

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

62374

Première édition
First edition
2007-03

**Dispositifs à semiconducteurs –
Essai de rupture diélectrique en fonction du
temps (TDDB) pour films diélectriques de grille**

**Semiconductor devices –
Time dependent dielectric breakdown
(TDDB) test for gate dielectric films**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 62374:2007

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- Site web de la CEI (www.iec.ch)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/searchpub) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- IEC Just Published

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/online_news/justpub) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- IEC Web Site (www.iec.ch)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/searchpub) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/online_news/justpub) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

62374

Première édition
First edition
2007-03

**Dispositifs à semiconducteurs –
Essai de rupture diélectrique en fonction du
temps (TDDB) pour films diélectriques de grille**

**Semiconductor devices –
Time dependent dielectric breakdown
(TDDB) test for gate dielectric films**

© IEC 2007 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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 l'éditeur.

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 the publisher.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

S

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
1 Domaine d'application	8
2 Termes et définitions	8
3 Matériel d'essai	12
4 Echantillons d'essai	12
4.1 Généralités	12
4.2 Structure d'essai: structure de condensateur	12
4.3 Surface	14
5 Procédures	14
5.1 Généralités	14
5.2 Essai préalable	18
5.3 Conditions d'essai	18
5.4 Critères	18
6 Estimation de durée de vie	24
6.1 Généralités	24
6.2 Modèle d'accélération	24
6.3 Procédure de l'estimation de la durée de vie	28
7 Dépendance de la durée de vie par rapport à la surface de l'oxyde de grille	34
Annex A (informative) Condition d'essai de détermination supplémentaire et analyse des données	36
Bibliographie	42
Figure 1 – Organigramme d'essai de méthode de contrainte de tension constante	16
Figure 2 – Exemple type d'application de la méthode de variance pour la détection du claquage	22
Figure 3 – Diagramme de temps représentant la mise en oeuvre de la technique d'interruption de contrainte pour contrôler la modification de SILC (t_{init} doit être <1% de la valeur escomptée de t_{bd})	24
Figure 4 – Ajustement en graphique de la distribution de Weibull/log-normale (Weibull est recommandée)	30
Figure 5 – Procédure d'estimation du facteur d'accélération électrique	32
Figure 6 – Procédure d'estimation de l'énergie d'activation	32
Figure A.1 – Dépendance en tension de la durée de vie pour le TDDB	36
Figure A.2 – Chaque composant tracé en fonction de V_{OX}	40

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope.....	9
2 Terms and definitions	9
3 Test equipment.....	13
4 Test samples.....	13
4.1 General.....	13
4.2 Test structure: capacitor structure	13
4.3 Area	15
5 Procedures.....	15
5.1 General.....	15
5.2 Pre-test	19
5.3 Test conditions	19
5.4 Criteria	19
6 Lifetime estimation	25
6.1 General.....	25
6.2 Acceleration model.....	25
6.3 A procedure for a lifetime estimation	29
7 Lifetime dependence on gate oxide area	35
Annex A (informative) Supplementary determining test condition and data analysis	37
Bibliography.....	43
Figure 1 – Test flow diagram of constant voltage stress method	17
Figure 2– Typical example of implementing the variance method for detecting breakdown	23
Figure 3 – Timing diagram showing the implementation of the stress interruption technique for monitoring the change in SILC (t_{init} shall be <1 % of the anticipated t_{bd})	25
Figure 4– Graph fitted Weibull/Lognormal distribution (Weibull is recommended).....	31
Figure 5 – Estimate procedure of electric acceleration factor	33
Figure 6 – Estimation procedure of activation energy	33
Figure A.1 – Voltage dependence of lifetime for TDDDB.....	37
Figure A.2 – Each component plotted as a function of V_{OX}	41

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS –

ESSAI DE RUPTURE DIÉLECTRIQUE EN FONCTION DU TEMPS (TDDb) POUR FILMS DIÉLECTRIQUES DE GRILLE

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 n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 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 propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 62374 a été établie par le comité d'études 47 de la CEI: Dispositifs à semiconducteurs.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
47/1894/FDIS	47/1896/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.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SEMICONDUCTOR DEVICES –

TIME DEPENDENT DIELECTRIC BREAKDOWN (TDDB) TEST
FOR GATE DIELECTRIC 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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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 62374 has been prepared by IEC technical committee 47: Semiconductor devices.

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

FDIS	Report on voting
47/1894/FDIS	47/1896/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.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance 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 62374:2007

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result 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 62374:2007

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS –

ESSAI DE RUPTURE DIÉLECTRIQUE EN FONCTION DU TEMPS (TDDb) POUR FILMS DIÉLECTRIQUES DE GRILLE

1 Domaine d'application

Cette norme décrit une méthode d'essai de la rupture diélectrique en fonction du temps (TDDb) pour films diélectriques de grille des dispositifs à semiconducteurs et une méthode d'estimation de la durée de vie de produit en présence d'une défaillance de type TDDb.

2 Termes et définitions

Pour les besoins de ce document, les termes et définitions suivants s'appliquent:

2.1

champ électrique d'oxyde (intensité)

E_{ox}

défini comme la tension d'oxyde divisée par l'épaisseur d'oxyde.

NOTE

$$E_{ox} = V_{ox}/t_{ox} \quad (1)$$

où

E_{ox} (MV/cm) est le champ électrique d'oxyde;

V_{ox} est la tension d'oxyde;

t_{ox} est l'épaisseur d'oxyde.

Il faut que t_{ox} soit déterminé par une méthode solidement documentée (méthode de mesure physique par microscopie électronique à balayage (SEM), microscopie électronique à transmission (TEM) ou analyse de capacité-tension (CV)). Il est important de noter que la tension appliquée n'est pas nécessairement la tension traversant l'oxyde. Les oxydes ultra-minces montrent des effets de confinement quantique et des effets de déplétion de l'électrode de grille qui diminuent efficacement la tension à travers l'oxyde. Il faut que la méthode pour déterminer t_{ox} ou une référence à des normes documentées soit incorporée dans le rapport des données.

2.2

courant de fuite d'oxyde de grille

I_g

courant de fuite circulant dans la borne de grille d'un transistor à grille isolée à effet de champ

NOTE Le symbole littéral " I_g " est couramment utilisé pour le courant de fuite de grille.

2.3

courant de fuite d'oxyde de grille initial

I_{g0}

courant de fuite circulant dans la borne de grille d'une grille isolée par oxyde lorsqu'une tension d'utilisation est appliquée avant l'application de la tension de contrainte ou du champ électrique de contrainte

SEMICONDUCTOR DEVICES –

TIME DEPENDENT DIELECTRIC BREAKDOWN (TDDB) TEST FOR GATE DIELECTRIC FILMS

1 Scope

This International Standard provides a test method of Time Dependent Dielectric Breakdown (TDDB) for gate dielectric films on semiconductor devices and a product lifetime estimation method of TDDB failure.

2 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply:

2.1 oxide electric field (strength)

E_{ox}

defined as oxide voltage divided by oxide thickness.

NOTE

$$E_{ox} = V_{ox}/t_{ox} \quad (1)$$

where

E_{ox} (MV/cm) is the oxide electric field;

V_{ox} is the oxide voltage;

t_{ox} is the oxide thickness.

t_{ox} must be determined by a consistent, documented method (physical measurement method by Scanning Electron Microscope (SEM), Transmission Electron Microscope (TEM) or Capacitance-Voltage (CV) analysis). It is important to point out that the applied voltage is not necessarily the voltage across the oxide. Ultra-thin oxides exhibit quantum confinement effects and gate electrode depletion effects effectively reducing the voltage across the oxide. The method of determining t_{ox} or a reference to the documented standard must be included in the data report.

2.2 gate oxide leakage current

I_g

the leakage current flowing in the gate terminal of an insulated-gate field-effect transistor

NOTE The letter symbol " I_g " is in common use for the gate leakage current.

2.3 initial gate oxide leakage current

I_{g0}

leakage current flowing in the gate terminal of an oxide insulated-gate when a use voltage is applied before stress voltage or stress electric field is applied

2.4

courant de conformité

I_{comp}

courant maximal de l'équipement qui force la tension

NOTE Une limite d'accord peut être spécifiée pour un essai particulier.

2.5

courant de fuite d'oxyde de grille mesuré

I_{meas}

courant de fuite de grille mesuré dans un essai préalable ou un essai constant de contrainte de tension (CVS)

2.6

courant d'oxyde de fuite de contrainte induite

I_{SILC}

courant de fuite de contrainte induite mesuré à V_{SILC}

NOTE Cette valeur est mesurée et comparée pendant l'essai à tension constante si la méthode d'interruption de contrainte est utilisée pour détecter le claquage.

2.7

courant de fuite d'oxyde de grille d'utilisation

I_{use}

courant typique mesuré à travers l'oxyde à la tension normale d'utilisation

2.8

courant de fuite d'oxyde de grille de contrainte

I_{stress}

courant d'oxyde de grille mesuré pendant l'essai CVS

2.9

courant de fuite d'oxyde de grille précédemment mesuré

$I_{previous}$

courant d'oxyde précédemment mesuré en condition d'essai CVS

2.10

temps de claquage

t_{bd}

somation de temps auquel la tension de contrainte est appliquée à l'oxyde de grille jusqu'à la défaillance de l'oxyde

NOTE Dans l'essai CVS, la tension de contrainte appliquée est interrompue par des mesures et jugements répétés. (Voir la Figure 1)

2.11

intervalle de temps

t_{int}

intervalle de temps où la contrainte est appliquée avant son interruption et I_{SILC} est mesuré au cours de la technique d'interruption de contrainte pour détecter le claquage

NOTE Voir la Figure 3.

