Burn-in von Dünnschicht-Hybridschaltungen

Autor(en): **Stein, E. / Kulli, C.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **73 (1982)**

Heft 23

PDF erstellt am: **28.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-905040

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Burn-in von Dünnschicht-Hybridschaltungen

E. Stein und C. Kulli

621.382:621.3.049.77;

Die Anforderungen an eine Burn-in-Anlage, die für ein breites Spektrum von Hybridschaltungen geeignet ist, werden diskutiert. Dann folgen Überlegungen zu den Burn-in-Parametern (Schaltung, Temperatur, Dauer) und zum Schutz und zur Überwachung des Burn-in. Einige Erweiterungen des Burn-in werden beschrieben und bewertet. Typische Ergebnisse aus dem Burn-in einer grossen Zahl von Schaltungen werden präsentiert. Dann werden die Besonderheiten beim Burn-in von präzisen Analogschaltungen analysiert. Es wird gezeigt, wie Ausfälle während des Burn-in mit optisch sichtbaren Abweichungen korreliert sein können. Zum Schluss wird nachgewiesen, dass während des Burn-in tatsächlich der grösste Teil der Frühausfälle provoziert wird.

Les spécifications d'une installation de «burn-in» convenant à un large spectre de circuits hybrides sont indiquées, puis les paramètres (couplage, température, durée) ainsi que la protection et la surveillance du procédé sont discutés. Quelques extensions du burn-in sont décrites et interprétées. Des résultats typiques d'un grand nombre de circuits traités sont présentés et l'on analyse les particularités dans le cas de circuits analogiques de précision. On montre comment des défaillances durant le burn-in peuvent être mises en corrélation avec des écarts visibles optiquement. Pour terminer, on démontre que la majorité des défaillances prématurées sont réellement provoquées par le burn-in.

1. Einführung

Hybridschaltungen sind aktive, elektronische Bauelemente, die aus Halbleiterchips, Widerständen, Kondensatoren und seltener auch Spulen bestehen, welche auf ein geeignetes Substrat aufgebracht sind. Bei hoher Komplexität weisen Hybridschaltungen in der Regel bessere Qualität und Zuverlässigkeit auf als die entsprechenden Leiterplatten. Dank ihrer kleinen Dimensionen und ihrer robusten Bauform können sie Vorbehandlungen (Screening) unterworfen werden, die bei Leiterplatten nur teilweise möglich sind.

Die Vorbehandlung besteht in einer Folge von Beanspruchungen, denen ein Bauelement unterworfen wird, mit der Absicht, die Frühausfälle zu provozieren und den Wert der Ausfallrate zu senken [1; 2]. Die Vorbehandlung ist somit nicht zerstörend. Bei einem Qualifikationstest wird man hingegen die Belastung soweit erhöhen, dass eine Zerstörung des Prüflings wahrscheinlich wird.

Tabelle I zeigt die Vorbehandlungsschritte, die der Hersteller von Hybridschaltungen zur Erreichung hoher Qualität und Zuverlässigkeit durchführt. Dabei gilt auch die interne visuelle Kontrolle als Vorbehandlung, weil mögliche Schwachstellen erkannt und eliminiert werden können.

Burn-in [3] ist einer der wichtigsten Vorbehandlungsschritte und besteht darin, die Schaltungen für eine bestimmte Zeit bei erhöhter Temperatur zu betreiben. Dadurch sollen die Frühausfälle noch vor Auslieferung der Schaltungen an den Kunden auftreten. Im folgenden wird nur noch der Burn-in betrachtet.

2. Komplexität und Anwendungsgebiete der Hybridschaltungen

Hybridschaltungen sind hochwertige, zumeist kundenspezifische Bauelemente, die für den internen Bedarf und für den freien Markt hergestellt werden [4; 5]. Die Komplexität geht bei Digitalschaltungen bis zu 20 MSI-Chips und 500 Bonddrähten. Bei Analogschaltungen werden bis zu 70 Halbleiterchips, 50 Dünnschichtwiderstände und 300 Bonddrähte verwendet. Die Verlustleistung liegt meistens zwischen einigen mW und 3 W. Gehäuse mit 8 bis 60 Pins sind verfügbar.

Die wichtigsten Anwendungsgebiete sind die Militärelektronik, Avionik, Messtechnik und die Nachrichtenübertragung. Bei diesen Anwendungen wird vorwiegend die Dünnschichttechnologie verwendet. Es besteht ein breites

Vorbehandlungsschritte für Hybridschaltungen Tabelle I

Vorbehandlungsschritt	MIL-STD 883B	Übliche Parameter
Interne visuelle Kontrolle	2017	Liste zulässiger und unzulässiger Abweichungen in Geometrie, Form, Farbe, Oberflächenbeschaffenheit
Lagerung bei hoher Temperatur (Stabilization bake)	1008	24 h, 150 °C
Temperaturzyklen	1010	- 65 °C bis + 125 °C, 10 Zyklen
Zentrifugieren (konstante Beschleunigung)	2001	2000 g bis 20 000 g je nach Grösse des Substrats und der Hybridbauelemente
Externe visuelle Kontrolle	2009	wie bei der internen visuellen Kontrolle
Lecktest	1014	Grob- und Feinleck, Leckrate kleiner als $5 \cdot 10^{-8}$ at cm^3/s
Elektrische Prüfung	*)	Statische und dynamische Funktion, statische und dynamische Parameter, sofern Bestimmung der Parameterdrift gewünscht wird
Burn-in	1015	85 bis 125 °C je nach Schaltungstyp, 168 h
Elektrische Prüfung	*)	Statische und dynamische Funktion; statische und dynamische Parameter

*) Gemäss schaltungsspezifischen Vorschriften

Dieser Aufsatz ist eine erweiterte Fassung eines Vortrages an der SAQ-Fachtagung Elektronik vom 26. März 1982.

Spektrum [5] von analogen (insbesondere präzise Analogschaltungen), digitalen, gemischt analog-digitalen und optoelektronischen Hybridschaltungen.

Die Breite des Produktespektrums hat wesentliche Konsequenzen für den Burn-in, was in den nachfolgenden Abschnitten sichtbar wird.

3. Anforderungen an eine Burn-in-Anlage

Bei der Auslegung einer Burn-In-Anlage für Hybridschaltungen sind folgende Forderungen zu beachten:

- Kapazität je Ofen etwa 10 000 Schaltungen/Jahr
- Flexibilität für Losgrössen von 30 bis 150 Schaltungen pro Typ und Burn-in-Durchlauf
- Flexibilität bei der für den dynamischen Burn-in notwendigen Beschaltung
- Flexibilität für verschiedene Gehäuseformen und Pinzahlen.
- Dasselbe System soll auch für Lebensdauertests und Messungen im Temperaturbereich verwendbar sein [6].

Die käuflichen Burn-in-Systeme sind für Standard-DIL-Gehäuse gut geeignet, weniger aber für den Burn-in von Hybridschaltungen gemäss den obigen Forderungen. Deshalb war der Selbstbau einer Burn-in-Anlage notwendig. Folgende Merkmale sind wesentlich:

- Standard-Temperaturschrank, verwendbar bis 200 °C
- Die Burn-in-Karten sind Europakarten mit Universal-Leiterbahnmuster. Sie sind für die wichtigsten Gehäuseformen geeignet und enthalten 10 Plätze. Pro Karte sind 25 Sammelleitungen vorhanden.
- Buchsenleiste mit 4 Gruppen von je 3 parallelgeschalteten 25poligen Steckern. Aus dem Burn-in-Schrank wird ein Bündel mit 100 Leitungen herausgeführt.
- Buchsenfeld mit 100 Buchsen zum Anschliessen der Speisungen, Generatoren und sonst noch notwendigen Geräte.

Figur 1 zeigt das Prinzipschaltbild einer solchen Anlage mit zusätzlichen Vorrichtungen zur Überwachung des Burn-in und zum Schutz der Schaltungen.

4. Probleme beim Festlegen der Burn-in-Verfahren

4.1 Burn-in-Schaltung

Bei komplexen Schaltungen muss ein dynamischer Burn-in durchgeführt werden. Dies folgt aus physikalischen Überlegungen und wird in [7] bestätigt.

Im Falle einer Diode kann ein statischer Burn-in die Diode entweder in Durchlass- oder in Sperrichtung belasten. Es gibt aber Ausfallmechanismen, die nur durch eine der beiden Belastungen aktiviert werden [8]. Eine Oberflächenverunreinigung führt zu erhöhtem Leckstrom und wird durch erhöhte Temperatur und Sperrspannung aktiviert. Wenn hingegen ein Bondproblem vorliegt, ist der Ausfallmechanismus ein Kurzschluss oder eine Unterbrechung und er wird durch erhöhten Durchlaßstrom aktiviert.

Ein dynamischer Burn-in erfordert bei komplexen Schaltungen einen erheblichen Aufwand für Clock- und Eingangssignale.

Damit der Ausfall einer Schaltung nicht den Burn-in eines ganzen Loses beeinträchtigt, können Entkopplungswiderstände bei den Eingängen der einzelnen Schaltungen vorgesehen werden. Falls die Eingangssignale periodisch überwacht werden, ist es möglich die Eingänge bei kurzschlusssicheren Generatoren direkt parallel anzusteuern. Die Ausgänge können entweder mit einem Lastwiderstand belastet oder, wenn der Aufwand bei einer komplexen Schaltung zu gross wird, offengelassen werden. Zudem sind häufig noch Abblockkondensatoren auf den Burn-in-Platten vorzusehen, um parasitäre Schwingungen zu vermeiden.

4.2 Burn-in Temperatur und Dauer

Im allgemeinen wird der Burn-in bei maximaler Umgebungstemperatur und maximaler Belastung durchgeführt. Dabei muss jeweils sorgfältig überprüft werden, bei welcher Umgebungstemperatur die maximal zulässige Temperatur für die einzelnen Bauelemente erreicht wird, denn eine Überschreitung der maximal zulässigen Sperrschichttemperatur während des Burn-in gilt als zerstörend. Normalerweise kann eine gleichmässige Substrattemperatur angenommen und die im Burn-in zulässige Verlustleistung einer Schaltung ermittelt werden gemäss:

$$N = (T_{max} - T_{bi}) / R_{th}$$

Dabei ist T_{max} die maximal zulässige Sperrschichttemperatur, T_{bi} die Burn-in-Temperatur und R_{th} der thermische Widerstand von der Sperrschicht zur Umgebung.

In kritischen Fällen, wo keine gleichförmige Erwärmung des Substrates angenommen werden kann, muss die Temperaturverteilung auf dem Substrat durch Rechnung oder Messung z.B. mit einem Infrarot-Mikroskop ermittelt werden. Figur 2 zeigt als Beispiel die Temperaturverteilung in

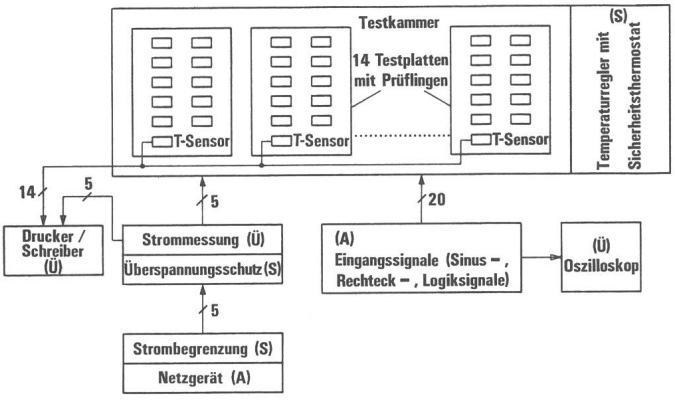

Fig. 1 Blockschaltbild einer Burn-in-Anlage
A Ansteuerung der Testobjekte
S Schutz der Testobjekte
Ü Überwachung und Dokumentation

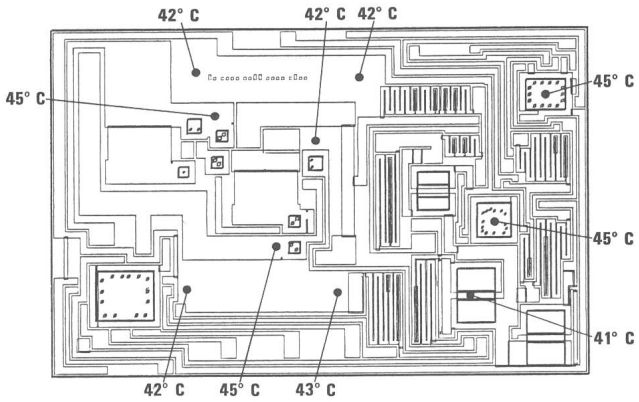

Fig. 2 Temperaturverteilung in einer Hybridschaltung
Umgebungstemperatur: 26 °C

Beschleunigungsfaktor bei einer Aktivierungsenergie von 0,3 eV

Tabelle II

Temperatur	Beschleunigungs-Faktor bezogen auf 25 °C	Äquivalente Betriebsdauer
25 °C	1	8 Monate
44 °C	2	4 Monate
65 °C	4	2 Monate
90 °C	8	1 Monat
118 °C	16	2 Wochen
151 °C	32	1 Woche

einer Hybridschaltung unter normalen Betriebsbedingungen.

