

Langzeitkonservierung und -lagerung elektronischer Komponenten – Risiken und Lösungen



Die mangelnde Verfügbarkeit elektronischer aber auch mechanischer Komponenten durch Abkündigungen und Produktionsstopp seitens der Hersteller („Obsoleszenz“) ist insbesondere für die Produzenten von langlebigen Produkten eine enorme Herausforderung.

Durch die aktuell steigende Anzahl von Zusammenschlüssen großer Halbleiterhersteller werden immer mehr unrentable oder redundante Produktlinien kurzfristig eingestellt, was die Problematik der Abkündigungen noch weiter verschärft. Bestimmte Endprodukte können möglicherweise nicht mehr gefertigt oder repariert werden, da die notwendigen Bauteile oder Komponenten nicht mehr verfügbar sind.

Insbesondere lange Entwicklungszeiten und langwierige Zulassungsverfahren im Medizinbereich haben zur Folge, dass die ver-

bauten einzelnen Elektronikkomponenten manchmal bereits zur Markteinführung der Geräte „veraltet“ bzw. nicht mehr beschaffbar sind und durch andere, „neuere“ Komponenten ersetzt wurden. Dies bedeutet, selbst zur Versorgung der Serienfertigung sind bei fehlenden Gegenmaßnahmen die notwendigen und zugelassenen Komponenten nicht mehr verfügbar! Ein Redesign der Elektronikbaugruppen kommt in der Regel aufgrund des damit verbundenen Aufwandes und der dann fälligen Neuzulassung nicht in Frage.

Mithilfe einer Langzeitlagerung kritischer Bauteile als Bestandteil eines strategischen Obsoleszenzmanagements (OM) können medizintechnische Gerätehersteller jedoch bereits vor dem Eintritt von Abkündigungen die lückenlose Bauteilversorgung mit qualitativ hochwertiger Ware über den gesamten Produktlebenszyklus

sicherstellen. Wichtige Ersatzkomponenten, insbesondere für langlebige Produkte und Investitionsgüter mit langer Nutzungsdauer, sollten rechtzeitig eingelagert werden, um jegliche Gefahr einer mangelnden Verfügbarkeit für die Serie oder von Ersatzteilen auszuschließen. Dies ist insbesondere aus Gründen der Ökologie und Ressourceneffizienz ein entscheidender Faktor.

Doch selbst der Weg der Einlagerung benötigter Teile birgt nicht zu unterschätzende Risiken, da nur ein qualifiziertes, speziell auf die Komponente zugeschnittenes Lagerungskonzept die Funktionalität und Verarbeitbarkeit nach einer Lagerungszeit von mehreren Jahren oder Jahrzehnten sicherstellt.

Risiken bei der Langzeitlagerung elektronischer Komponenten

Zur Beurteilung der Risiken für die Langzeitlagerung muss in einem ersten Schritt im Vorfeld der aktuelle Gesamtzustand der zu lagernden Komponenten erfasst werden. Dabei ist zu ermitteln, ob die Bauteile mechanisch und elektrisch einwandfrei sind und welche Risiken während der Lagerung zu erwarten sind, bzw. ob die Komponenten überhaupt für eine Lagerung geeignet sind.

Verschiedenste Alterungsprozesse können bereits bei normaler Lagerung aber auch unter Stickstoffatmosphäre (Stickstoff-Dry-Pack) innerhalb von zwei Jahren die Funktionalität (z. B. durch Daten- und Kapazitätsverluste, Leckströme) und Verarbeitbarkeit (z. B. im Löt- oder Crimp-Prozess) elektronischer Komponenten maßgeblich beeinträchtigen (Bild 1).

Autor:
Dipl. Ing. (TU) Holger Krumme,
Managing-Director – Technical
Operations

HTV Halbleiter-Test &
Vertriebs-GmbH
info@HTV-GmbH.de
www.HTV-GmbH.de

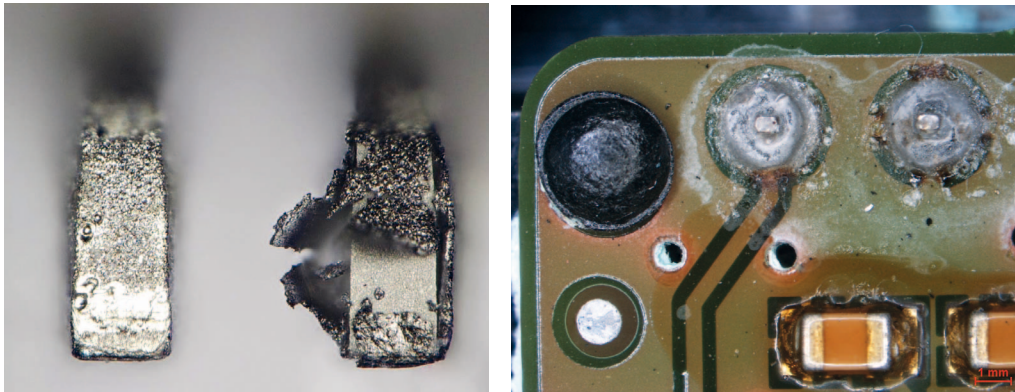


Bild 1: Beispiele für Alterungsprozesse an elektronischen Komponenten (links: Zinnpest an Pins, rechts: korrodierte Lötkontakte)

