

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE



---

**Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices –  
Part 17: Bulge test method for measuring mechanical properties of thin films**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques –  
Partie 17: Méthode d'essai de renflement pour la mesure des propriétés  
mécaniques des couches minces**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

---

ICS 31.080.99

ISBN 978-2-8322-2295-9

**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
1 Scope .....	6
2 Normative references .....	6
3 Terms, definitions and symbols .....	6
3.1 Terms and definitions .....	6
3.2 Symbols .....	7
4 Principle of bulge test .....	7
5 Test apparatus and environment .....	8
5.1 General .....	8
5.2 Apparatus .....	9
5.2.1 Pressuring device .....	9
5.2.2 Bulge (pressure) chamber .....	9
5.2.3 Height measurement units .....	9
5.3 Test environment .....	10
6 Specimen .....	10
6.1 General .....	10
6.2 Shape and dimension of specimen .....	10
6.3 Measurement of test piece dimension .....	10
7 Test procedure and analysis .....	11
7.1 Test procedure .....	11
7.2 Data analysis .....	12
8 Test report .....	13
Annex A (informative) Determination of mechanical properties .....	14
A.1 General .....	14
A.2 Determination of mechanical properties using stress-strain curve .....	14
A.3 Determination of mechanical properties using analysis of load-deflection .....	16
Annex B (informative) Deformation measurement techniques .....	19
B.1 General .....	19
B.2 Laser interferometry technique .....	19
B.3 Capacitance type measurement .....	19
Annex C (informative) Example of test piece fabrication: MEMS process .....	25
C.1 Test piece fabrication .....	25
C.2 Measurement of shape of specimen .....	26
Bibliography .....	27
Figure 1 – Typical example of bulge specimen .....	7
Figure 2 – Membrane window bulged by pressure .....	8
Figure 3 – Typical example of bulge test apparatus .....	8
Figure 4 – Bulge membrane window shapes .....	10
Figure 5 – Example of typical pressure-height curve obtained from bulge test .....	12
Figure A.1 – Determination of biaxial modulus in the stress-strain curve obtained from bulge test .....	18
Figure B.1 – Typical example of laser interferometer configuration .....	21

Figure B.2 – Typical fringe patterns obtained from laser Michelson interferometry and ESPI system ..... 22

Figure B.3 – Typical example of the measurement system using a photo detector ..... 23

Figure B.4 – Schematic of capacitance bulge tester ..... 23

Figure B.5 – Typical example of relationship between bulge height and capacitance change..... 24

Figure C.1 – Example of fabrication procedure for bulge test piece ..... 25

  

Table 1 – Symbols and designations of a specimen ..... 7

Table A.1 – Examples of various expressions of parameters,  $C_1$  and  $C_2(\nu)$ , for thin square films ..... 17

Table A.2 – Examples of various expressions of parameters,  $C_1$  and  $C_2(\nu)$ , for thin spherical films..... 17

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SEMICONDUCTOR DEVICES –  
MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –

**Part 17: Bulge test method for measuring  
mechanical properties of thin films**

## 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 62047-17 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/210/FDIS	47F/215/RVD

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

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

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

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

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

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

## **SEMICONDUCTOR DEVICES – MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –**

### **Part 17: Bulge test method for measuring mechanical properties of thin films**

#### **1 Scope**

This part of IEC 62047 specifies the method for performing bulge tests on the free-standing film that is bulged within a window. The specimen is fabricated with micro/nano structural film materials, including metal, ceramic and polymer films, for MEMS, micromachines and others. The thickness of the film is in the range of 0,1  $\mu\text{m}$  to 10  $\mu\text{m}$ , and the width of the rectangular and square membrane window and the diameter of the circular membrane range from 0,5 mm to 4 mm.

The tests are carried out at ambient temperature, by applying a uniformly-distributed pressure to the testing film specimen with bulging window.

Elastic modulus and residual stress for the film materials can be determined with this method.

