

DIN EN 62047-25

ICS 31.080.01; 31.220.01

Einsprüche bis 2014-06-18

Entwurf

**Halbleiterbauelemente –
Bauelemente der Mikrosystemtechnik –
Teil 25: Siliziumbasierte MEMS-Herstellungstechnologie –
Messverfahren zur Zug-Druck- und Scherfestigkeit gebondeter Flächen
im Mikrometerbereich
(IEC 47F/183/CD:2014)**

Semiconductor devices –

Micro-electromechanical devices –

Part 25: Silicon-based MEMS fabrication technology – Measurement method of pull-press and shearing strength of micro bonding area

(IEC 47F/183/CD:2014)

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 38 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 Anforderungen.....	6
4.1 Entwurfsanforderungen für die Teststruktur.....	6
4.2 Fertigungsanforderungen für die Teststruktur.....	8
4.3 Anforderungen an die Prüfumgebung	8
5 Prüfverfahren.....	8
5.1 Allgemeines	8
5.2 Zug-Druck-Prüfverfahren.....	8
5.3 Scherfestigkeits-Prüfverfahren	9
Anhang A (informativ) Maße für die Teststruktur und Werte für die Zug-Druck-Festigkeit	12
A.1 Maße für die Teststruktur	12
A.2 Werte für die Zug- und Druckfestigkeit.....	12
Anhang B (informativ) Beispiel zum Zug-Druck-Prüfverfahren	20
B.1 Maße für die Teststruktur	20
B.2 Zug- und Druckfestigkeit.....	20
 Bilder	
Bild 1 – Zug-Druck-Teststruktur.....	6
Bild 2 – Scherfestigkeits-Teststruktur	7
Bild 3 – Arbeitsablauf beim Zug-Druck-Prüfverfahren	9
Bild 4 – Arbeitsablauf beim Scherfestigkeits-Prüfverfahren	10
 Tabellen	
Tabelle 1 – Maß für die Scherfestigkeits-Teststruktur	11
Tabelle A.1 – Maße für die Teststruktur (µm).....	12
Tabelle A.2 – Zug- und Druckfestigkeit (Bondfläche 10 µm × 10 µm).....	12
Tabelle A.3 – Zug- und Druckfestigkeit (Bondfläche 20 µm × 20 µm).....	13
Tabelle A.4 – Zug- und Druckfestigkeit (Bondfläche 30 µm × 30 µm).....	13
Tabelle A.5 – Zug- und Druckfestigkeit (Bondfläche 40 µm × 40 µm).....	14
Tabelle A.6 – Zug- und Druckfestigkeit (Bondfläche 50 µm × 50 µm).....	14
Tabelle A.7 – Zug- und Druckfestigkeit (Bondfläche 60 µm × 60 µm).....	15
Tabelle A.8 – Zug- und Druckfestigkeit (Bondfläche 70 µm × 70 µm).....	15
Tabelle A.9 – Zug- und Druckfestigkeit (Bondfläche 80 µm × 80 µm).....	16
Tabelle A.10 – Zug- und Druckfestigkeit (Bondfläche 90 µm × 90 µm).....	16
Tabelle A.11 – Zug- und Druckfestigkeit (Bondfläche 100 µm × 100 µm)	17
Tabelle A.12 – Zug- und Druckfestigkeit (Bondfläche 110 µm × 110 µm)	17

	Seite
Tabelle A.13 – Zug- und Druckfestigkeit (Bondfläche 120 µm × 120 µm)	18
Tabelle A.14 – Zug- und Druckfestigkeit (Bondfläche 130 µm × 130 µm)	18
Tabelle A.15 – Zug- und Druckfestigkeit (Bondfläche 140 µm × 140 µm)	19
Tabelle A.16 – Zug- und Druckfestigkeit (Bondfläche 150 µm × 150 µm)	19
Tabelle B.1 – Maße für die Teststruktur (µm)	20
Tabelle B.2 – Zug- und Druckfestigkeit (Bondfläche 110 µm × 110 µm)	20

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 47F/183/CD:2014 „Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 25: Silicon-based MEMS fabrication technology – Measurement method of pull-press and shearing strength of micro bonding area“ (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 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.

