

DIN EN 62047-26

ICS 31.080.01; 31.220.01

Einsprüche bis 2014-06-18

Entwurf

**Halbleiterbauelemente –
Bauelemente der Mikrosystemtechnik –
Teil 26: Beschreibung und Messverfahren für Mikro-Rillen und
Nadelstrukturen
(IEC 47F/178/CD:2013)**

Semiconductor devices –
Micro-electromechanical devices –
Part 26: Description and measurement methods for micro trench and needle structures
(IEC 47F/178/CD:2013)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2014-04-18 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (Hausanschrift: Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 53 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	4
1 Anwendungsbereich.....	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Merkmale von Rillenstrukturen in Mikrometerbereich	6
4.1 Allgemeines	6
4.2 Symbole und Bezeichnungen.....	6
4.3 Beschreibende Merkmale.....	8
5 Merkmale von Nadelstrukturen im Mikrometerbereich.....	8
5.1 Allgemeines	8
5.2 Größensymbole und Bezeichnungen	8
5.3 Beschreibende Merkmale.....	9
6 Messverfahren.....	9
Anhang A (informativ) Beispiele für das Messen von Rillen- und Nadelstrukturen im Mikrometerbereich.....	10
A.1 Allgemeines	10
A.2 Messung der Rillentiefe	10
A.2.1 Feldemissions-Rasterelektronenmikroskopie.....	10
A.2.2 Weißlichtinterferometrie.....	11
A.2.3 Taktile Oberflächenprofilometrie	14
A.2.4 Laserprofilometrie(-Mikroskopie).....	15
A.2.5 Atomkraftmikroskopie	16
A.3 Messverfahren für die Breite von Stegen und Rillen von Rillenstrukturen an der Oberseite.....	17
A.3.1 Feldemissions-Rasterelektronenmikroskopie.....	17
A.3.2 Weißlicht-Interferometrie	18
A.3.3 Taktile Profilometrie.....	18
A.3.4 Laserprofilometrie	18
A.3.5 Optische Lichtmikroskopie.....	19
A.4 Messverfahren für den Seitenwandwinkel von Rillen.....	20
A.4.1 Feldemissions-Rasterelektronenmikroskopie.....	20
A.5 Messverfahren für die Breite von Rillen/Steg-Strukturen am Rillenboden.....	20
A.5.1 Feldemissions-Rasterelektronenmikroskopie.....	20
A.6 Messung der Nadelgeometrie	20
A.6.1 Feldemissions-Rasterelektronenmikroskopie.....	20
A.6.2 Atomkraftmikroskopie	22
Anhang B (informativ) Unsicherheit bei Längenmessungen	24
B.1 Allgemeines	24
B.2 Grundlagen.....	24

	Seite
B.3 Beispiele für die Bewertung der Unsicherheit bei der mittleren Rillentiefe	24
B.3.1 Probe und gemessene Daten für die Unsicherheitsbewertung	24
B.3.2 Unsicherheitsquellen	25
B.3.3 Typ-A-Bewertung der Standardunsicherheit	25
B.3.4 Typ-B-Bewertung der Standardunsicherheit	25
B.3.5 Kombinierte Standardunsicherheit	25
B.3.6 Erweiterte Unsicherheit und Endergebnis	25
B.3.7 Ergebniszusammenfassung (Budget-Tabelle)	25
Literaturhinweise	27

Bilder

Bild 1 – Schematisches Beispiel für eine Rillenstruktur im Mikrometerbereich und deren Querschnitt	6
Bild 2 – Querschnitt einer Rillenstruktur im Mikrometerbereich	7
Bild 3 – Querschnitt einer Rillenstruktur im Mikrometerbereich, die mittels DRIE-Prozess mit wiederholtem Abscheiden und Ätzen von Silizium hergestellt wurde	7
Bild 4 – Schematische Darstellungen von üblichen Nadelstrukturen, die aus drei oder vier Seitenflächen gebildet werden	8
Bild 5 – Vorder-, Seiten- und Draufsicht typische Nadelstrukturen	9
Bild A.2.1 – FE-REM-Bild einer Rillenstruktur mit 5 µm Stegbreite und 5 µm Rillenbreite	11
Bild A.2.2 – Prinzipdarstellung eines CSI-Mikroskops, das aus einem Interferometer gleicher optischer Weglänge besteht	13
Bild A.2.3 – Messbarkeit der Tiefe einer Rillenstruktur mit einer Tiefe D und einer Breite W_{TU} unter Verwendung eines taktilen Oberflächenprofilometers	15
Bild A.2.5 – Beziehung zwischen der Form der AFM-Sondenspitze und der Rillenstruktur	17
Bild A.6.1 – Vorder-, Seiten- und Draufsicht von typischen Nadelstrukturen, die in Bezug zur Rückseite um 30° gedreht sind	22

Tabellen

Tabelle 1 – Symbole und Bezeichnungen für eine Rillenstruktur im Mikrometerbereich	7
Tabelle 2 – Größensymbole und Bezeichnungen für Nadelstrukturen im Mikrometerbereich	9
Tabelle A.2.1 – Beispiel für Messdaten zur Rillentiefe	11
Tabelle A.2.2 – CSI-Vergrößerung (Interferenzobjektiv/Bildobjektiv) für Messungen aller Rillen	14
Tabelle B.3.1 – Beispiel für Messdaten einer Rillentiefe	25
Tabelle B.3.7 – Schätzung der Messunsicherheit	26

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 47F/178/CD:2013 „Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 26: Description and measurement methods for micro trench and needle structures“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom SC 47F „Micro-electromechanical systems“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 631 „Halbleiterbauelemente“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

**Halbleiterbauelemente –
Bauelemente der Mikrosystemtechnik –
Teil 26: Beschreibung und Messverfahren für Mikro-Rillen und Nadelstrukturen**

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der IEC 62047 legt Begriffe sowie die Beschreibung von Rillen- und Nadelstrukturen im Mikrometerbereich fest. Zusätzlich werden Beispiele für die Messung der geometrischen Merkmale für beide Strukturen gegeben. Diese Norm ist für Rillenstrukturen mit einer Tiefe von 1 µm bis 100 µm sowie für Rillen/Steg-Strukturen mit Breiten von jeweils 5 µm bis 150 µm und einem Aspektverhältnis von 0,0067 bis 20 anwendbar. Die Norm ist für Nadelstrukturen mit einer Höhe, horizontalen und vertikalen Breite von 2 µm oder mehr sowie Abmessungen, die in einen Würfel mit 100 µm Kantenlänge passen, anwendbar.

Diese Norm ist sowohl für den strukturell-konstruktiven Entwurf von MEMS-Bauteilen als auch für die Beurteilung der geometrischen Merkmale nach dem MEMS-Fertigungsprozess anwendbar.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 129-1:2004, *Technical drawings - Indication of dimensions and tolerances - Part 1: General principles*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Rillenstruktur

Trenchstruktur

eine oder mehrere Strukturen mit einem rechteckigen Querschnittsprofil, die in einem planaren Substrat eingeprägt sind

3.2

Nadelstruktur

aufragende Struktur mit einem spitzförmigen Ende, das aus drei oder vier Seitenflächen geformt wird, und die auf einem planaren Substrat symmetrisch in der vertikalen Ebene gebildet wird

3.3

Rillen/Steg-Struktur

Wall/Trench-Struktur

eine oder mehrere der in 3.1 beschriebenen Rillenstrukturen, die parallel in regelmäßigen Abständen angeordnet sind

3.4

Scallops

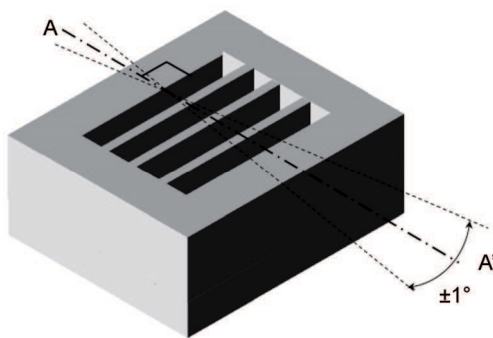
Unregelmäßigkeit, die in den Seitenwänden bei einer reaktiven Ionen-Tiefenätz-Bearbeitung (DRIE; en: deep-reactive ion etching) mit wiederholten Abscheiden und Ätzen auf einem Siliziumsubstrat gebildet wird

4 Merkmale von Rillenstrukturen in Mikrometerbereich

4.1 Allgemeines

In dieser Norm ist das Verfahren zum Beschreiben der Querschnittsgeometrien von Rillenstrukturen im Mikrometerbereich festgelegt. Bild 1 ist eine Darstellung des Querschnitts, der für das Beschreiben der Querschnittsgeometrien von Rillenstrukturen in dieser Norm erforderlich ist. Die Querschnittsgeometrie der Rillenstruktur ist die Querschnittsform entlang einer Linie, die wie gezeigt, die Rillenstruktur im rechten Winkel zur Oberseite des Substrats mit einer Abweichung von kleiner oder gleich $\pm 1^\circ$ trennt. Rillenstrukturen, für die diese Norm anwendbar ist, sind Rillen mit einer Tiefe von $1\text{ }\mu\text{m}$ bis $100\text{ }\mu\text{m}$ sowie Rillen/Steg-Strukturen mit Breiten von jeweils $5\text{ }\mu\text{m}$ bis $150\text{ }\mu\text{m}$ und einem Aspektverhältnis von $0,0067$ bis 20 . Diese Norm ist für Rillenstrukturen mit rechtwinkligem Rillenprofil im Querschnitt anwendbar.

Bezüglich des Messverfahrens für die Querschnittsabmessungen der Rillenstrukturen siehe Abschnitt 6 und Anhang A.



a) Beispiel einer Rillenstruktur



Querschnitt entlang der Linie A-A'

b) Querschnitt der Rillenstruktur entlang der Linie A-A

Bild 1 – Schematisches Beispiel für eine Rillenstruktur im Mikrometerbereich und deren Querschnitt

4.2 Symbole und Bezeichnungen

Der Querschnitt einer üblichen Rillenstruktur wird in Bild 2 dargestellt, und die Symbole, Bezeichnungen und Maßeinheiten, die zur Beschreibung der Rillenstrukturen verwendet werden, sind in Tabelle 1 angegeben.

Die horizontale Bezugslinie zur Beschreibung des Querschnitts in Bild 2 ist eine Gerade, die angenähert der Oberseite des planaren Substrats entspricht. Die vertikale Bezugslinie ist als die Gerade festgelegt, die die horizontale Bezugslinie im rechten Winkel schneidet. Die Seitenwand der Rille ist in Näherung durch eine Gerade dargestellt. Der Boden der Rille wird in Näherung als Gerade oder Kurvenlinie dargestellt. Auf der Oberseite der Rillenstruktur ist der Steg als der nicht geätzte Bereich festgelegt, der gleich zur horizontalen Bezugslinie betrachtet wird, und die Rille wird als der geätzte Bereich betrachtet. Entsprechend dieser Festlegungen werden die Breiten von Steg und Rille auf der Oberseite, so wie in Bild 2 gezeigt, angegeben. Der Winkel der Rillenwand ist festgelegt als der Winkel zwischen der horizontalen Bezugslinie und der näherungsweise Linie der Seitenwand und wird als Wert angegeben, der im Uhrzeigersinn von der horizontalen Bezugslinie oben auf dem Steg zur Rillenwand im kürzesten Abstand, so wie in Bild 2 gezeigt, gemessen wird. Die Breiten des Stegs und der Rille am Rillenboden werden angegeben als die Abstände zwischen den Schnittpunkten von der genäherten Linie der Seitenwand und der genäherten Geraden oder Kurvenlinie am Boden der Rillen. Die Tiefe der Rille ist als der kürzeste Abstand zwischen der horizontalen Bezugslinie und der Rillenmitte an der Bodenoberfläche der Rille festgelegt.

Wenn die Rillenstruktur mithilfe des DRIE-Verfahrens durch wiederholtes Abscheiden auf dem Siliziumsubstrat und Ätzen des Substrats hergestellt wird, werden Scallops (Riefen) in den Seitenwänden der Rillen nach dem Ätzen gebildet. Im Bild 3 wird ein Querschnitt einer Rillenstruktur, bei der die negative (inverse) Neigung der Seitenwände infolge des DRIE-Ätzprozesses gebildet wurde, gezeigt einschließlich der Symbole für die geometrischen Größen. Die Maßeinheiten und Bezeichnungen sind in Tabelle 1 angegeben.

