IEC 62373-1

Edition 1.0 2020-07

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE

colour inside

## Semiconductor devices – Bias-temperature stability test for metal-oxide, semiconductor, field-effect transistors (MOSFET) – Part 1: Fast BTI test for MOSFET

## Dispositifs à semiconducteurs – Essai de stabilité de température en polarisation pour transistors à effet de champ metal-oxyde-semiconducteur (MOSFET) – Partie 1: Essai rapide de BTI pour les MOSFET

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ICS 31.080.30

ISBN 978-2-8322-8610-4

**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.**

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

# CONTENTS

FOREWORD ..... 4
INTRODUCTION ..... 6
1 Scope ..... 7
2 Normative reference ..... 7
3 Terms and definitions ..... 7
4 Test equipment ..... 9
4.1 Equipment ..... 9
4.1.1 Wafer prober ..... 9
4.1.2 Measurement equipment ..... 9
4.2 Recommendation for handling ..... 10
5 Test sample ..... 10
5.1 Sample ..... 10
5.1.1 General ..... 10
5.1.2 Channel length (gate length) ..... 10
5.1.3 Channel width (gate width) ..... 10
5.1.4 Structure ..... 10
5.1.5 Wafer process ..... 11
5.2 Antenna protection diode ..... 11
5.3 Number of samples ..... 11
6 Procedure ..... 12
6.1 General remarks on measurement time ..... 12
6.2 Definition of measurement parameter ..... 12
6.2.1 Expression of degradation parameters ..... 12
6.2.2 Measurement in weakly inverted region ..... 13
6.2.3 Measurement in subthreshold region ..... 13
6.2.4 Measurement of $I_D$ degradation ($I_{Dsat}$, $I_{Dlin}$) ..... 14
6.3 Test ..... 14
6.3.1 Test flow ..... 14
6.3.2 Fast voltage switching ..... 15
6.3.3 Temperature ..... 16
6.3.4 Electric field strength $E_{ox}$ ..... 16
6.3.5 Read point ..... 16
6.3.6 Final test time ..... 16
6.4 Lifetime estimation ..... 17
6.4.1 Procedure for estimating the degradation at end of life ..... 17
6.4.2 Procedure for estimating the lifetime on the targeted criteria ..... 18
Annex A (informative) Recovery effect of BTI ..... 19
Annex B (informative) Selection of a wide device [2] ..... 20
Bibliography ..... 22

Figure 1 – Degradation ($\Delta V_{th}$) recovering by BTI conditions removing with time ..... 6
Figure 2 – $I_D$ – $V_{GS}$ curve to explain $V_{th\text{-}ext}$ ..... 8
Figure 3 – Connection between MOSFET electrodes and external terminals ..... 10
Figure 4 – Example of antenna protection circuit for BULK process ..... 11
Figure 5 – Measurement time dependence of recovery effect ..... 12

Figure 6 – Calculation method of $V_{th}$ degradation ..... 14
Figure 7 – Comparison of BTI flowchart ..... 15
Figure 8 – Switching schematic of fast BTI ..... 16
Figure A.1 – Recovery time dependence of Pch BTI ..... 19
Figure B.1 – Typical BTI induced variance dependence on $W$ ..... 21
Figure B.2 – Possible MOSFET layout to be adopted with narrow device ..... 21

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

_____

# SEMICONDUCTOR DEVICES – BIAS-TEMPERATURE STABILITY TEST FOR METAL-OXIDE, SEMICONDUCTOR, FIELD-EFFECT TRANSISTORS (MOSFET) –

## Part 1: Fast BTI test for MOSFET

## 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 62373-1 has been prepared by IEC technical committee 47: Semiconductor devices.

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

| FDIS | Report on voting |
|---|---|
| 47/2627/FDIS | 47/2637/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 62373 series, published under the general title *Semiconductor devices – Bias-temperature stability test for metal-oxide, semiconductor, field-effect transistors (MOSFET)*, 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

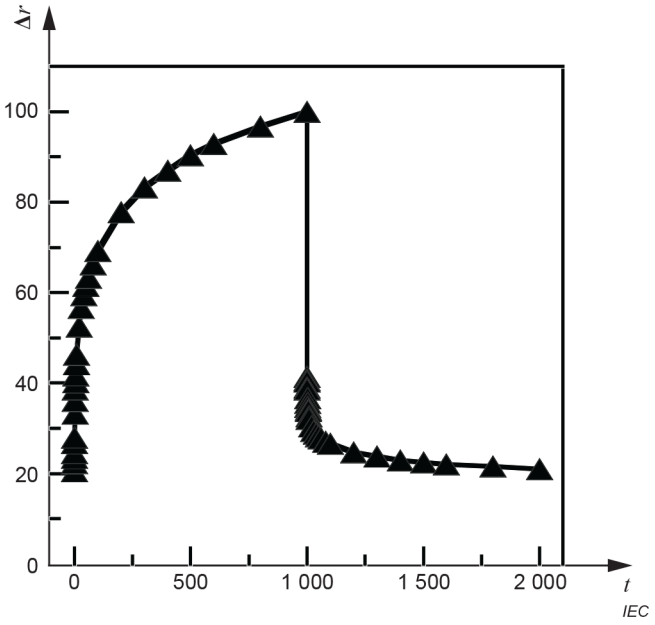
- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

**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

BTI (bias temperature instability) degradation of semiconductor devices is a crucial failure. IEC 62373:2006 provides a method to test for this failure.

