IEC 62047-12

Edition 1.0 2011-09

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 12: Bending fatigue testing method of thin film materials using resonant vibration of MEMS structures

Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques – Partie 12: Méthode d'essai de fatigue en flexion des matériaux en couche mince utilisant les vibrations à la résonance des structures à systèmes microélectromécaniques (MEMS)

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

U

ICS 31.080.99

ISBN 978-2-88912-689-7

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

CONTENTS

FOREWORD 4
1 Scope 6
2 Normative references 6
3 Terms and definitions 6
4 Test equipment 7
4.1 General 7
4.2 Actuator 8
4.3 Sensor 8
4.4 Controller 8
4.5 Recorder 9
4.6 Parallel testing 9
5 Specimen 9
5.1 General 9
5.2 Resonant properties 9
5.3 Test part 9
5.4 Specimen fabrication 9
6 Test conditions 9
6.1 Test amplitude 9
6.2 Load ratio 10
6.3 Vibration frequency 10
6.4 Waveform 10
6.5 Test time 10
6.6 Test environment 10
7 Initial measurement 10
7.1 Reference strength measurement 10
7.2 Frequency response test 11
8 Test 11
8.1 General 11
8.2 Initial load application 11
8.3 Monitoring 12
8.4 Counting the number of cycles 12
8.5 End of the test 12
8.6 Recorded data 12
9 Test report 12
Annex A (informative) Example of testing using an electrostatic device with an integrated actuation component and displacement detection component 14
Annex B (informative) Example of testing using an external drive and a device with an integrated strain gauge for detecting displacement 17
Annex C (informative) Example of electromagnetic drive out-of-plane vibration test (external drive vibration test) 20
Annex D (informative) Theoretical expression on fatigue life of brittle materials based on Paris' law and Weibull distribution 23
Annex E (informative) Analysis examples 27
Bibliography 29

Figure 1 – Block diagram of the test method 7
Figure A.1 – Microscope image of the specimen 14
Figure A.2 – Block diagram of test equipment 15
Figure B.1 – The specimens' structure 17
Figure B.2 – Block diagram of test equipment 18
Figure C.1 – Specimen for out-of-plane vibration testing 20
Figure C.2 – Block diagram of test equipment 21
Figure E.1 – Example of fatigue test results for silicon materials 27
Figure E.2 – Static strength and fatigue life of polysilicon plotted in 3D 28

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

_____

SEMICONDUCTOR DEVICES – MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –

Part 12: Bending fatigue testing method of thin film materials using resonant vibration of MEMS structures

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 62047-12 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/80/FDIS	47F/90/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, under the general title *Semiconductor devices – Microelectromechanical 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.

SEMICONDUCTOR DEVICES – MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –

Part 12: Bending fatigue testing method of thin film materials using resonant vibration of MEMS structures

1 Scope

This part of IEC 62047 specifies a method for bending fatigue testing using resonant vibration of microscale mechanical structures of MEMS (micro-electromechanical systems) and micromachines. This standard applies to vibrating structures ranging in size from 10 μm to 1 000 μm in the plane direction and from 1 μm to 100 μm in thickness, and test materials measuring under 1 mm in length, under 1 mm in width, and between 0,1 μm and 10 μm in thickness.

The main structural materials for MEMS, micromachine, etc. have special features, such as typical dimensions of a few microns, material fabrication by deposition, and test piece fabrication by means of non-mechanical machining, including photolithography. The MEMS structures often have higher fundamental resonant frequency and higher strength than macro structures. To evaluate and assure the lifetime of MEMS structures, a fatigue testing method with ultra high cycles (up to 10^{12}) loadings needs to be established. The object of the test method is to evaluate the mechanical fatigue properties of microscale materials in a short time by applying high load and high cyclic frequency bending stress using resonant vibration.

