

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices –
Part 26: Description and measurement methods for micro trench and needle
structures**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques –
Partie 26: Description et méthodes de mesure pour structures de
microtranchées et de microaiguille**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2016 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
Fax: +41 22 919 03 00
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 corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

65 000 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.

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: csc@iec.ch.

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.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

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 aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

65 000 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.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices –
Part 26: Description and measurement methods for micro trench and needle
structures**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques –
Partie 26: Description et méthodes de mesure pour structures de
microtranchées et de microaiguille**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.080.99

ISBN 978-2-8322-3122-7

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
1 Scope	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	6
4 Description of trench structures in a micrometer scale	7
4.1 General.....	7
4.2 Symbols and designations	7
4.3 Description	9
5 Description of needle structures in a micrometer scale	9
5.1 General.....	9
5.2 Symbols and designations	9
5.3 Description	10
6 Measurement method	10
Annex A (informative) Examples of measurement for trench and needle structures in a micrometer scale	11
A.1 General.....	11
A.2 Measurement for depth of trench	11
A.2.1 Field emission type scanning electron microscopy	11
A.2.2 Coherence scanning interferometer (CSI)	12
A.2.3 Stylus surface profiler	14
A.2.4 Confocal laser scanning microscopy	16
A.2.5 Atomic force microscopy	17
A.3 Measurement for width of wall and trench at the upper surface of trench	18
A.3.1 Field emission type scanning electron microscopy	18
A.3.2 Coherence scanning interferometer	19
A.3.3 Stylus surface profiler	19
A.3.4 Confocal laser scanning microscopy	19
A.3.5 Optical microscopy	20
A.4 Measurement for side wall angle of trench by field emission type scanning electron microscopy	20
A.4.1 Principle of measurement	20
A.4.2 Preparation of sample.....	21
A.4.3 Procedure of measurement.....	21
A.4.4 Measurable range	21
A.5 Measurement for wall and trench width at the bottom of trench by field emission type scanning electron microscopy	21
A.5.1 Principle of measurement	21
A.5.2 Preparation of sample.....	21
A.5.3 Procedure of measurement.....	21
A.5.4 Measurable range	21
A.6 Measurement for geometry of needle	21
A.6.1 Field emission type scanning electron microscopy	21
A.6.2 Atomic force microscopy	23
Annex B (informative) Uncertainty in dimensional measurement	25
B.1 General.....	25
B.2 Basic concepts.....	25

B.3	Example of evaluating uncertainty of the average depth of trench	25
B.3.1	Sample and measured data for evaluating uncertainty	25
B.3.2	Source of uncertainty	26
B.3.3	Type A evaluation of standard uncertainty	26
B.3.4	Type B evaluation of standard uncertainty	26
B.3.5	Combined standard uncertainty	26
B.3.6	Expanded uncertainty and result	26
B.3.7	Budget table	26
Bibliography		28
Figure 1 – Schematic of example for trench structure in a micrometer scale and its cross section		7
Figure 2 – Cross section of trench structure in a micrometer scale		8
Figure 3 – Cross section of trench structure in a micrometer scale fabricated by a deep-reactive ion etching process with repeated deposition and etching of silicon		8
Figure 4 – Schematic of typical needle structures formed of three and four faces		9
Figure 5 – Front, side and top views of typical needle structures		10
Figure A.1 – FE-SEM image of trench structure with 5 μm -wide wall and 5 μm -wide trench		12
Figure A.2 – Schematic of CSI microscope comprising an equal-light-path interferometer		13
Figure A.3 – Measurability for depth of trench structure with a depth of D and a width of W_{Tu} using a stylus surface profiler		16
Figure A.4 – Relationship between shape of AFM probe tip and trench structure		18
Figure A.5 – Front, side and top views of typical needle structures tilted to the back side with 30°		23
Figure A.6 – Relationship between shapes of AFM probe tip and needle structure		24
Table 1 – Symbols and designations of trench structure in a micrometer scale		8
Table 2 – Symbols and designations of needle structure in a micrometer scale		10
Table A.1 – Example of measured data of trench depth		12
Table A.2 – CSI magnification (objective lens/ imaging lens) for measurement of all trench		14
Table B.1 – Example of measured data of trench depth		25
Table B.2 – Estimation of uncertainty in measurement		27

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SEMICONDUCTOR DEVICES –
MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –****Part 26: Description and measurement methods for
micro trench and needle structures**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 62047-26 has been prepared by subcommittee 47F: Microelectromechanical systems, of IEC technical committee 47: Semiconductor devices.

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

FDIS	Report on voting
47F/233/FDIS	47F/239/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.

A list of all parts in the IEC 62047 series, published under the general title *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website 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.

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

SEMICONDUCTOR DEVICES – MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –

Part 26: Description and measurement methods for micro trench and needle structures

1 Scope

This part of IEC 62047 specifies descriptions of trench structure and needle structure in a micrometer scale. In addition, it provides examples of measurement for the geometry of both structures. For trench structures, this standard applies to structures with a depth of 1 μm to 100 μm ; walls and trenches with respective widths of 5 μm to 150 μm ; and aspect ratio of 0,006 7 to 20. For needle structures, the standard applies to structures with three or four faces with a height, horizontal width and vertical width of 2 μm or larger, and with dimensions that fit inside a cube with sides of 100 μm .

This standard is applicable to the structural design of MEMS and geometrical evaluation after MEMS processes.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

None.

3 Terms and definitions

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

3.1

trench structure

one or more rectangular structures engraved in a planar substrate, with a constant trapezoidal cross section profile

3.2

needle structure

projecting structures with a pointed tip formed of three or more faces, formed on a planar substrate with the plane of symmetry in the vertical plane

3.3

wall and trench

two or more of the trench structures arranged in parallel at regular intervals

3.4

scallop

irregularity formed cyclically in the side walls after a deep-reactive ion etching (DRIE) process with repeated deposition and selective etching of polymeric passivation layer and then etching of a silicon substrate

4 Description of trench structures in a micrometer scale

4.1 General

This standard specified the method of indicating the cross-sectional geometry of trench structures with micrometer scale dimensions. Figure 1 is a diagram of the cross section required for indicating the cross-sectional geometry of trench structures in this standard. The cross-sectional geometry of trench structures is the cross-sectional shape at a line longitudinally intersecting the trench structure at right angles as viewed from the upper surface of the substrate, with an error of $\pm 1^\circ$ or less.

See Clause 6 and Annex A for the method of measuring the cross-sectional dimensions of trench structures.

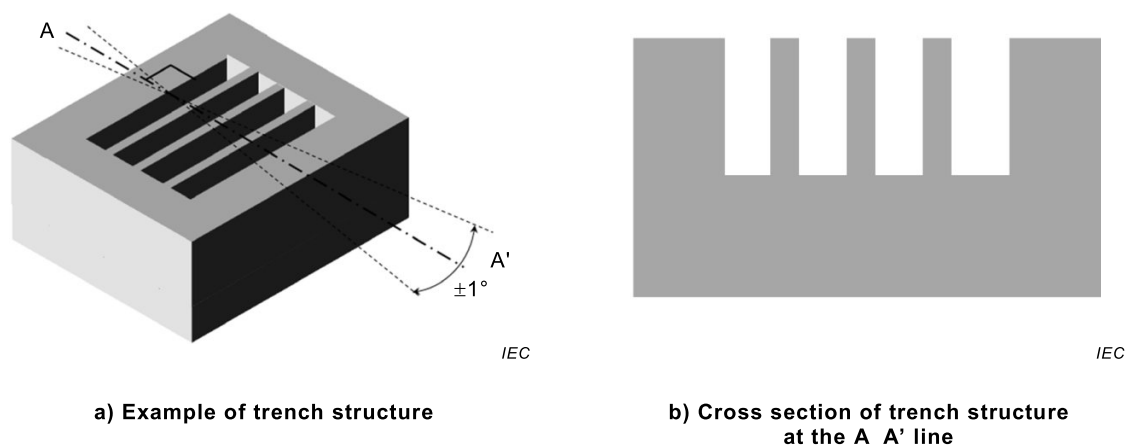


Figure 1 – Schematic of example for trench structure in a micrometer scale and its cross section

4.2 Symbols and designations

The cross section of a typical trench structure is shown in Figure 2, and the symbols, designations and units used for indicating the cross section of the trench structures are listed in Table 1.

The horizontal datum line for indicating the cross section in Figure 2 is a straight line approximating the upper surface of the planar substrate. The vertical datum line is defined as a line intersecting the horizontal datum line at right angles. The trench side wall is indicated by its straight line approximation. The bottom of trench is expressed as its approximate straight or curved line. On the upper surface of the trench structure, the wall is defined as the area that is considered same as the horizontal datum line without etching, and the trench is defined as the etched area. According to these definitions, the widths of the wall and trench at the upper surface are expressed as shown in Figure 2. The trench side wall angle is defined as the angle between the horizontal datum line and approximate line of the side wall, and it is indicated with a value measured clockwise from the horizontal datum line positioned on the top of the wall to the trench side wall by the shortest distance, as shown in Figure 2. The widths of the wall and trench at the bottom of the trench are expressed by distances between intersection points with the approximate line of the side wall and approximate straight or curved line at the bottom of the trench. The depth of the trench is defined as the shortest distance from the horizontal datum line at the middle of the trench to the bottom surface of the trench.

When the trench structure is fabricated by the DRIE process with repeated deposition and selective etching of polymeric passivation layer and then etching of a silicon substrate, scallops are formed in the trench side walls after etching. Figure 3 shows a cross section of a trench structure with inverse taper side walls prepared with the DRIE etching process, including symbols for the geometry.

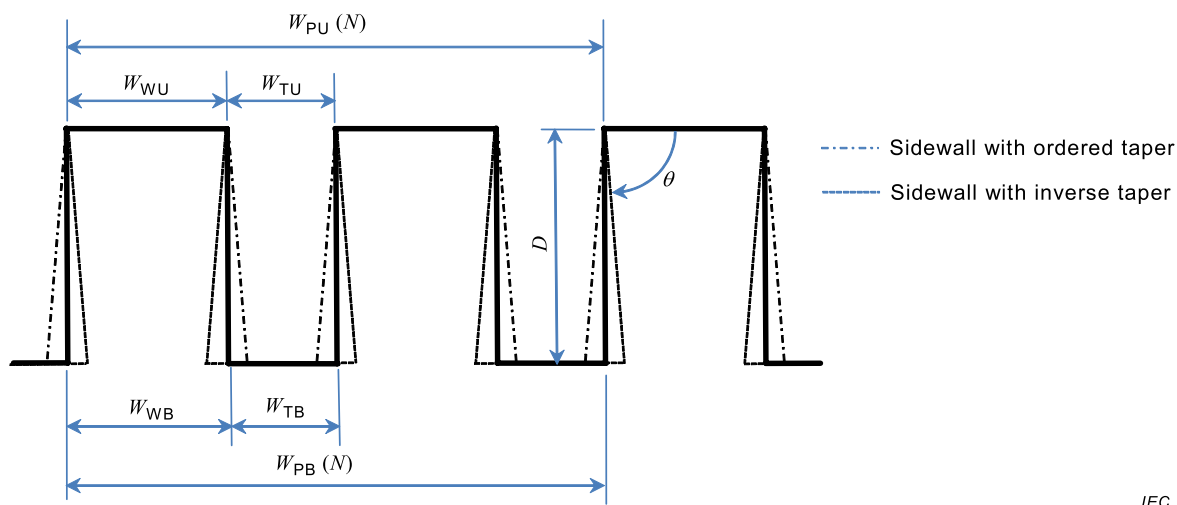


Figure 2 – Cross section of trench structure in a micrometer scale

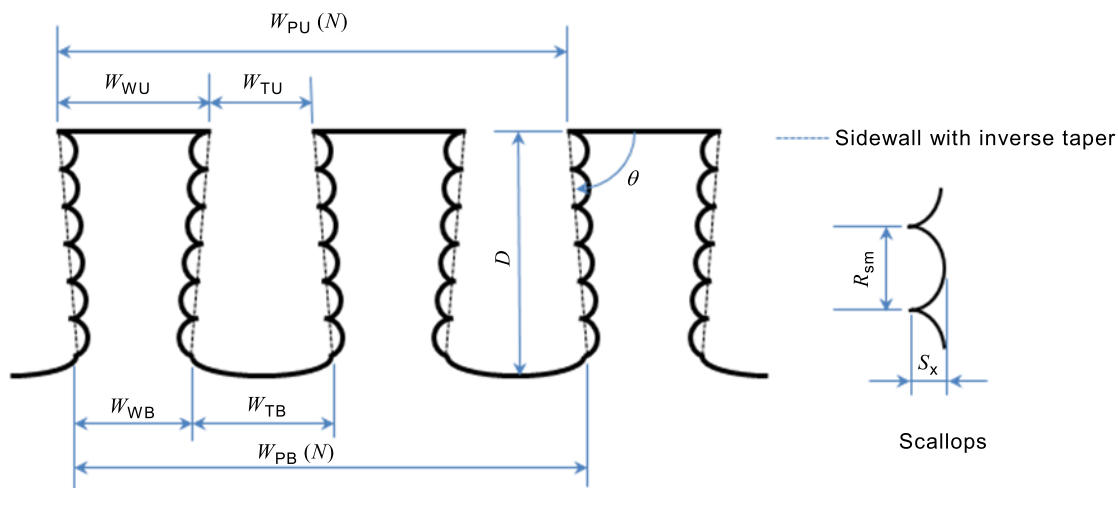


Figure 3 – Cross section of trench structure in a micrometer scale fabricated by a deep-reactive ion etching process with repeated deposition and etching of silicon

Table 1 – Symbols and designations of trench structure in a micrometer scale

Symbol	Unit	Designation
W_{WU}	μm	Width of wall part at the upper surface
W_{TU}	μm	Width of trench part at the upper surface
W_{WB}	μm	Width of wall part at the bottom of trench
W_{TB}	μm	Width of trench part at the bottom of trench
$W_{PU(N)}$	μm	Distance of N pitches of Wall and Trench at the upper surface
$W_{PB(N)}$	μm	Distance of N pitches of Wall and Trench at the bottom of trench
N	–	Number of pitches
D	μm	Depth of trench at the center of trench
θ	Deg	Sidewall angle
S_x	μm	Horizontal distance of scallop
R_{sm}	μm	Mean vertical distance of scallop

4.3 Description

Trench structures shall be dimensioned using Figure 2 or Figure 3 in accordance with 4.1 and 4.2. See ISO 129-1[1]¹ for indicating dimensions.

5 Description of needle structures in a micrometer scale

5.1 General

This standard specifies the method of indicating the geometry of needle structures in a micrometer scale. Figure 4 shows an external view of a typical needle structure. The needle structures defined in this standard are projecting structures with a pointed tip formed of three or four faces, formed on a planar substrate with the plane of symmetry in the vertical plane. The hatching plane in the figure is the plane of symmetry. The bottom face of the needle structure corresponds to the surface of the planar substrate.

See Clause 6 and Annex A for the method of measuring the geometry of needle structures.

