

DIN EN 62880-1

ICS 31.080.01

Einsprüche bis 2014-09-18

Entwurf

**Halbleiterbauelemente –
Zuverlässigkeit auf Waferniveau für Halbleiterbauelemente –
Teil 1: Prüfverfahren zur Stressmigration von Kupfer
(IEC 47/2191/CD:2014)**

Semiconductor devices –
Wafer level reliability for semiconductor devices –
Part 1: Copper stress migration test method
(IEC 47/2191/CD:2014)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2014-07-18 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 64 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	4
1 Anwendungsbereich.....	5
2 Begriffe	5
3 Prüfeinrichtung	6
4 Teststruktur.....	6
4.1 Allgemeines	6
4.2 Testschicht (Test-Layer).....	6
4.3 Leiterstruktur (optional).....	7
4.4 Via-Struktur.....	7
4.5 Via-Chain-Anzahl.....	9
5 Prüfdurchführung.....	10
6 Temperaturabhängigkeit.....	11
6.1 Näherungsverfahren.....	12
7 Berechnung des geometrischen Abhängigkeitsfaktors	13
7.1 Wide-Pattern-Geometriefaktor	14
7.2 Geometriefaktor bei Nose-Pattern.....	16
8 Lebensdauermodell	17
8.1 Lebensdauermodell für Wide-Pattern.....	17
8.2 Lebensdauermodell für Nose-Pattern	18
9 Schätzung der Produktlebensdauer	18
10 Angaben, die festzulegen und aufzuzeichnen sind.....	18
Anhang A (informativ) Beispiel für Teststruktur.....	19
A.1 Allgemeines	19
A.1.1 Beispiel für Wide-Pattern-Teststruktur	19
A.1.2 Beispiel für Nose-Pattern-Teststruktur	19
Anhang B (informativ) Beispieldaten zum Geometriefaktor	21
B.1 Allgemeines	21
B.1.1 Experimentelles Beispiel zum Geometriefaktor eines Wide-Pattern.....	21
B.1.2 Geometriefaktor für Nose-Pattern	23
Anhang C (informativ) Beispiel für das Herleiten der Anzahl kritischer Via-Formen bei einem realen Produkt	26
C.1 Anwendungsbeispiel.....	26
C.2 Beispiel für die Herleiten der Viaanzahl	26
C.2.1 Wide-Pattern.....	26
C.2.2 Nose-Pattern	28
Anhang D (informativ) Stressmigrations-Mechanismus	32
Literaturhinweise.....	34

Bilder:

Bild 1 – Wide-Pattern (a)	7
Bild 2 – Wide-Pattern (b): Beispiel der Kombination eines schmalen oberen und eines breiten unteren Leiters	8
Bild 3 – Wide-Pattern (c): Beispiel der Kombination eines breiten oberen und eines schmalen unteren Leiters	8
Bild 4 – Nose-Pattern	8
Bild 5 – Eng stehende und isoliert stehende Nase	9
Bild 6 – Darstellung von Zwischenverbindungen bei realen Produkten	9
Bild 7 – Beispiel für die Temperaturabhängigkeit der Stressmigrations-Ausfallrate	11
Bild 8 – Beispiel für Weibullverteilung der Stressmigrations-Ausfallrate (in Abhängigkeit der Struktur-Breite: W1: breiter – W5: schmaler)	11
Bild 9 – Prinzipdarstellung zum aktiven Diffusionsmodell [6]	14
Bild 10 – Aktive Diffusionsfläche – Diagramm der Ausfallrate	15
Bild 11 – Lebensdauer in Abhängigkeit von der Breiten-Länge bei Wide-Pattern	15
Bild 12 – Ausfallrate in Abhängigkeit von der Körper-Fläche bei Wide-Pattern	16
Bild 13 – Ausfallrate in Abhängigkeit von der Nasenlänge	17
Bild B.1 – Aktive Diffusionsfläche – Darstellung der Ausfallrate	22
Bild B.2 – Lebensdauer in Abhängigkeit von der Breite-Länge des Wide-Pattern	23
Bild B.3 – Ausfallrate – Body-Flächen-Abhängigkeit bei Nose-Pattern	24
Bild B.4 – Ausfallrate – Körper-Flächen-Abhängigkeit bei Nose-Pattern	25
Bild C.1 – Layout für die Via-Verbindung mit einer unteren breiten Metallisierung	27
Bild C.2 – Layout mehrerer Via-Verbindung mit einer unteren breiten Metallisierung	27
Bild C.3 – Beispiel für die Herleitung der Anzahl von Vias, die Wide-Pattern verbinden, bei einem realen Produkts * Je detaillierter Seff klassifiziert wurde, umso genauer kann die Lebensdauer geschätzt werden	28
Bild C.4 – Nose-Pattern mit darüber liegendem Via	29
Bild C.5-1 – Beispiel für die Herleitung der Vias bei einem realen Produkt. Das Via ist auf dem Nose-Pattern positioniert	30
Bild C.5-2 – Beispiel für die Herleitung der Vias bei einem realen Produkt. Das Via ist unter dem Nose-Pattern positioniert	31
Bild D.1 – Beispiel für den Zugspannungsgradienten bei "Nose"-Pattern	33

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 47/2191/CD:2014 „Semiconductor devices – Wafer level reliability for semiconductor devices – Part 1: Copper stress migration test method“ (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 im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

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 –
Zuverlässigkeit auf Waferniveau für Halbleiterbauelemente –
Teil 1: Prüfverfahren zur Stressmigration von Kupfer**

1 Anwendungsbereich

In dieser Norm sind ein Prüfverfahren zur Stressmigration (durch Stress verursachte Volumendefekte) bei Kupfermetallisierungen und ein Verfahren zur Schätzung der Produktlebensdauer bei Stressmigrations-Ausfällen festgelegt. Diese Norm ist zur Untersuchung der Zuverlässigkeit und zur Qualifikation von Halbleiterbauelementen anwendbar.

2 Begriffe

Für die Anwendung dieser Norm gelten die folgenden Begriffe

2.1

Stressmigration

einer der kritischen Ausfallmechanismen bei Verbindungsstrukturen in Halbleiterbauelementen. Bei Verbindungsstrukturen aus Kupfer treten Volumendefekte (Voids) unter oder innerhalb von Vias auf und verursachen Widerstandserhöhungen oder Unterbrechungsausfälle. Sie wird auch SIV (en: stress induced voiding) genannt. Zu den Ausfallmechanismen siehe Anhang B.

2.2

Breite Leiterbahn

Wide-Pattern

Via-Ketten-Struktur (en: Via-Chain-Pattern), die Vias mit breiten Leiterbahnen verbindet. Es gibt einige Kombinationen von Verbindungen. Siehe Bild 1 bis Bild 3 für Prinzipdarstellungen.

ANMERKUNG Zur Breite der Kontaktierung, die das Via verbindet, gilt, je breiter diese ist, umso größer wird die Stressmigrations-Ausfallrate werden. Die Breite der Verbindung ist der effektive geometrische Faktor.

2.3

Nose-Pattern

Nasen-Struktur

Via-Cain-Struktur zum Verbinden mit schmalen Leiterbahnen, die aus breiten Leiterbahnen (entsprechend 2.2) herausgezogen werden. Der herausragende schmale Leiterbahnteil ist als „Nase“ (en: nose) und der breite Teil des Leiters ist als „Körper“ (en: body) festgelegt. Siehe Bild 4.

2.4

Body-Fläche

Sa

Die Fläche des „Körpers“. „Körper“ ist der breite Leiterbahnteil vom Nose-Pattern. Siehe Bild.4.

