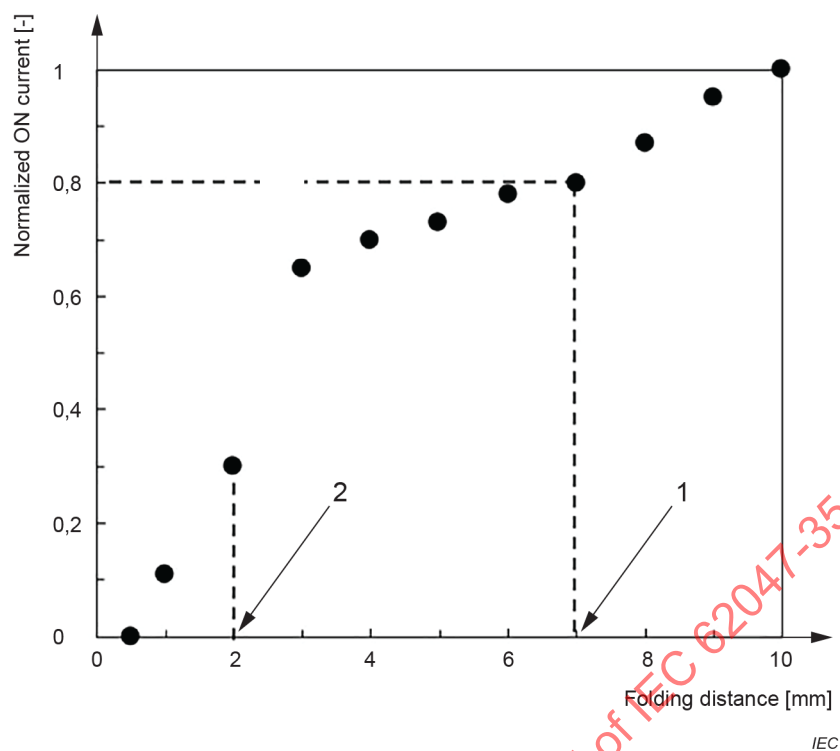
When flexible MEMS devices are subjected to bending deformation in a monotonically increasing manner, sudden decreases of performance are occasionally observed as indicated in Figure A.2 (item 2). This is likely due to a sudden fracture with local stress reaching critical condition for the structural materials or their interfaces, which is often fatal to further continuous service operation of devices. On the other hand, performance deterioration beyond a certain level as also indicated in Figure A.2 (item 1) may occasionally not be acceptable for a certain purpose of usage even if no sudden change is observed until then. Both of these situations are indeed critical for device integrity. Since the degree of sudden changes and unacceptable levels strongly depends on the individual cases of the devices and their purposes of operation, nothing is normatively defined in this document to determine the conditions for criticalness. Such a definition on what operation limits are is left to the users' subjective decision. However, it is normatively required to report the folding distance at which such limits are noticed as distances at defined operation limit. Examples are given in Figure A.2.



Key

1	organic semiconductor	2	source electrode
3	gate electrode	4	drain electrode
5	bending axis	6	bending direction
7	insulation layer	8	smoothing layer
9	flexible substrate	10	target part
11	thickness		

Figure A.1 – Target part and loading configuration of test piece for organic thin-film transistor device

**Key**

- 1 distance at defined operation limit (20 % performance loss)
- 2 distance at defined operation limit (sudden change)

Figure A.2 – Device performance degradation behaviour and distances at defined operation limits for an organic thin-film effect transistor

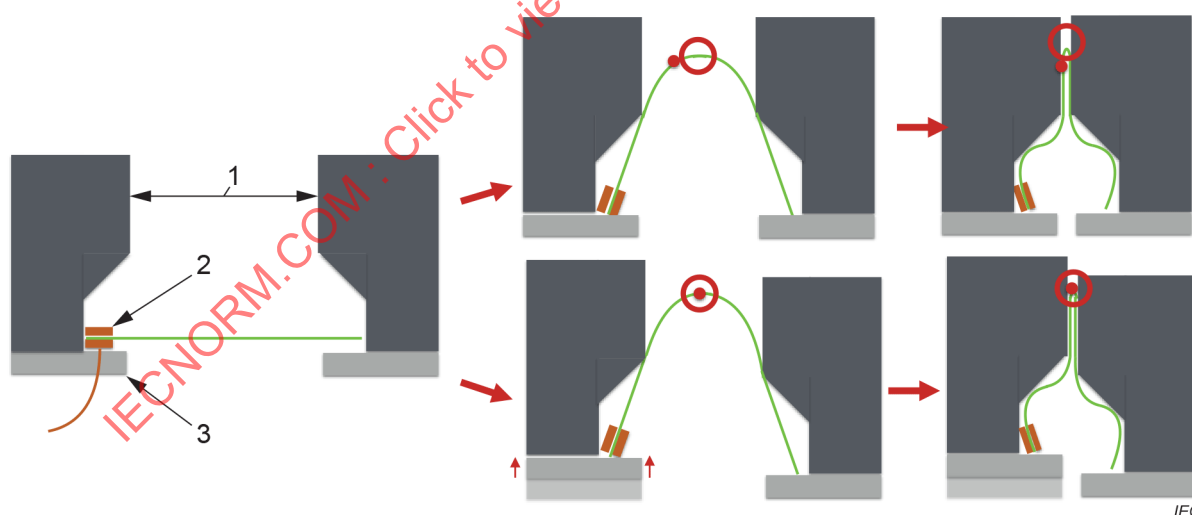
Annex B (informative)

Controls for appropriate performance instrumentation and setting of bending axis position

B.1 Loading wall design with electric accessing cavity and fine adjustment capability for bending axis location during the test

In order to keep measuring the performance appropriately to the end of the loading, electrical contact should remain in the same situation while the device is being loaded with two walls. For such a requirement, the walls may be shaped as illustrated in Figure B.1, where trenches are dug out on the lower part of the walls to prevent the electrical contact from being pressed by the walls. With this kind of modified wall shape, the folding distance d , i.e., the distance between two walls, shall be measured on the upper side of the walls, as indicated on the left side of Figure B.1. The test results are valid after the test piece touches the upper flat area of the walls as indicated in the middle of Figure B.1.

