

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Semiconductor devices – Non-destructive recognition criteria of defects in silicon carbide homoepitaxial wafer for power devices –
Part 3: Test method for defects using photoluminescence**

**Dispositifs à semiconducteurs – Critères de reconnaissance non destructifs des défauts au sein d'une plaquette homoépitaxiale de carbure de silicium pour des dispositifs d'alimentation –
Partie 3: Méthode d'essai pour les défauts à l'aide de la photoluminescence**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2020 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 l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
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 corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: sales@iec.ch.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) 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 IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Semiconductor devices – Non-destructive recognition criteria of defects in
silicon carbide homoepitaxial wafer for power devices –
Part 3: Test method for defects using photoluminescence**

**Dispositifs à semiconducteurs – Critères de reconnaissance non destructifs des
défauts au sein d'une plaquette homoépitaxiale de carbure de silicium pour des
dispositifs d'alimentation –
Partie 3: Méthode d'essai pour les défauts à l'aide de la photoluminescence**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.080.99

ISBN 978-2-8322-8614-2

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
4 Photoluminescence method	11
4.1 General.....	11
4.2 Principle	11
4.3 Requirements	11
4.3.1 Measuring equipment	11
4.3.2 Wafer positioning and focusing	13
4.3.3 Image capturing.....	13
4.3.4 Image processing	13
4.3.5 Image analysis	13
4.3.6 Image evaluation	14
4.3.7 Documentation	14
4.4 Parameter settings.....	14
4.4.1 General	14
4.4.2 Parameter setting process	14
4.5 Procedure	14
4.6 Evaluation.....	14
4.6.1 General	14
4.6.2 Mean width of planar and volume defects	14
4.6.3 Evaluation process	15
4.7 Precision.....	15
4.8 Test report	15
4.8.1 Mandatory elements	15
4.8.2 Optional elements.....	15
Annex A (informative) Photoluminescence images of defects	16
A.1 General.....	16
A.2 BPD	16
A.3 Stacking fault.....	17
A.4 Propagated stacking fault.....	18
A.5 Stacking fault complex	19
A.6 Polytype inclusion	19
Annex B (informative) Photoluminescence spectra of defects	21
B.1 General.....	21
B.2 BPD	21
B.3 Stacking fault.....	21
B.4 Propagated stacking fault.....	23
B.5 Stacking fault complex	23
B.6 Polytype inclusion	24
Bibliography.....	25

Figure 1 – Schematic diagram of PL imaging system	12
---	----

Figure A.1 – BPD	17
Figure A.2 – Stacking fault	18
Figure A.3 – Propagated stacking fault	18
Figure A.4 – Stacking fault complex	19
Figure A.5 – Polytype inclusion	20
Figure B.1 – PL spectrum from BPD	21
Figure B.2 – PL spectra from Frank-type stacking faults	22
Figure B.3 – PL spectra from Shockley-type stacking faults	22
Figure B.4 – PL spectra from various stacking faults in the wavelength range longer than 650 nm	23
Figure B.5 – PL spectrum from stacking fault complex	24
Figure B.6 – PL spectrum from polytype inclusion	24

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63068-3:2020

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SEMICONDUCTOR DEVICES – NON-DESTRUCTIVE RECOGNITION CRITERIA OF DEFECTS IN SILICON CARBIDE HOMOEPITAXIAL WAFER FOR POWER DEVICES –

Part 3: Test method for defects using photoluminescence

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 63068-3 has been prepared by IEC technical committee 47: Semiconductor devices.

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

FDIS	Report on voting
47/2628/FDIS	47/2638/RVD

Full information on the voting for the approval of this International Standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This document has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts in the IEC 63068 series, published under the general title *Semiconductor devices – Non-destructive recognition criteria of defects in silicon carbide homoepitaxial wafer for power devices*, can be found on the IEC website.

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63068-3:2020

INTRODUCTION

Silicon carbide (SiC) is widely used as a semiconductor material for next-generation power semiconductor devices. SiC, as compared with silicon (Si), has superior physical properties such as a higher breakdown electric field, higher thermal conductivity, lower thermal generation rate, higher saturated electron drift velocity, and lower intrinsic carrier concentration. These attributes realize SiC-based power semiconductor devices with faster switching speeds, lower losses, higher blocking voltages, and higher temperature operation relative to standard Si-based power semiconductor devices.

SiC-based power semiconductor devices are not fully realized due to some issues including high costs, low yield, and low long-term reliability. In particular, one of the serious issues lies in the defects existing in SiC homoepitaxial wafers. Although efforts of decreasing defects in SiC homoepitaxial wafers are actively implemented, there are a number of defects in commercially available SiC homoepitaxial wafers. Therefore, it is indispensable to establish an international standard regarding the quality assessment of SiC homoepitaxial wafers.

The IEC 63068 series of standards is planned to comprise Part 1, Part 2, and Part 3, as detailed below. This document provides definitions and guidance in use of photoluminescence for detecting defects in commercially available silicon carbide (SiC) homoepitaxial wafers.

Part 1: Classification of defects

Part 2: Test method for defects using optical inspection

Part 3: Test method for defects using photoluminescence

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63068-3:2020

SEMICONDUCTOR DEVICES – NON-DESTRUCTIVE RECOGNITION CRITERIA OF DEFECTS IN SILICON CARBIDE HOMOEPITAXIAL WAFER FOR POWER DEVICES –

Part 3: Test method for defects using photoluminescence

1 Scope

This part of IEC 63068 provides definitions and guidance in use of photoluminescence for detecting as-grown defects in commercially available 4H-SiC (Silicon Carbide) epitaxial wafers. Additionally, this document exemplifies photoluminescence images and emission spectra to enable the detection and categorization of the defects in SiC homoepitaxial wafers.

2 Normative references

There are no normative references in this document.

3 Terms and definitions

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

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

3.1 photoluminescence PL

emission of light from materials as a subsequence of electronic excitation by absorption of photons

3.2 photoluminescence imaging PL imaging

technique for capturing, processing and analysing images of defects using light source for electronic excitation, focusing optics, optical filter, optical image sensor and computer systems

3.3 focusing optics

lens system used for magnifying and capturing optical images

3.4 optical filter

optical component designed to transmit only a specific wavelength region and to block other regions

3.5 optical image sensor

device to transform an optical image into digital data

3.6

image capturing

process of creating a two-dimensional original digital image of defects in the wafer

3.7

original digital image

digitized image acquired by an optical image sensor, without performing any image processing

Note 1 to entry: An original digital image consists of pixels divided by a grid, and each pixel has a grey level.

3.8

charge-coupled device image sensor

CCD image sensor

light-sensitive integrated circuit chip that converts detected optical information to electrical signals

Note 1 to entry: A CCD consists of fine elements, each of which corresponds to a pixel of original digital images.

3.9

pixel

smallest formative element of original digital images, to which a grey level is assigned

3.10

resolution

number of pixels per unit length (or area) of original digital images

Note 1 to entry: If resolutions in the X- and Y-directions are different, both values have to be recorded.

3.11

spatial resolution

ability to distinguish two closely spaced points as two independent points

3.12

grey level

degree of brightness defined in a greyscale

Note 1 to entry: Degree of brightness is usually represented as a positive integer taken from greyscale.

3.13

greyscale

range of grey shades from black to white

EXAMPLE 8-bit greyscale has two-to-the-eighth-power (= 256) grey levels. Grey level 0 (the 1st level) corresponds to black, grey level 255 (the 256th level) to white.

3.14

image processing

software manipulation of original digital images to prepare for subsequent image analysis

Note 1 to entry: For example, image processing can be used to eliminate mistakes generated during image capturing or to reduce image information to the essential.

3.15

binary image

image in which either 0 (black) or 1 (white) is assigned to each pixel

3.16

brightness

average grey level of a specified part of optical images

3.17**contrast**

difference between the grey levels of two specified parts of optical images

3.18**shading correction**

software method for correcting non-uniformity of the illumination over the wafer surface

3.19**thresholding**

process of creating a binary image out of a greyscale image by setting exactly those pixels whose value is greater than a given threshold to white and setting the other pixels to black

Note 1 to entry: To make a binary image, the grey level of each pixel in the original greyscale image is replaced with 0 (black) or 1 (white), depending on whether the grey level is greater than or less than or equal to a given threshold.

3.20**edge detection**

method of isolating and locating edges of defects and surface features in a given digital image

3.21**image analysis**

extraction of imaging information from processed digital images by software

3.22**image evaluation**

process of relating a series of values resulting from image analysis of one or more characteristic images via a classification scheme of defects

3.23**reference wafer**

specified wafer used for parameter settings, which has already been evaluated for checking the reproducibility and repeatability of optical inspection process for defects

3.24**test wafer**

semiconductor wafer under test to evaluate defects

3.25**crystal direction**

direction, usually denoted as $[uvw]$, representing a vector direction in multiples of the basis vectors describing the a , b and c crystal axes

Note 1 to entry: In 4H-SiC showing a hexagonal symmetry, four-digit indices $[uvtw]$ are frequently used for crystal directions.

[SOURCE: ISO 24173:2009 [1]¹, 3.3, modified – The original note has been replaced by a new note to entry.]

3.26**defect**

crystalline imperfection

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

3.27

micropipe

hollow tube extending approximately normal to the basal plane

3.28

threading screw dislocation

TSD

screw dislocation penetrating through the crystal approximately normal to the basal plane

3.29

threading edge dislocation

TED

edge dislocation penetrating through the crystal approximately normal to the basal plane

3.30

basal plane dislocation

BPD

dislocation lying on the basal plane

3.31

scratch trace

dense row of dislocations caused by mechanical damages on the substrate surface

3.32

stacking fault

planar crystallographic defect in monocrystalline material, characterized by an error in the stacking sequence of crystallographic planes

3.33

propagated stacking fault

stacking fault propagating from substrate toward the homoepitaxial layer surface

3.34

stacking fault complex

stacking fault complex consisting of a basal plane stacking fault and a prismatic fault

3.35

polytype inclusion

volume crystal defect showing different polytypes from that of the homoepitaxial layer

3.36

particle inclusion

macroscopic size particle existing in the homoepitaxial layer

3.37

bunched-step segment

surface morphological roughness consisting of bunched-steps

3.38

surface particle

particle deposited on the epitaxial layer surface after epitaxial growth

4 Photoluminescence method

4.1 General

Defects with characteristic PL features shall be evaluated by PL method. The following descriptions concern such defects in n/n⁺-type 4H-SiC homoepitaxial wafers with an off-cut angle of 4° along the direction of $[11\bar{2}0]$, where their PL images are obtained by detecting emission wavelengths longer than 650 nm:

- individual linear defects exhibiting bright line images, e.g. BPDs;
- individual planar defects exhibiting dark contrast images, e.g. stacking faults, propagated stacking faults, stacking fault complexes, and polytype inclusions.