2.5

Nasen-Länge

NL

Die Länge der „Nase“. „Nase“ ist der schmale Leiterbahnteil vom Nose-Pattern. Siehe Bild.4.

2.6

Nasen-Breite

NW

Die Breite der "Nase". "Nase" ist der schmale Leiterbahnteil vom Nose-Pattern. Siehe Bild.4.

2.7

Aktives Diffusionsmodell

Für das „aktive Diffusionsmodell“ wird angenommen, dass der Via-Stressmigrations-Ausfall von der Gesamtgröße der Leerstellen abhängig ist, die in der Kontaktierungsstelle innerhalb eines Kreises mit dem Radius $\lambda (= \sqrt{D_v \times T})$ enthalten sind, wobei der Mittelpunkt des Kreises das Via ist. Siehe Bild.9.

D_v : Diffusionskoeffizient T : Zeit

2.8

Diffusionslänge

λ

Länge, über die Leerstellen in die Kupferkontaktierung diffundieren können. λ wird ausgedrückt als $\lambda (= \sqrt{D_v \times T})$

2.9

Aktive Diffusionsfläche

S_{eff}

Fläche, bezogen auf jedes Via, der Schnittfläche zwischen dem Kreis mit dem Radius λ und der Leiterbahn. Siehe Bild 9.

2.10

Widerstand

R

Widerstand ist festgelegt als der gemessene Wert zwischen den Kontaktflächen (Pads) für die entsprechende Struktur

3 Prüfeinrichtung

Es ist eine kalibrierte Wärmekammer erforderlich, um die Wafer oder in Gehäusen montierte Teststrukturen über eine festgelegte Dauer bei einer festgelegten Temperatur zu beanspruchen. Für die Messungen des Widerstands sind Messgeräte erforderlich.

4 Teststruktur

4.1 Allgemeines

Bei Kupfermetallisierungen tritt die Stressmigration in den Leiterbahnen mit Vias auf, wobei diese Stressmigration ein problematischer Zuverlässigkeitsaspekt ist. Das Stressmigrations-Prüfverfahren ist ein Hochtemperatur-Lagerungs-Prüfverfahren. Dieser Ausfallmechanismus kann weder durch elektrische Spannung noch durch Strom, sondern nur durch Temperatur beschleunigt werden. In realen Produkten gibt es sehr viele Vias. Im Allgemeinen ist es schwierig, Testelementengruppen (TEG) zu entwickeln, die mehr Vias als reale Erzeugnisse haben. Deshalb ist es notwendig, einen geometrischen (Abhängigkeits-)Faktor bei der Zuverlässigkeitssicherung von LSI-Erzeugnissen zu verwenden. Zur Erläuterung der geometrischen Abhängigkeit von Via-Strukturen siehe 7.1 und 7.2. Es ist notwendig, ein Stressmigrations-Lebensdauermodell zu entwickeln, bei dem sowohl die Temperatur- als auch Geometrieabhängigkeit berücksichtigt wird, um die Stressmigrations-Lebensdauer von realen Erzeugnissen zu schätzen.

4.2 Testschicht (Test-Layer)

Es wird empfohlen, die TEG zu prüfen, die alle jene Metallisierungsschichten hat, die auch im Erzeugnis verwendet werden. Es darf jede Struktur-Layer-Gruppe geprüft werden. In diesem Fall ist die Historie des Wärmebudgets in der Berechnung zu berücksichtigen.

4.3 Leiterstruktur (optional)

Es werden einzelne, lange und isolierte Leiter mit der minimalen Leiterbreite empfohlen. Falls nicht anders festgelegt, sind die empfohlenen Bedingungen eine minimale Länge von 500 μm und eine Gesamtlänge von 1 cm bis 1 000 cm. Weil nämlich die Stressmigration oft durch die Auftrennung von Leitern beeinflusst wird. Falls notwendig, wird für die Widerstandsmessung empfohlen, das Mess-Kontaktierungspad in die Mitte der Leiterbahn zu legen.

4.4 Via-Struktur

Eine Via-Chain-Struktur ist anwendbar und erforderlich als eine Prüfstruktur. Da es nämlich sehr viele Vias in realen Produkten gibt. Für technologische Untersuchungen darf auch eine Kelvin-Struktur für Vier-Punkt-Messungen verwendet werden. Eine übliche Prüfstruktur ist im folgenden Abschnitt beschrieben.

4.4.1 Wide-Pattern

Je größer die Breite der Verbindungsstruktur, die vom Via verbunden wird, umso größer ist die Kupfer-Stress-migrations-Ausfallrate. Die Breite der Kontaktierung ist der effektive Geometriefaktor.

Das Via verbindet eine breite oben liegende und eine breite unten liegende Schicht (Siehe Bild.1)

ANMERKUNG Die Leiterbreite der Prüfstruktur ist zulässig, wenn sie größer ist als die entsprechend den Design-Regeln erlaubte Breite. Wenn die Leiterbreite in der Prüfstruktur kleiner oder gleich der Breite nach den Design-Regeln ist, ist es schwierig, eine geometrische Abhängigkeit zu bestimmen.

Die obere oder die untere Schicht ist ein Wide-Pattern und die jeweils andere Schicht ist ein Narrow-Pattern (siehe Bilder 2 und 3).

ANMERKUNG Es gibt den Fall, dass die Hohlraumbildung unter Vias auftritt und dass sie in Vias auftritt. Strukturen vom Typ a) beschleunigen beide Arten der Hohlraumbildung. Es ist nicht leicht, die Position der Hohlraumbildung zu schätzen. Strukturen vom Typ b) (die untere Struktur ist breit und die obere Struktur ist schmal; ungefähr das Mindestmaß entsprechend Design-Regeln) beschleunigen hauptsächlich die Hohlraumbildung unter dem Via. Strukturen vom Typ c) (die obere Struktur ist breit und die untere Struktur ist schmal; ungefähr das Mindestmaß entsprechend Design-Regeln) beschleunigen hauptsächlich die Hohlraumbildung im Innern. Es ist relativ leicht, die Position der Hohlraumbildung bei den Strukturen vom Typ b) und c) vorherzusagen.

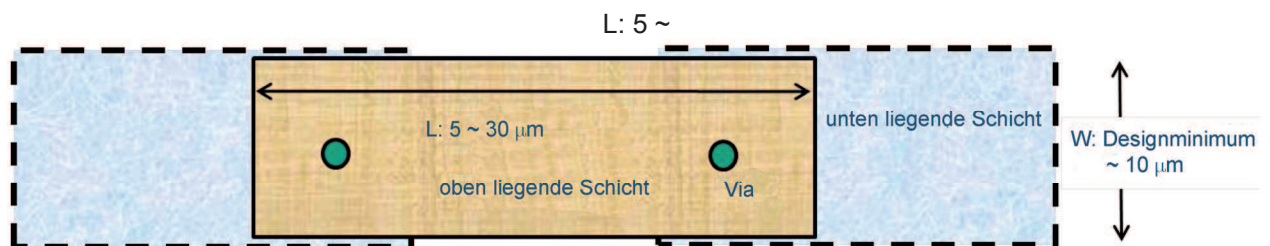


Bild 1 – Wide-Pattern (a)

