

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Semiconductor devices – Constant current electromigration test

Dispositifs à semiconducteurs – Essai d'électromigration en courant constant

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62415:2010



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2010 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Semiconductor devices – Constant current electromigration test

Dispositifs à semiconducteurs – Essai d'électromigration en courant constant

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

L

ICS 31.080

ISBN 978-2-88910-949-4

CONTENTS

FOREWORD.....	3
1 Scope.....	5
2 Symbols, terms and definitions	5
2.1 Symbols	5
2.2 Terms and definitions	5
3 Background	6
4 Sample size.....	6
5 Test structures	6
5.1 Lines	6
5.2 Via chains	7
5.3 Contact chains	7
6 Test conditions	7
7 Failure criteria	8
8 Data analysis.....	8
Bibliography.....	11
Figure 1 – TEG of electromigration evaluation for metal line	6
Figure 2 – TEG of electromigration evaluation for vias	7
Figure 3 – Graph fitted lognormal distribution	8
Figure 4 – Estimate procedure of current density exponent.....	9
Figure 5 – Estimation procedure of activation energy.....	10

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62415:2010

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SEMICONDUCTOR DEVICES –
CONSTANT CURRENT ELECTROMIGRATION TEST**

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 62415 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
47/2044/FDIS	47/2054/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.

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62415:2010

SEMICONDUCTOR DEVICES – CONSTANT CURRENT ELECTROMIGRATION TEST

1 Scope

This standard describes a method for conventional constant current electromigration testing of metal lines, via string and contacts.

2 Symbols, terms and definitions

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

2.1 Symbols

2.1.1

$J_{\text{via_use}}$

the maximum current density permitted to flow in a via of a real product

2.1.2

$J_{\text{line_use}}$

the maximum current density permitted to flow in a line of a real product

2.1.3

$J_{\text{via_test}}$

the current density in a via of a test structure during electromigration test

2.1.4

$J_{\text{line_test}}$

the current density in a line of a test structure during electromigration test

2.1.5

$t(x \%)$

time to failure of x % of the population

NOTE The method for calculation of t (50 %) is described in Clause 8.

2.2 Terms and definitions

2.2.1

TEG

test element group. This is the test structure used for the test

2.2.2

Blech length

the line length below which electromigration time to failure increases sharply [1]¹

NOTE The drift of metal atoms causes stress build-up in the metal lines, which caused a back flow of atoms.

For short lines the stress gradient is higher than for long lines with the same current density. The forward flow increases more rapidly with current density than the backflow, and consequently the Blech length is inversely proportional to the current density. The Blech length can be determined by using a chain with different line lengths between the vias.

¹ Figures in square brackets refer to the Bibliography.

3 Background

The background of electromigration testing as described in this procedure is based on the assumption that the entire electromigration failure time distribution stays intact when accelerated. Acceleration can be described by an activation energy and a current acceleration factor, as originally proposed by Black [2].

4 Sample size

15 samples or more are recommended for each test (each test structure, temperature and current density). In some cases, to get a better statistical confidence of the results or to analyze a bimodal distribution, a higher number of samples might be necessary.

5 Test structures

5.1 Lines

Electromigration characterization shall be carried out on fully back-end processed samples. The metal line test structure in a 4-terminal (Kelvin) configuration shall be used (see Figure 1a). The line length is recommended to be at least 800 μm . The use of monitors for opens, inter-layer shorts and optional intra-layer shorts is recommended (see Figure 1b). The line length is determined by the constraints that short lines are not sensitive to failure and exhibit the Blech effect [1], and too long lines require high voltages. For line lengths $<200 \mu\text{m}$ the Blech effect shall be verified.

The line width shall be process-dependent. Narrow lines carry higher current densities and are more susceptible to electromigration failure. On the other hand, lines with width smaller than the grain size may have longer lifetime than wider lines due to the bamboo effect [3]. Therefore, lines with the minimum design rule width or the line width that gives the shortest life time (e.g. wide lines with width greater than the grain size, that are more representative of the current carrying lines in the circuit) shall be used in the test. Other line widths may be added if necessary.