When emission wavelengths from 400 nm to 500 nm are used for the defect detection, stacking faults exhibit bright contrast images.

Defects without characteristic PL features or with weak PL contrasts against SiC area with no defects should be evaluated by other test methods such as optical inspection and X-ray topography. Those defects include micropipes, TSDs, TEDs, scratch traces, particle inclusions, bunched-step segments, and surface particles.

4.2 Principle

PL images of defects are captured and transformed into a digital format. In the course of this process, an SiC homoepitaxial wafer is irradiated with excitation light whose energy is greater than the bandgap of 4H-SiC crystals, and the resulting PL is collected and recorded as a PL image of a specified area of the wafer including defects. PL is detected using an optical image sensor such as a CCD image sensor, and PL image is usually acquired using an optical filter which transmits a specific range of PL appropriate for the detection of each type of defect. Then, the obtained PL image (digital image) is processed by manipulating the grey levels of the image. Through a specified scheme of image analysis, the image information is reduced to a set of values which are specific to the detected defects.

A greyscale image is produced from the original digital image of defects in the wafer. This image can be converted into a binary image (thresholding). The size and shape of defects are measured, and the distribution and number of defects within a specified area of wafer are calculated.

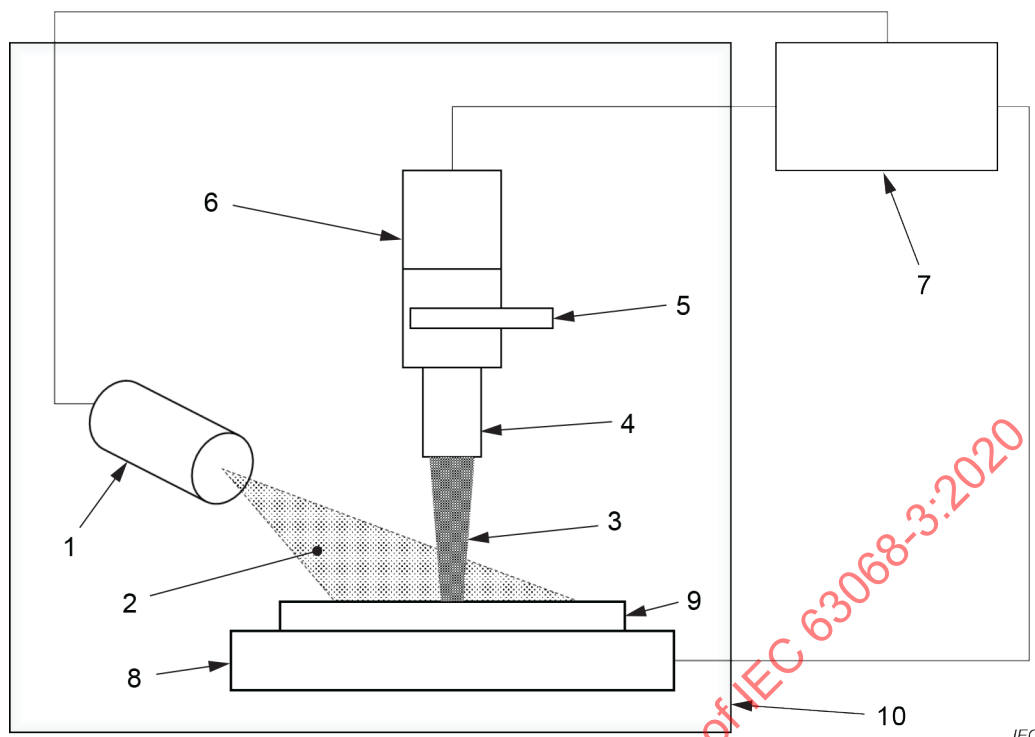
NOTE The size of planar and volume defects extending along the off-cut direction depends on the thickness of homoepitaxial layer. Details of such defects and the method of estimating the size of their PL images are described in Annex A and 4.6.2, respectively.

4.3 Requirements

4.3.1 Measuring equipment

4.3.1.1 PL imaging system

Measuring equipment for PL imaging of defects in 4H-SiC homoepitaxial wafers is shown in Figure 1. The measuring equipment consists of light source, focusing optics, optical filter, CCD, wafer stage, controller/processor, and dark box. Each component shall have the performance specified below. Different wafer specifications and defect types will require an optimum setup of light source, focusing optics and optical filter to acquire distinct PL features that are to be analysed. Therefore, a combination of light source, focusing optics and optical filter for a specific application needs to be prepared.



Key

- 1 light source
- 2 excitation light
- 3 photoluminescence
- 4 focusing optics
- 5 optical filter
- 6 CCD
- 7 controller/processor
- 8 wafer stage
- 9 test wafer or reference wafer
- 10 dark box or rack housing

Figure 1 – Schematic diagram of PL imaging system

4.3.1.2 Light source

A gas discharge lamp, such as a mercury-xenon lamp, and diode lasers with a specific emission wavelength are used as a typical source of photons for electronic excitation. When a white light from a gas discharge lamp is used for electronic excitation, suitable optical filters for the light source shall be used to obtain excitation light with a suitable wavelength band for PL imaging. The suitable wavelength of excitation light shall be selected to be equal to or greater than the bandgap energy of 4H-SiC. For example, an emission line of 313 nm or 365 nm from a mercury-xenon lamp is suitable for electronic excitation of 4H-SiC.

4.3.1.3 Objective lens

Objective lens should be selected to adjust the inspection area and the depth of focus to eliminate the influence from wafer backside.

4.3.1.4 Optical filter

Optical filters shall be selected to suit the inspection for specified defects in homoepitaxial wafers.

NOTE Typical PL spectra of defects are described in Annex B.

4.3.1.5 Uniformity and constancy

A combination of light source and focusing optics should be optimized to achieve sufficient uniformity of the excitation light intensity on the wafer surface. The PL intensity at each point on the epitaxial layer is adjusted in an appropriate range so that defects are clearly detected. Uniformity of excitation light intensity can be achieved using hardware and/or software.

The spectral and power distributions of the excitation light are maintained constant during the whole measurement period.

4.3.2 Wafer positioning and focusing

Wafers shall be positioned in the plane of Cartesian coordinate system (X–Y) or cylindrical coordinate system (R– θ). The third axis (Z) is the optical axis of image capturing system. The Z-axis is perpendicular to the plane and its point of intersection with the plane shall be the point of focus. The distance between the front-end portion of image-capturing optics and the wafer surface shall be constant, independent of the thickness of the wafers, so that focusing and magnification are not mutually adversely affected.

4.3.3 Image capturing

The PL imaging system is typically composed of a light source, focusing optics, CCD image sensor as an optical digital sensor, lighting-geometry adjustment system, wafer stage and light-tight enclosure. A dark box or a rack housing is often used to prevent the interference by external illumination. The spatial resolution of the PL imaging system shall be high enough to capture distinct features of small size defects. The image information is digitized directly within the optical image sensor unit.

To ensure the repeatability and reproducibility of the image capturing procedure, parameter settings should be carried out at a regular interval. This can be performed using specified reference wafers, for example, silicon or silicon carbide wafers.

4.3.4 Image processing

The image processing covers numerous features such as brightness, contrast, edge detection, shading correction, and inversion.

Different software solutions may employ different mathematical algorithms for similar operations, and images processed by different image-processing algorithms will not be identical. Parameter settings, e.g. using reference wafers, are performed to ensure that results are comparable.

4.3.5 Image analysis

Two different methods are used for image analysis: binary (black/white) analysis and grey-level analysis. To obtain a binary image from a grey-level image, threshold procedure is used.

An appropriate algorithm should be used for image analysis to detect successfully defects in test wafers.

4.3.6 Image evaluation

The result of image analysis is a set of values which are pertinent to a specific application. This set of values is transformed into one or more characteristic values via a classification scheme of defects.

4.3.7 Documentation

Relevant parameters for PL imaging system shall be documented. These comprise:

- a) wavelength of excitation light from light source;
- b) wavelength range detected by optical image sensor through optical filters;
- c) spatial resolution of PL imaging system.

4.4 Parameter settings

4.4.1 General

Test wafers should be compared with reference wafers.

The purpose of parameter settings is to fix the image capturing parameters in such a way that image analysis will be possible to identify the PL features of defects in test wafers by using reference wafers. A visual comparison is performed to confirm the correspondence between the reference wafers and test wafers with regard to the detected defect.

The reference wafers should be as similar as possible to test wafers on the structure and specification; thus, it is desirable to prepare both the reference wafers and test wafers in the same laboratory or factory, using the same equipment and process.

4.4.2 Parameter setting process

Parameter settings should be executed as described below using a set of reference wafers.

Take an image of each defect on test wafer using a selected PL imaging system. The images of defects on test wafer should be visually compared with those of reference wafers.

4.5 Procedure

Prepare test wafers for PL imaging as follows.

Create images of test wafers using a parameter-optimized PL imaging system. Once suitable threshold values are established, a digitized image provides, on analysis, contrasts pertinent to the defect structures.

4.6 Evaluation

4.6.1 General

In contrast to manual assessment of defects, PL imaging system can determine directly the size and shape of defects with characteristic PL features (see 4.1 and Annex A).

The image analysis provides data that identify the positions and types of defects. The edge exclusion of test wafers should be less than 5 mm.