In the final part of the test, it may appear that the location of the bending axis is not exactly on the targeted point. Especially when the size of the device and its target parts is small, precise preparation of test pieces with the targeted point exactly at the center would be difficult. In this case, the loading wall may be equipped with another mechanism to adjust the vertical position of one of the walls as shown in the lower-middle part of Figure B.1. Such a mechanism enables fine adjustment of the bending axis to bring the targeted point, as indicated with the red dot, into the exact center between the two walls. Consequently, in contrast to the case without such an adjustment mechanism shown in the upper part, the bending axis can be set precisely at arbitrary target positions with the same test pieces as indicated in the lower-right part of Figure B.1.



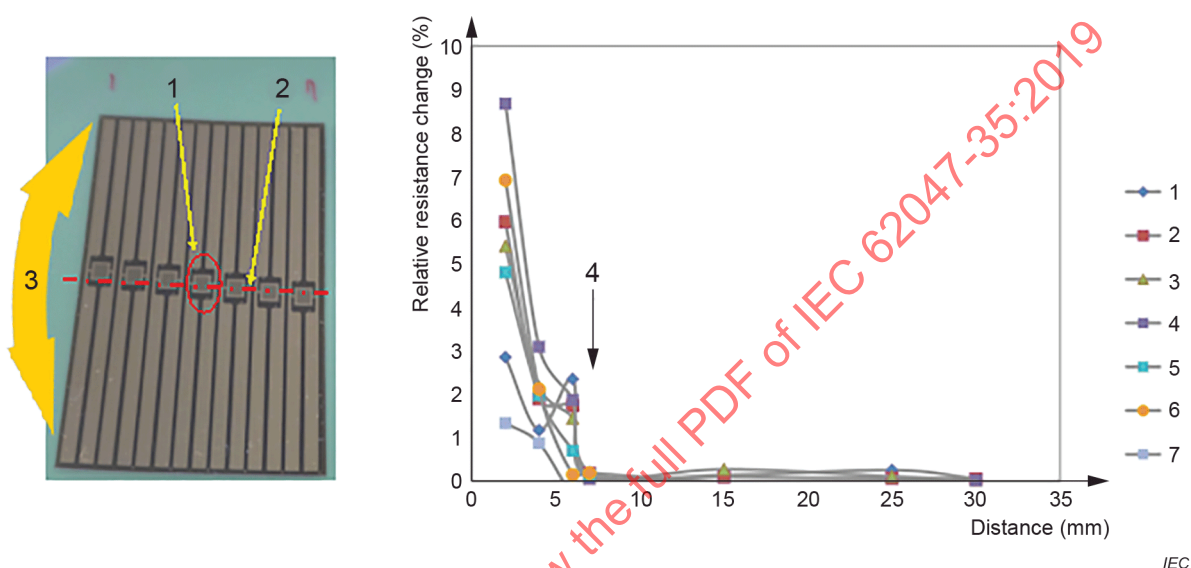
Key

- 1 folding distance
- 2 electric contact
- 3 vertical positioner

Figure B.1 – Loading point adjustment mechanism

B.2 Special arrangement of the target parts of device to obtain a number of bending axis locations in a single testing

Another idea to efficiently locate the bending axis is presented in Figure B.2. If it is possible to fabricate devices exclusively for testing purposes, the target parts of a device may be arranged with a small shift between two neighboring structures as presented in the left side of Figure B.2. When this test piece is loaded with the bending axis lying at the center, a number of shifted points in the same structures are folded to the end. Therefore, as presented in the right side of Figure B.2, the behaviour of the device loaded at different points in the structure can be obtained with just one stroke, and the overall trend of the device against the folding distance is seen clearly.



Key

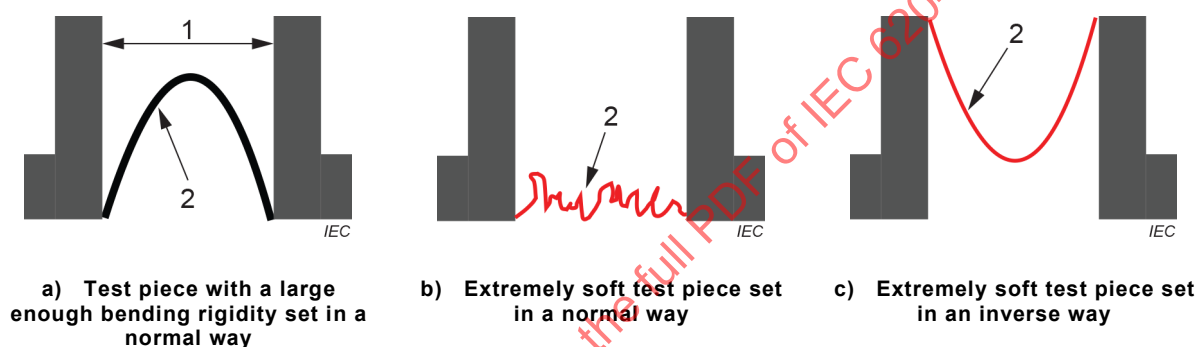
- 1 target part (No.1 to No.7 from left to right)
- 2 bending axis
- 3 bending direction
- 4 distance at defined operation limit for 1 % performance degradation

Figure B.2 – Cascade arrangement of target parts for efficient testing

Annex C (informative)

Loading principle for extremely thin soft devices

When a thin soft test piece with extremely low flexural rigidity, for example a device made from organic substrate and with a thickness typically 10^4 times smaller than its length, is set on the test apparatus in a normal way as shown in Figure C.1a), the actual bending configuration may likely come up in a different way. As illustrated in Figure C.1b), such a test piece may be crumpled between two walls and therefore the bending direction and location of the bending axis cannot be identified any more. In this case, the test piece should be shortened where the thickness is possibly larger than 10^{-4} times the length. If it is impractical due to the arrangement of the target part, to avoid such a chaotic situation and to keep testing process controllable, such a test piece should be placed onto the test apparatus upside down as illustrated in Figure C.1c). This way, the test piece is stabilized into a catenary by its own weight, and the bending direction and location of the bending axis can be intentionally set as described in Clause 5.