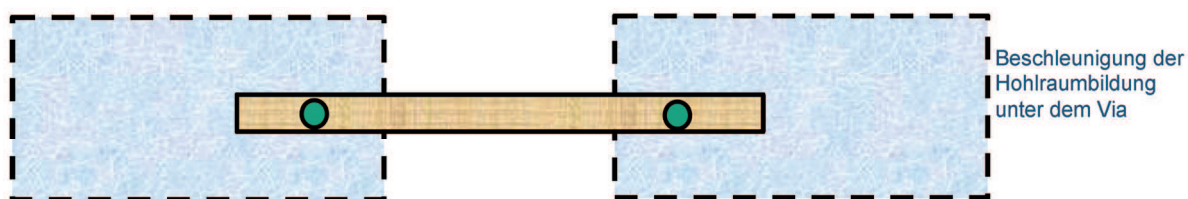


Bild 2 – Wide-Pattern (b): Beispiel der Kombination eines schmalen oberen und eines breiten unteren Leiters



Bild 3 – Wide-Pattern (c): Beispiel der Kombination eines breiten oberen und eines schmalen unteren Leiters

4.4.2 Nose-Pattern

Diese Struktur wird durch die Verbindung eines Narrow-Patterns mit einem Wide-Pattern gebildet. Je größer die Fläche beim Wide-Pattern, umso größer die Ausfallrate; und je größer die Länge des narrow-Patterns, desto kleiner die Ausfallrate. Der schmale Teil des Nose-Patterns wird als "Nase" bezeichnet und der breite Teil wird als "Body" bezeichnet (siehe Bild 4).

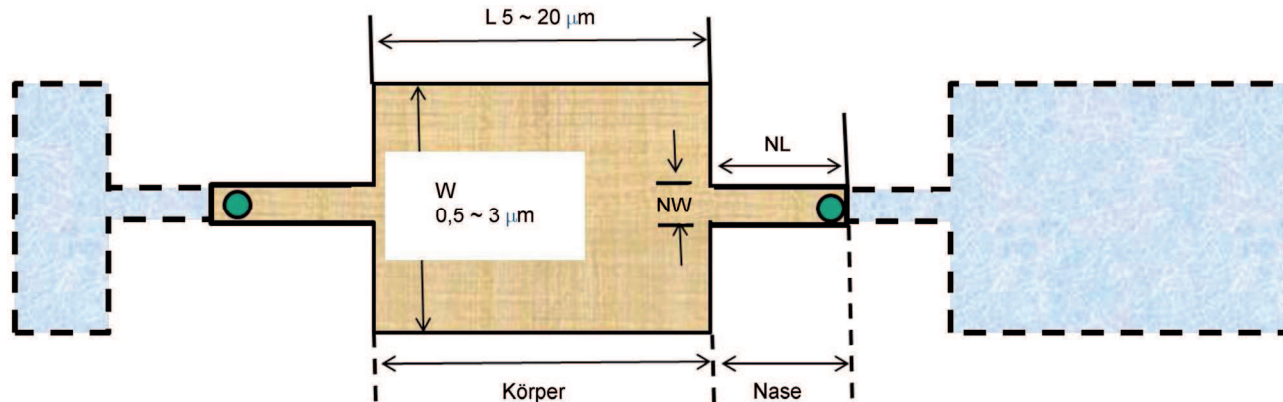


Bild 4 – Nose-Pattern

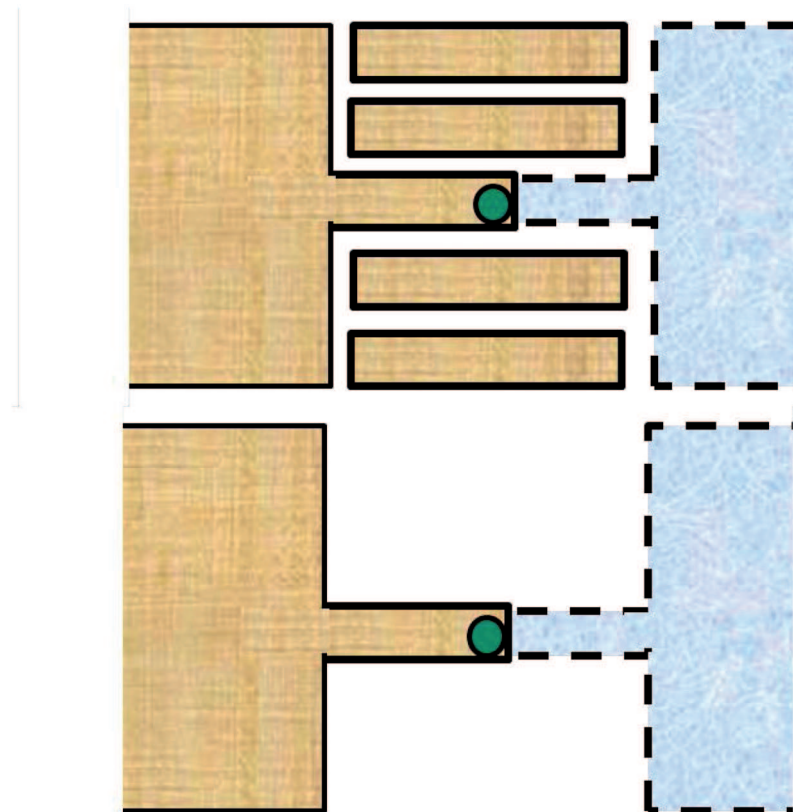


Bild 5 – Eng stehende und isoliert stehende Nase

ANMERKUNG 1 : Es wird angegeben, dass eine eng stehende Nasenstruktur empfindlicher ist als eine isoliert stehende Nasenstruktur. [1] Es sollte eine geeignete Struktur gewählt werden. Im Bild 5 zeigt die obere Darstellung eine eng stehende Nasenstruktur und die untere Darstellung eine isoliert stehende Nasenstruktur.

ANMERKUNG 2 : In einem realen Produkt gibt es viele schmale Leiterbahnzweige, die von Wide-Pattern ausgehen. Die Nasenstruktur ist ein typisches Beispiel für diese Strukturen. Siehe Bild 6.

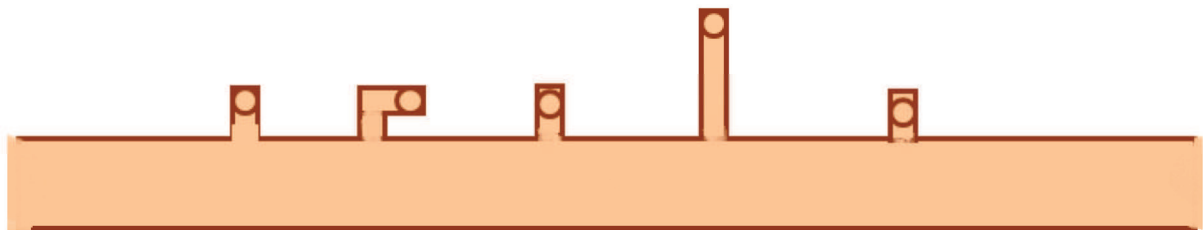


Bild 6 – Darstellung von Zwischenverbindungen bei realen Produkten

4.5 Via-Chain-Anzahl

Die Anzahl, die erforderlich ist, um das Produkt sicherzustellen.

Bsp.] einige wenige Tausend ~ 1E5 Via-Chain

Das Beispiel des Teststrukturaufbaus ist im Anhang A beschrieben.

5 Prüfdurchführung

Das Stressmigrations-Prüfverfahren ist ein Hochtemperatur-Prüfverfahren. Der Hohlraum wächst infolge der Wärmebeanspruchung und folglich nimmt der Widerstand zu. Das kann modelliert werden, um einen Beschleunigungsfaktor für das Hohlraumwachstum zu erhalten [2, 3, 4]. Falls anderweitig nicht festgelegt, ist die Temperaturbedingung innerhalb des Bereiches von 125 °C bis zu 275 °C zu bestimmen. Beim Wafer ist es notwendig, ihn in einzelne Temperaturgruppen zu unterteilen und jede Gruppe ist bei der festgelegten Temperatur zu erwärmen. Die Durchführung der Widerstandsmessung ist wie folgt. Es wird empfohlen, zwei oder mehr Wafer pro Temperaturbedingung zu beanspruchen.