Metal lines of each layer, both over a flat surface as well as over topography (only for processes without planarized back-end), should be used.

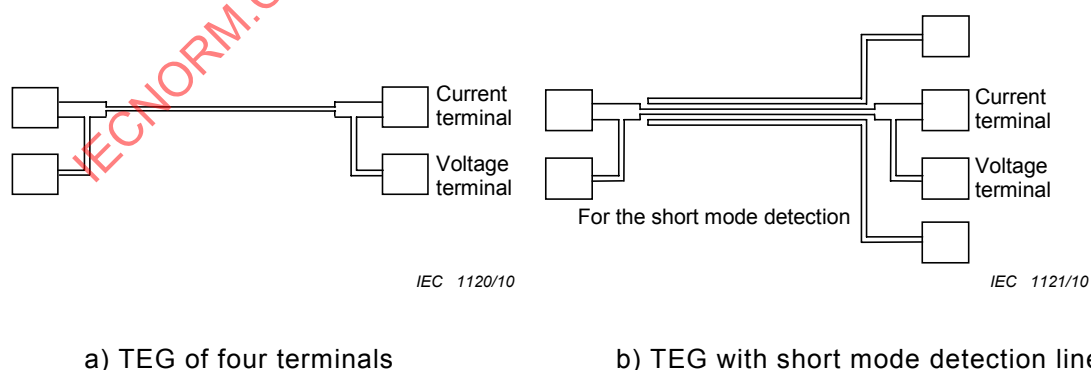


Figure 1 – TEG of electromigration evaluation for metal line

5.2 Via chains

This is a chain of vias between metal layers connected in series. The via chain test structure shall contain at least 10 vias (see Figure 2).

As an option, test structures may be used where the contacts between metal layers are formed by a number of vias in parallel. The number of vias per contact may be determined by the following requirement:

$$\frac{J_{\text{via_test}}}{J_{\text{line_test}}} = \frac{J_{\text{via_use}}}{J_{\text{line_use}}} \quad (1)$$

Via size shall be the minimum design dimensions. Metal line length between vias shall exceed the Blech length, to avoid stress induced atomic back diffusion counteracting electromigration. For line lengths <200 µm the Blech effect shall be verified.

Via current density is defined as the current divided by the via area (ignoring current crowding).

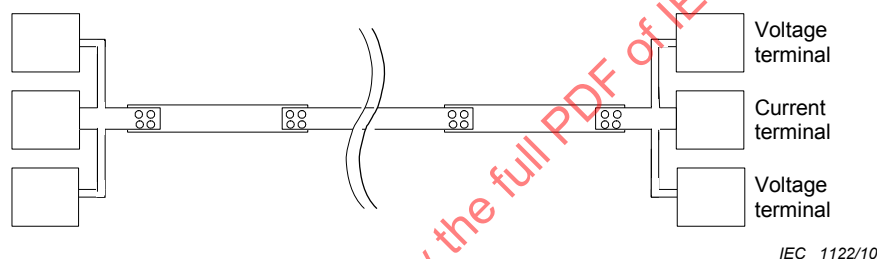


Figure 2 – TEG of electromigration evaluation for vias

5.3 Contact chains

This is a chain of contacts to n+, in substrate or p-well, or p+ in n-well. The number of contacts shall be kept low as the voltage required to force the stress current is limited by the junction breakdown voltage. Contact size shall be the minimum design dimension. Metal length between contacts shall exceed the Blech length. For line lengths <200 µm the Blech effect shall be verified.

Contact current density is defined as the current divided by the contact area (ignoring current crowding).

6 Test conditions

Current density values are determined by the constraints that too low currents cause long test times, and too high currents may cause non-uniform heating and irrelevant failures. Practical values are in the order of 10⁵ A/cm² – 10⁶ A/cm² for both Al and Cu lines. For contacts and vias, 10 times the design limit is typically used.

It shall be verified if Joule heating is significant. This verification is done by determining the temperature coefficient of resistance of the metal line, and comparing the resistance at the test condition with the resistance at low current density. When Joule heating is significant the line temperature shall be corrected for Joule heating [4] and data shall be available to demonstrate that the failure mechanism has not changed.