Wesentliche Alterungsprozesse sind:

- Diffusionsprozesse (Anschlüsse und Halbleiterchip)
- Alterung durch Feuchte und O₂ (Korrosion und Oxidation)
- Alterung durch Schadstoffe
- Whiskerbildung
- Zinnpest

Diffusionsprozesse

Die Diffusion ist eine der schwerwiegendsten und wesentlichsten Materialveränderungen, die zur Alterung elektronischer Bauteile beiträgt. Sie ist ein physikalischer Prozess, bei dem sich zwei oder mehrere Stoffe zunehmend vermischen. Die Diffusion beruht auf der thermisch motivierten Eigenbewegung von Teilchen (Atome, Ladungsträger oder Moleküle). Ist die Verteilung dieser Teilchen ungleichmäßig, dann bewegen sich mehr Teilchen aus den Gebieten mit hoher Konzentration in Gebiete mit niedriger Konzentration als umgekehrt. Es werden also aufgrund der Wärmebewegung Konzentrationsunterschiede bis zur vollständigen Durchmischung (bzw. Ausgleich) abgebaut.

Diffusion an Bauteilanschlüssen

Diffundiert zum Beispiel bei Anschlusspins elektronischer Bauteile das Trägermaterial Kupfer oder Kupfereisen in das Zinn der Oberflächenbeschichtung, dann entsteht ein ganz neues Material

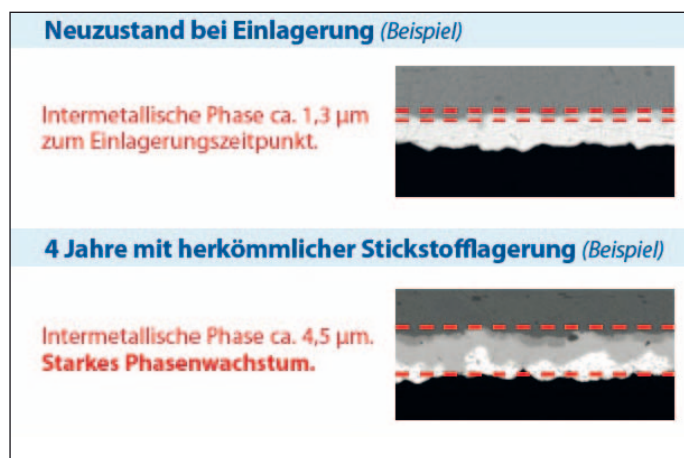


Bild 2: Diffusionsprozesse am Beispiel des intermetallischen Phasenwachstums an Bauteilanschlüssen.

das bronzeähnlich ist (intermetallische Phase) (Bild 2). Diese Materialwanderung ist temperaturinduziert und führt zu einem Wachstum der intermetallischen Phase bei Raumtemperatur von ca. 1 µm/Jahr. Gelangt diese Durchmischung bis an die Oberfläche, ist ein Verlöten nicht mehr möglich, denn intermetallische Kupfer-Zinn-Phasen weisen Schmelzpunkte von über 400 °C auf, die bei typischen Lötprozessstemperaturen von 240 °C bis 280 °C nicht mehr aufgeschmolzen werden können. Das Zinn verbindet sich nicht mehr mit dem Kupfer des Pin-Trägermaterials; die Lotkontaktstelle ist damit löttechnisch nicht mehr zu aktivieren (Bild 3). Es besteht das Risiko sogenannter „kalter“ Lötstellen. Derartig gealterte Bauteile können nicht mehr in bestehende elektronische Schaltungen eingesetzt werden!

Hintergrund:

Durch das Verbot der Verwendung von Blei in vielen Bereichen der Elektronik und der damit ein-

hergehenden Umstellung auf bleifreie Lötflächen wurde die Dicke der Zinn-Oberflächenbeschichtungen von Bauteilkontakten seit 2003 von etwa 8 - 20 µm auf aktuell ca. 4 - 8 µm reduziert, auf Nickel-Diffusionssperren wird meistens verzichtet. Durch ein intermetallisches Phasenwachstum von bis zu 1 µm/Jahr bei Raumtemperatur, kann eine Diffusion von Kupfer an die Oberfläche somit bereits nach 1 bis 2 Jahren erfolgt sein, wenn man berücksichtigt, dass zusätzlich beim Lötprozess eine „Reserve“ von ca. 1 µm benötigt wird. Hersteller geben daher ihren Bauteilen oft nur Lötbarkeitsgarantien von maximal 1 Jahr, selten für zwei oder mehr (Bild 4).