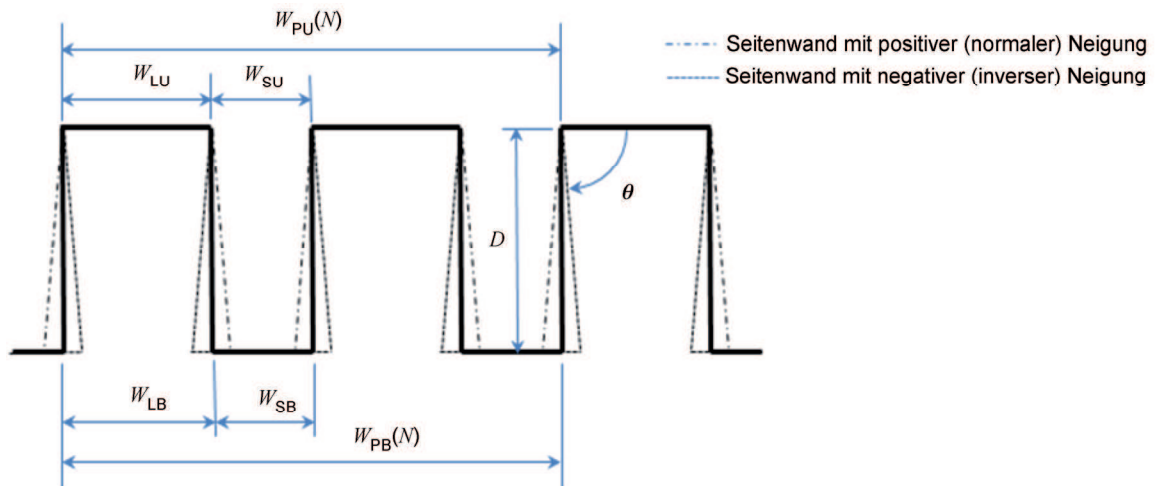


Bild 2 – Querschnitt einer Rillenstruktur im Mikrometerbereich

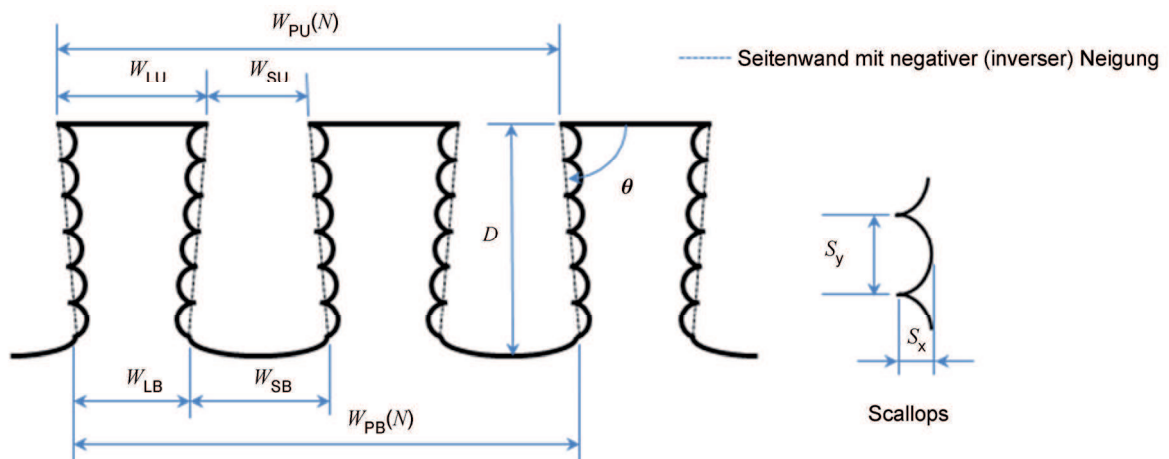


Bild 3 – Querschnitt einer Rillenstruktur im Mikrometerbereich, die mittels DRIE-Prozess mit wiederholtem Abscheiden und Ätzen von Silizium hergestellt wurde

Tabelle 1 – Symbole und Bezeichnungen für eine Rillenstruktur im Mikrometerbereich

Symbol	Einheit	Bezeichnung
W_{WU}	μm	Breite des Stegteils auf der Oberseite
W_{TU}	μm	Breite des Rillenteils auf der Oberseite
W_{WB}	μm	Breite des Stegteils auf dem Rillenboden
W_{TB}	μm	Breite des Rillenteils auf dem Rillenboden
$W_{PU(N)}$	μm	Abstand von N Rasterabständen (Pitches) von Steg und Rille auf der Oberseite
$W_{PB(N)}$	μm	Abstand von N Rasterabständen (Pitches) von Steg und Rille auf dem Rillenboden
N	–	Anzahl der Rasterabstände (Pitches)
D	μm	Tiefe der Rille in der Rillenmitte
θ	Deg	Seitenwandwinkel
S_x	μm	Horizontaler Abstand des Scallops (Riefe)
S_y	μm	Vertikaler Abstand des Scallops (Riefe)

4.3 Beschreibende Merkmale

Rillenstrukturen sind unter Verwendung von Bild 2 bzw. Bild 3 entsprechend 4.1 und 4.2 zu bemaßen. Anstelle der Maß-Symbole in den Bildern ist jede Abmessung unter Verwendung der in Tabelle 1 angegebenen Einheiten zu bezeichnen. Siehe ISO 129-1 für die Eintragung von Maßen.

5 Merkmale von Nadelstrukturen im Mikrometerbereich

5.1 Allgemeines

In dieser Norm ist das Verfahren zum Beschreiben der Geometrie von Nadelstrukturen im Mikrometerbereich festgelegt. Im Bild 4 wird eine Projektionsansicht auf eine übliche Nadelstruktur gezeigt. Die in dieser Norm angegebenen Nadelstrukturen sind aufragende Strukturen mit einem spitzförmigen Ende, das aus drei oder vier Flächen geformt wird, und die auf einem planaren Substrat symmetrisch in der vertikalen Ebene gebildet werden. Die schraffierte Fläche im Bild ist die Symmetrieebene. Die Grundansicht der Nadelstruktur korrespondiert zur Oberfläche des planaren Substrats. Die Norm ist für Nadelstrukturen mit einer Höhe, horizontalen und vertikalen Breite von 2 µm oder mehr sowie Abmessungen, die in einen Würfel mit 100 µm Kantenlänge passen, anwendbar.

Siehe 6 und Anhang A zum Messverfahren für die Geometrie von Nadelstrukturen.