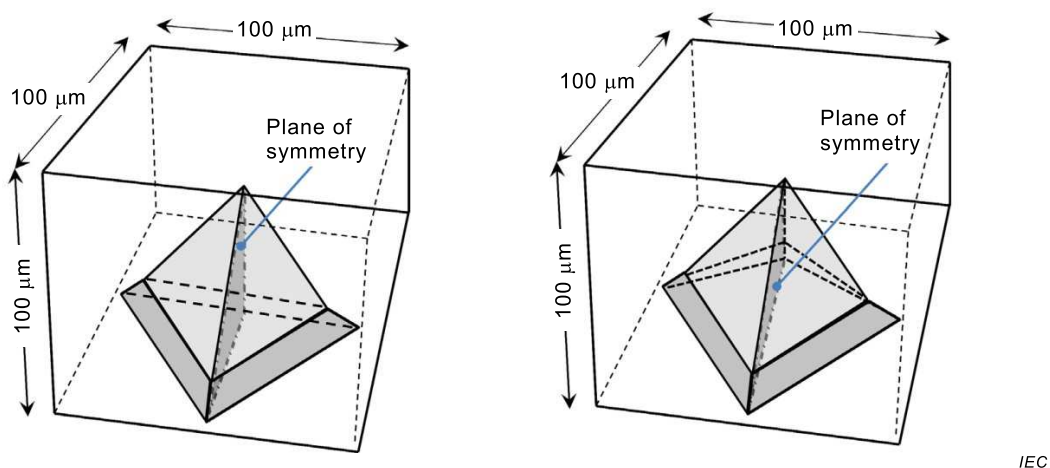


Figure 4 – Schematic of typical needle structures formed of three and four faces

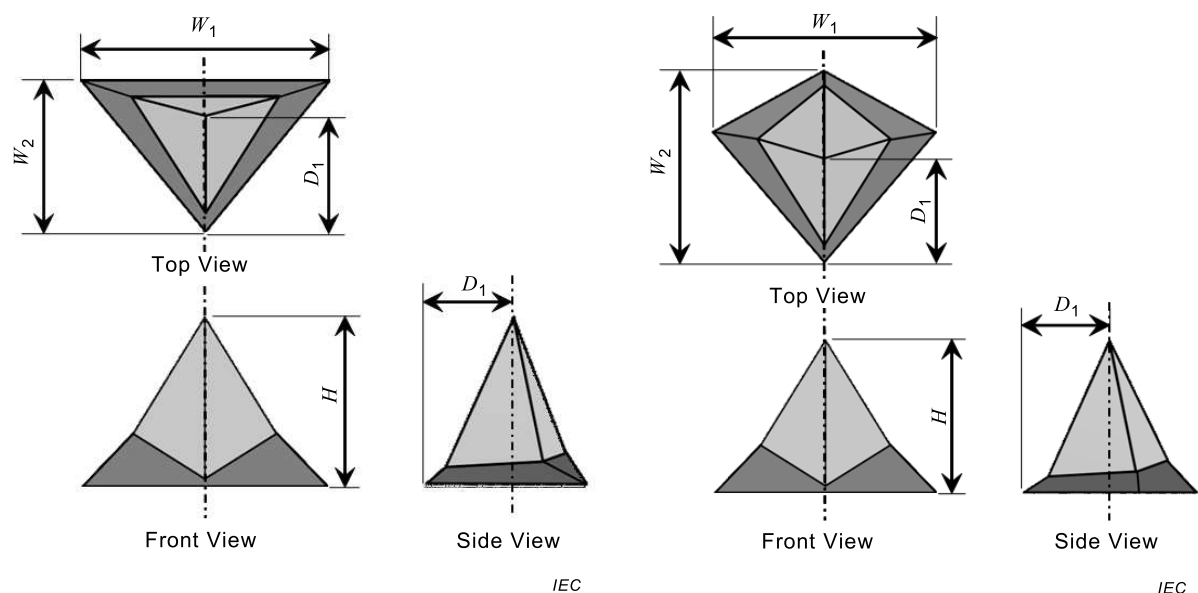
5.2 Symbols and designations

Figure 5 is a three-view drawing of a typical needle structure. Table 2 lists the symbols, designations and units used for indicating the geometrical dimensions of the needle structures.

The front position of the needle structures is defined as the position where the structure shows bilateral symmetry with the plane of symmetry in the center and where the bottom face of the structure corresponds to the horizontal plane. The front position of needle structures with tips formed of three faces is the location where the two faces are in front with the plane of symmetry in the center. The front position of needle structures with tips formed of four faces is the location where the two faces with the largest area are in front with the plane of symmetry in the center.

The geometric dimensions of the needle structures specified in this standard are height of needle, H , widths at the bottom face of the needle structure, W_1 and W_2 , and distance, D_1 , that is the dimension shown in the top view or side view in Figure 5.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.



a) Typical needle structure with three faces

b) Typical needle structure with four faces

Figure 5 – Front, side and top views of typical needle structures

Table 2 – Symbols and designations of needle structure in a micrometer scale

Symbol	Unit	Designation
W_1	μm	Horizontal width of needle structure at top view
W_2	μm	Vertical width of needle structure at top view
D_1	μm	Distance between tip and front point of needle structure
H	μm	Height of needle structure

5.3 Description

Needle structures shall be dimensioned using Figure 5 in accordance with 5.1 and 5.2. See ISO 129-1^[1] for indicating dimensions.

6 Measurement method

See Annex A for examples of measurement for indicating the geometry of trench and needle structures. The measurement conditions required for all measurements are described as follows.

- Record the temperature, humidity and necessary measurement conditions for each measurement.
- Perform measurement within the dimensional scale guaranteed in the instrument used for each measurement.
- Use instruments calibrated before each measurement.
- For calibration of the instruments, consult the equipment supplier if necessary.
- Maintain the levelness and perpendicularity of the sample when set in the instrument within the range guaranteed in the instrument.
- Specify the method of straight line approximation and curve approximation required for indicating the geometry of trench structures.
- The measurement results should be recorded in accordance with Clause B.2.

Annex A (informative)

Examples of measurement for trench and needle structures in a micrometer scale

A.1 General

Annex A describes examples of measurement for the geometry of trench and needle structures in a micrometer scale. Clauses A.2 to A.6 summarize the principles of the measurement, the methods of the sample preparation, and the procedures of measurement in respective geometry of structures, providing one or more specific examples for measuring the geometry of trench and needle structures.

A.2 Measurement for depth of trench

A.2.1 Field emission type scanning electron microscopy

A.2.1.1 Principle of measurement

A field emission type scanning electron microscope (FE-SEM) is a device that illuminates the sample with an electron beam to produce an image of its surface features. The electron beam source is a silicon or tungsten tip which can emit electrons by applying an electric field to the tip. When the FE-SEM illuminates the sample with the electron beam, secondary electrons are also emitted from the surface of the sample. During scanning a highly focused electron beam over the surface of the sample, the secondary electrons are detected. Converting the emissions of secondary electrons into a brightness signal produces an electron micrograph.

A.2.1.2 Preparation of sample

For measuring the depth of a trench with FE-SEM, it is necessary to observe and measure the cross section of the sample directly. In order to show the cross section of the sample clearly as shown in Table 1 of 4.2, the sample should be bisected.

A.2.1.3 Procedure of measurement

The depth of the trench is the shortest distance from the horizontal datum line at the middle of the trench to the bottom surface of the trench, as described in 4.2. Perform measurement according to the procedures specified by the equipment supplier. The following points should be observed.

- a) Place the sample in the SEM sample chamber so that the orientation of the FE-SEM electron beam corresponds to the normal vector of the sample cross section. The levelness of the sample should be maintained within the range guaranteed in the equipment.
- b) Set the magnification so that the whole trench fits inside the SEM image.
- c) Adjust the focus, the contrast and so on according to the procedures specified by the equipment supplier.
- d) Measure the relevant dimensions using the length measuring function provided by the equipment supplier.
- e) Measure a single location the recommended number of times (see Clause B.2), and use the average of the measurement results as the measured value. See Annex B for the repeatability of measurements.

A.2.1.4 Measureable range

Measurement is applicable to trench structures within the dimensional range indicated in 4.1. Figure A.1 and Table A.1 show an example of measurement of trench depth with 2 500 times magnification using FE-SEM.

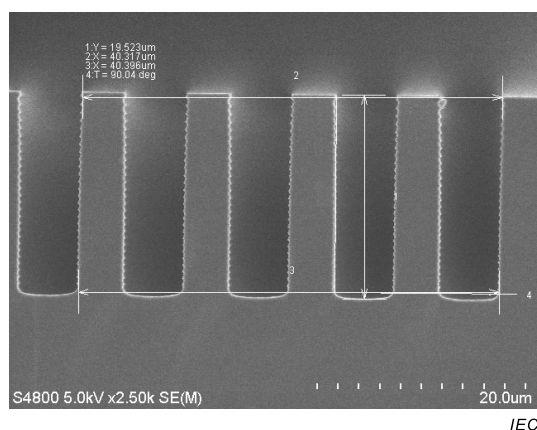


Figure A.1 – FE-SEM image of trench structure with 5 μm -wide wall and 5 μm -wide trench

Table A.1 – Example of measured data of trench depth

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Trench depth, D [μm]	19,6	19,5	19,6	19,6	19,5	19,6	19,5	19,5	19,5	19,6

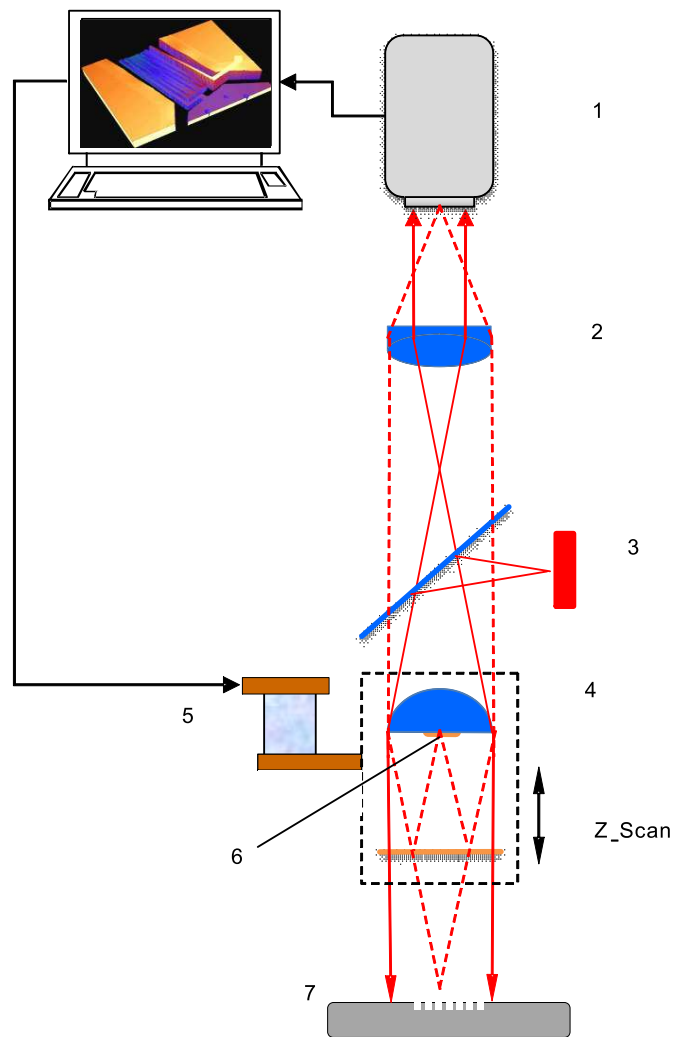
A.2.2 Coherence scanning interferometer (CSI)

A.2.2.1 Principle of measurement

A Coherence Scanning Interferometer (CSI) is a system for measuring surface profile by scanning the surface of a sample vertically with an objective lens comprising an equal-light-path interferometer.

Figure A.2a) shows the basic configuration of a CSI microscope. The sample has irregularities in the height, h , of the surface overall. The CSI microscope uses an actuator to move the interferometer objective lens smoothly and continuously in a scanning motion in the Z-scan direction shown in the figure. During scanning the sample surface, a computer records the interference brightness signal of each CCD pixel of each frame in sequence.

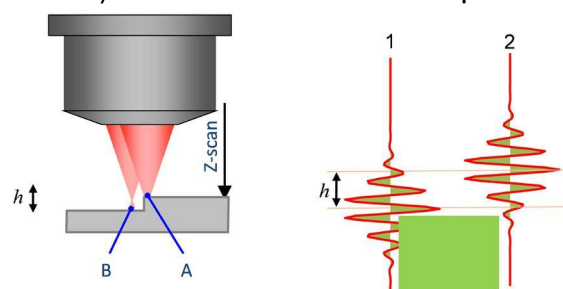
Figure A.2b) shows the two interference strength signals acquired from the vertical difference in height, h , in the surface of the sample (points A and B in the figure). The surface height of the object is determined by comparing the interference strength signal of the CCD pixels corresponding to both points. Specifically, the scanning position (the equal-light-path position) corresponding to the interference signal with the greatest contrast is found by processing each pixel in the field of view.



IEC

Key

- | | | | |
|---|------------------------|---|---------------------|
| 1 | CCD Camera | 5 | Actuator for Z-scan |
| 2 | Image lens | 6 | Reference mirror |
| 3 | White light source | 7 | Object |
| 4 | Interference objective | | |

a) Basic features of CSI microscope

IEC

Key

- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1 | Intensity signal at camera pixel "B" |
| 2 | Intensity signal at camera pixel "A" |

b) Intensity signal as captured by two camera pixel "A" and "B"

Figure A.2 – Schematic of CSI microscope comprising an equal-light-path interferometer

A.2.2.2 Preparation of sample

The sample is not cut.

A.2.2.3 Procedure of measurement

The depth of the trench is the shortest distance from the horizontal datum line at the middle of the trench to the bottom surface of the trench, as described in 4.2. Perform measurement according to the procedures specified by the equipment supplier. The following points should be observed.

- Select an interference lens with magnification that allows observation of the walls and trenches to be measured. If necessary, change the magnification of the interference lens to intermediate lens magnification. It is advisable to select measurement magnification with wall and trench dimensions that do not depend on the depth of the trench. Table A.2 lists an example of the measurement magnifications for various wall and trench dimensions;
- Set the sample so that the optical axis of the microscope corresponds to the normal vector of the surface of the sample;
- Adjust the focus, contrast and so on according to the procedures specified by the equipment supplier;
- Set the measurement conditions such as the scanning range in the z axis according to the procedures specified by the equipment supplier and measure the profile of the sample surface;
- Using the length measuring function provided by the equipment supplier, analyze the measurement data obtained to find the trench depth, wall width, and trench width;
- Measure a single location the recommended number of times (see Clause B.2), and use the average of the measurement results as the measured value. See Annex B for the repeatability of measurements.

**Table A.2 – CSI magnification (objective lens/ imaging lens)
for measurement of all trench**

Wall and trench (nominal dimensions)	Magnification for interference objective lens	Magnification for imaging lens
5 µm-wide wall & 5 µm-wide trench	50	2,0
15 µm-wide wall & 5 µm-wide trench	50	2,0
20 µm-wide wall & 10 µm-wide trench	50	1,0
30 µm-wide wall & 20 µm-wide trench	50	1,0
50 µm-wide wall & 50 µm-wide trench	50	1,0
150 µm-wide wall & 100 µm-wide trench	10	1,0

A.2.2.4 Measurable range

Measurement is applicable to trench structures within the dimensional range indicated in 4.1.

A.2.3 Stylus surface profiler

A.2.3.1 Principle of measurement

A stylus surface profiler is an instrument that measures the surface roughness and waviness by scanning a pointed stylus on the surface of a sample. A conical shape with a spherical tip is used for the stylus, and its shape is indicated by the radius of the stylus tip and taper angle of the cone. The measuring instrument presses the stylus against the sample with a specified measurement force and precisely measures the vertical displacement of the stylus. Machines typically measure a one-directional profile (total profile) by a horizontal scan. The resolution

of stylus displacement measurement is typically 0,1 nm. There are limitations of measurement shape depending on the shape of the stylus.

A.2.3.2 Preparation of sample

The sample is not cut.