Materialwanderung und Diffusion auf Chipebene:

Materialwanderung findet auch im Bauteilinneren, also auf Chipebene, statt und kann verschiedenste Ursachen und Auswirkungen haben. So führt beispielsweise die durch Strom verursachte Elektromigration (gerichteter Materialtransport durch allmähliche Bewegung von Atomen bzw. Ionen in einem festen Leiter), zu einer starken Verminderung der Zuverlässigkeit elektronischer Komponenten. Dünne Alu-

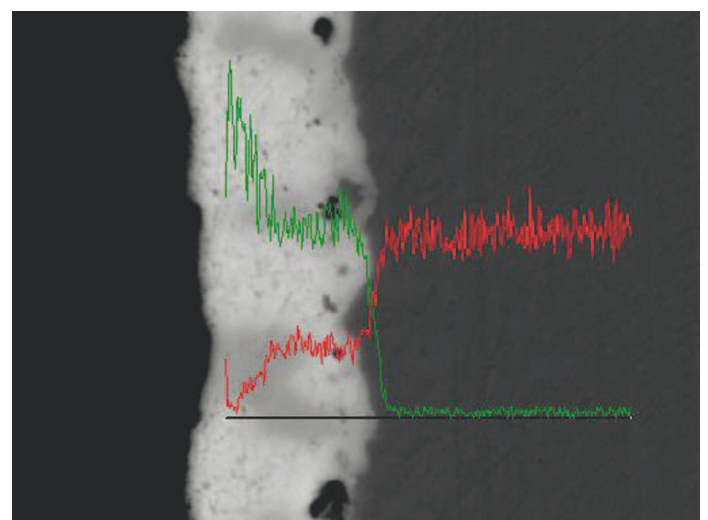


Bild 3: Darstellung der Diffusion von Kupfer (rotes Signal, rechte Schicht) in die Zinnschicht (grünes Signal, linke Schicht) mittels REM-EDX-Linescan.

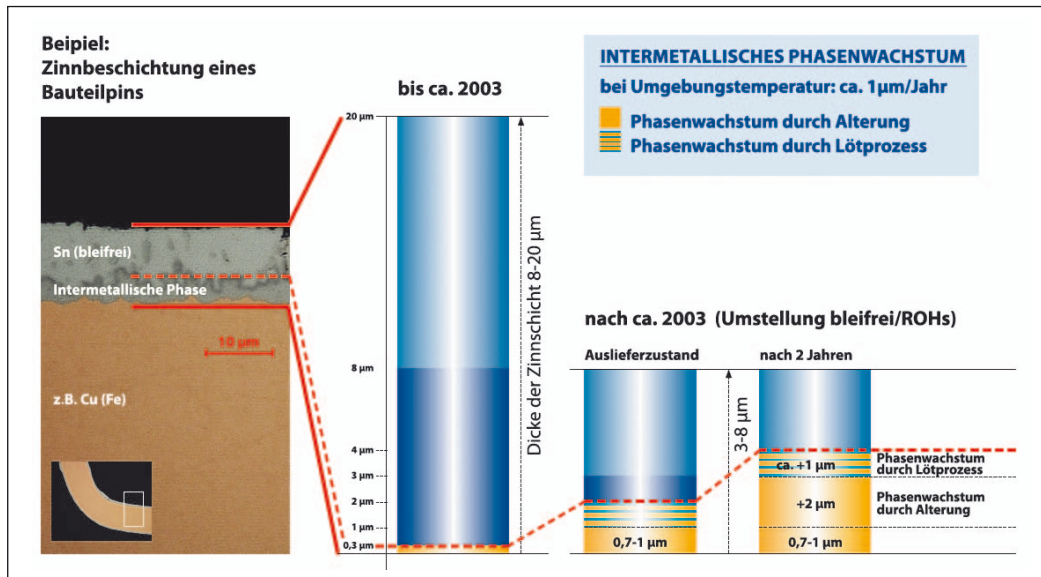


Bild 4: Alterungsprozesse und Risikofaktoren: Äußere Diffusionsprozesse als Indikator der Alterung

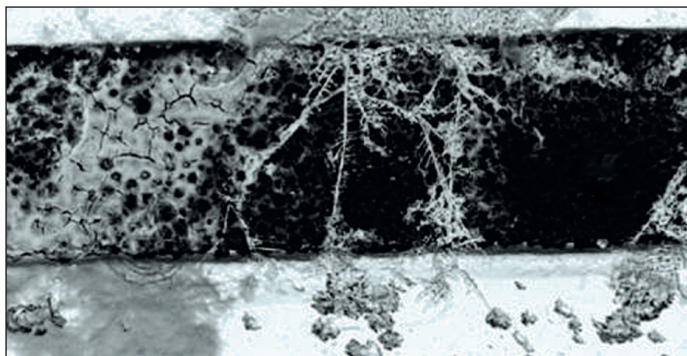


Bild 5: Dendritenwachstum von Leiterbahnen durch Elektromigration

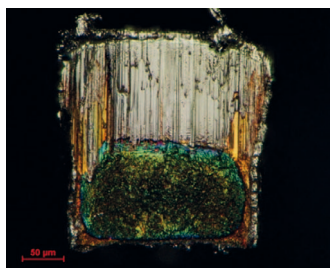
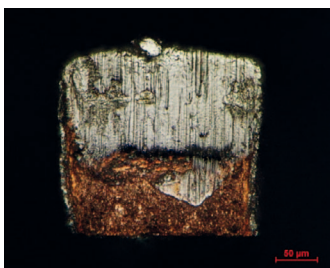


Bild 6: In der linken Bildhälfte ist deutlich die rötliche Färbung des Kupfer-Trägermaterials erkennbar. Rechts im Bild ist das Kupfer schon deutlich verfärbt und weist damit eine fortgeschrittene Oxidation/Korrosion auf

minium-Leiterbahnen werden bei hohen Stromdichten zunehmend belastet und degradieren, was im schlimmsten Fall zu einem Totalausfall einer oder mehrerer Leitungen und damit zur Unbrauchbarkeit des gesamten Bauteils führt. Diffusionsprozesse im Halbleitermaterial und den Dotierungs-

bereichen führen zur Erhöhung von Leckströmen, die dann zu Fehlfunktionen oder auch Datenverlust führen können.

