

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices –
Part 14: Forming limit measuring method of metallic film materials**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques –
Partie 14: Méthode de mesure des limites de formage des matériaux à couche
métallique**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-14:2012



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2012 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables you 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It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 on-line and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

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

Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

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

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

Liens utiles:

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

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI 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.

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices –
Part 14: Forming limit measuring method of metallic film materials**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques –
Partie 14: Méthode de mesure des limites de formage des matériaux à couche
métallique**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

Q

ICS 31.080.99

ISBN 978-2-88912-938-6

**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, definitions and symbols	5
3.1 Terms and definitions	5
3.2 Symbols	6
4 Testing method.....	6
4.1 General	6
4.2 Equipment	6
4.3 Specimen	7
5 Test procedure and analysis.....	8
5.1 Test procedure	8
5.2 Data analysis	9
6 Test report.....	10
Annex A (informative) Principles of the forming limit diagram	11
Annex B (informative) Grid marking method	13
Annex C (informative) Gripping method	15
Annex D (informative) Strain measuring method	17
Figure 1 – Equipment and tools for forming limit tests	7
Figure 2 – Rectangular specimens with six kinds of aspect ratio	8
Figure 3 – Strain for forming limit measurement.....	9
Figure 4 – Construct the forming limit diagram by plotting the major and minor strains	9
Figure A.1 – Forming limit diagram.....	11
Figure A.2 – Hemispherical punch for forming limit measurement	11
Figure A.3 – Grid for forming limit measurement	12
Figure A.4 – Loading path of the specimen with various aspect ratios.....	12
Figure B.1 – Procedure of a photographic grid marking method	13
Figure B.2 – Procedure for an inkjet grid marking method	14
Figure C.1 – Gripping of the specimen using a ring shaped die.....	15
Figure C.2 – Gripping of the specimen using adhesive bonding	16
Figure D.1 – Set up for strain measurement using digital camera.....	17
Figure D.2 – Example of pixel converting image of deformed specimen	17
Table 1 – List of letter symbols	6

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SEMICONDUCTOR DEVICES –
MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –****Part 14: Forming limit measuring method
of metallic film materials**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as “IEC Publication(s)”). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC 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 62047-14 has been prepared by subcommittee 47F: Micro-electromechanical systems, of IEC technical committee 47: Semiconductor devices.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
47F/108/FDIS	47F/118/RVD

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

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

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-14:2012

SEMICONDUCTOR DEVICES – MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –

Part 14: Forming limit measuring method of metallic film materials

1 Scope

This part of IEC 62047 describes definitions and procedures for measuring the forming limit of metallic film materials with a thickness range from 0,5 μm to 300 μm . The metallic film materials described herein are typically used in electric components, MEMS and micro-devices.

When metallic film materials used in MEMS (see 2.1.2 of IEC 62047-1:2005) are fabricated by a forming process such as imprinting, it is necessary to predict the material failure in order to increase the reliability of the components. Through this prediction, the effectiveness of manufacturing MEMS components by a forming process can also be improved, because the period of developing a product can be reduced and manufacturing costs can thus be decreased. This standard presents one of the prediction methods for material failure in imprinting process.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 62047-1:2005, *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 1: Terms and definitions*

3 Terms, definitions and symbols

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 62047-1 and the following apply.

3.1.1

circular grid

grid used for measuring the localized deformation of the specimens within the circle

3.1.2

grid patterns

pattern marked on the surface of the testing material permitting immediate and direct measurement of the formability for the metallic film materials

Note 1 to entry The grid consists of a pattern of small circles or rectangles.

3.1.3

major axis

longest line of the deformed elliptical shape, which passes through both focuses of the ellipse

3.1.4

minor axis

longest line of the deformed elliptical shape, which is perpendicular to the major axis

3.1.5

square grid

grid used for measuring the overall deformation of the testing material

3.2 Symbols

For the purpose of this document, letter symbols given in Table 1 are used.

Table 1 – List of letter symbols

Name and designation	Letter symbol
Grid size – initial diameter of the grid before deformation – diameter of the grid along the major axis after deformation – diameter of the grid along the minor axis after deformation	d_0 d_1 d_2
Strain – major strain – minor strain	ε_1 ε_2
Equipment, tool and specimen size – diameter of the hemispherical punch – inner diameter of the die hole – diameter of the bead ring – fillet radius of the upper die edge – thickness of the testing specimen – height of the testing specimen – width of the testing specimen	D_{punch} D_{die} D_{bead} r_{de} t h w

4 Testing method

4.1 General

The forming limit diagram (FLD) is determined by pressing the micro film material using a hemispherical punch. This pressing process is performed until the film material fractures. The major and minor strains of a deformed specimen can be measured in many ways, for example, by using a digital camera module or an optical device. However, using a digital camera module with sufficient resolution and a high magnifying power lens is recommended.

NOTE See Annex A for principles of forming limit diagram.

4.2 Equipment

Micro press equipment is utilized as the loading equipment for FLD tests as described in Figure 1. A hemispherical punch is attached to the micro press to stretch the film material to measure the forming limits of the specimen. Conventional hard chrome coating to the punch surface using hexavalent chromium is recommended to guarantee a surface roughness less than 0,8 μm (RMS: Root Mean Square). In addition, lubricants such as graphite can be applied for reducing the friction force between the surfaces of the punch and the specimen. The movement of the punch is controlled by a constant crosshead speed of the measuring devices in the micro press. The punch speed shall be lowered to the quasi-static condition. A punch speed of less than 20 $\mu\text{m/s}$ is recommended in order not to result in the dynamic inertia

effect during the test. Although the dimension of the hemispherical punch and the test samples can be varied with forming product and inspected measuring region, it is recommended that the dimension should be determined as the following ratio.

$$D_{\text{die}} = D_{\text{punch}} + 2,5t \quad (1)$$

$$D_{\text{bead}} = 2 \times D_{\text{punch}} \quad (2)$$

It is also recommended that the hemispherical punch diameter and the die edge radius should be 5 mm and 0,5 mm respectively.