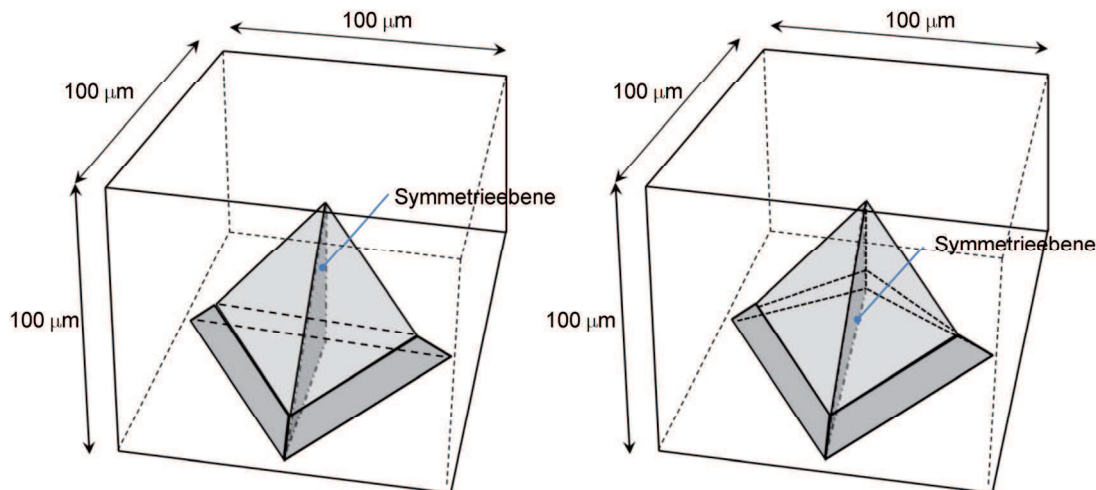


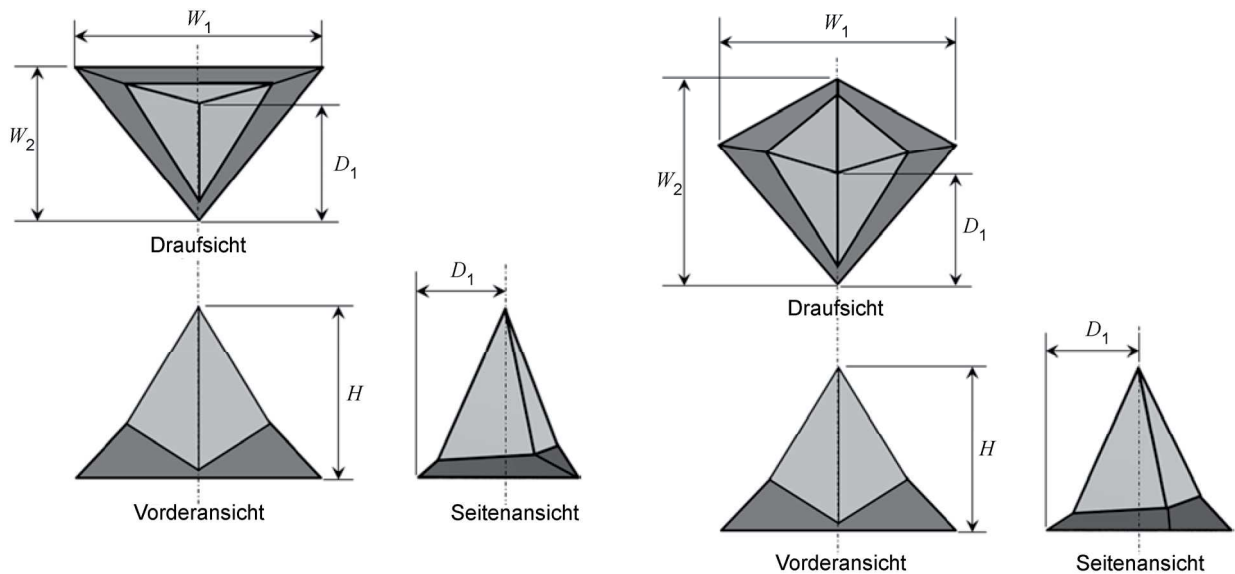
Bild 4 – Schematische Darstellungen von üblichen Nadelstrukturen, die aus drei oder vier Seitenflächen gebildet werden

5.2 Größensymbole und Bezeichnungen

Im Bild 5 wird eine Drei-Seiten-Ansicht einer üblichen Nadelstruktur gezeigt. In Tabelle 2 sind die Symbole, Bezeichnungen und Einheiten, die zur Beschreibung der geometrischen Abmessungen von Nadelstrukturen verwendet werden, angegeben.

Die Vorderansicht der Nadelstrukturen ist als die Position festgelegt, bei der die Struktur die zweiseitige Symmetrie zeigt, wenn die Symmetrieebene in der Mitte ist und die Grundfläche der Struktur zur Horizontalebene korrespondiert. Die Vorderansicht von Nadelstrukturen mit Spitzen, die aus drei Seitenflächen gebildet werden, ist die Position, in der zwei Flächen mit der Symmetrieebene in der Mitte nach vorn zeigen. Die Vorderansicht von Nadelstrukturen mit Spitzen, die aus vier Seitenflächen gebildet werden, ist die Position, in der zwei Flächen mit dem größten Flächeninhalt mit der Symmetrieebene in der Mitte nach vorn zeigen.

Die in dieser Norm angegebenen geometrischen Abmessungen von Nadelstrukturen sind Nadelhöhe H , Breiten der Grundfläche der Nadelstruktur W_1 und W_2 sowie der Abstand D_1 , der ein Maß entsprechend der Draufsicht oder Seitenansicht nach Bild 5 ist.



a) Typische Nadelstruktur mit drei Seitenflächen

b) Typische Nadelstruktur mit vier Seitenflächen

Bild 5 – Vorder-, Seiten- und Draufsicht typische Nadelstrukturen

Tabelle 2 – Größensymbole und Bezeichnungen für Nadelstrukturen im Mikrometerbereich

Symbol	Einheit	Bezeichnung
W_1	μm	Horizontale Breite der Nadelstruktur in der Draufsicht
W_2	μm	Vertikale Breite der Nadelstruktur in der Draufsicht
D_1	μm	Abstand zwischen der Spitze und dem Stirnpunkt der Nadelstruktur
H	μm	Höhe der Nadelstruktur

5.3 Beschreibende Merkmale

Nadelstrukturen sind unter Verwendung von Bild 5 entsprechend 5.1 und 5.2 zu bemaßen. Anstelle der Maßsymbole in dem Bild ist jede Abmessung unter Verwendung der in Tabelle 2 angegebenen Maßeinheiten zu bezeichnen. Siehe ISO 129-1 für die Eintragung von Maßen.