Test ambient temperature is typically 150 °C – 250 °C (250 °C – 350 °C for Cu). Higher temperatures are allowed if no change in mechanism can be demonstrated.

The typical test conditions shown above guarantee usually sufficient degradation in a reasonable time (days or weeks).

7 Failure criteria

Open failure: typically 10 % – 30 % resistance change.

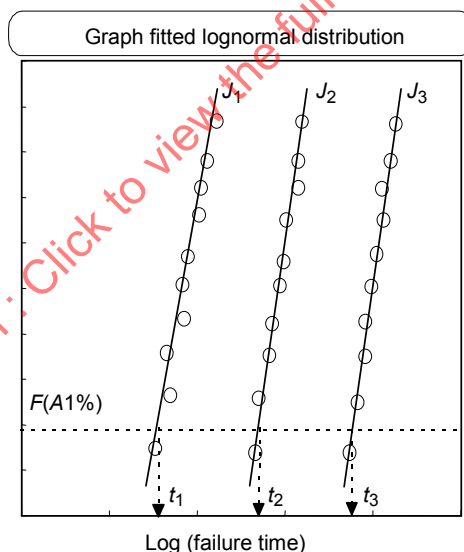
Short failure: contact detection in extrusion monitors.

Contact spiking: a substrate leakage current increase of two decades.

8 Data analysis

The time to failure is estimated by fitting a lognormal distribution through the data points (see Figure 3). For plotting the use of the failed fraction according to the mean rank method is recommended: $f = n/(N + 1)$, in which f is the failed fraction, n is the number of failed test structures and N the total sample size. The use of other methods, e.g. median rank ($f = (n - 0,3)/(N + 0,4)$), is allowed but shall be reported. Fitting to be done with the least squares or maximum likelihood methods. Calculate the each failure time $t(F\%)$.

The confidence interval is determined using the t -distribution. The confidence level used shall be reported



IEC 1123/10

Key

J_1, J_2, J_3 (A/cm²) :
stress current density to line or via

$J_1 > J_2 > J_3$ (A/cm²)

t_1, t_2, t_3 (h): failure time when the cumulative failure reaches A1 percent.

Figure 3 – Graph fitted lognormal distribution

Extrapolation to other conditions is done using Black's equation with no line width term:

$$t(x\%) = A \cdot j^{-n} \cdot \exp(Ea/(k \cdot T)) \quad (2)$$

where

A is a process-dependent factor,

j is the current density,

n is the current exponent,

Ea is the activation energy,

k is the Boltzmann constant, and

T is the absolute temperature.

It is assumed that this formula holds for all fail percentages, in other words that the spread of the distribution is not affected by the acceleration.

For the determination of the activation energy Ea , three temperatures, and for the determination of the current density exponent n , three current densities should be used.

The power exponent “ n ” is determined by plotting for a fixed temperature the logarithm of $t(A1\%)$ versus current density. The slope of this plot gives n (see Figure 4).

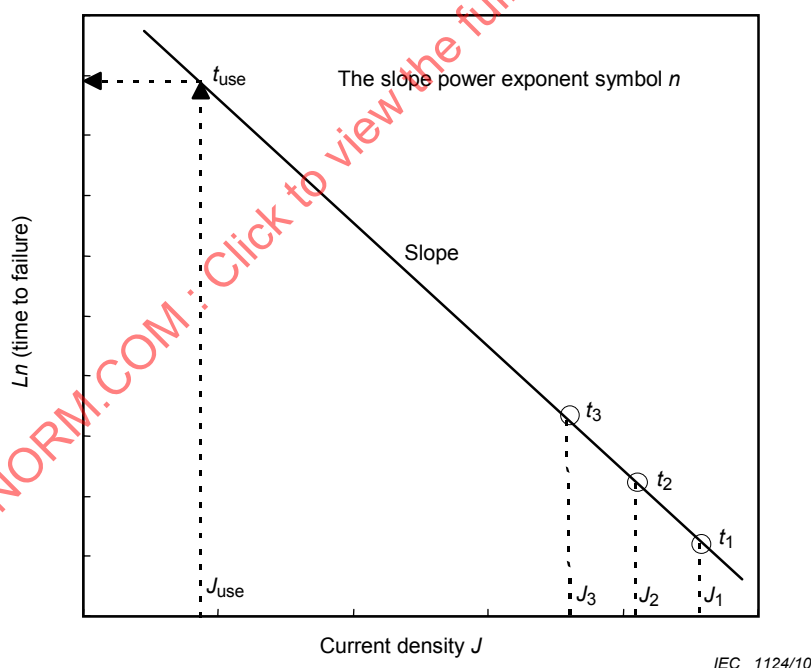


Figure 4 – Estimate procedure of current density exponent

The activation energy is determined by plotting for a fixed current density the logarithm of $t(A1\%)$ versus $1/T$. The slope of this plot gives Ea (see Figure 5). Using above acceleration factors, estimate lifetime $t(F\%)$ in the use condition (a certain temperature and current density).

NOTE For Log normal distribution the correct time to be determined is the time at 50 % failure. It has the largest confidence. So, when the current density power exponent or temperature acceleration factor is calculated, it is preferable to calculate using the failure rate which is near to 50 %.

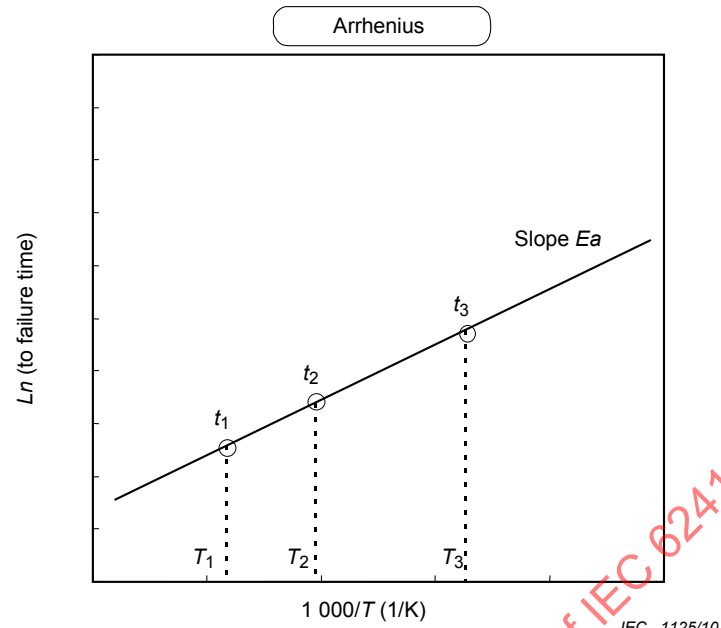


Figure 5 – Estimation procedure of activation energy

When a sufficient data base is available, Ea and n can be extracted from that data base for reasonably similar processes.

Typical values for Ea and n shall be used, unless determined otherwise:

$Ea = 0,85$ eV, $n = 1,7$ AlCu bamboo

$Ea = 0,65$ eV, $n = 2$ AlCu polycrystalline

$Ea = 0,70$ eV, $n = 2$ AlSiCu

$Ea = 0,55$ eV, $n = 2$ AlSi

$Ea = 0,90$ eV, $n = 1,1$ Cu

Bibliography

- [1] "*Electromigration in Thin Aluminum films on Titanium Nitride*", I. Blech, J. Appl. Phys., 47, 1976, pp. 1203.
- [2] "*Electromigration failure modes in aluminum metallization for semiconductor devices*", J.R.Black, Proc. IEEE 57, 1587, 1969.
- [3] "*Linewidth dependence of electromigration in evaporated Al-0.5 %Cu,*", S. Vaidya, T.T. Sheng, A.K. Sinha , Applied Physics Letters, 1980,Volume 36, Issue 6, pp. 464-466.
- [4] "*Standard Method for Measuring and Using the Temperature Coefficient of Resistance to Determine the Temperature of a Metallization Line*", EIA/JESD 33.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62415:2010

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	13
1 Domaine d'application	15
2 Symboles, termes et définitions	15
2.1 Symboles	15
2.2 Termes et définitions	15
3 Contexte.....	16
4 Nombre d'échantillons	16
5 Structures d'essai.....	16
5.1 Lignes	16
5.2 Chaînes de trous de liaison	17
5.3 Chaîne de contacts	17
6 Conditions d'essai	18
7 Critères de défaillance.....	18
8 Analyse de données	18
Bibliographie.....	22
Figure 1 – TEG d'évaluation de l'électromigration pour ligne métallique.....	17
Figure 2 – TEG d'évaluation de l'électromigration pour trou de liaison	17
Figure 3 – Ajustement en graphique de la distribution log-normale	19
Figure 4 – Procédure d'estimation de l'exposant de densité de courant	20
Figure 5 – Procédure d'estimation de l'énergie d'activation.....	21

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62415:2010

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – ESSAI D'ÉLECTROMIGRATION EN COURANT CONSTANT

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de 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 62415 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
47/2044/FDIS	47/2054/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.

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62415:2010

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – ESSAI D'ÉLECTROMIGRATION EN COURANT CONSTANT

1 Domaine d'application

La présente norme décrit une méthode pour des essais conventionnels d'électromigration en courant constant de lignes métalliques, de chaînes de trous de liaison et de contacts de trous de liaison.

2 Symboles, termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les symboles, termes et définitions suivants s'appliquent.

2.1 Symboles

2.1.1

$J_{\text{via_use}}$

densité de courant maximale autorisée à circuler dans un trou de liaison d'un produit réel

2.1.2

$J_{\text{line_use}}$

densité de courant maximale autorisée à circuler dans une ligne d'un produit réel

2.1.3

$J_{\text{via_test}}$

densité de courant dans un trou de liaison d'une structure d'essai au cours de l'essai d'électromigration

2.1.4

$J_{\text{line_test}}$

densité de courant dans une ligne d'une structure d'essai au cours de l'essai d'électromigration

2.1.5

$t(x \%)$

durée de fonctionnement avant défaillance de x % de la population

NOTE La méthode de calcul de $t(50 \%)$ est décrite dans l'Article 8.

2.2 Termes et définitions

2.2.1

TEG¹

groupe d'éléments d'essai. C'est la structure d'essai utilisée pour l'essai

2.2.2

longueur Blech

longueur de ligne en dessous de laquelle la durée d'électromigration avant défaillance augmente brusquement [1]²

¹ TEG = *test element group*.

² Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

NOTE La dérive des atomes métalliques provoque une formation de contraintes dans les lignes métalliques, donnant lieu à un retour de flux d'atomes.

Concernant les lignes courtes, le gradient de contrainte est supérieur à celui des lignes longues avec la même densité de courant. Le flux direct augmente plus rapidement avec la densité de courant que le retour de flux, et par conséquent, la longueur Blech est inversement proportionnelle à la densité de courant. La longueur Blech peut être déterminée à l'aide d'une chaîne dotée de différentes longueurs de lignes entre les trous de liaison.

3 Contexte

Le contexte des essais d'électromigration décrits dans la présente procédure est fondé sur l'hypothèse que la répartition complète de la durée de défaillance de l'électromigration reste intacte lors de son accélération. L'accélération peut être décrite par une énergie d'activation et un facteur d'accélération de courant, ainsi que l'a proposé Black à l'origine [2].

4 Nombre d'échantillons

Au moins 15 échantillons sont recommandés pour chaque essai (chaque structure d'essai, température et densité de courant). Dans certains cas, afin d'obtenir une meilleure confiance statistique des résultats ou d'analyser une répartition bimodale, un nombre supérieur d'échantillons peut être nécessaire.

