

DIN EN 62047-21

ICS 31.080.01; 31.220.01

Einsprüche bis 2013-01-19

Entwurf

**Halbleiterbauelemente –
Bauelemente der Mikrosystemtechnik –
Teil 21: Prüfverfahren zur Querkontraktionszahl von
Dünnschichtwerkstoffen der Mikrosystemtechnik
(IEC 47F/127/CD:2012)**

Semiconductor devices –
Micro-electromechanical devices –
Part 21: Test method for Poisson's ratio of thin film MEMS materials
(IEC 47F/127/CD:2012)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2012-11-12 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 als Datei per E-Mail an dke@din.de 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 online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de, sofern dort wiedergegeben;
- 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 24 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe	4
4 Probe	4
4.1 Allgemeines	4
4.2 Form der Mikroprobe	4
4.3 Messung der Maße	6
5 Prüfverfahren und Prüfeinrichtung	6
5.1 Grundlagen des Prüfverfahrens	6
5.2 Prüf- und Messeinrichtung	6
5.3 Prüfdurchführung	6
5.4 Prüfatmosphäre	7
6 Prüfdokumentation	7
Anhang A (informativ) Messung der Querkontraktionszahl von einkristallinem Silizium mithilfe einer Mikro-Zugprüfeinrichtung	8
A.1 Herstellung der Probe	8
A.2 Maße der Probe	8
A.3 Messdurchführung	8
A.4 Messergebnisse	9
Anhang B (informativ) Prüfdatenanalyse für eine Probe vom Typ 2	10
B.1 Allgemeines	10
B.2 Ermittlung von Spannung und Dehnung in kreis- und rechteckigen Membranen	10
B.3 Berechnung der Querkontraktionszahl	10
Bilder	
Bild 1 – Zwei Typen von Proben zur Messung der Querkontraktionszahl	5
Bild A.1 – Optische Bildaufnahmen von Markierungen zur Dehnungsmessung mithilfe von DIC	8
Bild A.2 – Kurvendarstellung von Kraft und Dehnung in Längs- und Querrichtung	9
Tabellen	
Tabelle 1 – Symbole und Bezeichnungen bezüglich der Proben	5

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 47F/127/CD:2012 „Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 21: Test method for Poisson's ratio of thin film MEMS materials“ (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 beigelegt. 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.

**Halbleiterbauelemente –
Bauelemente der Mikrosystemtechnik –
Teil 21: Prüfverfahren zur Querkontraktionszahl von Dünnschichtwerkstoffen der
Mikrosystemtechnik**

1 Anwendungsbereich

Diese internationale Norm legt ein Verfahren zur Bestimmung der Querkontraktionszahl (Poissonzahl) fest, und zwar auf Basis einachsiger (uniaxialer) und zweiachsiger (biaxialer) Beanspruchungen von Werkstoffen für MEMS-Dünnschichten (MEMS; en: micro-electromechanical system) mit Längen und Breiten kleiner als 10 mm und Dicken kleiner als 10 µm.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente 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).

IEC 62047-8:2011, *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 8: Strip bending test method for tensile property measurement of thin films*.

ASTM E 132-04:2010, *Standard test method for Poisson's ratio at room temperature*.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokumentes gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Querkontraktionszahl

Poissonzahl

ν

Absolutwert des Quotienten von Querdehnung dividiert durch die dazugehörige Längsdehnung, die beide bei einer gleichförmig verteilten Zugspannungs-Beanspruchung in Längsrichtung entstehen, und zwar unterhalb der Proportionalitätsgrenze des Werkstoffs, ausgedrückt als $-\varepsilon_t/\varepsilon_l$ mit ε_t als Querdehnung und ε_l als Längsdehnung.