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.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC [und/oder CEN] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

**Halbleiterbauelemente –
Bauelemente der Mikrosystemtechnik –
Teil 25: Siliziumbasierte MEMS-Herstellungstechnologie – Messverfahren zur
Zug-Druck- und Scherfestigkeit gebondeter Flächen im Mikrometerbereich**

1 Anwendungsbereich

In diesem Teil der IEC 62047 ist das Online-Prüfverfahren zur Messung der Festigkeit von Bondflächen im Mikrometerbereich (Mikroflächen) festgelegt, die mithilfe von Prozessen der Mikrosystemtechnik, welche für siliziumbasierte mikroelektromechanische Systeme (MEMS) verwendet werden, hergestellt sind.

Dieser Teil der IEC 62047 ist für die Online-Messung der Zug-Druck- und Scherfestigkeit von mikrogebondeten Flächen anwendbar, die mithilfe mikroelektronischer oder anderer mikrosystemtechnologischer Verfahren hergestellt werden.

Ein Mikroanker (Festpunktlager), der mit dem Substrat über die Mikrobondfläche verbunden ist, liefert die mechanische Befestigung (Lager) für die beweglichen funktionellen Sensor-/Aktor-Komponenten in MEMS-Bauelementen. Bei diesen Bauelementen führen Skalierungseffekte, Fehlstellen, Verunreinigungen und fehlangepasste thermische Spannungen zu einer dramatischen Degradation der Bondqualität. Außerdem ist unter der Maßgabe, dass das Prüfverfahren zur Bondqualität einfach und praktikabel durchführbar sein sollte, in dieser Norm das Online-Prüfverfahren zur Zug-Druck- und Scherfestigkeit festgelegt, das auf einer Teststruktur basiert. Entsprechend dieser Norm sind weder komplizierte Messinstrumente (wie Rasterelektronenmikroskop oder Nanoindenter) noch besondere Präparationstechniken für die Teststrukturen erforderlich.

Mit dieser Norm kann nicht nur die Bondqualität quantitativ gespiegelt werden, sondern auch die Festigkeit der gesamten Mikrostruktur. Da die Teststruktur nach dieser Norm in die Bauelementefertigung als eine Standard-Analyse-Struktur implantiert werden kann, kann diese Norm eine Brücke bilden, über die die Fertigungs-Fabriken bestimmte quantitative Referenzen für den Entwickler geben können.

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 10012:2003, *Measurement management systems – Requirements for measurement processes and measuring equipment*

IEC 62047-1, *Micro-electromechanical devices – Part 1: Terms and definitions*

IEC 62047-9:2011, *Micro-electromechanical devices – Part 9: Wafer to wafer bonding strength measurement for MEMS*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Norm gelten die Begriffe nach IEC 62047-1 und ISO 10012 sowie die folgenden Begriffe.

3.1

Anker

Silizium-Glas-Bondfläche, die die funktionale MEMS-Struktur trägt

3.2

Bearbeitungszugabe

geplante Abweichung zwischen einem tatsächlichen Prozessmaß und dem Maß des Layout-Entwurfs

3.3

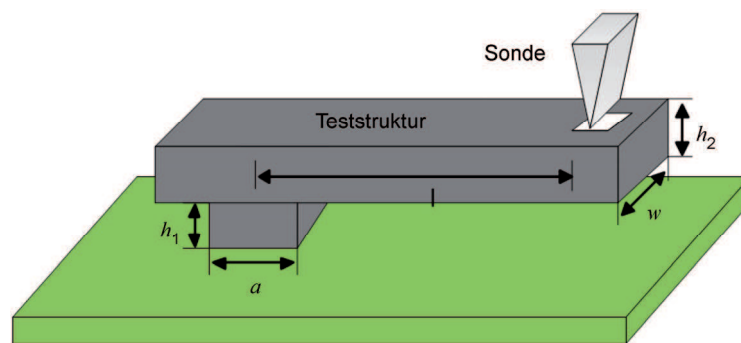
Bearbeitungsfehler

reale Abweichung zwischen einem tatsächlichen Prozessmaß und dem Maß des Layout-Entwurfs

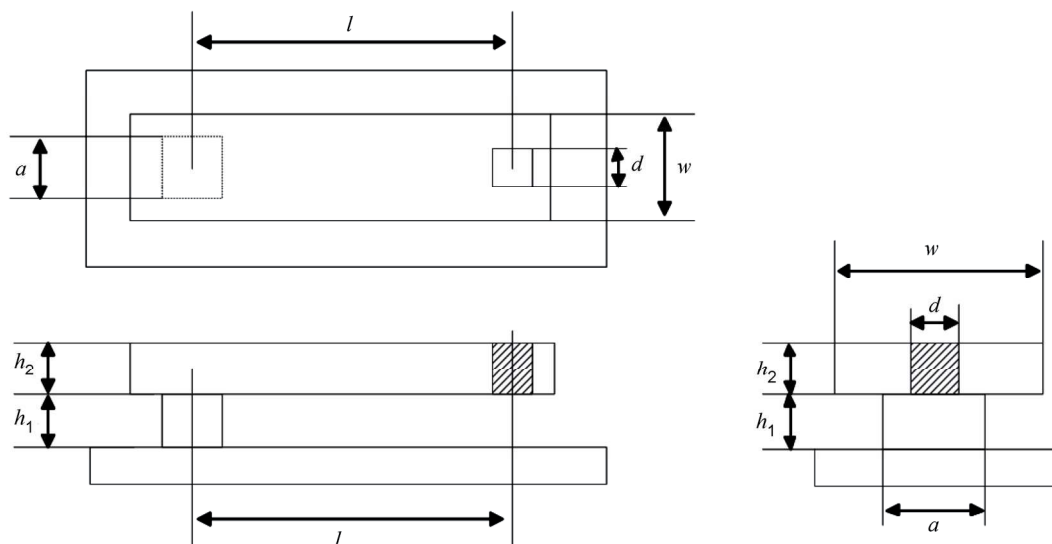
4 Anforderungen

4.1 Entwurfsanforderungen für die Teststruktur

Die Prinzipdarstellungen der Teststrukturen sind in den Bildern 1 und 2 zu sehen.



a) Prinzipdarstellung der Zug-Druck-Teststruktur

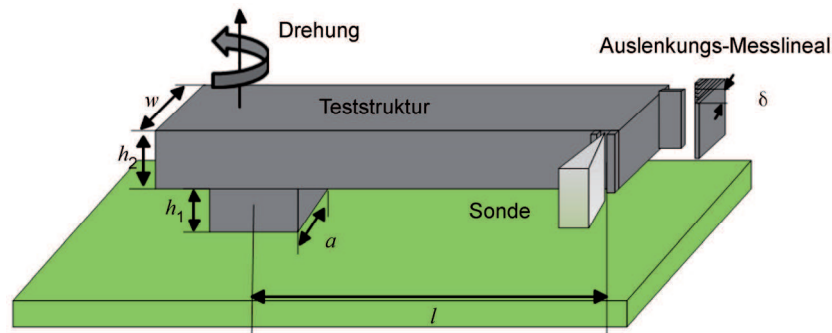


b) Dreiseiten-Ansicht der Zug-Druck-Teststruktur

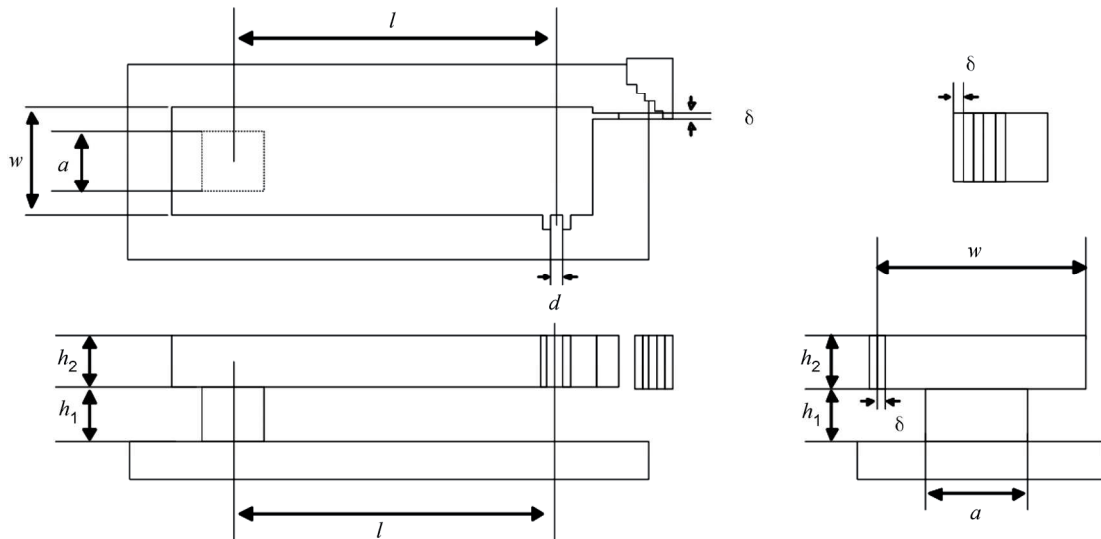
Legende

- h_2 Dicke des Teststruktur-Cantilevers (Biegebalken)
- h_1 Höhe des Ankerträgers innerhalb der Bondfläche
- a Maß der Bondfläche
- l Länge des Teststruktur-Arms, wobei diese Kenngröße mit einer Folge von Werten konstruiert werden sollte
- w Breite des Teststruktur-Cantilevers
- d Maß des Lastangriffspunktes

Bild 1 – Zug-Druck-Teststruktur



a) Prinzipdarstellung der Scherfestigkeits-Teststruktur



b) Dreiseiten-Ansicht der Scherfestigkeits-Teststruktur

Legende

- h_2 Dicke des Teststruktur-Cantilevers (Biegebalken)
- h_1 Höhe des Ankerträgers innerhalb der Bondfläche
- a Maß der Bondfläche
- l Länge des Teststruktur-Cantilevers
- w Breite des Teststruktur-Cantilevers
- d Maß des Lastangriffspunktes
- δ Auflösung des Auslenkungslineals

Bild 2 – Scherfestigkeits-Teststruktur

- a) Um zu verhindern, dass der Teststruktur-Cantilever vor der Bondfläche bricht, sollte die Festigkeit des Cantilevers ausreichend hoch konstruiert werden.
- b) Der Cantilever für die Zug-/Druck-Teststruktur sollte mit einer Folge von Werten konstruiert werden. Die übliche Differenz, das Längenintervall, sollte die Anforderungen der Messauflösung erfüllen. Die in Anspruch genommene Fläche der Teststruktur sollte ebenfalls berücksichtigt werden.
- c) Die Konstruktion des Messlineals in der Scherfestigkeits-Teststruktur sollte der Anforderung hinsichtlich der Messauflösung entsprechen. Das Lineal sollte mithilfe eines optischen Mikroskops vollständig überwacht werden.
- d) Die Teststruktur sollte ausreichend robust konstruiert werden, damit sie die Maßabweichungen infolge des Herstellungsprozesses abfängt. Die Rauigkeit der Teststruktur-Oberfläche, die durch Nass- oder Trocken-Ätzprozesse bzw. isotropische oder anisotropische Ätzprozesse verursacht wird, sollte ebenfalls bei der Konstruktion berücksichtigt werden.

4.2 Fertigungsanforderungen für die Teststruktur

4.2.1 Allgemeines

- a) Die Herstellung der Teststrukturen sollte die Anforderungen für die Siliziumbulk-Prozesse erfüllen.
- b) Das Material für die Teststruktur ist (Bulk-)Silizium, sodass die physikalischen und chemischen Eigenschaften dem Siliziumwafer entsprechen sollten, welcher in dem realen Herstellungsprozess verwendet wird.
- c) Es wird mit Nachdruck empfohlen, den RIE-Prozess zum Ätzen des Ankers der Teststruktur zu verwenden, um den Aufbau der Ankerkonstruktion sicherzustellen.

4.3 Anforderungen an die Prüfumgebung

4.3.1 Allgemeines

- a) Jegliche Art schädlicher Luftströmung ist während der Prüfdurchführung zu unterbinden. Der Prüftisch sollte stabilisiert werden.
- b) Umgebungsbedingte Verunreinigungen, die durch Stäube und die ausgebrochenen Teilen der Teststruktur verursacht werden, sollten bei der Prüfdurchführung berücksichtigt werden.

5 Prüfverfahren

5.1 Allgemeines

Für die Dauer der Prüfdurchführung wird die Teststruktur auf dem Probestisch befestigt. Die Verformung und der Bruch der Teststruktur werden mithilfe eines Mikroskops überwacht und die Bondfestigkeit kann dann unter Verwendung der Teststruktur-Kenngrößen berechnet werden.

5.2 Zug-Druck-Prüfverfahren

Für die Dauer der Prüfdurchführung wird die Beanspruchungskraft (Last) beim Zug-Druck-Prüfverfahren senkrecht auf dem Lastangriffspunkt des Teststruktur-Cantilevers ausgeübt.

5.2.1 Arbeitsablauf beim Zug-Druck-Prüfverfahren

- a) Für die Dauer der Prüfbeanspruchung ist der Chip mit der Teststruktur auf dem Probestisch zu befestigen. Die Beanspruchungskraft wird senkrecht im Lastangriffspunkt auf dem Teststruktur-Cantilever mittels der Probennadel (A) solange ausgeübt, bis der Cantilever soweit verbogen ist, dass er die Grundfläche berührt, wobei die Bondfläche (B oder C) mit einem Mikroskop überwacht wird. Zur Bondfestigkeit ist festgelegt, dass sie größer ist als $\sigma_{L_i,T}$ (oder $\sigma_{L_i,C}$), während der Bruch in der Teststruktur mit einer Cantileverlänge L_{i+1} ($L_i > L_{i+1}$) erfolgt und nicht bei der Teststruktur mit der Cantileverlänge L_i .

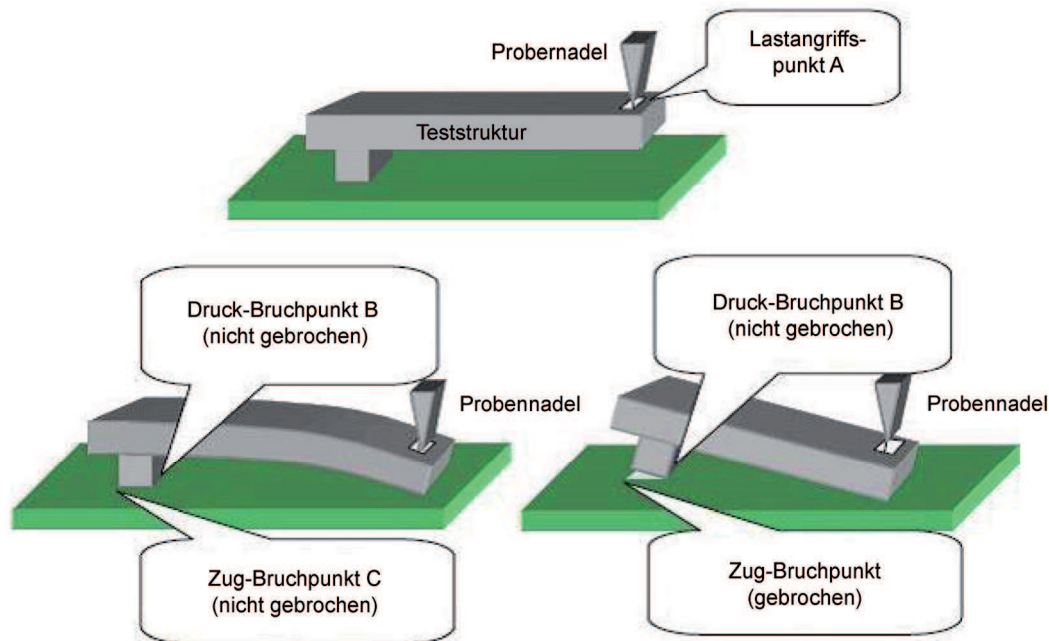


Bild 3 – Arbeitsablauf beim Zug-Druck-Prüfverfahren

- b) Die Beanspruchungskraft sollte senkrecht zur Grundfläche wirken und der Beanspruchungsverlauf sollte langsam und kontinuierlich erfolgen. Die Probenadel und die gesamte Teststruktur sollten unter dem optischen Mikroskop im Blickfeld sein. Wenn der Cantilever die Grundfläche berührt (oder die Teststruktur bricht), sollte der Beanspruchungsprozess gestoppt werden und die Probenadel ist dann langsam nach oben zu bewegen, bis sie von der Teststruktur getrennt ist.

5.2.2 Prüfauswertung beim Zug-Druck-Prüfverfahren

Beim Konstruktionsprozess des Teststruktur-Cantilevers sollte eine Tabelle mit den Höchstwerten der Druck- und Zugbeanspruchungen hinsichtlich der Bondfläche erstellt werden, wobei jeder Teststruktur-Cantilever in der Konstruktion verformt wird, um die Grundfläche zu berühren. Nach der Prüfbeanspruchung kann die Bondfestigkeit zu der Tabelle in Referenz gesetzt werden, und zwar entsprechend der Cantileverlänge, bei der der Anker gebrochen ist.

Für den Fall, dass die Beanspruchungswerte nicht erhalten werden können, können die Teststruktur-Kenngrößen entsprechend Anhang A verwendet werden. Die Tabellen der Referenzbeanspruchung sind mit den Tabellen A.2 bis A.16 gegeben.

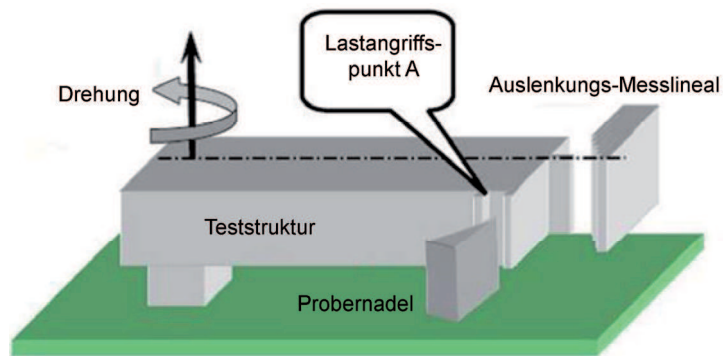
Falls die Cantileverlänge in den Referenztabelle nicht aufgeführt ist, kann die relative Spannungsbeanspruchung entsprechend der Tabelleneinträge interpoliert werden.

Falls der Bruch im (Bulk-)Silizium zuerst eintritt, kann die Bondfestigkeit größer als die der (Bulk-)Siliziumfestigkeit angenommen werden.

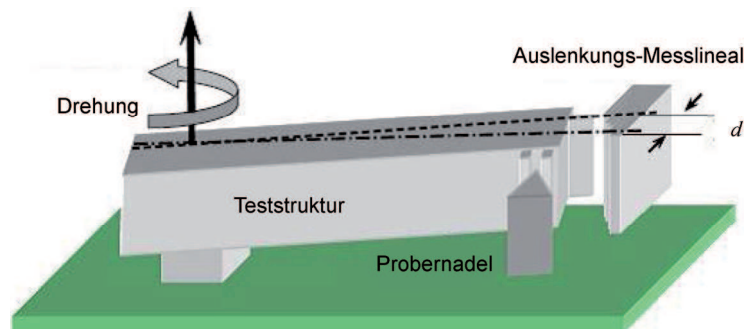
5.3 Scherfestigkeits-Prüfverfahren

5.3.1 Arbeitsablauf beim Scherfestigkeits-Prüfverfahren

- a) Für die Dauer der Prüfbeanspruchung ist der Chip mit der Teststruktur auf dem Probentisch zu befestigen. Die Beanspruchungskraft ist horizontal im Lastangriffspunkt auf dem Teststruktur-Cantilever mithilfe der Probernadel (A) auszuüben und die Verformung ist mit einem Mikroskop zu überwachen. Die Rotationsauslenkung kann über das Messlineal, das sich am Ende des Cantilevers befindet, abgelesen werden.



a) vor der Beanspruchung mit der Probernadel



b) Maß der Drehauslenkung bei einer überwachten Länge mithilfe des Auslenkungslineals

Bild 4 – Arbeitsablauf beim Scherfestigkeits-Prüfverfahren

- b) Die Beanspruchungskraft sollte parallel zur Grundfläche wirken und der Beanspruchungsverlauf sollte langsam und kontinuierlich erfolgen. Die Probernadel und die gesamte Teststruktur sollten unter dem optischen Mikroskop im Blickfeld sein. Falls der Bruch in der Teststruktur oder der Bondfläche auftritt, sollte die Prüfbeanspruchung gestoppt werden und die Probernadel ist dann langsam zurückzuziehen bis sie von der Teststruktur getrennt ist.
- c) Entsprechend den unterschiedlichen Bondflächen werden die empfohlenen Teststruktur-Maße berechnet, damit sowohl die Messauflösung als auch der Sondennadel-Andruck ausreichend sind, so wie in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1 – Maß für die Scherfestigkeits-Teststruktur

$a \times a \text{ (}\mu\text{m}^2\text{)}$	$w \times h_2 \text{ (}\mu\text{m}^2\text{)}$	$l \text{ (}\mu\text{m)}$
13 × 13	33 × 80	243
17 × 17	37 × 80	241
20 × 20	40 × 80	240
25 × 25	45 × 80	238
30 × 30	50 × 80	240
40 × 40	100 × 80	565
50 × 50	150 × 80	607
60 × 60	200 × 80	596
70 × 70	250 × 80	605
80 × 80	250 × 80	614
90 × 90	300 × 80	1 456
100 × 100	400 × 80	1 423
110 × 110	400 × 80	1 444
120 × 120	400 × 80	1 449

5.3.2 Prüfauswertung beim Scherfestigkeits-Prüfverfahren

Die Bondspannung $\tau_{\max}$ kann wie folgt berechnet werden:

$$\tau_{\max} = 0,14 \times \frac{h_2 w^3}{a^3 l^2} d \text{ (MPa)}$$

Dabei ist

h_2 Dicke des Teststruktur-Cantilevers

a Seitenmaß der Bondfläche

l Länge des Teststruktur-Cantilevers

w Breite des Teststruktur-Cantilevers

d Rotationsauslenkung.

Falls der Bruch im (Bulk-)Silizium zuerst eintritt, kann die Bondfestigkeit größer als die der (Bulk-) Siliziumfestigkeit angenommen werden.

Anhang A

(informativ)

Maße für die Teststruktur und Werte für die Zug-Druck-Festigkeit

A.1 Maße für die Teststruktur

Maßbereiche für die Teststruktur sind in Tabelle A.1 aufgeführt.

Tabelle A.1 – Maße für die Teststruktur (µm)

l	a	h_2	w	h_1	d
300 bis 2 000	10 bis 150	20 ($a \leq 70$)	200	80 ($a \leq 70$)	100
		70 ($a > 70$)		80 ($a > 70$)	

A.2 Werte für die Zug- und Druckfestigkeit

Die Zug- und Druckfestigkeitswerte sind in den Tabellen A.2 bis A.16 aufgeführt. Diese Zug- und Druckfestigkeiten, die mithilfe der Finite-Elemente-Analyse ermittelt wurden, sind die Höchstwerte der Spannung bezogen auf die Bondfläche, wenn sich der dazu korrespondierende Teststruktur-Cantilever soweit verformt, dass er die Grundfläche berührt.

Tabelle A.2 – Zug- und Druckfestigkeit (Bondfläche 10 µm × 10 µm)

l (Cantileverlänge / µm)	$\sigma_{L,T}$ (Zugfestigkeit / MPa)	$\sigma_{L,C}$ (Druckfestigkeit / MPa)
800	1 072,1	–1 135,8
850	1 008,3	–1 067,9
900	951,6	–1 007,6
950	900,7	–953,5
1 000	855,1	–905,0
1 050	813,7	–861,0
1 100	776,0	–821,0
1 150	741,6	–784,4
1 200	710,0	–750,9
1 250	680,9	–720,0
1 300	654,2	–691,7
1 350	629,3	–665,3
1 400	606,2	–640,8