

Lagerfähigkeit und Alterungsmechanismen von elektronischen Bauteilen und Komponenten

Storability and aging mechanisms of electronic components and devices

Holger Krumme, Thomas Kuhn, Halbleiter-Test & Vertriebs-GmbH, Bensheim, Deutschland, info@htv-gmbh.de

Kurzfassung

Stetige Weiterentwicklung, Innovationen und gesetzliche Vorgaben sorgen dafür, dass seitens der Hersteller immer mehr elektronische Bauteile binnen kürzester Zeit obsolet und somit abgekündigt werden noch bevor das letzte Produkt gefertigt wurde [1] [2]. Ein Obsoleszenz Management (OM) zur Ersatzteilversorgung ist daher unausweichlich. Alle Ausführungen des OM beinhalten die Langzeitlagerung kritischer Bauteile als notwendiger Bestandteil, da nicht für jedes Bauteil die zukünftige Versorgungslage fehlerfrei abgeschätzt werden kann. Alterungsprozesse und deren Risikofaktoren für die Lagerung verdeutlichen, dass eine einfache Lagerung elektronischer Bauteile und Baugruppen in Dry-Packs oder Stickstoff-Dry-Packs nicht ausreicht, um die zukünftige Zuverlässigkeit der elektronischen Bauteile sicherzustellen. HTV bietet mit der Thermisch-Absorptive-Begasung TAB[®] ein weltweit einmaliges Verfahren, das die Alterung elektronischer Bauteile und Baugruppen drastisch reduziert und eine Bauteilversorgung für bis zu 50 Jahre sicherstellt.

Abstract

Due to continuous development, innovation and legal requirements electronic components increasingly become obsolete within a very short period of time, and thus be discontinued by the manufacturers before the last product has been manufactured [1] [2]. Obsolescence management (OM) for spare parts supply is therefore inevitable. All versions of the OM consider long-term storage of critical components as essential, since the future supply situation can not be estimated accurately for each component. Aging processes and their risk factors for storage clearly show that simple storage of electronic components and assemblies in dry packs or nitrogen dry packs is not sufficient to ensure the future reliability of the electronic components. With TAB[®] thermal-absorptive gas barrier, HTV offers a worldwide unique process that significantly reduces the aging of electronic components and assemblies and ensures component supply for up to 50 years.

1 Obsoleszenz & Abkündigungssituation

Stetige Weiterentwicklung, Innovationen und gesetzliche Vorgaben sorgen dafür, dass seitens der Hersteller immer mehr elektronische Bauteile binnen kürzester Zeit obsolet und somit abgekündigt werden noch bevor das letzte Produkt gefertigt wurde [1] [2].

Jeder Hersteller benötigt daher ein Obsoleszenz Management (OM) um die mangelnde Ersatzteilverfügbarkeit zur Wartung und Reparatur eigener Produkte und Investitionsgüter sicherzustellen und somit deren Lebenszyklen zu verlängern.

Das OM kann dabei rein reaktiv sein und Maßnahmen einsetzen wie: Last-Time-Buy, Aufter-Market-Supply, Redesign und Langzeitlagerung. Besser wäre jedoch die Verwendung eines proaktiven OMs, welches aktive Risikobewertung der Bauteile und deren Verfügbarkeit z. B. über ein Internetportal beinhaltet [3]. Am sichersten ist jedoch ein strategisches OM, bei dem zusätzlich bereits zur Entwicklungszeit Entscheidungen getroffen werden, welche Bauteile eingesetzt werden dürfen und welche Alternativen offen stehen, falls ein Lieferengpass entstehen sollte. Da aber nicht für jeden Fall alle Risiken ausgeschlossen werden können, beinhalten sämtliche Varianten des OM als Maßnahme die Langzeitlagerung kritischer Bauteile [4].

2 Alterungsprozesse & Risikofaktoren

In einem ersten Schritt sollte im Vorfeld der aktuelle Anfangszustand der zu lagernden Komponenten erfasst werden. Dabei ist zu ermitteln, ob die elektronischen Bauteile mechanisch und elektrisch einwandfrei sind und welche Risiken während der Lagerung zu erwarten sind (Abbildung 1).

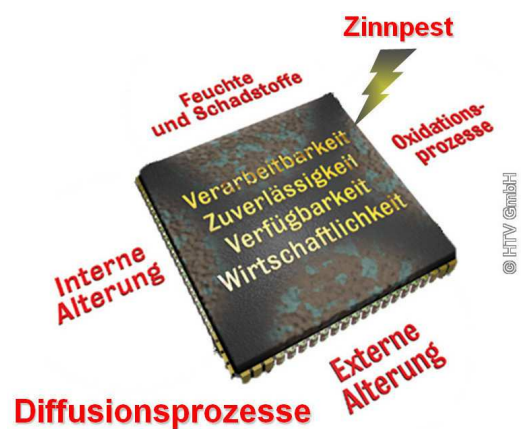


Abbildung 1: Während der Lagerung altern elektronische Bauteile und Baugruppe aufgrund unterschiedlicher Alterungsprozesse.

2.1 Analyse der Alterung

Zur Untersuchung der Alterungsprozesse stehen unterschiedlichste Verfahren zur Verfügung z. B.:

- Lichtmikroskopie
- Mikroschliffe
- Rasterelektronenstrahlmikroskopie
- Materialbestimmung mittels Röntgenspektroskopie
- Schichtdickenmessungen
- Nanoindentation (Eindringprüfung)
- Lötbarkeitstests
- Röntgeninspektion
- Elektrische Tests
- Schertests

2.2 Oxidation & Korrosion

Abbildung 2 zeigt die unterschiedliche Oxidation/Korrosion an der Stanzkante zweier Pins. In der linken Hälfte des Bildes ist noch deutlich die rötliche Färbung des Kupfer-Trägermaterials erkennbar. Rechts im Bild ist das Kupfer schon deutlich verfärbt und weist damit eine fortgeschrittene Oxidation/Korrosion auf.

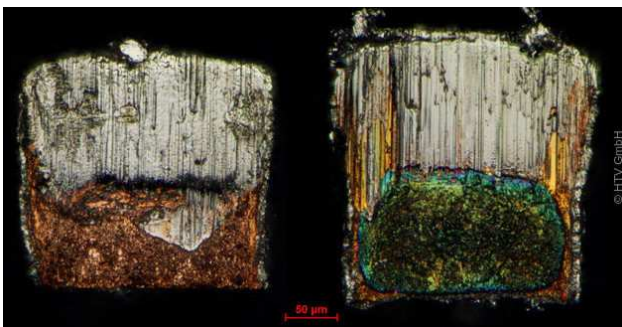


Abbildung 2: Stanzkanten zweier Pins. Links: Frische Stanzkante, keine Oxidation/Korrosion. Rechts: Korrodierte Stanzkante, deutliche Verfärbung der Oberfläche

Abbildung 3 zeigt den Verlauf der Benetzungskräfte an den Anschlusspins von QFP-Bauteilen während eines Benetzungstest in Anlehnung an den JEDEC Standard J-STD-002. Die Abbildung zeigt links den Verlauf der Benetzungskräfte vor Beginn einer Standard-Drypack-Lagerung und rechts die Benetzungskräfte nach einer Lagerzeit von 3 Jahren. Innerhalb dieses Zeitraums weisen die Pins in dieser Untersuchung eine Reduktion der Benetzbarkeit um ca. 75% aufgrund von Oxidationen auf.

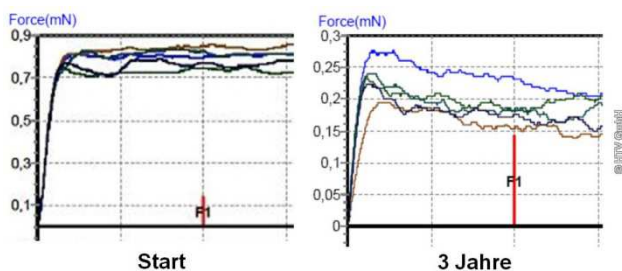


Abbildung 3: Verlauf der Benetzungskräfte an den Pins von QFP-Bauteilen. Link: zu Beginn der Untersuchung. Rechts: Nach 3 Jahren.

2.3 Schadstoff-Ausgasung

Stoffe wie Weichmacher, Flammschutz- und Lösungsmittel gasen während der Dry-Pack-Lagerung aus den Bauteilen und deren Verpackung (Trays, Stangen, Rolle und Blistergurt) aus. Es besteht die Gefahr, dass diese Stoffe von den Kontaktflächen der elektronischen Bauteile adsorbiert werden und dort zu Korrosionseffekten führen (Abbildung 4). Spuren von Phosphor im Spektrum der energiedispersiven Röntgenanalyse können dann z. B. ein Hinweis auf phosphorhaltige Flammschutzmittel sein (Abbildung 5).

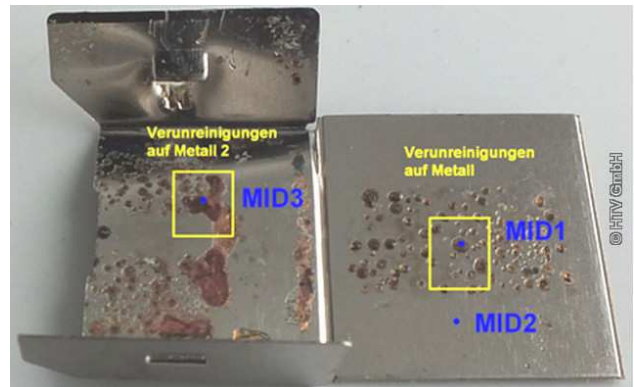


Abbildung 4: Die Ausgasung von Schadstoffen während der Lagerung kann zu Korrosionseffekten an metallischen Oberflächen führen.

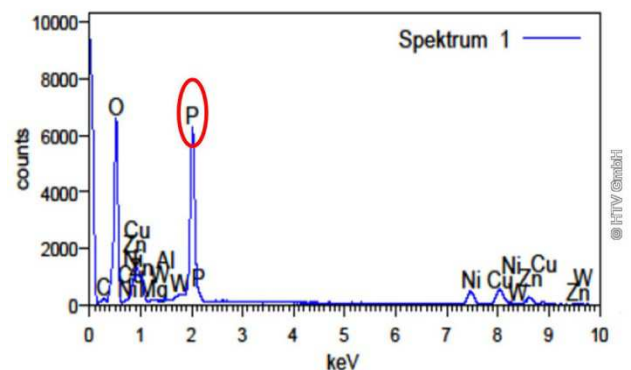


Abbildung 5: Vermessung von Verunreinigung auf einer metallischen Oberfläche (CuSnNi).

In speziell von HTV entwickelten Absorptionsmaterialien konnte nach einer Lagerzeit von 3 Jahren in einer Standard-Drypack-Lagerung von 750 BGA-Bauteilen auf Trays mittels einer Gas-Chromatograph-Massen-Spektroskopie eine Vielzahl ausgegaster Stoffe festgestellt werden.

2.4 Alterung von Kunststoffen

Das Langzeitverhalten von Kunststoffen wird überwiegend durch den chemischen Abbau dominiert [7]. Dabei werden die Makromoleküle entweder ausgehend von der Oberfläche (z. B. diffusionskontrollierte Oxidation) oder homogen (z. B. Hydrolyse) abgebaut. Auslöser können sowohl innere als auch äußere Faktoren wie z. B. Wärme-, Licht- und Sauerstoffeinwirkungen sowie Feuchtigkeit und Verunreinigungen sein. Parallel zu chemischen Alte-

rungsprozessen laufen aber auch physikalische Alterungsprozesse ab (z. B. Weichmacherverlust, Weichmacherwanderung), die aufgrund der komplexen Wechselwirkungen häufig nicht eindeutig unterschieden werden können [7]. So können sich während der Alterung die Eigenschaften wie Glasübergangstemperatur (T_g), Dichte und Härte ändern sowie Risse oder Brüche im Kunststoff auftreten. Ebenso hat die Alterung Auswirkungen auf die elektrischen Eigenschaften wie z. B. die Durchschlagsfestigkeit und den Oberflächenwiderstand.

2.5 Äußere Diffusionsprozesse

Bei der äußeren Diffusion wird besonders das Wachstum der intermetallischen Phasen zur Bewertung der Alterung herangezogen. Zinn bildet in Verbindung mit Gold, Silber, Nickel und Kupfer intermetallische Phasen aus [5]. Die Wachstumsgeschwindigkeit dieser intermetallischen Schichten ist von der Temperatur abhängig und führt zu einer Versprödung der Lötstelle mit geringerer Dauerfestigkeit, da die Schichten aufgrund von Valenzbindungen eine deutlich höhere Schmelztemperatur aufweisen. Wächst die intermetallische Phase bis an die Oberfläche durch, kann diese Schicht in einem Lötprozess nicht mehr aufgebrochen werden. Durch die Umstellung auf bleifreie Lötflächen und zur Reduzierung von Kosten wurde die Dicke der Oberflächenbeschichtungen von Bauteilkontakten seit 2003 von etwa 8-20 μm auf 4-8 μm reduziert. Durch ein intermetallisches Phasenwachstum von bis zu 1 $\mu\text{m}/\text{Jahr}$ bei Raumtemperatur, kann eine Diffusion von Kupfer an die Oberfläche bereits nach 1 bis 2 Jahren erfolgt sein (Abbildung 6). Hersteller geben daher oft nur Lötbarkeitsgarantien für maximal 1 Jahr, selten für zwei oder drei Jahre. Die Verwendung von Reinzinn ohne Sperrschichten (z. B. Nickel) kann zusätzlich ein verstärktes Oxidations- und Diffusionsverhalten mit sich bringen und fördert die Neigung von Whisker-Wachstum [5] [6].

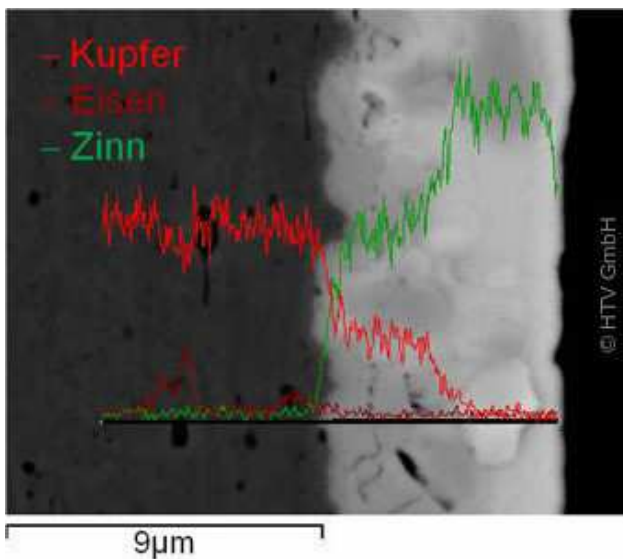


Abbildung 6: Negativ Beispiel. Die intermetallische Kupfer-Zinn Phase ist schon mehr als 4,3 μm in das Lötzinn hineingewachsen.

2.6 Kritische Nebeneffekte: Zinnpest

Um die Diffusionsprozesse zu verlangsamen reicht es nicht aus einfach nur die Temperatur bei der Lagerung der Bauteile zu reduzieren, da dies zu kritischen Nebeneffekten wie z. B. der Zinnpest führen kann [5]. Zinn weist normalerweise ein tetragonales Kristallgitter auf und wird dann als β -Zinn bezeichnet. Bei Temperaturen unterhalb von 13°C kann es besonders bei bleifreien Loten zu einer allotropen Umwandlung des β -Zinns in pulveriges α -Zinn mit kubischem Kristallgitter kommen (Abbildung 7).

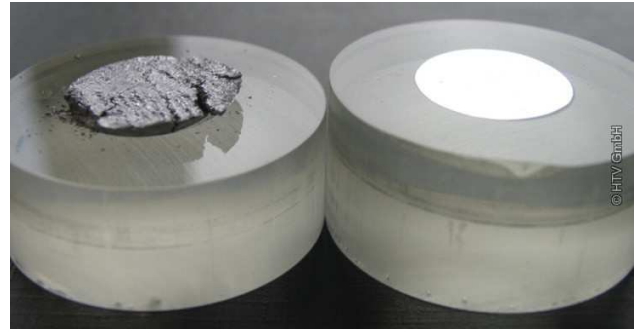


Abbildung 7: Links: Probe mit Zinnpest (α -Zinn). Rechts: Probe mit normalem β -Zinn

2.7 Innere Diffusionsprozesse

Die äußeren Diffusionsprozesse sind ein Indikator für die inneren Diffusionsprozesse und die damit verbundene Alterung auf Chipebene.

Die elektrische Zuverlässigkeit wird zum einen beeinträchtigt durch Verunreinigungen. Dabei findet bereits bei Umgebungstemperatur eine Umverteilung von Ionen statt. Die Verunreinigungen (z. B. Schwermetalle) generieren weitere Ladungsträger, reduzieren die Spannungsfestigkeit von Gateoxiden oder können zu Diodenleckströmen führen.

Auch der Ladungsträgerausgleich kann zu einer Beeinträchtigung der elektrischen Zuverlässigkeit führen. Dieser kann z. B. durch eine Delokalisierung von Atomen oder „tunneln“ von Ladungsträgern zwischen Potentialmulden erfolgen.

2.8 Risikofaktoren bei Baugruppen und Geräten

Auch auf der fertigen Baugruppe treten Alterungseffekte auf, die während der Lagerung überwacht und durch Gegenmaßnahmen abgemildert werden müssen.

Kondensatoren können in ihrer Kapazität nachlassen oder einen höheren Leckstrom aufweisen. Mittels einer Reformierung kann der Leckstrom bei Elektrolytkondensatoren aber deutlich reduziert werden (Abbildung 8).

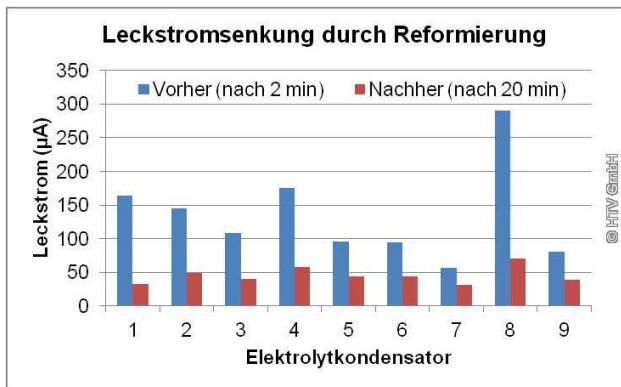


Abbildung 8: Durch den Prozess der Reformierung kann bei Elektrolytkondensatoren der Leckstrom deutlich reduziert werden.

Speicherbausteine verlieren während der Lagerung ohne Spannung im Laufe der Zeit die in den Transistoren gespeicherten Elektronen. Da Schreib- und Löszyklen die internen Transistoren beschädigen, fließen abhängig von der Gebrauchsalterung die Elektronen immer schneller ab (Abbildung 9).

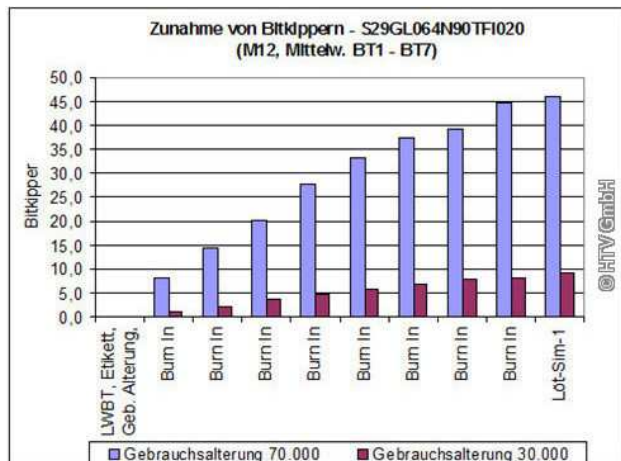


Abbildung 9: Untersuchung von Bitkippern in Speicherzellen Flash-Bausteinen, die durch Schreib- und Löszyklen vorgealtert wurden.

Die Zuverlässigkeit der Lötverbindungen nimmt durch intermetallisches Phasenwachstum, Whiskerbildung und Oxidationseffekte mit der Zeit ab.

Die Alterung führt auch zu Drifteffekten von elektrischen Parametern einiger Bauteile wie z. B. in Operationsverstärkern und Analog-/Digital-Wandlern.

2.9 Fazit

Die Komplexität der verschiedenen Alterungsmechanismen und Technologien zeigt die Notwendigkeit einer umfassenden Eingangsanalyse aber auch der Überwachung des Zustandes während des Lagerprozesses!

Die Aspekte und Methoden bei der Überwachung elektronischer Komponenten in der Langzeitlagerung sind abhängig von der Komplexität dieser Produkte.

Zusätzlich zeigt sich, dass die Alterung durch herkömmliche Lagermethoden wie z.B. die Stickstofflagerung NICHT beherrscht werden können.

3 Thermisch-Absorptive-Begasung TAB®

Aus den dargelegten Risikofaktoren während der Alterung elektronischer Bauteile wurde von HTV ein spezielles Thermisch-Absorptives-Begasungs-Verfahren TAB®, sowohl für elektrische Bauteile und Wafer, als auch für Baugruppen, Komponenten und Geräte entwickelt [6].

Zunächst werden im Vorfeld anhand einer detaillierten Analyse der Komponenten die spezifischen Lagerfaktoren ermittelt und eine für das jeweilige Produkt zugeschnittene Rezeptur der Lagerbedingungen definiert.

Durch gezielte individuelle Temperaturreduktion wird dann die Aktivierungsenergie drastisch reduziert und damit viele der inneren und äußeren Alterungsprozesse nahezu gestoppt. Die jahrzehntelange Forschung und abgestimmte Verfahren ermöglichen es dabei kritische Nebeneffekte wie z. B. die Zinnpest auszuschließen.

Ein eigens von HTV entwickeltes System aus individuell zusammengestellten komponentenspezifischen Absorptionsmaterialien und spezieller Begasung der Einheiten ermöglicht die Lagerung aller Komponenten in einer zugleich konservierenden als auch Schadstoff absorbierenden Atmosphäre.

Die eingelagerten Materialien und elektronischen Komponenten werden während der Lagerung durch passende Analysemethoden zyklisch überwacht. Für die Überwachung stehen dazu umfangreiche Verfahren zur Verfügung.

Eine Lagerung von elektronischen Komponenten bis zu 50 Jahre im Hochsicherheitslager, welches die unterschiedlichsten Risiken abdeckt, wird dadurch möglich.

4 Literatur

- [1] Halbleiter-Test & Vertriebs-GmbH: www.htv-gmbh.de/tab/, 08.02.2017
- [2] P. Singh, P. Sandborn, T. Geiser, D. Lorenson: Electronic Part Obsolescence Driven Product Redesign Planning. Department of Mechanical Engineering, University of Maryland, College Park, Maryland 20742 USA. Volume 7 Issue 2 2004
- [3] IHS: CAPS Universe - Comprehensive, current electronic component and supplier data to advance part selection and sourcing decisions. 2012
- [4] ZVEI: Obsoleszenz-Management - Der Schlüssel zur Langzeitverfügbarkeit elektronischer Systeme. 2014
- [5] R.J. Klein Wassink: Weichlöten in der Elektronik. 2. Auflage, Leuze Verlag. Saulgau/Württ., ISBN3-87480-066-0, 1991
- [6] HTV: Thermisch Absorptive Begasung TAB - Einzige wirksame Lösung für die Langzeitkonservierung. Elektronik Industrie 1/2, 2009
- [7] Gottfried Wilhelm Ehrenstein, Sonja Pongratz: Beständigkeit von Kunststoffen. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 1. Auflage, ISBN-10: 3-446-21851-3, 2007