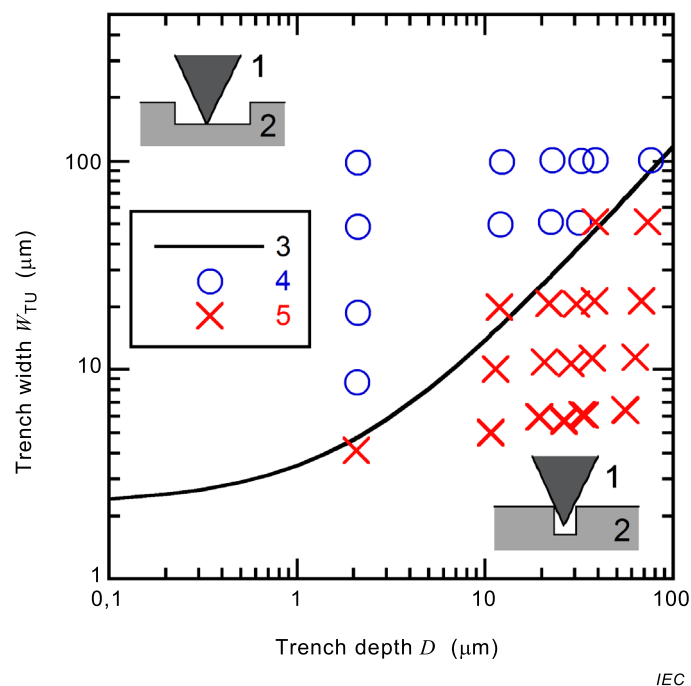
A.2.3.3 Procedure of measurement

Perform measurement according to the procedures specified by the equipment supplier. See ISO 3274^[3] for the characteristics of the measurement instrument. The following points should be observed.

- a) Observe the stylus used for measurement with an optical microscope and confirm that the tip and taper surface are not damaged or contaminated;
- b) Adjust the measuring force and scanning speed of the stylus to a value that can follow the deep height in the trench structure and set the evaluation length so that the trench width is sufficiently covered;
- c) Perform a scanning measurement and save the one-directional profile (total profile) as an electronic data. Filtering should not be performed;
- d) From the total profile, define the horizontal datum joining the two points on either side of the trench on the upper surface of the substrate;
- e) From the shape of the total profile, determine whether the bottom surface of the trench has been measured. A V-shaped profile is usually obtained when the stylus cannot reach the bottom surface of the trench. If the bottom surface of the trench has been measured, the distance from the horizontal datum at the middle of the trench to the bottom of the trench is the measured value for trench depth, D ;
- f) Measure a single location the recommended number of times (see Clause B.2), and use the average of the measurement results as the measured value. See Annex B for the repeatability of measurements.

A.2.3.4 Measurable range

When the stylus tip cannot reach the bottom surface of the trench, the trench depth cannot be measured. Figure A.3 shows an example examining whether the trench depth measurement was achieved using a stylus having a tip with a radius of 2 μm and cone angle of 60°. The boundary of successful measurement roughly corresponds to the geometric contact criteria (see the solid line in Figure A.3 determined by the top width of the trench, W_{TU} , and the depth of the trench, D). This criterion is dependent also on the stylus tip shape. In addition, it is impossible to measure the depth larger than the upper limit of the vertical measurement range which is specified for a stylus surface profiler.



Key

- 1 Stylus tip
- 2 Trench specimen
- 3 Geometric criteria
- 4 Depth measurable case
- 5 Depth unmeasurable case

Figure A.3 – Measurability for depth of trench structure with a depth of D and a width of W_{Tu} using a stylus surface profiler

A.2.4 Confocal laser scanning microscopy

A.2.4.1 Principle of measurement

Confocal laser scanning microscope (CLSM) is a device for observing the surface morphology of the sample at high resolution using laser beam scanning. The surface of the sample is scanned two-dimensionally with a focused laser beam and light reflected from the surface is captured with a photodetector, providing information about the surface. Furthermore, since the image sensor of the confocal microscope only detects the reflected light from the highly limited focal position, it can obtain high definition images. A precise 3D image can be obtained by moving the focus position through various heights, collecting 2D (x-y plane) images.

The resolution of the CLSM is determined by the wavelength of the laser source, the NA (Numerical aperture) of the lens and so on.

A.2.4.2 Preparation of sample

The sample is not cut.

A.2.4.3 Procedure of measurement

Perform measurement according to the procedures specified by the equipment supplier. The following points should be observed.

- a) Align the observing sample surface perpendicular to the optical axis (z axis). Namely, align the surface parallel to the x-y plane;

- b) Set the magnification so that the trench to be measured fits in the area for measurement. The highest magnification possible should be used;
- c) Set the scanning range of z direction deeper than the depth of the trench to be measured;
- d) Measure a single location for the recommended number of times (see Clause B.2), and use the average of the measurement results as the measured value. See Annex B for the repeatability of measurements.

A.2.4.4 Measurable range

Measurement is applicable to trench structures within the dimensional range indicated in 4.1.

A.2.5 Atomic force microscopy

A.2.5.1 Principle of measurement

An atomic force microscope (AFM) is a high-resolution type of scanning probe microscope for obtaining surface profile images by using the interatomic force between an AFM probe and the surface of the sample. A sharp probe is scanned two-dimensionally over the surface of the sample (x-y plane) maintaining a constant interatomic force, and the height profile of the sample surface is measured three-dimensionally by measuring the displacement in the probe height (z position) in the respective x-y positions. There are several measurement methods with AFM measurement including contact mode, non-contact mode, and tapping mode. With the contact mode (static measurement mode), the probe makes light contact with the surface of the sample, and the surface of the sample is scanned maintaining a fixed repulsion between the needle point tip and the surface of the sample. With the non-contact mode (dynamic mode), the probe is vibrated slightly, and the surface of the sample is scanned maintaining a fixed amplitude of attraction between the needle point tip and the surface of the sample. With the tapping mode, a vibrating probe scans the surface of the sample continuously tapping the surface of the sample. The resolution of AFM depends on the precision of the probe tip radius, the measurement mode and the scanner.

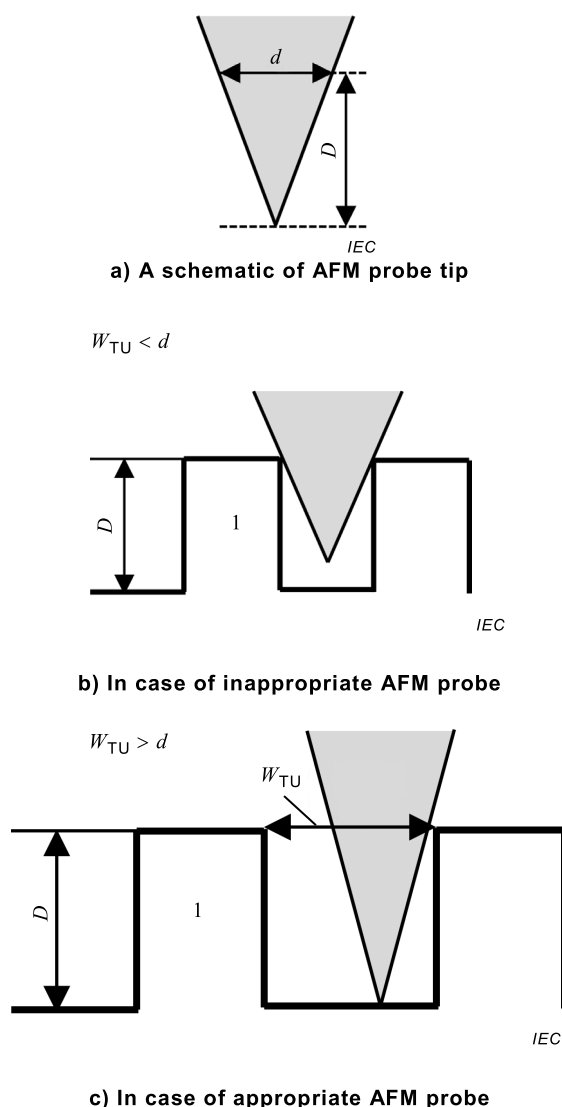
A.2.5.2 Preparation of sample

The sample is not cut.

A.2.5.3 Procedure of measurement

Perform measurement according to the procedures specified by the equipment supplier. The following points should be observed.

- a) Set the sample so that its surface (the surface to be observed) is vertical in relation to the z axis direction and so that the edge line of the trench wall on the sample surface is vertical in relation to the horizontal (x-y) scanning direction;
- b) Select an AFM probe with a shape that can reach the bottom of the trench (See Figure A.4);
- c) Measure a single location the recommended number of times (see Clause B.2), and use the average of the measurement results as the measured value. See Annex B for the repeatability of measurements.



Key

- 1 Trench structure specimen
- d Diameter of AFM probe tip at D away from the end of the tip

Figure A.4 – Relationship between shape of AFM probe tip and trench structure

A.2.5.4 Measurable range

With this method of measurement, the measurement performance of the AFM places restrictions on the trench structures that can be measured. The following point should be observed.

The trench depth, D , should be within the maximum scanning range of the AFM Z scanner.

A.3 Measurement for width of wall and trench at the upper surface of trench

A.3.1 Field emission type scanning electron microscopy

A.3.1.1 Principle of measurement

See A.2.1.1.

A.3.1.2 Preparation of sample

See A.2.1.2.

A.3.1.3 Procedure of measurement

See A.2.1.3, items a) to e). Measurement of the width of the wall and trench at the upper surface can also be performed from the surface of the sample.

A.3.1.4 Measurable range

See A.2.1.4.

A.3.2 Coherence scanning interferometer**A.3.2.1 Principle of measurement**

See A.2.2.1.

A.3.2.2 Preparation of sample

See A.2.2.2.

A.3.2.3 Procedure of measurement

See A.2.2.3, items a) to f).

A.3.2.4 Measurable range

See A.2.2.4.

A.3.3 Stylus surface profiler**A.3.3.1 Principle of measurement**

The measurement principle for one-directional shape profiles conforms to A.2.3.1. At the top edge of the trench, the spherical part of the stylus tip makes contact with the edge of the sample and produces a total profile that connects two straight lines with an arc reflecting the stylus tip shape. The edge position can be estimated from this profile if the stylus tip shape was assumed. The trench widths, W_{TU} and W_{WU} , can be calculated from the positions of the two edge position values for either side of the trench and the edge position value of the adjacent trench.

A.3.3.2 Preparation of sample

See A.2.3.2.

A.3.3.3 Procedure of measurement

See A.2.3.3, items a) to f).

A.3.3.4 Measurable range

Measurement is applicable to trench structures within the dimensional range indicated in 4.1.

A.3.4 Confocal laser scanning microscopy**A.3.4.1 Principle of measurement**

See A.2.4.1.

A.3.4.2 Preparation of sample

See A.2.4.2.

A.3.4.3 Procedure of measurement

See A.2.4.3.

A.3.4.4 Measurable range

See A.2.4.4. With this measurement method, if the side angle of the wall, θ , is less than 90° , the trench width at the bottom of the trench, W_{TB} , and the wall width, W_{WB} , cannot be measured.

A.3.5 Optical microscopy

A.3.5.1 Principle of measurement

With this method, a reflected light microscope (metallurgical microscope) is used to measure the intervals between the edges of the trench structures, measuring the width of the walls and trench of the trench structure by comparing the dimensions with a calibration scale. When visible light is used, resolution is about 200 nm. The measurement is determined by the magnification of the lens used.

A.3.5.2 Preparation of sample

The sample is not cut.

A.3.5.3 Procedure of measurement

Perform measurement according to the procedures specified by the equipment supplier. The following points should be observed.

- a) For length calibration, take a photograph of a micrometer scale for optical microscopy at the magnification used when measuring the trench interval, or capture an image using an image pickup device and calibrate the length. Select an appropriate micrometer interval for calibration according to the measurement magnification;
- b) Place the sample under the objective lens and take a photograph of the trench structure at the magnification used for calibration, or capture an image using an image pickup device and measure the intervals of the trench structure required;
- c) Calculate the upper wall width and the upper trench width, W_{WU} and W_{TU} , using the calibration value obtained in a);
- d) Measure a single location for the recommended number of times (see Clause B.2), and use the average of the measurement results as the measured value. See Annex B for the repeatability of measurements.

A.3.5.4 Measurable range

Measurement is applicable to trench structures within the dimensional range indicated in 4.1.

A.4 Measurement for side wall angle of trench by field emission type scanning electron microscopy

A.4.1 Principle of measurement

See A.2.1.1.

A.4.2 Preparation of sample

See A.2.1.2.

A.4.3 Procedure of measurement

See A.2.1.3, items a) to e). If the side wall of the trench has obvious scallop structures, measure the dimensions, S_x and R_{Sm} , shown in Figure 3 and Table 1.

A.4.4 Measurable range

See A.2.1.4.

A.5 Measurement for wall and trench width at the bottom of trench by field emission type scanning electron microscopy**A.5.1 Principle of measurement**

See A.2.1.1.

A.5.2 Preparation of sample

See A.2.1.2.

A.5.3 Procedure of measurement

See A.2.1.3, items a) to e).

A.5.4 Measurable range

See A.2.1.4.

A.6 Measurement for geometry of needle**A.6.1 Field emission type scanning electron microscopy****A.6.1.1 Principle of measurement**

See A.2.1.1.

A.6.1.2 Preparation of sample

Damaged needle structures shall not be taken for the measurement.

A.6.1.3 Procedure of measurement

- a) Place the sample on the sample stage in the SEM sample chamber so that the orientation of the FE-SEM electron beam corresponds to the normal vector of the bottom face of the needle structure. The levelness of the sample should be maintained within the range guaranteed in the equipment;
- b) Set the magnification so that the whole needle fits inside the SEM image.
- c) Adjust the focus, contrast and so on according to the procedures specified by the equipment supplier;
- d) Measure the relevant dimensions W_1 , W_2 and D_1 using the length measuring function provided by the equipment supplier;

- e) Tilt the sample stage 30° in the plane of symmetry of the needle structure as shown in Figure A.5a), and measure D_2 shown in Figure A.5a) using the length measuring function provided by the equipment supplier;
- f) Calculate the needle height, H , using the following formulae based on the geometrical conditions shown in Figure 5 and Figure A.5a).

$$\tan \theta = \frac{D_1}{H} \quad (1)$$

and

$$\cos(60^\circ - \theta) = \frac{D_2}{L} \quad (2)$$

$$\cos \theta = \frac{H}{L} \quad (3)$$

Formulae (2) and (3) give

$$\frac{\cos(60^\circ - \theta)}{\cos \theta} = \frac{D_2}{H} \quad (4)$$

Then,

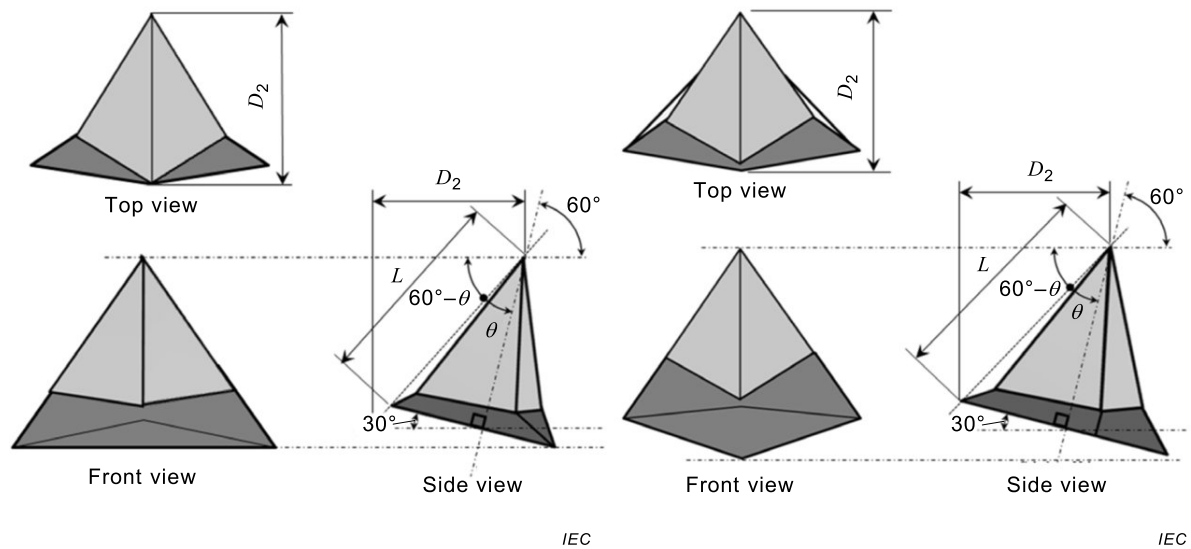
$$\cos 60^\circ + \sin 60^\circ \tan \theta = \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \tan \theta = \frac{D_2}{H} \quad (5)$$

When Formula (1) is substituted in Formula (5)

$$H = 2D_2 - \sqrt{3}D_1 \quad (6)$$

results, giving the needle height, H .