Key

- 1 folding distance d
- 2 test piece

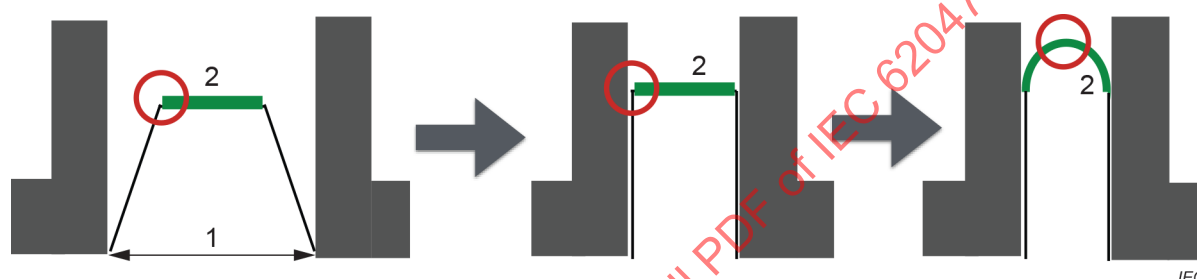
Figure C.1 – Bending configuration

Annex D (informative)

Issues related to local loading severity

D.1 Possible inhomogeneity in local curvature and parameter of loading

Because of the non-uniform distribution of local flexural rigidity due to the heterogeneous structures fabricated on the device, curvature may also not homogeneously distribute along the entire test piece bent between the walls. Such a typical situation is illustrated in Figure D.1. Therefore, special attention shall be paid when the degree of bending is characterized in terms of the average curvature between two walls such as $\kappa = 2/d$. The average curvature thus defined may also be a parameter to measure the severity of loading, but has likely no physical representation of the actual curvature locally given to a particular part of the device between the walls.



Key

- 1 folding distance d
- 2 test piece

Figure D.1 – Possibility of inhomogeneous local curvature distribution

D.2 Possible variations of loading parameter

In the same way as in Clause C.1, due to the nature of bending deformation configured in this document, local loading level on individual parts of the device depends on the length of the test piece even with the same amount of folding distance d . However, after the wall distance reaching down to less than the diameter of a circle whose circumference is twice as long as the length of the test piece, the rest of the test piece is simply unloaded along the flat surface of the walls as illustrated on the right side of Figure D.1 and thus the local loading level becomes almost independent of the length of the test piece with even more severe loading levels.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	24
INTRODUCTION.....	26
1 Domaine d'application	27
2 Références normatives	27
3 Termes et définitions	27
3.1 Généralités	27
3.2 Configurations de charge	28
3.3 Mesure des niveaux de charge	28
4 Pièce d'essai	28
4.1 Généralités	28
4.2 Forme d'une pièce d'essai	28
5 Méthode d'essai	30
5.1 Principe	30
5.2 Appareillage d'essai.....	30
5.3 Procédure	31
5.3.1 Conditions d'essai	31
5.3.2 Choix de la direction de courbure	31
5.3.3 Détermination des axes de courbure.....	31
5.3.4 Mesure des dimensions des pièces d'essai.....	32
5.3.5 Mesure de la distance de pliage	32
5.3.6 Nombre d'essais.....	33
5.3.7 Instruments	33
5.3.8 Fin des essais	33
6 Rapport d'essai	33
6.1 Généralités	33
6.2 Directions de courbure et emplacements dans le plan des axes de courbure	34
6.3 Dimensions de la pièce d'essai	34
6.4 Caractéristiques des dégradations des performances avec la distance de pliage.....	35
6.5 Distance à une limite de fonctionnement définie.....	35
6.6 Conditions d'essai.....	35
Annexe A (normative) Exemple de dispositif MEMS souple.....	36
Annexe B (informative) Commandes des instruments pour une mesure appropriée des performances et réglage de la position de l'axe de courbure	38
B.1 Conception des parois de charge avec cavité d'accès électrique et possibilité d'ajustement fin de l'emplacement de l'axe de courbure pendant l'essai	38
B.2 Disposition spéciale des parties cibles d'un dispositif pour obtenir un certain nombre d'emplacements d'axe de courbure dans un seul essai	39
Annexe C (informative) Principe de charge pour des dispositifs souples extrêmement fins	40
Annexe D (informative) Difficultés liées à la sévérité de la charge locale	41
D.1 Défaut d'homogénéité possible d'une courbure locale et du paramètre de charge	41
D.2 Variations possibles du paramètre de charge.....	41

Figure 1 – Représentation schématique de la pièce d'essai pour un MEMS souple	29
---	----

Figure 2 – Principe de l'essai de pliage.....	30
Figure 3 – Choix de l'axe de courbure.....	32
Figure 4 – Représentation de la dégradation des performances dans le rapport d'essai.....	34
Figure A.1 – Partie cible et configuration de charge de la pièce d'essai, pour un dispositif de type transistor organique en couches minces	36
Figure A.2 – Comportement des dégradations des performances d'un dispositif et distances à des limites de fonctionnement définies pour un transistor organique en couches minces	37
Figure B.1 – Mécanisme d'ajustement du point de charge.....	38
Figure B.2 – Disposition en cascade de parties cibles pour des essais efficaces	39
Figure C.1 – Configuration de courbure	40
Figure D.1 – Possibilité de distribution de courbure locale non homogène	41

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-35:2019

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

Partie 35: Méthode d'essai des caractéristiques électriques sous déformation par courbure de dispositifs électromécaniques souples

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 62047-35 a été établie par le sous-comité 47F: Systèmes microélectromécaniques, du comité d'études 47 de l'IEC: Dispositifs à semiconducteurs.

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

FDIS	Rapport de vote
47F/344/FDIS	47F/352/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 62047, publiées sous le titre général *Dispositifs à semiconducteurs – Systèmes microélectromécaniques*, peut être consultée sur le site web 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. A 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 62047-35:2019

INTRODUCTION

En raison de la tendance actuelle à l'omniprésence des capteurs et de l'internet des objets, la demande et donc le marché des dispositifs électroniques souples connaissent une forte croissance. Les dispositifs microélectromécaniques souples répondent à cette demande et certains sont déjà présents sur le marché. En outre, de nouveaux types de dispositifs communément appelés dispositifs pliables sont en cours de développement et seront bientôt sur le marché. La fiabilité de chaque dispositif est donc essentielle au bon fonctionnement de ces milliards de dispositifs destinés à notre confort et à notre sécurité. Dans le cas des dispositifs souples, la robustesse face aux déformations par courbure est une caractéristique particulièrement critique qui doit être partagée par les fabricants et les utilisateurs de tels dispositifs. Il convient que les conditions critiques de risques d'apparition de dangers potentiels soient précisément déterminées afin de connaître le niveau de sécurité d'une situation et de pouvoir gérer les risques potentiels dès leur première occurrence. Dans ce contexte, il convient de plier en deux au moins une fois les dispositifs souples afin de révéler toutes les défaillances critiques possibles. Cette procédure d'essai normalisée est conçue dans cet objectif et elle s'applique non seulement aux dispositifs souples qui émergent déjà, mais aussi aux dispositifs dits pliables, qui restent opérationnels même lorsqu'ils sont pliés en deux.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-35:2019

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

Partie 35: Méthode d'essai des caractéristiques électriques sous déformation par courbure de dispositifs électromécaniques souples

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62047 spécifie la méthode d'essai des caractéristiques électriques sous déformation par courbure de dispositifs électromécaniques souples. Ces dispositifs incluent des microcomposants passifs et/ou des microcomposants actifs situés sur ou intégrés dans le film souple. Typiquement, les dimensions dans le plan souhaitées du dispositif pour la méthode d'essai sont comprises entre 1 mm et 300 mm, et l'épaisseur est comprise entre 10 µm et 1 mm. Ces valeurs ne sont pas limitatives. La méthode d'essai est conçue pour plier les dispositifs de manière quasi statique et monotone, jusqu'à la courbure maximale possible, c'est-à-dire jusqu'à ce que le dispositif soit complètement plié, afin d'obtenir le comportement des propriétés électriques sous dégradation complète, lors d'une déformation par courbure. Le présent document est essentiel pour estimer la marge de sécurité lors d'une certaine déformation par courbure et indispensable pour concevoir de manière fiable des produits qui utilisent ces dispositifs.

2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.

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 Généralités

3.1.1

système microélectromécanique souple

MEMS souple

dispositif équipé de composants mécaniques et/ou de semiconducteurs structurés connectés électriquement les uns aux autres, assemblé sur ou intégré dans un substrat souple et fonctionnant sans perte inacceptable de ses fonctions lorsqu'il est soumis à des déformations par courbure

EXEMPLE Des transistors organiques, des thermistances, des couches intelligentes avec des capteurs d'humidité, des timbres épidermiques médicaux intelligents, etc.

Note 1 à l'article: L'abréviation "MEMS" est dérivée du terme anglais développé correspondant "micro-electromechanical system".

3.2 Configurations de charge

3.2.1

axe de courbure

ligne sur un dispositif, autour de laquelle le dispositif est courbé selon le rayon de courbure minimal

Note 1 à l'article: En raison des caractéristiques du présent document, il est possible et il convient de placer un axe de courbure à des positions arbitraires suivant des directions arbitraires, conformément aux exigences de l'évaluation. Les positions et les directions réelles doivent être déterminées de manière intentionnelle en fonction des structures de la pièce d'essai.

3.2.2

direction de courbure

direction dans laquelle un dispositif est courbé

3.3 Mesure des niveaux de charge

3.3.1

d

distance de pliage

distance entre deux parois de charge, représentant le niveau de charge appliqué au dispositif

Note 1 à l'article: Le degré de courbure appliqué au dispositif est représenté ici par la distance entre deux parois s'approchant l'une de l'autre pour courber le dispositif, et est appelé distance de pliage.

Note 2 à l'article: Cette mesure peut facultativement être remplacée par le rayon de courbure autour d'un axe de courbure, mais ce rayon de courbure peut ne pas être uniforme entre les deux parois, en particulier lorsque la distribution de la rigidité autour de l'axe de courbure n'est pas homogène en raison de l'hétérogénéité des structures. Ceci est expliqué plus en détail à l'Annexe D.

3.3.2

d_l

distance à une limite de fonctionnement définie

distance(s) de pliage correspondant à des détériorations inacceptables des performances électriques de la pièce d'essai

Note 1 à l'article: Ceci est expliqué plus en détail à l'Annexe A.

4 Pièce d'essai

4.1 Généralités

Un dispositif MEMS souple, qui fonctionne même lorsqu'il est courbé, peut en principe constituer une pièce d'essai et être soumis à l'évaluation du présent document. En principe, la présente méthode d'essai s'applique sans restriction de taille ni de forme sur les dispositifs. Toutefois, pour faciliter l'application d'une charge, la pièce d'essai peut être découpée en une forme rectangulaire, en plaçant au centre les parties cibles à soumettre à la charge, comme cela est mentionné au paragraphe 4.2. L'Annexe B propose d'autres méthodes de préparation de la pièce d'essai.

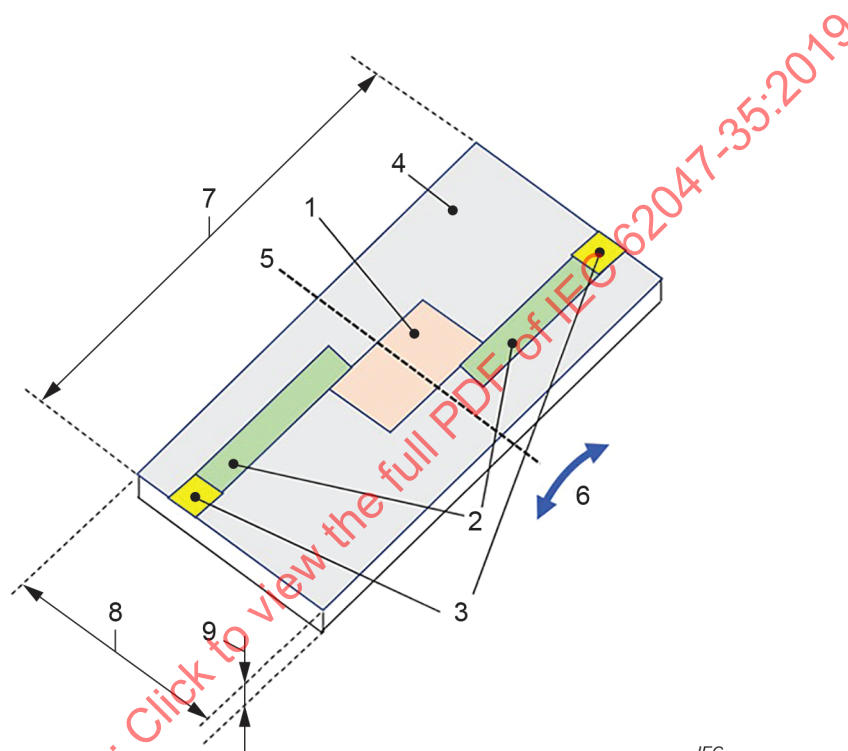
4.2 Forme d'une pièce d'essai

Il convient que la pièce d'essai soit de forme rectangulaire pour faciliter l'expérience, comme représenté à la Figure 1. Il peut être nécessaire de découper une partie des dispositifs pour réaliser l'essai, en particulier lorsque la partie cible à soumettre à essai, qui détermine sa fonctionnalité propre, ne se trouve pas au centre du dispositif. Dans ce cas, la pièce d'essai doit être préparée pour être de forme rectangulaire en découpant une partie du dispositif, la partie cible se trouvant centrée entre deux bords parallèles, dont il convient qu'ils soient également parallèles à l'axe de courbure. Ceci est dû au fait que le point à charger au maximum est limité dans cette méthode d'essai uniquement le long de l'axe de courbure susceptible de dépasser au niveau du centre en raison du mécanisme de charge expliqué en 5.1.

Dans le présent document, la longueur l et la largeur w de la pièce d'essai correspondent respectivement à la dimension de la pièce d'essai perpendiculairement et parallèlement à l'axe de courbure. En raison des structures assemblées sur ou intégrées dans le substrat souple, l'épaisseur peut ne pas être uniforme sur toute la surface du dispositif et elle dépend donc de l'endroit où elle est considérée.

Des recommandations sont données à l'Annexe B pour le cas où un certain nombre de parties cibles peuvent être disposées sur un substrat, en particulier pour réaliser des essais conformément à la présente norme.

NOTE La longueur et la largeur peuvent être interchangeables lorsque l'axe de courbure subit une rotation de 90 degrés, comme cela est représenté symboliquement à la Figure 3.



IEC

Légende

- | | | | |
|---|-----------------|---|-----------------------|
| 1 | partie cible | 2 | interconnexions |
| 3 | électrodes | 4 | substrat souple |
| 5 | axe de courbure | 6 | direction de courbure |
| 7 | longueur | 8 | largeur |
| 9 | épaisseur | | |

Figure 1 – Représentation schématique de la pièce d'essai pour un MEMS souple

5 Méthode d'essai

5.1 Principe

Le principe de charge d'une pièce d'essai est représenté à la Figure 2. Le dispositif doit être inséré entre deux parois qui glissent l'une vers l'autre comme cela est représenté à la Figure 2 a). Laisser ensuite la distance entre les deux parois, c'est-à-dire la distance de pliage, d , diminuer progressivement comme cela est représenté à la Figure 2 b), jusqu'à ce que les deux parois soient en contact avec la pièce d'essai pliée entre elles, comme cela est représenté à la Figure 2 c). Pendant le pliage de plus en serré du dispositif, il convient d'évaluer ses fonctions pour déterminer la partie des performances qui peut être maintenue en fonction de la distance de pliage appliquée.

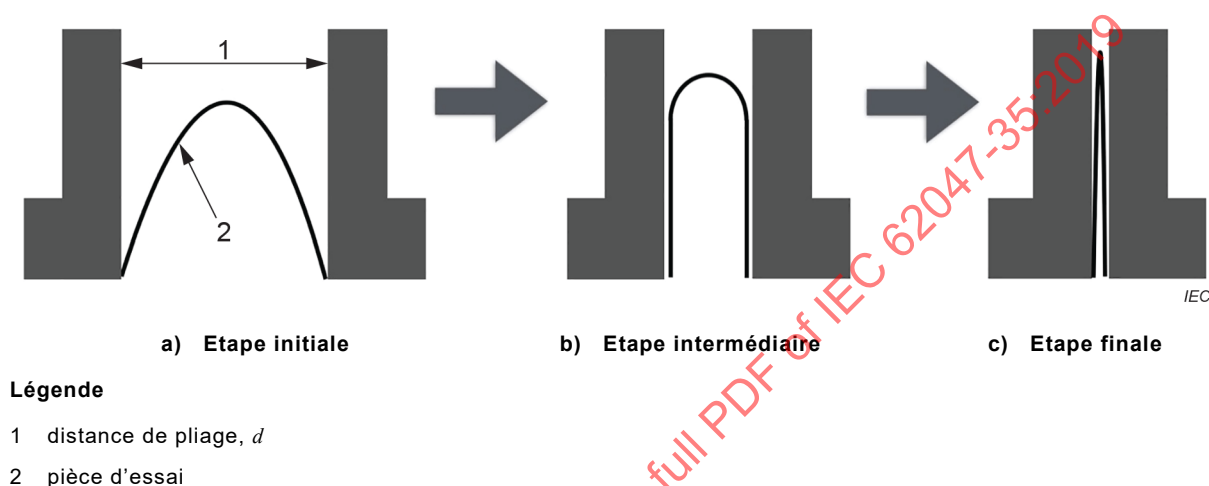


Figure 2 – Principe de l'essai de pliage

5.2 Appareillage d'essai

Aucune configuration spéciale de l'appareillage d'essai n'est exigée dans la présente norme, dès lors que le dispositif peut être plié de plus en plus serré jusqu'à la fin de l'essai. Toutefois, la largeur et la hauteur des parois doivent être supérieures, de préférence d'au moins 5 %, à la largeur et la moitié de la longueur de la pièce d'essai, respectivement, de telle sorte que la totalité de la pièce d'essai soit fermement compressée par les parois. La planéité de surface et le parallélisme des parois sont préparés avec soin, de sorte qu'elles n'entrent pas en contact l'une avec l'autre avant la fin de l'essai. La variance de l'écart entre les parois doit être inférieure à l'épaisseur de la pièce d'essai. Il est recommandé que la rugosité et la planéité de surface des parois ne soit pas inférieure à 1/10 de l'épaisseur de la pièce d'essai, de façon à ne pas déformer la pièce d'essai sous l'effet des bosses des parois, et que seule la déformation par courbure visée soit appliquée. L'une des parois, ou bien les deux parois, sont déplacées par un système à entraînement motorisé, ou bien par une platine de positionnement linéaire à commande manuelle. L'Annexe B et l'Annexe C donnent des recommandations pratiques pour la réalisation de l'expérience.

La distance de pliage doit être mesurée avec une exactitude de moins de 5 % de la distance de pliage. Ainsi, il peut être proposé d'utiliser différents outils, par exemple une échelle graduée pour la plage des millimètres, un micromètre pour la plage des mesures inférieures au millimètre, ou bien un appareil de mesure de déplacement laser ou un microscope pour la plage des micromètres et la plage des mesures inférieures au micromètre.

NOTE Une erreur relative sur la mesure de la distance de pliage, et non une erreur absolue sur la mesure de toute la plage, a son importance pour maintenir la reproductibilité de la déformation par courbure, particulièrement vers la fin de l'essai, car la courbure nominale peut être estimée par approximation à $2/d$ lorsque la déformation par courbure représentée à la Figure 2b) est appliquée. En outre, la valeur de d va de l , par exemple plus de 100 mm, à $2t$, par exemple une valeur inférieure au millimètre. Avec une plage aussi étendue, la dimension s'avère difficile à mesurer avec un appareillage prêt à l'emploi tout en respectant une exactitude de moins de 1 %. C'est pourquoi, afin de faciliter l'expérience décrite dans le présent document, l'exactitude de la distance de pliage est indiquée sous la forme de la valeur relative avec une exactitude de 5 %.

5.3 Procédure

5.3.1 Conditions d'essai

Puisque le présent document a pour objet d'étudier le comportement des détériorations des performances d'un dispositif en le soumettant à la courbure maximale possible, il peut ne pas être toujours facile de trouver la vitesse d'essai qui correspond le mieux aux conditions de fonctionnement réel du dispositif. Ainsi, l'évaluation du comportement des déformations en fonction du temps, par exemple la viscoélasticité, est considérée ici comme ne relevant pas du domaine d'application. Dès lors, le temps de maintien entre deux étapes de charge avant de démarrer les instruments, ainsi que la vitesse de charge, ne sont pas spécifiés ici. Il est simplement proposé ici d'appliquer le même temps de maintien pour la mesure dans toutes les étapes et d'être attentif aux dérives lorsque la distance de pliage augmente. La vitesse d'essai et le temps de maintien déterminés par l'utilisateur doivent être consignés dans un rapport d'essai, par exemple une vitesse de déplacement des parois de l par minute et un temps de maintien de 1 min pour chaque mesure. Puisque les substrats pour des MEMS souples peuvent souvent être constitués de matériaux polymères, il convient que le comportement des déformations soit en principe plus ou moins dépendant du temps. Le cas échéant, il convient de consigner le comportement non élastique dépendant du temps dans le rapport d'essai.

D'autres conditions d'essai, par exemple la température, l'humidité, etc., doivent, dans la mesure du possible, être identiques à celles dans lesquelles les dispositifs sont utilisés en fonctionnement réel.

NOTE 1 Puisque le présent document a pour objet d'étudier le comportement des détériorations des performances d'un dispositif en le soumettant à la courbure monotone maximale possible, il peut ne pas être toujours facile de trouver les conditions d'essai (en particulier la vitesse) qui correspondent le mieux aux conditions de fonctionnement réel du dispositif. Dans de tels cas, les utilisateurs ont la responsabilité de déterminer les conditions et de les consigner de manière appropriée comme cela est indiqué en 6.6.

NOTE 2 Pour une longueur l de la pièce d'essai de 20 mm, les vitesses potentielles de déplacement des parois sont de 20 mm/min, 50 mm/min, 100 mm/min, 200 mm/min, etc. Si un système de surveillance en temps réel est disponible pour la mesure, le temps de maintien peut éventuellement être nul.

5.3.2 Choix de la direction de courbure

Placer la pièce d'essai sur l'appareillage d'essai en orientant vers le haut le côté devant être chargé de manière convexe. En principe, il convient que le choix de ce côté, la direction de courbure dans laquelle la pièce d'essai est chargée, corresponde à la direction de courbure du dispositif en fonctionnement réel. Toutefois, afin d'explorer les modes de défaillance possibles, les deux directions de courbure peuvent être examinées, quelle que soit la façon dont le dispositif est réellement utilisé.

NOTE Lorsqu'une pièce d'essai telle qu'elle est représentée à la Figure 1 est montée sur l'appareillage d'essai avec la partie cible orientée vers le haut, la pièce d'essai est chargée de manière convexe et la partie cible est déformée. D'un autre côté, pour l'essai consistant à appliquer la direction de courbure inverse, la pièce d'essai est montée avec la partie cible orientée vers le bas et cette partie cible est compressée. Dans le rapport d'essai, la flèche curviligne est représentée selon une forme concave.

5.3.3 Détermination des axes de courbure

Choisir un axe caractéristique des dispositifs individuels à soumettre à essai. En outre, il convient de soumettre à essai au moins une autre direction à 90 degrés de cet axe caractéristique, comme représenté à la Figure 3. Les choix réels de directions sont laissés aux fournisseurs et aux utilisateurs. Il est à noter que les axes de courbure réels qui apparaissent à la fin de l'essai peuvent ne pas se trouver exactement à la position attendue en raison d'erreurs possibles lors de la préparation des pièces d'essai et de défauts d'homogénéité dans la distribution de la rigidité sur le dispositif. Ainsi, un ajustement précis de l'emplacement de l'axe de courbure peut être nécessaire pendant le processus de charge. L'Annexe B donne des méthodes possibles pour commander précisément cet ajustement.

