

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices –
Part 37: Environmental test methods of MEMS piezoelectric thin films for sensor
application**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques –
Partie 37: Méthodes d'essai d'environnement des couches minces
piézoélectriques MEMS pour les applications de type capteur**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.080.99; 31.140

ISBN 978-2-8322-8231-1

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
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	6
4 Testing procedure.....	6
4.1 General.....	6
4.2 Initial measurements.....	7
4.3 Tests	7
4.3.1 DUT setup and environmental conditions.....	7
4.3.2 Test duration	7
4.3.3 Number of tests and number of DUTs	7
4.4 Post-treatment	8
4.5 Final measurements.....	8
5 Environmental and dielectric withstand testing.....	8
5.1 Environmental testing	8
5.1.1 General	8
5.1.2 High-temperature bias test.....	9
5.1.3 High-temperature and high-humidity bias test	9
5.1.4 High-temperature storage	9
5.1.5 Low-temperature storage.....	10
5.1.6 High-temperature and high-humidity storage.....	10
5.1.7 Soldering heat test	10
5.1.8 Temperature cycling test	11
5.2 Dielectric withstand testing	12
Annex A (informative) Report of test results	14
A.1 General.....	14
A.2 High-temperature bias test.....	14
Bibliography.....	16
Figure 1 – Flow of the testing procedure	7
Figure 2 – Temperature profile for reflow soldering with lead-free solder	11
Figure 3 – Temperature profile of the temperature cycling test.....	12
Figure 4 – Example of a dielectric withstand test circuit for DC voltage	13
Figure A.1 – Measurement setup of direct piezoelectric coefficient	15
Table 1 – Selectable test conditions.....	9
Table 2 – Selectable test conditions.....	10
Table 3 – Soldering heat test condition	10
Table 4 – Conditions of temperature profile for reflow soldering with lead-free solder	11
Table A.1 – Example of test conditions for high temperature bias test.....	15
Table A.2 – High temperature bias test: 23 °C and 100 °C	15

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SEMICONDUCTOR DEVICES –
MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –****Part 37: Environmental test methods of MEMS
piezoelectric thin films for sensor application**

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 62047-37 has been prepared by subcommittee 47F: Micro-electromechanical systems, of IEC technical committee 47: Semiconductor devices.

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

FDIS	Report on voting
47F/355/FDIS	47F/357/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.

INTRODUCTION

Piezoelectric MEMS technology belongs to an interdisciplinary field founded on a wide range of element technologies including piezoelectric thin film materials, thin film deposition and microfabrication processes, device design, and system formulation. Along with the increased sophistication of MEMS functionality, research on MEMS applications for piezoelectric thin films, such as $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ (PZT) or AlN, has become increasingly popular in recent years. MEMS piezoelectric thin films have the capability of configuring simple compact devices that have a lower power consumption, higher sensitivity, and quicker response than conventional bulk-type, electrostatic, or electromagnetic thin films. However, their device performance is greatly affected by the properties of the thin film materials.

Several test methods for thin film materials have been established to date. Among these, the overriding property that determines device performance is the material's piezoelectric property. Standardization of IEC 62047-30 (*Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 30: Measurement methods of electro-mechanical conversion characteristics of MEMS piezoelectric thin film*) has been promoted for the purpose of precisely measuring and evaluating MEMS piezoelectric thin films using simply structured test pieces and inexpensive equipment.

In order to realize a viable MEMS piezoelectric thin film, it is essential to gain a clear understanding of how its piezoelectric properties change as a result of the environmental stress of temperature and humidity, and degradation in the piezoelectric material over time at its surfaces and interfaces.

The following summarizes the features of this standard.

- The degree of degradation in a device under test (DUT) is evaluated by measuring the piezoelectric properties of the DUT before and after applying the environmental stress of temperature and humidity using the measurement methods in IEC 62047-30.
- Test conditions for moist heat and dielectric withstand tests are derived from existing standards for semiconductor devices and fixed capacitors of ceramic dielectric.

SEMICONDUCTOR DEVICES – MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –

Part 37: Environmental test methods of MEMS piezoelectric thin films for sensor application

1 Scope

This part of IEC 62047 specifies test methods for evaluating the durability of MEMS piezoelectric thin film materials under the environmental stress of temperature and humidity and under mechanical stress and strain, and test conditions for appropriate quality assessment. Specifically, this document specifies test methods and test conditions for measuring the durability of a DUT under temperature and humidity conditions and applied voltages. It further applies to evaluations of direct piezoelectric properties in piezoelectric thin films formed primarily on silicon substrates, i.e. piezoelectric thin films used as acoustic sensors, or as cantilever-type sensors.

This document does not cover reliability assessments, such as methods of predicting the lifetime of a piezoelectric thin film based on a Weibull distribution.