Die Burn-in-Dauer soll so gewählt werden, dass während dieser Zeit alle Frühausfälle eintreten. Dies entspricht dem Punkt der «Badewannenkurve» an dem die Periode der Frühausfälle in die Periode der konstanten Ausfallrate übergeht. Erfahrungsgemäss treten die Frühausfälle bei normalem Betrieb innerhalb von einigen Monaten auf.

Wenn man fordert, dass die Burn-in-Dauer einer Betriebsdauer von 8 Monaten bei 25 °C entspricht und von einer Aktivierungsenergie von 0,3 eV ausgeht, verlangt das Arrhenius-Modell

$$A = A_0 \, e^{-E_A/kT}$$

für einen Beschleunigungsfaktor $f = 2$ Temperaturerhöhungen gemäss Tabelle II. Für eine Burn-in-Temperatur von 125 °C ist dann eine Dauer von ungefähr 2 Wochen (336 h) notwendig. In der Praxis zeigt sich jedoch, dass die Aktivierungsenergie oft grösser als 0,3 eV ist. Damit kann die Burn-in-Dauer niedriger gewählt werden, ein Wert von 160 h ist allgemein üblich. Generell ist eine Argumentation mit Aktivierungsenergien bei Hybridschaltungen schwierig, da viele verschiedene Aktivierungsenergien zu betrachten sind.

4.3 Schutz und Überwachung des Burn-in

Zum Schutz der Schaltungen und zur Überwachung des Burn-in sind einige Massnahmen notwendig, siehe Figur 1. Bei grosser Packungsdichte muss dafür gesorgt werden, dass im Burn-in-Ofen kein unzulässiger Temperaturgradient entsteht (Luftumwälzung, lokale Wärmeabfuhr, Test in inerter Flüssigkeit). Der Ofen muss über einen Sicherheitsthermostat verfügen, damit die Anlage bei einem Ausfall des Temperaturregelkreises abgeschaltet wird.

Die Speisespannungen sollten mit einem Überspannungsschutz (Crowbar) überwacht werden. Die Netzgeräte sind mit einer einstellbaren Strombegrenzung zu versehen. Alle Eingangssignale und Speisespannungen müssen periodisch kontrolliert werden. Der Speisestrom wird gemessen und überwacht. Daraus ergeben sich häufig Hinweise auf Ausfälle von Prüflingen. Zur Dokumentation des Ablaufs des Burn-in ist ein Schreiber oder Drucker für Temperatur und Speisespannungen vorzusehen. Beim Burn-in sind ferner die üblichen Massnahmen gegen elektrostatische Entladungen zu berücksichtigen.

5. Weitere Möglichkeiten für den Burn-in

5.1 Kombination Burn-in und Funktionstest

Ein wesentliches Merkmal des dynamischen Burn-in ist, dass viele Schaltungen parallel in einer Art betrieben werden, die einem Funktionstest entspricht. Wenn man diese Erkenntnis systematisch erweitert, ergeben sich folgende Möglichkeiten:

1. Überwachung der Ausgänge aller Schaltungen während der gesamten Burn-in-Dauer. Damit können intermittierende Fehler und Soft-Errors gefunden werden, die bei einer herkömmlichen Schlussprüfung mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht gefunden werden.

2. Variation der Temperatur, um transiente Fehlfunktionen bei Temperaturschwankungen zu erkennen. Die Änderungsgeschwindigkeit der Temperatur kann gering (1 °C/min) oder gross (1 °C/s) sein.

Die beiden Möglichkeiten können auch kombiniert werden. Geräteentwicklungen in dieser Richtung werden in [6; 9] beschrieben. Wenn die zweite Variante durchgeführt, aber nur bei konstanter Temperatur entsprechend der maximalen und der minimalen spezifizierten Betriebstemperatur der Schaltungen gemessen wird, ist eine Integration von Burn-in und Funktionstest bei Extremtemperaturen gegeben. Dadurch lässt sich der Handling-Aufwand im Vergleich zu getrennten Tests vermindern. Andererseits sind aber Genauigkeit und Maximalfrequenz des Funktionstests innerhalb der Burn-in-Anlage durch die grosse Länge der Verdrahtung reduziert.

