

DIN EN 62951-1

ICS 31.080.01; 31.220.01

Einsprüche bis 2015-07-01

Entwurf

**Halbleiterbauelemente –
Flexible und dehnbare Halbleiterbauelemente –
Teil 1: Biegeprüfverfahren für elektrisch leitfähige Dünnschichten auf
flexiblen Substraten
(IEC 47/2224/CD:2015)**

Semiconductor devices –
Flexible and stretchable semiconductor devices –
Part 1: Bending test method for conductive thin films on flexible substrates
(IEC 47/2224/CD:2015)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2015-05-01 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@vde.com 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 in DIN und VDE, 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 22 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	3
1 Anwendungsbereich.....	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe, Symbole und Bezeichnungen	4
3.1 Begriffe	4
3.2 Symbole und Bezeichnungen.....	5
4 Probe	5
4.1 Allgemeines	5
4.2 Form der Probe	6
4.3 Messung der Maße.....	6
4.4 Lagerung vor der Prüfbeanspruchung.....	6
5 Prüfverfahren und Prüfeinrichtung	6
5.1 Allgemeines	6
5.2 Prüfeinrichtung	6
5.3 Messung des elektrischen Widerstands.....	7
5.4 Prüfdurchführung.....	7
5.5 Überwachung auf Rissbildung in der Probe	8
5.6 Datenanalyse.....	8
5.7 Prüfumgebung	8
6 Prüfdokumentation	8
Anhang A (informativ) X-Y- θ -Biegeprüfverfahren.....	9
Anhang B (informativ) Datenanalyse: Berechnung von Biegeradius und Biegedehnung	10
B.1 Berechnung des Biegeradius	10
B.2 Berechnung der Biegedehnung der Dünnschicht	10
Literaturhinweise.....	11
Bilder	
Bild 1 – Biegeprüfeinrichtung.....	7
Bild A.1 – X-Y- θ -Biegeprüfverfahren	9
Bild A.2 – Prinzipdarstellung der Biegegeometrie im X-Y- θ -System.....	9
Bild B.1 – Geometrische Form einer gebogenen Probe.....	10

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 47/2224/CD:2015 „Semiconductor devices – Flexible and stretchable semiconductor devices – Part 1: Bending test method for conductive thin films on flexible substrates“ (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 TC 47 „Semiconductor devices“ 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 in 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.

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

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 – Flexible und dehnbare Halbleiterbauelemente – Teil 1: Biegeprüfverfahren für elektrisch leitfähige Dünnschichten auf flexiblen Substraten

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt ein Biegeprüfverfahren zum Messen der elektromechanischen Eigenschaften oder der Flexibilität (Biegebarkeit) von elektrisch leitfähigen Dünnschichten fest, die auf flexiblen nicht leitfähigen Substraten abgeschieden oder gebondet werden. Leitfähige Dünnschichten auf flexiblen Substraten werden zunehmend in flexiblen elektronischen Geräten und flexiblen Halbleiterbauelementen verwendet. Elektrisch leitfähige Dünnschichten schließen alle Dünnschichten wie metallische Dünnschichten, transparente leitfähige Elektroden und dünne Siliziumschichten ein, die auf nicht leitfähigen flexiblen Substraten abgeschieden oder gebondet werden. Das elektrische und mechanische Verhalten von Dünnschichten auf flexiblen Substraten unterscheidet sich wegen der grenzschichtbedingten Wechselwirkungen und der Adhäsion zwischen Dünnschicht und Substrat gegenüber freistehenden Dünnschichten und Substraten. Der Zweck dieser Norm ist die Festlegung von einfachen und wiederholbaren Prüfverfahren zur Bewertung der elektromechanischen Eigenschaften oder der Flexibilität von leitfähigen Dünnschichten auf flexiblen Substraten. Das Biegeprüfverfahren umfasst die Biegebeanspruchung der Außenseite (Outer-Bending-Test) und die Biegebeanspruchung der Innenseite (Inner-Bending-Test).

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).

IEC 62047-2:2006, *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 2: Tensile testing method of thin film materials*

IEC 62047-22:2014, *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 22: Electromechanical tensile test method for conductive thin films on flexible substrates*

3 Begriffe, Symbole und Bezeichnungen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokumentes gelten die folgenden Begriffe.

3.1.1

Biegeradius

r

Radius der Wölbung (Krümmung), den die Probe bei der Biegebeanspruchung hat

3.1.2

kritischer Biegeradius

Biegeradius, bei dem der elektrische Widerstand beginnt, einen vorher festgelegten Grenzwert zu überschreiten, und/oder die Dünnschicht infolge von Delamination bricht oder Rissbildung auftritt

Anmerkung 1 zum Begriff Das ist der Mindest-Biegeradius, den die leitfähige Dünnschicht tolerieren kann.

3.1.3

Nennwert die Biegedehnung

e

Dehnung in der Mitte der gebogenen Probe in Biegerichtung

Anmerkung 1 zum Begriff Im Allgemeinen wird der Nennwert der Biegedehnung auf die mechanische Spannung bezogen und zwar auf der Oberseite der gebogenen Dünnschicht auf dem flexiblen Substrat

3.1.4

flexibles Substrat

biegbares Substrat, auf dem die leitfähige Dünnschicht abgeschieden, gebondet oder geklebt wird

3.1.5

Dehnungsfaktor

G_F

Quotient von elektrischer Widerstandsänderung dividiert durch das Produkt von Originalwiderstand R_0 (Widerstand bei nicht verformter Konfiguration) und dem Nennwert der mechanischen Spannung e

Anmerkung 1 zum Begriff Der Dehnungsfaktor wird mathematisch formuliert zu $G_F = (R - R_0)/R_0e$, dabei ist R der elektrische Widerstand in der verformten Konfiguration.

Anmerkung 2 zum Begriff Aus IEC 62047-22 adaptiert.

3.1.6

Biegebeanspruchung der Außenseite

Outer-Bending-Test

Biegen der Probe zu einer konvexen Form ($\frown$), wobei eine Zugspannung in der Dünnschicht verursacht wird

Anmerkung 1 zum Begriff Es können (im Englischen) unterschiedliche Benennungen wie outward test, face-out test oder convex bending test verwendet werden.

3.1.7

Biegebeanspruchung der Innenseite

Inner-Bending-Test

Biegen der Probe zu einer konkaven Form ($\smile$), wobei eine Druckspannung in der Dünnschicht verursacht wird

Anmerkung 1 zum Begriff Es können (im Englischen) unterschiedliche Benennungen wie inward test, face-in test oder concave bending test verwendet werden.

3.2 Symbole und Bezeichnungen

Die Maße der Probe sollten in der gleichen Größenordnung wie die der tatsächlichen Bauelemente sein, um den Einfluss der Größe zu minimieren. Form und Maße sollten auf 3.2 von IEC 62047-22 basieren.

4 Probe

4.1 Allgemeines

Die Probe ist unter Verwendung der gleichen Fertigungsverfahren wie für tatsächliche Bauelemente, die für flexible Elektronik und Halbleiter-Bauelemente hergestellt werden, zu präparieren, da die mechanischen und elektrischen Eigenschaften vom Fertigungsprozess abhängig sind. Die leitfähige Dünnschicht ist sorgfältig zu präparieren, um die Bildung von Rissen (Cracks) oder Sprüngen (Flaws) sowie Delamination vom Substrat zu vermeiden.

4.2 Form der Probe

Die Form der Probe basiert auf 3.2 von IEC 62047-22. Da die Änderung des elektrischen Widerstands von der Dehnung oder der mechanischen Spannung abhängig ist, ist der elektrische Widerstand in einem Bereich mit nahezu gleichmäßiger Dehnung zu messen. Zum Messen des elektrischen Widerstands sind Messdrähte mit der leitfähigen Dünnschicht auf dem Substrat zu verbinden. Die Form der Probe für eine gleichmäßige Verteilung der Dehnung ist ein rechteckförmiger Streifen.

4.3 Messung der Maße

Sowohl die Dicke als auch die Breite der leitfähigen Dünnschicht sowie des Substrats sind genau zu messen, da die Maße verwendet werden, um die mechanischen und elektrischen Eigenschaften des zu prüfenden Werkstoffs zu bestimmen. Jede Probe sollte direkt gemessen werden. Die Breite und die Dicke sind innerhalb eines Bereiches der Messabweichung von $\pm 1\%$ und $\pm 5\%$ festzulegen. Die Messung der Dicke ist entsprechend IEC 62047-2:2006, Abschnitt 4 und Anhang C, durchzuführen. Es kann auch Kombinationen von Dünnschicht und Substrat geben, bei denen es schwierig ist, die Abweichungen bezüglich der Dickenmessung einzuhalten. In diesen Fällen sollten der Mittelwert und die Standardabweichung aus der Dickenmessung aufgezeichnet werden.

4.4 Lagerung vor der Prüfbeanspruchung

Die Umgebungsbedingungen bei der Lagerung können im Fall von leitfähigen Dünnschichten die elektromechanischen Eigenschaften der Dünnschicht beeinflussen. Beispielsweise wird die Oxidation der Probenoberfläche die mechanischen und elektrischen Eigenschaften der Probe beeinträchtigen. Sollte es eine zeitliche Unterbrechung zwischen dem Ende der Probenpräparation und dem Beginn der Prüfbeanspruchung geben, so sollte einerseits für die Lagerung der Probe besondere Sorgfalt aufgebracht werden und andererseits sollten die Proben mit geeigneten Mitteln überprüft werden, um sicherzustellen, dass die Oberfläche nach dem Lagerungszeitraum nicht beeinträchtigt ist. Wenn eine Beeinträchtigung festgestellt wird, die nach der Probenpräparation noch nicht vorhanden war, darf die Prüfung nicht durchgeführt werden. Wenn allerdings die Beschädigung während des Fertigungsprozesses verursacht wurde, dann ist die Prüfung durchzuführen.

5 Prüfverfahren und Prüfeinrichtung

5.1 Allgemeines

Die Prüfbeanspruchung wird mittels Biegens der Probe ausgeübt. Die Biegedehnung wird durch die Zugbelastung verursacht und muss in einem vorher festgelegten Messabschnitt des elastischen Bereichs von Substrat und leitfähiger Dünnschicht gleichförmig sein. Um die Änderung des elektrischen Widerstands in Abhängigkeit von der Änderung der mechanischen Dehnung zu messen, ist der Messabschnitt sorgfältig zu wählen. Der Messabschnitt bezüglich der mechanischen des elektrischen Widerstands muss mit dem Messabschnitt bezüglich des elektrischen Widerstands übereinstimmen oder zu diesem skalierbar sein. Es gibt mehrere Bauarten von Biegeprüfeinrichtungen zum Messen der elektromechanischen Eigenschaften der leitfähigen Dünnschicht. Es ist nicht notwendig, eine bestimmte Bauart von Biegeprüfeinrichtungen zu bevorzugen. Als ein Beispiel wird im Anhang A eine X-Y- θ -Biegeprüfeinrichtung beschrieben.

5.2 Prüfeinrichtung

Die Biegeprüfeinrichtung besteht, wie in Bild 1 dargestellt, aus einer Haltevorrichtung, um die Probe einzuspannen, und einem Steuersystem, mit dem der Abstand (Stützweite) zwischen den beiden Einspannvorrichtungen mit Hilfe eines Aktors oder Motors geregelt wird. Es wird die Verwendung eines Lichtmikroskops empfohlen, um die Bildung von Rissen auf der Oberfläche der Probe während der Prüfbeanspruchung zu beobachten. Das Steuersystem regelt den Abstand und die Bewegungsgeschwindigkeit während der Prüfung. Die eine Einspannvorrichtung ist feststehend, während die andere unter Verwendung eines Aktors frei beweglich ist. Bei einer Empfindlichkeit des Werkstoffs gegenüber mechanischen Spannungskonzentrationen und örtlicher plastischer Verformung, wie zum Beispiel bei spröden Dünnschichten aus anorganischem Werkstoffen oder Silizium, wird empfohlen, die Dünnschicht nicht zu straff einzuspannen, um lokale mechanische Spannungskonzentrationen im Einspannbereich zu vermeiden. Die mechanische Spannungs-

konzentration im Eingangsbereich wird Risse oder andere Beschädigungen in der Dünnschicht verursachen, die dann in einem Ausfall der Dünnschicht resultieren.

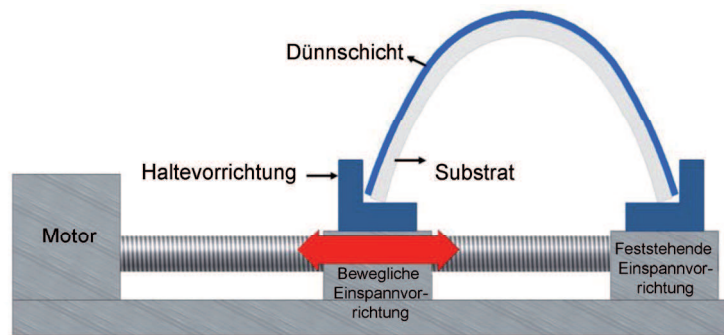


Bild 1 – Biegeprüfeinrichtung

5.3 Messung des elektrischen Widerstands

Die elektrische Messschaltung kann auf der 2-Draht- bzw. der 4-Draht-Methode beruhen, und zwar abhängig von der Höhe des elektrischen Widerstands der Probe. Für eine Probe mit einem elektrischen Widerstand größer als 1 k Ω kann eine 2-Draht-Methode für eine einfache Messung verwendet werden. Für eine Probe mit einem elektrischen Widerstand kleiner als 1 k Ω ist die 4-Draht-Methode (Kelvin-Methode) zu verwenden, um sowohl den Kontakt- als auch Messdraht-Widerstand zu eliminieren. Bei einer Biegeprüfeinrichtung zum Messen der elektromechanischen Eigenschaften der leitfähigen Dünnschicht ist die Änderung des elektrischen Widerstands während/nach der Biegebeanspruchung viel wichtiger als der Absolutwert des elektrischen Widerstands. Folglich ist die 2-Draht-Methode annehmbar, wenn sowohl der Kontakt- als auch der Messdraht-Widerstand die Messergebnisse nicht signifikant beeinträchtigt.

5.4 Prüfdurchführung

Die Prüfung ist folgendermaßen durchzuführen:

- Die Probe ist in die Haltevorrichtung einzuspannen. Die Längsrichtung der Probe muss mit der Wirkrichtung der Prüfeinrichtung übereinstimmen, wobei der Abweichungswinkel kleiner als 5° sein muss. Im Fall der Prüfbeanspruchung bezüglich der Außenseite ist die Probe mit ihrer Oberseite einer Zugbeanspruchung auszusetzen, während im Fall der Prüfbeanspruchung bezüglich der Innenseite die Probe mit ihrer Unterseite einer Druckbeanspruchung auszusetzen ist.
- Der elektrische Widerstand ist zu messen.
- Die Probe ist mit einem kleiner werdenden Biegeradius zu biegen und zwar durch das Steuern eines veränderlichen Abstands von der ebenen Oberfläche ausgehend hin zum festgelegten Radius. Die Prüfbeanspruchung wird bei einer konstanten Biegegeschwindigkeit, die vom Werkstoffsystem der Probe und den tatsächlichen Einsatzbedingungen beim Kunden abhängig ist, ausgeübt. Es sollte eine In-Situ-Messung der Änderung des elektrischen Widerstands bei unterschiedlichen Biegeradien durchgeführt werden.
- Die Prüfbeanspruchung bezüglich der Probe ist zu beenden, wenn ein elektrischer Ausfall der Probe auftritt oder ein Bruch in der Dünnschicht, der durch das Auftreten von Rissen oder Delamination verursacht wurde.

ANMERKUNG In leitfähigen Dünnschichten auf flexiblen Substraten sind die elektromechanischen Eigenschaften bei der Prüfung bezüglich der Außenseite im Allgemeinen unterschiedlich gegenüber denen bei der Prüfung bezüglich der Innenseite. Das bedeutet, dass bei der gleichen Probe der kritische Biegeradius bei der Außenbiegung unterschiedlich gegenüber dem kritischen Radius bei der Innenbiegung ist. Der Unterschied ist auf die innere Restspannung, Mikrostruktur und Adhäsion der Dünnschicht zurückzuführen. Deshalb wird dringend empfohlen, dass die Prüfbeanspruchungen von Außenseite und Innenseite getrennt durchgeführt werden, um die elektromechanischen Eigenschaften der Dünnschicht zu ermitteln.