2.12

épaisseur d'oxyde de grille

t_{ox}

épaisseur physique de l'oxyde de grille

2.4**compliance current** I_{comp}

maximum current of the voltage-forcing equipment

NOTE A compliance limit can be specified for a particular test.

2.5**measured gate oxide leakage current** I_{meas}

gate leakage current measured in the pre-test or Constant Voltage Stress (CVS) test

2.6**stress-induced leakage oxide current** I_{SILC} stress-induced leakage current measured at V_{SILC}

NOTE This value is measured and compared during the constant voltage test if the stress interruption method is used to detect breakdown.

2.7**use gate oxide leakage current** I_{use}

typical measured current through the oxide at the normal use voltage

2.8**stress gate oxide leakage current** I_{stress}

oxide gate current measured during the CVS test

2.9**previously measured gate oxide leakage current** I_{previous}

previously measured oxide current in CVS test condition

2.10**breakdown time** t_{bd}

summation of time at which stress voltage is applied to gate oxide until oxide failure

NOTE In the CVS test, the applied stress voltage is interrupted by measuring and judging repeatedly. (See Figure 1)

2.11**interval time** t_{int} time that stress is applied before the stress is interrupted and I_{SILC} is measured during the stress interruption technique for detecting breakdown

NOTE See Figure 3

2.12**gate oxide thickness** t_{ox}

physical thickness of gate oxide

2.13 temps d'attente

t_{wait}
temps avant la mesure de I_{SILC} après l'interruption de la contrainte pendant la technique d'interruption de la contrainte destinée à détecter le claquage (voir la Figure 3)

2.14 tension SILC

V_{SILC}
tension à laquelle le courant de fuite de contrainte induite (I_{SILC}) est mesuré

2.15 tension de contrainte

V_{stress}
tension appliquée pendant un essai constant de contrainte de tension

2.16 tension d'utilisation

V_{use}
tension qui est appliquée pendant l'essai préalable pour déterminer la validité du composant

NOTE Cette tension est habituellement la tension d'alimentation ou la tension d'utilisation de la technologie.

3 Matériel d'essai

L'essai TDDB peut être appliqué tant à l'essai au niveau du boîtier qu'aux essais au niveau de la plaquette. Une étuve à haute température est utilisée pour l'essai au niveau du boîtier. Dans le cas des essais au niveau de la plaquette, une machine d'essai sous pointes équipée d'une plaque chaude ou d'un plateau chaud est nécessaire. De plus, des instruments de mesure sont nécessaires pour détecter le critère de défaut (qui dépend de t_{ox} , de la structure et de la surface du dispositif).

4 Echantillons d'essai

4.1 Généralités

Il convient que les échantillons d'essai pour l'essai TDDB comportent la structure et la surface d'essai suivantes.

4.2 Structure d'essai: structure de condensateur

L'échantillon d'essai comporte une structure de condensateur qui est constituée du film diélectrique de grille et d'une électrode de grille formée sur un substrat de silicium.

Un condensateur ou une structure de transistor à effet de champ (TEC) peut être choisi pour les besoins de l'essai. La surface et la géométrie peuvent être modifiées.

Les structures TEC sont à privilégier par rapport aux condensateurs, car il convient de réaliser la contrainte en mode opératoire, qui est le cas d'inversion. Des structures multiples avec variation dans la zone active et périmètre de bord de grille et de bord d'isolation sont recommandées pour mesurer la mise à l'échelle de la surface et pour identifier la surface en fonction du périmètre.

Il convient de concevoir les broches de structure d'essai pour minimiser la résistance et prévenir les chutes de tension.

2.13**wait time** t_{wait}

time before I_{SILC} is measured after a stress is interrupted during the stress interruption technique for detecting breakdown (see Figure 3)

2.14**SILC voltage** V_{SILC}

voltage at which the stress-induced leakage current (I_{SILC}) is measured

2.15**stress voltage** V_{stress}

voltage applied during CVS test

2.16**use voltage** V_{use}

voltage that is applied during the pre-test to determine device validity

NOTE This voltage is usually the power supply voltage or use voltage of the technology.

3 Test equipment

TDDDB test can be applied for both package level test and wafer level tests. A high temperature oven is used for the package level test. In the case of the wafer level tests, a wafer prober with a hot plate or a hot chuck is necessary. Additionally, measurement instruments are necessary that can detect failure criterion (that depends on t_{ox} , device structure and area).

4 Test samples**4.1 General**

The test samples for TDDDB test should have the following test structure and area.

4.2 Test structure: capacitor structure

The test sample has a capacitor structure that consists of the gate dielectric film and gate electrode formed on a silicon substrate.

A capacitor or a field effect transistor (FET)-structure can be selected for the purpose of the test. The area and geometry can be varied.

FET-structures are preferred over capacitors, because stress should be performed in use mode, which is the inversion case. Multiple structures with variation in active area, isolation edge and gate edge perimeter are recommended in order to measure area scaling and to identify area vs. perimeter effects.

Test structure leads should be designed to minimize resistance to prevent voltage drops.

Il est recommandé qu'au moins trois zones de dispositif soient utilisées de sorte que l'on puisse obtenir une mise à l'échelle appropriée de la surface. La plage de la zone peut couvrir deux ordres de grandeur.

Il est important d'obtenir le paramètre de forme de la loi de Weibull.

4.3 Surface

Dans le cas d'oxydes de grille minces ($t_{ox} < 5$ nm) avec grande surface diélectrique, le rapport I_g devient trop grand par effets de courant tunnel, les claquages deviennent plus "mous" et bruyants, de sorte que la rupture diélectrique ne peut pas être mesurée de manière précise. En conséquence, la surface doit être suffisamment petite de sorte que le rapport I_g après claquage par rapport à avant claquage soit mesurable.

La surface typique pour l'oxyde de grille mince se situe dans la gamme comprise entre $1 \times 10^{-11} \text{ cm}^2$ à $1 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$. Il existe des cas où le critère "bruit de courant" est efficace.

Un condensateur de petite surface peut être nécessaire pour détecter un claquage mou lorsqu'un grand courant tunnel existe.

Pour les oxydes de grille épais ($t_{ox} > 5$ nm) le courant tunnel a un effet négligeable, de sorte que la limite supérieure de la surface peut s'étendre de $1 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ à $1 \times 10^{-1} \text{ cm}^2$.

5 Procédures

5.1 Généralités

Cette section explique la procédure d'essai.

La Figure 1 illustre une procédure de contrainte par la méthode de tension constante.

It is recommended that at least three device areas be used so proper area scaling can be achieved. The area range can span over two orders of magnitude.

It is important to get the Weibull Shape parameter.

4.3 Area

In the case of thin gate oxides ($t_{\text{ox}} < 5 \text{ nm}$) with a large dielectric area, the I_g ratio becomes too large by tunnel current effects, the breakdowns become “softer” and noisy, so that the dielectric breakdown cannot be accurately measured. As a result the area shall be small enough so that the I_g ratio after breakdown to before breakdown is measurable.

A typical area for thin gate oxide is in the range of $1 \times 10^{-11} \text{ cm}^2$ to $1 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$. There are cases where the “current noise” criterion is effective.

A small area capacitor may be necessary to detect soft breakdown when large tunneling current exists.

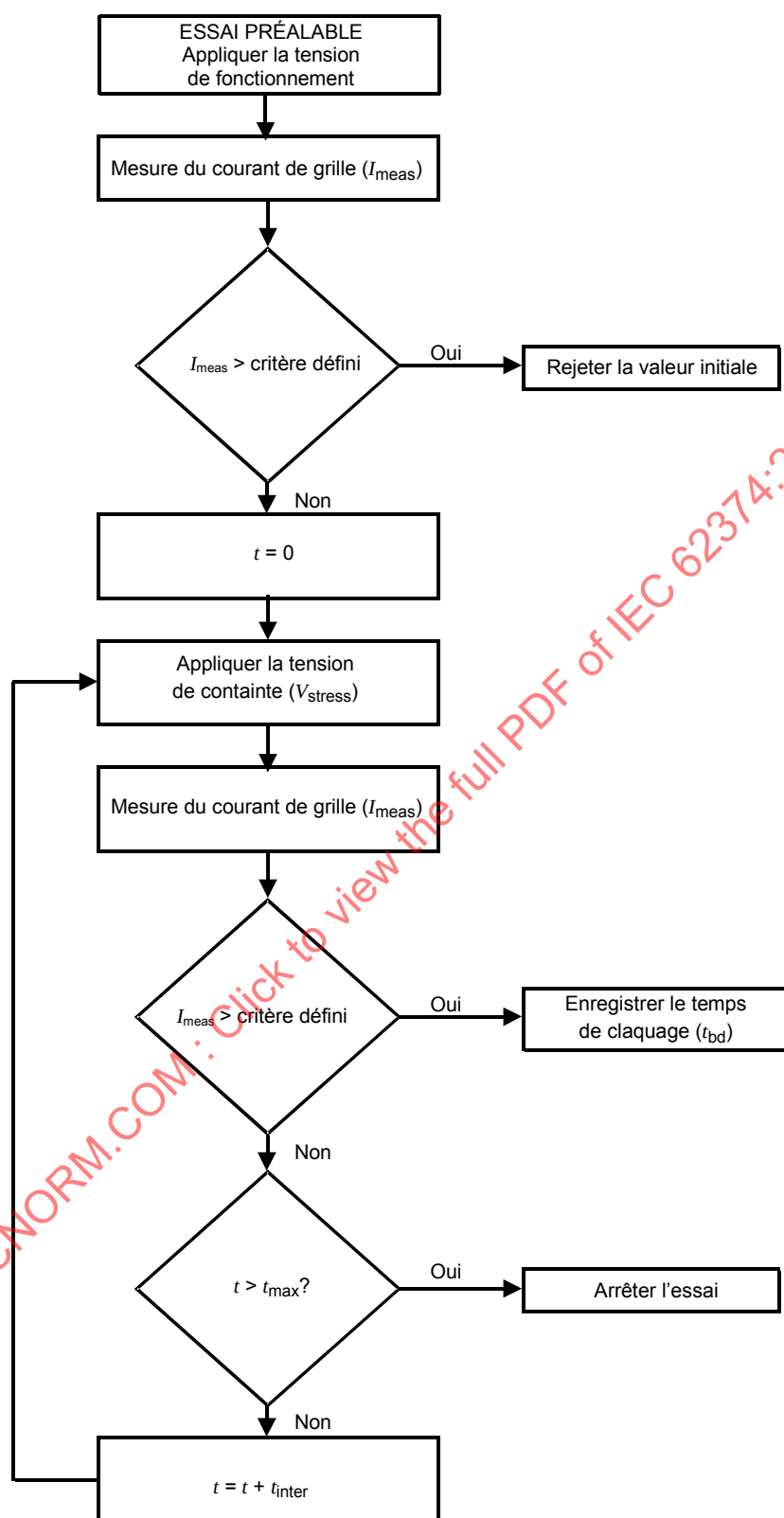
For thick gate oxides ($t_{\text{ox}} > 5 \text{ nm}$) the tunnelling current has a negligible effect, so the area upper limit can be extended from $1 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ to $1 \times 10^{-1} \text{ cm}^2$.