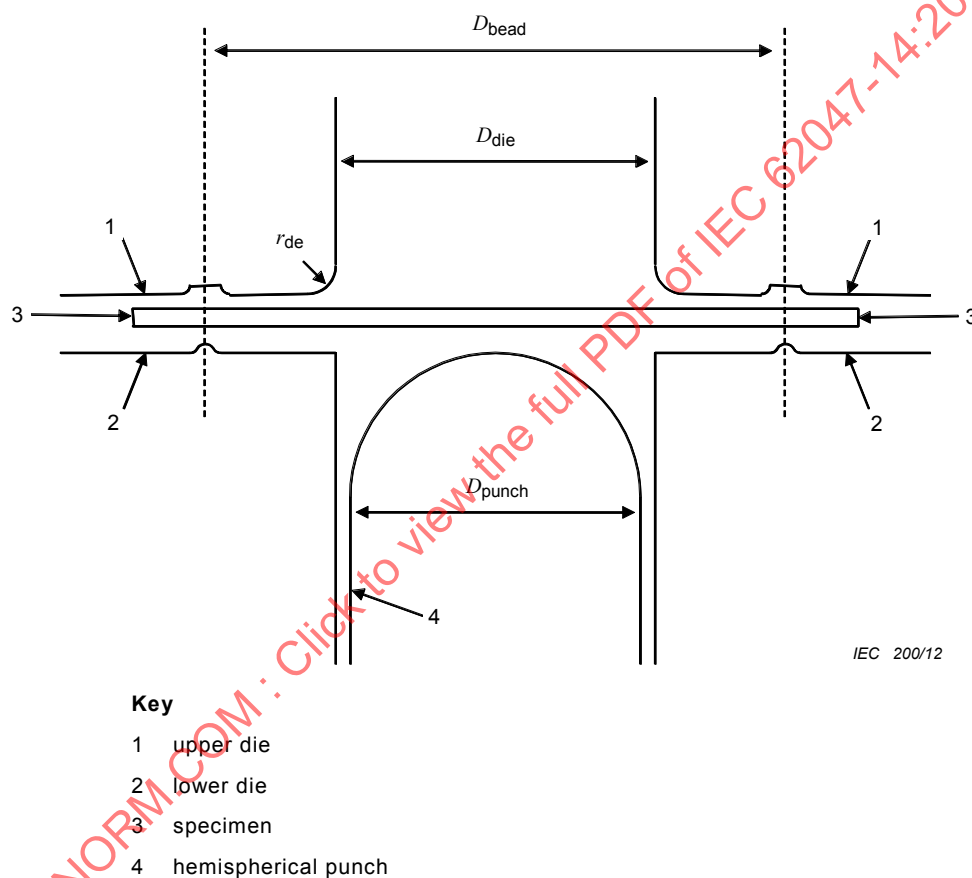


Figure 1 – Equipment and tools for forming limit tests

4.3 Specimen

Rectangular specimens with different aspect ratios shall be used in the test. At least six kinds of specimens with the aspect ratios of 1,0, 1,5, 1,75, 2,0, 3,5 and 7,0 are recommended as shown in Figure 2 in order to cover the various loading paths on the domain of the forming limit diagram.

$$h = 2,5 \times D_{\text{punch}} \quad (3)$$

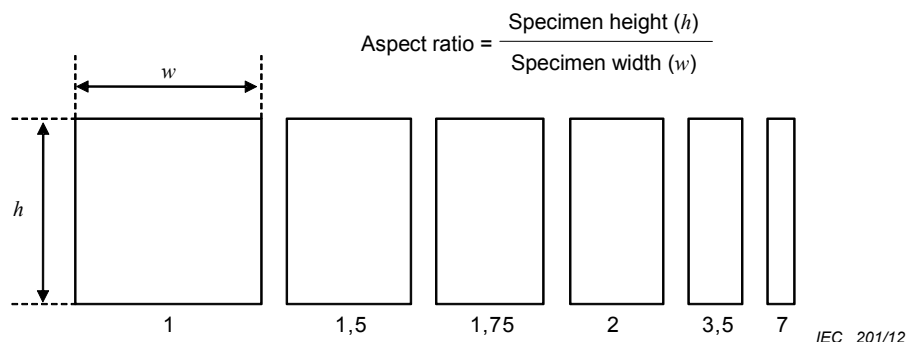


Figure 2 – Rectangular specimens with six kinds of aspect ratio

Grids shall be marked to the surface of the testing sample to measure the localized and overall deformation of the film material. The grid consists of a pattern of small circles or rectangles. It is recommended to arrange the grid patterns with an interval range from 50 μm to 200 μm and that the thickness of the grid is less than 10 % of the specimen thickness.

NOTE See Figure A.3 for detailed grid pattern.

5 Test procedure and analysis

5.1 Test procedure

In a FLD test, the following items from a) to e) are steps to obtain a localized fracture of a specimen which is firstly observed. Then the values of a major strain and a minor strain which are used to quantify the deformation of the specimen will be measured.

a) Preparation of the specimen

Specimens with different aspect ratios are prepared to conduct the test.

NOTE 1 Both the positive and negative region of the FLD curve can be obtained by varying the aspect ratio of the specimen and the lubricant.

b) Grid marking on the specimen

Appropriate marking conditions which have a lesser effect on the microstructure and the properties of materials should be applied in the grid marking since the thickness of the film is relatively smaller.

NOTE 2 See Annex B for detail expression of several grid marking methods.

c) Gripping the specimen

In order to measure the strain only in the testing region, it is important that the sample should be clamped without any sliding. Also, pre-fracture should not occur when it is being clamped.

NOTE 3 See Annex C for several recommended gripping methods.

d) Moving the punch until the specimen fails

The hemispherical punch moves by controlling the constant crosshead speed of equipment until the localized fracture of the specimen is first observed.

e) Measuring the major and minor strains of deformed specimen

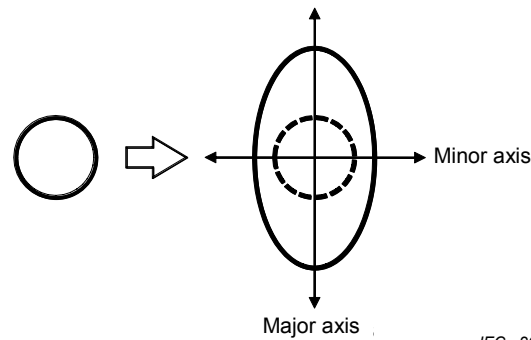
Major and minor strains of the deformed specimen are measured representatively using the digital camera module with a high magnifying power lens. The recommended magnification factor of the camera lens is less than 5 $\mu\text{m}/\text{pixel}$ in order to measure the strain precisely.

NOTE 4 See Annex D for strain measuring method.

f) Construct the FLD by plotting the measured major and minor strains (refer to Figure 4).

5.2 Data analysis

In order to quantify the deformation of the specimen, two kinds of strains – major and minor strains – are measured between the initial state of the circle and the deformed elliptical shape. After the circular grid deforms, the longest dimensions of the ellipse is major axis and the dimension perpendicular to the major axis is the minor axis, as explained in Figure 3.



IEC 202/12

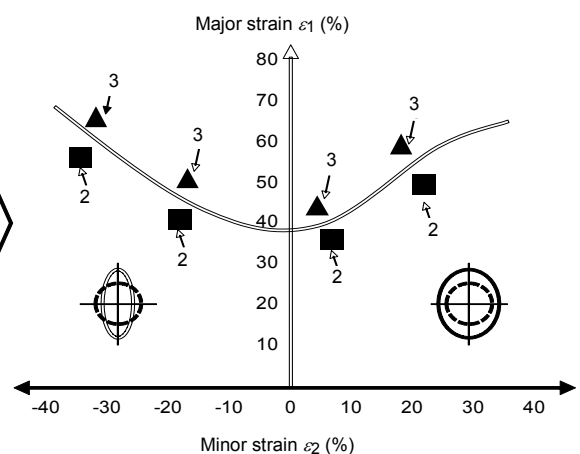
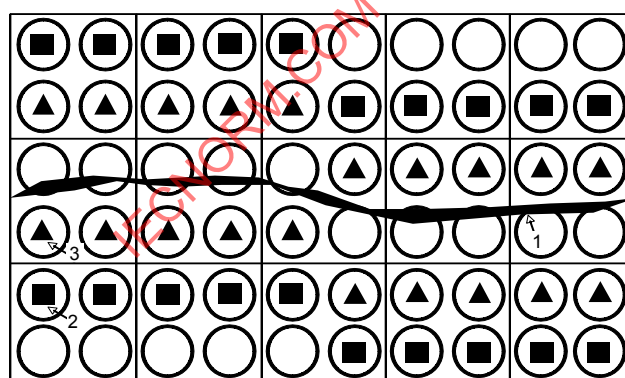
Figure 3 – Strain for forming limit measurement

The major strain, ε_1 , and the minor strain, ε_2 , are calculated with following equations:

$$\varepsilon_1 = \ln \frac{d_1}{d_0} \quad (4)$$

$$\varepsilon_2 = \ln \frac{d_2}{d_0} \quad (5)$$

Here, d_0 is the initial diameter of the circular grid while d_1 and d_2 represent the major and the minor diameters of the grid after deformation.