Korrosion und Oxidation

Die Alterung durch Feuchte und Sauerstoff führt durch den

in konventionellen Stickstoff-Dry-Packs enthaltenen Restsauerstoff und möglicherweise vorhandene Feuchtigkeitsgehalt zu Oxidations- und Korrosionsprozessen an Bauteilanschlüssen und Kontaktoberflächen bzw. Bond Pads bei Bare-DIEs und Wafern. Zuverlässige Löt- oder Bondverbindungen sind somit nach einiger Zeit erschwert, teilweise sogar unmöglich (Bild 6, 7, 8 und 9)

Schadstoff-Ausgasung

Ausgasungen von z. B. Additiven wie Weichmachern, Flammenschutzmitteln, Lösungsmitteln oder aus Umverpackungen können zur Korrosion von Bauteilanschlüssen und Kontaktoberflächen führen und damit die Lötbarkeit der elektronischen Komponenten negativ beeinträchtigen. Zusätzlich sind aggressive Ausgasungen natürlich auch extrem schädlich für die empfindlichen Chip- und Aluminium-Leiterstrukturen auf den Halbleiterchips.

Eine Analyse der Belastung des der Ware beigelegten speziellen Absorptionsmaterials der Firma HTV nach unterschiedlichen Lagerzeiten mittels GC-MS zeigt, dass bereits nach 3 Jahren in einem Standard-Drypack mit BGA-Bauteilen eine hohe Bela-

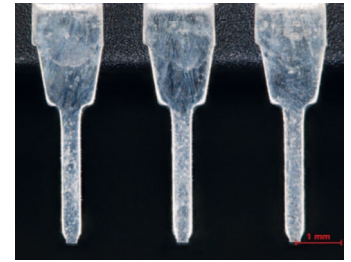


Bild 7: Pins im Neuzustand

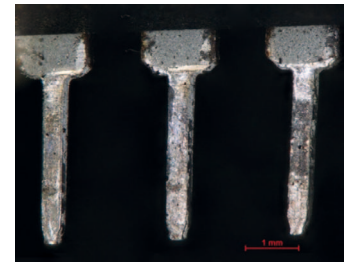


Bild 8: Pins mit Korrosion

stung mit Schadstoffen wie z. B. Styrol, Toluol, Ethylbenzol, Xylole sowie aromatischen Kohlenwasserstoffen vorliegt. Wie das nachfolgende Beispiel zeigt, können die aus der Elektronik ausgasenden Schadstoffe zu erheblichen Beeinträchtigungen an Bauteilen und Baugruppen führen: Das im Flammenschutzmittel enthaltene Phosphor bewirkt auf umgebenden Bauteile z. T. massive Korrosionsprozesse, die in funktionalen Beeinträchtigungen oder sogar Fehlfunktion resultieren können (Bild 10).

Whiskerbildung

Ein weiterer Alterungsprozess ist die Ausbildung von Whiskern (feinste einkristalline Zinnadeln), häufig resultierend aus mechanischen Spannungen innerhalb der auf dem Leadframe (d. h. damit auch den Anschlusspins) meist galvanisch aufgetragenen Zinnschichten oder auch durch Korrosions- und Oxidationsschichten auf der Zinnoberfläche oder intermetallischem Phasenwachstum. Whisker beeinträchtigen die Funktionalität elektronischer Komponenten erheblich, da durch Whisker Kurzschlüsse zwischen Bauteilanschlüssen und ggf. Fehlfunktionen und Bauteil-