4 Probe

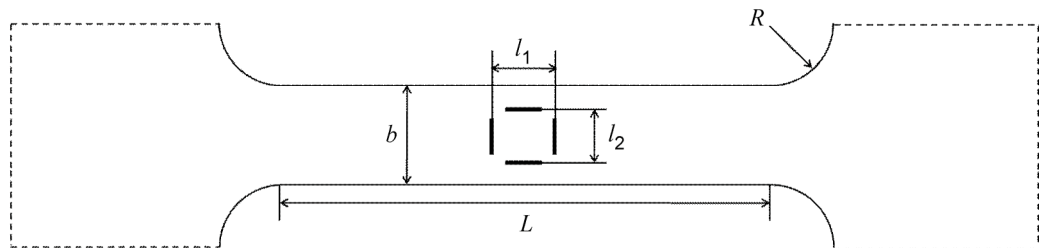
4.1 Allgemeines

Die Probe sollte mithilfe eines Herstellungsverfahrens präpariert werden, das ähnlich zur realen Bauteilherstellung ist. Die Probe sollte Abmessungen in der gleichen Größenordnung wie die realen Bauteile haben, um die Auswirkungen größenabhängiger Eigenschaften zu minimieren. Ein Beispiel für den Herstellungsprozess ist in IEC 62047-8 zu finden. Der Gradient der Eigenspannung in Richtung der Dicke sollte mittels einer Temperung (Annealing) minimiert werden, wobei aber das Annealing vermieden werden sollte, wenn die mechanischen Eigenschaften der Probe beeinflusst werden können. In diesem Dokument werden zwei Typen von Proben verwendet, die in den folgenden Abschnitten beschrieben werden.

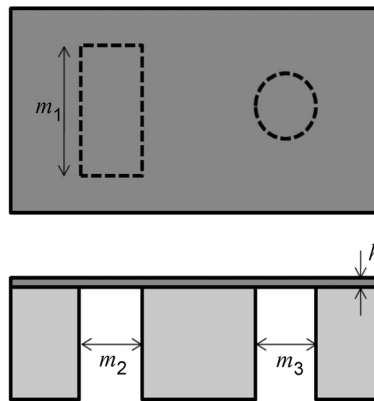
4.2 Form der Mikroprobe

In diesem Dokument sind zwei Typen von Proben festgelegt. Typ 1 hat eine ähnliche Form wie die einer Zugprobe (Bild 1a), während Typ 2 zwei Membranen hat (Bild 1b). Beim Typ 1 müssen zwei Paar Messmarkierungen aufgebracht werden, um sowohl die Längs- als auch die Querdehnung zu bestimmen. Mithilfe der Messungen von Längs- und Querdehnung wird die Querkontraktionszahl entsprechend 3.1 ermittelt. Falls eine Faltenbildung während der Zugbeanspruchung infolge der Druckdehnung auftritt, kann eine unerwünschte Verformung außerhalb der Beanspruchungsebene zu einem Fehler bei der optischen Messung

führen, womit die optische Messung der Querdehnung mehrdeutig wird. In diesem Fall sollte eine Probe vom Typ 2 anstelle des Typ 1 verwendet werden. Typ 2 enthält kreisförmige und rechteckige Membranen in der Probe. Die maximalen Auslenkungen der beiden Membranen werden gleichzeitig bei einer festgelegten Druckbeanspruchung gemessen. Der Druck, der jeweils auf die beiden Membranen ausgeübt wird, sollte gleich sein. Die Auslenkung außerhalb der Probenebene sollte unter Verwendung einer optischen Technik oder der Atomkraftmikroskopie (AFM; en: atomic force microscopy) gemessen werden, um die mechanischen Störungen der Probe zu minimieren. Für die rechteckige Membran sollte das Verhältnis von Länge zur Breite (m_1/m_2) größer als 4 sein.