- a) Der Widerstand des metallischen Leiters oder der Via-Chain-Struktur ist zu messen. Die Widerstandsmessung sollte mithilfe eines Stroms bei konstanter Spannung (VF/IM) durchgeführt werden, um die Joulesche Erwärmung zu minimieren. Eine Messung mithilfe der Spannung bei konstantem Strom (IF/VM) wird wegen sich ausheilender Ausfallerscheinungen nicht empfohlen.
- b) Die Proben sind zu erwärmen. Falls nicht anderweitig festgelegt, sind drei Temperaturen die empfohlenen Betriebsbedingungen, um die Parameter für das Extrapolationsmodell zu bestimmen. Falls diese Modellparameter bekannt sind, genügt eine einzige Temperatur als Prüfbedingung.

ANMERKUNG: In einigen Fällen können drei Temperaturwerte nicht ausreichend sein, wenn der Temperaturbereich nicht korrekt gewählt wurde – weil eine Temperaturabhängigkeit des Stressmigrations-Ausfalls die Tendenz aufweist, Höchstwerte im Bereich von 100 °C bis 200 °C zu haben, ist die Zunahme nicht konstant. (Siehe Bild 7). Bei Kupferatomen ist eine Leerstelle wahrscheinlich leichter bei höheren Temperaturen zu diffundieren, während der Stressgradient, der die treibende Kraft für die Leerstellenerzeugung ist, bei niedrigen Temperaturen größer ist.

- c) Es sollten bei festgelegten Zeitpunkten Zwischenergebnisse aufgezeichnet werden, um die Widerstandsänderungen, die das Auftreten der Stressmigration kennzeichnen, zu überwachen. Es ist notwendig, die Proben für die Widerstandsmessung abzukühlen. Falls nicht anderweitig festgelegt, sind die empfohlenen Messzeitpunkte bei 168 h, 500 h und 1 000 h. (Falls möglich, auch bei 2 000 h.)
- d) Es ist die relative Widerstandsänderung $\Delta R/R_{\text{initial}}$ (%) zu berechnen. Das Ausfallkriterium sollte unter Berücksichtigung der Ergebnisse vorangegangener Untersuchungen oder der zulässigen Werte in der Produktspezifikation festgelegt werden. Falls anderweitig festgelegt, sollte der empfohlene Wert zwischen 5 % und 30 % gewählt werden.
- e) Es ist ein Weibulldiagramm unter Verwendung jeder Beanspruchung sowie den Daten für jede Teststruktur zu zeichnen, dann ist der Formparameter β (siehe Bild.8) bei der charakteristischen Lebensdauer $t_{63\%}$ zu bestimmen. Falls die Ausfallrate für die Berechnung der charakteristischen Lebensdauer zu klein ist, ist die Berechnung auf Basis der Extrapolation durchzuführen.
- f) Es ist die Temperatur- und Geometrieabhängigkeit zu bestimmen, um die Beschleunigungsparameter zu ermitteln.
- g) Die ausgefallenen Proben sind zu untersuchen, um den Ausfallmechanismus zu bestimmen. (Optional)

ANMERKUNG: Genaue Informationen bezüglich der Hohlraumposition sind oft brauchbar, um die kritischen Strukturen hinsichtlich des realen Produkts zu finden.

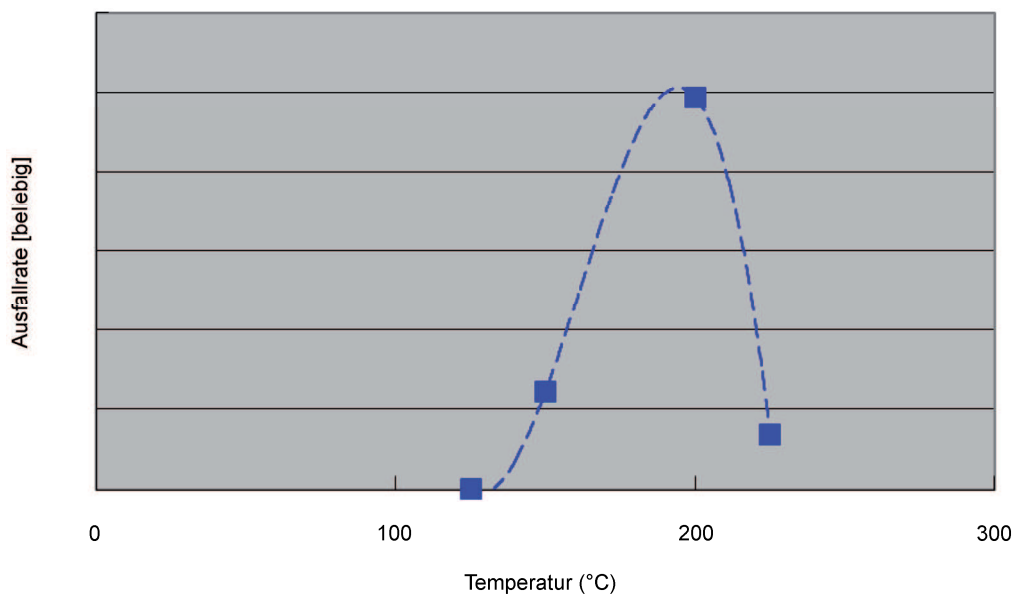


Bild 7 – Beispiel für die Temperaturabhängigkeit der Stressmigrations-Ausfallrate

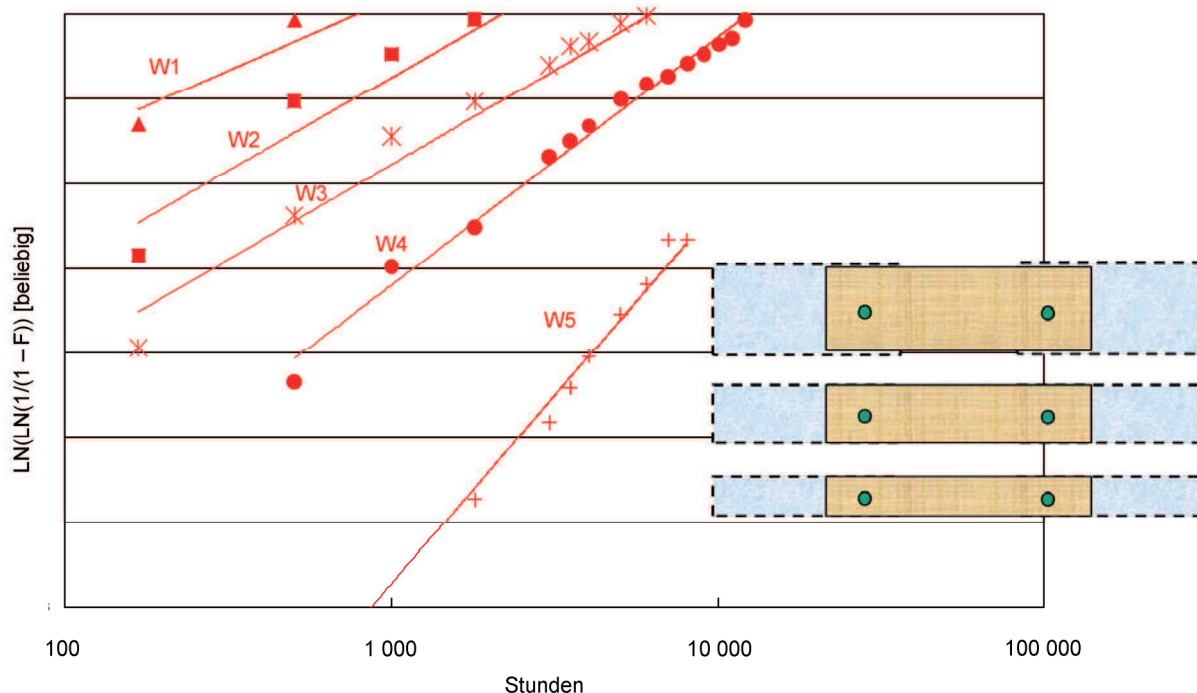


Bild 8 – Beispiel für Weibullverteilung der Stressmigrations-Ausfallrate
(in Abhängigkeit der Struktur-Breite: W1: breiter – W5: schmaler)