5 Procedures

5.1 General

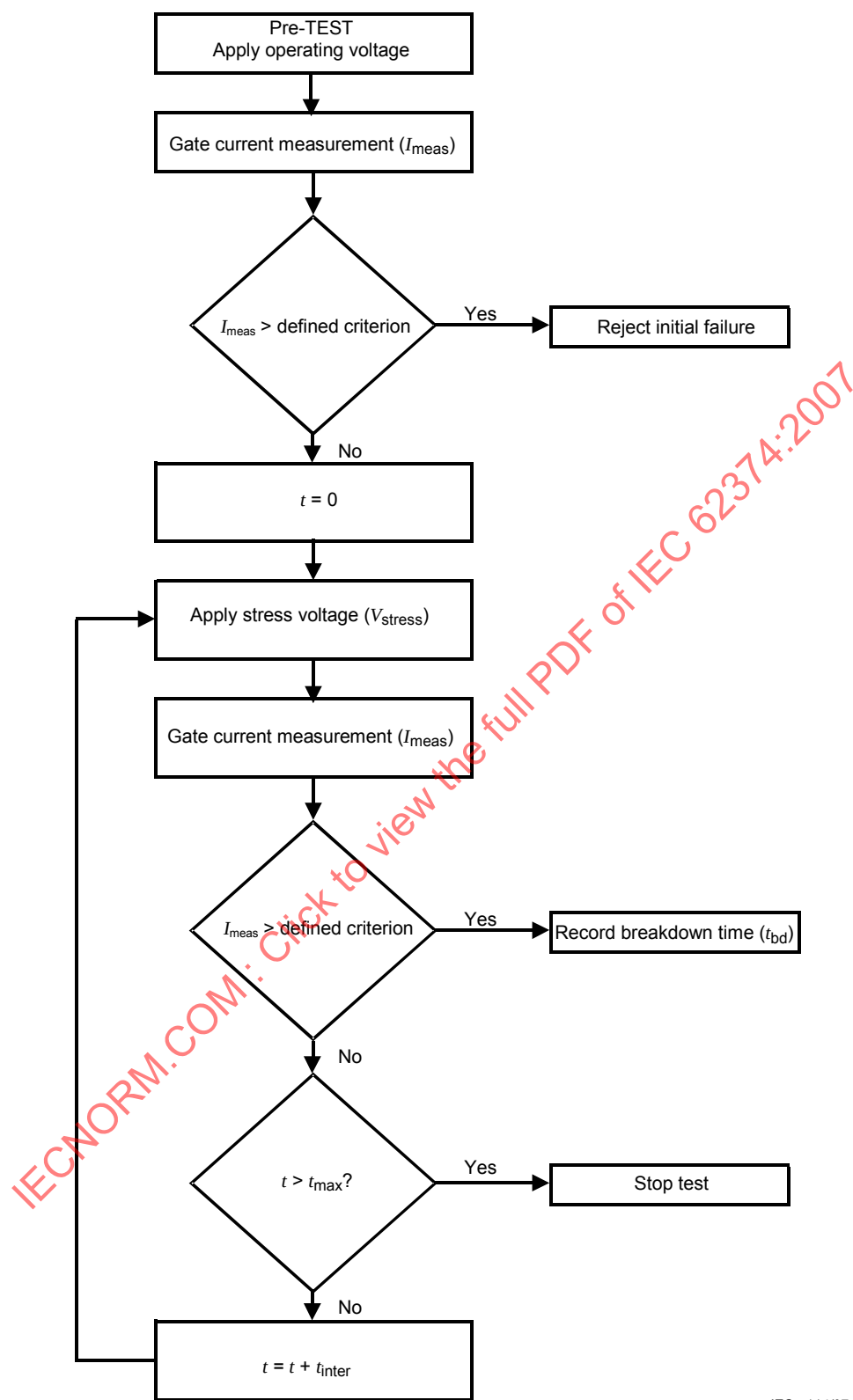
In this section the test procedure is explained.

Figure 1 shows a procedure for the constant voltage stress method.



IEC 114/07

Figure 1 – Organigramme d'essai de méthode de contrainte de tension constante



IEC 114/07

Figure 1 – Test flow diagram of constant voltage stress method

5.2 Essai préalable

L'essai préalable est réalisé pour l'identification des échantillons défectueux initiaux. Le courant de grille est mesuré à la tension d'utilisation appliquée. Si le courant mesuré est plus grand que le critère défini, alors cet échantillon est rejeté en tant qu'échantillon défectueux initial. Si la répartition des défauts est nécessaire, l'essai CVS sans essai préalable peut être efficace. Dans ce cas, l'essai préalable peut être ignoré.

5.3 Conditions d'essai

5.3.1 Généralités

Les conditions d'essai suivantes sont recommandées pour l'essai TDDDB. Il convient de choisir le nombre d'échantillons pour fournir le niveau de confiance nécessaire pour l'application.

5.3.2 Champ électrique

V_{stress} doit être décidé par un essai expérimental pour obtenir les données de durée de vie TDDDB en un temps raisonnable. Il est préférable de choisir au moins 3 champs électriques pour l'estimation du facteur d'accélération du champ.

5.3.3 Température

Il est préférable de choisir au moins 3 températures. Il convient que la température de jonction d'utilisation se situe dans la plage de température d'essai pour l'estimation du facteur d'accélération de température (énergie d'activation).

5.4 Critères

Choisir l'un des critères de défaillance suivants pour indiquer la défaillance du dispositif:

- a) I_g dépasse la valeur de défaillance.
- b) Si spécifié ΔI_g dépasse la valeur de défaillance.
- c) Si spécifié $\Delta I_g / I_{g0}$ dépasse la valeur de défaillance.

Valeur de défaillance: valeur I_g ou ΔI_g , $\Delta I_g / I_{g0}$ qui provoque la défaillance du circuit cible.

Il convient que les conditions de mesure (température, champ électrique) pour le jugement d'acceptation soient établies aux conditions d'utilisation ou aux conditions de contrainte.

Il convient d'établir le courant de grille ou le décalage du courant de grille pour défaillance en prenant en considération le courant initial, la résolution de mesure et les spécifications de produits.

Si la valeur de défaillance n'est pas spécifiée, utiliser les méthodes d) à f) ci-dessous.

- d) Augmentation du courant d'oxyde de fuite de grille mesuré

Pour des oxydes plus épais ($t_{\text{ox}} \geq 5\text{nm}$) ou pour des structures d'essai de petite surface, l'oxyde connaît souvent une défaillance par une augmentation soudaine ($>10X$) du courant de contrainte d'oxyde mesuré.

$$I_{\text{meas}} > 10 \times I_{\text{previous}}$$

Si cette condition est remplie l'essai est terminé.

Cette valeur d'augmentation de 10X est une valeur recommandée. Cette valeur pourrait varier entre 2-10X car les événements de claquages durs réels dépendent de la surface du condensateur, de son épaisseur, de sa structure ou du processus.

- e) Augmentation en bruit en courant

Lors d'un événement de claquage mou, le bruit de mesure augmente. Cette augmentation de bruit peut être détectée en analysant les données de mesure du courant en utilisant les techniques de variance. Cette description d'essai part de l'hypothèse que le bruit du système d'essai a déjà été déterminé.

5.2 Pre-test

The pre-test is performed for identifying initial failed samples. The gate current is measured at the applied use voltage. If the measured current is larger than the defined criterion, then that sample is rejected as an initial failed sample. When obtaining the defective distribution is necessary, the CVS test without pre-test may be effective. In this case the pre-test can be omitted.