4.6.2 Mean width of planar and volume defects

With the known thickness of homoepitaxial layer d , in micrometres, and an off-cut angle of 4° , calculate the mean width parallel to the off-cut direction l , in micrometres, of planar and volume defects except particle inclusions and surface particles using the following formula:

$$l = \frac{d}{\tan(4^\circ)}$$

For example, values of the mean width l of defects for 10 µm- and 30 µm-thickness homoepitaxial layers are approximately 145 µm and 430 µm, respectively.

When planar and volume defects are formed in the middle of epitaxial growth, the defect width is less than given by the above formula.

4.6.3 Evaluation process

If the recognized objects are either extended or surface defects, the number of defects shall be counted for each type of defect.

Defect maps, which indicate the positions (plane coordinates) of detected defects across the entire wafer, should be formed. In the maps, the position of the orientation flat or notch of the wafer shall also be indicated. The coordinate origin of the map should be the centre of the circle, which corresponds to the main edges of the wafer. The horizontal axis of the coordinate should be parallel to the primary orientation flat of the wafer.

4.7 Precision

Information on the precision of this test method is currently not available.

4.8 Test report

4.8.1 Mandatory elements

A test report shall contain the following information:

- a) inspection results:
 - 1) number of each type of defect detected by PL imaging;
- b) test wafers:
 - 1) manufacturer;
 - 2) trade name;
 - 3) wafer identification;
- c) reference to this part of IEC 63068;
- d) PL imaging system:
 - 1) wavelength of excitation light from light source;
 - 2) intensity of excitation light at the wafer surface;
 - 3) wavelength range detected by optical image sensor through optical filters;
 - 4) spatial resolution of PL imaging system;
- e) date of the test.

4.8.2 Optional elements

The following information should be contained in the test report:

- a) inspection results:
 - 1) positions (plane coordinates) of all the detected defects;
 - 2) defect maps;
- b) any deviations from the procedure;
- c) any unusual features observed.

Annex A

(informative)

Photoluminescence images of defects

A.1 General

Annex A shows typical PL images and features of defects in 4H-SiC homoepitaxial wafers (epitaxial layer thickness: 10 μm) acquired by a PL imaging system using an excitation light of wavelength of 365 nm. A 650 nm long pass optical filter was used for detecting defects. The pixel resolution of the images was 2 μm . In Figures Figure A.1 to Figure A.5, the subfigures in the left and right columns denote a photoluminescence (PL) image and a schematic illustration of the plan-view observation image of defect, respectively.

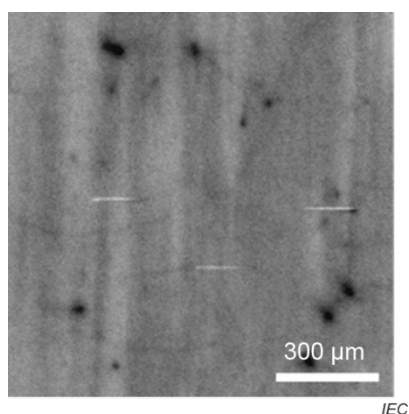
A.2 BPD

BPDs exhibit bright line contrasts in PL images when captured at emission wavelengths longer than 650 nm.

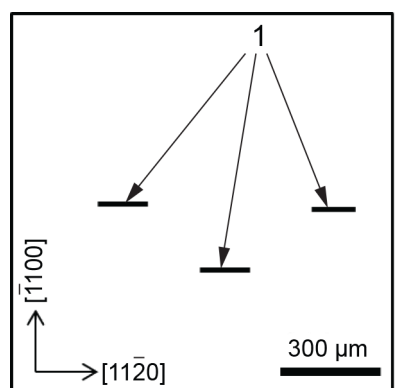
NOTE 1 The mean width l , in micrometres, of this type of defects depends on the thickness d , in micrometres, of the homoepitaxial layer (see 4.6.2).

NOTE 2 The extension directions of BPDs are predominantly parallel or nearly parallel to the step flow direction. However, BPDs also often extend in other directions and can be curved.

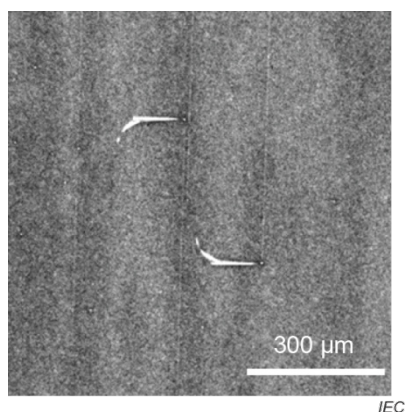
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63068-3:2020



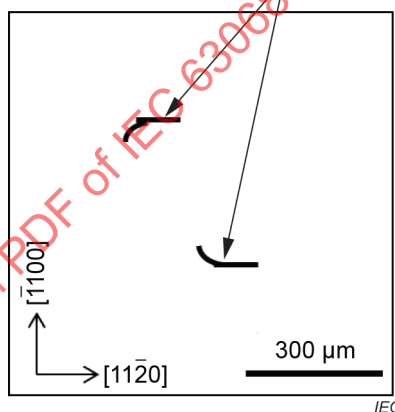
a) Example 1 of BPD: PL image



b) Example 1 of BPD: Schematic illustration



c) Example 2 of BPD: PL image



d) Example 2 of BPD: Schematic illustration

Key

1 BPD

Figure A.1 – BPD**A.3 Stacking fault**

Stacking faults exhibit characteristic features in PL images of 4H-SiC homoepitaxial wafers. They exhibit characteristic PL spectra depending on their stacking sequences.

NOTE 1 The types of stacking faults can be distinguished by examining their emission spectra.

NOTE 2 Three types of Frank-type stacking faults are detected in the visible wavelength range at room temperature [see Figure B.2].

NOTE 3 Four types of Shockley-type stacking faults are detected in the visible wavelength range at room temperature [see Figure B.3].

NOTE 4 The mean width l , in micrometres, of this type of defects depends on the thickness d , in micrometres, of homoepitaxial layer (see 4.6.2).

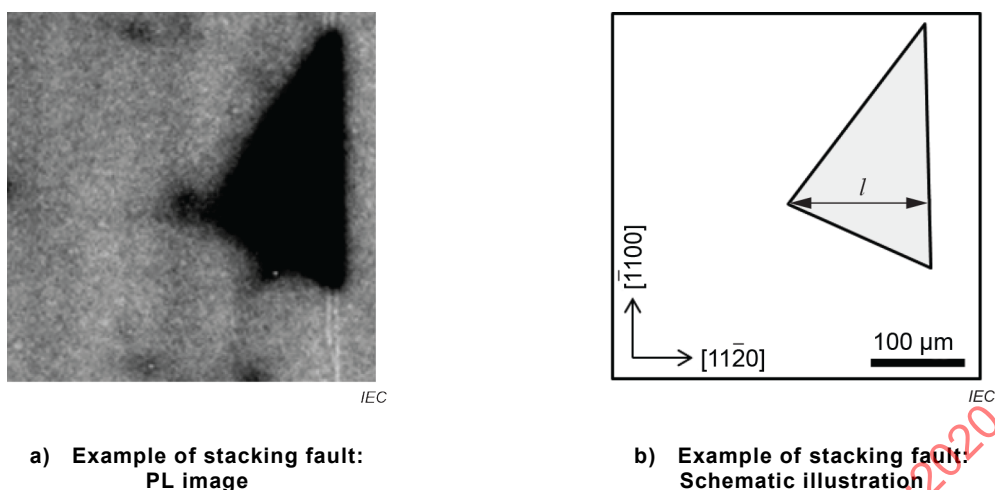


Figure A.2 – Stacking fault

A.4 Propagated stacking fault

This is a stacking fault in a homoepitaxial layer formed by inheriting a stacking fault in a substrate. Propagated stacking faults exhibit the PL features determined by their stacking sequences, as illustrated in Clause A.3.

NOTE 1 The mean width l , in micrometres, of this type of defects depends on the thickness d , in micrometres, of homoepitaxial layer (see 4.6.2).

NOTE 2 These defects are often referred to as "bar-shaped stacking fault".

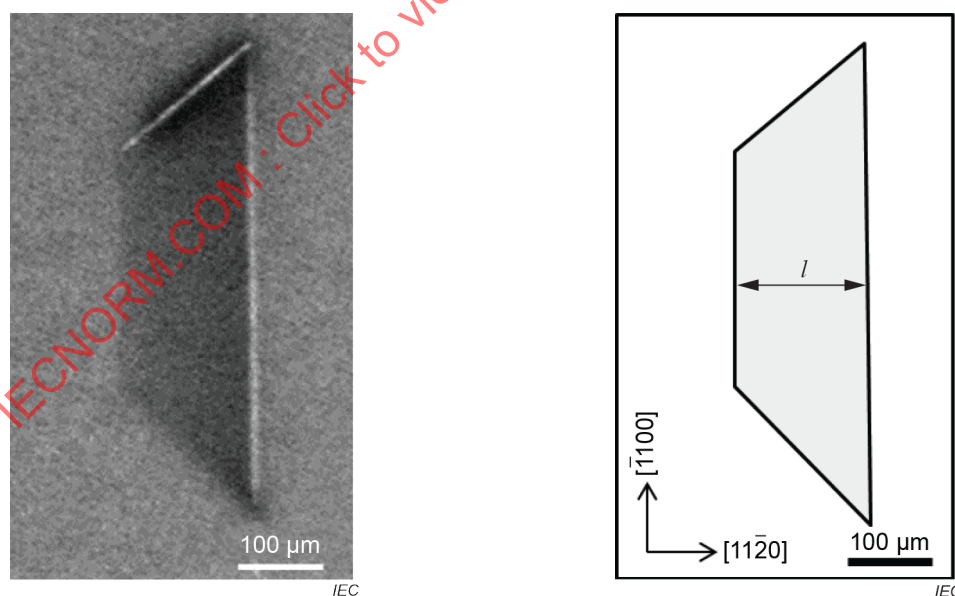


Figure A.3 – Propagated stacking fault

A.5 Stacking fault complex

Stacking fault complexes exhibit characteristic features in PL images of 4H-SiC homoepitaxial wafers: for example, dark acicular (needle-shaped) morphological features extending along the off-cut direction when captured at emission wavelengths longer than 650 nm.