5 Structures d'essai

5.1 Lignes

Il doit être effectué la caractérisation de l'électromigration sur des échantillons entièrement traités (assemblage et essai). Il doit être utilisée la structure d'essai de ligne métallique dans une configuration 4 bornes (Kelvin) (voir la Figure 1a). La longueur de ligne recommandée est d'au moins 800 μm . Il est recommandé d'utiliser des lignes de contrôle pour les circuits ouverts, les courts-circuits entre couches et les courts-circuits dans les couches facultatifs (voir la Figure 1b). La longueur de ligne est déterminée par les contraintes liées au fait que les lignes courtes ne sont pas sensibles à la défaillance et ne présentent pas l'effet Blech [1], et que les lignes trop longues requièrent des hautes tensions. Pour les longueurs de ligne $< 200 \mu\text{m}$, il doit vérifier l'effet Blech.

La largeur de ligne doit être dépendante du processus. Des lignes étroites transportent des densités de courant plus élevées et sont plus sensibles à une défaillance d'électromigration. Par ailleurs, des lignes dont la largeur est plus petite que la taille de grain peuvent avoir une durée de vie plus longue que celle des lignes plus larges en raison de l'effet bambou [3]. De ce fait, il doit être utilisé dans l'essai les lignes de largeur selon la règle de conception minimale ou la largeur de ligne donnant la durée de vie la plus courte (par exemple, des lignes larges dont la largeur est plus grande que la taille de grain, qui sont plus représentatives des lignes d'amenée de courant dans le circuit). D'autres largeurs de ligne peuvent être ajoutées, si nécessaire.

Il convient d'utiliser des lignes métalliques de chaque couche, sur une surface plane, ainsi qu'au-dessus des reliefs (uniquement pour les processus sans extrémité arrière planée).

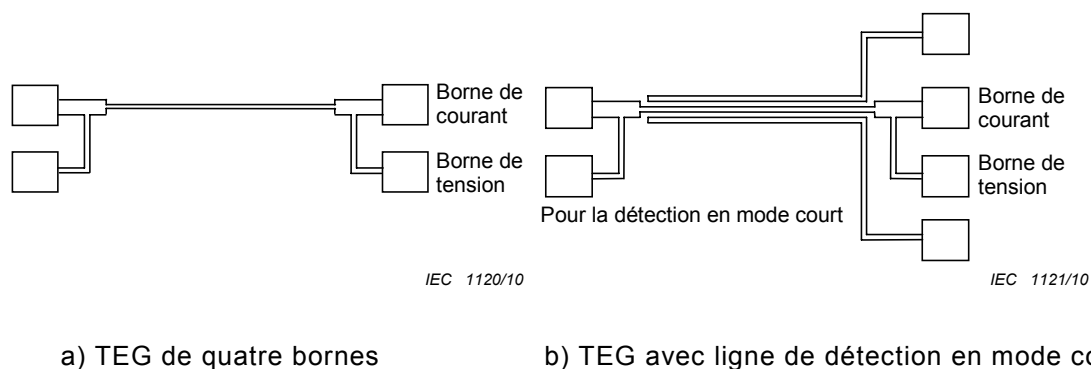


Figure 1 – TEG d'évaluation de l'électromigration pour ligne métallique

5.2 Chaînes de trous de liaison

Il s'agit d'une chaîne de trous de liaison entre des couches métalliques connectés en série. La structure d'essai de la chaîne de trous de liaison doit contenir au moins 10 trous de liaison (voir la Figure 2).

En tant qu'option, des structures d'essai peuvent être utilisées là où les contacts entre les couches métalliques sont formés par un certain nombre de trous de liaison en parallèle. Le nombre de trous de liaison par contact peut être déterminé par l'exigence suivante:

$$\frac{J_{\text{via_test}}}{J_{\text{line_test}}} = \frac{J_{\text{via_use}}}{J_{\text{line_use}}} \quad (1)$$

La taille du trou de liaison doit correspondre aux dimensions de conception minimales. La longueur de ligne métallique entre les trous de liaison doit dépasser la longueur Blech, pour éviter que la rétrodiffusion des atomes induite par les contraintes ne neutralise l'électromigration. Pour les longueurs de ligne <200 µm, il doit vérifier l'effet Blech.

La densité de courant des trous de liaison est définie comme le courant divisé par la zone des trous de liaison (en ignorant la défocalisation).