2 Normative references

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

IEC 62047-30, *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 30: Measurement methods of electro-mechanical conversion characteristics of MEMS piezoelectric thin film*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	19
INTRODUCTION.....	21
1 Domaine d'application	22
2 Références normatives	22
3 Termes et définitions	22
4 Procédure d'essai.....	23
4.1 Généralités	23
4.2 Mesures initiales	23
4.3 Essais.....	23
4.3.1 Configuration du DUT et conditions d'environnement.....	23
4.3.2 Durée de l'essai.....	23
4.3.3 Nombre d'essais et nombre de DUT	24
4.4 Post-traitement	24
4.5 Mesures finales.....	24
5 Essais d'environnement et essais de tenue diélectrique	24
5.1 Essais d'environnement	24
5.1.1 Généralités	24
5.1.2 Essai de polarisation à haute température	25
5.1.3 Essai de polarisation à haute température et taux d'humidité élevé	25
5.1.4 Stockage à haute température	26
5.1.5 Stockage à basse température	26
5.1.6 Stockage à haute température et taux d'humidité élevé	26
5.1.7 Essai de chaleur de brasage.....	27
5.1.8 Essai cyclique de températures	29
5.2 Essai de tenue diélectrique	30
Annexe A (informative) Consignation des résultats d'essai	31
A.1 Généralités	31
A.2 Essai de polarisation à haute température	31
Bibliographie.....	34
Figure 1 – Schéma de principe de la procédure d'essai	23
Figure 2 – Profil de température pour un brasage par refusion sans plomb	28
Figure 3 – Profil de température de l'essai cyclique de températures	29
Figure 4 – Exemple de circuit d'essai de tenue diélectrique pour une tension continue	30
Figure A.1 – Montage de mesure du coefficient piézoélectrique de l'effet direct.....	32
Tableau 1 – Conditions d'essai définissables	26
Tableau 2 – Conditions d'essai définissables	27
Tableau 3 – Conditions de l'essai de chaleur de brasage.....	27
Tableau 4 – Conditions du profil de température pour un brasage par refusion sans plomb	28
Tableau A.1 – Exemple de conditions d'essai pour l'essai de polarisation à haute température	33
Tableau A.2 – Essai de polarisation à haute température: 23 °C et 100 °C	33

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS –
DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –****Partie 37: Méthodes d'essai d'environnement des couches minces
piézoélectriques MEMS pour les applications de type capteur****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 62047-37 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/355/FDIS	47F/357/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 – Dispositifs 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.

INTRODUCTION

La technologie de microsystème électromécanique (MEMS, MicroElectroMechanical System) piézoélectrique correspond à un champ interdisciplinaire, reposant sur une large gamme de technologies, dont les matériaux des couches minces piézoélectriques, le dépôt en couche mince et les procédés de microfabrication, la conception des dispositifs et la formulation des systèmes. La plus grande sophistication des fonctionnalités MEMS a entraîné un intérêt croissant, au fil des dernières années, pour les travaux de recherche sur les applications MEMS des couches minces piézoélectriques, telles que les couches de zircono-titanate de plomb ($\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$, ou PZT) ou de nitrure d'aluminium (AlN). Les couches minces piézoélectriques MEMS ont la capacité de configurer des dispositifs compacts basiques, présentant une consommation énergétique moindre, une sensibilité plus élevée et une réponse plus rapide par rapport aux technologies conventionnelles de couches minces: techniques de volume, charge électrostatique ou champ électromagnétique. Cependant, la performance du dispositif dépend fortement des propriétés des matériaux des couches minces.

Plusieurs méthodes d'essai pour les matériaux constitutifs des couches minces ont été établies à ce jour. Parmi ces propriétés, celle qui prédomine dans la détermination de la performance du dispositif est la propriété piézoélectrique du matériau. La publication de la norme IEC 62047-30 (*Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 30: Measurement methods of electro-mechanical conversion characteristics of MEMS piezoelectric thin film*) a pour objet de mesurer et d'apprécier précisément les couches minces piézoélectriques MEMS, en utilisant des pièces d'essai de structure simple et des équipements peu onéreux.

Pour réaliser une couche mince piézoélectrique MEMS viable, il est essentiel de bien comprendre comment évoluent ses propriétés piézoélectriques en fonction des contraintes d'environnement (température et humidité), et comment les surfaces et les interfaces du matériau piézoélectrique se dégradent au cours du temps.

Les points suivants synthétisent les éléments clés de la présente norme.

- Le degré de dégradation d'un dispositif soumis à essai (DUT, Device Under Test) est apprécié en mesurant les propriétés piézoélectriques du DUT, avant et après application de la contrainte d'environnement de température et d'humidité, en utilisant les méthodes de mesure de l'IEC 62047-30.
- Les conditions d'essai pour les essais de chaleur humide et les essais de tenue diélectrique découlent des normes existantes applicables aux dispositifs à semiconducteurs et aux condensateurs fixes à diélectrique en céramique.

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

Partie 37: Méthodes d'essai d'environnement des couches minces piézoélectriques MEMS pour les applications de type capteur

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62047 spécifie les méthodes d'essai permettant d'apprécier la durabilité des matériaux des couches minces piézoélectriques MEMS soumis à la contrainte d'environnement de température et d'humidité, à la contrainte et à la déformation mécaniques, ainsi que les conditions d'essai définissant une évaluation appropriée de la qualité. Plus spécifiquement, le présent document spécifie les méthodes et conditions d'essai permettant de mesurer la durabilité d'un DUT dans différentes conditions de température et d'humidité, et sous différentes tensions appliquées. Il applique en outre les appréciations aux propriétés liées à l'effet direct de la piézoélectricité, pour des couches minces piézoélectriques formées principalement à base de substrats de silice, c'est-à-dire les couches minces piézoélectriques utilisées comme capteurs acoustiques, ou comme capteurs de vibrations.

Le présent document ne couvre pas les évaluations de fiabilité, telles que les méthodes permettant de prévoir la durée de vie d'une couche mince piézoélectrique en se basant sur la loi de Weibull.

2 Références normatives

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

IEC 62047-30, *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 30: Measurement methods of electro-mechanical conversion characteristics of MEMS piezoelectric thin film* (disponible en anglais seulement)