IEC 203/12

Key

- 1 fracture
- 2 good
- 3 failure

Figure 4 – Construct the forming limit diagram by plotting the major and minor strains

The major and minor strains calculated from the grids in the neighbourhood of the failure zone of the specimen are regarded as critical failure strains. By conducting a series of experiments with various specimens, it is possible to find combinations of major strain and minor strain for which neither necking nor fracture occurs by plotting on the strain domain. The diagram plotting the combinations of major and minor strains is a forming limit diagram as shown in Figure 4.

6 Test report

The test report should contain at least the following information:

- a) reference to this international standard;
- b) testing material;
- c) grid marking method;
- d) number of specimens used in the test;
- e) dimensions of the specimen(s);
- f) description of testing apparatus (punch diameter, gripping method, punch roughness, etc.);
- g) lubrication condition;
- h) crosshead speed of testing apparatus;
- i) strain measurement module: specification of the digital camera, scale factor of each pixel;
- j) measured diameters and calculated strains of each specimen;
- k) forming limit diagram.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-14:2012

Annex A (informative)

Principles of the forming limit diagram

The maximum major and minor strains at fracture are plotted in the strain domains. The surface of metallic film material part deforms differently based on the type of loading. A relationship exists between the deformation of the film material and the type of stressing. By conducting a series of experiments, it is possible to find combinations of maximum strain (corresponding to the major axis of the ellipse) and minimum strain (perpendicular to the major strain and corresponding to the minor axis of the ellipse) for which neither necking nor fracture occurs. The FLD is valid for a definite formability and defines two zones "good" and "failure". The strains plotted are the critical points, where cracks are likely to form. Between the two zones of "good" and "failure", there is a curve of critical deformation shown in Figure A.1

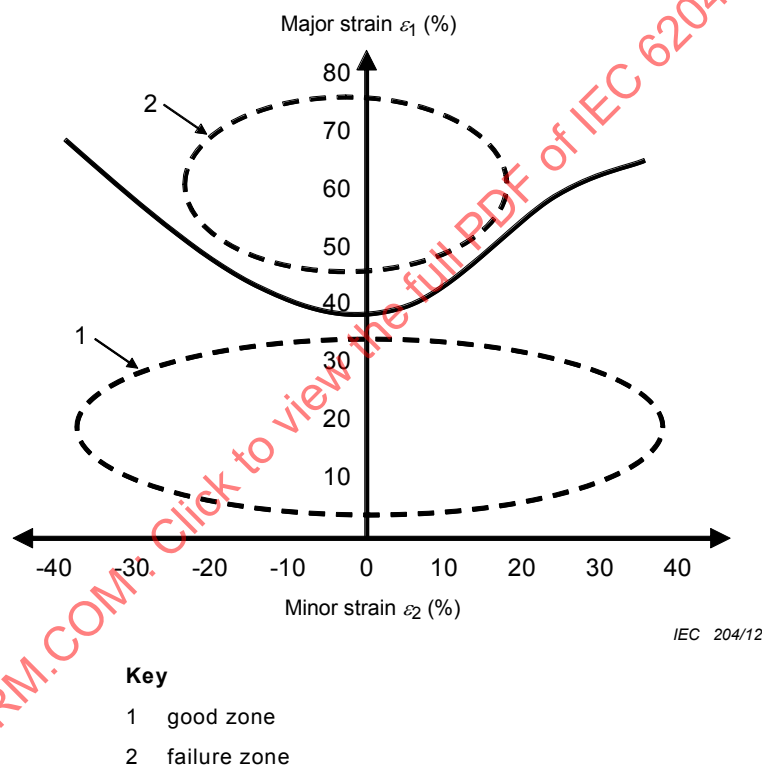


Figure A.1 – Forming limit diagram

Forming limit diagrams can be obtained by conducting experiments for different zones. The most widely used method of obtaining the forming limit diagram is by means of drawing tests of the specimens with a hemispherical punch shown in Figure A.2.

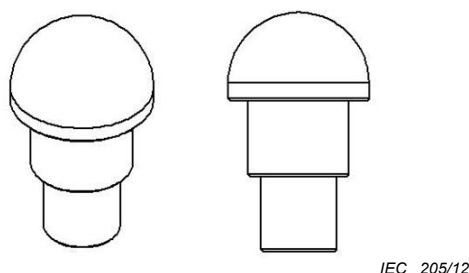
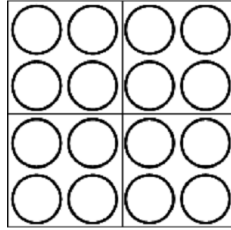


Figure A.2 – Hemispherical punch for forming limit measurement

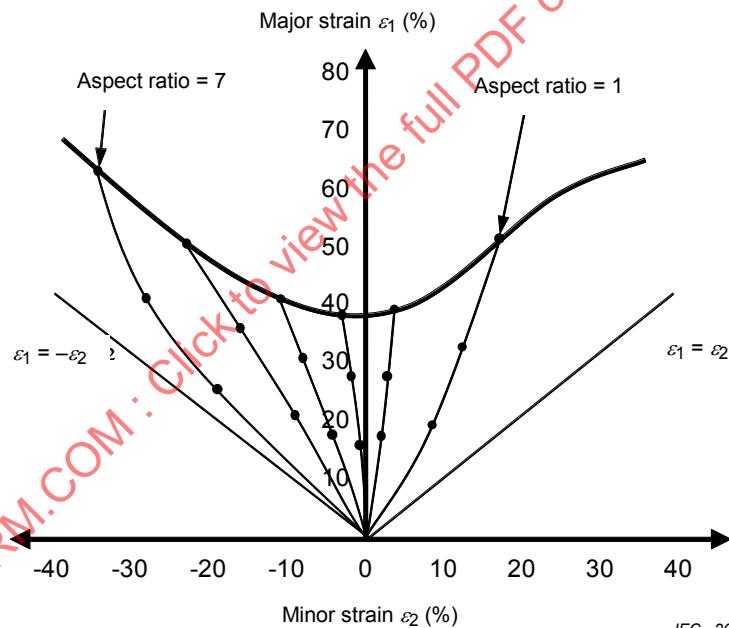
In order to evaluate the deformation behaviour and forming limits of metallic thin film, grid patterns are marked on the specimen. This permits immediate and direct measurement of the formability of the metallic thin film at any location. The grid consists of a pattern of small circles and rectangles as described in Figure A.3



IEC 206/12

Figure A.3 – Grid for forming limit measurement

Circular grid patterns on the surface of a film material part deform differently based on the type of loading. The different stress conditions are simulated by changing the width of the specimen. The specimens with various widths are drawn until cracks occur. With details from these tests, the FLD can be obtained for strain paths ranging from biaxial tension (stretch forming) to equal tension and compression (deep drawing) as explained in Figure A.4. The diagram shall be determined for each particular film material.