5.2 Burn-in an den offenen Hybridschaltungen

Hybridschaltungen, die nach der Herstellung infolge defekter Chipbauelemente nicht in Ordnung sind, können repariert werden. Dies ist auch bei hochwertigen Hybridschaltungen allgemein üblich. Wenn jedoch der Ausfall während des Burn-in auftritt, müssen sie verschrottet werden, da ein zweimaliges Verschliessen der Gehäuse in der Regel nicht möglich ist.

Da komplexe Hybridschaltungen sehr teuer sein können, wurde vorgeschlagen, den Burn-in an den offenen Schaltungen durchzuführen. Schaltungen die dann im Burn-in ausfallen, können repariert werden. Die durch das Verschrotten verursachten Kosten werden wesentlich verringert. Andererseits ist aber das Handling der offenen Schaltungen sehr problematisch und das Risiko einer mechanischen Beschädigung gross. Zudem wird eine inerte Atmosphäre während des Burn-in benötigt. Dies erhöht den Aufwand zusätzlich und birgt das Risiko von Verunreinigungen, die zu Langzeitausfällen führen können. Aus diesen Gründen wird sich der Burn-in an den offenen Schaltungen wohl nur bei extrem komplexen Hybridschaltungen als kosteneffektiv erweisen.

5.3 Hochtemperatur-Burn-in

Es besteht eine Tendenz, zumindest für einige Bauelementeklassen eine Burn-in-Temperatur höher als 125 °C zu wählen [10]. Damit lassen sich grössere Beschleunigungsfaktoren erreichen. Andererseits besteht aber die Gefahr, dass Fehlermechanismen aktiviert werden, die unterhalb von 125 °C nicht relevant waren. Beispielsweise werden bei

Hybridschaltungen meistens Epoxy-Klebeverbindungen für die Die-Bonds verwendet, während die Übergänge von Aluminium-Leiterbahnen auf den IC-Chips zu Gold bei den Bonddrähten bimetallische Übergänge sind. Diese Verbindungen ertragen Temperaturen oberhalb von 150 °C nur kurzzeitig.

Zudem ergeben sich beim Hochtemperatur-Burn-in erhebliche Probleme mit den Leiterplatten, den Sockeln und mit den Löt- und Steckverbindungen.

6. Ergebnisse

6.1 Übersicht

Tabelle III zeigt die Ergebnisse des Burn-in verschiedener Hybridschaltungen. In der Regel zeigen 1–10% der Schaltungen Drift- oder Totalausfälle. In einigen Fällen sind keine Ausfälle während des Burn-in zu verzeichnen. In Extremfällen können aber auch 50% oder mehr der vorbehandelten Schaltungen ausfallen. Dabei ist immer ein gravierendes technologisches Problem bei der Produktion der Chips oder der Hybridschaltung die Ursache.

Totalausfälle sind fast immer auf Funktionsfehler bei Halbleiterchips (Einzelhalbleiter oder IC) zurückzuführen. Driftausfälle haben als Ursache das Driften von Widerständen, Driften der Offsetspannung von Operationsverstärkern oder die Erhöhung der Leckströme von gesperrten PN-Übergängen. Fehler, die selten auftreten, sind Totalausfälle von Schichtwiderständen und Kurzschlüsse bei Chip-Kondensatoren.

Ergebnisse bei einigen Burn-in-Losen Tabelle III

Schaltungstyp	Anzahl Gesamt	Nach Burn-in			Bemerkungen
		gut	Total-ausfall	Drift-ausfall	
D/A-Wandler 12 bit	50	50	0	0	–
D/A-Wandler 12 bit	43	22	21	0	Drift der Offset-spannung der Ausgangsverstärker
Eingabe-Interface für Rechner	25	22	0	3	Drift der Leckströme von Si-Dioden
Digitalschal-tung (7 Chips, 140 Bonds)	145	144	1	0	Totalausfall eines MSI-Chips
Aktives Filter (PCM-Tiefpass)	93	93	0	0	–
Differenz-verstärker (2 Kanäle)	66	66	0	0	Drift der Offset-spannung $\leq 10\ \mu V$, Drift der Transferfunktion $1 \cdot 10^{-5}$ bis $2 \cdot 10^{-5}$
Relaistreiber (8 Kanäle)	49	47	2	0	Bondfehler