NOTE 1 Stacking fault complexes exhibit bright contrast images when captured at emission wavelength of 420 nm, which originates from their stacking sequence similar to a Frank-type stacking fault (extrinsic) (see Figure B.5).

NOTE 2 The mean width l , in micrometres, of this type of defects depends on the thickness d , in micrometres, of homoepitaxial layer (see 4.6.2).

NOTE 3 These defects are often referred to as "carrot defect".

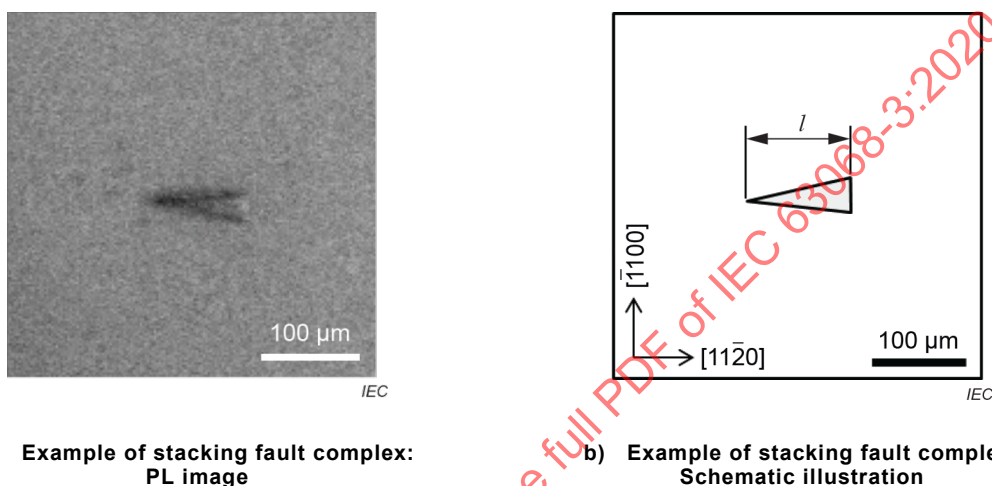


Figure A.4 – Stacking fault complex

A.6 Polytype inclusion

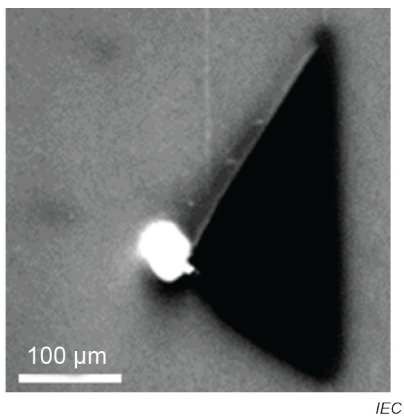
Polytype inclusions exhibit characteristic PL features on the 4H-SiC homoepitaxial layer surface: for example, dark triangles of various shapes extending along the off-cut direction when captured at emission wavelengths longer than 650 nm.

NOTE 1 Polytype inclusions exhibit bright contrast images when captured at emission wavelengths between 500 nm and 600 nm (see Figure B.6).

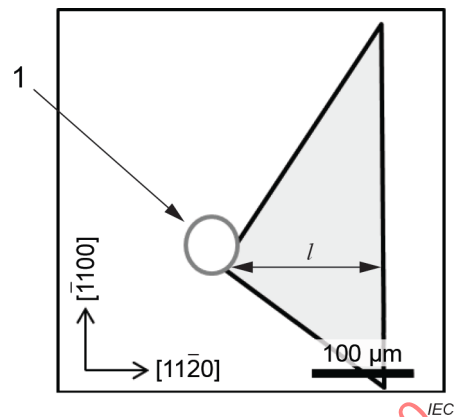
NOTE 2 The mean width l , in micrometres, of this type of defects depends on the thickness d , in micrometres, of homoepitaxial layer (see 4.6.2).

NOTE 3 These defects are formed not only due to particles, which is the case shown in Figure A.5, but also due to other causes such as mechanical surface damage as a result of the polishing process.

NOTE 4 These defects are often referred to as "triangular inclusion", "triangular defect", or "comet tail defect".



a) Example of polytype inclusion:
PL image



b) Example of polytype inclusion:
Schematic illustration

Key

1 particle

Figure A.5 – Polytype inclusion

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63068-3:2020

Annex B (informative)

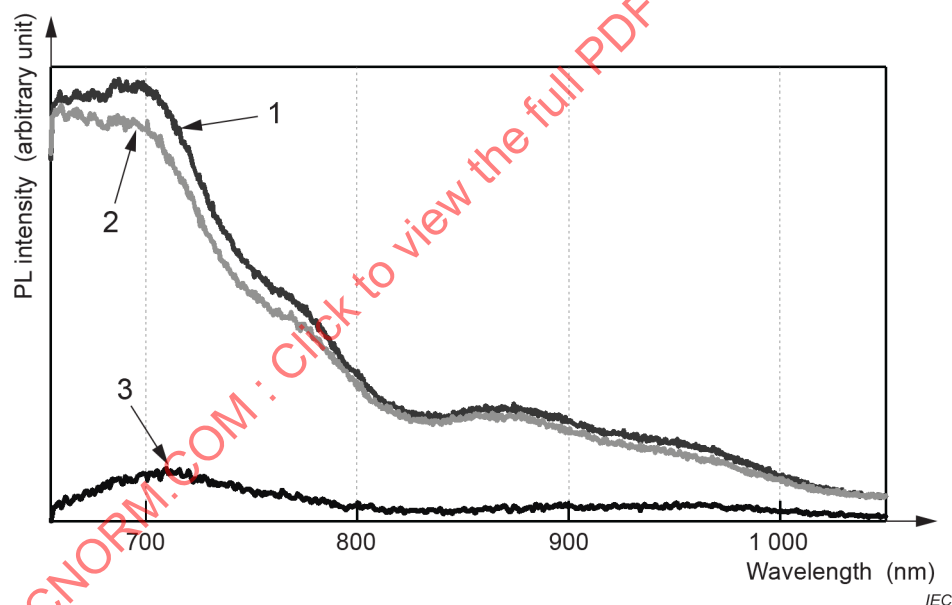
Photoluminescence spectra of defects

B.1 General

Annex B shows typical PL spectra obtained at room temperature from defects which have characteristic PL features. PL spectra were obtained by using a spectrometer with focal length of 32 cm. The 325 nm line of a He-Cd laser was used as an excitation source. PL was dispersed by the spectrometer with a grating of 150 lines per millimetre and detected by a CCD detector. The laser beam was guided into a microscope and focused through an objective lens. The laser beam is focused to a spot size of about 2 μm on the sample surface with a power density of 30 kW/cm^2 to 100 kW/cm^2 .

B.2 BPD

The "difference between with and without BPD" represents the subtraction of the PL spectrum acquired from area without BPD from that from area with BPD [see Figure B.1]. In this case, BPD exhibits a bright line contrast in PL image.



Key

- 1 with BPD
- 2 without BPD
- 3 difference between with and without BPD

Figure B.1 – PL spectrum from BPD

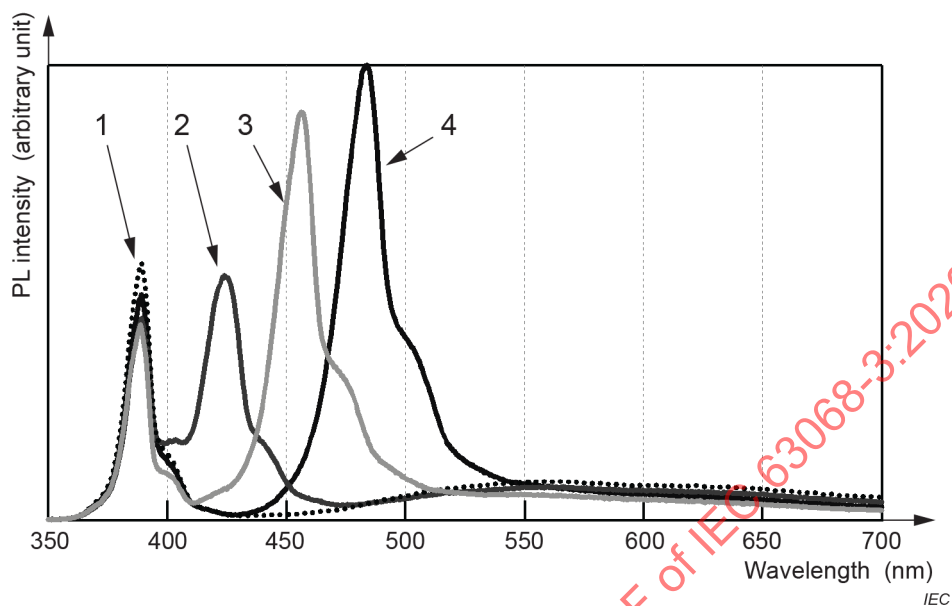
B.3 Stacking fault

The types of stacking faults can be distinguished by examining their emission spectra.

NOTE 1 Three types of Frank-type stacking faults are detected at emission wavelengths of 488 nm (intrinsic), 457 nm (multilayer), and 424 nm (extrinsic) at room temperature [2] [see Figure B.2].

NOTE 2 Four types of Shockley-type stacking faults are detected at emission wavelengths of 420 nm (single) [3], 455 nm (quadruple) [4], 480 nm (triple) [5], and 500 nm (double) [6] at room temperature [see Figure B.3].

NOTE 3 All types of stacking faults exhibit dark contrast images when captured at emission wavelengths longer than 650 nm [see Figure B.4].