IEC 207/12

Figure A.4 – Loading path of the specimen with various aspect ratios

Annex B (informative)

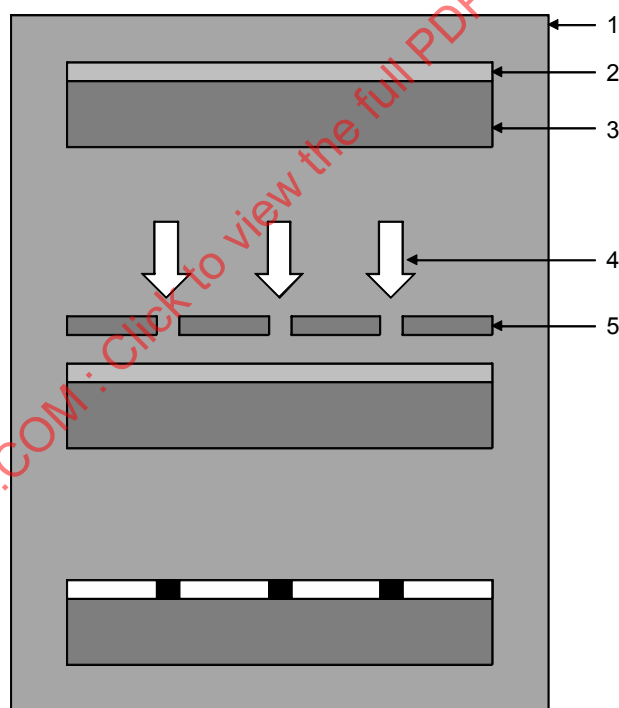
Grid marking method

B.1 General

Photographic and inkjet methods are typical grid marking methods. The photographic method can achieve very small-sized grid marking through its precise processing, but there are disadvantages such as complex, slow work. The inkjet method has merits such as simplicity and quickness. However there are limits to precision work. The procedures and concepts for each method are as follows.

B.2 Photographic method

- a) Deposit the photographic sensitive materials on the specimen;
- b) Expose the photographic sensitive materials using a photo-mask;
- c) Clean the specimen (refer to Figure B.1).



IEC 208/12

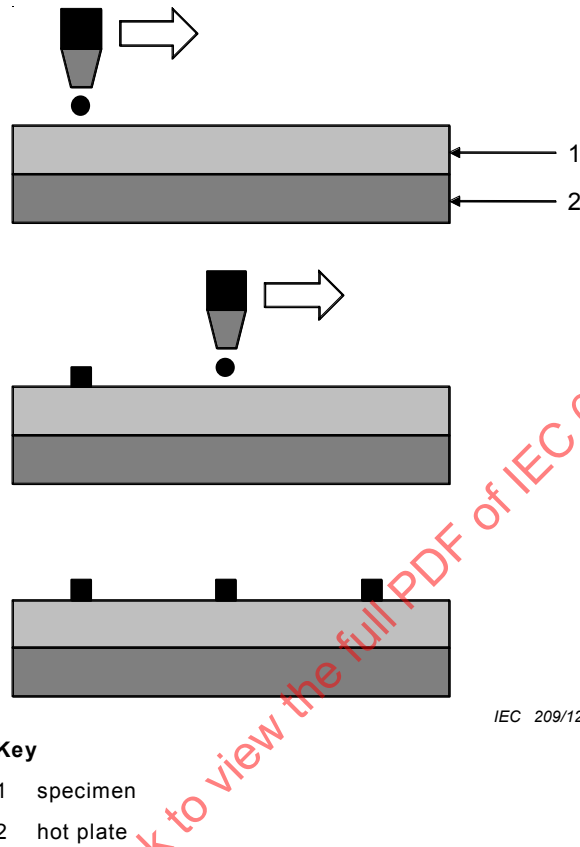
Key

- 1 dark room
- 2 photographic sensitive materials
- 3 specimen
- 4 light
- 5 photo mask

Figure B.1 – Procedure of a photographic grid marking method

B.3 Inkjet method

- a) Place the specimen on the hot plate and inkjet machine;
- b) Carry out the inkjet process according to the grid marking tool path data (refer to Figure B.2).



IEC 209/12

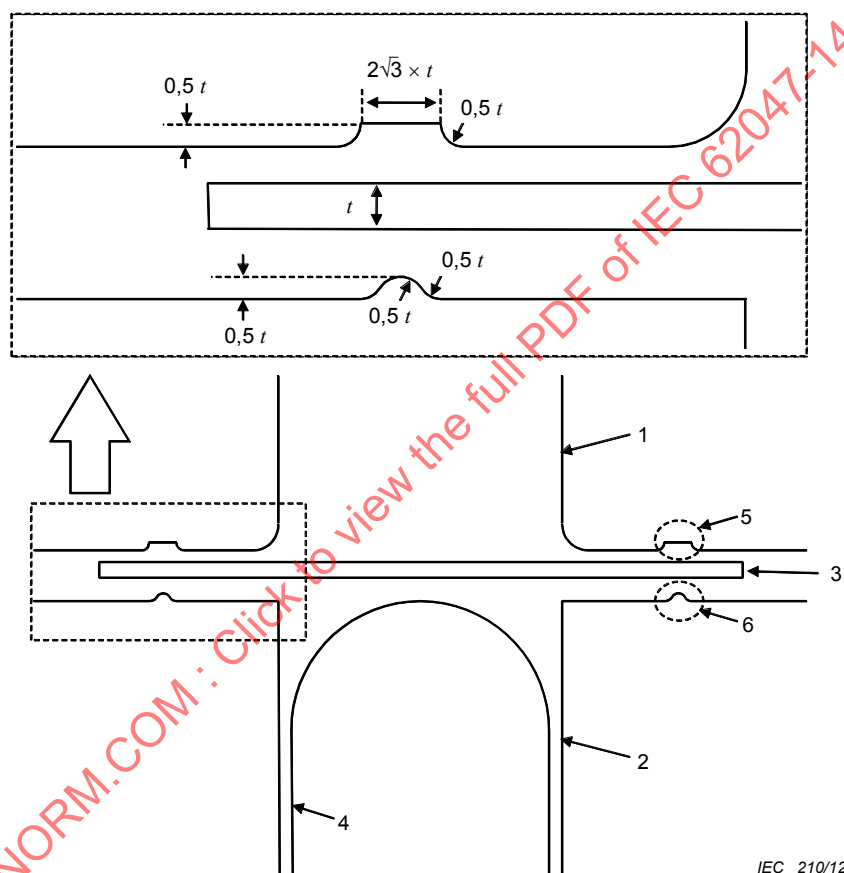
Figure B.2 – Procedure for an inkjet grid marking method

Annex C (informative)

Gripping method

C.1 Bead method

Figure C.1 shows the gripping method using ring shaped dies composed respectively of the female and male beads in the upper and lower dies. Also, the detailed dimensions of the bead parts are recommended. These dimensions can be modified if they satisfy the no slip conditions of the specimen.