- g) Measure a single location for the recommended number of times (see Clause B.2), and use the average of the measurement results as the measured value. See Annex B for the repeatability of measurements.



a) Typical needle structure with three faces

b) Typical needle structure with four faces

Figure A.5 – Front, side and top views of typical needle structures tilted to the back side with 30°

A.6.1.4 Measurable range

Measurement is applicable to needle structures within the dimensional range indicated in 5.1.

A.6.2 Atomic force microscopy

A.6.2.1 Principle of measurement

See A.2.5.1.

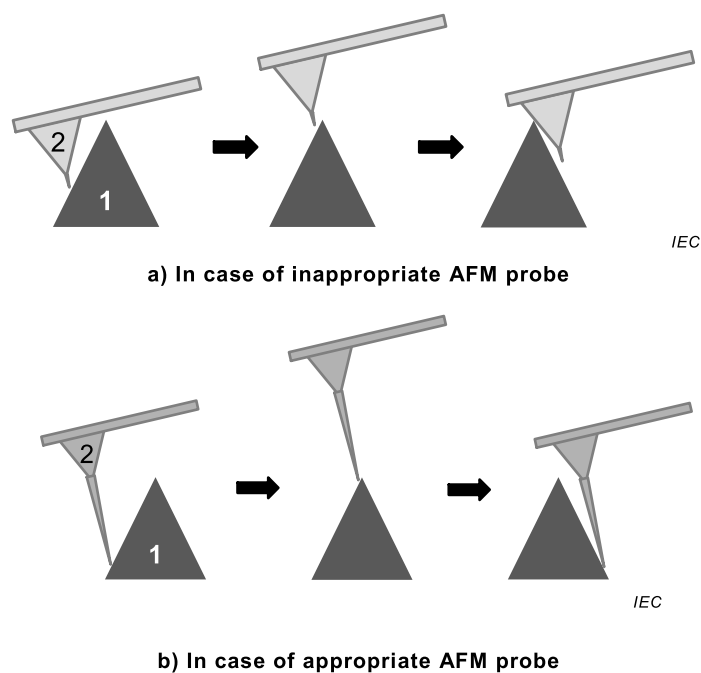
A.6.2.2 Preparation of sample

The sample is not cut.

A.6.2.3 Procedure of measurement

Perform measurement of each dimension of the needle structure according to the procedures specified by the equipment supplier. The following points should be observed.

- Arrange the needle bottom face (or substrate surface) so that it is vertical in relation to the Z-scanning direction of the AFM.
- To measure the side height profile of the needle, select an AFM probe tip with a shape that can reach the needle side and base (see Figures A.6a) and A.6b)).
- Measure a single location the recommended number of times (see Clause B.2), and use the average of the measurement results as the measured value. See Annex B for the repeatability of measurements.



Key

- 1 Needle structure specimens
- 2 AFM probe

Figure A.6 – Relationship between shapes of AFM probe tip and needle structure

A.6.2.4 Measurable range

With this method of measurement, the measurement performance of the AFM places restrictions on the needle structures that can be measured. The following points should be observed.

- a) The horizontal direction needle width, W_1 and W_2 , should be smaller than the scanning range of the AFM X-Y scanner by a sufficient margin.
- b) The needle height, H , should be within the maximum scanning range of the AFM Z scanner.

Annex B (informative)

Uncertainty in dimensional measurement

B.1 General

Annex B covers the reliability of the measurement results of dimensions shown in the method of indicating shapes specified in the standard, restricted to the trench and needle structures used in MEMS (micro-electromechanical systems). The reliability of the measurement results of MEMS dimensions is evaluated and expressed in terms of uncertainty based on repeatability of measurement. The definition and expression of uncertainty specified here follows the Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM) issued as ISO/IEC Guide 98-3^[2] by JCGM (Joint Committee for Guides in Metrology). In addition, the terms used in the standard are those defined in GUM.

B.2 Basic concepts

Annex B covers the expression of the measurement results of MEMS dimensions performed using the recommended methods and common requirements shown in Annex A.

The measured value (reported value) is expressed as the best estimate X , calculated using the values obtained by repeating the measurement n times. Here, the recommended number of iterations of measurement n is four to ten. The principles and methods of measurement and the equipment and procedures used are described briefly. In addition, the calibration of measured values as shown by the measuring equipment and analysis procedures (data processing) such as averaging are described. The measurement results are expressed as follows using the best estimate X and expanded uncertainty U .

$$X \pm U(k = 2)$$

However, k indicates the coverage factor.

B.3 Example of evaluating uncertainty of the average depth of trench

B.3.1 Sample and measured data for evaluating uncertainty

Uncertainty analysis of measurement using actual measurement results with FE-SEM is shown in Table B.1. The measurand is the “trench structure depth: dimension D ” defined in 4.2. A sample with a trench structure with a wall of 150 μm , a trench of 100 μm , and depth of 70 μm is used as an example. Dimension D of the cross section of the sample was measured directly using the length measuring function of FE-SEM. The procedure in A.2.1.3 was used for measurement. For analysis of uncertainty, a single location in the same sample was measured for the recommended number of iterations of measurement (see Clause B.2) to gather data. In this case, the sample was measured ten times.

Table B.1 shows the measurement data for trench depth D for a trench structure with a wall of 150 μm , a trench of 100 μm , and depth of 70 μm , used for uncertainty analysis described in B.3.2 to B.3.7.

Table B.1 – Example of measured data of trench depth

The number of trials	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Trench depth, D [μm]	68,5	68,0	68,0	68,5	68,0	68,0	68,0	68,5	68,0	68,0

B.3.2 Source of uncertainty

Uncertainty analysis of sample measurement uses cause and effect diagrams and so on to examine uncertainty in as much detail as possible. In this example, the following three uncertainty factors are considered.

- a) Measurement repeatability $u(s)$: Test standard deviation found from the measured data for the number of recommended measurement iterations for the same sample.
- b) Measuring equipment resolution $u(R)$: Minimum resolution of the FE-SEM used for measurement (value at $\times 400$).
- c) Uncertainty of calibration of measuring equipment $u(C)$: Calibration uncertainty of the FE-SEM corresponding to uncertainty in the calibration of the standard.

B.3.3 Type A evaluation of standard uncertainty

The test standard deviation was found using the results of repeated measurement of the same sample. The best estimate was $68,2 \mu\text{m}$ ($68,15 \mu\text{m}$), the test standard deviation was $0,2 \mu\text{m}$ ($0,242 \mu\text{m}$), and the average test standard deviation was $0,08 \mu\text{m}$ ($0,076 \mu\text{m}$). Therefore, it may be estimated as $u(s) = 0,08 \mu\text{m}$.

B.3.4 Type B evaluation of standard uncertainty

- a) The minimum resolution of the FE-SEM used for measurement was $\times 400$ magnification at $0,1 \mu\text{m}$, therefore $u(R)$ is estimated as a $\pm 0,05 \mu\text{m}$ rectangular distribution. $\sqrt{3}$ is used as the divisor of the rectangular distribution, therefore uncertainty may be estimated as $u(R) = 0,03 \mu\text{m}$.
- b) The uncertainty shown on the calibration certificate of the FE-SEM of $0,05 \mu\text{m}$ in a normal distribution is used for $u(C)$. 2 is used as the divisor of the normal distribution, therefore uncertainty may be estimated as $u(C) = 0,025 \mu\text{m}$.

B.3.5 Combined standard uncertainty

Composite uncertainty u_c comprising standard uncertainty components $u(s)$, $u(R)$ and $u(C)$ is found to be $0,09 \mu\text{m}$ ($0,089 \mu\text{m}$).

B.3.6 Expanded uncertainty and result

Assuming a coverage factor of 2, expanded uncertainty U is found to be $0,18 \mu\text{m}$ ($0,178 \mu\text{m}$). Therefore the measurement result is $68,2 \mu\text{m} \pm 0,18 \mu\text{m}$ ($k = 2$).

B.3.7 Budget table

An uncertainty estimation table is shown in Table B.2.

Table B.2 – Estimation of uncertainty in measurement

Symbol	Uncertainty factors (type)	Value (μm)	Probability distribution	Divisor	Standard uncertainty (μm) v	Sensitivity coefficient	Standard uncertainty components (μm)
$u(s)$	measurement repeatability (A)	0,08	normal distribution	1	0,08	1	0,08
$u(R)$	measuring equipment resolution (B)	0,05	rectangular distribution	$\sqrt{3}$	0,03	1	0,03
$u(C)$	calibration of measuring equipment (B)	0,05	normal distribution	2	0,025	1	0,025
u_c	standard uncertainty components						0,09
U	expanded uncertainty						0,18 ($k = 2$)

Bibliography

- [1] ISO 129-1, *Technical drawings – Indication of dimensions and tolerances – Part 1: General principles*
 - [2] ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM: 1995)*
 - [3] ISO 3274:1996, *Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile method – Nominal characteristics of contact (stylus) instruments*
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	32
1 Domaine d'application	34
2 Références normatives	34
3 Termes et définitions	34
4 Description des structures de tranchées à l'échelle micrométrique	35
4.1 Généralités	35
4.2 Symboles et désignations	35
4.3 Description	37
5 Description des structures d'aiguille à l'échelle micrométrique	37
5.1 Généralités	37
5.2 Symboles et désignations	38
5.3 Description	39
6 Méthode de mesure	39
Annexe A (informative) Exemples de mesures de structures de tranchées et d'aiguille à l'échelle micrométrique	40
A.1 Généralités	40
A.2 Mesure de la profondeur d'une tranchée	40
A.2.1 Microscopie électronique à balayage de type à émission de champ	40
A.2.2 Interféromètre à balayage par cohérence (CSI, Coherence Scanning Interferometer)	41
A.2.3 Profileur de surface à palpeur	43
A.2.4 Microscopie confocale à balayage laser	45
A.2.5 Microscopie à force atomique	46
A.3 Mesure de la largeur d'une paroi et d'une tranchée à la surface supérieure de la tranchée	48
A.3.1 Microscopie électronique à balayage de type à émission de champ	48
A.3.2 Interféromètre à balayage par cohérence	48
A.3.3 Profileur de surface à palpeur	48
A.3.4 Microscopie confocale à balayage laser	49
A.3.5 Microscopie optique	49
A.4 Mesure de l'angle d'une paroi latérale de tranchée par microscopie électronique à balayage de type à émission de champ	50
A.4.1 Principe de mesure	50
A.4.2 Préparation d'un échantillon	50
A.4.3 Mode opératoire de mesure	50
A.4.4 Plage mesurable	50
A.5 Mesure de la largeur d'une paroi et d'une tranchée au fond de la tranchée par microscopie électronique à balayage de type à émission de champ	50
A.5.1 Principe de mesure	50
A.5.2 Préparation d'un échantillon	50
A.5.3 Mode opératoire de mesure	50
A.5.4 Plage mesurable	50
A.6 Mesure de la géométrie d'une aiguille	50
A.6.1 Microscopie électronique à balayage de type à émission de champ	50
A.6.2 Microscopie à force atomique	52
Annexe B (informative) Incertitude de mesure des dimensions	54

B.1	Généralités	54
B.2	Concepts de base	54
B.3	Exemple d'appréciation de l'incertitude de la profondeur moyenne d'une tranchée	54
B.3.1	Echantillon et données mesurées pour l'appréciation de l'incertitude	54
B.3.2	Source d'incertitude	55
B.3.3	Appréciation de l'incertitude type de type A	55
B.3.4	Appréciation de l'incertitude type de type B	55
B.3.5	Incetitude type cumulée	55
B.3.6	Incetitude élargie et résultat	55
B.3.7	Tableau de budget	55
	Bibliographie	57
	Figure 1 – Schéma d'exemple de structure de tranchées à l'échelle micrométrique et sa vue en coupe	35
	Figure 2 – Vue en coupe d'une structure de tranchées à l'échelle micrométrique	36
	Figure 3 – Vue en coupe d'une structure de tranchées à l'échelle micrométrique fabriquée par un processus DRIE avec dépôts répétés et gravure sur du silicium	36
	Figure 4 – Schéma de structures d'aiguille typiques formées de trois et quatre faces	38
	Figure 5 – Vues de face, vues de côté et vues de dessus de structures d'aiguille typiques	39
	Figure A.1 – Image obtenue via un FE-SEM d'une structure de tranchées avec une paroi de 5 µm de large et une tranchée de 5 µm de large	41
	Figure A.2 – Schéma de microscope à CSI comportant un interféromètre à chemins de rayonnements lumineux égaux	42
	Figure A.3 – Mesurabilité de la profondeur d'une structure de tranchées de profondeur D et de largeur W_{TU} en utilisant un profileur de surface à palpeur	45
	Figure A.4 – Relation entre la forme de l'extrémité d'une sonde d'AFM et une structure de tranchées	47
	Figure A.5 – Vues de face, vues de côté et vues de dessus de structures d'aiguille type inclinées vers l'arrière de 30°	52
	Figure A.6 – Relation entre la forme de l'extrémité d'une sonde d'AFM et une structure d'aiguille	53
	Tableau 1 – Symboles et désignations d'une structure de tranchées à l'échelle micrométrique	37
	Tableau 2 – Symboles et désignations d'une structure d'aiguille à l'échelle micrométrique	39
	Tableau A.1 – Exemple de mesures de la profondeur d'une tranchée	41
	Tableau A.2 – Grossissement d'un microscope à CSI (lentille d'objectif/lentille de formation d'image) pour la mesure de toute une tranchée	43
	Tableau B.1 – Exemple de mesures de la profondeur d'une tranchée	55
	Tableau B.2 – Estimation de l'incertitude de mesure	56

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

Partie 26: Description et méthodes de mesure pour structures de microtranchées et de microaiguille

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 62047-26 a été établie par le sous-comité 47F: Systèmes microélectromécaniques, du Comité d'études 47 de l'IEC: Dispositifs à semiconducteurs.

Le texte de la présente norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
47F/233/FDIS	47F/239/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/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62047, publiées sous le titre général *Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication 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 à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

IMPORTANT – Le logo «colour inside» qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

Partie 26: Description et méthodes de mesure pour structures de microtranchées et de microaiguille

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62047 spécifie des descriptions de structures de tranchées et de structures d'aiguille à l'échelle micrométrique. En outre, elle donne des exemples de mesures de la géométrie des deux structures. Pour les structures de tranchées, la présente norme s'applique à des structures de profondeur comprise entre 1 μm et 100 μm , avec des parois et des tranchées de largeur comprise entre 5 μm et 150 μm et avec un rapport hauteur/largeur compris entre 0,006 7 et 20. Pour les structures d'aiguille, la norme s'applique à des structures à trois ou quatre faces dont la hauteur, la largeur horizontale et la largeur verticale sont supérieures ou égales à 2 μm , et dont les dimensions permettent de placer chaque structure dans un cube de 100 μm de côté.