With advances in technology, the magnitude of recovery for BTI degradation has been remarkable. Recovery from BTI degradation occurs in microseconds to milliseconds after removing or reducing gate stress. Figure 1 below shows experiment data of $V_{th}$ shift which is stressed in BTI condition for 1 000 s and not stressed after that [1][1]. It shows that the degradation is rapidly recovered, to about 40 % in a few seconds right after removing the stress at 1 000 s. Therefore, a fast measurement method is necessary to avoid this effect and to determine this degradation with exactitude.




**Key**

$\Delta r$ ratio of $V_{th}$ degradation amount to maximum degradation;

$t$ stress or recovery time, expressed in seconds.

**Figure 1 – Degradation ($\Delta V_{th}$) recovering by BTI conditions removing with time**

However, the existing test, described in IEC 62373, suffers from the disadvantage that the recovery process starts as soon as the stress is reduced while making the fairly lengthy set of measurements that establish the shift in threshold voltage. The procedure described in this standard uses an alternative method for measuring degradation that, by taking very little time, minimizes the partial recovery that occurs during the measurement.

[1] Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

# SEMICONDUCTOR DEVICES – BIAS-TEMPERATURE STABILITY TEST FOR METAL-OXIDE, SEMICONDUCTOR, FIELD-EFFECT TRANSISTORS (MOSFET) –

## Part 1: Fast BTI test for MOSFET

## 1 Scope

This part of IEC 62373 provides the measurement procedure for a fast BTI (bias temperature instability) test of silicon based metal-oxide semiconductor field-effect transistors (MOSFETs).

This document also defines the terms pertaining to the conventional BTI test method.

## 2 Normative reference

There are no normative references in this document.

# SOMMAIRE

AVANT-PROPOS ..... 26
INTRODUCTION ..... 28
1 Domaine d'application ..... 29
2 Références normatives ..... 29
3 Termes et définitions ..... 29
4 Équipement d'essai ..... 31
4.1 Équipement ..... 31
4.1.1 Machine d'essai sous pointes ..... 31
4.1.2 Équipement de mesure ..... 32
4.2 Recommandation de manipulation ..... 32
5 Échantillonnage d'essai ..... 32
5.1 Échantillonnage ..... 32
5.1.1 Généralités ..... 32
5.1.2 Longueur de canal (longueur de grille) ..... 32
5.1.3 Largeur de canal (largeur de grille) ..... 32
5.1.4 Structure ..... 32
5.1.5 Procédé de fabrication des plaquettes ..... 33
5.2 Diode de protection d'antenne ..... 33
5.3 Nombre d'échantillons ..... 34
6 Procédure ..... 34
6.1 Remarques générales sur le temps de mesure ..... 34
6.2 Définition des paramètres de mesure ..... 35
6.2.1 Expression des paramètres de dégradation ..... 35
6.2.2 Mesurage en région faiblement inversée ..... 35
6.2.3 Mesurage dans la région sous le seuil ..... 36
6.2.4 Mesurage de la dégradation de l'$I_D$ ($I_{Dsat}$, $I_{Dlin}$) ..... 37
6.3 Essai ..... 37
6.3.1 Déroulement de l'essai ..... 37
6.3.2 Commutation rapide de tension ..... 38
6.3.3 Température ..... 38
6.3.4 Champ électrique $E_{ox}$ ..... 38
6.3.5 Point de lecture ..... 39
6.3.6 Durée d'essai final ..... 39
6.4 Estimation de la durée de vie ..... 39
6.4.1 Procédure d'estimation de la dégradation en fin de vie ..... 39
6.4.2 Procédure d'estimation de la durée de vie fondée sur les critères cibles ..... 40
Annexe A (informative) Effet de récupération de BTI ..... 41
Annexe B (informative) Choix d'un dispositif de grande largeur [2] ..... 42
Bibliographie ..... 44

Figure 1 – Récupération de la dégradation ($\Delta V_{th}$) par élimination des conditions de BTI dans le temps ..... 28
Figure 2 – Courbe $I_D$ – $V_{GS}$ expliquant $V_{th\text{-}ext}$ ..... 30
Figure 3 – Connexion entre les électrodes MOSFET et les bornes externes ..... 32
Figure 4 – Exemple de circuit de protection d'antenne pour un procédé sur substrat massif (BULK) ..... 33