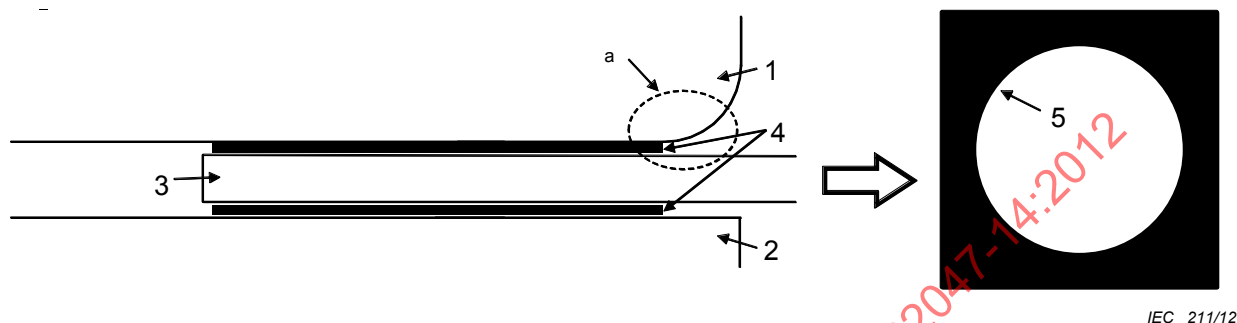
Key

- 1 upper die
- 2 lower die
- 3 specimen
- 4 hemispherical punch
- 5 female bead
- 6 male bead

Figure C.1 – Gripping of the specimen using a ring shaped die

C.2 Bonding method

As shown in Figure C.2, a gripping method using adhesive bonding can be adopted in the test. Either upper or lower adhesive can be used if they satisfy the no slip condition. At this point, it should be ensured that the adhesive does not invade the round part of the upper die edge. Additionally, it is recommended that the upper and lower thicknesses of the adhesive layer respectively should not exceed 10 % of the specimen thickness.



Key

- 1 upper die
- 2 lower die
- 3 specimen
- 4 adhesive
- 5 specimen with adhesive

NOTE Figure C.2 illustrates the bonding method.

^a It shall be ensured that the round part of the edge is not invaded.

Figure C.2 – Gripping of the specimen using adhesive bonding

Annex D
(informative)

Strain measuring method

Major and minor strains of the deformed specimen can be measured representatively using the digital camera module with a high magnifying power lens. As shown in Figure D.1, the digital camera module shall be located so that the line of sight is perpendicular to the surface of the deformed specimen. Alternatively, the digital camera is fixed and the deformed specimen can be moved. The image captured from the digital camera shall be converted to real scale data by the pixel calculating algorithm described in Figure D.2. Manual calculation of the strains can be adopted, but using a software which can calculate the strains would be convenient. The detailed step-by-step procedure for the strain measurement is as follows.

- Step 1. Install the high magnified digital camera over the deformed specimen so that the screen displayed from the camera including the grid pattern of the specimen can be observed clearly.
- Step 2. Manipulate the software so that one or more grid patterns on the region of interest of the deformed specimen appear(s) on the monitor.
- Step 3. Concerning the corresponding ellipse, calculate the major and minor deformations by counting the pixels.

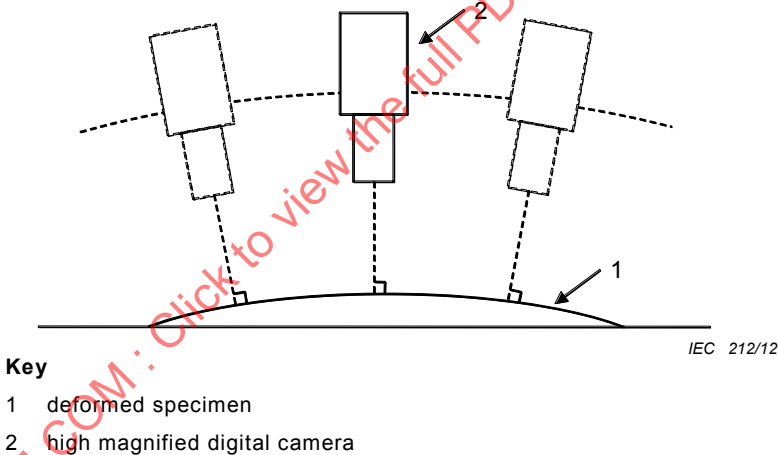


Figure D.1 – Set up for strain measurement using digital camera

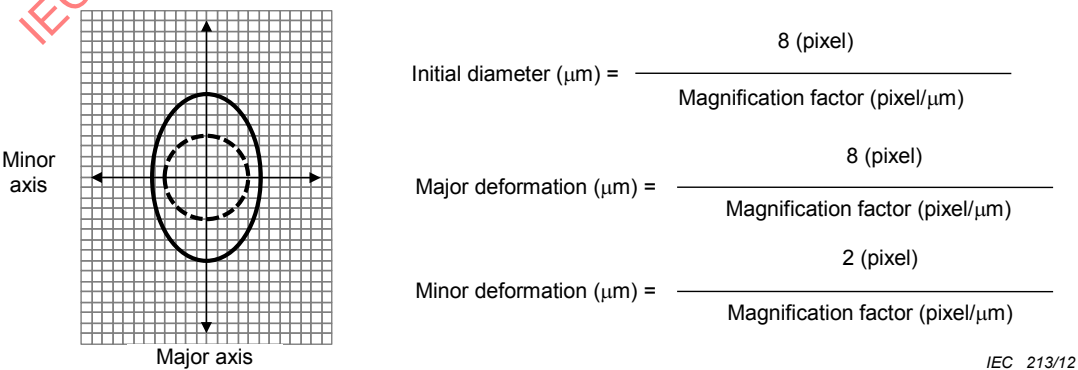


Figure D.2 – Example of pixel converting image of deformed specimen

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	19
1 Domaine d'application	21
2 Références normatives	21
3 Termes, définitions et symboles	21
3.1 Termes et définitions	21
3.2 Symboles	22
4 Méthode d'essai	22
4.1 Généralités	22
4.2 Matériel	22
4.3 Éprouvette	24
5 Procédure d'essai et analyse	24
5.1 Procédure d'essai	24
5.2 Analyse des données	25
6 Rapport d'essai	26
Annexe A (informative) Principes du diagramme des limites de formage	27
Annexe B (informative) Méthode de marquage de grille	30
Annexe C (informative) Méthode de retenue	32
Annexe D (informative) Méthode de mesure des déformations	34
Figure 1 – Matériel et outils prévus pour les essais des limites de formage	23
Figure 2 – Éprouvettes rectangulaires dotées de six sortes de rapports d'aspect	24
Figure 3 – Déformation liée à la mesure des limites de formage	25
Figure 4 – Élaboration du diagramme des limites de formage par le traçage des déformations principale et secondaire	26
Figure A.1 – Diagramme des limites de formage	27
Figure A.2 – Poinçon hémisphérique en vue de la mesure des limites de formage	28
Figure A.3 – Grille en vue de la mesure des limites de formage	28
Figure A.4 – Chemin de chargement des éprouvettes comportant divers rapports d'aspect	29
Figure B.1 – Procédure à suivre pour une méthode photographique de marquage de grille	30
Figure B.2 – Procédure à suivre pour une méthode de marquage de grille au jet d'encre	31
Figure C.1 – Retenue de l'éprouvette au moyen d'une matrice en forme d'anneau	32
Figure C.2 – Retenue de l'éprouvette au moyen d'un assemblage par collage	33
Figure D.1 – Montage réalisé pour la mesure des déformations au moyen d'un appareil de prise de vue numérique	34
Figure D.2 – Exemple de conversion en pixels de l'image d'éprouvette déformée	34
Tableau 1 – Liste des symboles littéraux	22

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS –
DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –****Partie 14: Méthode de mesure des limites de formage
des matériaux à couche métallique**

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 62047-14 a été établie par le sous-comité 47F: Systèmes microélectromécaniques, du comité d'études 47 de la CEI: Dispositifs à semiconducteurs.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
47F/108/FDIS	47F/118/RVD

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

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

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62047-14:2012

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

Partie 14: Méthode de mesure des limites de formage des matériaux à couche métallique

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62047 fournit les définitions et décrit les procédures de mesure de la limite de formage des matériaux à couche métallique d'une épaisseur comprise entre 0,5 μm et 300 μm . Les matériaux à couche métallique décrits ci-après sont généralement utilisés dans les composants électriques, les MEMS et les microdispositifs.