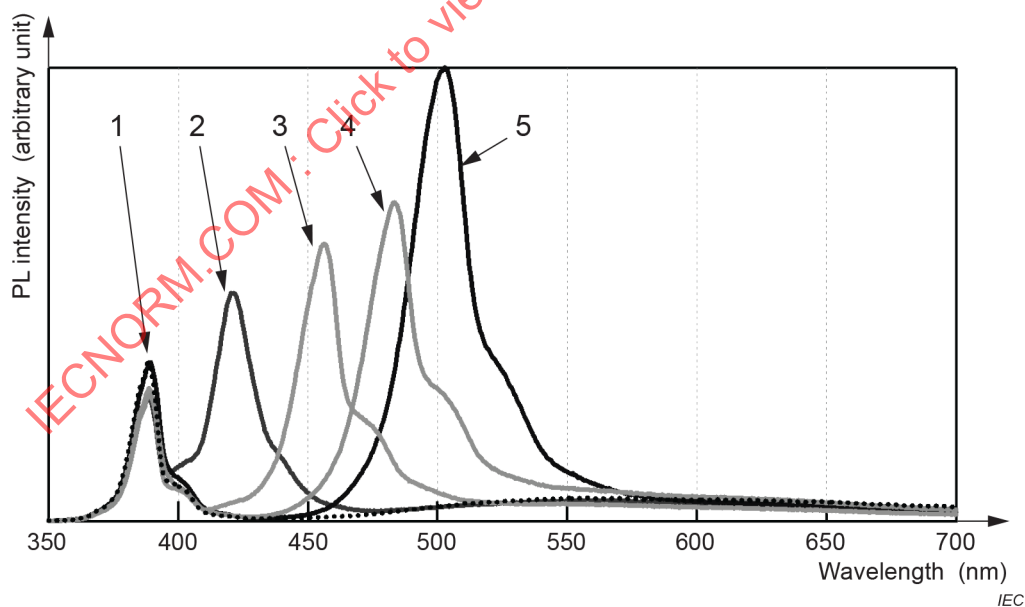


Key

1 no defect region
2 extrinsic

3 multilayer
4 intrinsic

Figure B.2 – PL spectra from Frank-type stacking faults

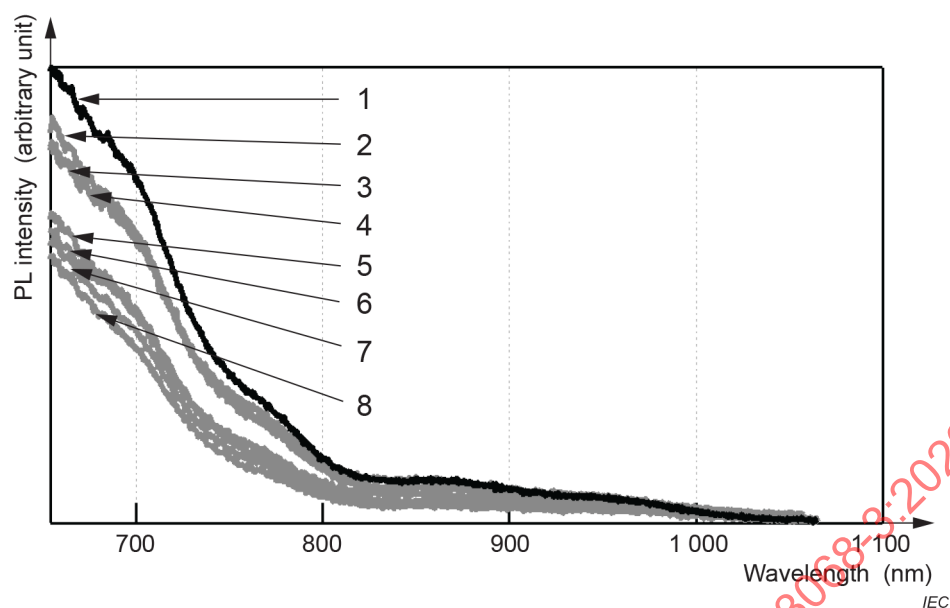


Key

1 no defect region
2 single
3 quadruple

4 triple
5 double

Figure B.3 – PL spectra from Shockley-type stacking faults

**Key**

1	no defect region	5	Frank-type (multilayer)
2	Frank-type (extrinsic)	6	Shockley-type (quadruple)
3	Shockley-type (single)	7	Frank-type (intrinsic)
4	Shockley-type (triple)	8	Shockley-type (double)

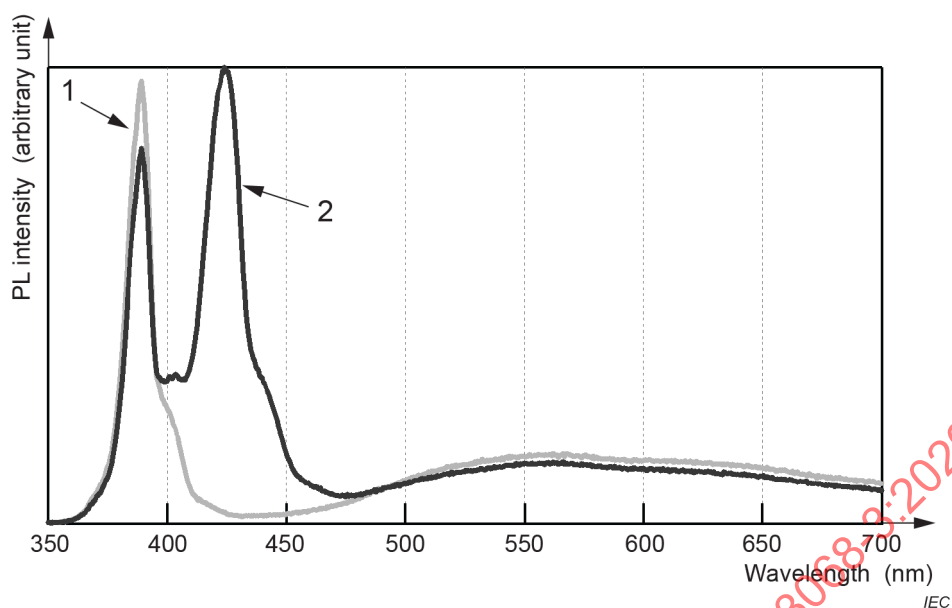
**Figure B.4 – PL spectra from various stacking faults
in the wavelength range longer than 650 nm**

B.4 Propagated stacking fault

Propagated stacking faults exhibit the PL spectra determined by their stacking sequences, as illustrated in Clause B.3.

B.5 Stacking fault complex

Stacking fault complexes exhibit characteristic PL features at an emission wavelength of 420 nm, which originates from their stacking sequence similar to a Frank-type stacking fault (extrinsic).



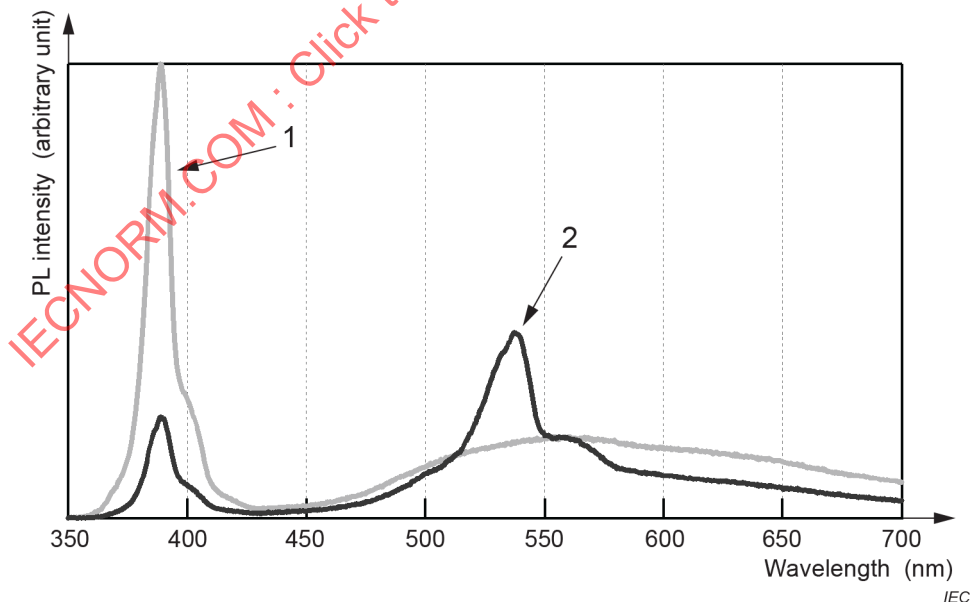
Key

- 1 no defect region
- 2 Frank-type stacking fault (extrinsic) in a stacking fault complex

Figure B.5 – PL spectrum from stacking fault complex

B.6 Polytype inclusion

Polytype inclusions exhibit characteristic PL features in emission wavelengths between 500 nm and 600 nm, which originates from their stacking sequence similar to 3C-SiC bands reported in [7].