6 Messverfahren

Siehe Anhang A für Beispiele zum Messen der kennzeichnenden Geometrie von Rillen- und Nadelstrukturen. Die für alle Messungen erforderlichen Messbedingungen sind im Folgenden angegeben.

- 1) Temperatur, Luftfeuchte und andere Messbedingungen sind für jeden Messvorgang aufzuzeichnen.
- 2) Messungen sind innerhalb des Größenbereichs, der für jede Messung vom jeweiligen Messinstrument zugesichert wird, durchzuführen.
- 3) Es sind Messinstrumente zu verwenden, die vor jeder Messung kalibriert werden.
- 4) Zum Kalibrieren der Messinstrumente sind, falls erforderlich, die Lieferanten der Instrumente zu konsultieren.
- 5) Die Ebenheit und Rechtwinkligkeit der Probe ist gewährleisten, wenn sie in das Messinstrument innerhalb des Bereichs, der für das Instrument zugesichert wird, eingesetzt wird.
- 6) Die Verfahren der Geraden- und Kurvenapproximation, die für die Beschreibung der Rillengeometrie notwendig sind, sind festzulegen.
- 7) Die Messergebnisse sollten entsprechend B.2 nach Anhang B aufgezeichnet werden.

Anhang A (informativ)

Beispiele für das Messen von Rillen- und Nadelstrukturen im Mikrometerbereich

A.1 Allgemeines

Im Anhang A sind Beispiele zum Messen von Geometrien der Rillen- und Nadelstrukturen im Mikrometerbereich beschrieben. In A.2 bis A.6 sind die Messprinzipien, Präparationsverfahren für die Proben und die Messdurchführung in Bezug auf die Geometrie der Strukturen zusammengefasst beschrieben, indem ein oder auch mehrere charakteristische Beispiele für die Geometriemessung von Rillen- und Nadelstrukturen verwendet werden.

A.2 Messung der Rillentiefe

A.2.1 Feldemissions-Rasterelektronenmikroskopie

A.2.1.1 Messprinzip

Ein Feldemissions-Rasterelektronenmikroskop (FE-REM) ist eine Einrichtung, die die Probe mit einem Elektronenstrahl anstrahlt, um ein Bild von deren Oberfläche zu erhalten. Die Elektronenstrahlquelle ist eine Silizium- oder Wolframspitze, die Elektronen emittieren kann, indem die Spitze einem elektrischen Feld ausgesetzt wird. Wenn das FE-REM die Probe mit dem Elektronenstrahl anstrahlt, werden auch Sekundärelektronen von der Probenoberfläche emittiert. Während des Abrasterns mit einem extrem fokussierten Elektronenstrahl werden die Sekundärelektronen über der Probenoberfläche aufgespürt. Ein Umsetzen der Sekundärelektronenemission in ein Helligkeitssignal liefert ein Elektronenmikroskopbild.

A.2.1.2 Präparieren der Probe

Zur Messung der Rillentiefe mithilfe eines FE-REM ist es notwendig, den Querschnitt der Probe direkt zu beobachten und zu messen. Um eindeutig nachzuweisen, dass der Querschnitt der Probe dem Bild 1 in 4.1 entspricht, sollte die Probe zweigeteilt werden.

A.2.1.3 Messdurchführung

Die Rillentiefe ist der kürzeste Abstand zwischen der horizontalen Bezugslinie zur Rillenmitte der Grundfläche der Rillen, so wie in 4.2 beschrieben. Die Messung ist entsprechend den Festlegungen des Herstellers der Messeinrichtung durchzuführen. Die folgenden Punkte sollten beachtet werden.

- 1) Die Probe ist in der Probenkammer des REM so zu positionieren, dass die Orientierung des FE-REM-Elektronenstrahls zum Normalvektor des Probenquerschnitts korrespondiert. Die Ebenheit der Probe sollte innerhalb des für die Einrichtung zugesicherten Bereichs aufrecht erhalten werden.
- 2) Die Vergrößerung ist so einzustellen, dass die gesamte Rille innerhalb des REM-Bildes zu sehen ist.
- 3) Fokus, Kontrast usw. sind entsprechend der von dem Hersteller der Einrichtung festgelegten Verfahren einzustellen.
- 4) Die relevanten Abstände sind zu messen, indem die Funktion der Längenmessung, die vom Hersteller der Einrichtung bereitgestellt wird, verwendet wird.
- 5) Es ist eine einzige Stelle mit der empfohlenen Anzahl von Wiederholungen (siehe Abschnitt B.2) zu messen und es ist dann der Mittelwert der Messergebnisse als Messwert zu verwenden. Siehe Anhang B zur Wiederholbarkeit der Messungen.

A.2.1.4 Messbarer Bereich

Die Messung ist für Rillenstrukturen innerhalb des Maßbereiches entsprechend 4.1 anwendbar. Im Bild A.2.1 und der Tabelle A.2.1 wird ein Messbeispiel für eine Rillentiefe bei 2500-facher Vergrößerung mithilfe eines FE-REM gezeigt.

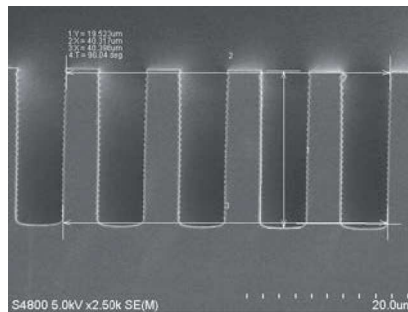


Bild A.2.1 – FE-REM-Bild einer Rillenstruktur mit 5 µm Stegbreite und 5 µm Rillenbreite

Tabelle A.2.1 – Beispiel für Messdaten zur Rillentiefe

Versuchsnummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rillentiefe D [µm]	19,6	19,5	19,6	19,6	19,5	19,6	19,5	19,5	19,5	19,6

