

Die RoHS-Richtlinie für Leiterplatten

Unser Unternehmen befasst sich bereits seit dem Jahre 2000 mit der Umsetzung der RoHS-Richtlinie, die weitreichende Änderungen in der Materialbeschaffenheit, dem Design und den Herstellungsprozessen bis zur fertigen Baugruppe zur Folge hat. Seit Februar 2004 liefern wir RoHS-konforme Leiterplatten in verschiedenen Oberflächenveredelungen, u.a. auch Hot-Air-Leveling in bleifreier Verzinnung.

Zur allgemeinen Information wird in diesem Artikel auf den aktuellen Stand der Technik und die verschiedenen Umsetzungsmöglichkeiten der RoHS-Anforderungen eingegangen.

BEDEUTUNG DER ROHS-RICHTLINIE

Die unter dem Kürzel RoHS bekannte Richtlinie der EU beschränkt den Einsatz der Schwermetalle Blei, Quecksilber, Cadmium, sechswertiges Chrom sowie der Flammhemmer polybromiertes Biphenyl (PBB) und polybromierter Diphenylether (PBDE). Die Vorschrift gilt für ab dem 1. Juli 2006 neu in Verkehr gebrachte Elektro- und Elektronikgeräte.

ROHS-KONFORMITÄT DER MATERIALBESTANDTEILE IM BASISMATERIAL UND LÖTSTOPPLACK

Die RoHS-Konformität der Basismaterialien und der Lötstopplacke wird durch die Hersteller ohne Einschränkung bestätigt, da das in die Harzmatrix eingebundene Tetrabrombisphenol A (TBBA Flammhemmer) nicht in freier Form vorliegt, sondern durch chemische Reaktion bei der Harzherstellung in das Epoxidharz einreagiert ist.

Dies hat allerdings nichts mit der eher marketing-orientierten Forderung nach „halogenfreiem“ Material zu tun.

Halogene sind z.B. die Elemente Brom Br, Chlor Cl, Fluor F und Jod I und sind oft als Bestandteil von organischen Verbindungen vorzufinden (PTFE, Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe, PCB's, Chloroform, TBBA, Seveso"Dioxin", etc).

Bei den am Markt verfügbaren, halogenfreien Basismaterialien werden als Flammhemmer Verbindungen aus Stickstoff und Phosphor eingesetzt. Diese Materialien werden aber nur selten nachgefragt (nur dort, wo die „grüne Leiterplatte“ auch verkaufsfördernd reklamiert werden kann) und sind daher entschieden teurer, was sich aber mit wachsender Nachfrage auch ändern kann.

ROHS-KONFORMITÄT DER LEITERPLATTEN-OBERFLÄCHENVEREDELUNG

Das Bleiverbot innerhalb der RoHS führt zu den revolutionärsten Änderungen in der Leiterplattenherstellung und -lötung. Seit Jahren wird nach einem Metall oder auch einer Legierung geforscht, das vergleichbare Prozess- und Qualitätsergebnisse zum bewährten Sn63Pb37 liefert. Zum Stand 2005 ist das Ziel noch nicht erreicht. Das bisherige Alternativangebot erstreckt sich im wesentlichen auf folgende Oberflächen:

Verfahren	HAL	chem. Sn	chem.Silber	OSP	Chem. NiAu		galv. Ni/Au	
					Sudgold	Reduktivgold	Bondgold	Hartgold
Metall/Legierung	-Sn0,7Cu -Sn0,7Cu0,1Ni -Sn98,2Ag0,3Cu 0,7Ni0,02	Zinn	Silber	Organik	99,9 Au	99,9 Au	99,9 Au	99,5Au 0,5Co
Schichtstärke µ	<10	<1	0,2 -0,4	0,02- 0,06	0,05-0,12Au 4-8 Ni	0,3 - 0,6 Au 4-8 Ni	1-2 Au 4-8 Ni	0,8 –5 Au 4-8 Ni
Planarität	befriedigend	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Lagerfähigkeit bei stabilen Konditionen	>12 M	<12 M	> 12 M	< 6 M	>12	>12	>12	>12
Mehrfachlötbarkeit	sehr gut	befriedigend	gut	bedingt	sehr gut	sehr gut	gut	-
reaktivierbar	ja	ja	ja	ja	bedingt	bedingt	bedingt	bedingt
Al-Draht-Bonden	nein	nein	bedingt	nein	ja	ja	ja	-
Au-Draht-Bonden	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	-
Drucktasten-Kontakt	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja
Einpresstechnik	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein	nein

QUO VADIS HOT-AIR-LEVELING BLEIFREI?

Die bleifreien Legierungen in der HAL-Verzinnung haben durchgängig technische und wirtschaftliche Nachteile gegenüber dem bleihaltigen Lot. Dies bedeutet aber nicht deren Unmöglichkeit, sondern die Anpassung der HAL-Anlagen und Prozessparameter.

Legierung	Schmelzpunkt	Betriebstemperatur
Sn63 Pb37	183	245
Sn99,2 Cu0,7 (Ni0,05)	227	265
Sn98,2 Ag0,3 Cu0,7 Ni0,02	217	250

In Europa hat sich eindeutig die Kupferlegierung gegenüber der Silberlegierung durchgesetzt, da

- bestehende HAL-Anlagen für die Cu-Legierung in den meisten Fällen umrüstbar sind
- der Kupferabtrag (Leaching-Effect) wesentlich geringer ist gegenüber der sehr aggressiven Silberlegierung
- die Cu-Legierung günstiger ist

Die Lagerfähigkeit beträgt über 12 Monate. Wesentliche Nachteile sind die nicht planare Oberflächenstruktur und die hohe Materialbeanspruchung durch die längere Expositionszeit bei höherer Betriebstemperatur. Für letztere fehlen noch empirische Werte, ob hiermit eine höhere Ausfallrate infolge von Cracks (Kupferrisse in Durchkontaktierung) einhergeht, die durch den unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten (CTE) von Kupfer und Harz entstehen. Zudem werden Basismaterialien angeboten und z.Z. noch weiter entwickelt, deren Harzsystem einen geringeren Ausdehnungskoeffizienten in der hier entscheidenden Z-Achse hat (Standard Epoxidharz: ca. 70ppm/K; