

Halbleitertechnologie von A bis Z

Zuverlässigkeit

Burn-in und HTOL-Tests	3
<i>Die Badewannenkurve und der Zweck des Burn-in</i>	<i>3</i>
<i>HTOL-Testbedingungen</i>	<i>3</i>
<i>Das Arrhenius-Modell zur Lebensdauerabschätzung</i>	<i>4</i>

Burn-in und HTOL-Tests

Die Badewannenkurve und der Zweck des Burn-in

Die Ausfallrate elektronischer Bauelemente über der Betriebszeit folgt typischerweise der sogenannten Badewannenkurve: Zu Beginn der Nutzungsdauer treten gehäuft Frühausfälle durch Fertigungsdefekte auf (fallende Ausfallrate), es folgt eine lange Phase konstant niedriger Zufallsausfälle – häufig angegeben in FIT (Failures In Time, Ausfälle pro 10^9 Bauteilstunden) und typischerweise im Bereich weniger bis einiger hundert FIT für qualifizierte Halbleiterbauelemente –, bevor gegen Ende der Lebensdauer Verschleißausfälle durch Alterungsmechanismen wie Elektromigration, TDDB oder BTI die Ausfallrate wieder ansteigen lassen.

Burn-in bezeichnet einen Stresstest, bei dem Bauelemente für einen definierten Zeitraum, häufig 24 bis 168 Stunden, unter erhöhter Spannung und Temperatur betrieben werden, um die Frühausfallphase der Badewannenkurve vorwegzunehmen und defektbehaftete Bauteile vor der Auslieferung an den Kunden auszusortieren. Da Burn-in Kosten und Testzeit verursacht, wird er meist gezielt für Anwendungen mit hohen Zuverlässigkeitsanforderungen wie Automotive- oder Industrieelektronik eingesetzt, während er bei Consumer-Produkten mit ausgereiften, gut beherrschten Prozessen häufig durch statistische Stichprobenverfahren ersetzt wird.

HTOL-Testbedingungen

Highly Accelerated Temperature and Operating Life (HTOL) ist ein standardisierter Qualifikationstest, bei dem eine Stichprobe von Bauelementen – nach JEDEC JESD22-A108 häufig 77 Bauteile aus mindestens drei unterschiedlichen Fertigungslosen – über einen Zeitraum von typischerweise 1000 Stunden bei erhöhter Sperrschichttemperatur (häufig 125 °C, bei manchen Technologien auch 150 °C) und erhöhter Betriebsspannung im aktiven Schaltbetrieb belastet wird. Die Prüflinge werden vor, während und nach dem Test elektrisch charakterisiert, um Parameterdrifts oder Funktionsausfälle zu erkennen.

Für ein Bestehen des Tests wird üblicherweise gefordert, dass innerhalb der Stichprobe kein Bauteil ausfällt (Zero-Fail-Kriterium), was bei einer Stichprobe von 77 Einheiten statistisch einer Ausfallrate von unter etwa 0,3 % bei 60 % Konfidenzniveau entspricht. HTOL deckt in erster Linie diffusionsgetriebene und feldabhängige Alterungsmechanismen wie Elektromigration, TDDB und BTI ab und ergänzt damit ESD- und Latchup-Qualifikation um die zeitabhängige

Betriebszuverlässigkeit.

Das Arrhenius-Modell zur Lebensdauerabschätzung

Da ein Test unter Nennbedingungen für die geforderten Feldlebensdauern von zehn Jahren und mehr nicht praktikabel wäre, werden HTOL-Tests bei erhöhter Temperatur durchgeführt und die Ergebnisse mithilfe des Arrhenius-Modells auf die Betriebstemperatur extrapoliert. Das Modell beschreibt die Geschwindigkeit eines thermisch aktivierten Alterungsmechanismus als Exponentialfunktion $k(T) = A \cdot e^{-E_a/(k \cdot T)}$ des Kehrwerts der absoluten Temperatur, gewichtet mit einer für den jeweiligen Ausfallmechanismus charakteristischen Aktivierungsenergie E_a .

Aus dem Verhältnis der Ausfallzeiten bei Testtemperatur und Betriebstemperatur ergibt sich ein Beschleunigungsfaktor $AF = e^{(E_a/k) \cdot (1/T_{\text{use}} - 1/T_{\text{test}})}$. Für einen typischen TDDB-Mechanismus mit $E_a \approx 0,7 \text{ eV}$, einer Testtemperatur von 125 °C (398 K) und einer angenommenen Betriebstemperatur von 55 °C (328 K) ergibt sich ein Beschleunigungsfaktor von etwa 40 bis 50 – 1000 Teststunden entsprechen unter diesen Annahmen also einer äquivalenten Felddetriebszeit von rund 4 bis 5 Jahren. Da unterschiedliche Ausfallmechanismen unterschiedliche Aktivierungsenergien besitzen – TDDB und Elektromigration liegen typischerweise im Bereich von 0,6 bis 1 eV –, muss für eine belastbare Lebensdauervorhersage der jeweils dominante Mechanismus bekannt sein.