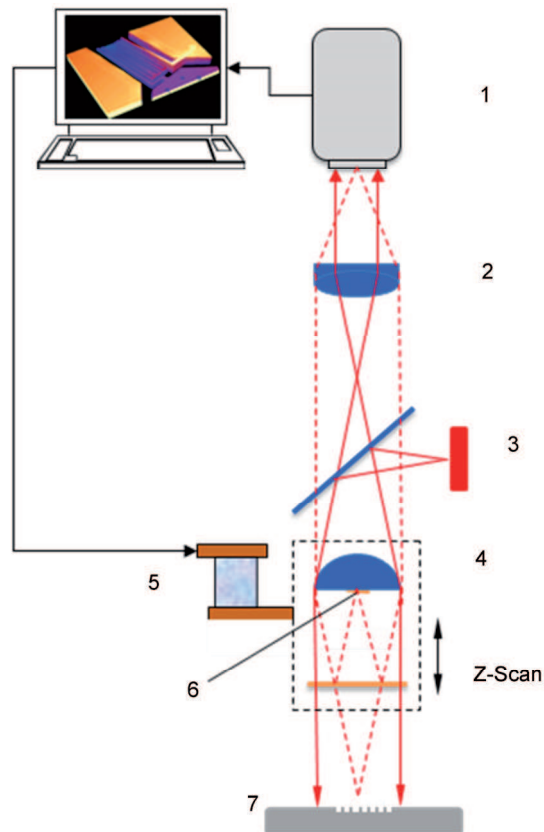
A.2.2 Weißlichtinterferometrie

A.2.2.1 Messprinzip

Ein Weißlichtinterferometer (CSI; en: coherence scanning interferometer) ist eine Einrichtung zum Messen des Oberflächenprofils, indem die Oberfläche der Probe über eine optische Linsenordnung vertikal bei gleicher optischer Weglänge mithilfe der Weißlichtinterferenz abgetastet wird.

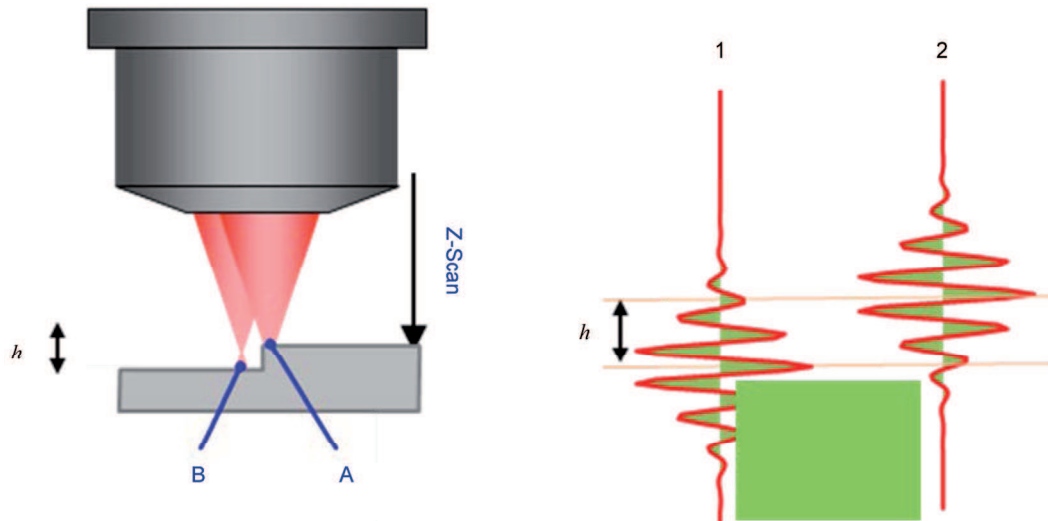
Im Bild A.2.2a) wird der prinzipielle Aufbau eines CSI-Mikroskops dargestellt. Die Probe hat in Bezug auf die Gesamtoberfläche Ungleichmäßigkeiten der Höhe h . Das CSI-Mikroskop verwendet einen Aktor zum sanften und kontinuierlichen Bewegen des Interferometer-Objektivs in einer Rasterbewegung in der Z-Raster-Richtung, so wie im Bild gezeigt. Beim Abrastern der Probenoberfläche zeichnet ein Computer die Interferenzsignalhelligkeit für jedes CCD-Pixel in jedem Sequenzrahmen auf.

Im Bild A.2.2b) werden die zwei Interferenzsignalstärken dargestellt, die entsprechend der vertikalen Höhendifferenz h auf der Probenoberfläche (Punkte A und B im Bild) gewonnen werden. Die Oberflächenhöhe der Probe wird bestimmt, indem die Interferenzsignalstärken der CCD-Pixel, die den beiden Punkten entsprechen, verglichen werden. Die Rasterposition (Position gleicher optischer Weglänge), die im Besonderen zu dem Interferenzsignal mit dem größten Kontrast korrespondiert, wird gefunden, indem jedes Pixel im Aufnahmegebiet betrachtet wird.

**Legende**

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| 1 CCD-Kamera | 5 Aktor für Z-Raster |
| 2 Bildobjektiv | 6 Referenzspiegel |
| 3 Weißlicht-Quelle | 7 Objekt |
| 4 Interferenzobjektiv | |

a) Prinzipielle Eigenschaften eines CSI-Mikroskops



Legende

- 1 Signalstärke vom Kamera-Pixel „B“
- 2 Signalstärke vom Kamera-Pixel „A“

b) Signalstärken , wie sie von zwei Kamerapixel „A“ und „B“ erfasst wurden

Bild A.2.2 – Prinzipdarstellung eines CSI-Mikroskops, das aus einem Interferometer gleicher optischer Weglänge besteht

A.2.2.2 Präparieren der Probe

Die Probe wird nicht getrennt.

A.2.2.3 Messdurchführung

Die Rillentiefe ist der kürzeste Abstand zwischen der horizontalen Bezugslinie in der Rillenmitte und dem Rillenboden, so wie in 4.2 festgelegt. Die Messung ist entsprechend den vom Hersteller der Einrichtung festgelegten Verfahren durchzuführen. Die folgenden Punkte sollten beachtet werden.