La présente norme s'applique à la conception structurelle de procédés MEMS et à leur appréciation géométrique.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

Aucune.

3 Termes et définitions

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

3.1

structure de tranchées

une ou plusieurs structures rectangulaires gravées dans un substrat plan, avec un profil de section trapézoïdale constante

3.2

structure d'aiguille

structure saillante avec une extrémité pointue formée d'au moins trois faces sur un substrat plan et dont le plan de symétrie se situe dans le plan vertical

3.3

paroi et tranchée

au moins deux structures de tranchées placées en parallèle à des intervalles réguliers

3.4

dentelure

irrégularités formées de manière cyclique sur les parois latérales après un processus de gravure ionique réactive profonde (DRIE, Deep-Reactive Ion Etching) avec dépôts répétés et

gravure sélective d'une couche de passivation en polymère, puis gravure sur un substrat de silicium

4 Description des structures de tranchées à l'échelle micrométrique

4.1 Généralités

La présente norme spécifie la méthode permettant d'indiquer la géométrie vue en coupe de structures de tranchées avec des dimensions à l'échelle micrométrique. La Figure 1 est un schéma de la vue en coupe nécessaire pour indiquer la géométrie vue en coupe des structures de tranchées dans la présente norme. La géométrie vue en coupe des structures de tranchées est la forme vue en coupe au niveau d'une ligne coupant la structure de tranchées dans le sens longitudinal en formant un angle droit, vue depuis la surface supérieure du substrat, avec une erreur maximale de $\pm 1^\circ$.

La méthode de mesure des dimensions vues en coupe des structures de tranchées est présentée à l'Article 6 et à l'Annexe A.

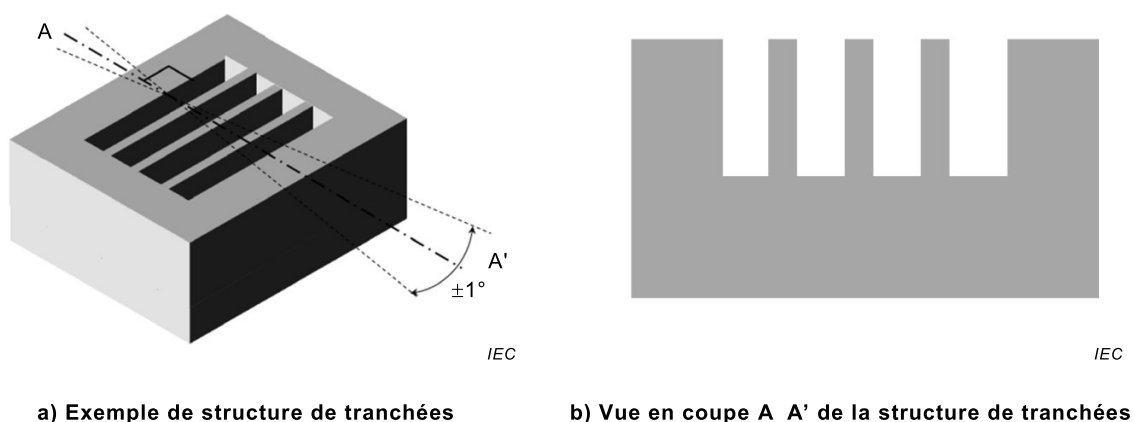


Figure 1 – Schéma d'exemple de structure de tranchées à l'échelle micrométrique et sa vue en coupe

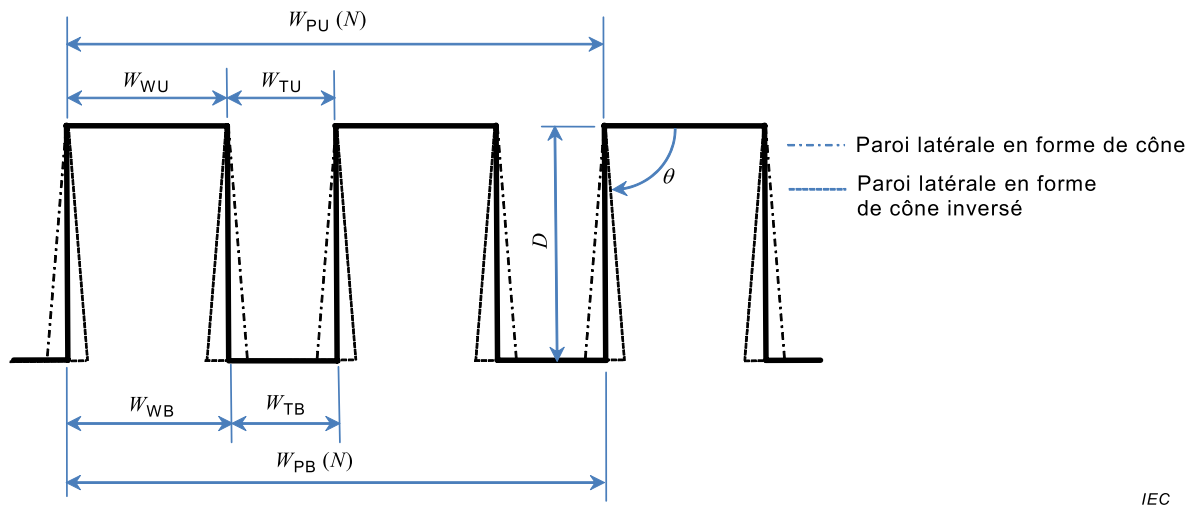
4.2 Symboles et désignations

La vue en coupe d'une structure de tranchées typique est représentée sur la Figure 2, et les symboles, les désignations et les unités utilisés pour représenter la vue en coupe de structures de tranchées sont donnés dans le Tableau 1.

La ligne de référence horizontale pour représenter la vue en coupe de la Figure 2 est une ligne droite donnant une approximation de la surface supérieure du substrat plan. La ligne de référence verticale est définie comme une ligne coupant la ligne de référence horizontale en formant un angle droit. La paroi latérale d'une tranchée est représentée par l'approximation de sa ligne droite. Le fond d'une tranchée est représenté par l'approximation de sa ligne droite ou de sa courbe. Sur la surface supérieure de la structure de tranchées, une paroi est définie comme la zone considérée comme étant identique à la ligne de référence horizontale sans gravure, et une tranchée est définie comme la zone gravée. Conformément à ces définitions, la largeur d'une paroi et la largeur d'une tranchée au niveau de la surface supérieure sont exprimées comme cela est représenté sur la Figure 2. L'angle de la paroi latérale d'une tranchée est défini comme l'angle entre la ligne de référence horizontale et la ligne approximative de la paroi latérale. Cet angle est donné par la valeur mesurée dans le sens horaire depuis la ligne de référence horizontale située au-dessus de la paroi jusqu'à la paroi latérale de la tranchée, en utilisant le côté de la paroi qui donne le plus petit angle, comme cela est représenté sur la Figure 2. La largeur d'une paroi et la largeur d'une tranchée au fond de la tranchée sont exprimées par les distances entre les points d'intersection de la

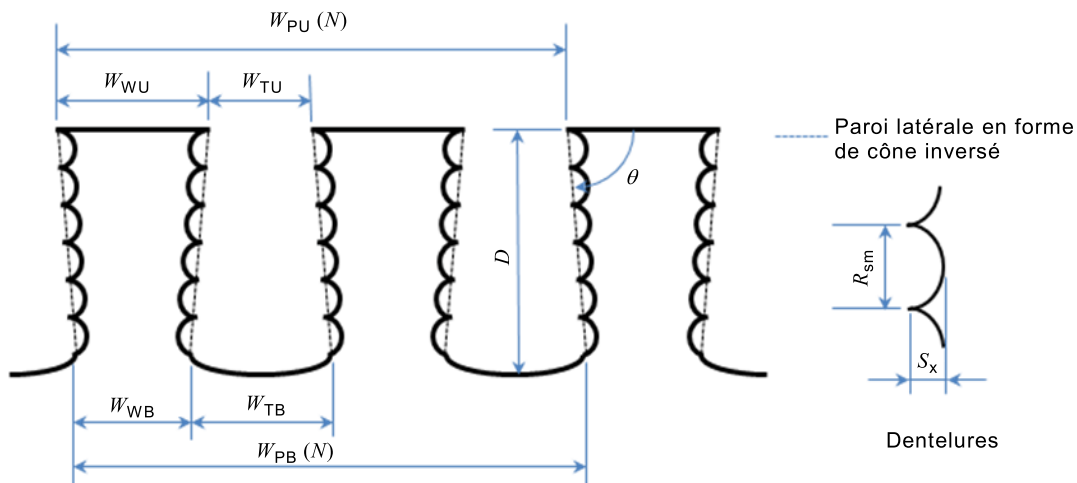
ligne approximative de la paroi latérale et de la ligne droite ou de la courbe approximative au fond de la tranchée. La profondeur d'une tranchée est définie comme la plus courte distance entre la ligne de référence horizontale au milieu de la tranchée et la surface du fond de la tranchée.

Quand la structure de tranchées est fabriquée par un processus DRIE avec dépôts répétés et gravure sélective d'une couche de passivation en polymère, puis gravure sur un substrat de silicium, des dentelures se forment sur les parois latérales de la tranchée après gravure. La Figure 3 est une vue en coupe d'une structure de tranchées avec des parois latérales en forme de cônes inversés, préparée par un processus de gravure DRIE, et incluant les symboles pour la géométrie.



IEC

Figure 2 – Vue en coupe d'une structure de tranchées à l'échelle micrométrique



IEC

Figure 3 – Vue en coupe d'une structure de tranchées à l'échelle micrométrique fabriquée par un processus DRIE avec dépôts répétés et gravure sur du silicium

Tableau 1 – Symboles et désignations d'une structure de tranchées à l'échelle micrométrique

Symbole	Unité	Désignation
W_{WU}	μm	Largeur d'une paroi au niveau de la surface supérieure
W_{TU}	μm	Largeur d'une tranchée au niveau de la surface supérieure
W_{WB}	μm	Largeur d'une paroi au fond de la tranchée
W_{TB}	μm	Largeur d'une tranchée au fond de la tranchée
$W_{PU}(N)$	μm	Distance de N parois et tranchées au niveau de la surface supérieure
$W_{PB}(N)$	μm	Distance de N parois et tranchées au fond des tranchées
N	–	Nombre de pas
D	μm	Profondeur d'une tranchée au centre de la tranchée
θ	Deg	Angle d'une paroi latérale
S_x	μm	Distance horizontale d'une dentelure
R_{Sm}	μm	Distance verticale moyenne d'une dentelure

4.3 Description

Les dimensions des structures de tranchées doivent être établies en utilisant la Figure 2 ou la Figure 3 conformément à 4.1 et 4.2. L'indication des dimensions est précisée dans l'ISO 129-1^[1].

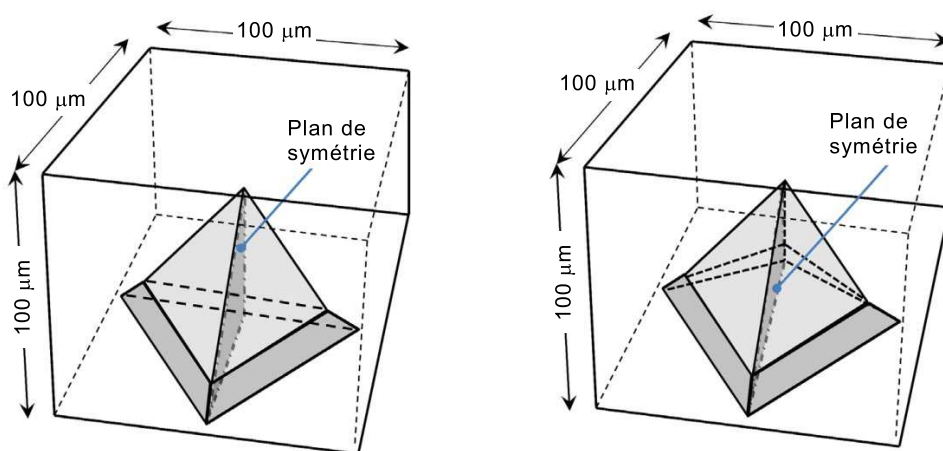
5 Description des structures d'aiguille à l'échelle micrométrique

5.1 Généralités

La présente norme spécifie la méthode permettant d'indiquer la géométrie de structures d'aiguille à l'échelle micrométrique. La Figure 4 représente une vue externe d'une structure d'aiguille typique. Les structures d'aiguille définies dans la présente norme sont des structures saillantes d'extrémité pointue formées de trois ou quatre faces sur un substrat plan et dont le plan de symétrie se situe dans le plan vertical. Le plan hachuré sur la figure est le plan de symétrie. La face inférieure de la structure d'aiguille correspond à la surface du substrat plan.

La méthode de mesure de la géométrie des structures d'aiguille est présentée à l'Article 6 et à l'Annexe A.

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.



IEC

Figure 4 – Schéma de structures d'aiguille typiques formées de trois et quatre faces

5.2 Symboles et désignations

La Figure 5 est un schéma représentant trois vues d'une structure d'aiguille typique. Le Tableau 2 énumère les symboles, les désignations et les unités utilisés pour indiquer les dimensions géométriques des structures d'aiguille.

La position avant des structures d'aiguille est définie comme la position où la structure présente une symétrie bilatérale avec le plan de symétrie au centre et où la face inférieure de la structure correspond au plan horizontal. La position avant des structures d'aiguille avec des extrémités pointues constituées de trois faces est définie comme la position où deux faces sont devant et le plan de symétrie est au centre. La position avant des structures d'aiguille avec des extrémités pointues constituées de quatre faces est définie comme la position où les deux faces de plus grande surface sont devant et le plan de symétrie est au centre.

Les dimensions géométriques des structures d'aiguille spécifiées dans la présente norme sont la hauteur de l'aiguille, H , les largeurs au niveau de la face inférieure de la structure d'aiguille, W_1 et W_2 , et la distance, D_1 , c'est-à-dire les dimensions représentées dans les vues de dessus et dans les vues de côté sur la Figure 5.

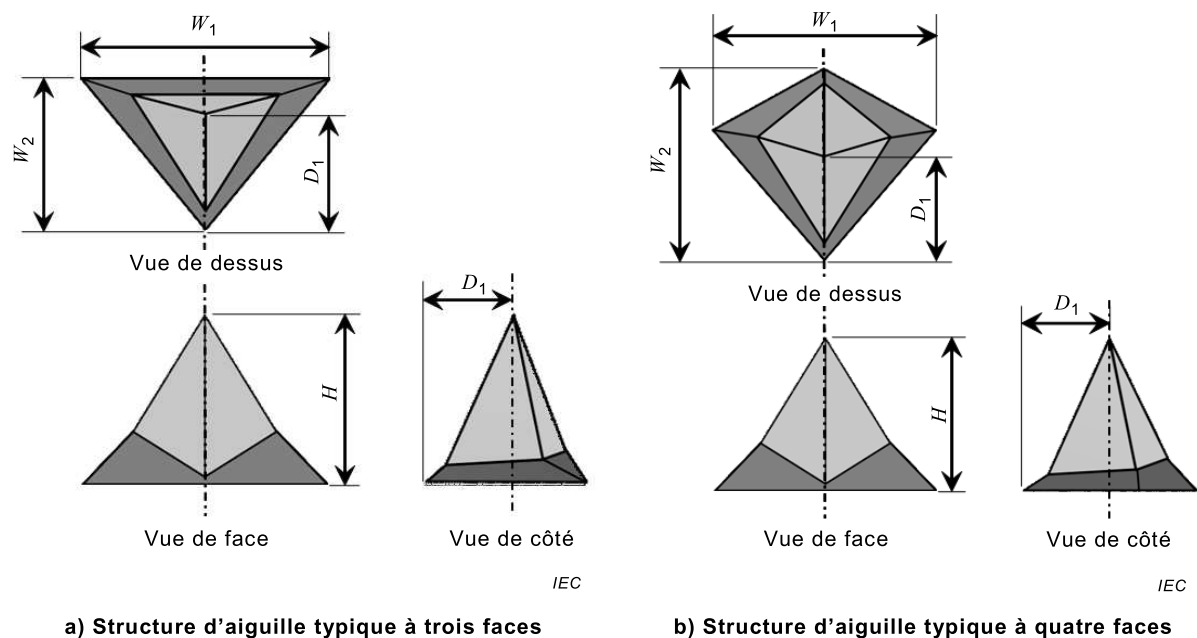


Figure 5 – Vues de face, vues de côté et vues de dessus de structures d'aiguille typiques

Tableau 2 – Symboles et désignations d'une structure d'aiguille à l'échelle micrométrique

Symbole	Unité	Désignation
W_1	μm	Largeur horizontale d'une structure d'aiguille vue de dessus
W_2	μm	Largeur verticale d'une structure d'aiguille vue de dessus
D_1	μm	Distance entre l'extrémité pointue et le point avant d'une structure d'aiguille
H	μm	Hauteur d'une structure d'aiguille

5.3 Description

Les dimensions des structures d'aiguille doivent être établies en utilisant la Figure 5 conformément à 5.1 et à 5.2. L'indication des dimensions est précisée dans l'ISO 129-1^[1].