5.3 Test conditions

5.3.1 General

The following test condition is recommended for the TDDB test. The sample size should be selected to provide the necessary confidence level for the application.

5.3.2 Electric field

V_{stress} shall be decided by a trial test to get the TDDB lifetime data in a reasonable time. It is preferable to select at least 3 electric fields for estimating the field acceleration factor.

5.3.3 Temperature

It is preferable to select at least 3 temperatures. The use-junction temperature should be in the test temperature range for estimating the temperature acceleration factor (activation energy).

5.4 Criteria

Select one of the following failure criteria to indicate device failure:

- a) I_g exceeds the failure value.
- b) If specified ΔI_g exceeds the failure value.
- c) If specified $\Delta I_g / I_{g0}$ exceeds the failure value.

Failure value : I_g or ΔI_g , $\Delta I_g / I_{g0}$ value that makes the target circuit fail.

The measurement condition (temperature, electric field) for the pass judgment should be set up at use conditions or stress conditions.

The gate current or the gate current shift for failure should be established in consideration of the initial current, the measurement resolution, and the products specifications.

If the failure value is not specified, use the methods d) to f) below.

- d) Increase in measured gate leakage oxide current

For thicker oxides ($t_{\text{ox}} \geq 5 \text{ nm}$) or for small area test structures the oxide often fails by a sudden increase ($>10X$) in measured oxide stress current.

$$I_{\text{meas}} > 10 \times I_{\text{previous}}$$

If this condition is met the test is terminated.

The value of 10X increase is a recommended value. This value could range between 2-10X for actual hard breakdown events depend on the capacitor area, thickness, structure, or process.

- e) Increase in current noise

At a soft-breakdown event the measurement noise increases. This increase in noise can be detected by analysing the current measurement data using variance techniques. This test description assumes that the test system noise has already been determined.

Dans cet essai, six valeurs de courant consécutives de $I_{\text{meas}}(i)$ à $I_{\text{meas}}(i+5)$ sont enregistrées et le bruit en courant $(\delta I_{\text{meas}})^2$ est calculé à partir de ces valeurs comme suit:

$$(\delta I_{\text{meas}})^2 = \frac{\sum_{i=1}^{i=5} \{I_{\text{meas}}(i)\}^2 - \frac{\left[\sum_{i=1}^{i=5} I_{\text{meas}}(i) \right]^2}{5}}{4} \quad (2)$$

La valeur finale $(\delta I_{\text{meas}})^2$ est essentiellement l'estimateur de la variance d'échantillon de cinq valeurs I_{meas} .

Le bruit en courant est calculé en continu en ajoutant une nouvelle valeur de courant et en supprimant la première valeur du jeu de six points (c'est-à-dire un jeu d'échantillons glissants: $I_{\text{meas}}(i+1)$ à $I_{\text{meas}}(i+5)$). Si le bruit en courant augmente de 500X sur la valeur de la ligne de base pour cinq calculs supplémentaires au moins, alors le dispositif est défini comme ayant une défaillance. Les calculs supplémentaires effectués après la détection du claquage assurent que l'augmentation du bruit est maintenue et non le résultat d'une fluctuation aléatoire ou d'une augmentation du bruit transitoire. L'essai est alors terminé.

Cette valeur d'augmentation de 500X est une valeur recommandée. Cette valeur pourrait varier entre 200X et 500X pour les événements de claquages mous réels dépendant de la surface du condensateur, de son épaisseur, de sa structure ou du processus.

Il peut être souhaitable de compenser le ralentissement des valeurs d'augmentation de I_{meas} pendant la contrainte en raison du courant de piégeage ou du courant de fuite de contrainte induite. Dans ce cas, la valeur de $(\delta I_{\text{meas}})^2$ peut être calculée par la variance de cinq valeurs de la différence entre les points de données $I_{\text{meas}}(i+1) - I_{\text{meas}}(i)$ dans l'échantillon de six points comme suit:

$$(\delta I_{\text{meas}})^2 = \frac{\sum_{i=1}^{i=5} \{I_{\text{meas}}(i+1) - I_{\text{meas}}(i)\}^2 - \frac{\left[\sum_{i=1}^{i=5} I_{\text{meas}}(i+1) - I_{\text{meas}}(i) \right]^2}{5}}{4} \quad (3)$$

La Figure 2 illustre un exemple type d'application de la méthode de variance pour la détection du claquage. L'exemple correspond à un échantillon SiO_2 d'une épaisseur de 2,0 nm avec une surface de $4 \times 10^{-6} \text{ cm}^2$.

Une augmentation du bruit en courant supérieure à l'ordre de grandeur de quatre est observée au début du claquage diélectrique.

Des oxydes ultra-minces ont été observés en présentant des transitoires de courant rapides et des signaux télégraphiques aléatoires (RTS) avant claquage. Il faut veiller à éviter de détecter les claquages dans ces conditions. Une technique décrite en [1]¹ s'avère réduire la sensibilité aux signaux télégraphiques aléatoires (RTS) et autres comportements transitoires.

Essai de pré-caractérisation

Un essai de pré-caractérisation obtient plusieurs paramètres de ligne de base exigés pour mettre en oeuvre avec succès l'essai CVS. Cet essai requiert que la conformité du courant du matériel d'essai (I_{comp}) soit au moins 10 fois supérieure à I_{stress} et que la valeur de I_{use} soit supérieure au bruit du système d'essai. Dans cet essai, les paramètres de base de ligne suivants sont déterminés à partir de "bons" dispositifs connus:

- i) des valeurs typiques de I_{stress} à toutes les valeurs choisies de V_{stress} et I_{use} à V_{use} .
- ii) valeurs de la ligne de base pour le bruit en courant du système à toutes les valeurs choisies de V_{stress} .

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

In this test, six consecutive current values of $I_{\text{meas}}(i)$ to $I_{\text{meas}}(i+5)$ are recorded and the current noise $(\delta I_{\text{meas}})^2$ is calculated from these values as:

$$(\delta I_{\text{meas}})^2 = \frac{\sum_{i=1}^{i=5} \{I_{\text{meas}}(i)\}^2 - \frac{\left[\sum_{i=1}^{i=5} I_{\text{meas}}(i) \right]^2}{5}}{4} \quad (2)$$

The final value of $(\delta I_{\text{meas}})^2$ is essentially the estimator of the sample variance of five I_{meas} values.

The current noise is continually calculated by adding a new current value and deleting the first value in the six-point set (i.e. a sliding sample set: $I_{\text{meas}}(i+1)$ to $I_{\text{meas}}(i+5)$). If the current noise increases by 500X over the baseline value for at least five additional calculations, then the device is defined as having failed. The additional calculations performed past the detection of breakdown assures that the noise increase is sustained and not a result of a random fluctuation or a transient noise increase. The test is then terminated.

That value of 500X increase is a recommended value. This value could range from between 200X and 500X for actual soft breakdown events depending on capacitor area, thickness, structure, or process.

It may be desirable to compensate for slowing increasing values of I_{meas} during the stress due to trapping or stress-induced leakage current. In this case, the value of $(\delta I_{\text{meas}})^2$ can be calculated from the variance of five values of the difference between the $I_{\text{meas}}(i+1) - I_{\text{meas}}(i)$ data points in the six point sample as follows:

$$(\delta I_{\text{meas}})^2 = \frac{\sum_{i=1}^{i=5} \{I_{\text{meas}}(i+1) - I_{\text{meas}}(i)\}^2 - \frac{\left[\sum_{i=1}^{i=5} I_{\text{meas}}(i+1) - I_{\text{meas}}(i) \right]^2}{5}}{4} \quad (3)$$

Figure 2 illustrates a typical example of implementing the variance method for detecting breakdown. The example is for a 2,0 nm thick SiO_2 sample with an area of $4 \times 10^{-6} \text{ cm}^2$.

More than a four-order-of-magnitude increase in the current noise is observed at the onset of dielectric breakdown.

Ultra-thin oxides have been observed to exhibit rapid current transients and random telegraph signals (RTS) before breakdown. Care must be taken to avoid detecting breakdown under these conditions. A technique described in [1]¹ has been shown to reduce sensitivity to RTS and other transient behaviour.

Pre-characterization test

A pre-characterization test obtains several baseline parameters required to successfully implement the CVS test. This test requires that the test equipment current compliance (I_{comp}) is at least 10 times greater than I_{stress} and that the value of I_{use} is greater than the test system noise. In this test the following baseline parameters are determined from known "good" devices:

- i) typical values of I_{stress} at all selected values of V_{stress} and I_{use} at V_{use} ;
- ii) baseline values for system current noise at all selected values of V_{stress} .

¹ The figures in square brackets refer to the Bibliography.

Il convient de réaliser l'essai de pré-caractérisation sur au moins 5 échantillons répartis sur la plaquette.

f) Augmentation du courant de fuite de contrainte induite à basse tension (SILC)

Cette méthode surveille l'augmentation de SILC en fonction du temps de contrainte pour déterminer le moment où le claquage mou s'est produit. Dans cette technique à intervalles de temps périodiques (t_{int}), la contrainte de tension est interrompue et le courant du dispositif (I_{meas}) mesuré à basse tension de grille (V_{SILC}). La valeur de V_{SILC} est généralement de 1 V à 2 V. Après interruption de la contrainte et avant la mesure de I_{meas} , il convient qu'un temps d'attente (t_{wait}) ait lieu pour permettre à toutes transitoires de diminuer ce qui peut se produire dans certains systèmes d'essai. Il convient que la valeur t_{int} soit $< 1\%$ de la valeur escomptée t_{bd} tandis qu'il convient de déterminer t_{wait} pour chaque condition de contrainte telle que I_{SILC} se fixe à une valeur constante. En fonction du système d'essai, les valeurs typiques t_{wait} pourraient être de plusieurs secondes. Il convient également d'enregistrer la valeur I_{SILC} en un fichier de données.