Key

- 1 no defect region
- 2 polytype inclusion

Figure B.6 – PL spectrum from polytype inclusion

Bibliography

- [1] ISO 24173:2009, *Microbeam analysis – Guidelines for orientation measurement using electron backscatter diffraction*
- [2] I. Kamata, X. Zhang, H. Tsuchida, Applied Physics Letters, 97, 172107 (2010)
- [3] J. Hassan, J. P. Bergman, Materials Science Forum, 645-648, 327 (2010)
- [4] S. Izumi, H. Tsuchida, I. Kamata, T. Tawara, Applied Physics Letters, 86, 202108 (2005)
- [5] G. Feng, J. Suda, T. Kimoto, Applied Physics Letters, 94, 091910 (2009)
- [6] G. Feng, J. Suda, T. Kimoto, Applied Physics Letters, 92, 221906 (2008)
- [7] N. A. Mahadik, R. E. Stahlbush, S. B. Qadri, O. J. Glembocki, D. A. Alexson, K. D. Hobart, J. D. Caldwell, R. L. Myers-Ward, J. L. Tedesco, C. R. Eddy Jr., D. K. Gaskill, Journal of Electronic Materials, 40, 413 (2011)

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63068-3:2020

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	28
INTRODUCTION.....	30
1 Domaine d'application	31
2 Références normatives	31
3 Termes et définitions	31
4 Méthode par photoluminescence	35
4.1 Généralités	35
4.2 Principe	35
4.3 Exigences	36
4.3.1 Equipement de mesure	36
4.3.2 Focalisation et positionnement de la plaquette.....	38
4.3.3 Capture d'images	38
4.3.4 Traitement d'image	38
4.3.5 Analyse d'image	38
4.3.6 Evaluation d'image	39
4.3.7 Documentation	39
4.4 Paramétrages	39
4.4.1 Généralités	39
4.4.2 Processus de paramétrage	39
4.5 Procédure	39
4.6 Evaluation.....	40
4.6.1 Généralités	40
4.6.2 Largeur moyenne des défauts planaires et de volume.....	40
4.6.3 Processus d'évaluation	40
4.7 Précision.....	40
4.8 Rapport d'essai.....	40
4.8.1 Eléments obligatoires	40
4.8.2 Eléments facultatifs	41
Annexe A (informative) Images de photoluminescence des défauts	42
A.1 Généralités	42
A.2 BPD	42
A.3 Faute d'empilement	43
A.4 Faute d'empilement propagée	44
A.5 Complexe de faute d'empilement	45
A.6 Inclusion de polytype	45
Annexe B (informative) Spectres de photoluminescence des défauts	47
B.1 Généralités	47
B.2 BPD	47
B.3 Faute d'empilement	47
B.4 Faute d'empilement propagée	49
B.5 Complexe de faute d'empilement	49
B.6 Inclusion de polytype	50
Bibliographie.....	51

Figure A.1 – BPD	43
Figure A.2 – Faute d'empilement	44
Figure A.3 – Faute d'empilement propagée	44
Figure A.4 – Complexe de faute d'empilement	45
Figure A.5 – Inclusion de polytype	46
Figure B.1 – Spectre de photoluminescence à partir d'une BPD	47
Figure B.2 – Spectre de photoluminescence à partir de fautes d'empilement de type Frank	48
Figure B.3 – Spectre de photoluminescence à partir de fautes d'empilement de type Shockley	48
Figure B.4 – Spectre de photoluminescence à partir de différentes fautes d'empilement au sein d'une plage de longueurs d'onde supérieures à 650 nm	49
Figure B.5 – Spectre de photoluminescence depuis un complexe de faute d'empilement	50
Figure B.6 – Spectre de photoluminescence à partir d'une inclusion de polytype	50

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63068-3:2020

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – CRITÈRES DE RECONNAISSANCE NON DESTRUCTIFS DES DÉFAUTS AU SEIN D'UNE PLAQUETTE HOMOÉPITAXIALE DE CARBURE DE SILICIUM POUR DES DISPOSITIFS D'ALIMENTATION – Partie 3: Méthode d'essai pour les défauts à l'aide de la photoluminescence

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 63068-3 a été établie par le comité d'études 47 de l'IEC: Dispositifs à semiconducteurs.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
47/2628/FDIS	47/2638/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette Norme internationale.

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 63068, publiées sous le titre général *Dispositifs à semiconducteurs – Critères de reconnaissance non destructifs des défauts au sein d'une plaquette homoépitaxiale de carbure de silicium pour des dispositifs d'alimentation*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63068-3:2020

INTRODUCTION

Le carbure de silicium (SiC) est communément utilisé comme matériau semiconducteur pour la prochaine génération de semiconducteurs de puissance. Le carbure de silicium, comparé au silicium (Si), possède de meilleures propriétés physiques, comme un champ électrique de rupture plus élevé, une meilleure conductivité thermique, une vitesse de production thermique plus lente, une vitesse de dérive des électrons saturés plus élevée, et une concentration de porteurs intrinsèque plus faible. Ces attributs permettent aux semiconducteurs de puissance formés de SiC de disposer de plus grandes vitesses de commutation, de pertes plus faibles, de tensions de blocages plus élevées, et d'un fonctionnement à de plus hautes températures que les semiconducteurs de puissance conventionnels formés de Si.

La création des semiconducteurs de puissance formés de SiC n'est pas encore finalisée en raison de plusieurs problèmes, comme un coût élevé, un rendement faible et une fiabilité médiocre à long terme. Plus particulièrement, la présence de défauts au niveau des plaquettes homoépitaxiales en SiC est l'un des principaux problèmes. Malgré les nombreux efforts visant à diminuer les défauts des plaquettes homoépitaxiales en SiC, les plaquettes disponibles dans le commerce présentent un certain nombre de défauts. Par conséquent, il est indispensable d'établir une Norme internationale relative à l'évaluation de la qualité des plaquettes homoépitaxiales en SiC.

Il est prévu que la série de normes IEC 63068 se compose de la Partie 1, la Partie 2 et la Partie 3, telles qu'elles sont détaillées ci-dessous. Le présent document décrit les définitions et les recommandations relatives à l'utilisation de la photoluminescence pour la détection des défauts au sein des plaquettes homoépitaxiales en carbure de silicium (SiC) disponibles dans le commerce.

Partie 1: Classification des défauts

Partie 2: Méthode d'essai pour les défauts à l'aide d'une vérification optique

Partie 3: Méthode d'essai pour les défauts à l'aide de la photoluminescence

DISPOSITIFS A SEMICONDUCTEURS – CRITÈRES DE RECONNAISSANCE NON DESTRUCTIFS DES DÉFAUTS AU SEIN D'UNE PLAQUETTE HOMOÉPITAXIALE DE CARBURE DE SILICIUM POUR DES DISPOSITIFS D'ALIMENTATION –

Partie 3: Méthode d'essai pour les défauts à l'aide de la photoluminescence

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 63068 décrit les définitions et les recommandations relatives à l'utilisation de la photoluminescence pour la détection de défauts bruts au sein de plaquettes homoépitaxiales en carbure de silicium (4H-SiC) disponibles dans le commerce. De plus, le présent document donne des exemples d'images de photoluminescence et de spectres d'émission, permettant la détection et la catégorisation des défauts au sein de plaquettes homoépitaxiales en SiC.

2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.

3 Termes et définitions

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

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1

photoluminescence

PL

émission de lumière depuis des matériaux comme sous-séquence d'une excitation électronique par absorption de photons

3.2

imagerie par photoluminescence

imagerie par PL

technique de capture, de traitement et d'analyse des images de défauts, qui utilise une source de lumière pour l'excitation électronique, une optique de focalisation, un filtre optique, un capteur d'image optique et des systèmes informatiques

3.3

optique de focalisation

système de lentilles utilisé pour le grossissement et la capture d'images optiques

3.4

filtre optique

composant optique conçu pour transmettre uniquement une plage de longueurs d'onde spécifique et bloquer les autres

3.5

capteur d'image optique

dispositif conçu pour transformer une image optique en données numériques

3.6

capture d'images

processus de création d'une image numérique originale bidimensionnelle des défauts présents dans la plaquette

3.7

image numérique originale

image numérisée obtenue par un capteur d'image optique, sans effectuer de traitement d'image

Note 1 à l'article: Une image numérique originale est constituée de pixels divisés par une grille, chaque pixel ayant un niveau de gris.

3.8

capteur d'image par dispositif de couplage de charge

capteur d'image CCD

puce de circuit intégré sensible à la lumière qui convertit les informations optiques détectées en signaux électriques

Note 1 à l'article: Un CCD est constitué de petits éléments, chacun correspondant à un pixel des images numériques originales.

Note 2 à l'article: L'abréviation « CCD » est dérivée du terme anglais développé correspondant « Charge-Coupled Device ».

3.9

pixel

plus petit élément constitutif des images numériques originales, auquel un niveau de gris est attribué

3.10

résolution

nombre de pixels par unité de longueur (ou zone) des images numériques originales

Note 1 à l'article: Si les résolutions dans les directions X et Y sont différentes, les deux valeurs sont à enregistrer.

3.11

résolution spatiale

aptitude à distinguer deux points proches comme étant deux points indépendants

3.12

niveau de gris

degré de luminosité défini sur une échelle de gris

Note 1 à l'article: Un degré de luminosité est habituellement représenté comme un nombre entier positif tiré d'une échelle de gris.

3.13

échelle de gris

plage de nuances de gris allant du noir au blanc

EXEMPLE Une échelle de gris de 8 bits possède 2 puissance 8 (= 256) niveaux de gris. Le niveau de gris 0 (le 1^{er} niveau) correspond au noir, le niveau de gris 255 (le 256^e niveau) correspond au blanc.

3.14**traitement d'image**

manipulation logicielle des images numériques originales pour préparer une analyse d'image

Note 1 à l'article: Par exemple, un traitement d'image peut être utilisé pour éliminer les erreurs engendrées par la capture d'images ou pour réduire les informations de l'image aux éléments essentiels.

3.15**image binaire**

image au sein de laquelle le chiffre 0 (noir) ou 1 (blanc) est attribué à chaque pixel

3.16**luminosité**

niveau de gris moyen d'une partie spécifique des images optiques

3.17**contraste**

différence entre les niveaux de gris de deux parties spécifiques des images optiques

3.18**correction de l'effet d'ombre**

méthode logicielle de correction de la non-uniformité de l'éclairage de la surface d'une plaquette

3.19**seuillage**

processus de création d'une image binaire à partir d'une image d'échelle de gris en affichant les pixels dont la valeur dépasse un seuil donné en blanc et en affichant les autres pixels en noir

Note 1 à l'article: Pour former une image binaire, le niveau de gris de tous les pixels de l'image d'origine en échelle de gris est remplacé par 0 (noir) ou 1 (blanc), selon que le niveau de gris est supérieur, ou bien inférieur ou égal, à un seuil donné.

3.20**détection des contours**

méthode d'isolation et de localisation des contours des défauts et des caractéristiques de surface sur une image numérique

3.21**analyse d'image**

extraction des informations d'imagerie à partir des images numériques traitées par logiciel

3.22**évaluation d'image**

processus d'établissement de corrélation sur une série de valeurs résultant de l'analyse d'une ou plusieurs images caractéristiques au moyen d'un schéma de classification des défauts

3.23**plaquette de référence**

plaquette spécifiée utilisée pour paramétrage, déjà évaluée afin de vérifier la reproductibilité et la répétabilité du processus de vérification optique pour les défauts

3.24**plaquette d'essai**

plaquette de semiconducteurs soumise à essai pour évaluer des défauts

3.25

direction cristalline

direction, généralement notée $[uvw]$, représentant une direction vectorielle selon des multiples des vecteurs de base décrivant les axes a , b et c du plan cristallin

Note 1 à l'article: Dans un 4H-SiC disposant d'une symétrie hexagonale, des indices à quatre chiffres $[uvtw]$ sont habituellement utilisés pour les directions cristallines.