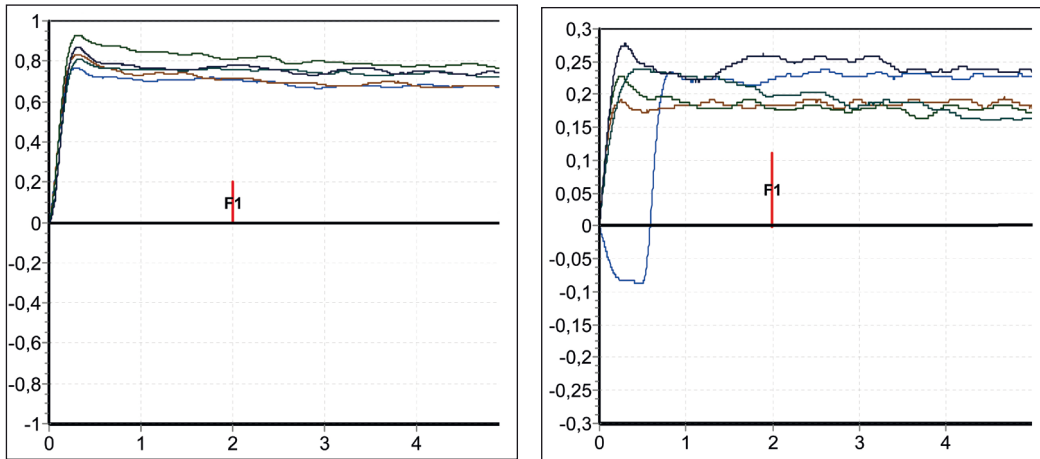


Bild 9: Auswirkung von Oxidationsprozessen: Links der Ausgangszustand, rechts die Reduktion der Benetzbarkeit von QFP100 Bauteilen um ca. 75 % nach 3 Jahren Standard-Drypack-Lagerung

schädigungen im Betrieb entstehen können (Bild 12).

Zinnpest

Bei der sogenannten Zinnpest wandelt sich silberweißes, metallisches β -Zinn unterhalb von $13,2^\circ\text{C}$ in das grauschwarze α -Zinn, das über eine andere Kristallstruktur und Dichte verfügt, um. Da α -Zinn ein größeres Volumen als β -Zinn hat, verliert das Material seine Integrität, die Kornstruktur löst sich auf und es entsteht Zinnpulver, das lötltechnisch nicht mehr zu aktivieren ist. Speziell Reinzinn-Oberflächen begünstigen diese Umwandlung, wodurch insbesondere unverarbeitete Bauteile betroffen sind (Bild 13 und 14).

Alterung von Kunststoffen

Bei elektronischen Bauteilen und Baugruppen sind eine Vielzahl der unterschiedlichsten Kunststoffe entweder als Feststoff, Vergussmasse oder auch Kleber verbaut. Somit sind hier verschiedene Alterungsmechanismen mehr oder weniger stark vertreten. Das Langzeitverhalten von Kunststoffen wird überwiegend durch den chemischen Abbau dominiert. 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

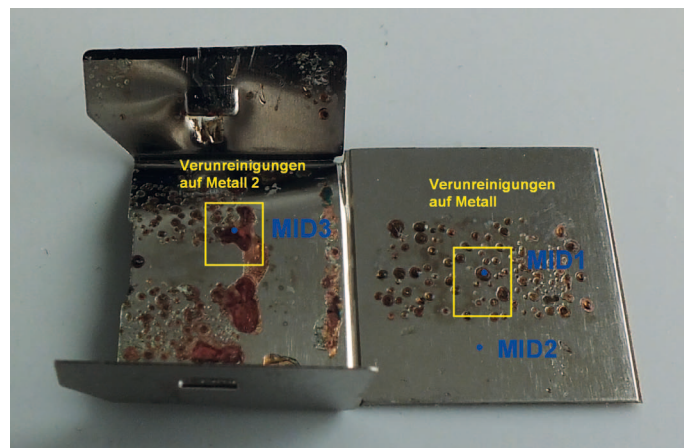


Bild 10: Die Ausgasung von Schadstoffen während der Lagerung kann zu Korrosionseffekten an metallischen Oberflächen führen

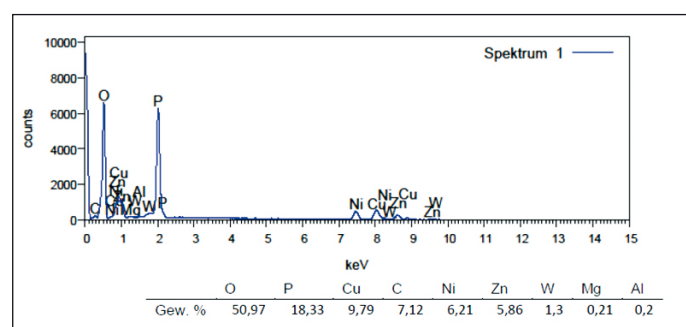


Bild 11: Vermessung von Verunreinigung auf einer metallischen Oberfläche (CuSnNi): Spuren von Phosphor im Spektrum der energiedispersiven Röntgenanalyse (EDX) geben den Hinweis auf Korrosionsprozesse durch ein phosphorhaltiges Flammenschutzmittel

wie z. B. Wärme-, Licht- und Sauerstoffeinwirkungen sowie Feuchtigkeit und Verunreinigungen sein.

Parallel zu chemischen Alterungsprozessen laufen aber auch physikalische Alterungs-

prozesse ab (z. B. Weichmacherverlust, Weichmacherwanderung), die aufgrund der komplexen Wechselwirkungen häufig nicht eindeutig differenzierbar sind. 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.

Risikofaktoren bei Baugruppen und Geräten

Neben der Lagerung von Einzelbauteilen ist in vielen Fällen auch die Langzeitkonservierung von kompletten Baugruppen und Geräten eine sinnvolle und manchmal unvermeidliche Option. Im Gegensatz zur Bauteillagerung muss weder Produktionsequipment noch Fertigungs-Know-how vorgehalten werden; die Baugruppen und Geräte sind somit sofort einsatzbereit und können direkt an den Endkunden oder in den Ersatzteilmarkt geliefert werden.