a) Probe vom Typ 1 für uniaxiale Zug-Prüfeinrichtung



b) Probe vom Typ 2 für eine Membran-Bulge-Prüfeinrichtung

Bild 1 – Zwei Typen von Proben zur Messung der Querkontraktionszahl

Tabelle 1 – Symbole und Bezeichnungen bezüglich der Proben

Symbol	Einheit	Bezeichnung
l_1	μm	Messlänge für Messung der Längsdehnung
l_2	μm	Messlänge für Messung der Querdehnung
b	μm	Breite der Probe
L	μm	Gesamtlänge
R	μm	Kehlradius der Probe
m_1	μm	Länge der rechteckigen Membran
m_2	μm	Breite der rechteckigen Membran
m_3	μm	Durchmesser der kreisförmigen Membran
h	μm	Dicke der Membran

4.3 Messung der Maße

Für die Analyse der Messergebnisse ist genaues Messen der Probenmaße erforderlich, da die Maße verwendet werden, um die mechanischen Eigenschaften des Werkstoffs der Probe zu bestimmen. Bei der Probe vom Typ 1 müssen die Längs- und die Quer-Messlänge (l_1 , l_2), die Breite (b) und die Dicke (h) mit einer Messabweichung kleiner als $\pm 5\%$ gemessen werden. Bei der Probe vom Typ 2 sollte die Breite (m_2) der rechteckigen Membran, der Durchmesser (m_3) der kreisförmigen Membran sowie die Dicke (h) der Dünnschicht mit einer Messabweichung kleiner als $\pm 5\%$ gemessen werden.

5 Prüfverfahren und Prüfeinrichtung

5.1 Grundlagen des Prüfverfahrens

Bei einer Probe vom Typ 1 wird die Prüfbeanspruchung über eine Zugkraft auf die Probe ausgeübt. Die Längs- und Querdehnung, die durch die Zugbeanspruchung erzeugt wird, sollte über einen vorher festgelegten Messabschnitt im elastischen Bereich der Probe gleichförmig sein. Längs- und Querdehnung sollten gleichzeitig gemessen werden, wobei die Zeitverzögerung zwischen ihnen kleiner als 1/100 des Samplingintervalls der Messungen sein sollte. Es ist schwierig, die Querdehnung zu messen, falls eine Faltenbildung in der Probe auftritt. In diesem Fall sollte die Querkontraktionszahl unter Verwendung einer Probe vom Typ 2 gemessen werden. Bei einer Probe vom Typ 2 wird die Prüfbeanspruchung durch die Belastung mit Druckluft auf die Probe ausgeübt. Sowohl die kreisförmige als auch die rechteckige Membran sollten mit dem gleichen Druck beansprucht werden. Die Auslenkungen der beiden Membranen sollten gleichzeitig gemessen werden, wobei die Zeitverzögerung zwischen ihnen kleiner als 1/100 des Samplingintervalls der Messungen sein sollte.

5.2 Prüf- und Messeinrichtung

Die Prüfeinrichtung für eine Probe vom Typ 1 ist ähnlich der einer konventionellen Zug-Prüfeinrichtung bis auf die Tatsache, dass sie in der Lage ist, die Querdehnung zu messen. Da die Probe sehr dünn ist, müssen die Längs- und Querdehnungen unter Verwendung optischer Verfahren wie Laser-Interferometrie oder digitaler Bildkorrelation (DIC; en: digital image correlation) gemessen werden. Die Prüfeinrichtung für eine Probe vom Typ 2 besteht aus einem Druckluftkompressor, einer Druckluft-Regeleinrichtung, einem Drucksensor und einem Messwegesensor zum Messen der nicht ebenen Auslenkungen.

5.3 Prüfdurchführung

Die Prüfdurchführung für eine Probe vom Typ 1 ist zusammengefasst wie folgt:

- (1) Die Probe ist unter Verwendung der Zug-Probehalterung einzuspannen. Die Längsrichtung der Probe muss mit der Bewegungsrichtung der Prüfeinrichtung übereinstimmen und der Abweichungswinkel muss kleiner als 1° sein.
- (2) Die Dehnungs-Messeinrichtung für die Längs- und Querdehnung ist zu überprüfen. Diese Dehnungssignale müssen gleichzeitig mit dem Lastkraftsignal gemessen werden.
- (3) Auf die Probe ist eine Zugkraft mit konstanter Dehnungsrate (oder Verfahrensgeschwindigkeit der Einspannvorrichtung (Grip-to-Grip)) auszuüben. Die Dehnungsrate muss im Bereich von $0,01 \text{ min}^{-1}$ bis 10 min^{-1} liegen, und zwar abhängig vom Werkstoffsystem der Probe und den tatsächlichen Einsatzbedingungen des Anwenders.
- (4) Die Kraftausübung durch die Prüfeinrichtung ist zu beenden, wenn die Kraft die Proportionalitätsgrenze überschreitet.
- (5) Entsprechend ASTM E 132-04 ist eine grafische Darstellung der Längs- und Querdehnung in Abhängigkeit von der Zugkraft anzufertigen und die Querkontraktionszahl zu bestimmen.

Die Prüfdurchführung für eine Probe vom Typ 2 ist zusammengefasst wie folgt:

- (1) Die Probe ist in der Halterung der Prüfeinrichtung einzuspannen. Die Einspannvorrichtung sollte einen Ein- und Auslasskanal für die Druckluft sowie einen Verbindungskanal haben, über den die Druckluft auf

die Probe geleitet werden kann. Die Druckluftleitung in der Einspannvorrichtung sollte so konstruiert sein, dass auf beide Membranen der Probe der gleiche Druck ausgeübt wird.

- (2) Mit der Druckluft ist die kreisförmige und die rechteckige Membran in der Probe zu beanspruchen und die mittigen Auslenkungen der beiden Membranen sowie der ausgeübte Druck sind zu messen.
- (3) Die Beanspruchung durch die Prüfeinrichtung ist zu beenden, wenn die Proportionalitätsgrenze der Probe überschritten wird oder wenn die Membranen reißen.
- (4) Entsprechend Anhang B sind die Messergebnisse zu analysieren und die Querkontraktionszahl zu bestimmen.

5.4 Prüfatmosphäre

Da die mechanischen Eigenschaften sowohl von der Temperatur als auch der Luftfeuchte abhängig sind, müssen während der Prüfbeanspruchung die Schwankungen der Temperatur auf kleiner als 2 °C und die der relativen Luftfeuchte (rF) auf kleiner als 5 % rF gehalten werden.

6 Prüfdokumentation

In der Prüfdokumentation müssen folgende Informationen enthalten sein.

- a) Verweis auf diese internationale Norm
- b) Bezeichnung (Identifikationsnummer) der Probe
- c) Werkstoff der Probe
 - bei einkristallinem Werkstoff: Kristallorientierung
 - bei polykristallinem Werkstoff: Textur und Korngröße
 - Eigenspannung (falls zutreffen)
- d) Form und Maße der Probe
- e) Einzelheiten der Probenherstellung
 - Abscheideverfahren
 - Annealing-Bedingungen
 - Herstellungsbedingungen
- f) Prüf- und Messeinrichtung
 - Prüfeinrichtung
 - Verfahren der Last- und Dehnungsmessung (oder Druck- und Auslenkungsmessung)
- g) Gemessene Kenngrößen und Messergebnisse: Querkontraktionszahl, grafische Darstellung von Längs- und Querdehnung in Abhängigkeit von ausgeübter Kraft (oder Druck)

Anhang A (informativ)

Messung der Querkontraktionszahl von einkristallinem Silizium mithilfe einer Mikro-Zugprüfeinrichtung

A.1 Herstellung der Probe

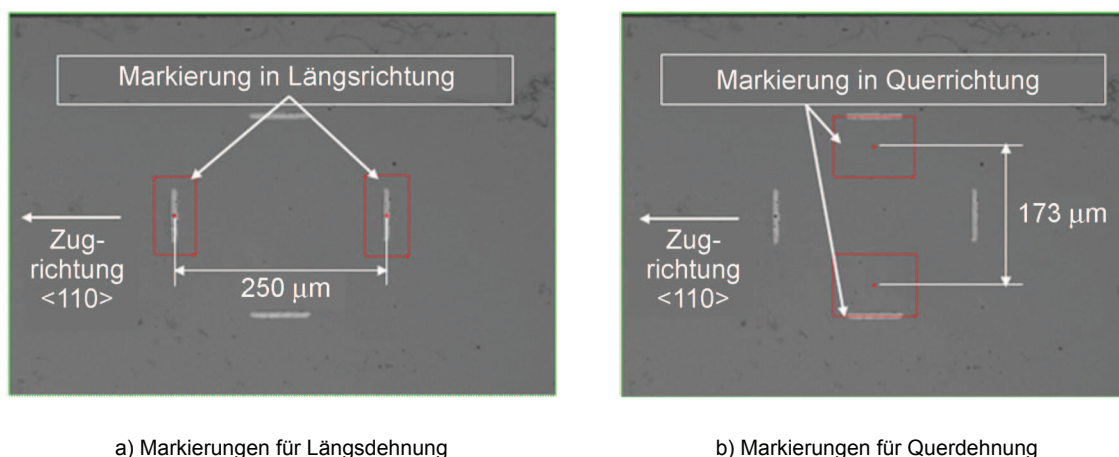
Die Probe zur Messung der Querkontraktionszahl ist mithilfe eines MEMS-Verfahrens herzustellen. Ein ähnlicher Herstellungsprozess ist in IEC 62047-8, Anhang B beschrieben.

A.2 Maße der Probe

Die Probe sollte mit einer Länge von 2 mm, einer Breite von 500 μm sowie einem Kehlradius von 5 mm hergestellt werden (siehe Bild 1). Für die Prüfdatenanalyse sollten die Maße der Probe genau gemessen werden. Die Dicke der Probe sollte unter Verwendung eines Raster-Elektronen-Mikroskops mit 2,8 μm gemessen werden. Nachdem die Markierungen für die Dehnungsmessung festgelegt wurden, werden Längs- und Querdehnung entsprechend Bild A.1 gemessen.

A.3 Messdurchführung

Die Messungen werden unter Verwendung einer Mikro-Zugprüfeinrichtung durchgeführt. Nachdem die Probe in den Haltevorrichtungen eingespannt wurde, ist eine uniaxiale Zugkraft in Längsrichtung der Probe unter Verwendung eines piezo-elektrischen Aktors auszuüben. Die Längsrichtung ist identisch mit der Orientierung $\langle 110 \rangle$ der Probe, die aus einkristallinem Silizium hergestellt wurde. Während der Prüfbeanspruchung ist die Dehnungsrate gleich $5 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$. Längs- und Querdehnung werden mithilfe der digitalen Bildkorrelation (DIC) gemessen, bei der die Bilder mit einem Mikroskop aufgenommen werden. Messmarkierungen zur DIC werden in Bild A.1 gezeigt. Ein größerer Abstand zwischen den beiden Markierungen in Längsrichtung führt bei einem vorgegebenen optischen System zu einer höheren Auflösung der Dehnungsmessung. Bei dieser Prüfung hatten die Längs- und Quermarkierungen Längen von 250 μm und 173 μm , welche auf Basis des Gesichtsfeldes des optischen Systems und der maximalen Auslenkung der Probe festgelegt wurden. Die Längs- und Querdehnung (ε_l , ε_t) sowie die Beanspruchungskraft (P) werden gleichzeitig mithilfe eines Datenspeicher-Moduls aufgenommen.



a) Markierungen für Längsdehnung

b) Markierungen für Querdehnung

Bild A.1 – Optische Bildaufnahmen von Markierungen zur Dehnungsmessung mithilfe von DIC