Si $I_{\text{meas}}(V_g, t_{\text{int}} + 1) > F \times I_{\text{meas}}(V_g, t_{\text{int}})$, alors le dispositif est défini comme ayant eu une défaillance. L'essai est alors terminé. Les valeurs typiques de la constante F sont comprises entre 2 et 5. La valeur dépend de t_{ox} , A_{oxide} (surface de l'oxyde de grille), et de V_{SILC} .

La Figure 3 présente des schémas fonctionnels et chronogrammes décrivant la technique d'interruption de contrainte. Il a été montré que l'interruption de contrainte périodique n'affecte pas les répartitions de durée de vie par une certaine variété de conditions d'essais. Il convient d'enregistrer le temps de claquage et le niveau de claquage I_{SILC} avant/après.

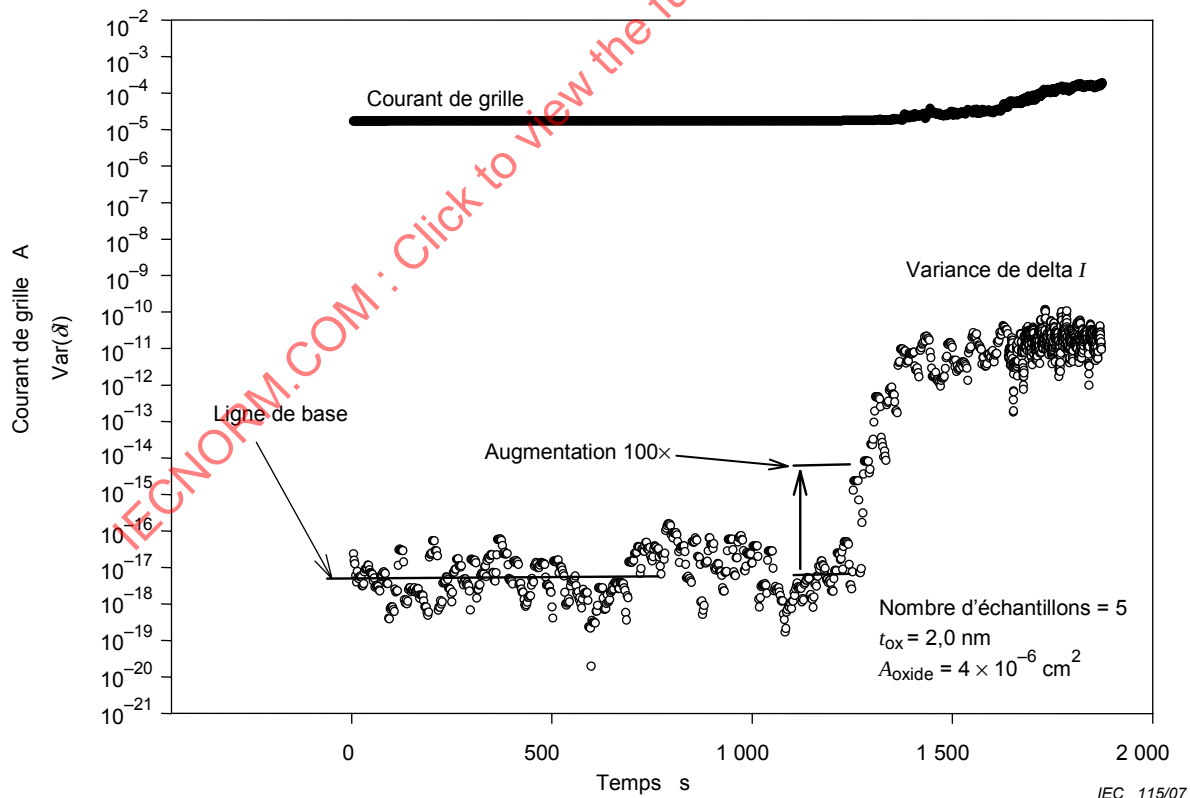


Figure 2 – Exemple type d'application de la méthode de variance pour la détection du claquage

The pre-characterization test should be performed on at least 5 samples distributed across the wafer.

f) Increase in low voltage stress-induced leakage current (SILC)

This method monitors the increase of SILC as a function of stress time to determine when soft-breakdown has occurred. In this technique at periodic time intervals (t_{int}), the voltage stress is interrupted and device current (I_{meas}) measured at low gate voltage (V_{SILC}). The value of V_{SILC} is typically 1 V to 2 V. After stress interruption and before the I_{meas} measurement, a wait time (t_{wait}) should occur to allow any transients to diminish which may occur in some test systems. The t_{int} value should be $< 1\%$ of the anticipated t_{bd} while t_{wait} should be determined for each stress condition so that I_{SILC} settles to a constant value. Depending on the test system typical values t_{wait} could be several seconds. The value I_{SILC} should also be recorded to a data file.

If $I_{\text{meas}}(V_g, t_{\text{int}} + 1) > F \times I_{\text{meas}}(V_g, t_{\text{int}})$, then the device is defined as having failed. The test is terminated. Typical values of constant F are between 2 to 5. The value depends on t_{ox} , A_{oxide} (gate oxide area), and V_{SILC} .

Figure 3 shows block and timing diagrams describing the stress interruption technique. It has been shown that periodic stress interruption does not affect the lifetime distributions for a variety of stress conditions. The breakdown time and pre/post breakdown I_{SILC} level should be recorded.

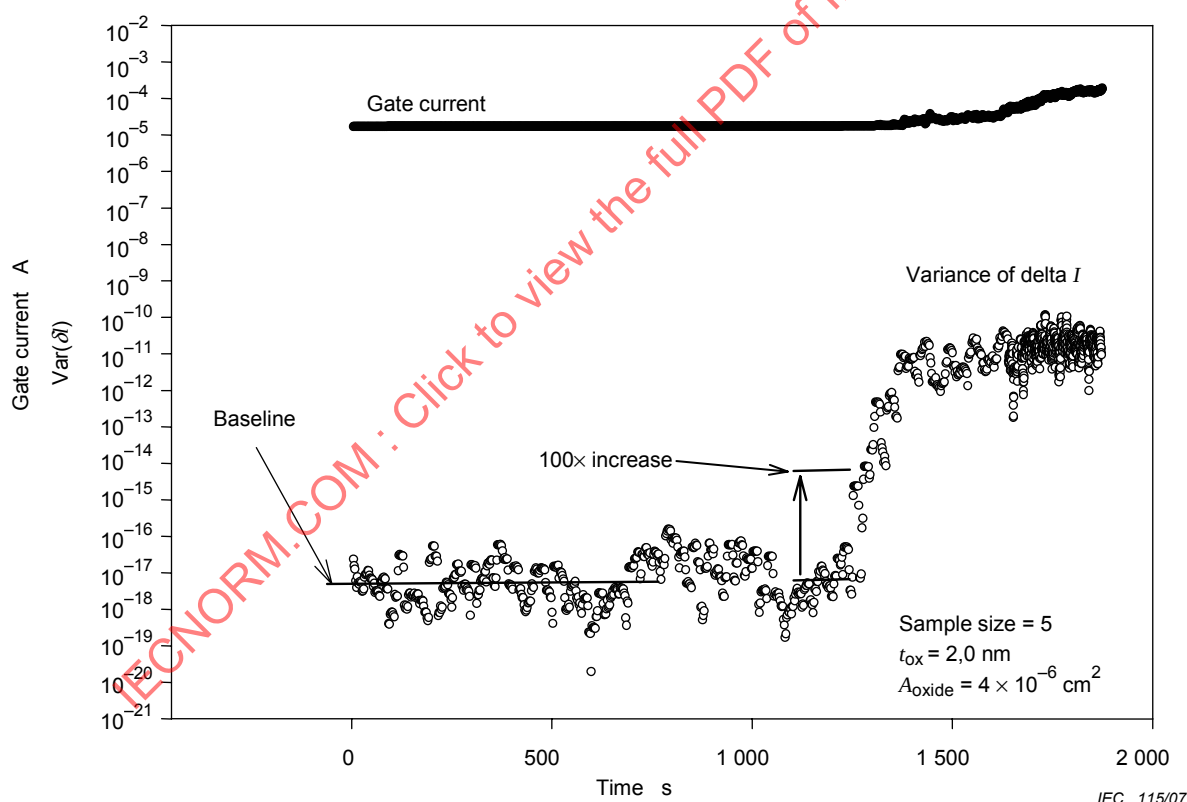


Figure 2– Typical example of implementing the variance method for detecting breakdown