Insbesondere für medizintechnische Geräte mit aufwendig zertifizierten Baugruppen ist die Langzeitlagerung von entscheidender Bedeutung, da alternativ z. B. ein eventuell benötigtes Redesign der Baugruppe mit großem Zeit- und Kostenaufwand aufgrund möglicherweise erneuten Zertifizierungen verbunden ist.

Aufgrund der enormen Typenvielfalt und Kombinatorik der Einzelkomponenten zeigen Baugruppen häufig zusätzliche Alterungseffekte, welche die ordnungsgemäße Funktionalität der gesamten Baugruppe gefährden können. Gerade während einer Langzeitlagerung besteht die Gefahr, dass Ausgasungen aus den verwendeten Lacken und Vergussmassen sowie Rückstände aus dem Lötprozess zu Korrosion und Oxidation an bestückten Komponenten führen. Zusätzlich besteht bei Kondensatoren (insbesondere bei Elektrolytkondensatoren) das Risiko, dass sie während der Lagerung ihre Kapazität ändern oder ihren Leckstrom erhöhen, was den Totalausfall und damit die Zerstörung der gesamten Baugruppe zur Folge haben kann. Bei LC-oder

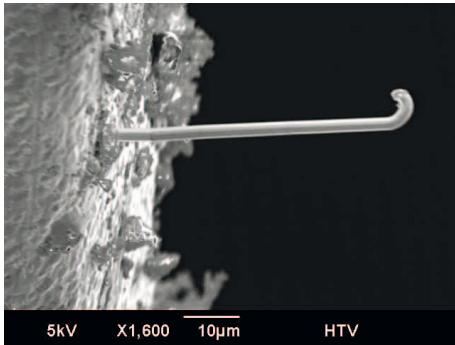


Bild 12: Zinn-Whisker am Bauteilanschluss im REM

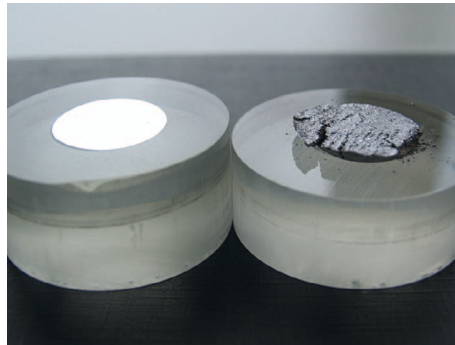


Bild 13: Zinnpest: Umwandlung der β -Sn in die α -Sn Phase

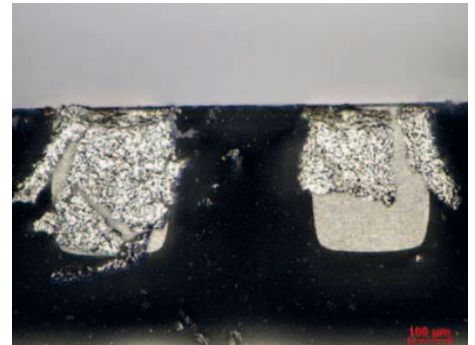


Bild 14: Zinnpest an QFN-Bauteil

OLED-Displays sowie z. B. auch Optokopplern ist eine signifikante Veränderung der optischen Eigenschaften möglich, die auch in eine Fehlfunktion resultieren kann.

Speicherbausteine verlieren während der Lagerung ohne Spannung im Laufe der Zeit die für die Informationsspeicherung erforderlichen Elektronen. Somit sind speziell bereits vorprogrammierte Bauteile wie z. B. Mikrocontroller oder Flash-Speicher gefährdet, durch sogenannte „Bit-Kipper“ ihren Speicherinhalt zu verändern und damit einen Ausfall zu bewirken.

Schlussbemerkung

Sämtliche Alterungsprozesse müssen während einer Langzeitlagerung unbedingt beachtet und durch geeignete Maßnahmen abgesichert werden. Vielfach ist jedoch die Meinung verbreitet,

eine Lagerung in Stickstoff-Atmosphäre stoppe die Alterungsprozesse. Das ist falsch! Durch Stickstoff wird ausschließlich die Oxidation reduziert, die nur ein sehr kleiner Bestandteil der vorgestellten Alterungsprozesse darstellt. In den sogenannten Stickstoff-Drypacks, die oftmals für eine Langzeitlagerung verwendet werden, findet man bei einem Standardverpackungsprozess zudem noch einen Sauerstoffanteil im Prozentbereich. Dementsprechend ist sogar die Wirkung der verminderten Oxidation fraglich.

Die relevanten Alterungsprozesse, wie z. B. die Diffusions- oder auch Korrosionsprozesse durch ausgasende Schadstoffe, werden hierbei in keiner Weise reduziert! Die Komplexität der verschiedenen Alterungsmechanismen verdeutlicht zudem die Notwendigkeit einer umfassenden

Eingangsanalyse aber auch der Überwachung des Zustandes der Komponenten während des Lagerprozesses.