- 1) Das Interferenzobjektiv ist mit seiner Vergrößerung so einzustellen, dass es möglich ist, die Stege und Rillen, die vermessen werden, zu beobachten. Die Vergrößerung des Interferenzobjektivs ist, falls erforderlich, zu ändern, um die Vergrößerung anzupassen. Es ist ratsam, die Messvergrößerung bei Steg- und Rillenabmessungen so zu wählen, dass die Vergrößerung nicht von der Rillentiefe abhängig ist. In Tabelle A.2.2 ist ein Beispiel für Messvergrößerungen bei unterschiedlichen Steg- und Rillenabmessungen angegeben.
- 2) Die Probe ist so zu positionieren, dass die optische Achse des Mikroskops mit dem Normalvektor der Probenoberfläche korrespondiert.
- 3) Fokus, Kontrast usw. sind entsprechend der von dem Hersteller der Einrichtung festgelegten Verfahren einzustellen.
- 4) Die Messbedingungen, wie zum Beispiel der Rasterbereich in Z-Richtung, sind entsprechend den Festlegungen des Herstellers der Einrichtung einzustellen, und das Profil der Probenoberfläche ist zu vermessen.
- 5) Unter Verwendung der Längenmessfunktion, die vom Hersteller der Einrichtung zur Verfügung gestellt wird, sind die gewonnenen Messdaten zu analysieren, um die Rillentiefe, Rillenbreite und die Stegbreite zu bestimmen.
- 6) Es ist eine einzige Stelle mit der empfohlenen Anzahl von Wiederholungen (siehe Abschnitt B.2) zu messen und es ist dann der Mittelwert der Messergebnisse als Messwert zu wählen. Siehe Anhang B zur Wiederholbarkeit der Messungen.

Tabelle A.2.2 – CSI-Vergrößerung (Interferenzobjektiv/Bildobjektiv) für Messungen aller Rillen

Steg und Rille (Nennmaße)	Vergrößerung für Interferenzobjektiv	Vergrößerung für Bildobjektiv
5 µm Stegbreite und 5 µm Rillenbreite	50	2,0
15 µm Stegbreite und 5 µm Rillenbreite	50	2,0
20 µm Stegbreite und 10 µm Rillenbreite	50	1,0
30 µm Stegbreite und 20 µm Rillenbreite	50	1,0
50 µm Stegbreite und 50 µm Rillenbreite	50	1,0
150 µm Stegbreite und 100 µm Rillenbreite	10	1,0

A.2.2.4 Messbarer Bereich

Das Messverfahren ist bei Rillenstrukturen innerhalb des Abmessungsbereiches entsprechend 4.1 anwendbar.

A.2.3 Taktile Oberflächenprofilometrie**A.2.3.1 Messprinzip**

Ein taktiles Oberflächenprofilometer ist eine Einrichtung, mit der man die Rauigkeit und Welligkeit der Oberfläche misst, indem die Probenoberfläche mithilfe einer Tastnadel rasterförmig abgetastet wird. Für die Tastnadel wird eine konische Form mit einer sphärischen Spitze verwendet, wobei deren Form durch den Radius der Nadelspitze und dem Neigungswinkel des Konus bestimmt wird. Die Messeinrichtung drückt die Tastnadel mit einer festgelegten Kraft gegen die Probe und misst präzise die vertikalen Auslenkungen der Tastnadel. Automaten messen üblicherweise ein unidirektionales Profil in einer Richtung (Totalprofil) durch horizontales Abtasten. Die übliche Messauflösung der Tastnadelauslenkung beträgt 0,1 nm. Es gibt Einschränkungen, die von der Form der Tastnadel hinsichtlich der zu messenden Form abhängig sind.

A.2.3.2 Präparieren der Probe

Die Probe wird nicht getrennt.

A.2.3.3 Messdurchführung

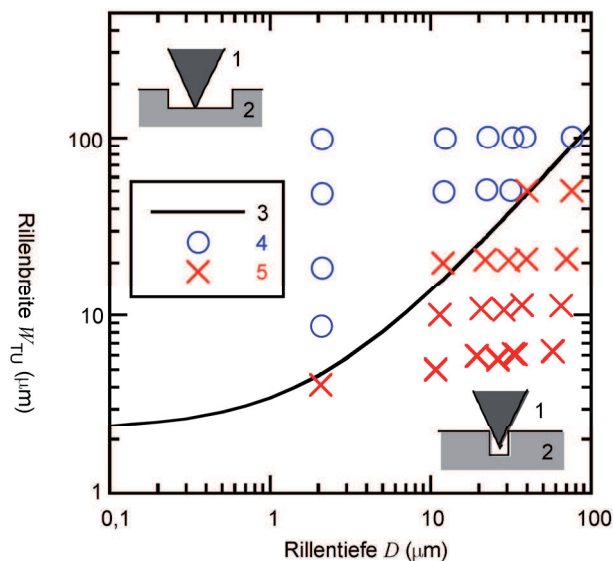
Die Messung ist entsprechend den vom Hersteller der Messeinrichtung festgelegten Verfahren durchzuführen. Siehe ISO 3274:1996 (Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile method – Nominal characteristics of contact (stylus) instruments) in Bezug auf die Merkmale der Messeinrichtung. Die folgenden Punkte sollten beachtet werden.

- 1) Die für die Messung verwendete Tastnadel ist mit einem lichtoptischen Mikroskop zu untersuchen und es ist zu bestätigen, dass weder die Spitze noch die Kegelfläche beschädigt oder verschmutzt sind.
- 2) Die Messkraft und die Messgeschwindigkeit der Tastnadel sind jeweils auf einen Wert einzustellen, mit dem die Nadel der Tiefe in der Rillenstruktur folgen kann und die Längenausdehnung der Untersuchung ist so festzulegen, dass die Rillenbreite erfolgreich erfasst wird.
- 3) Die Tastmessung ist durchzuführen und das unidirektionale Profil (Totalprofil) als elektronischer Datensatz zu speichern. Eine Filterung sollte nicht durchgeführt werden.
- 4) Auf Basis des Totalprofils ist die horizontale Bezugslinie festzulegen, indem zwei Punkte auf jeder Seite der Rille auf der Oberfläche der Substratoberseite verbunden werden.
- 5) Auf Basis der Profilform ist zu bestimmen, ob die Oberfläche des Rillenbodens zu messen ist. Ein V-förmiges Profil wird üblicherweise erhalten, wenn die Tastnadel den Boden der Rille nicht erreichen kann. Falls die Oberfläche des Rillenbodens gemessen wird, dann ist der Abstand in der Rillenmitte zwischen der horizontalen Bezugslinie und dem Rillenboden der Messwert für die Rillentiefe D .

- 6) Es ist eine einzige Stelle mit der empfohlenen Anzahl von Wiederholungen (siehe Abschnitt B.2) zu messen und es ist dann der Mittelwert der Messergebnisse als Messwert zu verwenden. Siehe Anhang B zur Wiederholbarkeit der Messungen.