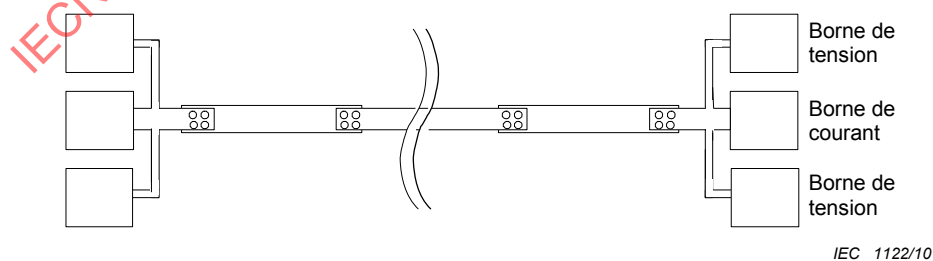


Figure 2 – TEG d'évaluation de l'électromigration pour trou de liaison

5.3 Chaîne de contacts

Il s'agit d'une chaîne de contacts à n+ dans le substrat ou le puits p, ou p+ dans le puits n. Il doit maintenir faible le nombre de contacts, car la tension exigée pour forcer le courant de contrainte est limitée par la tension de claquage de jonction. La taille du contact doit

correspondre à la dimension de conception minimale. La longueur métallique entre les contacts doit dépasser la longueur Blech. Pour les longueurs de ligne $< 200 \mu\text{m}$, l'effet Blech doit être vérifié.

La densité de courant des contacts est définie comme le courant divisé par la zone de contact (en ignorant la défocalisation).

6 Conditions d'essai

Les valeurs de densités de courant sont déterminées par les contraintes liées à des courants trop faibles entraînant de longues durées d'essais, et à des courants trop élevés susceptibles de provoquer un échauffement non uniforme et des défaillances non pertinentes. Les valeurs pratiques sont de l'ordre de 10^5 A/cm^2 – 10^6 A/cm^2 tant pour les lignes en aluminium que les lignes en cuivre. Pour les contacts et les trous de liaison, on utilise généralement 10 fois la limite de conception utilisée.

Il doit être vérifié si l'échauffement par effet Joule est significatif. Cette vérification est effectuée en déterminant le coefficient de température de résistance de la ligne métallique, et en comparant la résistance en conditions d'essai avec la résistance à faible densité de courant. Lorsque l'échauffement par effet Joule est significatif, il faut que la température de la ligne soit corrigée pour ce qui concerne l'échauffement par effet Joule [4] et les données doivent être disponibles pour démontrer que le mécanisme de défaillances n'a pas varié.

La température ambiante d'essai est généralement la suivante: 150°C – 250°C (250°C – 350°C pour le cuivre). Des températures supérieures sont autorisées si aucune variation du mécanisme ne peut être démontrée.

Les conditions d'essais typiques présentées ci-dessus garantissent habituellement une dégradation suffisante en un temps raisonnable (en jours ou semaines).

7 Critères de défaillance

Défaillance de circuit ouvert: généralement, variation de résistance de 10 % – 30 %.

Défaillance de court-circuit: détection de contact dans les appareils de surveillance de l'extrusion.

Pointes de contact: augmentation de deux décades du courant de fuite au niveau du substrat.

8 Analyse de données

La durée de fonctionnement avant défaillance est estimée en recherchant une distribution log-normale passant par les points de données (voir Figure 3). Pour le traçage, l'utilisation de la partie défectueuse selon la méthode des rangs moyens est recommandée: $f = n/(N + 1)$, dans laquelle f est la fraction défectueuse, n est le nombre de structures d'essais défectueuses et N le nombre total d'échantillons. L'utilisation d'autres méthodes, comme celle du rang médian ($f = (n - 0,3)/(N + 0,4)$), est autorisée mais il doit signaler ce fait. L'ajustement est à faire avec la méthode des moindres carrés ou celle du maximum de vraisemblance. Calculer chaque temps de défaillance $t(F\%)$.

L'intervalle de confiance est déterminé à l'aide de la distribution de t . Le niveau de confiance utilisé doit être consigné.