Langzeitverfügbarkeit durch das TAB-Langzeitkonservierungsverfahren

Zur Lösung der Problematik, dass Bauteile während der Lagerung auf vielfache Weise altern, hat die Firma HTV Halbleiter-Test & Vertriebs-GmbH mit TAB (Thermisch-Absorptive-Begasung) ein Verfahren entwickelt, um die Langzeitverfügbarkeit elektronischer Komponenten mit der geforderten Qualität sicherzustellen.

Als komplexe Kombination unterschiedlichster Methoden vermieden bzw. verringert TAB im Gegensatz zur herkömmlichen Lagerung in Stickstoff Dry-Packs oder Korrosionsschutz-Folien nahezu alle relevanten

Alterungsfaktoren elektronischer Komponenten. TAB ermöglicht es, elektronische Komponenten wie z. B. Bauteile, Baugruppen, Displays sowie Wafer und DIES bei vollem Erhalt der Verarbeitbarkeit und Funktionalität für bis zu 50 Jahre einzulagern. Abkündigungen von Komponenten verlieren damit ihre Brisanz; Produktlebenszyklen können verlängert und das After-Sales-Business von Produzenten abgesichert werden (Bild 15).

Das TAB-Verfahren - Kurzdarstellung

Nur eine detaillierte Kenntnis des einzulagernden Bauteils ermöglicht lange Lagerzeiten. Daher ist die Basis für den korrekten Einlagerungsprozess eine im Vorfeld durchgeführte detaillierte Analyse der Komponenten. Anhand dieser werden dann die spezifischen Lagerfaktoren ermittelt und eine für das jeweilige Produkt zugeschnittene Rezeptur der Lagerbedingungen definiert.

Die drastische Reduktion der Alterung wird beim TAB-Verfahren im Wesentlichen durch drei Faktoren erreicht:

Zunächst wird durch gezielte individuelle Temperaturreduktion die Aktivierungsenergie drastisch reduziert. Chemische Reaktionen laufen dementsprechend gar nicht oder nur sehr langsam ab. Dadurch werden viele der inneren (auf dem Halbleiterchip) und äußeren Alterungsprozesse nahezu gestoppt, wie es z. B. am Wachstum der intermetallischen Phase (Diffusion am Bauteilan-

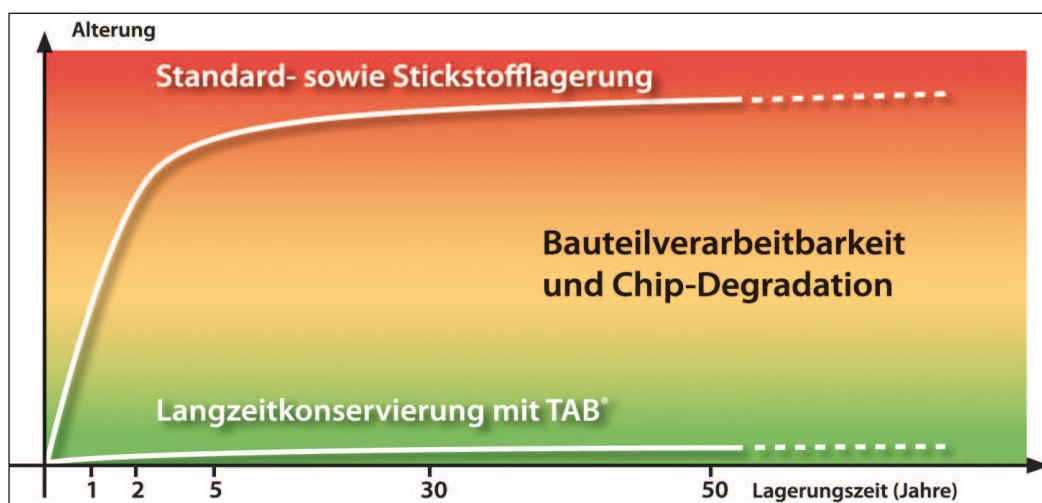


Bild 15: Generell ist bei normaler Lagerung die Materialveränderung in den ersten Jahren am schnellsten. Komponenten, die nicht sofort benötigt werden, sollten also möglichst umgehend eingelagert werden, um so ein langes Komponentenleben zu ermöglichen

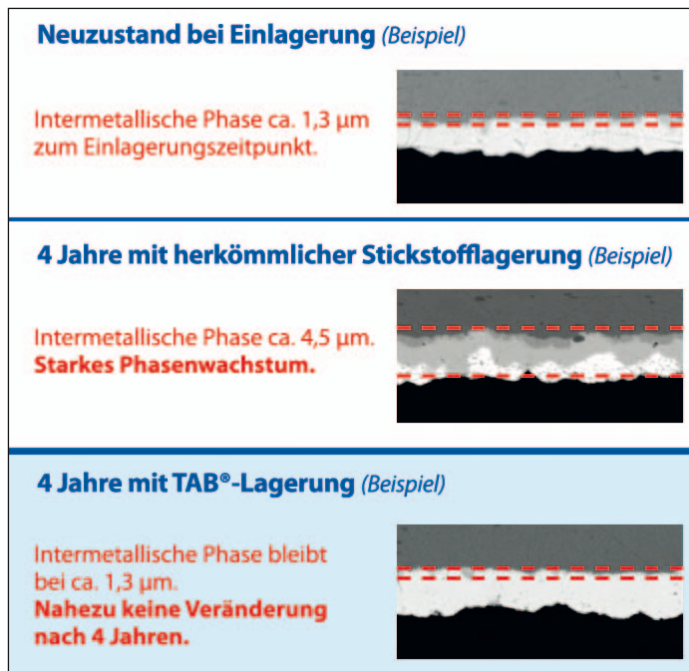


Bild 16: Bei der Lagerung nach TAB ist nahezu kein intermetallisches Phasenwachstum feststellbar