6 Méthode de mesure

Des exemples de mesures pour indiquer la géométrie des structures de tranchées et d'aiguille sont présentés à l'Annexe A. Les conditions de mesure exigées pour toutes les mesures sont décrites ci-dessous.

- Enregistrer la température, l'humidité et les conditions de mesure nécessaires pour chaque mesure.
- Effectuer la mesure en respectant l'échelle des dimensions garantie pour l'instrument utilisé pour chaque mesure.
- Utiliser des instruments étalonnés avant chaque mesure.
- Pour l'étalonnage des instruments, consulter les fournisseurs d'équipements si nécessaire.
- Maintenir la planéité et la perpendicularité de l'échantillon lorsqu'il est placé dans l'instrument dans la plage garantie de l'instrument.
- Spécifier la méthode d'approximation de ligne droite et d'approximation de courbe exigée pour indiquer la géométrie des structures de tranchées.
- Il convient de consigner les résultats des mesures conformément à l'Article B.2.

Annexe A (informative)

Exemples de mesures de structures de tranchées et d'aiguille à l'échelle micrométrique

A.1 Généralités

L'Annexe A donne des exemples de mesure de la géométrie de structures de tranchées et d'aiguille à l'échelle micrométrique. Les Articles A.2 à A.6 résument les principes de mesure, les méthodes de préparation des échantillons et les modes opératoires de mesure dans la géométrie respective des structures, fournissant un ou plusieurs exemples spécifiques pour mesurer la géométrie des structures de tranchées et d'aiguille.

A.2 Mesure de la profondeur d'une tranchée

A.2.1 Microscopie électronique à balayage de type à émission de champ

A.2.1.1 Principe de mesure

Un microscope électronique à balayage de type à émission de champ (FE-SEM, Field Emission type Scanning Electron Microscope) est un dispositif qui illumine l'échantillon avec un faisceau d'électrons pour produire une image des caractéristiques de sa surface. La source du faisceau d'électrons est une pointe en silicium ou en tungstène qui peut émettre des électrons en appliquant un champ électrique à la pointe. Quand le FE-SEM illumine l'échantillon avec le faisceau d'électrons, des électrons secondaires sont également émis depuis la surface de l'échantillon. Pendant le balayage de la surface de l'échantillon avec un faisceau d'électrons fortement focalisé, les électrons secondaires sont détectés. La conversion des émissions d'électrons secondaires en signal de luminosité produit une micrographie des électrons.

A.2.1.2 Préparation d'un échantillon

Pour mesurer la profondeur d'une tranchée avec un FE-SEM, il est nécessaire d'observer et de mesurer directement la vue en coupe de l'échantillon. Pour représenter clairement la vue en coupe de l'échantillon comme cela est représenté dans le Tableau 1 en 4.2, il convient de couper l'échantillon en deux.

A.2.1.3 Mode opératoire de mesure

La profondeur d'une tranchée est la plus courte distance entre la ligne de référence horizontale au milieu de la tranchée et la surface du fond de la tranchée, comme cela est décrit en 4.2. Effectuer la mesure conformément aux modes opératoires spécifiés par le fournisseur de l'équipement. Il convient d'observer les points suivants.

- a) Placer l'échantillon dans la chambre d'échantillonnage du microscope électronique à balayage de telle sorte que l'orientation du faisceau d'électrons du FE-SEM corresponde au vecteur normal de la vue en coupe de l'échantillon. Il convient de maintenir la planéité de l'échantillon dans la plage garantie de l'équipement.
- b) Régler le grossissement pour voir toute la tranchée sur l'image du microscope électronique à balayage.
- c) Régler la focalisation, le contraste, etc., conformément aux modes opératoires spécifiés par le fournisseur de l'équipement.
- d) Mesurer les dimensions appropriées en utilisant la fonction de mesure de longueur prévue par le fournisseur de l'équipement.

- e) Effectuer le nombre recommandé de mesures sur un même endroit (voir l'Article B.2) et prendre comme valeur mesurée la moyenne des résultats des mesures. La répétabilité des mesures est présentée à l'Annexe B.

A.2.1.4 Plage mesurable

La mesure est applicable aux structures de tranchées dans la plage des dimensions indiquée en 4.1. La Figure A.1 et le Tableau A.1 donnent un exemple de mesure de la profondeur d'une tranchée avec un grossissement x 2 500 en utilisant un FE-SEM.

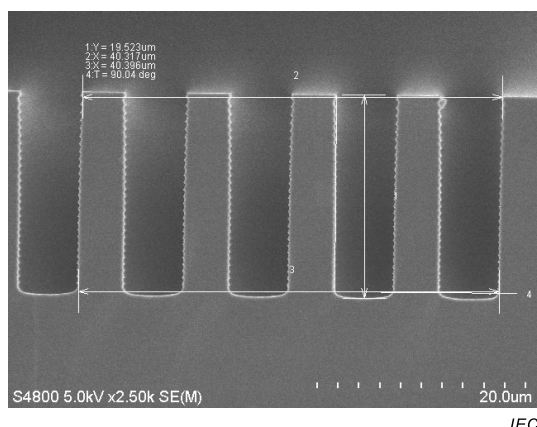


Figure A.1 – Image obtenue via un FE-SEM d'une structure de tranchées avec une paroi de 5 μm de large et une tranchée de 5 μm de large

Tableau A.1 – Exemple de mesures de la profondeur d'une tranchée

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Profondeur de tranchée, D [μm]	19,6	19,5	19,6	19,6	19,5	19,6	19,5	19,5	19,5	19,6

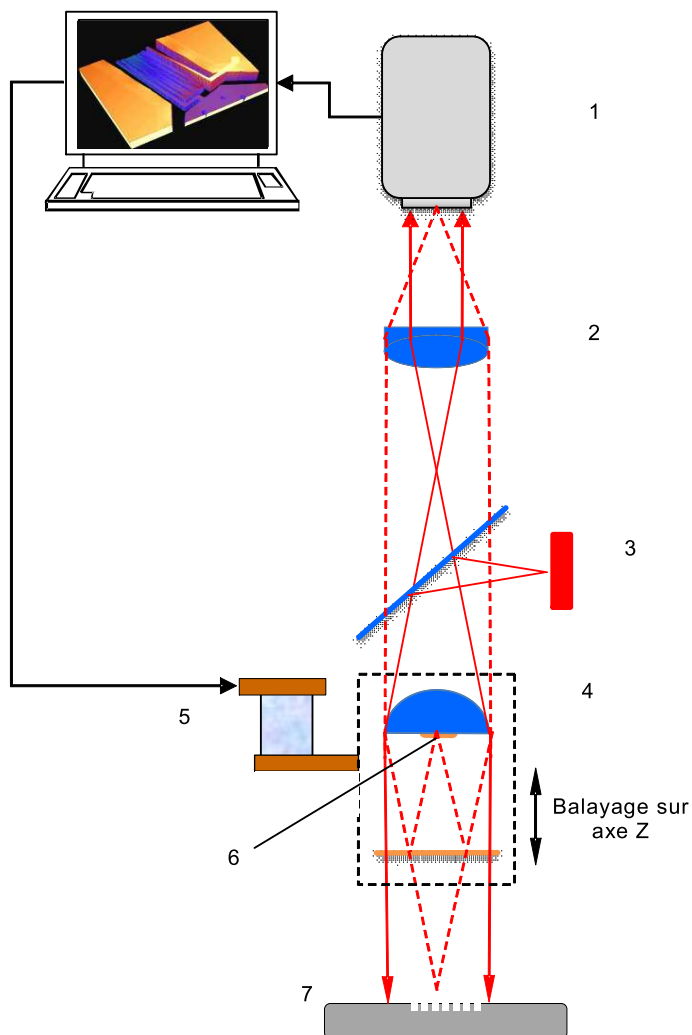
A.2.2 Interféromètre à balayage par cohérence (CSI, Coherence Scanning Interferometer)

A.2.2.1 Principe de mesure

Un interféromètre à balayage par cohérence (CSI) est un système pour mesurer le profil d'une surface en balayant verticalement la surface d'un échantillon avec une lentille d'objectif comportant un interféromètre à chemins de rayonnements lumineux égaux.

La Figure A.2a) représente la configuration de base d'un microscope à CSI. L'échantillon présente des irrégularités au niveau de la hauteur, h , sur l'ensemble de la surface. Le microscope à CSI utilise un actionneur pour déplacer sans à-coups et de manière continue la lentille d'objectif de l'interféromètre dans un mouvement de balayage sur l'axe Z, comme représenté sur la figure. Pendant le balayage de la surface de l'échantillon, un ordinateur enregistre le signal de luminosité des interférences de manière séquentielle, pour chaque pixel de chaque trame enregistrée par le capteur à transfert de charge (CCD, Charge-Coupled Device).

La Figure A.2b) représente les deux signaux d'intensité des interférences obtenus à partir de la différence verticale de hauteur, h , sur la surface de l'échantillon (points A et B sur la Figure). La hauteur de la surface de l'objet est déterminée en comparant le signal d'intensité des interférences des pixels du capteur CCD correspondant aux deux points. De manière spécifique, la position de balayage (la position des chemins de rayonnements lumineux égaux) correspondant au signal d'interférence avec le contraste le plus élevé est identifiée par un traitement de chaque pixel composant le champ de visualisation.

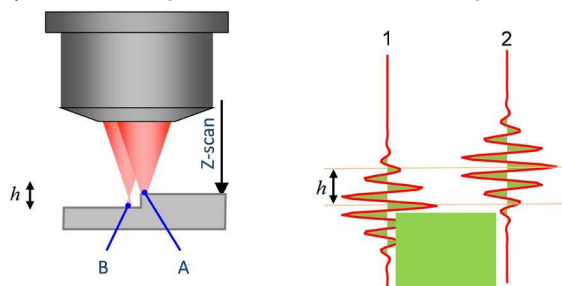


IEC

Légende

- | | | | |
|---|--------------------------------------|---|--------------------------------------|
| 1 | Caméra CCD | 5 | Actionneur pour balayage sur l'axe Z |
| 2 | Lentille de formation d'image | 6 | Miroir de référence |
| 3 | Source de rayonnement lumineux blanc | 7 | Objet |
| 4 | Objectif d'interférence | | |

a) Caractéristiques de base d'un microscope à CSI



IEC

Légende

- | | |
|---|--|
| 1 | Signal d'intensité au niveau du pixel «B» de la caméra |
| 2 | Signal d'intensité au niveau du pixel «A» de la caméra |

b) Signal d'intensité obtenu par deux pixels d'une caméra, «A» et «B»

Figure A.2 – Schéma de microscope à CSI comportant un interféromètre à chemins de rayonnements lumineux égaux

A.2.2.2 Préparation d'un échantillon

L'échantillon n'est pas découpé.

A.2.2.3 Mode opératoire de mesure

La profondeur d'une tranchée est la plus courte distance entre la ligne de référence horizontale au milieu de la tranchée et la surface du fond de la tranchée, comme cela est décrit en 4.2. Effectuer la mesure conformément aux modes opératoires spécifiés par le fournisseur de l'équipement. Il convient d'observer les points suivants.

- Choisir une lentille d'interférence avec un grossissement qui permet l'observation des parois et des tranchées à mesurer. Si nécessaire, modifier le grossissement de la lentille d'interférence pour un grossissement de lentille intermédiaire. Il est conseillé de choisir un grossissement en fonction des dimensions des parois et des tranchées, sans que la profondeur de la tranchée n'entre en ligne de compte. Le Tableau A.2 donne des exemples de grossissements pour différentes dimensions de parois et de tranchées.
- Placer l'échantillon de telle sorte que l'axe optique du microscope corresponde au vecteur normal de la surface de l'échantillon.
- Régler la focalisation, le contraste, etc., conformément aux modes opératoires spécifiés par le fournisseur de l'équipement.
- Régler les conditions de mesure de telle sorte que la plage de balayage sur l'axe Z soit conforme aux modes opératoires spécifiés par le fournisseur de l'équipement et mesurer le profil de la surface de l'échantillon.
- En utilisant la fonction de mesure de longueur prévue par le fournisseur de l'équipement, analyser les données de mesure obtenues pour déterminer la profondeur des tranchées, la largeur des parois et la largeur des tranchées.
- Effectuer le nombre recommandé de mesures sur un même endroit (voir l'Article B.2) et prendre comme valeur mesurée la moyenne des résultats des mesures. La répétabilité des mesures est présentée à l'Annexe B.

Tableau A.2 – Grossissement d'un microscope à CSI (lentille d'objectif/lentille de formation d'image) pour la mesure de toute une tranchée

Paroi et tranchée (dimensions nominales)	Grossissement pour une lentille d'objectif d'interférence	Grossissement pour une lentille de formation d'image
Paroi de 5 µm de large et tranchée de 5 µm de large	50	2,0
Paroi de 15 µm de large et tranchée de 5 µm de large	50	2,0
Paroi de 20 µm de large et tranchée de 10 µm de large	50	1,0
Paroi de 30 µm de large et tranchée de 20 µm de large	50	1,0
Paroi de 50 µm de large et tranchée de 50 µm de large	50	1,0
Paroi de 150 µm de large et tranchée de 100 µm de large	10	1,0

A.2.2.4 Plage mesurable

La mesure est applicable aux structures de tranchées dans la plage des dimensions indiquée en 4.1.

A.2.3 Profileur de surface à palpeur

A.2.3.1 Principe de mesure

Un profileur de surface à palpeur est un instrument qui mesure la rugosité et les ondulations d'une surface en balayant la surface d'un échantillon à l'aide d'un palpeur pointu. Le palpeur

est de forme conique avec une extrémité sphérique. Sa forme est déterminée par le rayon du palpeur et par l'angle du cône. L'instrument de mesure appuie le palpeur contre l'échantillon avec une force spécifiée et mesure avec précision le déplacement vertical du palpeur. Les profileurs de surface mesurent typiquement un profil unidirectionnel (profil total) par un balayage horizontal. La résolution de la mesure du déplacement du palpeur est en général de 0,1 nm. La forme du palpeur limite la forme des mesures.

A.2.3.2 Préparation d'un échantillon

L'échantillon n'est pas découpé.

