

DIN EN 62047-16

ICS 31.080.01; 31.220.01

Einsprüche bis 2013-01-12

Entwurf

**Halbleiterbauelemente –
Bauelemente der Mikrosystemtechnik –
Teil 16: Messverfahren zur Ermittlung der Eigenspannungen in
Dünnschichten von MEMS-Bauteilen – Substratkrümmungs- und
Biegebalken-Verfahren
(IEC 47F/125/CD:2012)**

Semiconductor devices –
Micro-electromechanical devices –
Part 16: Test methods for determining residual stresses of MEMS films – Wafer curvature
and cantilever beam deflection methods
(IEC 47F/125/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 18 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Inhalt		Seite
1	Anwendungsbereich	4
2	Normative Verweisungen	4
3	Begriffe	4
4	Messverfahren	4
4.1	Substratkrümmungs-Verfahren (Waferkrümmungs-Verfahren)	5
4.2	Biegebalken-Verfahren (Cantilever-Verfahren)	7
Bilder		
Bild 1 – Prinzipielle Darstellung einer Krümmung, hervorgerufen durch die Druck-Eigenspannung nach der Dünnschicht-Abscheidung auf dem Substrat		5
Bild 2 – Prinzipielle Darstellungen des eigenspannungsfreien Zustands der Dünnschicht (a) und der Druck-Eigenspannung, welche die Krümmung des Balkens nach der Dünnschichtabscheidung verursacht		7
Tabellen		
Tabelle 1 – Beispiel zum Substratkrümmungs-Verfahren		6
Tabelle 2 – Beispiel zum Biegebalken-Verfahren		8

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 47F/125/CD:2012 „Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 16: Test methods for determining residual stresses of MEMS films - Wafer curvature and cantilever beam deflection methods“ (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 Abschnichtsnummer, 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 16: Messverfahren zur Ermittlung der Eigenspannungen in Dünnschichten
von MEMS-Bauteilen – Substratkrümmungs- und Biegebalken-Verfahren**

1 Anwendungsbereich

In diesem Teil der IEC 62047 sind die Messverfahren festgelegt, um die Eigenspannungen dünner Schichten (Schichtspannungen) von MEMS-Bauteilen mithilfe des Substratkrümmungs- (Waferkrümmungs-) oder des Biegebalken- (Cantilever-) Verfahrens zu ermitteln. Die Dünnschichten sollten auf einem Substrat abgeschieden sein, von dem die mechanischen Eigenschaften Elastizitätsmodul (Young-Modul) und Querkontraktionszahl (Poissonzahl) bekannt sind.

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).

KEINE

3 Begriffe

3.1

Eigenspannung

Schichtspannung

Restspannung

$\sigma^{(f)}$

(mechanische) Spannung, die bleibt, nachdem die Ursache von Spannungen (von außen einwirkende Kräfte, Wärmegefälle) aufgehoben wurde

3.2

Krümmung

κ

Wert, mit dem ein geometrisches Objekt von seiner Ebenheit abweicht, welcher im Falle eines Kreises gleich $1/\text{Radius } (R)$ ist

4 Messverfahren

Dieses Verfahren ist zu verwenden, um die Eigenspannungen innerhalb von Dünnschichten zu ermitteln, welche auf einem anderen spannungsfreiem Substrat abgeschieden wurden [1].

Die Abscheidung der Dünnschicht muss dazu führen, dass sich infolge der Eigenspannungen in der Dünnschicht die zweilagige der Struktur gemeinsam biegt. Der Wert der Biegeauslenkung steht im direkten Verhältnis zur Eigenspannung in der Dünnschicht.

Es sind zwei Arten von Messverfahren zu verwenden, um die Eigenspannungen zu messen. Das Substratkrümmungs-Verfahren sollte innerhalb des Waferfertigungsprozesses verwendet werden. Ein Wafer sollte biaxial-symmetrisch und spannungsfrei sein. Das Biegebalkenverfahren sollte innerhalb der Chip-Montageverfahren verwendet werden.

Im Falle einer Zug-Eigenspannung wird das mit der Dünnschicht gebondete Substrat konkav gebogen, während es bei einer Druck-Eigenspannung konvex gebogen wird.

4.1 Substratkrümmungs-Verfahren (Waferkrümmungs-Verfahren)

4.1.1 Allgemeines

Stoney [2], der ein zweilagiges Scheibensystem verwendete, das sich durch die Flächenanpressung einer Dünnschicht zusammensetzte, wobei die Dünnschicht mit einer einheitlichen Dicke h_f auf einem relativ dicken Substrat mit einer einheitlichen Dicke h_s abgeschieden wurde, leitete bezogen auf die Krümmung κ des Systems mit der Eigenspannung $\sigma^{(f)}$ der Dünnschicht, so wie in Bild 1 dargestellt die einfache Gleichung (1) ab, die auch als Stoney-Gleichung bezeichnet wird [3].

$$\sigma^{(f)} = \frac{E_s h_s^2 \kappa}{6(1-\nu_s) h_f} \quad (1)$$

Die Indizes f und s bezeichnen die Dünnschicht bzw. das Substrat, E und ν symbolisieren das Elastizitätsmodul und die Querkontraktionszahl. Diese Gleichung wird sehr oft in der Literatur verwendet, um mithilfe experimenteller Messungen von Änderungen der Systemkrümmungen die Änderungen der Dünnschichtspannungen abzuleiten.

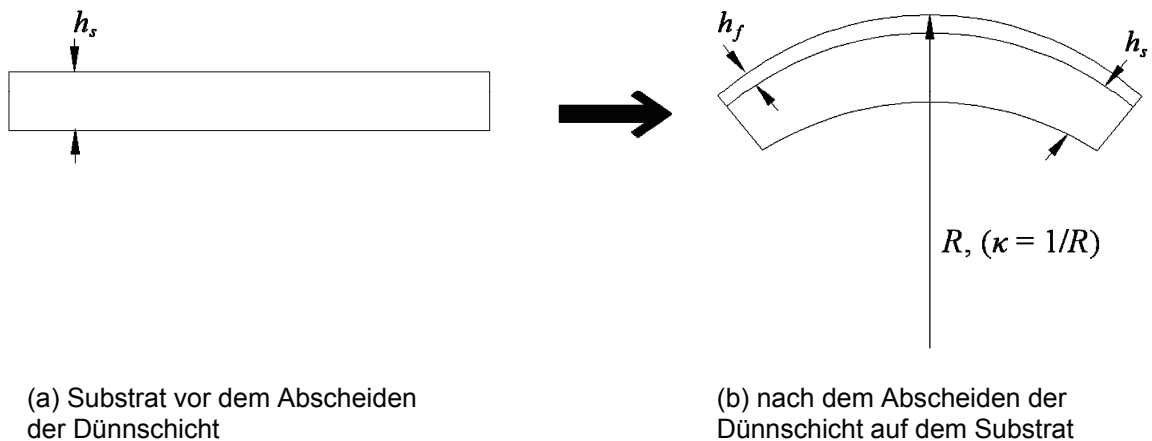


Bild 1 – Prinzipielle Darstellung einer Krümmung, hervorgerufen durch die Druck-Eigenspannung nach der Dünnschicht-Abscheidung auf dem Substrat

Die folgenden Voraussetzungen sollten erfüllt sein, um die Gleichung zu verwenden [3].

- Sowohl die Dünnschicht-Dicke h_f als auch die Substratdicke h_s sollten gleichförmig und im Bezug auf die Längenabmessungen klein sein;
- Die Dünnschicht muss eine Seite des kreisförmigen Substrats bedecken;
- Dehnungen und Verdrehungen des Scheibensystems sollten sehr gering sein;
- Der Substratwerkstoff sollte homogen, isotrop und linear elastisch sein; der Dünnschicht-Werkstoff sollte isotrop sein;
- Die Eigenspannungszustände der Dünnschicht sollten in der Ebene isotrop oder äqui-biaxial (zwei gleiche Spannungskomponenten in zwei abhängigen, gegenseitig rechtwinkligen Richtungen in der Ebene) sein, während sich die direkten Spannungen außerhalb der Ebene und alle Scherspannungen aufheben;
- Die Komponenten der Systemkrümmung sind äqui-biaxial (zwei gleiche direkte Krümmungen), während die Verwölbungskrümmungen in allen Richtungen vernachlässigbar sind;
- Alle noch vorhandenen Spannungs- und Krümmungskomponenten sind über die Oberfläche des Scheibensystems raumbezogen konstant, wobei dieser Zustand in der Praxis aber oft nicht erfüllt wird;
- Der Kanteneffekt nahe am Rand des Substrats sollte vernachlässigbar sein und alle körperbezogenen Größen sollten bei einer Positionsänderung gleich bleiben;

- (i) Um die Eigenspannung genauer zu messen, werden die Krümmungen vor und nach der Dünnschicht-Abscheidung gemessen und die Dünnschicht-Eigenspannung wird entsprechend Gleichung (2) berechnet, die von der Gleichung (1) abgeleitet ist;

$$\sigma^{(f)} = \frac{E_s h_s^2 \Delta \kappa}{6(1-\nu_s) h_f} \quad (2)$$

dabei ist $\Delta \kappa$ die Differenz der Krümmung vor und nach der Dünnschicht-Abscheidung.

4.1.2 Messeinrichtung

Zum Messen des Krümmungsradius (R) werden mehr als eine Messeinrichtung oder mehr als ein Messwerkzeug für direkte Kontaktmessverfahren (z. B. Profilometrie, Dehnungsmessstreifen) oder kontaktlose Messverfahren (z. B. Video, Laserabtastung) verwendet. Die Messgenauigkeit liegt im Bereich von 0,1 nm bis 0,1 μm und hängt von der Messeinrichtung ab.

4.1.3 Messdurchführung

- Messung der Substratdicke (h_s) und der Dünnschichtdicke (h_f);
- Überprüfung des Elastizitätsmoduls (E_s) und der Querkontraktionszahl (ν_s) des Substrats;
- entweder Messung des Krümmungsradius (R) vom System und Berechnung der Krümmung (κ) oder Messung der Krümmungsradien (R) vor und nach der Dünnschicht-Abscheidung und Berechnung der Krümmungsdifferenz ($\Delta \kappa$);
- Berechnung der Eigenspannung ($\sigma^{(f)}$) entsprechend der Gleichungen (1) oder (2).

4.1.4 Darstellung der Messergebnisse

Die Eigenspannung $\sigma^{(f)}$ ist entsprechend Gleichung (1) zu berechnen und der Wert ist in die Tabelle 1 einzutragen.

Tabelle 1 – Beispiel zum Substratkrümmungs-Verfahren

Anzahl der Prüfeinheiten	
Substrat	
Elastizitätsmodul des Substrats (E_s)	
Querkontraktionszahl des Substrats (ν_s)	
Dünnschicht und Dünnschichtdicke (h_f)	
Substratdicke (h_s)	
Krümmungsradius (R) und Krümmung (κ) des Systems entsprechend Gleichung (3)	
Krümmungsradien (R) vor und nach der Dünnschicht-Abscheidung und Berechnung der Krümmungsdifferenz ($\Delta \kappa$) entsprechend Gleichung (4)	
Eigenspannung der Dünnschicht ($\sigma^{(f)}$)	