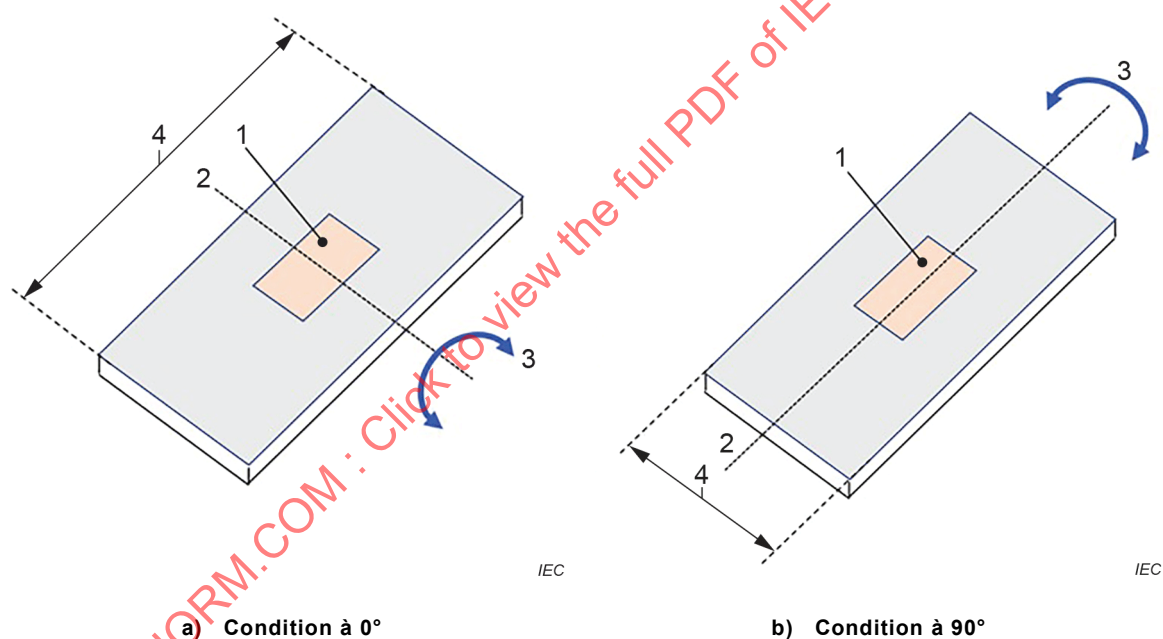
5.3.4 Mesure des dimensions des pièces d'essai

La longueur et la largeur de chaque pièce d'essai doivent être mesurées et consignées. La mesure de la longueur du dispositif est critique en raison du mécanisme de courbure expliqué en 5.2. Cette mesure doit être effectuée avec une exactitude de 1 % de la longueur. Les dimensions dans la direction parallèle à l'axe de courbure ne sont pas importantes, mais elles peuvent également être mesurées de la même manière. L'épaisseur peut varier en différents points de la pièce d'essai, en raison de sa structure non homogène. Elle doit donc être mesurée en différents points typiques, par exemple la partie substrat ainsi que la partie cible. Un profilomètre peut mesurer l'épaisseur locale de la pièce d'essai en assurant une exactitude suffisante.

NOTE 1 Comme les méthodes à privilégier et l'exactitude de mesure dépendent largement des dispositifs, le présent document ne spécifie rien de manière normative. Au lieu de cela, les utilisateurs de cette procédure sont responsables du choix de méthodes adéquates pour leurs dispositifs et de la consignation de l'exactitude dans le rapport d'essai, comme cela est décrit plus loin.

NOTE 2 Puisque la distribution de l'épaisseur dépend fortement de la structure de chaque dispositif soumis à essai, le choix des points de mesure est laissé à l'utilisateur.

NOTE 3 La consignation des dimensions est facultative, à l'exception de la longueur, car la largeur et l'épaisseur sont simplement des informations connexes exploitées pour la conception de l'appareillage d'essai visé par le présent document.



Légende

- | | | | |
|---|-----------------------|---|-----------------|
| 1 | partie cible | 2 | axe de courbure |
| 3 | direction de courbure | 4 | longueur |

Figure 3 – Choix de l'axe de courbure

5.3.5 Mesure de la distance de pliage

La distance entre les deux parois est mesurée et consignée comme étant la distance de pliage à chaque mesure des performances du dispositif. Elle doit être mesurée avec une exactitude de 5 % de la distance de pliage. Ainsi, il peut être proposé d'utiliser une échelle graduée pour la plage des millimètres, un micromètre pour la plage des mesures inférieures au millimètre, ou bien un appareil de mesure de déplacement laser ou un microscope pour la plage des micromètres.

5.3.6 Nombre d'essais

Différentes positions doivent être soumises à essai de la même manière, c'est-à-dire que la charge doit être appliquée à des axes de courbure situés à différents emplacements dans le cadre du présent document. Ceci est dû au fait que l'emplacement de la charge maximale sur le dispositif n'est limité que le long des axes de courbure et que le dispositif peut être courbé à une position arbitraire en utilisation réelle. L'Annexe B donne davantage de détails sur les complications possibles et les solutions à ce problème.

Le nombre de pièces d'essai à soumettre à essai n'est pas spécifié dans le présent document. Toutefois, pour les informations sur la reproductibilité, il convient de soumettre à essai plus de deux spécimens dans les mêmes conditions, et le nombre de spécimens doit être indiqué dans le rapport d'essai.

5.3.7 Instruments

Placer la pièce d'essai sur l'appareillage et laisser les deux parois se rapprocher étape par étape. A chaque étape, mesurer la distance de pliage, d , et les performances du dispositif (correspondant à ses fonctions caractéristiques) pendant la charge. L'essai doit être poursuivi jusqu'à ce que les parois de charge ne puissent plus s'approcher l'une de l'autre. Pour terminer, décharger la pièce d'essai pliée et identifier l'emplacement exact de l'axe de courbure.

Les performances du dispositif et l'exactitude de mesure dépendent fortement de chaque dispositif. Ainsi, le présent document ne spécifie rien de manière normative. Au lieu de cela, il convient que les utilisateurs de cette procédure soient responsables de l'évaluation adéquate des performances de leurs dispositifs, et de la consignation dans le rapport d'essai de l'exactitude des instruments, comme cela est décrit à l'Article 6.