6 Temperaturabhängigkeit

Es ist die Aktivierungsenergie mithilfe des Arrheniusdiagramms zu berechnen. Es ist die Lebensdauer $tF\%$ (Dauer bis $F\%$ der kumulativen Ausfallrate) auf Basis des Weibulldiagramms zu ermitteln. Es sind die Y-Achse als $tF\%$ -Lebensdauer und die X-Achse als Reziprokwert der absoluten Beanspruchungstemperatur zu zeichnen. Ein physikalisches Modell [2, 3] kann verwendet werden, um die Ausfalldauer zu physikalischen Variablen in Beziehung zu bringen, was im Folgenden beschrieben wird.

$$t_f = A1 \times |T - T_{\text{dep}}|^{-n} \times \exp(E_a / kT) \quad (1)$$

dabei ist

- t_f die Dauer bis zum Ausfall;
- $A1$ eine Konstante;
- T die Temperatur während der Prüfwärmebeanspruchung oder im Anwendungsfall;
- T_{dep} die effektive Abscheidetemperatur der Isolatorschicht um die Metallisierung;
- E_a die Aktivierungsenergie;
- k die Boltzmannkonstante;
- n der Stresskoeffizient infolge der Temperaturdifferenz; für Kupfer wird ein Wert von 3 angegeben [6].

Ein effektiver Beschleunigungsfaktor für die Stressmigration kann über das Verhältnis der Ausfalldauer unter Anwendungsbedingungen zu der Dauer unter Prüfbedingungen bestimmt werden und ist gegeben mit

$$A_f = t_{f,u} / t_{f,s} = (\Delta T_s / \Delta T_u)^n \times \exp[(E_a / k) \times (1/T_u - 1/T_s)] \quad (2)$$

dabei ist

- A_f der Beschleunigungsfaktor;
- $t_{f,u}$ die Dauer bis zum Ausfall im Anwendungsfall;
- $t_{f,s}$ die Dauer bis zum Ausfall unter Prüfbeanspruchung;
- T_s die Temperatur während der Prüfwärmebeanspruchung;
- T_u die Temperatur im Anwendungsfall;
- $\Delta T = (T - T_{\text{dep}})$;
- T_{dep} die effektive Abscheidetemperatur der Isolatorschicht um die Metallisierung;
- E_a die Aktivierungsenergie;
- k die Boltzmannkonstante;
- n der Stresskoeffizient infolge der Temperaturdifferenz.

6.1 Näherungsverfahren

Arrheniusmodell (ohne Beanspruchungskomponente)

Es gibt einen Temperaturhöchstwert im Verlauf der Stressmigrations-Ausfallrate. Unter Berücksichtigung der Wärmebedingungen des realen Produkts kann ein Bereich für die Zuverlässigkeitsberechnung unterhalb dieses Höchstwertes in Bild 7 begrenzt werden. Berechnungen unterhalb dieses Temperatur-Höchstwertes sind mithilfe des Arrheniusmodells möglich, so wie in Gleichung (3) als Näherung gezeigt.

ANMERKUNG Für die Berechnung der extremen Bedingungen über diesen Temperatur-Höchstwert ist die Gleichung (2) notwendig. Seine Lebensdauer wird bei Temperaturbedingungen oberhalb des Höchstwertes vergrößert werden.

$$t_f = A2 \times \exp(E_a / kT) \quad (3)$$

dabei ist

- t_f die Dauer bis zum Ausfall;
- $A2$ eine Konstante;

- T die Temperatur während der Prüfwärmebeanspruchung oder im Anwendungsfall;
 E_a die Aktivierungsenergie;
 k die Boltzmannkonstante.

Die Aktivierungsenergie kann leicht nur aus der Lebensdauerterperatur und der Lebensdauer erhalten werden.

Ein effektiver Beschleunigungsfaktor für die Stressmigration kann in der gleichen Art erhalten werden, nämlich über das Verhältnis der Ausfalldauer unter Anwendungsbedingungen zu jener unter Prüfbedingungen und ist gegeben mit

$$A_f = t_{f,u} / t_{f,s} = \exp \left[(E_a / k) \times (1/T_u - 1/T_s) \right] \quad (4)$$

dabei ist

- A_F der Beschleunigungsfaktor;
 $t_{f,u}$ die Dauer bis zum Ausfall im Anwendungsfall;
 $t_{f,s}$ die Dauer bis zum Ausfall unter Prüfbeanspruchung;
 T_s die Temperatur während der Prüfwärmebeanspruchung;
 T_u die Temperatur im Anwendungsfall;
 E_a die Aktivierungsenergie;
 k die Boltzmannkonstante.

7 Berechnung des geometrischen Abhängigkeitsfaktors

Der geometrische Abhängigkeitsfaktor ist auf Basis der Prüfergebnisse zu ermitteln. Sie können vom Verhältnis Lebensdauer und Geometriefaktor oder vom Verhältnis Ausfallrate und Geometriefaktor erhalten werden.

Es ist notwendig, die Via-Strukturen, welche die gleiche Anzahl an Vias haben, zu vergleichen, um den geometrischen Abhängigkeitsfaktor zu bestimmen. Wenn Via-Strukturen, deren Vias unterschiedlich sind, verglichen werden, müssen diese in die gleiche Anzahl an Vias konvertiert werden. Viakonvertierung kann wie folgt unter der Annahme eines Seriensystems durchgeführt werden.

Wenn die Ausfallrate der N1-Via-Chain-Struktur in die der N2-Via-Chain-Struktur konvertiert wird sind

- f_{via} : Ausfallrate eines Vias;
 $r_{via} = (1 - f_{via})$: Überlebensrate eines Vias;
 F_{N1} : Ausfallrate der Via-Chain-Struktur mit N1 Vias;
 R_{N1} : Überlebensrate der Via-Chain-Struktur mit N1 Vias;
 F_{N2} : Ausfallrate der Via-Chain-Struktur mit N2 Vias;
 R_{N2} : Überlebensrate der Via-Chain-Struktur mit N2 Vias.

Ein Seriensystem vorausgesetzt: $R_{N1} = (r_{via})^{N1}$ $F_{N1} = 1 - R_{N1} = 1 - (1 - f_{via})^{N1}$

Auf gleiche Art wird berechnet: $R_{N2} = (r_{via})^{N2}$ $F_{N2} = 1 - R_{N2} = 1 - (1 - f_{via})^{N2}$

Daher ist: $F_{N2} = 1 - R_{N2} = 1 - (R_{N1})^{N2/N1} = 1 - (1 - F_{N1})^{N2/N1}$ (5)

Unter der Voraussetzung einer Weibullverteilung eines Seriensystems

$$F_{N2} = 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{t}{t_{63\%} / (N2/N1)^{1/\beta}} \right)^\beta \right\} \quad (6)$$

7.1 Wide-Pattern-Geometriefaktor

Typische Beispiele für den Geometriefaktor werden nachfolgend beschrieben.