schluss) zwischen dem Kupfer aus dem Inneren des Bauteilpins in das Zinn der Pinoberfläche, als ein Indikator für Diffusionsprozesse, deutlich gezeigt werden kann.

Die jahrzehntelange Forschung und abgestimmte Verfahren ermöglichen es dabei, kritische Nebeneffekte, wie z. B. die Zinnpest, auszuschließen. Die Lagerung insbesondere bei tiefen Tem-

peraturen erfordert eine genaue Kenntnis der Umwandlungsprozesse, um durch geeignete Einstellung der Lagerungsparameter und zugehörige Überwachungsstrategien eine Umwandlung zu verhindern (Bild 16).

Der zweite wesentliche Faktor des TAB-Verfahrens ist ein von HTV entwickeltes System aus speziellen Funktionsfolien und individuell zusammengestellten kom-

ponentenspezifischen Absorptionsmaterialien. Dieses bewirkt die Absorption organischer und anorganischer Schadstoffe, die aus den elektronischen Komponenten ausgasen oder von außen in die Verpackungen diffundieren. Zudem werden Feuchtigkeit, Sauerstoff und Gaszusammensetzung kontrolliert und auf das Produkt angepasst eingestellt, so dass eine Alterung bestmöglich reduziert ist.

Der dritte Faktor ist ein spezieller konservierender Gascocktail, welcher die zu lagernden Komponenten umspült und Korrosionsprozessen entgegenwirkt.

Die eingelagerten Materialien und elektronischen Komponenten werden während der Lagerung durch geeignete Analysemethoden zyklisch überwacht. Zudem findet eine Überprüfung der Lagerungsbedingungen durch regelmäßige Prozesskontrollen statt. Ein wesentliches Risiko bei der Langzeitlagerung ist die physikalische Sicherheit der Komponenten. Insbesondere Feuer ist eine sehr ernstzunehmende Gefahr, deren Auftrittswahrscheinlichkeit bei Lagerdauern von mehreren

Jahrzehnten nicht unerheblich ist. Dementsprechend ist bei TAB die Lagerung in Hochsicherheitsgebäuden ein wesentlicher Bestandteil und stellt neben optimierten Lagerungsbedingungen auch den Schutz vor Brand, Diebstahl und Naturkatastrophen sicher.

Fazit

Mithilfe von TAB können die Risiken bei der Einlagerung elektronischer Komponenten beherrscht werden, indem, im Gegensatz zur herkömmlichen Lagerung in Stickstoff Dry-Packs oder Korrosionsschutz-Folien, alle relevanten Alterungsprozesse elektronischer Komponenten stark reduziert oder sogar verhindert werden. TAB ermöglicht es damit, elektronische Komponenten wie z. B. Bauteile, Baugruppen, Displays oder ganze Geräte bei vollem Erhalt der Verarbeitbarkeit und Funktionalität für bis zu 50 Jahre einzulagern. Abkündigungen von Komponenten verlieren damit ihre Brisanz; Produktlebenszyklen können verlängert und das After-Sales-Business abgesichert werden. ◀

Risiken	N2 Dry-Pack	Korrosionsschutz-Folie	TAB®
Feuchte	reduziert	vorhanden	spezifisch reduziert + kontrolliert
Sauerstoff	reduziert	vorhanden	frei + konservierende Atmosphäre
Korrosive Gase	vorhanden	Reaktion mit Folie; Abbauprodukte	Absorption
Schwefel-Wasserstoff	vorhanden	Reaktion mit Folie; Abbauprodukte	Absorption
Schwefeldioxid	vorhanden	Reaktion mit Folie; Abbauprodukte	Absorption
Chlorgase	vorhanden	Reaktion mit Folie; Abbauprodukte	Absorption
Lösemittel	vorhanden	vorhanden	Absorption
Additive	vorhanden	vorhanden	Absorption
Ammoniak	vorhanden	vorhanden	Absorption
Diffusion	vorhanden	vorhanden	drastisch reduziert; zykl. Überwachung
Zinnpest	nicht überwacht	nicht überwacht	erforscht + überwacht
Whisker	nicht überwacht	nicht überwacht	überwacht
Prozessüberwachung	nicht überwacht	nicht überwacht	überwacht
Sicherheit	undefiniert	undefiniert	Hochsicherheitslager
Geeignet für	Zwischenlagerung	Metallische Komponenten Transport Zwischenlagerung	Langzeitlagerung elektronischer und mechanischer Komponenten für bis zu 50 Jahre

Bild 17: Vergleich der Lagerverfahren