5.3.8 Fin des essais

Arrêter l'essai lorsque les parois ne s'approchent plus l'une de l'autre. Il n'est pas recommandé d'arrêter l'essai avant que la distance de pliage atteigne deux fois l'épaisseur maximale de la pièce d'essai.

En fonction du système d'actionneur destiné à entraîner les parois, les forces physiques appliquées au dispositif à ce stade peuvent varier. Puisque le présent document n'a pas pour objet de soumettre les dispositifs pliés à des essais de compression, il convient d'arrêter les essais dès qu'une augmentation brutale de la résistance à l'entraînement des parois est détectée par un quelconque moyen.

NOTE La pièce d'essai peut être courbée tant qu'il reste de l'espace sur son côté concave. Cependant, en raison de l'épaisseur de la pièce d'essai, les deux parois de charge ne peuvent pas s'approcher l'une de l'autre au-delà d'une certaine distance. Cette situation indique la fin de l'essai. Il est possible que cette distance corresponde à deux fois l'épaisseur maximale du dispositif, mais elle peut ne pas être exactement égale à cette valeur. Puisque l'épaisseur peut ne pas être uniforme dans le cas de dispositifs structurés, comme cela est expliqué en 4.2, il peut rester de l'espace autour de l'axe de courbure même lorsque des structures éloignées de l'axe de courbure se touchent, empêchant les parois de pouvoir s'approcher davantage l'une de l'autre. Aussi, lorsqu'un point au niveau de l'épaisseur maximale touche un autre point au niveau d'une épaisseur inférieure à l'épaisseur maximale, la distance à la fin de l'essai est évidemment inférieure à deux fois l'épaisseur maximale.

6 Rapport d'essai

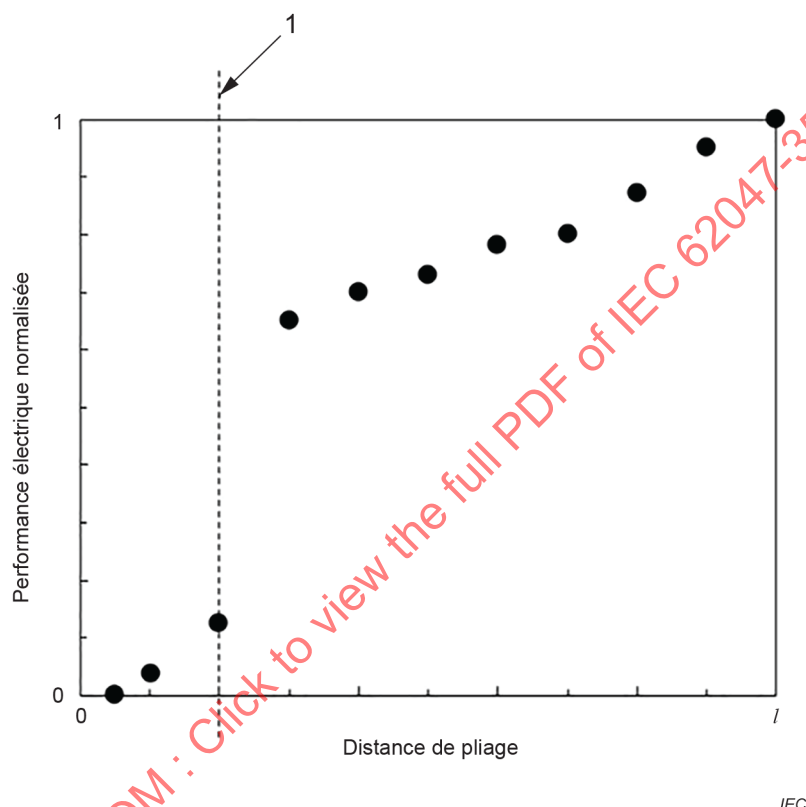
6.1 Généralités

Les informations de 6.2 à 6.6 doivent figurer dans le rapport d'essai du présent document. Les conditions d'essai déterminées par les utilisateurs mentionnées en 5.3.1 doivent également y être consignées.

6.2 Directions de courbure et emplacements dans le plan des axes de courbure

Les directions de courbure et les emplacements détaillés des axes de courbure sur le dispositif doivent être consignés, de préférence par des illustrations comme cela est représenté dans l'exemple de la Figure 3. Dans le cas où une pièce d'essai a été courbée suivant plusieurs axes dans un seul essai, il est fortement recommandé de ne pas garder le résultat et de refaire l'essai avec une pièce d'essai plus courte (voir l'Annexe C).

Il convient de faire figurer les méthodes et l'exactitude des mesures pour ces paramètres dans le rapport d'essai, bien qu'elles ne soient pas spécifiées de manière normative puisqu'elles sont fortement dépendantes de chaque dispositif.



Légende

1 distance à une limite de fonctionnement définie

Figure 4 – Représentation de la dégradation des performances dans le rapport d'essai

6.3 Dimensions de la pièce d'essai

Au minimum, la longueur de la pièce d'essai doit être consignée. Toutefois, il convient de consigner d'autres dimensions telles que la largeur et l'épaisseur, si nécessaire.

NOTE Puisqu'un dispositif est déformé en poussant ses extrémités pour les rapprocher l'une de l'autre dans le cas de l'essai représenté à la Figure 2, la distance entre les deux extrémités, c'est-à-dire la longueur, est prédominante au niveau de sa déformation par rapport à la distance de pliage dans l'étape initiale d'essai (Figure 2 a)). La longueur est donc le paramètre le plus important à indiquer pour chaque essai. Entre-temps, bien que la déformation soit déterminée uniquement par la distance de pliage et qu'elle soit indépendante des dimensions de la pièce d'essai dans l'étape intermédiaire (Figure 2 b)), la distance de pliage dans l'étape finale (Figure 2 c)) est intimement corrélée avec la distribution de l'épaisseur sur la longueur et la largeur de la pièce d'essai. La largeur et l'épaisseur sont également consignées de manière facultative, en plus de la longueur, afin d'indiquer toutes les caractéristiques géométriques de la pièce d'essai.