Lorsque des matériaux à couche métallique utilisés dans les composants MEMS (voir le 2.1.2 de la CEI 62047-1:2005) sont fabriqués par un procédé de formage tel que l'empreinte, il est nécessaire de prévoir la défaillance des matériaux afin d'accroître la fiabilité des composants. Par le biais de cette prévision, l'efficacité de fabrication des composants MEMS par le procédé de formage peut également être améliorée, car la période d'élaboration d'un produit donné peut être réduite et le coût de fabrication peut ainsi en être diminué. La présente norme présente l'une des méthodes de prévision concernant la défaillance de matériaux lors du procédé d'empreinte.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 62047-1:2005, *Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques – Partie 1: Termes et définitions*

3 Termes, définitions et symboles

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de la CEI 62047-1, ainsi que les suivants, s'appliquent.

3.1.1

grille circulaire

grille utilisée pour mesurer la déformation localisée des éprouvettes à l'intérieur du cercle

3.1.2

motifs en grille

motif marqué à la surface du matériau d'essai permettant une mesure immédiate et directe de l'aptitude au formage des matériaux à couche métallique.

Note 1 à l'article La grille est constituée d'un motif à petits cercles ou rectangles.

3.1.3

axe principal

plus longue ligne de la déformation elliptique, passant à travers les deux foyers de l'ellipse

3.1.4

axe secondaire

plus longue ligne de la déformation elliptique, perpendiculaire à l'axe principal

3.1.5

grille carrée

grille utilisée pour mesurer la déformation globale du matériau d'essai

3.2 Symboles

Pour les besoins du présent document, les symboles littéraux donnés au Tableau 1 sont utilisés.

Tableau 1 – Liste des symboles littéraux

Nom et désignation	Symbole littéral
Taille de la grille	
– diamètre initial de la grille avant déformation	d_0
– diamètre de la grille le long de l'axe principal après déformation	d_1
– diamètre de la grille le long de l'axe secondaire après déformation	d_2
Déformation	
– déformation principale	ε_1
– déformation secondaire	ε_2
Taille du matériel, des outils et de l'éprouvette	
– diamètre du poinçon hémisphérique	$D_{\text{poinçon}}$
– diamètre intérieur de l'alésage de la matrice	D_{matrice}
– diamètre de l'anneau de la nervure	D_{nervure}
– rayon de congé du bord de la matrice supérieure	r_{de}
– épaisseur de l'éprouvette d'essai	t
– hauteur de l'éprouvette d'essai	h
– largeur de l'éprouvette d'essai	w

4 Méthode d'essai

4.1 Généralités

Le diagramme des limites de formage (DLF) est déterminé en pressant le matériau à micro couche, à l'aide d'un poinçon hémisphérique. Ce procédé de pression est réalisé jusqu'à ce que le matériau à couche se fracture. Les taux de déformation principale et secondaire de l'éprouvette déformée peuvent être mesurés de nombreuses façons, par exemple, au moyen d'un module de prise de vue numérique ou d'un dispositif optique. Toutefois, l'utilisation d'un module de prise de vue numérique doté d'une résolution suffisante et d'un objectif de puissance de grossissement élevée est recommandée.

NOTE Voir l'Annexe A, dans laquelle figurent les principes du diagramme des limites de formage.

4.2 Matériel

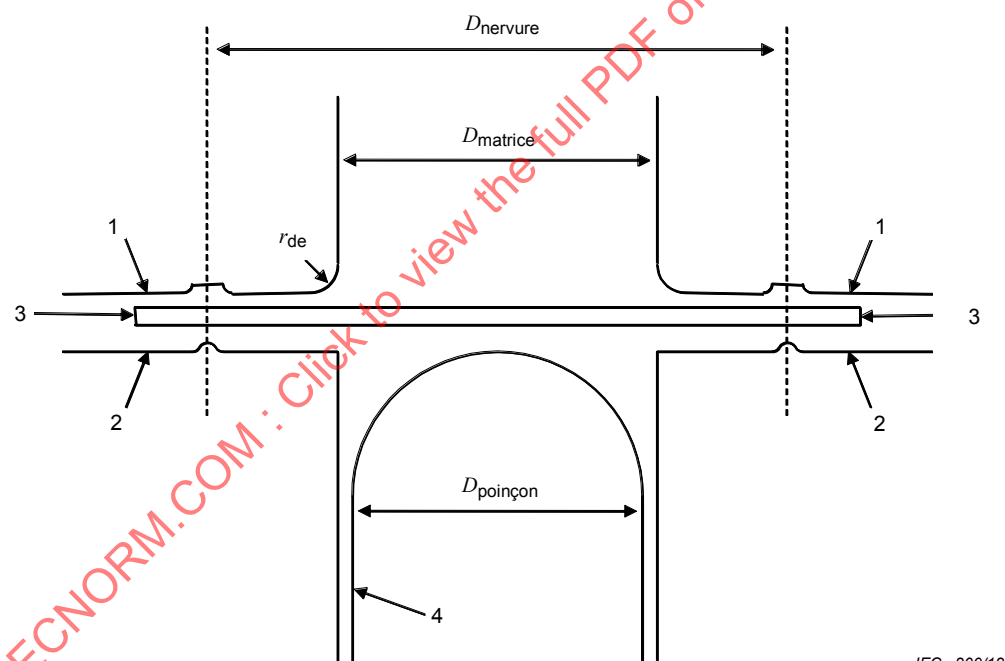
Le matériel de micro presse est utilisé comme matériel de charge pour les essais DLF comme le décrit la Figure 1.

Un poinçon hémisphérique est fixé sur la micro presse prévue pour l'étirage du matériau à couche, en vue de mesurer les limites de formage de l'éprouvette. Un enduit de chrome dur conventionnel à la surface du poinçon, comportant du chrome hexavalent est recommandé pour garantir une rugosité de surface inférieure à $0,8 \mu\text{m}$ (en valeur efficace). En complément, des lubrifiants tels que le graphite peuvent être appliqués afin de réduire la force de frottement entre les surfaces du poinçon et l'éprouvette. Le mouvement du poinçon est commandé par une vitesse de la traverse constante des dispositifs de mesure de la micro presse. La vitesse du poinçon doit être baissée à l'état quasi-statique. Une vitesse de poinçon inférieure à $20 \mu\text{m/s}$ est recommandée pour ne pas donner lieu à un effet d'inertie dynamique au cours de l'essai. Bien que les dimensions du poinçon hémisphérique et des échantillons d'essai puissent avoir diverses valeurs en fonction du produit soumis au formage et de la région de mesure examinée, il est recommandé que les dimensions soient déterminées par le rapport suivant.

$$D_{\text{matrice}} = D_{\text{poinçon}} + 2,5 t \quad (1)$$

$$D_{\text{nervure}} = 2 \times D_{\text{poinçon}} \quad (2)$$

Il est également recommandé que le diamètre du poinçon hémisphérique et le rayon d'arête de la matrice soient respectivement égaux à 5 mm et à 0,5 mm.