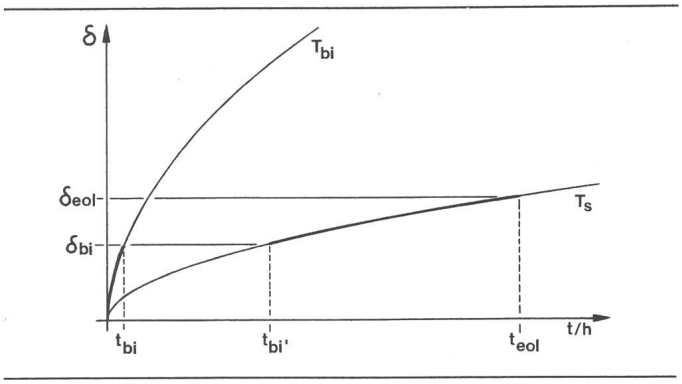

Fig. 3 Verlauf der Alterung von Dünnschichtwiderständen

6.2 Burn-in von präzisen Analogschaltungen

Bei präzisen Analogschaltungen sind für die wesentlichen Kenngrössen nur sehr geringe Toleranzen zulässig. Beispielsweise sind für die Übertragungsfunktion von Rechenverstärkern häufig maximale Toleranzen von $\pm 10^{-3}$ bis $\pm 10^{-4}$ gefordert. Das entspricht einer Widerstandsabweichung von 10 bis 1 Ω bei einem 10-kΩ-Widerstand. Diese Toleranzen müssen am Ende der spezifizierten Lebensdauer eingehalten werden. Figur 3 zeigt, wie die Alterung bei Dünnschichtwiderständen von der Zeit abhängt. Die obere Kurve gilt für die Burn-in-Temperatur, die untere für die Betriebstemperatur. Die Parameter des Burn-in sind so festzulegen, dass folgende Forderungen erfüllt werden:

- Die im Burn-in normal auftretende Alterung muss etwas grösser sein, als die Empfindlichkeit der Messeinrichtung. Sonst besteht die Gefahr, dass anormal driftende Schaltungen nicht gefunden werden.
- Die normale Drift im Burn-in darf nur so gross sein, dass die gesamt zulässige Drift am Ende der Lebensdauer nicht überschritten wird.

Eine numerische Auswertung der Alterung kann dazu führen, dass entweder die Dauer des Burn-in kürzer oder die Temperatur niedriger gewählt werden muss, als es sonst üblich ist.

Die zeitliche Drift von Dünnschichtwiderständen soll als Beispiel näher betrachtet werden. Als Alterungsgesetz kann man annehmen [11]

$$\delta = \frac{\Delta R}{R} = C \exp\left(-\frac{E_A}{2kT}\right)\sqrt{t} \qquad (1)$$

Dabei ist T die absolute Temperatur und t die Zeit in h, k die Boltzmann-Konstante. Die Konstanten C und E_A können je nach Herstellungsbedingungen stark schwanken. Typische Werte, die in Langzeitversuchen ermittelt wurden, sind: $C = 0{,}5/\sqrt{h}$ und $E_A = 0{,}6$ eV.

In Figur 3 ist die Alterung eines Dünnschichtwiderstands für zwei verschiedene Temperaturen (T_{bi} = Burn-in-Temperatur, T_s = Substrattemperatur im Betrieb) dargestellt. δ_{eol} ist die am Ende der Lebensdauer t_{eol} zulässige und δ_{bi} die im Burn-in auftretende Drift. t_{bi} ist die Burn-in-Dauer und t'_{bi} die äquivalente Burn-in-Dauer.

Aus dem Arrhenius-Modell erhält man den Beschleunigungsfaktor

$$f = \exp \frac{E_A}{k} \left(\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_{bi}} \right) \tag{2}$$

Aus (1) und (2) folgt die Beziehung

$$f = t'_{bi} / t_{bi} \tag{3}$$

Nun stellt sich die Frage, wieweit die zulässige Drift δ_{eol} bereits im Burn-in entsteht (δ_{bi}). Man erhält dazu aus (1) und (2)

$$\frac{\delta_{bi}}{\delta_{eol}} = \sqrt{f \cdot \frac{t_{bi}}{t_{eol}}} \tag{4}$$

Bei gegebenem t_{eol} kann man jetzt f und t_{bi} so dimensionieren, dass sich ein geeigneter Wert für δ_{bi}/δ_{eol} ergibt.

Für einen typischen Fall $T_s = 50\,°C$, $T_{bi} = 85\,°C$, $t_{bi} = 160\,h$, $t_{eol} = 100\,000\,h$ erhält man $f = 8.22$ und $\delta_{bi}/\delta_{eol} = 0.11$. Das heisst, dass die absolut zulässige Drift durch den Burn-in zu 11% ausgenutzt wird.