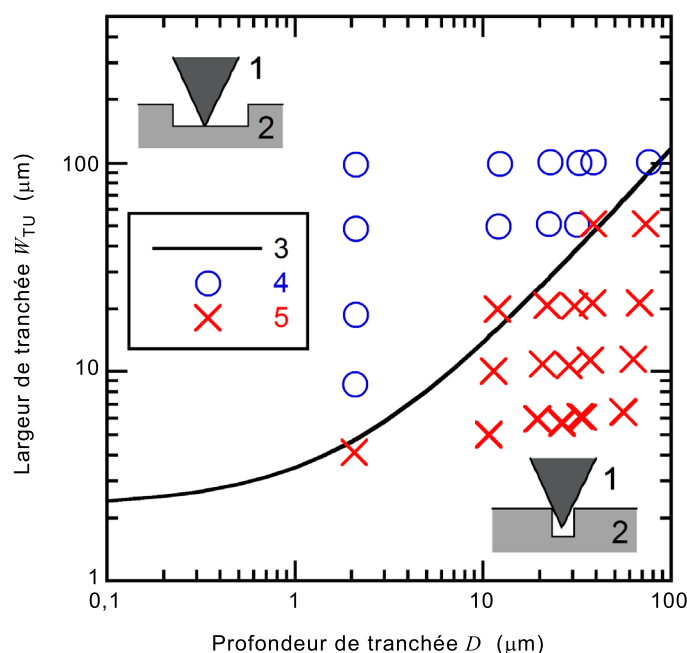
A.2.3.3 Mode opératoire de mesure

Effectuer la mesure conformément aux modes opératoires spécifiés par le fournisseur de l'équipement. Voir l'ISO 3274^[3] pour les caractéristiques de l'instrument de mesure. Il convient d'observer les points suivants.

- a) Observer le palpeur utilisé pour la mesure avec un microscope optique et s'assurer que l'extrémité et la surface du cône ne sont pas endommagées ni contaminées.
- b) Ajuster la force et la vitesse de balayage du palpeur sur une valeur qui peut suivre la profondeur dans la structure de tranchées et régler la longueur d'appréciation de telle sorte que la largeur de la tranchée soit suffisamment couverte.
- c) Effectuer une mesure par balayage et enregistrer le profil unidirectionnel (profil total) sous forme de données électroniques. Il convient de ne pas effectuer de filtrage.
- d) A partir du profil total, définir la ligne de référence horizontale qui relie les deux points de chaque côté de la tranchée sur la surface supérieure du substrat.
- e) A partir de la forme du profil total, déterminer si le fond de la tranchée a été mesuré. Un profil en forme de V est habituellement obtenu lorsque le palpeur ne peut pas atteindre le fond de la tranchée. Si le fond de la tranchée a été mesuré, la distance entre la ligne de référence horizontale au milieu de la tranchée et le fond de la tranchée est la valeur mesurée pour la profondeur de la tranchée, D .
- f) Effectuer le nombre recommandé de mesures sur un même endroit (voir l'Article B.2) et prendre comme valeur mesurée la moyenne des résultats des mesures. La répétabilité des mesures est présentée à l'Annexe B.

A.2.3.4 Plage mesurable

Quand l'extrémité du palpeur ne peut pas atteindre le fond de la tranchée, la profondeur de la tranchée ne peut pas être mesurée. La Figure A.3 représente un exemple de la mesurabilité de la profondeur de la tranchée, en utilisant un palpeur dont le rayon de l'extrémité est de 2 μm et l'angle du cône est de 60°. La limite des mesures réussies correspond grossièrement au critère de contact géométrique (voir la ligne en trait continu de la Figure A.3 déterminée par la largeur supérieure de la tranchée, W_{TU} , et la profondeur de la tranchée, D). Ce critère dépend également de la forme de l'extrémité du palpeur. En outre, il est impossible de mesurer une profondeur plus large que la limite supérieure de la plage de mesure verticale qui est spécifiée pour un profileur de surface à palpeur.



IEC

Légende

- 1 Extrémité du palpeur
- 2 Spécimen de tranchée
- 3 Critère géométrique
- 4 Profondeur mesurable
- 5 Profondeur non mesurable

Figure A.3 – Mesurabilité de la profondeur d'une structure de tranchées de profondeur D et de largeur W_{TU} en utilisant un profileur de surface à palpeur

A.2.4 Microscopie confocale à balayage laser

A.2.4.1 Principe de mesure

Un microscope confocal à balayage laser (CLSM, Confocal Laser Scanning Microscope) est un dispositif permettant d'observer la morphologie de la surface d'un échantillon avec une résolution élevée en utilisant un balayage par faisceau laser. La surface de l'échantillon est balayée en deux dimensions avec un faisceau laser focalisé et le rayonnement lumineux réfléchi par la surface est capturé par un détecteur photoélectrique, fournissant des informations sur la surface. En outre, puisque le capteur d'image du microscope confocal détecte uniquement le rayonnement lumineux réfléchi par la position focale fortement limitée, il peut obtenir des images de haute définition. Une image précise en trois dimensions peut être obtenue en déplaçant la position du foyer à différentes hauteurs, pour chacune desquelles des images en deux dimensions (plan x-y) sont collectées.

La résolution du CLSM est déterminée par la longueur d'onde de la source laser, l'ouverture numérique de la lentille, etc.

A.2.4.2 Préparation d'un échantillon

L'échantillon n'est pas découpé.

A.2.4.3 Mode opératoire de mesure

Effectuer la mesure conformément aux modes opératoires spécifiés par le fournisseur de l'équipement. Il convient d'observer les points suivants.

- a) Aligner la surface de l'échantillon observé perpendiculairement à l'axe optique (axe z). C'est-à-dire, aligner la surface parallèlement au plan x-y.
- b) Régler le grossissement de telle sorte que la tranchée à mesurer tienne dans la zone de mesure. Il convient d'utiliser le plus grand grossissement possible.
- c) Régler la plage de balayage sur l'axe z sur une valeur plus profonde que la profondeur de la tranchée à mesurer.
- d) Effectuer le nombre recommandé de mesures sur un même endroit (voir l'Article B.2) et prendre comme valeur mesurée la moyenne des résultats des mesures. La répétabilité des mesures est présentée à l'Annexe B.

A.2.4.4 Plage mesurable

La mesure est applicable aux structures de tranchées dans la plage des dimensions indiquée en 4.1.

A.2.5 Microscopie à force atomique

A.2.5.1 Principe de mesure

Un microscope à force atomique (AFM, Atomic Force Microscope) est un microscope à sonde à balayage de haute résolution permettant d'obtenir des images de profils de surface en utilisant la force interatomique entre la sonde de l'AFM et la surface de l'échantillon. Une sonde pointue effectue un balayage en deux dimensions de la surface de l'échantillon (plan x-y) en maintenant une force interatomique constante, et le profil de hauteur de la surface de l'échantillon est déterminé en trois dimensions en mesurant le déplacement en hauteur de la sonde (position z) sur les positions x-y respectives. Un AFM permet plusieurs méthodes de mesure, par exemple en mode contact, en mode sans contact et en mode contact intermittent. En mode contact (mode de mesure statique), la sonde entre en léger contact avec la surface de l'échantillon, et celle-ci est balayée en maintenant une répulsion fixe entre l'extrémité pointue de la sonde et la surface de l'échantillon. En mode sans contact (mode dynamique), la sonde vibre légèrement, et la surface de l'échantillon est balayée en maintenant une amplitude d'attraction fixe entre l'extrémité pointue de la sonde et la surface de l'échantillon. En mode contact intermittent, une sonde vibrante balaye la surface de l'échantillon en tapant continuellement sur la surface de l'échantillon. La résolution de l'AFM dépend de la précision du rayon à la pointe de la sonde, du mode de mesure et du dispositif de balayage.

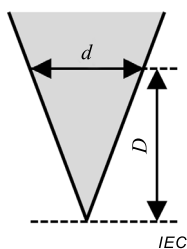
A.2.5.2 Préparation d'un échantillon

L'échantillon n'est pas découpé.

A.2.5.3 Mode opératoire de mesure

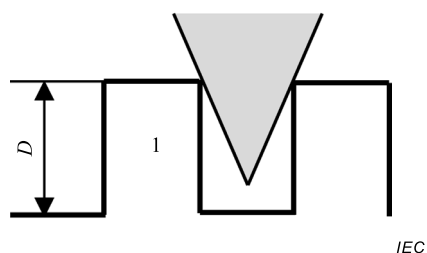
Effectuer la mesure conformément aux modes opératoires spécifiés par le fournisseur de l'équipement. Il convient d'observer les points suivants.

- a) Placer l'échantillon de telle sorte que sa surface (la surface à observer) soit verticale par rapport à l'axe z et de telle sorte que la ligne de bord de la paroi de la tranchée sur la surface de l'échantillon soit verticale par rapport à la direction horizontale du balayage (x-y).
- b) Choisir une sonde d'AFM dont la forme peut atteindre le fond de la tranchée (voir Figure A.4).
- c) Effectuer le nombre recommandé de mesures sur un même endroit (voir l'Article B.2) et prendre comme valeur mesurée la moyenne des résultats des mesures. La répétabilité des mesures est présentée à l'Annexe B.



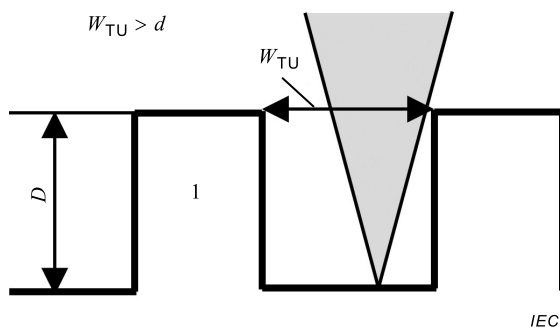
a) Schéma de la pointe d'une sonde d'AFM

$$W_{TU} < d$$



b) Cas d'une sonde d'AFM inappropriée

$$W_{TU} > d$$



c) Cas d'une sonde d'AFM appropriée

Légende

- 1 Specimen de structure de tranchées
 d Diamètre de la sonde d'AFM à une distance D de son extrémité

Figure A.4 – Relation entre la forme de l'extrémité d'une sonde d'AFM et une structure de tranchées

A.2.5.4 Plage mesurable

Avec cette méthode de mesure, les performances de mesure de l'AFM entraînent des restrictions sur les structures de tranchées qui peuvent être mesurées. Il convient d'observer les points suivants.

Il convient que la profondeur de tranchée, D , soit incluse dans la plage de balayage sur l'axe Z du dispositif de balayage de l'AFM.

A.3 Mesure de la largeur d'une paroi et d'une tranchée à la surface supérieure de la tranchée

A.3.1 Microscopie électronique à balayage de type à émission de champ

A.3.1.1 Principe de mesure

Voir A.2.1.1.

A.3.1.2 Préparation d'un échantillon

Voir A.2.1.2.

A.3.1.3 Mode opératoire de mesure

Voir A.2.1.3, points a) à e). La mesure de la largeur de la paroi et de la tranchée à la surface supérieure peut également être effectuée à partir de la surface de l'échantillon.

A.3.1.4 Plage mesurable

Voir A.2.1.4.

A.3.2 Interféromètre à balayage par cohérence

A.3.2.1 Principe de mesure

Voir A.2.2.1.

A.3.2.2 Préparation d'un échantillon

Voir A.2.2.2.

A.3.2.3 Mode opératoire de mesure

Voir A.2.2.3, points a) à f).

A.3.2.4 Plage mesurable

Voir A.2.2.4.

A.3.3 Profileur de surface à palpeur

A.3.3.1 Principe de mesure

Le principe de mesure pour des profils de forme unidirectionnels est conforme à A.2.3.1. Au niveau du bord supérieur de la tranchée, la partie sphérique de l'extrémité du palpeur entre en contact avec le bord de l'échantillon et produit un profil total, qui relie deux lignes droites avec un arc qui reflète la forme de l'extrémité du palpeur. La position du bord peut être estimée à partir de ce profil si la forme de l'extrémité du palpeur est considérée par hypothèse. Les largeurs des tranchées, W_{TU} et W_{WU} , peuvent être calculées à partir des valeurs des positions des deux bords de la tranchée et de la valeur de la position du bord de la tranchée adjacente.

A.3.3.2 Préparation d'un échantillon

Voir A.2.3.2.

A.3.3.3 Mode opératoire de mesure

Voir A.2.3.3, points a) à f).

A.3.3.4 Plage mesurable

La mesure est applicable aux structures de tranchées dans la plage des dimensions indiquée en 4.1.

A.3.4 Microscopie confocale à balayage laser

A.3.4.1 Principe de mesure

Voir A.2.4.1.

A.3.4.2 Préparation d'un échantillon

Voir A.2.4.2.

A.3.4.3 Mode opératoire de mesure

Voir A.2.4.3.

A.3.4.4 Plage mesurable

Voir A.2.4.4. Avec cette méthode de mesure, si l'angle latéral de la paroi, θ , est inférieur à 90° , la largeur de la tranchée au fond de la tranchée, W_{TB} , et la largeur de la paroi, W_{WB} , ne peuvent pas être mesurées.

A.3.5 Microscopie optique

A.3.5.1 Principe de mesure

Avec cette méthode, un microscope à rayonnements lumineux réfléchis (microscope métallographique) est utilisé pour mesurer les intervalles entre les bords des structures de tranchées, en mesurant la largeur des parois et de la tranchée de la structure de tranchées, et en comparant les dimensions avec une échelle d'étalonnage. Quand un rayonnement lumineux visible est utilisé, la résolution est d'environ 200 nm. La mesure est déterminée par le grossissement de la lentille utilisée.

A.3.5.2 Préparation d'un échantillon

L'échantillon n'est pas découpé.

A.3.5.3 Mode opératoire de mesure

Effectuer la mesure conformément aux modes opératoires spécifiés par le fournisseur de l'équipement. Il convient d'observer les points suivants.

- a) Pour l'étalonnage de la longueur, prendre une photographie à l'échelle micrométrique pour la microscopie optique au grossissement utilisé lors de la mesure de l'intervalle des tranchées, ou capturer une image en utilisant un dispositif de prise d'images et étalonner la longueur. Choisir un intervalle micrométrique approprié pour l'étalonnage en fonction du grossissement.
- b) Placer l'échantillon sous la lentille d'objectif et prendre une photographie de la structure de tranchées au grossissement utilisé pour l'étalonnage, ou capturer une image en utilisant un dispositif de prise d'images et mesurer les intervalles requis de la structure de tranchées.
- c) Calculer la largeur de la paroi supérieure et la largeur de la tranchée supérieure, W_{WU} et W_{TU} , en utilisant la valeur d'étalonnage obtenue en a).
- d) Effectuer le nombre recommandé de mesures sur un même endroit (voir l'Article B.2) et prendre comme valeur mesurée la moyenne des résultats des mesures. La répétabilité des mesures est présentée à l'Annexe B.

A.3.5.4 Plage mesurable

La mesure est applicable aux structures de tranchées dans la plage des dimensions indiquée en 4.1.

A.4 Mesure de l'angle d'une paroi latérale de tranchée par microscopie électronique à balayage de type à émission de champ

A.4.1 Principe de mesure

Voir A.2.1.1.

A.4.2 Préparation d'un échantillon

Voir A.2.1.2.

A.4.3 Mode opératoire de mesure

Voir A.2.1.3, points a) à e). Si la paroi latérale de la tranchée présente des structures de dentelures évidentes, mesurer les dimensions S_x et R_{Sm} représentées sur la Figure 3 et dans le Tableau 1.

A.4.4 Plage mesurable

Voir A.2.1.4.

A.5 Mesure de la largeur d'une paroi et d'une tranchée au fond de la tranchée par microscopie électronique à balayage de type à émission de champ

A.5.1 Principe de mesure

Voir A.2.1.1.

A.5.2 Préparation d'un échantillon

Voir A.2.1.2.

A.5.3 Mode opératoire de mesure

Voir A.2.1.3, points a) à e).