A.2.3.4 Messbarer Bereich

Falls die Spitze der Tastnadel die Oberfläche des Rillenbodens nicht erreicht, kann die Rillentiefe nicht gemessen werden. In Bild A.2.3 wird ein Beispiel zum Überprüfen gezeigt, ob die Messung der Rillentiefe mit einer Tastnadel möglich ist, die eine Nadelspitze vom Radius $2\text{ }\mu\text{m}$ und einen Konuswinkel von 60° hat. Die Grenze einer zufriedenstellenden Messung entspricht in erster Linie den geometrischen Kontaktierungskriterien (siehe die Kurve im Bild A.2.3), die durch die obere Breite der Rille W_{TU} und der Rillentiefe D bestimmt werden. Dieses Kriterium ist aber auch von der Ausformung der Tastnadel abhängig. Weiterhin ist es unmöglich, eine Tiefe zu messen, die größer ist als der obere Grenzwert des vertikalen Messbereichs, der für das taktile Oberflächenprofilometer festgelegt ist.



Legende

- | | |
|---------------------------|------------------------------|
| 1 Tastnadelspitze | 4 Fall messbarer Tiefe |
| 2 Rillenprobe | 5 Fall nicht messbarer Tiefe |
| 3 Geometrisches Kriterium | |

Bild A.2.3 – Messbarkeit der Tiefe einer Rillenstruktur mit einer Tiefe D und einer Breite W_{TU} unter Verwendung eines taktilen Oberflächenprofilometers

A.2.4 Laserprofilometrie(-Mikroskopie)

A.2.4.1 Messprinzip

Ein Laserprofilometrie-Mikroskop (CLSM; en: confocal laser scanning microscope) ist eine Einrichtung zur Untersuchung der Oberflächenmorphologie der Probe mit einer hohen Auflösung unter Verwendung einer Laserstrahlabtastung. Die Probenoberfläche wird mithilfe eines Laserstrahls zweidimensional abgetastet, und dann wird das von der Oberfläche reflektierte Licht mithilfe eines Fotodetektors empfangen, um somit Informationen über die Oberfläche zu liefern. Da außerdem der Bildsensor des Konfokalmikroskops nur das reflektierte Licht von der am höchsten begrenzten Fokussstellung empfängt, kann man hoch aufgelöste Bilder erhalten. Ein genaues 3D-Bild kann erhalten werden, wenn die Fokusposition über verschiedene Höhen hinweg bewegt wird und die 2D-Bilder (x-y-Ebene) zusammengefasst werden.

Die Auflösung des CLSM ist bestimmt durch die Wellenlänge der Laser-Quelle, die Kennwerte der Linse usw.

A.2.4.2 Präparieren der Probe

Die Probe wird nicht getrennt.

A.2.4.3 Messdurchführung

Die Messung ist entsprechend den vom Hersteller der Messeinrichtung festgelegten Verfahren durchzuführen. Die folgenden Punkte sollten beachtet werden.

- 1) Die zu untersuchende Probe ist im rechten Winkel zur optischen Achse (z-Achse) auszurichten. Das heißt Ausrichten der Oberfläche parallel zur x-y-Ebene.
- 2) Die Vergrößerung ist so einzustellen, dass die zu messende Rille in das Messbild passt. Es sollte die höchst mögliche Vergrößerung verwendet werden.
- 3) Der Scanbereich der z-Richtung ist tiefer einzustellen als die zu messende Rillentiefe.
- 4) Es ist eine einzige Stelle mit der empfohlenen Anzahl von Wiederholungen (siehe Abschnitt B.2) zu messen und es ist dann der Mittelwert der Messergebnisse als Messwert zu verwenden. Siehe Anhang B zur Wiederholbarkeit der Messungen.

A.2.4.4 Messbarer Bereich

Das Messverfahren ist auf Rillenstrukturen entsprechend des Maßbereiches nach 4.1 anwendbar.

A.2.5 Atomkraftmikroskopie

A.2.5.1 Messprinzip

Ein Atomkraftmikroskop (AFM; en: atomic force microscope) ist ein hochauflösendes, die Probe abrasterndes Mikroskop, mit dem Bilder des Oberflächenprofils erhalten werden, indem die interatomaren Kräfte zwischen einer AFM-Sonde und der Probenoberfläche genutzt werden. Mit einer spitzen Sonde wird zweidimensional über die Probenoberfläche (x-y-Ebene) gerastert, wobei eine interatomare Kraft auf einem konstanten Wert gehalten wird und dann das Höhenprofil der Probenoberfläche mithilfe der Auslenkung der Sonde in der Höhe (z-Position) in der bestimmten x-y-Position gemessen wird. Es gibt unterschiedliche Modi bei der AFM-Messung einschließlich Kontaktmodus, kontaktlosem Modus und Tipp-Modus. Beim Kontaktmodus (statischer Messmodus) kommt die Sonde in leichtem Kontakt mit der Probenoberfläche und die Probenoberfläche wird dann abgetastet, wobei die repulsive Kraft zwischen der Sondenspitze und der Probenoberfläche gehalten wird. Beim kontaktlosen Modus (dynamischer Modus) vibriert die Sonde leicht und die Probenoberfläche wird so abgetastet, dass eine feste Amplitude der attraktiven Kraft zwischen der Sondenspitze und der Probenoberfläche gehalten wird. Beim Tippmodus (Tapping-Modus) wird die Probenoberfläche mit einer vibrierenden Sonde abgetastet, die kontinuierlich die Probenoberfläche (an-)tippt. Die Auflösung des Atomkraftmikroskops ist abhängig von der Genauigkeit des Sondenspitzenradius, dem Messmodus und dem Scanner.

A.2.5.2 Präparieren der Probe

Die Probe wird nicht getrennt.

A.2.5.3 Messdurchführung

Die Messung ist entsprechend den vom Hersteller der Messeinrichtung festgelegten Verfahren durchzuführen. Die folgenden Punkte sollten beachtet werden.

- 1) Die Probe ist so zu positionieren, dass ihre Oberfläche (die zu untersuchende Oberfläche) vertikal in Bezug zur z-Achse ist und die Kanten der Rillenwand auf der Probenoberfläche vertikal in Bezug zur horizontalen Scan-Richtung (x-y-Ebene) ist.
- 2) Es ist eine AFM-Sonde mit einer Form so zu wählen, dass der Rillenboden erreicht werden kann (siehe Bild A.2.5).