Figure 5 – Dépendance de l'effet de récupération vis-à-vis du temps de mesure ..... 35
Figure 6 – Méthode de calcul de la dégradation $V_{th}$ ..... 36
Figure 7 – Comparaison des séquences de BTI ..... 37
Figure 8 – Schéma de commutation pour la méthode BTI rapide ..... 38
Figure A.1 – Dépendance de BTI canal P (Pch) vis-à-vis du temps de récupération ..... 41
Figure B.1 – Dépendance typique de la variance induite par BTI vis-à-vis de la largeur $W$ ..... 43
Figure B.2 – Configuration possible de MOSFET à appliquer pour le dispositif de largeur étroite ..... 43

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

# DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – ESSAI DE STABILITÉ DE TEMPÉRATURE EN POLARISATION POUR TRANSISTORS À EFFET DE CHAMP METAL-OXYDE-SEMICONDUCTEUR (MOSFET) –

## Partie 1: Essai rapide de BTI pour les MOSFET

## 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. À 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 62373-1 a été établie par le 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 |
|---|---|
| 47/2627/FDIS | 47/2637/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.

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

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62373, publiées sous le titre général *Dispositifs à semiconducteurs – Essai de stabilité de température en polarisation pour transistors à effet de champ métal-oxyde-semiconducteur (MOSFET)*, 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. À cette date, le document sera

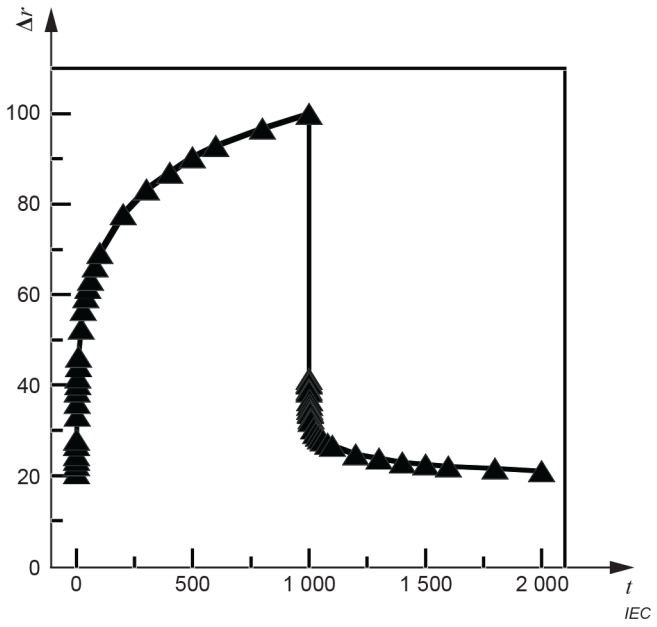
- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

**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 dégradation de type BTI (*bias temperature instability* – instabilité en température sous polarisation) des dispositifs à semiconducteurs est une défaillance majeure. L'IEC 62373:2006 fournit une méthode d'essai à cet effet.

L'évolution technologique a eu une influence considérable sur la capacité de récupération de la dégradation de la BTI. Le temps de récupération de la dégradation de la BTI se mesure en microsecondes ou en millisecondes après élimination ou réduction de la contrainte de grille. La Figure 1 ci-dessous présente des données expérimentales de la dérive de $V_{th}$ qui est soumise à des contraintes en 1 000 s dans les conditions de BTI et qui ensuite n'est plus soumise à une contrainte supplémentaire [1][1]. Elle indique que la dégradation a connu une récupération rapide à environ 40 % en quelques secondes juste après l'élimination de la contrainte en 1 000 s. Une méthode de mesure rapide est donc nécessaire pour éviter l'effet de récupération et déterminer avec exactitude cette dégradation.




**Légende**

$\Delta r$ rapport entre le degré de dégradation $V_{th}$ et la dégradation maximale;

$t$ contrainte ou temps de récupération, exprimé en secondes.

**Figure 1 – Récupération de la dégradation ($\Delta V_{th}$) par élimination des conditions de BTI dans le temps**

Cependant, l'inconvénient de l'essai existant (décrit dans l'IEC 62373) est que le processus de récupération commence dès la réduction de la contrainte et que des mesurages de durée assez longue sont réalisés pour établir la dérive de la tension de seuil. La procédure décrite dans la présente norme utilise une méthode alternative de mesure de la dégradation. Il s'agit d'une méthode rapide qui réduit le plus possible la récupération partielle qui se produit pendant le mesurage.

[1] Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie

# DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – ESSAI DE STABILITÉ DE TEMPÉRATURE EN POLARISATION POUR TRANSISTORS A EFFET DE CHAMP METAL-OXYDE-SEMICONDUCTEUR (MOSFET) –

## Partie 1: Essai rapide de BTI pour les MOSFET

## 1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62373 fournit la méthode de mesure pour un essai rapide de BTI (instabilité en température sous polarisation) des transistors à effet de champ métal-oxyde-semiconducteurs (MOSFET) à base de silicium.

Le présent document définit également les termes relatifs à la méthode d'essai de BTI conventionnelle.

## 2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils 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).

Le présent document ne contient aucune référence normative.