7.1.1 Aktives Diffusionsmodell

Bei diesem Modell wird angenommen, dass die Stressmigrations-Ausfallrate für das Via von der Gesamtanzahl der Leerstellen abhängig ist, die sich in der Verbindungsstruktur innerhalb eines Kreises mit dem Radius $\lambda (= \sqrt{D_v \times T})$ befinden. Die Fläche innerhalb der Schnittpunkte zwischen dem Kreis mit dem Radius λ und dem Leiterbahnanteil ist die "aktive Diffusionsfläche". Bild 10 ist die grafische Darstellung mit horizontaler Achse als aktive Diffusionsfläche und der vertikalen Achse als Ausfallrate.

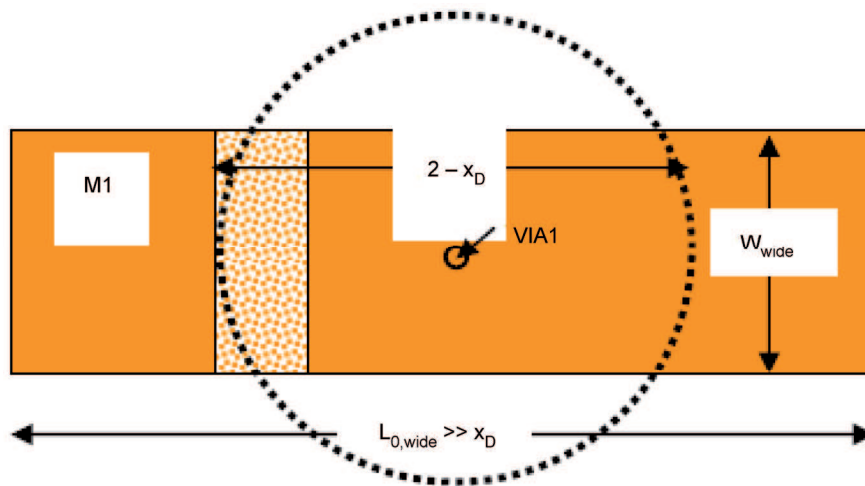


Bild 9 – Prinzipdarstellung zum aktiven Diffusionsmodell [6]

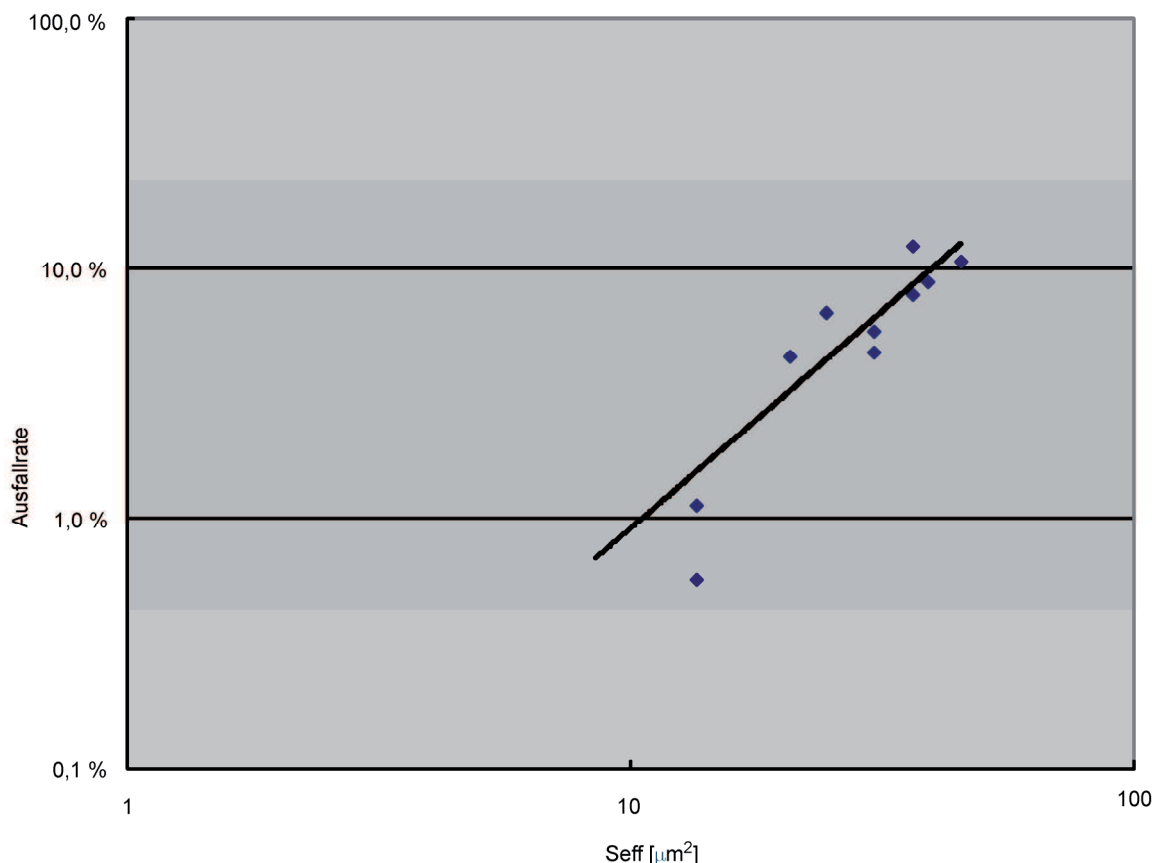


Bild 10 – Aktive Diffusionsfläche – Diagramm der Ausfallrate

7.1.2 Breiten-Längen-Modell

Um die Längenabhängigkeit beim Prüfen von Strukturgruppen zu erhalten, bleibt die Strukturlänge konstant, während die Strukturbreite variiert. In Bild 11 wird die grafische Darstellung mit der x-Achse als Breiten-Länge und die y-Achse als Lebensdauer gezeigt. Je größer die Breiten-Längen sind, umso größer wird die Ausfallrate.

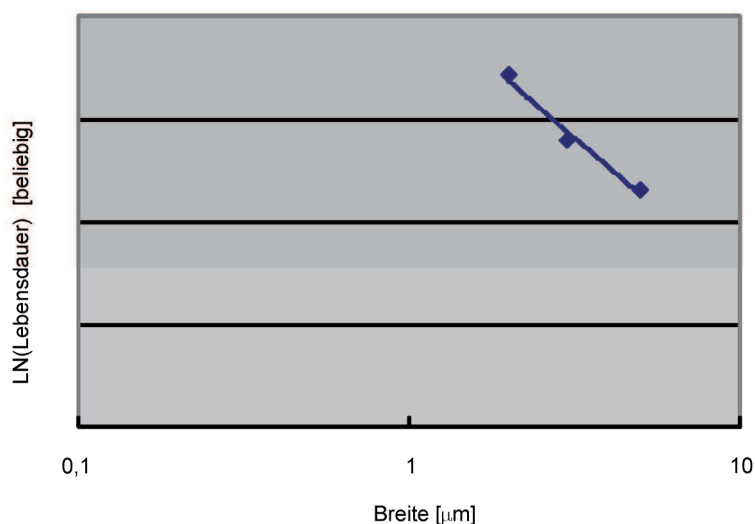


Bild 11 – Lebensdauer in Abhängigkeit von der Breiten-Länge bei Wide-Pattern

7.2 Geometriefaktor bei Nose-Pattern

Je größer die Körper-Fläche bei Nose-Pattern ist, umso kleiner wird die Lebensdauer bzw. umso größer wird die Ausfallrate. Und, je kleiner die Nasenlänge ist, umso kleiner wird die Lebensdauer bzw. umso größer wird die Ausfallrate.