[SOURCE: ISO 24173:2009 [1]¹, 3.3, modifié – La note à l'article d'origine a été remplacée par une nouvelle note à l'article.]

3.26

défaut

imperfection cristalline

3.27

microtube

tube creux s'étendant d'une façon approximativement normale par rapport au plan basal

3.28

dislocation vis par filetage

TSD

dislocation vis pénétrant le cristal d'une façon approximativement normale au plan basal

Note 1 à l'article: L'abréviation « TSD » est dérivée du terme anglais développé correspondant « Threading Screw Dislocation ».

3.29

dislocation coin par filetage

TED

dislocation coin pénétrant le cristal d'une façon approximativement normale au plan basal

Note 1 à l'article: L'abréviation « TED » est dérivée du terme anglais développé correspondant « Threading Edge Dislocation ».

3.30

dislocation du plan basal

BPD

dislocation reposant sur le plan basal

Note 1 à l'article: L'abréviation « BPD » est dérivée du terme anglais développé correspondant « Basal Plane Dislocation ».

3.31

trace de rayure

rangée dense de dislocations engendrée par des dommages mécaniques à la surface du substrat

3.32

faute d'empilement

défaut cristallographique planaire au sein d'un matériau monocristallin, caractérisé par une erreur dans la séquence d'empilement des plans cristallographiques

3.33

faute d'empilement propagée

faute d'empilement se propageant depuis le substrat vers la surface de la couche homoépitaxiale

¹ Les nombres entre crochets font référence à la Bibliographie.

3.34**complexe de faute d'empilement**

complexe de faute d'empilement composé d'une faute d'empilement du plan basal et d'une faute prismatique

3.35**inclusion de polytype**

défaut de cristal de volume montrant des polytypes différents de celui de la couche homoépitaxiale

3.36**inclusion de particule**

particule de taille macroscopique présente dans la couche homoépitaxiale

3.37**segment de marches groupées**

rugosité morphologique de surface composée de marches groupées

3.38**particule de surface**

particule déposée sur la surface de la couche épitaxiale après la croissance épitaxiale

4 Méthode par photoluminescence**4.1 Généralités**

Les défauts comprenant des caractéristiques de PL doivent être évalués par une méthode par photoluminescence. Les descriptions suivantes concernent de tels défauts au sein de plaquettes homoépitaxiales 4H-SiC de type n/n⁺ avec un angle de défilement de 4° dans la direction de $[11\bar{2}0]$, où leurs images de photoluminescence sont obtenues par la détection des longueurs d'onde d'émission inférieures à 650 nm:

- défauts linéaires individuels présentant des images avec des traits brillants, par exemple des BPD;
- défauts planaires individuels présentant des images avec un contraste sombre, par exemple une fautes d'empilement, des fautes d'empilement propagées, des complexes de faute d'empilement et des inclusions de polytypes.

Lorsque des longueurs d'onde d'émission comprises entre 400 nm et 500 nm sont utilisées pour détecter des défauts, les fautes d'empilement présentent des images avec un contraste clair.

Il convient que les défauts sans caractéristiques de PL ou pourvus de faibles contrastes de PL contre une zone de SiC sans défaut soient évalués par d'autres méthodes d'essai comme une vérification optique et une topographie aux rayons X. Ces défauts incluent les microtubes, les TSD, les TED, les traces de rayure, les inclusions de particule, les segments de marches groupées, et les particules de surface.

4.2 Principe

Les images de défauts par photoluminescence sont capturées et transformées au format numérique. Au cours de ce processus, une plaquette homoépitaxiale en SiC est irradiée avec une lumière d'excitation disposant d'une énergie supérieure à la bande interdite des cristaux de 4H-SiC, et la photoluminescence qui en résulte est collectée et enregistrée comme une image de photoluminescence d'une zone spécifique de la plaquette comprenant des défauts. La photoluminescence est détectée à l'aide d'un capteur d'image optique tel qu'un détecteur d'image CCD, et une image de photoluminescence est habituellement obtenue à l'aide d'un filtre optique transmettant une plage de photoluminescence spécifique et appropriée pour la

détection de chaque type de défaut. Ensuite, l'image de photoluminescence obtenue (image numérique) est traitée en manipulant les niveaux de gris de l'image. Au moyen d'un schéma spécifique d'analyse d'image, les informations de l'image sont réduites à un ensemble de valeurs spécifiques aux défauts détectés.

Une image en échelle de gris est produite à partir de l'image numérique originale des défauts au sein de la plaquette. Cette image peut être convertie en une image binaire (seuillage). La taille et la forme des défauts sont mesurées, et la distribution et la quantité de défauts au sein d'une zone spécifiée de la plaquette sont calculées.

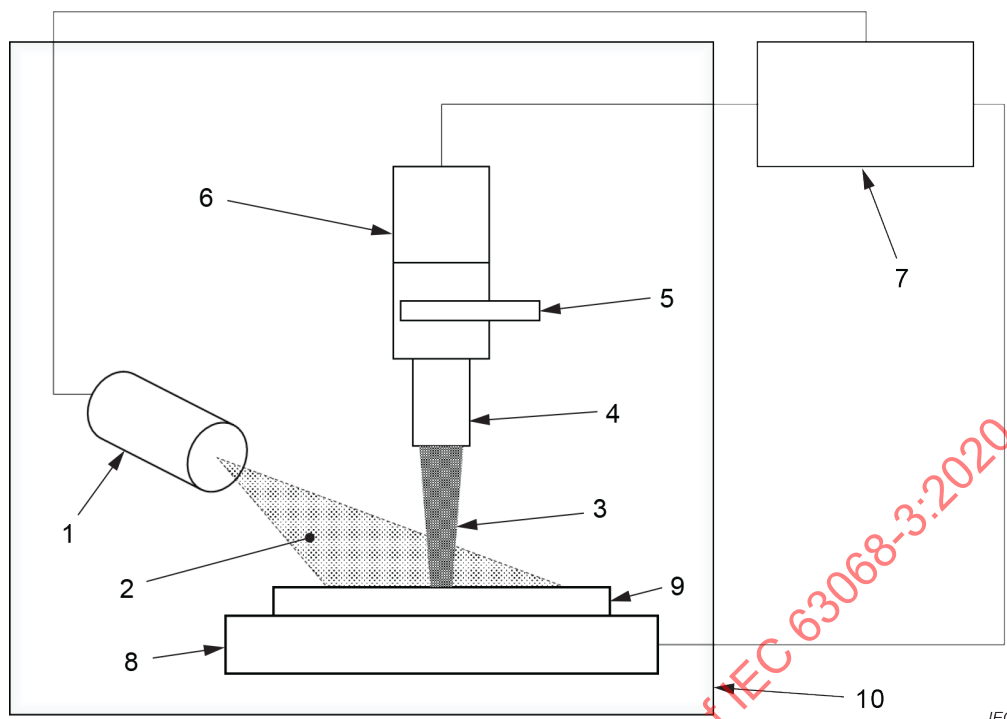
NOTE La taille des défauts planaires et de volume s'étendant dans la direction du défilement dépend de l'épaisseur de la couche homoépitaxiale. Les détails de tels défauts et la méthode permettant d'estimer la taille de leurs images de photoluminescence sont décrits dans l'Annexe A et en 4.6.2, respectivement.

4.3 Exigences

4.3.1 Equipement de mesure

4.3.1.1 Système d'imagerie par PL

L'équipement de mesure destiné à l'imagerie par PL des défauts présents au sein de plaquettes homoépitaxiales 4H-SiC est représenté à la Figure 1. L'équipement de mesure comprend une source de lumière, une optique de focalisation, un filtre optique, un CCD, un étage de plaquette, un contrôleur/processeur et un boîtier opaque. Chaque composant doit avoir les performances spécifiées ci-dessous. Des spécifications de plaquette et des types de défauts différents exigent un montage optimal de la source de lumière, de l'optique de focalisation et du filtre optique afin d'obtenir les caractéristiques de photoluminescence à analyser. Par conséquent, l'association d'une source de lumière, d'une optique de focalisation et d'un filtre optique pour une application spécifique nécessite d'être préparée.



Légende

- 1 source de lumière
- 2 lumière d'excitation
- 3 photoluminescence
- 4 optique de focalisation
- 5 filtre optique
- 6 CCD
- 7 contrôleur/processeur
- 8 étage de plaquette
- 9 plaquette d'essai ou de référence
- 10 boîtier opaque ou baie de montage

Figure 1 – Diagramme du système d'imagerie par photoluminescence

4.3.1.2 Source de lumière

Une lampe à décharge de gaz, comme une lampe mercure-xénon, et des diodes laser avec une longueur d'onde d'émission spécifique sont utilisées comme source type de photons pour une excitation électronique. Lorsqu'une lumière blanche émise depuis une lampe à décharge de gaz est utilisée à des fins d'excitations électroniques, des filtres optiques adéquats pour la source de lumière doivent être utilisés pour obtenir une lumière d'excitation avec une bande de longueurs d'onde appropriée pour une imagerie par photoluminescence. La longueur d'onde adéquate de la lumière d'excitation doit être choisie de façon à être supérieure ou égale à l'énergie de bande interdite du 4H-SiC. Par exemple, une raie d'émission de 313 nm ou 365 nm depuis une lampe mercure-xénon convient à l'excitation électronique du 4H-SiC.

4.3.1.3 Lentille de l'objectif

Il convient que la lentille de l'objectif soit choisie de sorte à ajuster la zone de vérification et la profondeur de focalisation pour éliminer l'influence de la face arrière de la plaquette.