A.5.4 Plage mesurable

Voir A.2.1.4.

A.6 Mesure de la géométrie d'une aiguille

A.6.1 Microscopie électronique à balayage de type à émission de champ

A.6.1.1 Principe de mesure

Voir A.2.1.1.

A.6.1.2 Préparation d'un échantillon

Des structures d'aiguille endommagées ne doivent pas être utilisées pour les mesures.

A.6.1.3 Mode opératoire de mesure

- a) Placer l'échantillon sur le support d'échantillon dans la chambre d'échantillonnage du microscope électronique à balayage de telle sorte que l'orientation du faisceau d'électrons du FE-SEM corresponde au vecteur normal du fond de la structure d'aiguille. Il convient de maintenir la planéité de l'échantillon dans la plage garantie de l'équipement.
- b) Régler le grossissement pour voir toute l'aiguille sur l'image du microscope électronique à balayage.
- c) Régler la focalisation, le contraste, etc., conformément aux modes opératoires spécifiés par le fournisseur de l'équipement.
- d) Mesurer les dimensions appropriées W_1 , W_2 et D_1 en utilisant la fonction de mesure de longueur prévue par le fournisseur de l'équipement.
- e) Incliner le support d'échantillon de 30° dans le plan de symétrie de la structure d'aiguille, comme cela est représenté à la Figure A.5a), et mesurer D_2 comme cela est représenté à la Figure A.5a) en utilisant la fonction de mesure de longueur prévue par le fournisseur de l'équipement.
- f) Calculer la hauteur de l'aiguille, H , en utilisant les formules suivantes basées sur les conditions géométriques représentées à la Figure 5 et à la Figure A.5a).

$$\tan \theta = \frac{D_1}{H} \quad (1)$$

et

$$\cos(60^\circ - \theta) = \frac{D_2}{L} \quad (2)$$

$$\cos \theta = \frac{H}{L} \quad (3)$$

Les Formules (2) et (3) donnent

$$\frac{\cos(60^\circ - \theta)}{\cos \theta} = \frac{D_2}{H} \quad (4)$$

Alors,

$$\cos 60^\circ + \sin 60^\circ \tan \theta = \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \tan \theta = \frac{D_2}{H} \quad (5)$$

Résultat obtenu en appliquant la Formule (1) dans la Formule (5)

$$H = 2D_2 - \sqrt{3}D_1 \quad (6)$$

Ce qui donne donc la hauteur de l'aiguille, H .

- g) Effectuer le nombre recommandé de mesures sur un même endroit (voir l'Article B.2) et prendre comme valeur mesurée la moyenne des résultats des mesures. La répétabilité des mesures est présentée à l'Annexe B.

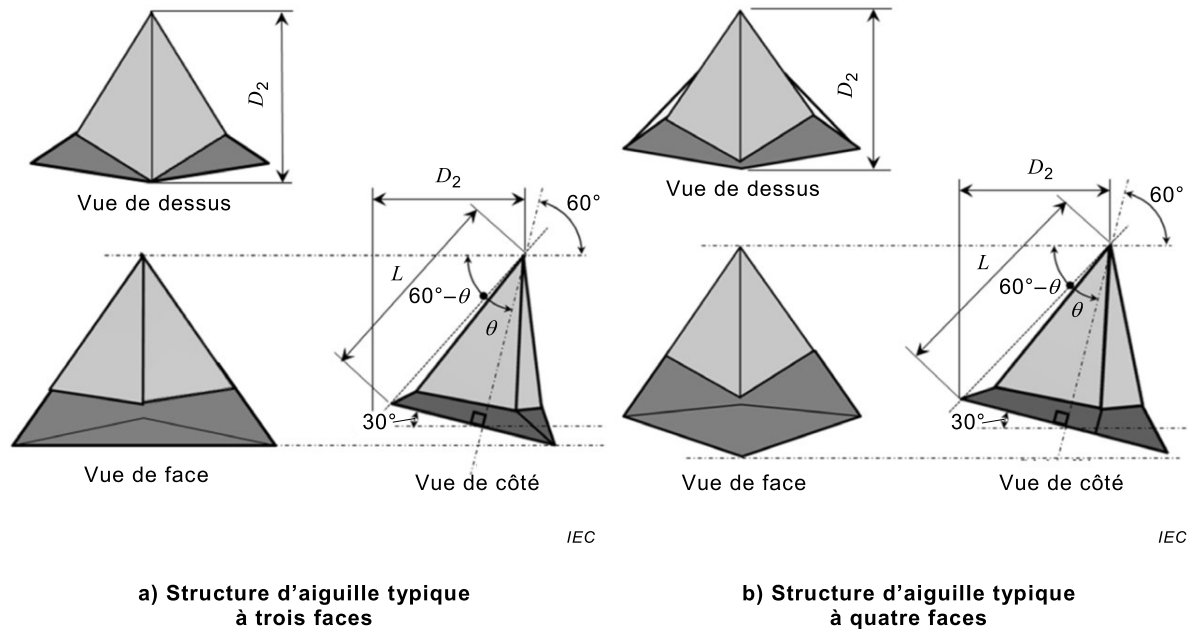


Figure A.5 – Vues de face, vues de côté et vues de dessus de structures d'aiguille type inclinées vers l'arrière de 30°

A.6.1.4 Plage mesurable

La mesure est applicable aux structures d'aiguille dans la plage des dimensions indiquée en 5.1.

A.6.2 Microscopie à force atomique

A.6.2.1 Principe de mesure

Voir A.2.5.1.

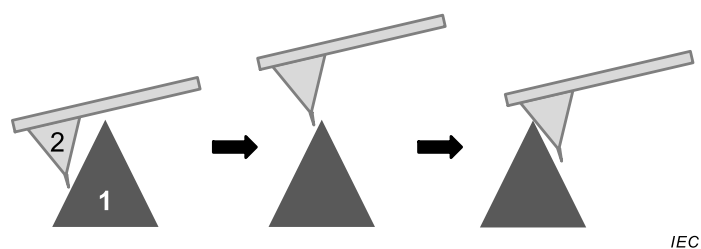
A.6.2.2 Préparation d'un échantillon

L'échantillon n'est pas découpé.

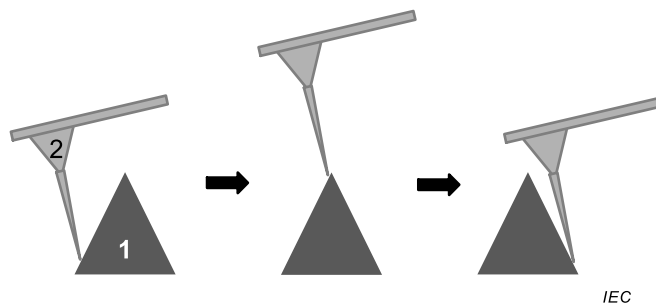
A.6.2.3 Mode opératoire de mesure

Effectuer la mesure de chaque dimension de la structure d'aiguille conformément aux modes opératoires spécifiés par le fournisseur de l'équipement. Il convient d'observer les points suivants.

- Placer le fond de l'aiguille (ou la surface du substrat) de telle sorte qu'il soit vertical par rapport à la direction de balayage sur l'axe Z de l'AFM.
- Pour mesurer le profil de la hauteur latérale de l'aiguille, choisir une extrémité de sonde d'AFM dont la forme peut atteindre le côté et la base de l'aiguille (voir Figure A.6a) et Figure A.6b)).
- Effectuer le nombre recommandé de mesures sur un même endroit (voir l'Article B.2) et prendre comme valeur mesurée la moyenne des résultats des mesures. La répétabilité des mesures est présentée à l'Annexe B.



a) Cas d'une sonde d'AFM inappropriée



b) Cas d'une sonde d'AFM appropriée

Légende

- | | |
|---|----------------------------------|
| 1 | Spécimen de structure d'aiguille |
| 2 | Sonde d'AFM |

Figure A.6 – Relation entre la forme de l'extrémité d'une sonde d'AFM et une structure d'aiguille

A.6.2.4 Plage mesurable

Avec cette méthode de mesure, les performances de mesure de l'AFM entraînent des restrictions sur les structures d'aiguille qui peuvent être mesurées. Il convient d'observer les points suivants.

- Il convient que les largeurs de l'aiguille dans la direction horizontale, W_1 et W_2 , soient inférieures à la plage de balayage du dispositif de balayage sur le plan X-Y de l'AFM, avec une marge suffisante.
- Il convient que la hauteur de l'aiguille, H , soit incluse dans la plage de balayage du dispositif de balayage sur l'axe Z de l'AFM.

Annexe B (informative)

Incertitude de mesure des dimensions

B.1 Généralités

L'Annexe B couvre la fiabilité des résultats des mesures des dimensions représentées dans la méthode d'indication des formes spécifiée dans la norme, limitée aux structures de tranchées et d'aiguille utilisées dans des systèmes microélectromécaniques (MEMS). La fiabilité des résultats des mesures des dimensions de MEMS est appréciée et exprimée en termes d'incertitude en se basant sur la répétabilité des mesures. La définition et l'expression de l'incertitude spécifiée ici suivent le guide pour l'expression de l'incertitude des mesures (GUM, Guide to the expression of Uncertainty in Measurement) publié dans le Guide ISO/IEC 98-3^[2] par le Comité commun pour les guides en métrologie (JCGM, Joint Committee for Guides in Metrology). En outre, les termes utilisés dans la norme sont ceux définis dans le GUM.

B.2 Concepts de base

L'Annexe B couvre l'expression des résultats des mesures des dimensions de MEMS effectuées en utilisant les méthodes recommandées et les exigences communes présentées à l'Annexe A.

La valeur mesurée (valeur rapportée) est exprimée comme la meilleure estimation X , calculée en utilisant les valeurs obtenues en répétant les mesures n fois. Ici, le nombre recommandé d'itérations des mesures, n , est compris entre quatre et dix. Les principes et les méthodes de mesure ainsi que l'équipement et les modes opératoires utilisés sont décrits brièvement. La présente Annexe décrit également l'étalonnage des valeurs mesurées représenté par l'équipement de mesure, et les modes opératoires d'analyse (traitement des données), par exemple le calcul de la moyenne. Les résultats des mesures sont exprimés comme suit en utilisant la meilleure estimation X et une incertitude élargie U .

$$X \pm U(k = 2)$$

k représente le facteur de couverture.

B.3 Exemple d'appréciation de l'incertitude de la profondeur moyenne d'une tranchée

B.3.1 Echantillon et données mesurées pour l'appréciation de l'incertitude

L'analyse de l'incertitude de mesure basée sur des résultats de mesure réels obtenus avec un FE-SEM est représentée dans le Tableau B.1. La mesurande est la «profondeur de la structure de tranchées: dimension D », définie en 4.2. Un échantillon de structure de tranchées avec une paroi de 150 μm , une tranchée de 100 μm et une profondeur de 70 μm est utilisé comme exemple. La dimension D de la section de l'échantillon a été mesurée directement en utilisant la fonction de mesure de longueur du FE-SEM. Le mode opératoire donné en A.2.1.3 a été utilisé pour la mesure. Pour l'analyse de l'incertitude, un seul endroit du même échantillon a été mesuré, en respectant le nombre d'itérations de mesure recommandé (voir l'Article B.2) pour collecter les données. Dans ce cas, l'échantillon a été mesuré dix fois.

Le Tableau B.1 indique les données de mesure pour la profondeur de tranchée D , pour une structure de tranchées avec une paroi de 150 μm , une tranchée de 100 μm et une profondeur de 70 μm , utilisée pour l'analyse de l'incertitude décrite dans B.3.2 à B.3.7.

Tableau B.1 – Exemple de mesures de la profondeur d'une tranchée

Itération de la mesure	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Profondeur de tranchée, D [μm]	68,5	68,0	68,0	68,5	68,0	68,0	68,0	68,5	68,0	68,0

B.3.2 Source d'incertitude

L'analyse de l'incertitude de mesure d'un échantillon utilise des diagrammes de causes et effets, etc., pour examiner l'incertitude avec autant de détails que possible. Dans cet exemple, les trois facteurs d'incertitude suivants sont pris en considération.

- Répétabilité des mesures $u(s)$: l'écart-type des essais, identifié à partir des données mesurées pour le nombre recommandé de mesures pour le même échantillon.
- Résolution de l'équipement de mesure $u(R)$: résolution minimale du FE-SEM utilisé pour la mesure (valeur à $\times 400$).
- Incertitude d'étalonnage de l'équipement de mesure $u(C)$: incertitude d'étalonnage du FE-SEM correspondant à l'incertitude dans la définition de la valeur étalon.

B.3.3 Appréciation de l'incertitude type de type A

L'écart-type des essais a été identifié en utilisant les résultats des mesures répétées d'un même échantillon. La meilleure estimation était $68,2 \mu\text{m}$ ($68,15 \mu\text{m}$), l'écart-type des essais était de $0,2 \mu\text{m}$ ($0,242 \mu\text{m}$) et l'écart-type moyen des essais était de $0,08 \mu\text{m}$ ($0,076 \mu\text{m}$). L'incertitude type peut donc être estimée à $u(s) = 0,08 \mu\text{m}$.

B.3.4 Appréciation de l'incertitude type de type B

- La résolution minimale du FE-SEM utilisé pour la mesure était un grossissement $\times 400$ à $0,1 \mu\text{m}$. $u(R)$ est donc estimée comme une distribution rectangulaire de $\pm 0,05 \mu\text{m}$. $\sqrt{3}$ est utilisé comme diviseur de la distribution rectangulaire. L'incertitude type peut donc être estimée à $u(R) = 0,03 \mu\text{m}$.
- L'incertitude représentée sur le certificat d'étalonnage du FE-SEM, de $0,05 \mu\text{m}$ dans une distribution normale, est utilisée pour $u(C)$. 2 est utilisé comme diviseur de la distribution normale. L'incertitude type peut donc être estimée à $u(C) = 0,025 \mu\text{m}$.

B.3.5 Incertitude type cumulée

L'incertitude composite u_c composée des composantes d'incertitude type $u(s)$, $u(R)$ et $u(C)$ est identifiée comme étant de $0,09 \mu\text{m}$ ($0,089 \mu\text{m}$).

B.3.6 Incertitude élargie et résultat

En prenant pour hypothèse un facteur de couverture de 2, l'incertitude élargie U est identifiée comme étant de $0,18 \mu\text{m}$ ($0,178 \mu\text{m}$). Par conséquent, le résultat des mesures est de $68,2 \mu\text{m} \pm 0,18 \mu\text{m}$ ($k = 2$).

B.3.7 Tableau de budget

Une estimation de l'incertitude est présentée dans le Tableau B.2.

Tableau B.2 – Estimation de l'incertitude de mesure

Symbole	Facteurs d'incertitude (type)	Valeur (μm)	Distribution de probabilité	Diviseur	Incertainde type (μm) v	Coefficient de sensibilité	Composantes de l'incertainde type (μm)
$u(s)$	répétabilité des mesures (A)	0,08	distribution normale	1	0,08	1	0,08
$u(R)$	résolution de l'équipement de mesure (B)	0,05	distribution rectangulaire	$\sqrt{3}$	0,03	1	0,03
$u(C)$	étalonnage de l'équipement de mesure (B)	0,05	distribution normale	2	0 025	1	0,025
u_c	composantes de l'incertainde type						0,09
U	incertainde élargie						0,18 ($k = 2$)

Bibliographie

- [1] ISO 129-1, *Dessins techniques – Indication des cotes et tolérances – Partie 1: Principes généraux*
 - [2] Guide ISO/IEC 98-3:2008, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM: 1995)*
 - [3] ISO 3274:1996, *Spécification géométrique des produits (GPS) – Etat de surface: Méthode du profil – Caractéristiques nominales des appareils à contact (palpeur)*
-

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch