

**DIN EN 62047-27**

ICS 31.080.01; 31.220.01

Einsprüche bis 2015-09-03

**Entwurf**

**Halbleiterbauelemente –  
Bauelemente der Mikrosystemtechnik –  
Teil 27: Prüfung der Bondfestigkeit von Glasfritt gebondeten Strukturen  
unter Verwendung des Mikro-Chevron-Tests (MCT)  
(IEC 47F/216/CD:2015)**

Semiconductor devices –  
Micro-electromechanical devices –  
Part 27: Bond strength test for glass frit bonded structures using  
micro-chevron-tests (MCT)  
(IEC 47F/216/CD:2015)

**Anwendungswarnvermerk**

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2015-07-03 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](http://www.entwuerfe.din.de) bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter [www.entwuerfe.normenbibliothek.de](http://www.entwuerfe.normenbibliothek.de), sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an [dke@vde.com](mailto:dke@vde.com) möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter [www.din.de/stellungnahme](http://www.din.de/stellungnahme) oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter [www.dke.de/stellungnahme](http://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 26 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

## Inhalt

|                                                                                                         | Seite |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Nationales Vorwort.....                                                                                 | 3     |
| Einführung.....                                                                                         | 4     |
| 1 Anwendungsbereich.....                                                                                | 4     |
| 2 Symbole und Abkürzungen .....                                                                         | 5     |
| 3 Grundlage.....                                                                                        | 6     |
| 4 Prüfaufbau .....                                                                                      | 6     |
| 4.1 Allgemeines .....                                                                                   | 6     |
| 4.2 Aktuator .....                                                                                      | 6     |
| 4.3 Kraftaufnehmer.....                                                                                 | 6     |
| 4.4 Einspannung.....                                                                                    | 6     |
| 4.5 Messdatenerfassung .....                                                                            | 7     |
| 5 Proben .....                                                                                          | 7     |
| 5.1 Prüfkörperdesign .....                                                                              | 7     |
| 5.2 Ermittlung und Bestätigung der Probengeometrie .....                                                | 9     |
| 6 Prüfdurchführung.....                                                                                 | 9     |
| 7 Prüfparameter.....                                                                                    | 10    |
| 7.1 Prüfungsgeschwindigkeit.....                                                                        | 10    |
| 7.2 Ausrichtung der Probe.....                                                                          | 10    |
| 7.3 Umgebungsbedingungen .....                                                                          | 11    |
| 8 Analyse und Auswertung.....                                                                           | 11    |
| 8.1 Allgemeine Anforderungen an Prüfreihe .....                                                         | 11    |
| 8.2 Gültiger Prüfung .....                                                                              | 11    |
| 8.3 Berechnung der Bruchzähigkeit der Glasfritt-Verbindung.....                                         | 11    |
| 8.4 Statistische Auswertung .....                                                                       | 12    |
| 9 Prüfbericht .....                                                                                     | 12    |
| Literaturhinweise.....                                                                                  | 13    |
| <b>Bilder</b>                                                                                           |       |
| Bild 1 – Prüfaufbau des Mikro-Chevron-Tests.....                                                        | 5     |
| Bild 2 – Design der Standardgeometrie für eine Glasfritt-Probe .....                                    | 8     |
| Bild 3 - Design der Krafteinleitungselemente-Elemente .....                                             | 9     |
| Bild 4 - Zulässige Abweichungen bei der Ständerapplikation .....                                        | 10    |
| Bild 5 – Verbindung der freien Chipflanken als Folge der Applikation der Krafteinleitungselemente ..... | 10    |
| Bild 6 – Beispielhafte Messkurve eines gültigen Versuchs .....                                          | 11    |
| <b>Tabellen</b>                                                                                         |       |
| Tabelle 1 – Geometriefaktoren in Abhängigkeit von der Substratdicke .....                               | 12    |

## Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 47F/216/CD:2015 „Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 27: Bond strength test for glass frit bonded structures using micro-chevron-tests (MCT)“ (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 in DIN und VDE ([www.dke.de](http://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 –  
Bauelemente der Mikrosystemtechnik –  
Teil 27: Prüfung der Bondfestigkeit von Glasfritt gebondeten Strukturen unter  
Verwendung des Mikro-Chevron-Tests (MCT)**

## Einführung

Bauelemente der Mikrosystemtechnik müssen z. B. bei Anwendungen in der Automobiltechnologie eine Lebensdauer von 15 Jahren und mehr sicherzustellen. Um die Funktionalität und Zuverlässigkeit der verwendeten Verbindungstechnologien zu gewährleisten, werden qualifizierte Prüfverfahren gefordert für die Einschätzung der Qualität und Festigkeit der gebondeten Schnittstellen. Eine der bevorzugten Verbindungstechnologien bei der Einhausung von MEMS ist das Glasfritt-Bonding, bei dem eine zusätzliche eingelagerte Bondschicht verwendet wird.

Der Mikro-Chevron-Test ist ein experimentelles Verfahren zur Bestimmung der Bruchzähigkeit von spröden Werkstoffen oder Bond-Schnittstellen, bei dem eigens entworfene Prüf-Chips (Mikro-Chevron-Lose) bei definierten Last-Bedingungen verwendet werden. Dieses Verfahren ist eingeführt für die Bewertung der Festigkeit von Waferbonds ohne zusätzlich eingelagerte Bondschichten. Durch die Analyse von Prüfergebnissen einer Reihe von Prüfungen am Fraunhofer Institut Werkstoffmechanik und am Fraunhofer Institut für Elektronische Nanosysteme mit unterschiedlichen Geometrien und Anordnungen der Prüflinge, konnte der Mikro-Chevron-Test für die Zuverlässigkeit des Bondens von Glasfritt gebondeten Bauelementen ebenfalls bestätigt werden.

## 1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt ein Verfahren zur Bewertung der Bondfestigkeit von Glasfritt gebondeten Strukturen unter Verwendung des Mikro-Chevron-Tests (MCT) fest. Es wird eine geeignete Probengeometrie beschrieben und Designhinweise für abweichende Probengeometrien gegeben.

Der Mikro-Chevron-Test stellt ein experimentelles Verfahren zur Bestimmung der Bruchzähigkeit  $K_{IC}$  von spröden Werkstoffen oder Bond-Schnittstellen für speziell designte Testchips (Mikro-Chevron-Proben) bei definierten Belastungsbedingungen (Rissöffnungs-Mode I) dar. Aufgrund seiner hohen Sensitivität und geringen Streuung ist er zur Analyse des Einflusses verschiedener Prozessparameter auf die Festigkeit der Bondverbindungen sowie zur Qualitätssicherung geeignet.

Der exemplarische Aufbau des Mikro-Chevron-Tests ist in Bild 1 dargestellt.

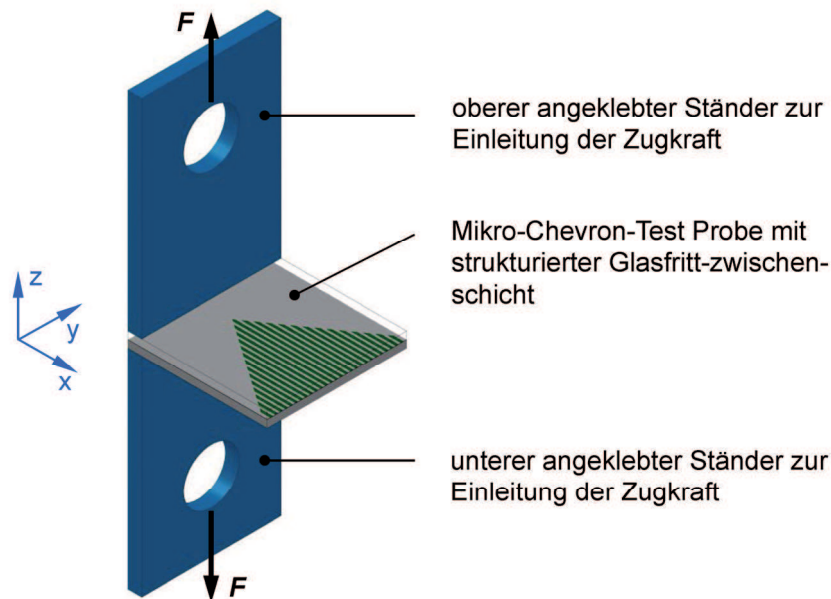


Bild 1 – Prüfaufbau des Mikro-Chevron-Tests

Diese Arbeitsanweisungen sind anwendbar für symmetrische glasfritt-gebundene Silizium-Silizium-Verbunde, d. h. die gefügte Ober- und Unterseite der Chevronprobe weisen identische Dicken und mechanische Eigenschaften auf.

Dieses Verfahren ist für Testproben geeignet, die entweder direkt aus der Verbindung von Einzelchips in den entsprechenden Maßen erzeugt oder für integrierte Proben, die über geeignete Verfahren direkt aus prozessierten Wafern vereinzelt worden sind.

Die Norm legt bevorzugte Maße für Proben sowie Parameter für die Prüfbedingungen fest. Abweichend gewählte Größen beeinflussen unter Umständen die Durchführbarkeit der Prüfungen sowie die Vergleichbarkeit der ermittelten Ergebnisse. Deshalb müssen alle Parameter sorgfältig bestimmt und dokumentiert werden.

## 2 Symbole und Abkürzungen

| Symbol               | Einheit              | Beschreibung                                                                |
|----------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| $A_{\text{Bond}}$    | $\text{mm}^2$        | effektive Bondfläche, die sich aus der Fläche der Glasfritt-Streifen ergibt |
| $A_{\text{Chevron}}$ | $\text{mm}^2$        | Fläche der gesamten Chevron-Geometrie                                       |
| $a_0$                | mm                   | Anfangskerblänge des Risses                                                 |
| $a_{\text{krit}}$    | mm                   | Kritische Risslänge                                                         |
| $b$                  | mm                   | Probenbreite                                                                |
| $C_F$                |                      | Bondflächenverhältnis                                                       |
| $d_{w1}, d_{w2}$     | $\mu\text{m}$        | Waferdicke 1-Oberseite / 2-Unterseite                                       |
| $F_{\text{max}}$     | N                    | experimentell bestimmte Maximalkraft                                        |
| $g_s$                | mm                   | Breite der Glasfritt-Streifen                                               |
| $K_{\text{IC}}$      | $\text{MPa m}^{0.5}$ | Bruchzähigkeit der Bondverbindung                                           |
| $l$                  | mm                   | Probenlänge                                                                 |
| $v$                  | $\mu\text{m/s}$      | Prüfgeschwindigkeit                                                         |

| Symbol     | Einheit | Beschreibung                        |
|------------|---------|-------------------------------------|
| $w_s$      | mm      | Abstand zwischen Glasfritt-Streifen |
| $Y_{\min}$ |         | Geometriefaktor                     |

### 3 Grundlage

Die Festigkeitsmessung mittels Mikro-Chevron-Test basiert auf einer Mode-I-Rissöffnung in der Bondzwischen-schicht. Auf der Oberfläche der Chips applizierte Krafteinleitungselemente übertragen dabei eine Zugbelastung in z-Richtung auf die Probe (siehe Bild 1). An das Ausrichten der Proben im Versuchsaufbau werden dabei besondere Anforderungen gestellt, um eine zusätzliche Scherbeanspruchung des Bondinterfaces zu verhindern und somit eine Mixed-Mode-Beanspruchung der Bondverbindung zu vermeiden.

Die aufgebrachte Kraft  $F$  führt an der Spitze der Chevron-Geometrie  $a_0$  zu einem Anstieg des Spannungsintensitätsfaktors  $K_I$ . Überschreitet der Spannungsintensitätsfaktor die Bruchzähigkeit, kommt es in diesem Bereich zur Selbstinitiiierung eines definierten Anrisses mit anschließendem Risswachstum. Während der lokale Spannungsintensitätsfaktor bei Rissausbreitung weiter ansteigt, geht eine Verbreiterung der Rissfront mit einer Verringerung des Spannungsintensitätsfaktors einher. Infolge dieser zwei gegenläufigen Mechanismen bildet sich im spröden Material zunächst ein quasistabiler Riss aus. Weiteres Risswachstum in der Zwischenschicht - bis zum Erreichen der kritischen Risslänge  $a_{\text{krit}}$  - erfordert eine Steigerung der eingeleiteten Kraft, bei der die gemessene Kraft ein Maximum  $F_{\text{max}}$  durchläuft. Infolge des einsetzenden instabilen Risswachstums tritt ein kritisches Versagen der Probe auf. Die kritische Risslänge  $a_{\text{krit}}$  ist dabei ausschließlich von der Geometrie der verwendeten Probe abhängig und mittels Finite-Elemente-Analyse zu ermitteln. Eine zusätzliche messtechnische Erfassung der Risslänge ist aufgrund der beschriebenen bruchmechanischen Eigenschaften nicht erforderlich.

### 4 Prüfaufbau

#### 4.1 Allgemeines

Der Prüfaufbau sollte zur Übertragung von kleinen Kräften und Verschiebungen auf Glasfritt-gebundene Proben geeignet sein. Der Aufbau besteht aus einem Aktuator zur Realisierung der Verschiebung der Probe, einem Kraftsensor zur Messung der aufgebrachten Last, einem Controller zur Einstellung einer konstanten Weg-gesteuerten Belastungsgeschwindigkeit, einem Positionierungssystem für die Ausrichtung der Proben im Versuchsaufbau und einem Aufzeichnungsgerät zur Erfassung von Kraft und Verschiebung. Neben einem speziellen Versuchsaufbau dürfen für diesen Zweck angepasste Universalprüfmaschinen verwendet werden.

#### 4.2 Aktuator

Die Belastung der Probe erfordert einen Aktuator, durch den eine lineare Kraftübertragung bei einer konstanten Belastungsgeschwindigkeit möglich ist. Für die Bestimmung der Materialparameter wird ein Geschwindigkeitsbereich zwischen 0,5  $\mu\text{m/s}$  und 10  $\mu\text{m/s}$  empfohlen.

#### 4.3 Kraftaufnehmer

Der Kraftsensor (Kraftmessdose) sollte kleine Kräfte mit hinreichender Genauigkeit messen können. Bei Verwendung der empfohlenen Probegeometrie erweist sich ein 20 N Kraftsensor mit einer Genauigkeitsklasse von 0,1 % als ausreichend.

#### 4.4 Einspannung

Um eine Mode-I-Rissöffnung in der Probe zu realisieren, ist eine genaue Positionierung der zu prüfenden Proben im Versuchsaufbau erforderlich. Die Einspannvorrichtung sollte deshalb Rotationen um alle drei Achsen zulassen, um eine symmetrische Belastung der Proben sicherzustellen und Querkrafteinflüsse zu

minimieren. Die Kraftangriffspunkte der Probe sowie des Aktuators und des Kraftaufnehmers müssen in einer Achse liegen.

## 4.5 Messdatenerfassung

In den Versuchsaufbau muss für eine nachträgliche Auswertung der Prüfungen eine Speichereinheit integriert sein. Um die Kraft-Weg-Kurve auch bei Versuchsgeschwindigkeiten von 10 µm/s hinreichend genau abzubilden ist auf eine ausreichende Abtastrate zu achten. Eine Abtastrate von mindestens 10 Hz wird empfohlen.

## 5 Proben

### 5.1 Prüfkörperdesign

Die Proben zur Bestimmung der Bruchzähigkeit müssen die nachfolgend aufgeführten Anforderungen erfüllen. Die empfohlene Probengeometrie mit allen zugehörigen Parametern ist in Bild 2 angegeben.

- Die geometrischen Abmessungen der Chevron-Geometrie (Anfangsrisslänge  $a_0$  und der Chevron-Winkel  $\varphi$ ) sind zu überprüfen, z. B. unter Verwendung von Infrarot- oder akustischer Raster-Mikroskopie. Abweichungen wirken sich signifikant auf den Geometriefaktor aus und führen zu Abweichungen der berechneten Bruchzähigkeit. Daher ist die nachfolgend angegebene Geometrie erforderlich.
- Infolge des Herstellungsprozesses der Glasfritt-Zwischenschicht über z. B. Siebdruckverfahren ist die Chevron-Geometrie selbst streifenförmig zu strukturieren. Die Streifen sollten dabei parallel zur Rissausbreitungsrichtung (x-Richtung in Bild 1) verlaufen.
- Die Breite der Glasfritt-Streifen  $g_s$  ist an die Rahmenbreite des entsprechend industriellen Produktes anzupassen, um eine Vergleichbarkeit der Festigkeitseigenschaften der Verbindung sicherzustellen.
- Der Abstand der Glasfritt-Streifen  $w_s$  ist in den folgenden Grenzen, in Abhängigkeit von der Streifenbreite  $g_s$ , einzustellen:

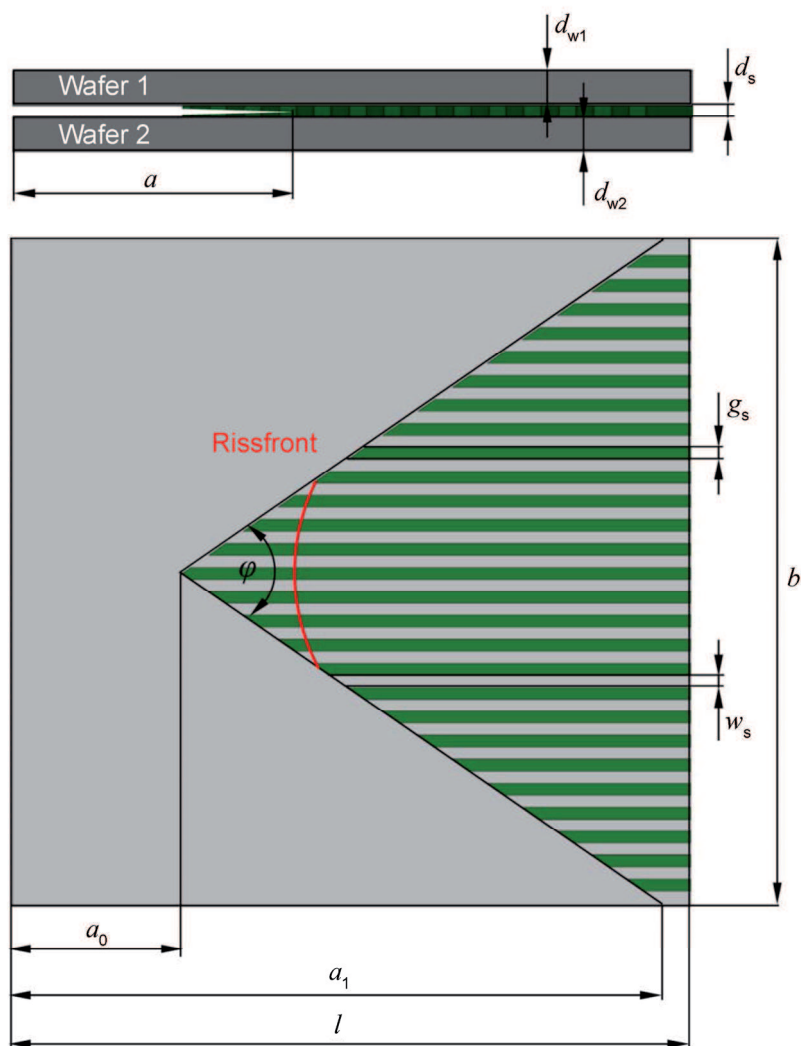
$$0,5 g_s \leq w_s \leq 1,5 g_s \quad (1)$$

Durch eine Anpassung des Streifenabstandes innerhalb dieser Grenzen können die maximal gemessenen Kräfte eingestellt und an die verfügbare Prüfeinrichtung angepasst werden.

- Die Strukturierung der Streifen muss so gewählt werden, dass die Dreiecksgeometrie möglichst homogen abgebildet wird. Die Anzahl der Streifen sollte ungerade sein um eine symmetrische Anordnung zu erhalten.

Die Dicke der einzelnen gefügten Silizium-Chips  $d_{w1}$  und  $d_{w2}$  wirkt sich direkt auf den Geometriefaktor der Proben aus. Die Dicke der beiden gefügten Chips bzw. Wafer ist gleich groß zu wählen (symmetrischer Aufbau  $d_{w1} = d_{w2}$ ).

Durch den Einsatz von asymmetrischen Proben  $d_{w1} \neq d_{w2}$  tritt anstelle einer Mode-I-Rissöffnung im Interface eine Mixed-Mode-Beanspruchung auf. Die ermittelten Festigkeitskennwerte sind somit nicht mit symmetrischen Proben vergleichbar und spiegeln veränderte Versagensmoden der Bondverbindungen wieder.



| geometrische Abmessungen |                   |                                                    |
|--------------------------|-------------------|----------------------------------------------------|
| Parameter                | Empfohlene Werte  | Beschreibung                                       |
| $w$                      | 10 mm             | Probenbreite                                       |
| $l$                      | 10 mm             | Probenlänge                                        |
| $a_0$                    | 3 mm              | Anfangsrisslänge                                   |
| $a_1$                    | 8 mm              |                                                    |
| $a$                      |                   | Risslänge                                          |
| $a_{crit}$               | mm                | kritische Risslänge                                |
| $\varphi$                | 90 °              | Chevron-Winkel                                     |
| $d_{w1}$                 |                   | Dicke Silizium-Wafer 1 – oberer Wafer              |
| $d_{w2}$                 | $= d_{w1}$        | Dicke Silizium-Wafer 2 – unterer wafer             |
| $d_s$                    | $\leq 0,1 d_{w1}$ | Dicke der Glaszwischen-schicht                     |
| $w_s$                    |                   | Abstand der glasfritt gebondeten Streifengeometrie |
| $g_s$                    |                   | Breite der Glasfritstreifen                        |

Bild 2 – Design der Standardgeometrie für eine Glasfritt-Probe