Nun sind die Schaltungen so ausgelegt, dass die wichtigsten Kenngrössen durch Verhältnisse von Widerstandswerten bestimmt sind. Damit geht nicht die absolute Alterung der Widerstände ein, sondern deren relative Alterung.

$$\delta_{12} = \frac{1 + \delta R_1/R_1}{1 + \delta R_2/R_2} \tag{5}$$

Diese beträgt in der Regel nur ⅓ bis ⅕ der absoluten Drift [12].

Die Übertragungsfunktion eines Rechenverstärkers beispielsweise, die durch Verhältnisse von Widerstandswerten bestimmt ist, wird also etwa 3% der zulässigen Drift ausnutzen. Dies ist ein vernünftiger Wert, da bei gegebener Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Messungen die zu erwartende Drift gerade eben festgestellt werden kann. Damit können Schaltungen, die wesentlich stärker driften als erwartet, einwandfrei herausgefunden werden. Würde der Burn-in für ein wesentlich kleineres δ_{bi}/δ_{eol} dimensioniert, wäre es nicht mehr möglich, normal und anormal driftende Schaltungen sicher zu unterscheiden.

6.3 Beispiele

Anhand zweier Beispiele soll gezeigt werden, wie Abweichungen der elektrischen Parameter nach dem Burn-in mit optisch sichtbaren Abweichungen in der Hybridschaltung korreliert sind.

Figur 4 zeigt einen unsauberen Trimmschnitt bei einem Dünnschichtwiderstand, wie er durch Fehlfunktion oder Fehljustierung des Lasertrimmers verursacht werden kann. Dieser Trimmschnitt führte zu einer wesentlich stärkeren Widerstandsdrift als theoretisch erwartet. Durch Vergleich der vor und nach Burn-in gemessenen Übertragungsfunktionen der Schaltung konnte der driftende Widerstand identifiziert werden.

Figur 5 zeigt einen Metallisierungsdefekt auf einem Halbleiterchip, der bei der visuellen Kontrolle mit grosser Wahrscheinlichkeit gefunden wird. Die Schaltung war vor

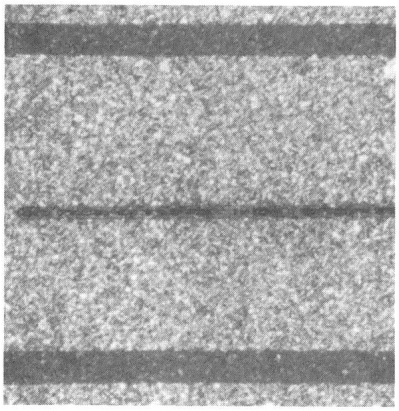

Fig. 4 Trimmschnitt in einem Dünnschichtwiderstand

Burn-in gut. Nach dem Burn-in zeigte sich ein Totalausfall, der auf das abgebildete Chip zurückgeführt werden konnte.

Ein weiteres Beispiel soll zeigen, dass der Burn-in nicht nur ein Mittel zur Elimination von Frühausfällen ist, sondern auch vertiefte Information über eine Schaltung und die darin verwendeten Bauelemente liefert, die im Entwicklungsstadium nicht verfügbar ist. Figur 6 zeigt die Statistik der Leckströme von 200 Dioden nach dem Burn-in und den zulässigen Bereichen gemäss Datenblatt. Das Histogramm zeigt, dass der spezifizierte Grenzwert vernünftig ist und die statistische Verteilung keine Abnormitäten zeigt. Es wirft aber auch die Frage auf, ob die 3 Dioden (1,5%) mit unzulässig grossem Leckstrom noch vor der Montage herausgefunden werden können.

Die Voraussetzungen zur Nutzbarmachung solcher Informationen sind:

- Grosser Prüfumfang vor und nach Burn-in
- Protokollierung aller Messwerte
- Messung mit adäquater Reproduzierbarkeit und Genauigkeit
- Auswertung muss mit geringem Zeitaufwand möglich sein

Diese Forderungen bedingen eine automatische Prüfung, wie sie beispielsweise in [5] für die Anwendung bei Kleinserien beschrieben wird.