2 Normative references

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

IEC 62047-3:2006, *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 3: Thin film standard test piece for tensile testing*

ISO 12107, *Metallic materials – Fatigue testing – Statistical planning and analysis of data*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 32
1 Domaine d'application 34
2 Références normatives 34
3 Termes et définitions 34
4 Equipements d'essai 36
4.1 Généralités 36
4.2 Actionneur 36
4.3 Capteur 36
4.4 Contrôleur 36
4.5 Enregistreur 37
4.6 Essais en parallèle 37
5 Spécimen 37
5.1 Généralités 37
5.2 Propriétés de la résonance 37
5.3 Eprouvette d'essais 38
5.4 Fabrication des spécimens 38
6 Conditions d'essai 38
6.1 Amplitude d'essai 38
6.2 Rapport de charge 38
6.3 Fréquence des vibrations 38
6.4 Forme d'onde 38
6.5 Temps d'essai 39
6.6 Environnement d'essai 39
7 Mesure initiale 39
7.1 Mesure de la résistance de référence 39
7.2 Essai de réponse en fréquence 40
8 Essai 40
8.1 Généralités 40
8.2 Application de la charge initiale 40
8.3 Surveillance 40
8.4 Comptage du nombre de cycles 40
8.5 Fin de l'essai 40
8.6 Données enregistrées 41
9 Rapport d'essai 41
Annexe A (informative) Exemple d'essai utilisant un dispositif électrostatique avec un composant d'actionnement intégré et un composant de détection de déplacement 43
Annexe B (informative) Exemple d'essai utilisant une excitation externe et un dispositif avec jauge de déformation intégrée pour détecter un déplacement 47
Annexe C (informative) Exemple d'essai aux vibrations par excitation électromagnétique hors plan (essai aux vibrations d'excitation externe) 50
Annexe D (informative) Expression théorique de la durée de vie en fatigue des matériaux fragiles basée sur la loi de Paris et la distribution de Weibull 53
Annexe E (informative) Exemples d'analyse 57
Bibliographie 59

Figure 1 – Schéma fonctionnel de la méthode d'essai 35
Figure A.1 – Image du spécimen au microscope 43
Figure A.2 – Schéma fonctionnel de l'équipement d'essai 44
Figure B.1 – Structure du spécimen 47
Figure B.2 – Schéma fonctionnel de l'équipement d'essai 48
Figure C.1 – Spécimen pour essai aux vibrations hors plan 50
Figure C.2 – Schéma fonctionnel de l'équipement d'essai 51
Figure E.1 – Exemple de résultats d'essai de fatigue pour les matériaux en silicium 57
Figure E.2 – Tracé en 3D de la durée de vie en fatigue et de la résistance statique du polysilicium 58

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

Partie 12: Méthode d'essai de fatigue en flexion des matériaux en couche mince utilisant les vibrations à la résonance des structures à systèmes microélectromécaniques (MEMS)

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 62047-12 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/80/FDIS	47F/90/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, présentées 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.

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

Partie 12: Méthode d'essai de fatigue en flexion des matériaux en couche mince utilisant les vibrations à la résonance des structures à systèmes microélectromécaniques (MEMS)

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62047 spécifie une méthode d'essai de fatigue en flexion utilisant les vibrations à la résonance des structures mécaniques à très petite échelle des systèmes microélectromécaniques (MEMS) [1], et des micromachines. La présente norme s'applique aux structures vibrantes dont la taille est dans la gamme allant de 10 μm à 1 000 μm dans le plan et de 1 μm à 100 μm d'épaisseur, ainsi qu'à des matériaux d'essai mesurant moins de 1 mm de longueur, moins de 1 mm de largeur et entre 0,1 μm et 10 μm d'épaisseur.

Les matériaux de construction principaux pour les systèmes microélectromécaniques, les micromachines, etc., comportent des caractéristiques spéciales telles que des dimensions typiques de l'ordre de quelques microns, la fabrication des matériaux par dépôt et la fabrication d'éprouvettes d'essai par usinage non mécanique, par exemple la photolithographie. Les structures à systèmes micro-électromécaniques présentent souvent une fréquence de résonance fondamentale et une résistance supérieures à celles des macro-structures. Pour évaluer et garantir la durée de vie des structures à systèmes microélectromécaniques, on doit établir une méthode d'essai de fatigue avec des cycles de charge très élevés (jusqu'à 10^{12}). Le but de la méthode d'essai est d'évaluer les propriétés de fatigue mécanique des matériaux à très petite échelle sur une courte durée en appliquant une contrainte de flexion à charge élevée et à haute fréquence cyclique en utilisant des vibrations à la résonance.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 62047-3:2006, *Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques – Partie 3: Eprouvette d'essai normalisée en couche mince pour l'essai de traction*

ISO 12107, *Matériaux métalliques – Essais de fatigue – Programmation et analyse statistique de données*

---

1 MEMS = *micro-electromechanical systems* en anglais.