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

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS .....	30
1 Domaine d'application .....	32
2 Références normatives .....	32
3 Termes, définitions et symboles .....	32
3.1 Termes et définitions .....	32
3.2 Symboles .....	33
4 Principe de l'essai de renflement .....	33
5 Appareillage d'essai et environnement.....	34
5.1 Généralités .....	34
5.2 Appareillage.....	35
5.2.1 Dispositif de pressurisation.....	35
5.2.2 Chambre de renflement (pression).....	35
5.2.3 Dispositif de mesure de la hauteur.....	36
5.3 Environnement d'essai.....	36
6 Spécimen .....	36
6.1 Généralités .....	36
6.2 Forme et dimension du spécimen.....	37
6.3 Mesure de la dimension du spécimen d'essai.....	37
7 Procédure d'essai et analyse.....	37
7.1 Procédure d'essai .....	37
7.2 Analyse de données.....	39
8 Rapport d'essai .....	40
Annexe A (informative) Détermination des propriétés mécaniques .....	41
A.1 Généralités .....	41
A.2 Détermination des propriétés mécaniques en utilisant le diagramme contrainte-déformation .....	41
A.3 Détermination des propriétés mécaniques en utilisant l'analyse de la relation charge-flexion .....	43
Annexe B (informative) Techniques de mesure de la déformation .....	46
B.1 Généralités .....	46
B.2 Technique d'interférométrie laser .....	46
B.3 Mesure du type capacitif .....	46
Annexe C (informative) Exemple de fabrication du spécimen d'essai: Processus MEMS .....	52
C.1 Fabrication de spécimen d'essai .....	52
C.2 Mesure de la forme du spécimen .....	53
Bibliographie.....	54
Figure 1 – Exemple typique de spécimen de renflement.....	33
Figure 2 – Fenêtre à membrane bombée par la pression.....	34
Figure 3 – Exemple typique de l'appareillage d'essai de renflement.....	35
Figure 4 – Formes de la fenêtre de membrane de renflement .....	37
Figure 5 – Exemple de diagramme de hauteur de pression typique obtenu de l'essai de renflement .....	39

Figure A.1 – Détermination du module biaxial dans le diagramme contrainte-déformation obtenu de l'essai de renflement .....	45
Figure B.1 – Exemple typique de configuration de l'interféromètre laser.....	48
Figure B.2 – Diagrammes de franges typiques obtenus de l'interférométrie laser de Michelson et du système ESPI.....	49
Figure B.3 – Exemple typique du système de mesure utilisant un photodétecteur .....	50
Figure B.4 – Schéma de l'appareil d'essai de capacité de renflement.....	50
Figure B.5 – Exemple typique de la relation entre la hauteur de renflement et la variation de capacité.....	51
Figure C.1 – Exemple de procédure de fabrication de spécimen d'essai de renflement .....	52
Tableau 1 – Symboles et désignations d'un spécimen.....	33
Tableau A.1 – Exemples de différentes expressions des paramètres, $C_1$ et $C_2(\nu)$ , pour les couches minces carrées .....	44
Tableau A.2 – Exemples de différentes expressions des paramètres, $C_1$ et $C_2(\nu)$ , pour les couches minces sphériques.....	44



## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

---

### DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

#### Partie 17: Méthode d'essai de renflement pour la mesure des propriétés mécaniques des couches minces

##### AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. 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 intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les publications IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et elles 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 à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, 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 IEC peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. 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 62047-17 a été établie par le sous-comité 47F: Systèmes microélectromécaniques, du comité d'études 47 de la CEI: Dispositifs à semiconducteurs.

Le texte anglais de cette norme est issu des documents 47F/210/FDIS et 47F/215/RVD. Le rapport de vote 47F/215/RVD donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, 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 l'IEC.

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

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

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

## DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

### Partie 17: Méthode d'essai de renflement pour la mesure des propriétés mécaniques des couches minces

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62047 spécifie la méthode permettant d'effectuer des essais de renflement sur une couche autonome bombée dans une fenêtre. Le spécimen est fabriqué avec des matériaux de couche de structure micrométrique ou nanométrique, y compris les couches en métal, céramique et polymère, pour des MEMS, des micromachines et autres. L'épaisseur du film est comprise entre 0,1  $\mu\text{m}$  et 10  $\mu\text{m}$  et la largeur de la fenêtre à membrane rectangulaire et carrée ainsi que le diamètre de la membrane circulaire sont compris entre 0,5 mm et 4 mm.

Les essais sont effectués à température ambiante par l'application d'une pression uniformément répartie sur le spécimen de couche d'essai avec fenêtre bombée.

Le module d'élasticité et la contrainte résiduelle des matériaux de la couche peuvent être déterminés avec cette méthode.

#### 2 Références normatives

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

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