7.2.1 Body-Flächen-Abhängigkeit

Um die Körper-Flächen-Abhängigkeit beim Prüfen mit der Nasenlänge von Struktur-Gruppen zu erhalten, bleibt die Nasenlänge konstant, während die Körper-Fläche variiert wird. Im Bild 12 wird die grafische Darstellung mit der x-Achse als breite Körper-Fläche und die y-Achse als Ausfallrate gezeigt. Je größer die Körper-Fläche ist, umso größer ist die Ausfallrate.

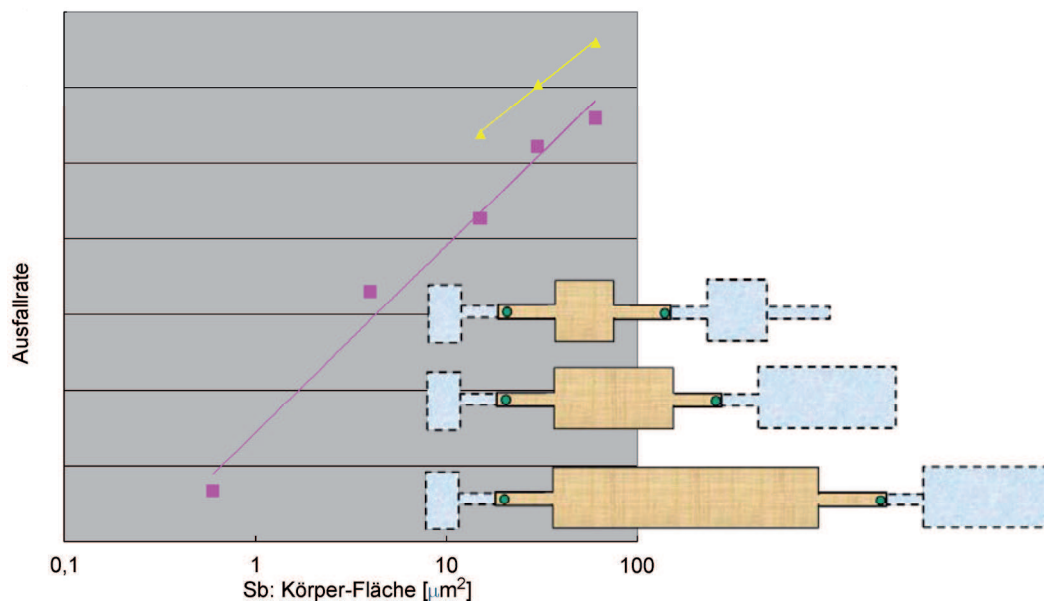


Bild 12 – Ausfallrate in Abhängigkeit von der Körper-Fläche bei Wide-Pattern

7.2.2 Nasenlängen-Abhängigkeit, Nasenbreiten-Abhängigkeit

Um die Nasenlängen- oder Nasenbreiten-Abhängigkeit beim Prüfen von Struktur-Gruppen zu erhalten, bleibt die Körper-Fläche konstant. Nasenlänge bzw. Nasenbreite werden variiert. Im Bild 13 wird die grafische Darstellung mit der x-Achse als Zeit und der y-Achse als Ausfallrate gezeigt. Je kürzer die Nasenlänge ist, umso größer wird die Ausfallrate.

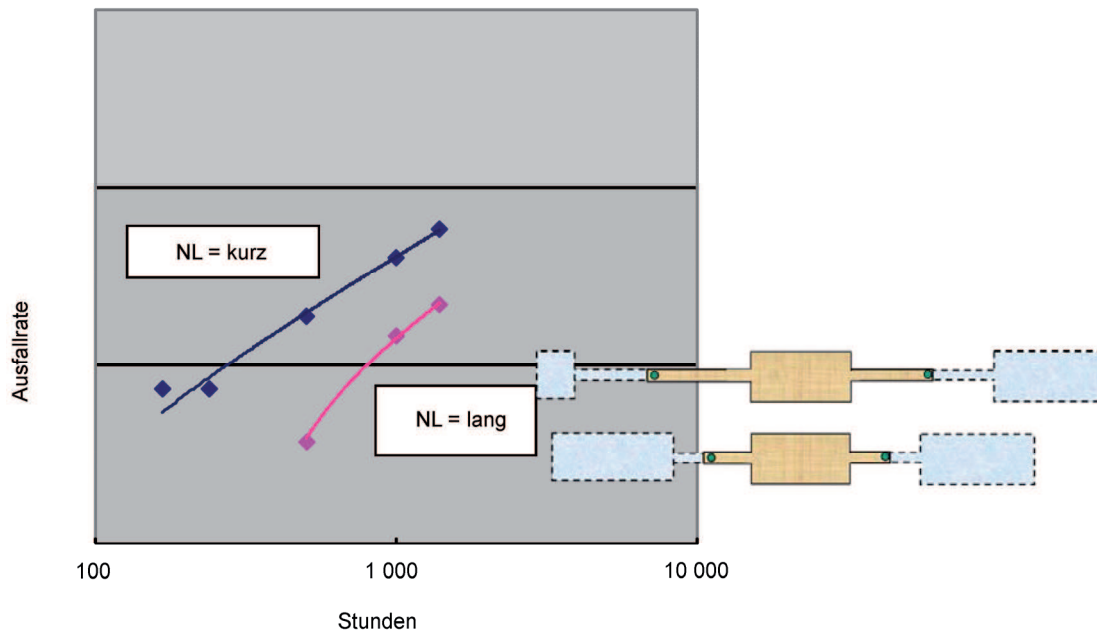


Bild 13 – Ausfallrate in Abhängigkeit von der Nasenlänge

8 Lebensdauermodell

Es sind die Lebensdauermodelle mit dem Geometriefaktor, die in Abschnitt 6 erläutert werden, für Wide-Pattern und Nose-Pattern zu entwickeln. Es ist jeweils ein Basis-Pattern aus der Gruppe der Wide-Pattern und der Nose-Pattern auszuwählen. Empfehlenswert ist die Wahl von einer Struktur, deren Ausfallrate ungefähr 63 % beträgt und deren Größe auch so weit wie möglich den Design-Regeln entspricht. F_{via} ist für das gewählte Basis-Pattern zu berechnen. Das Lebensdauermodell wird entsprechend dem folgenden Ablauf erstellt. Das experimentelle Beispiel für den Geometriefaktor wird in Anhang B beschrieben.

ANMERKUNG F_{via} kann unter Verwendung der Gleichungen (1), (2) mit der Vorgabe $N_2 = 1$ berechnet werden.

8.1 Lebensdauermodell für Wide-Pattern

Das Berechnungsbeispiel ist unten beschrieben.