4.3.1.4 Filtre optique

Les filtres optiques doivent être choisis pour permettre la vérification des défauts spécifiés au sein des plaquettes homoépitaxiales.

NOTE Les spectres de photoluminescence types associés aux défauts sont décrits dans l'Annexe B.

4.3.1.5 Uniformité et constance

Il convient que l'association d'une source de lumière et d'une optique de focalisation soit optimisée pour obtenir une uniformité suffisante de l'intensité de la lumière d'excitation à la surface de la plaquette. L'intensité de photoluminescence à chaque point de la couche épitaxiale est ajustée dans la plage appropriée pour que les défauts soient clairement détectés. L'uniformité de l'intensité de la lumière d'excitation peut être obtenue par des moyens logiciels et/ou matériels.

Les distributions spectrales et d'énergie de la lumière d'excitation sont maintenues constantes durant toute la période de mesure.

4.3.2 Focalisation et positionnement de la plaquette

Les plaquettes doivent être positionnées dans le plan d'un système de coordonnées cartésiennes (X–Y) ou d'un système de coordonnées cylindriques (R– θ). Le troisième axe (Z) est l'axe optique du système de capture d'images. L'axe-Z est perpendiculaire au plan et son point d'intersection avec le plan doit être le point de focalisation. La distance entre la partie frontale de l'optique de capture d'images et la surface de la plaquette doit être constante, quelle que soit l'épaisseur de la plaquette, afin que la focalisation et le grossissement ne soient pas mutuellement compromis.

4.3.3 Capture d'images

Le système d'imagerie par photoluminescence est habituellement composé d'une source de lumière, d'une optique de focalisation, d'un capteur d'image CCD jouant le rôle de capteur numérique optique, d'un système de réglage de géométrie d'éclairage, d'un étage de plaquette et d'une enveloppe opaque. Un boîtier opaque ou une baie de montage est souvent utilisé pour empêcher les interférences engendrées par un éclairage externe. La résolution spatiale du système d'imagerie par photoluminescence doit être suffisamment élevée pour capturer les caractéristiques distinctes des défauts de petite taille. Les informations de l'image sont directement numérisées au sein de l'ensemble de capteur d'image optique.

Il convient qu'un paramétrage soit régulièrement effectué afin d'assurer la répétabilité et la reproductibilité de la procédure de capture d'images. Il peut être effectué à l'aide de plaquettes de référence spécifiées, par exemple des plaquettes de silicium ou de carbure de silicium.

4.3.4 Traitement d'image

Le traitement d'image couvre de nombreuses caractéristiques comme la luminosité, le contraste, la détection des contours, la correction de l'effet d'ombre et l'inversion.

Des solutions logicielles différentes peuvent employer des algorithmes mathématiques différents pour des opérations similaires et les images traitées par ces algorithmes de traitement d'image ne sont pas identiques. Des paramétrages, par exemple à l'aide de plaquettes de référence, sont effectués pour assurer des résultats comparables.

4.3.5 Analyse d'image

Deux méthodes différentes sont utilisées pour l'analyse d'image: analyse binaire (noir/blanc) et analyse par niveau de gris. Pour obtenir une image binaire à partir d'une image en niveaux de gris, une procédure de seuillage est utilisée.

Il convient qu'un algorithme approprié soit utilisé pour que l'analyse d'image puisse détecter les défauts au sein des plaquettes d'essai.

4.3.6 Evaluation d'image

Le résultat de l'analyse d'image est un ensemble de valeurs pertinentes pour une application spécifique. Cet ensemble de valeurs est transformé en une ou plusieurs valeurs caractéristiques via un système de classification des défauts.

4.3.7 Documentation

Les paramètres pertinents pour un système d'imagerie par photoluminescence doivent être documentés. Cela comprend les éléments suivants:

- a) longueur d'onde de la lumière d'excitation issue de la source de lumière;
- b) plage de longueurs d'onde détectées par un capteur d'image optique au travers de filtres optiques;
- c) résolution spatiale du système d'imagerie par photoluminescence.

4.4 Paramétrages

4.4.1 Généralités

Il convient que les plaquettes d'essai soient comparées avec des plaquettes de référence.

Le but des paramétrages est de fixer les paramètres de capture d'images de sorte qu'une analyse d'image soit en mesure d'identifier les caractéristiques de photoluminescence des défauts au sein des plaquettes d'essai en utilisant des plaquettes de référence. Une comparaison visuelle est effectuée pour confirmer la correspondance entre les plaquettes de référence et les plaquettes d'essai en ce qui concerne le défaut détecté.

Il convient que les plaquettes de référence et les plaquettes d'essai soient aussi semblables que possible du point de vue de la structure et des spécifications. Par conséquent, il est souhaitable de préparer toutes ces plaquettes dans le même laboratoire ou la même usine, en utilisant des équipements et des processus identiques.

4.4.2 Processus de paramétrage

Il convient que les paramétrages soient effectués comme décrit ci-dessous à l'aide d'un ensemble de plaquettes de référence.

Prendre une image de chaque défaut sur la plaquette d'essai à l'aide du système d'imagerie par photoluminescence choisi. Il convient que les images des défauts sur la plaquette d'essai fassent l'objet d'une comparaison visuelle avec celles des plaquettes de référence.

4.5 Procédure

Préparer les plaquettes d'essai pour l'imagerie par photoluminescence comme suit.

Créer des images de plaquettes d'essai à l'aide d'un système d'imagerie par photoluminescence avec des paramètres optimisés. Une fois que des valeurs seuil adéquates sont établies, une image numérisée fournit, lors de l'analyse, des contrastes correspondant aux structures présentant des défauts.

4.6 Evaluation

4.6.1 Généralités

A la différence d'une évaluation manuelle des défauts, un système d'imagerie par photoluminescence peut déterminer directement la taille et la forme des défauts pourvus de caractéristiques de PL (voir 4.1 et l'Annexe A).

L'analyse d'image fournit des données permettant d'identifier les positions et les types de défauts. Il convient que l'exclusion de bord des plaquettes d'essai soit inférieure à 5 mm.

4.6.2 Largeur moyenne des défauts planaires et de volume

Avec l'épaisseur connue de la couche homoépitaxiale, d , exprimée en micromètres, et un angle de défilement de 4° , calculer la largeur moyenne parallèle à la direction du défilement, l , exprimée en micromètres, des défauts planaires et de volume à l'exception des inclusions de particules et des particules de surface, à l'aide de la formule suivante:

$$l = \frac{d}{\tan(4^\circ)}$$

Par exemple, les valeurs de la largeur moyenne l des défauts pour des couches homoépitaxiales d'épaisseur de 10 μm et de 30 μm sont d'environ 145 μm et 430 μm , respectivement.

Lorsque des défauts planaires et de volume sont formés au milieu de la croissance épitaxiale, la largeur du défaut est inférieure à celle donnée par la formule ci-dessus.

4.6.3 Processus d'évaluation

Si les objets reconnus sont des défauts étendus ou de surface, le nombre de défauts doit être comptabilisé pour chaque type de défaut.

Il convient de réaliser des cartes des défauts, indiquant les positions (coordonnées planes) des défauts détectés sur toute la plaquette. Sur les cartes, la position du plat d'orientation ou de l'encoche de la plaquette doit également être indiquée. Il convient que l'origine des coordonnées de la carte soit le centre du cercle, correspondant aux principaux contours de la plaquette. Il convient que l'axe horizontal de la coordonnée soit parallèle au plat d'orientation primaire de la plaquette.

4.7 Précision

Les informations concernant la précision de cette méthode d'essai ne sont pas disponibles actuellement.

4.8 Rapport d'essai

4.8.1 Eléments obligatoires

Un rapport d'essai doit contenir les informations suivantes:

- a) résultats de la vérification:
 - 1) nombre de chaque type de défaut détecté avec l'imagerie par photoluminescence;
- b) plaquettes d'essai:
 - 1) fabricant;
 - 2) appellation commerciale;
 - 3) identification de la plaquette;

- c) référence à la présente partie de l'IEC 63068;
- d) système d'imagerie par photoluminescence:
 - 1) longueur d'onde de la lumière d'excitation issue de la source de lumière;
 - 2) intensité de la lumière d'excitation à la surface de la plaquette;
 - 3) plage de longueurs d'onde détectées par un capteur d'image optique au travers de filtres optiques;
 - 4) résolution spatiale du système d'imagerie par photoluminescence;
- e) date de l'essai.

4.8.2 Eléments facultatifs

Il convient que le rapport d'essai contienne les informations suivantes:

- a) résultats de la vérification:
 - 1) positions (coordonnées planes) de tous les défauts détectés;
 - 2) cartes des défauts;
- b) tout écart par rapport à la procédure;
- c) toute caractéristique inhabituelle observée.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63068-3:2020

Annexe A (informative)

Images de photoluminescence des défauts

A.1 Généralités

L'Annexe A montre des images de photoluminescence types et les caractéristiques de défauts au sein de plaquettes homoépitaxiales 4H-SiC (épaisseur de la couche épitaxiale: 10 μm), obtenues par un système d'imagerie par photoluminescence à l'aide d'une lumière d'excitation présentant une longueur d'onde de 365 nm. Un filtre optique passe-haut de 650 nm a été utilisé pour détecter des défauts. La résolution en pixels des images est de 2 μm . Aux figures représentées de la Figure A.1 à la Figure A.5, les sous-figures des colonnes gauche et droite représentent, respectivement, une image de photoluminescence et la représentation schématique correspondante de l'image d'observation du défaut, en vue plane.

A.2 BPD

Les dislocations du plan basal (BPD) présentent des traits brillants contrastants sur les images de photoluminescence capturées à des longueurs d'onde d'émission supérieures à 650 nm.

NOTE 1 La largeur moyenne, l , exprimée en micromètres, de ce type de défaut dépend de l'épaisseur, d , exprimée en micromètres, de la couche homoépitaxiale (voir 4.6.2).

NOTE 2 Les directions d'extension des BPD sont principalement parallèles ou quasi parallèles à la direction d'écoulement de marches. Cependant, des BPD sont également régulièrement étendues dans d'autres directions et peuvent être courbées.