6.4 Wirksamkeit des Burn-in

Nach Tabelle III fallen im Burn-in typisch 1% bis 10% der Schaltungen aus. Dies entspricht einer Ausfallrate wäh-

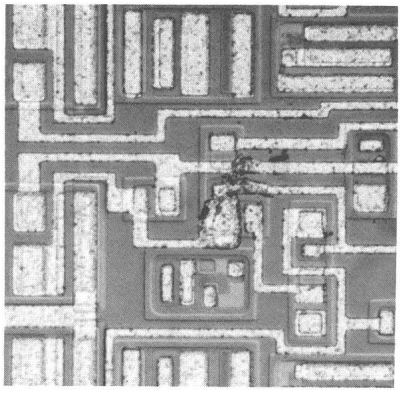

Fig. 5 Metallisierungsdefekt auf einem Halbleiterchip

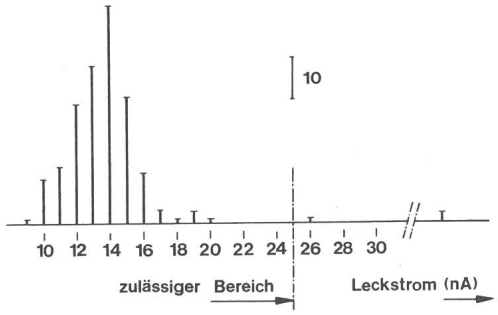

Fig. 6 Verteilung der Leckströme von 200 Dioden

rend der Periode der Frühausfälle von 10^{-4} h^{-1} bis 10^{-3} h^{-1}. In [5] wurde über Ergebnisse von Lebensdauertests berichtet, die bei 110 °C im Anschluss an den Burn-in durchgeführt wurden. Bei dieser Temperatur zeigte sich eine Ausfallrate von kleiner als 10^{-5} h^{-1}. Da in diesem Test gar keine Ausfälle auftraten, sind also insbesondere keine Frühausfälle aufgetreten. Daraus kann geschlossen werden, dass der Burn-in das Ziel der Elimination der Frühausfälle erreicht.

Literatur

[1] *A. Birolini:* Das Zentrum des SEV für die Evaluation und Kontrolle elektronischer Komponenten – Aufgaben und Aufbau. Bull. SEV/VSE 70(1979)21, S. 1173...1177.

[2] *A. Birolini:* Bedeutung der Prüfung und Vorbehandlung elektronischer Bauteile und Geräte. Bull. SEV/VSE 72(1981)15, S. 805...811.

[3] *E. Schaefer:* Burn-in – Was ist das? Qualität und Zuverlässigkeit 25(1980)10, S. 296...304.

[4] *K. Osswald* und *E. Stein:* Kundenspezifische Hybridschaltungen. Technische Möglichkeiten, wirtschaftliche Überlegungen und Anwendungen. Teil I/II. Elektroniker 18(1979)10, S. EL 1...EL 8 und Nr. 11 S. EL 7...EL 11.

[5] *E. Stein:* Kleinseriefertigung von Hybridschaltungen für hohe Anforderungen. Bull. SEV/VSE 72(1981)7, S. 331...334.

[6] *D. Feldmann:* Gedanken zur Wirtschaftlichkeit und zur zukünftigen Entwicklung von Burn-in-Systemen. Elektronik, Produktion und Prüftechnik –(1980)5, S. 196...197.

[7] *R. Brinkebäck:* Reliability experiences of hi-rel hybrid manufacturing. Proceedings of the European Hybrid Microelectronic Conference, Avignon, 1981; p. 228...238.

[8] *T.I. Băjenescu:* Zuverlässigkeit elektronischer Komponenten. Teil 4: Zuverlässigkeit von Halbleiterdioden und Gleichrichtern. Feinwerktechnik und Messtechnik 89(1981)8, S. 388...392.

[9] *G. Strömsdörfer:* Burn-in – der Preis für die elektronische Revolution. Elektronik, Produktion und Prüftechnik –(1980)5, S. 204...207.

[10] *R.J. Andrejasich:* Why burn-in testing Electronic Packaging and Production –(1978)7, p. 234...240.

[11] *E. Lüder:* Bau hybrider Mikroschaltungen. Einführung in die Dünn- und Dickschichttechnologie. Nachrichtentechnik Band 3. Berlin/Heidelberg/New York, Springer-Verlag, 1977.

[12] *G. Zinsmeister:* Materials and applications for thin films in hybrid microelectronics. Electrocomponent Science and Technology 6(1980)–, p. 209...214.

Adresse des Autors

Erich Stein und *Charles Kulli*, Contraves AG, Schaffhauserstrasse 580, 8052 Zürich.