8.1.1 Aktives Diffusionsmodell

$$F_{via} = (1 - \exp(-(t/(a*b))^{\beta}))^f \quad (7)$$

- t: gewünschte Lebensdauer Beispiel: 1E5(H) 10(Jahre)
- β : Formparameter der Weibullverteilung üblicher Wert 1
- a: t_{63} % unter Prüfbedingungen
- b: Temperaturfaktor Siehe Gleichungen (2) (4)
Arrheniusmodell, $E_a = 0,6$ eV bis 1,0 eV
- f: Aktive Diffusionsflächen-Abhängigkeit Beispiel: $(Seff)^{1,8}$

8.1.2 Breitenabhängigkeitsmodell

$$F_{via} = (1 - \exp(-(t/(a*b*c))^{\beta})) \quad (8)$$

- t: gewünschte Lebensdauer Beispiel: 1E5(H) 10(Jahre)
- β : Formparameter der Weibullverteilung üblicher Wert 1

- a: t₆₃ % unter Prüfbedingungen
- b: Temperaturfaktor Siehe Gleichungen (2) (4)
Arrheniusmodell, E_a = 0,6 eV bis 1,0 eV
- c: Breitenabhängigkeits-Faktor

$$C = (W)^n$$

Beispiel: n = -3 ~ -4 W ≥ 2 μm

Beispiel: n = -8 W < 2 μm

8.2 Lebensdauermodell für Nose-Pattern

$$F_{\text{via}} = (1 - \exp(-((t/(a*b*c*d))^{\beta})))^f \quad (9)$$

- t: gewünschte Lebensdauer Beispiel: 1E5(H) 10(Jahre)
- β: Formparameter der Weibullverteilung üblicher Wert 3
- a: t₆₃ % unter Prüfbedingungen
- b: Temperaturfaktor Siehe Gleichungen (2) (4)
Arrheniusmodell, E_a = 0,6 eV bis 1,0 eV
- c: Nasenlängen-Abhängigkeit
 $C = 1 + 1,75/0,75 * (NL - 0,25 \mu\text{m})$
- d: Nasenbreiten-Abhängigkeit
- f: Body-Flächen-Abhängigkeit
Beispiel: (S_a: Body-Fläche)³ üblicher Wert

9 Schätzung der Produktlebensdauer

Die Produktlebensdauer kann entsprechend der folgenden Gleichung ermittelt werden.

$$\text{target failure rate} \geq F_{\text{SIV}}(t, T_{\text{use}}) = 1 - \prod_{i=1}^{N_i} (1 - f_{\text{VIA}i}(t, T_{\text{use}})) \quad (10)$$

$F_{\text{SIV}}(t, T)$: Ausfallrate des Erzeugnisses zum Zeitpunkt t und bei der Temperatur T

t : gewünschte Lebensdauer Bsp. 10Jahre

$f_{\text{VIA}}(t, T)$: Via-Ausfallrate zum Zeitpunkt t und bei der Temperatur T

N : Via-Anzahl

ANMERKUNG Das Via ist auszuwählen und die Nose-Pattern-Vias sowie die Wide-Pattern-Vias sind zu klassifizieren und zu zählen. Siehe Anhang B.

10 Angaben, die festzulegen und aufzuzeichnen sind

Angaben, die festzulegen und aufzuzeichnen sind

- h) Temperaturen der Prüfwärmebeanspruchung;
- i) Ausfallkriterium;
- j) Leiterbahn-Struktur für die Teststruktur (Leiterbahnkonfiguration (Bahnlänge und -breite, Zwischenabstand, usw.), Via-Struktur (Leiterbahn-Breite und Leiterbahn-Länge (W, L, TW, TL), Anzahl der Vias, Via-Geometrie und Via-Position);
- k) Wafer/Bedingungen, Stichprobenumfang/Wafer;
- l) Wafer-Fertigungslos;
- m) Zeitpunkt der Überprüfung;
- n) Diagramm(e) der Teilwiderstandsänderung in Abhängigkeit von der Prüfdauer;
- o) Diagramm der Dauer bis zum Ausfall t_f in Abhängigkeit von $1/KT$, einschließlich der Aktivierungsenergie;
- p) Geometriefaktor (a, b, c, d,...) für Wide-Patter, Nose-Pattern und andere.

Anhang A (informativ)

Beispiel für Teststruktur

A.1 Allgemeines

Eine Teststruktur für Wide- und Nose-Pattern wird unten beschrieben. Die geometrische Kenngröße wird variiert, um den Geometriefaktor zu ermitteln.

A.1.1 Beispiel für Wide-Pattern-Teststruktur

Ein Beispiel für die Wide-Pattern-Teststruktur ist in Tabelle A.1 angegeben. Mit der Zunahme der Leiterbahnbreite nimmt die Lebensdauer ab und die Ausfallrate nimmt zu. Die Abhängigkeit der Strukturbreite und der Diffusionskoeffizient können mit einer Beanspruchung bei hohen Temperaturen ermittelt werden.

Tabelle A.1 – Beispiel für Wide-Pattern-Teststruktur
* DR: Design-Regel

	Via-Chain-Anzahl	W [µm]	L [µm]	Via-Anzahl	Bemerkungen
1	1,00E+04	$\text{min_DR} \times 2$	5 bis 20	1	Ermittlung der W-Abhängigkeit
2	1,00E+04	$\text{min_DR} \times 2$	5 bis 20	1	
3	1,00E+04	$\text{min_DR} \times 2$	5 bis 20	1	
4	1,00E+04	zwischen Punkt 3 und 1 µm	5 bis 20	1	
5	5,00E+03	zwischen Punkt 4 und 1 µm	5 bis 20	1	
6	5,00E+02	1	5 bis 20	1	Ermittlung von Dv
7	5,00E+02	2	5 bis 20	1	
8	5,00E+02	3	5 bis 20	1	
9	1,00E+03	3	5 bis 20	1	
10	5,00E+02	5	5 bis 20	1	
11	5,00E+02	3	5 bis 20	2	Doppel-Via-Festigkeit bestätigen

A.1.2 Beispiel für Nose-Pattern-Teststruktur

Ein Beispiel für die Nose-Pattern-Teststruktur ist in Tabelle A.2 angegeben. Die Fläche der Body-Metallisierung und die Nasenlänge bilden den Geometriefaktor für Nose-Pattern. Mit der Zunahme der Body-Metallisierungsfläche sowie der Abnahme der Nasenlänge nimmt die Lebensdauer ab und die Ausfallrate nimmt zu. Die Abhängigkeit von der Body-Fläche und der Nasenlänge kann mittels Wärmebeanspruchung ermittelt werden.

Tabelle A.2 – Beispiel für Nose-Pattern-Teststruktur

	Via-Chain-Anzahl	W [μm]	L [μm]	Sb [μm ²]	NL [μm]	NW [μm]	Via-Anzahl	Bemerkungen
1	1,00E+04	0,5	10	5	min_DR	min_DR	1	Body-Flächen-Abhängigkeit
2	1,00E+04	1	10	10	min_DR	min_DR	1	
3	1,00E+04	2	10	20	min_DR	min_DR	1	
4	1,00E+04	2	20	40	min_DR	min_DR	1	
5	1,00E+04	2	30	60	min_DR	min_DR	1	
6	1,00E+04	1	20	20	min_DR	min_DR	1	Body-Form-Abhängigkeit
7	1,00E+04	0,5	40	20	min_DR	min_DR	1	
8	1,00E+04	min DR	20/W	20	min_DR	min_DR	1	
9	1,00E+04	min DR*2	20/W	20	min_DR	min_DR	1	NL-Abhängigkeit
10	1,00E+04	2	10	20	min_DR/2	min_DR	1	
11	1,00E+04	2	10	20	min_DR*2	min_DR	1	NW-Abhängigkeit
12	1,00E+04	2	10	20	min_DR	min_DR*2	1	
13	1,00E+04	2	10	20	min_DR	min_DR*3	1	Doppel-Via-Festigkeit bestätigen
14	1,00E+04	2	10	20	min_DR	min_DR	2	