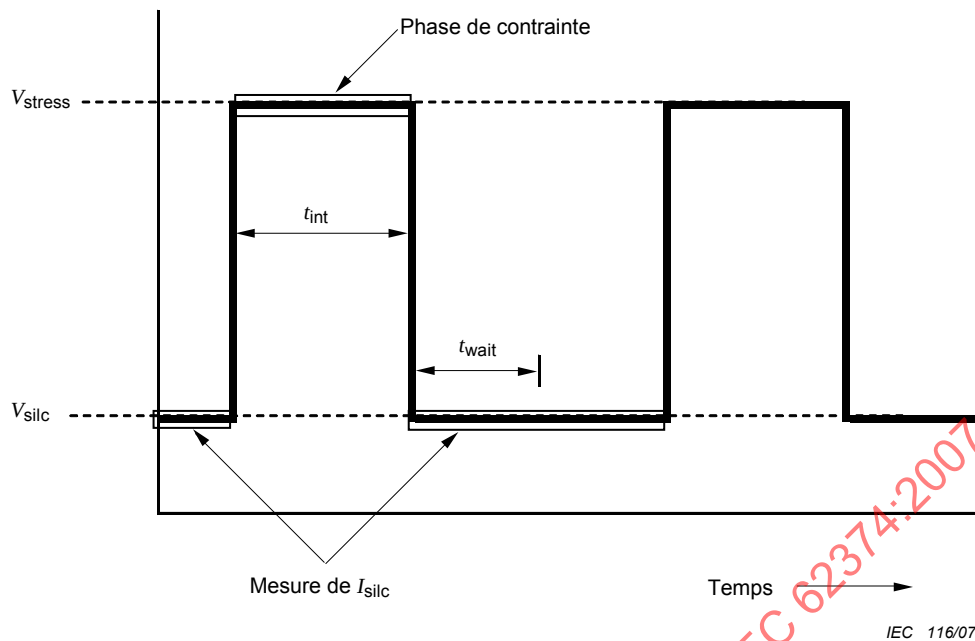


Figure 3 – Diagramme de temps représentant la mise en œuvre de la technique d'interruption de contrainte pour contrôler la modification de SILC (t_{init} doit être $<1\%$ de la valeur escomptée de t_{bd})

6 Estimation de durée de vie

6.1 Généralités

La méthode pour obtenir le facteur d'accélération de la température et de la tension est expliquée dans cette section.

6.2 Modèle d'accélération

6.2.1 Généralités

Le modèle E_{ox} et le modèle $1/E_{ox}$ sont ceux qui sont largement utilisés. Ces deux modèles contiennent habituellement le modèle d'accélération en température (modèle Arrhenius).

Pour différencier les deux modèles, le modèle E_{ox} fournit davantage une estimation prudente pour la durée de vie que n'en donne le modèle $1/E_{ox}$. Il convient de ne pas utiliser comme modèle d'accélération le modèle $1/E_{ox}$ pour les couches d'oxyde très minces inférieures à 5 nm. Le modèle de Loi de Puissance ou le modèle d'injection de trous d'anode (AHI) est préconisé comme modèle d'accélération pour des couches d'oxyde très minces.

Il convient d'utiliser le modèle de durée de vie approprié en fonction de l'épaisseur (t_{ox}).

- Dans le cas de $t_{ox} \geq 5$ nm, sauf indication contraire il convient d'utiliser le modèle E_{ox} ou le modèle $1/E_{ox}$ s'il démontre une meilleure adaptation avec les données.
- Dans le cas de $2 \text{ nm} < t_{ox} < 5$ nm, sauf indication contraire il convient d'utiliser le modèle V_g ou le modèle de loi de puissance ou le modèle AHI s'il démontre une meilleure adaptation avec les données.
- Dans le cas de $t_{ox} \leq 2$ nm, sauf indication contraire il convient d'utiliser le modèle de la loi de puissance ou le modèle AHI s'il fournit une meilleure adaptation des données.

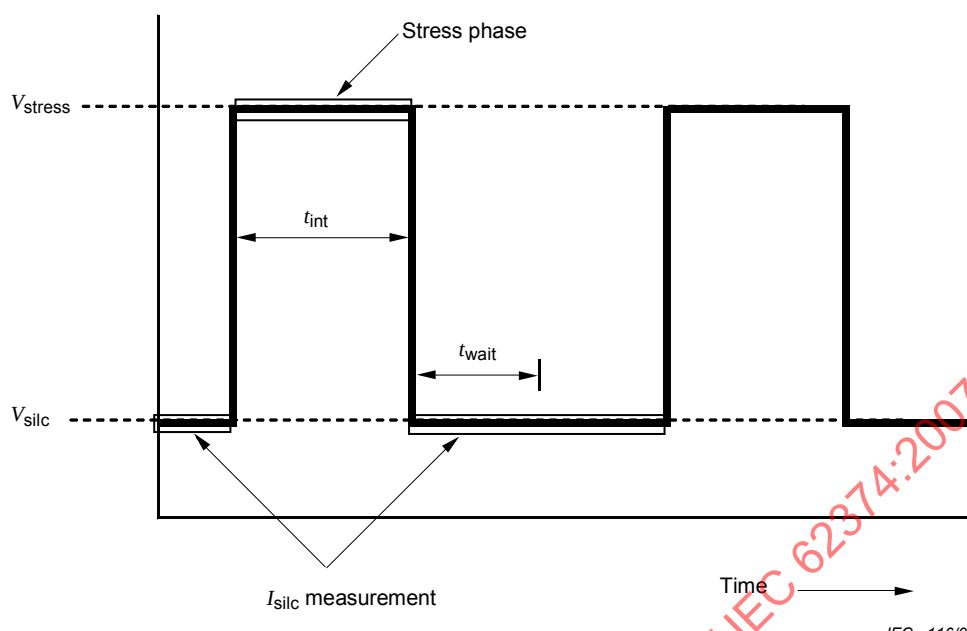


Figure 3 – Timing diagram showing the implementation of the stress interruption technique for monitoring the change in SILC (t_{init} shall be $<1\%$ of the anticipated t_{bd})

6 Lifetime estimation

6.1 General

The method to get the temperature and voltage acceleration factor is explained in this section.

6.2 Acceleration model

6.2.1 General

E_{ox} model and $1/E_{\text{ox}}$ model are widely used models. Both models usually contain the temperature acceleration model (Arrhenius model).

To contrast the two models, the E_{ox} model gives a more conservative estimation of lifetime than the $1/E_{\text{ox}}$ model gives. The $1/E_{\text{ox}}$ model should not be used for very thin oxide under 5 nm as an acceleration model. The Power-law model or Anode hole injection model (AHI-model) is advocated as an acceleration model for very thin oxides.

The appropriate lifetime model should be used depending on the thickness (t_{ox}).

- In the case of $t_{\text{ox}} \geq 5$ nm, the E_{ox} model should be used unless otherwise specified or the $1/E_{\text{ox}}$ model provides a better fit of the data.
- In the case of $2 \text{ nm} < t_{\text{ox}} < 5$ nm, the V_g -model should be used unless otherwise specified or the Power-law model or AHI-model provides a better fit of the data.
- In the case of $t_{\text{ox}} \leq 2$ nm, the Power-law model should be used unless otherwise specified or AHI-model provides a better fit of the data.

NOTE Il faut que le facteur d'accélération avec les 1ères données de claquage soit obtenu.

Lorsqu'il est nécessaire de projeter la durée de vie du produit au-delà du 1er claquage, il faut que les paramètres d'accélération pour le claquage mou postérieur soient obtenus.

La durée de vie du claquage progressif (*PBD Progressive Breakdown*) pourrait être comme suit:

$TTF(\text{estimé à partir de PBD}) \tau = TTF(\text{estimation à partir du 1er claquage}) \times tbd2/tbd1$

tbd1: données obtenues 1er claquage

tbd2: données obtenues après claquage mou

6.2.2 Modèle E_{ox} [2][3]

$$TTF = A \times \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right) \exp(-\gamma_{Eox} E_{ox}) \quad (4)$$

où

TTF est la durée de fonctionnement avant défaillance;

A est une constante;

E_{ox} est le champ électrique d'oxyde;

k est la constante de Boltzmann;

γ_{Eox} est le facteur d'accélération du champ électrique;

E_a est l'énergie d'activation;

T est la température absolue.

6.2.3 Modèle V_g [4]

$$TTF = A \times \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right) \exp(-\gamma_{Vg} V_g) \quad (5)$$

où

TTF est la durée de fonctionnement avant défaillance;

A est une constante;

V_g est la tension de grille;

k est la constante de Boltzmann;

γ_{Vg} est le facteur d'accélération de tension;

E_a est l'énergie d'activation;

T est la température absolue.

6.2.4 Modèle $1/E_{ox}$ (il convient de ne pas l'utiliser pour des couches d'oxyde très minces inférieures à 5 nm) [2][3][5]

$$TTF = A \times \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right) \exp\left(\frac{G}{E_{ox}}\right) \quad (6)$$

où

TTF est la durée de fonctionnement avant défaillance;

A est une constante;

E_{ox} est le champ électrique d'oxyde;

k est la constante de Boltzmann;

G est le facteur d'accélération du champ électrique;

E_a est l'énergie d'activation;

T est la température absolue.

NOTE The acceleration factor with the first breakdown data must be obtained.

When it is necessary to project the product lifetime beyond the first breakdown, the acceleration parameters for post-soft breakdown must be obtained.

Lifetime of PBD (Progressive Breakdown) could be as follows:

$TTF(\text{estimated from PBD}) \tau = TTF(\text{estimate from 1st breakdown}) \times tbd2/tbd1$

tbd1: data obtained 1st breakdown

tbd2: data obtained after soft breakdown

6.2.2 E_{ox} model [2][3]

$$TTF = A \times \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right) \exp(-\gamma_{Eox} E_{ox}) \quad (4)$$

where

TTF is the time to failure;

A is a constant;

E_{ox} is the oxide electric field;

k is the Boltzmann constant;

γ_{Eox} is the electric field acceleration factor;

E_a is the activation energy;

T is the absolute temperature.