IEC 200/12

Légende

- 1 matrice supérieure
- 2 matrice inférieure
- 3 échantillon
- 4 poinçon hémisphérique

Figure 1 – Matériel et outils prévus pour les essais des limites de formage

4.3 Éprouvette

Des éprouvettes rectangulaires comportant des rapports d'aspect différents doivent être utilisées dans l'essai. Au minimum, six sortes d'éprouvettes comportant les rapports d'aspect de 1,0 1,5 1,75 2,0 3,5 et 7,0; sont recommandées comme montré à la Figure 2 afin de couvrir les divers chemins de chargement sur le domaine du diagramme des limites de formage.

$$h = 2,5 \times D_{\text{poinçon}} \quad (3)$$

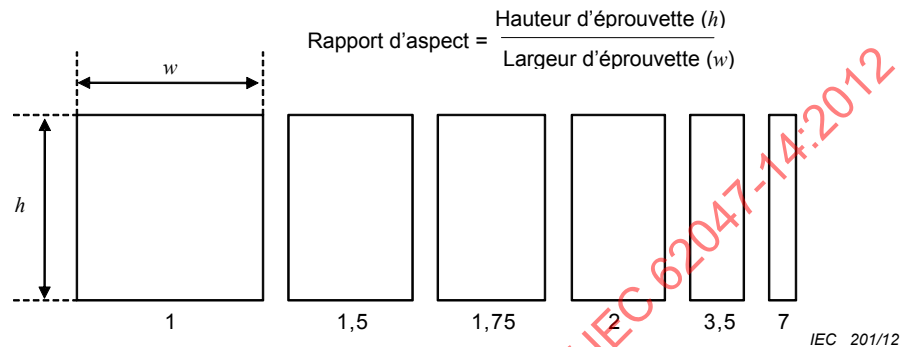


Figure 2 – Éprouvettes rectangulaires dotées de six sortes de rapports d'aspect

Les grilles doivent être marquées à la surface de l'échantillon d'essai pour mesurer les déformations localisée et globale du matériau à couche. La grille est constituée d'un motif à petits cercles ou rectangles. Il est recommandé de disposer les motifs de grille selon un intervalle compris entre 50 μm et 200 μm et que l'épaisseur de la grille soit inférieure à 10 % de l'épaisseur de l'éprouvette.

NOTE Voir la Figure A.3 pour un motif de grille détaillé.

5 Procédure d'essai et analyse

5.1 Procédure d'essai

Dans l'essai DLF, les points suivants de a) à e) représentent les étapes permettant d'obtenir une fracture localisée d'une éprouvette qui est en premier lieu observée. Puis, les valeurs d'une déformation principale et d'une déformation secondaire utilisées pour quantifier la déformation de l'éprouvette seront mesurées.

a) Préparation de l'éprouvette

Des éprouvettes comportant différents rapports d'aspect sont préparées pour réaliser l'essai.

NOTE 1 La région positive et la région négative de la courbe DLF peuvent être obtenues en faisant varier le rapport d'aspect de l'éprouvette et en modifiant le lubrifiant.

b) Le marquage de la grille de l'éprouvette

Il convient que les conditions de marquage appropriées qui ont le moins d'effet sur la microstructure et les propriétés des matériaux soient appliquées au marquage de grille, étant donné que l'épaisseur de la couche est relativement inférieure.

NOTE 2 Voir l'Annexe B comportant le détail de plusieurs méthodes de marquage de grille.

c) Retenue de l'éprouvette

Afin de mesurer la déformation uniquement dans la région d'essai, il est important que l'échantillon soit fixé de façon à éviter tout glissement. De plus, il ne convient pas qu'une fracture anticipée se produise tandis qu'il est fixé.

NOTE 3 Voir l'Annexe C comportant plusieurs méthodes de retenue recommandées.

d) Déplacement du poinçon jusqu'à la défaillance de l'éprouvette

Le poinçon hémisphérique se déplace tandis que la vitesse constante de la traverse du matériel est contrôlée, jusqu'à ce que la fracture localisée de l'éprouvette soit observée en premier.

e) Mesure des taux de déformation principale et secondaire de l'éprouvette déformée

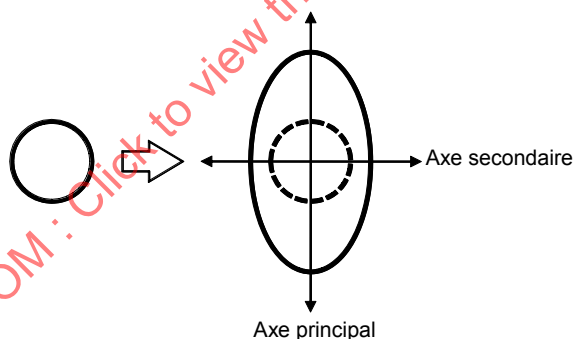
Les taux de déformations principale et secondaire de l'éprouvette déformée sont mesurés de manière représentative à l'aide du module de prise de vue numérique doté d'un objectif de puissance de grossissement élevée. Le facteur de grossissement recommandé de l'objectif de l'appareil de prise de vue est inférieur à 5 µm/pixel afin de mesurer la déformation de manière précise.

NOTE 4 Voir l'Annexe D contenant la méthode de mesure des déformations.

f) Élaborer le DLF en traçant les déformations principale et secondaire mesurées (se reporter à la Figure 4).

5.2 Analyse des données

Afin de quantifier la déformation de l'éprouvette, deux types de déformations – déformation principale et secondaire – sont mesurées entre l'état initial du cercle et la déformation en forme elliptique. Une fois que la grille circulaire s'est déformée, la dimension la plus longue de l'ellipse est l'axe principal et la dimension perpendiculaire à l'axe principal est l'axe secondaire, comme l'indique la Figure 3.



IEC 202/12

Figure 3 – Déformation liée à la mesure des limites de formage

La déformation principale, ε_1 , et la déformation secondaire, ε_2 , sont calculées au moyen des équations suivantes :

$$\varepsilon_1 = \ln \frac{d_1}{d_0} \quad (4)$$

$$\varepsilon_2 = \ln \frac{d_2}{d_0} \quad (5)$$

Ici, d_0 est le diamètre initial de la grille circulaire tandis que d_1 et d_2 représentent les diamètres principal et secondaire de la grille après déformation.