6.2.3 V_g model [4]

$$TTF = A \times \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right) \exp(-\gamma_{Vg} V_g) \quad (5)$$

where

TTF is the time to failure;

A is a constant;

V_g is the gate voltage;

k is the Boltzmann constant;

γ_{Vg} is the voltage acceleration factor;

E_a is the activation energy;

T is the absolute temperature.

6.2.4 $1/E_{ox}$ model (should not be used for very thin oxide under 5 nm) [2][3][5]

$$TTF = A \times \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right) \exp\left(\frac{G}{E_{ox}}\right) \quad (6)$$

where

TTF is the time to failure;

A is a constant;

E_{ox} is the oxide electric field;

k is the Boltzmann constant;

G is the electric field acceleration factor;

E_a is the activation energy;

T is the absolute temperature.

6.2.5 Modèle de la loi de puissance [6][7][8]

$$TTF = A \times \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right) \times V_g^n \quad (7)$$

où

TTF est la durée de fonctionnement avant défaillance;

A est une constante;

V_g est la tension ajoutée à la grille;

k est la constante de Boltzmann;

n est le facteur d'accélération de tension;

E_a est l'énergie d'activation;

T est la température absolue.

6.2.6 Modèle non linéaire (Modèle d'injection de trous d'anode) [9][10][11]

$$TTF = \frac{Q_P}{J_h} = \frac{Q_P}{\gamma \times J_e \times T_h} \quad (8)$$

TTF a une relation non linéaire à V_{OX} , donc (9) est extrait comme suit:

$$\frac{\partial(\ln(TTF))}{\partial V_{OX}} = \frac{\partial(\ln(Q_P))}{\partial V_{OX}} - \left\{ \frac{\partial(\ln(\gamma))}{\partial V_{OX}} + \frac{\partial(\ln(J_e))}{\partial V_{OX}} + \frac{\partial(\ln(T_h))}{\partial V_{OX}} \right\} \quad (9)$$

où

Q_P est le courant de trous critique;

J_h est le courant de trous;

γ est le rendement quantique d'ionisation d'impact;

J_e est le courant tunnel d'électrons injecté dans l'anode;

T_h est la probabilité tunnel de trou généré;

V_{OX} est la tension ajoutée à la couche d'oxyde.

6.3 Procédure de l'estimation de la durée de vie

- Effectuer un tracé de chaque donnée de contrainte en utilisant la loi de Weibull ou la distribution log-normale. Uniquement Weibull est recommandée comme distribution de choix. (Explication de Weibull, voir [12].) Taux de défaillance cumulatif d'axe gauche et temps de rupture de l'axe inférieur, voir la Figure 4.
- Calculer chaque temps de défaillance $t(F\%)$. (" $t(F\%)$ " signifie le temps pour atteindre la défaillance cumulative en pour-cent.) Effectuer ensuite un tracé de chaque temps de défaillance par rapport aux valeurs de champ électrique (modèle E_{OX}) ou aux valeurs de tension de grille (modèle de la loi de puissance) ou nombre réciproque du champ électrique (modèle $1/E_{OX}$). Calculer le facteur d'accélération du champ électrique de la pente (voir la Figure 5). Puis, effectuer un tracé de chaque défaillance par rapport au nombre réciproque de température ($1/T$). Calculer le facteur d'accélération de température de la pente (énergie d'activation) (voir la Figure 6).

En utilisant les facteurs d'accélération ci-dessus, estimer la durée de vie $t(F\%)$ dans les conditions d'utilisation (une certaine température et une certaine tension).

6.2.5 Power law model [6][7][8]

$$TTF = A \times \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right) \times V_g^n \quad (7)$$

where

TTF is the time to failure;

A is a constant;

V_g is the gate voltage;

k is the Boltzmann constant;

n is the voltage acceleration factor;

E_a is the activation energy;

T is the absolute temperature.

6.2.6 Non-linear model (Anode hole injection model) [9][10][11]

$$TTF = \frac{Q_P}{J_h} = \frac{Q_P}{\gamma \times J_e \times T_h} \quad (8)$$

TTF has a non-linear relationship to V_{OX} , so (9) is extracted as follows:

$$\frac{\partial(\ln(TTF))}{\partial V_{OX}} = \frac{\partial(\ln(Q_P))}{\partial V_{OX}} - \left\{ \frac{\partial(\ln(\gamma))}{\partial V_{OX}} + \frac{\partial(\ln(J_e))}{\partial V_{OX}} + \frac{\partial(\ln(T_h))}{\partial V_{OX}} \right\} \quad (9)$$

where

Q_P is the critical hole current;

J_h is the hole current;

γ is the Quantum yield of impact ionization;

J_e is the electron tunnelling current injected into the anode;

T_h is the tunnelling probability of generated hole;

V_{OX} is the voltage added to the oxide film.

6.3 A procedure for a lifetime estimation

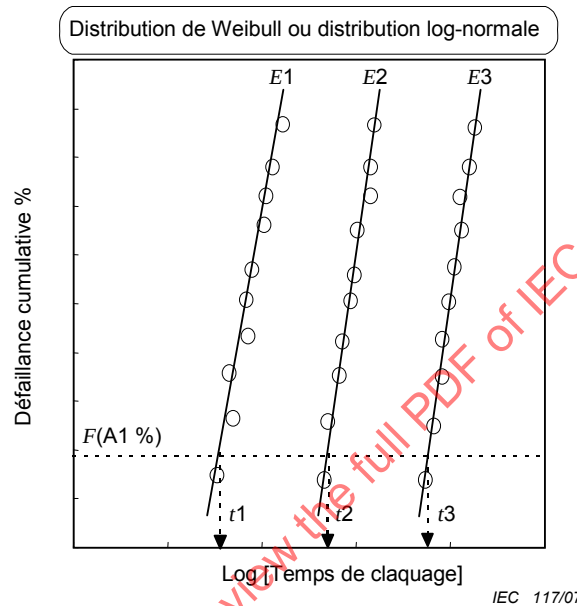
- Make a plot of each stress data using Weibull distribution or Lognormal distribution. Only Weibull is recommended as the distribution of choice. (For the explanation of Weibull, see [12]). For label left axis cumulative failure rate and bottom axis breakdown time, see Figure 4.
- Calculate each failure time $t(F\%)$. (" $t(F\%)$ " stands for "time to reach cumulative percentage failure"). Next, make a plot of each failure time versus electric field values (E_{OX} model) or gate voltage values (Power-law model) or the reciprocal number of the electric field ($1/E_{OX}$ model). Calculate the electric field acceleration factor from the slope (see Figure 5). Then plot each failure versus reciprocal number of temperature ($1/T$). Calculate the temperature acceleration factor from the slope (activation energy) (see Figure 6).

Using the above acceleration factors, estimate the lifetime $t(F\%)$ at the use condition (a certain temperature and voltage).

NOTE 1 Pour la statistique de Weibull le temps correct à déterminer est le temps à défaillance de 63,2 %. Il s'agit du temps caractéristique de la loi de Weibull et on lui attribue la confiance la plus grande. Dans le cas de la distribution log-normale, le temps correct serait le temps à défaillances de 50 %. Ainsi, lorsque le facteur d'accélération du champ électrique ou le facteur d'accélération de la température est calculé, il est préférable qu'il soit calculé avec le taux de défaillance qui est proche de cette valeur.

Il convient d'exiger et de présenter la répartition de défaillance cumulative, en particulier pour la loi de Weibull.

NOTE 2 Des essais rapides peuvent ne pas fournir de temps de claquage suffisamment longs pour fournir une résolution de temps appropriée et peuvent ne pas être suffisants pour déterminer le modèle d'accélération correct et le facteur correct d'accélération. Un essai à long terme au niveau du boîtier peut être requis.



$E1, E2, E3$ (MV/cm): champ électrique de contraintes de l'oxyde dans le cas à l'on utilise le modèle E_{ox} ou le modèle $1/E_{ox}$

$E1 > E2 > E3$ (MV/cm)

V_{g1}, V_{g2}, V_{g3} (V): tension de contrainte de l'oxyde dans le cas de l'utilisation du modèle V_g ou du modèle de la loi de puissance

$V_{g1} > V_{g2} > V_{g3}$ (V)

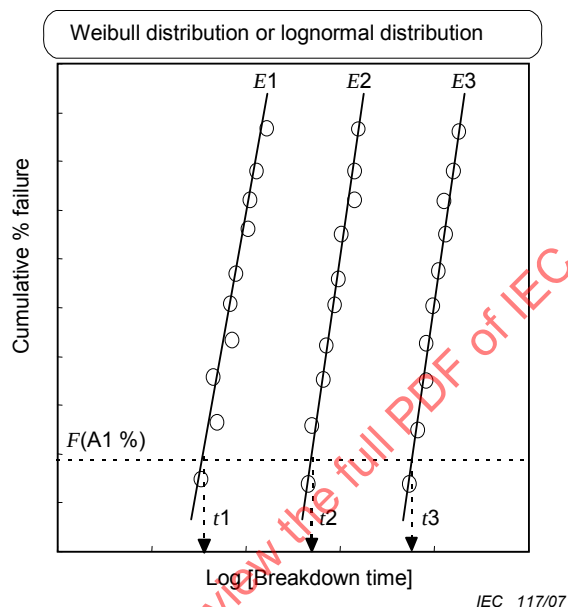
t_1, t_2, t_3 (h): temps de claquage lorsque la défaillance cumulative atteint A1 %.