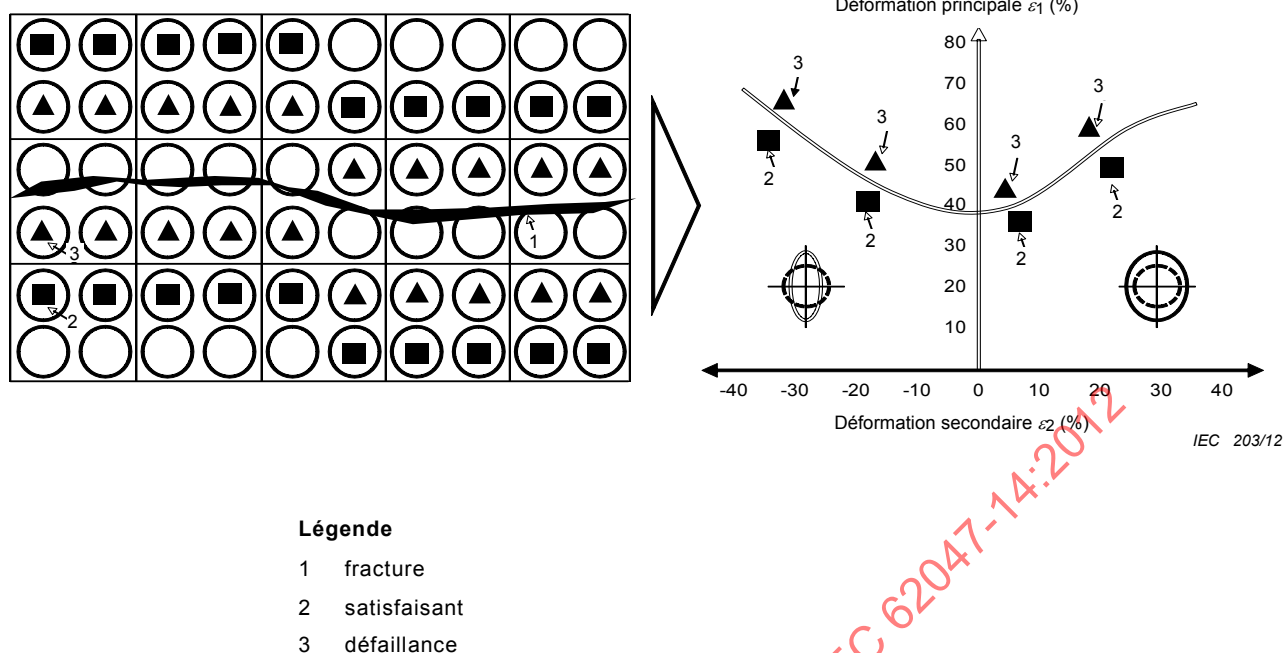


Figure 4 – Élaboration du diagramme des limites de formage par le traçage des déformations principale et secondaire

Les déformations principale et secondaire calculées à partir des grilles au voisinage de la zone de défaillance de l'éprouvette sont considérées comme les déformations liées à une défaillance critique. En réalisant une série d'expériences avec diverses éprouvettes, il est possible en effectuant le traçage sur le domaine de déformation, de trouver des combinaisons de déformation principale et de déformation secondaire pour lesquelles ni striction ni fracture ne se produisent. Le diagramme comportant le tracé des combinaisons des contraintes principale et secondaire constitue le diagramme des limites de formage, tel que représenté à la Figure 4.

6 Rapport d'essai

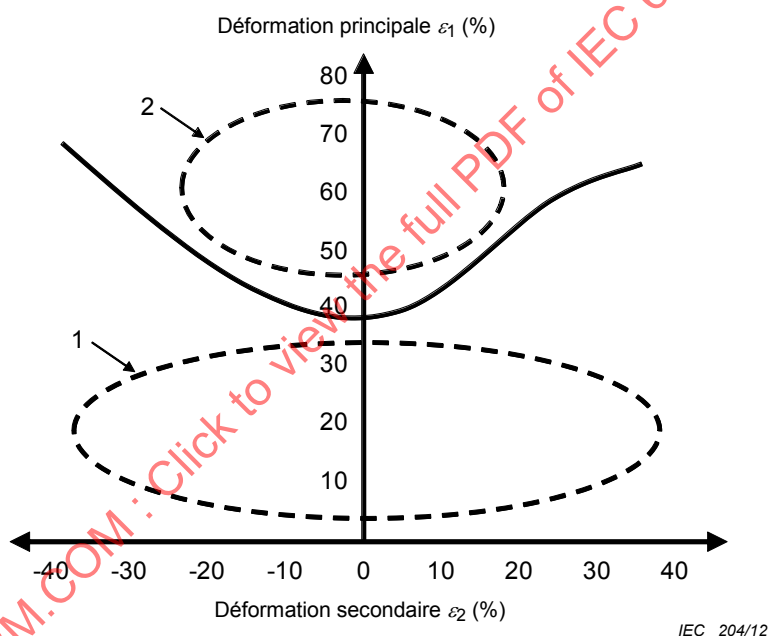
Il convient que le rapport d'essai contienne au minimum les informations suivantes:

- a) référence à la présente norme internationale ;
- b) matériau d'essai ;
- c) méthode de marquage de grille ;
- d) nombre d'éprouvettes utilisées dans l'essai ;
- e) dimensions de l'éprouvette ou des éprouvettes ;
- f) description de l'appareil d'essai (diamètre du poinçon, méthode de retenue, rugosité du poinçon, etc) ;
- g) conditions de lubrification ;
- h) vitesse de la traverse de l'appareil d'essai ;
- i) module prévu pour la mesure des déformations : spécification de l'appareil de prise de vue numérique, facteur d'échelle de chaque pixel ;
- j) diamètres mesurés et déformations calculées de chaque éprouvette ;
- k) diagramme des limites de formage.

Annexe A (informative)

Principes du diagramme des limites de formage

Les déformations principale et secondaire maximales à la fracture sont tracées dans les domaines de déformation. La surface de la partie du matériau à couche métallique se déforme différemment en fonction du type de charge. Il existe une relation entre la déformation du matériau à couche et le type de contrainte. En réalisant une série d'expériences, il est possible de trouver des combinaisons de déformation maximale (correspondant à l'axe principal de l'ellipse) et de déformation minimale (perpendiculaire à la déformation principale et correspondant à l'axe secondaire de l'ellipse) pour lesquelles ne se produisent ni striction ni fracture. Le DLF est valable pour une aptitude au formage définie et détermine deux zones désignées par les termes "satisfaisant" et "défaillance". Les déformations tracées sont les points critiques, où des fissures sont susceptibles de se former. Entre les deux zones de "satisfaisant" et "défaillance", il y a une courbe de déformation critique représentée à la Figure A.1



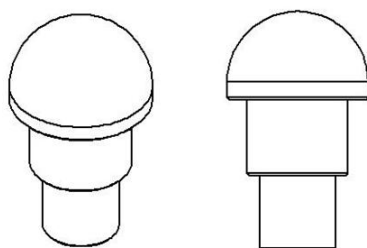
IEC 204/12

Légende

- 1 zone satisfaisante
- 2 zone de défaillance

Figure A.1 – Diagramme des limites de formage

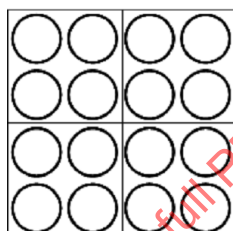
Les diagrammes des limites de formage peuvent être obtenus en réalisant des expériences pour différentes zones. La méthode la plus largement utilisée pour obtenir le diagramme des limites de formage est celle des essais d'emboutissage des éprouvettes au moyen d'un poinçon hémisphérique représenté à la Figure A.2.



IEC 205/12

Figure A.2 – Poinçon hémisphérique en vue de la mesure des limites de formage

Afin d'évaluer le comportement de déformation et les limites de formage de la couche métallique mince, des motifs de grille sont marqués sur l'éprouvette. Ceci permet une mesure immédiate et directe de l'aptitude au formage de la couche métallique mince en tous emplacements. La grille est constituée d'un motif de petits cercles et rectangles, tels que décrits à la Figure A.3.



IEC 206/12

Figure A.3 – Grille en vue de la mesure des limites de formage

Les motifs de grilles circulaires à la surface d'une partie du matériau à couche se déforment différemment en fonction du type de charge. Les différentes conditions de contrainte sont simulées en modifiant la largeur de l'éprouvette. Les éprouvettes de différentes largeurs sont embouties jusqu'à ce que ce produisent les fissures. Par le biais des détails de ces essais, le DLF peut être obtenu pour des chemins de déformation allant de la tension bi-axiale (formage par étirage) à la compression et la tension égales (emboutissage profond), comme l'indique la Figure A.4. Le diagramme doit être déterminé pour chaque matériau à couche particulier.