Figure 4 – Ajustement en graphique de la distribution de Weibull/log-normale
(Weibull est recommandée)

NOTE 1 For the Weibull statistics, the correct time to be determined is the time at 63,2 % failure. It is the characteristic time of the Weibull distribution and has the largest confidence. In the case of the log-normal distribution, the correct time would be the time at 50 % failures. So, when the electric field acceleration factor or temperature acceleration factor is calculated, it is preferable that they be calculated with the failure rate which is near that value.

The cumulative failure distribution, especially for the Weibull distribution, should be required and shown.

NOTE 2 Fast tests may not provide long enough breakdown times to provide adequate time resolution and may not be enough to determine the correct acceleration model and the correct acceleration factor. A long term test on the package level may be required.



$E1, E2, E3$ (MV/cm) : stress electric field to the oxide in the case of using the E_{ox} -model or $1/E_{ox}$ model

$E1 > E2 > E3$ (MV/cm)

V_{g1}, V_{g2}, V_{g3} (V) : stress voltage to the oxide in the case of using the V_g -model or Power law model

$V_{g1} > V_{g2} > V_{g3}$ (V)

$t1, t2, t3$ (h): breakdown time when the cumulative failure reaches A1 percent.

Figure 4 – Graph fitted Weibull/Lognormal distribution
(Weibull is recommended)

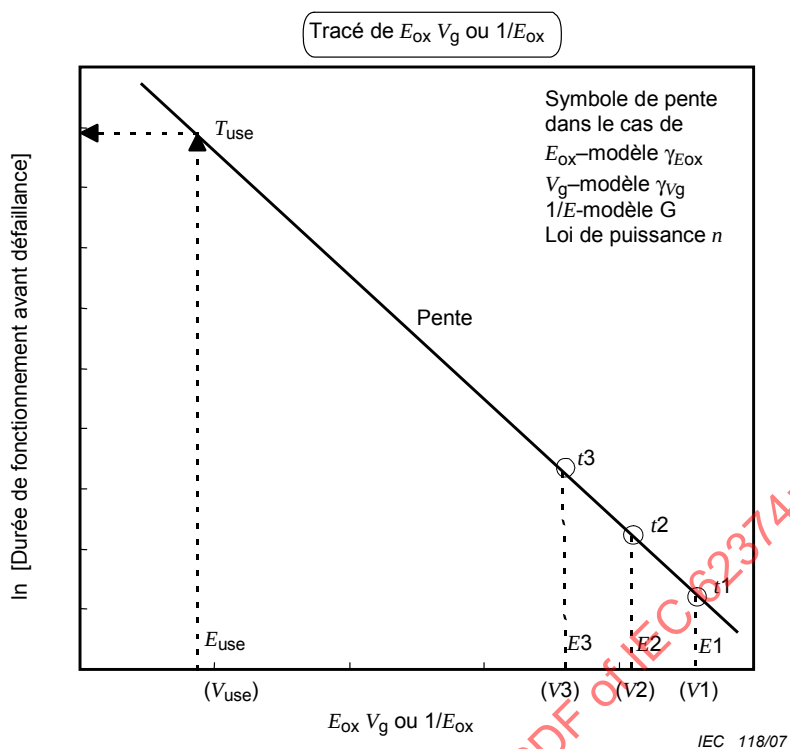


Figure 5 – Procédure d'estimation du facteur d'accélération électrique

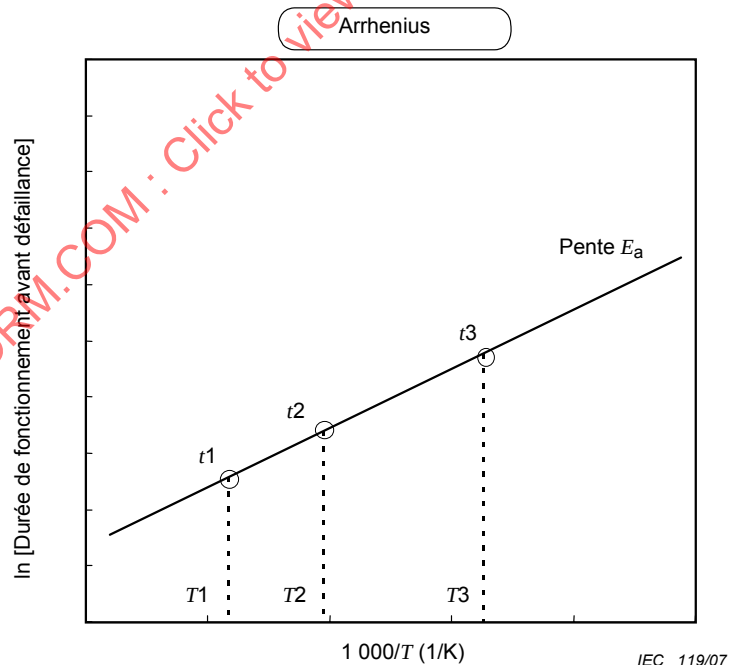


Figure 6 – Procédure d'estimation de l'énergie d'activation

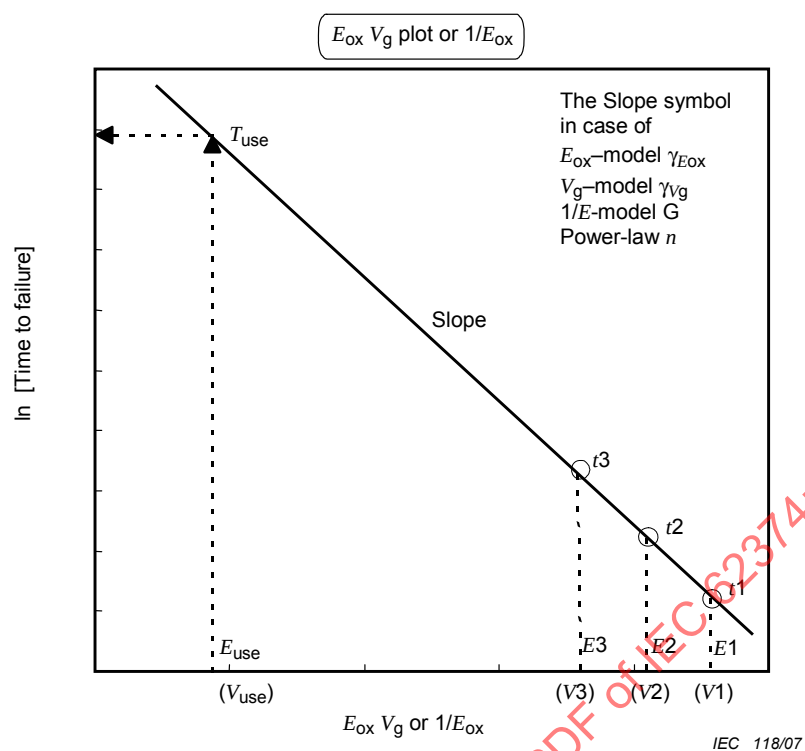


Figure 5 – Estimate procedure of electric acceleration factor

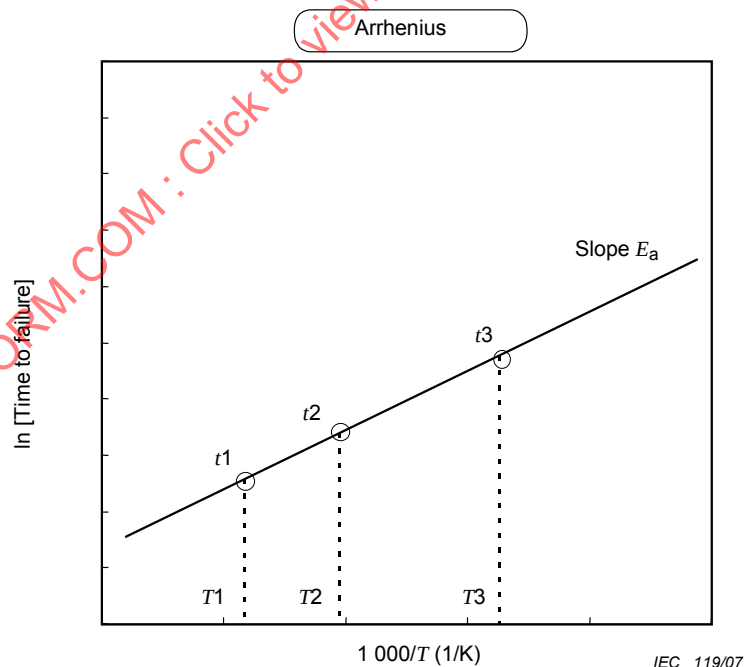


Figure 6 – Estimation procedure of activation energy

7 Dépendance de la durée de vie par rapport à la surface de l'oxyde de grille

La durée de vie révisée est souvent utilisée pour effectuer l'estimation de la durée de vie des produits réels avec diverses surfaces de grille. Pour convertir la durée de vie des échantillons d'essai avec une certaine surface de grille en une durée de vie des produits réels avec une surface de grille différente, la formule suivante présente une procédure simple et facile, utilisant un paramètre de loi de Weibull. La formule (10) s'applique uniquement à Weibull, donc uniquement Weibull est recommandée comme distribution de choix.

$$TTF_2 = TTF_1 \times \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^{1/m} \quad (10)$$

où

TTF_1, A_1 est la durée de fonctionnement avant défaillance de l'échantillon d'essai et sa surface de grille;

TTF_2, A_2 est la durée de fonctionnement avant défaillance du produit réel et sa surface de grille;

m est le paramètre de forme de la distribution de Weibull.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62374:2007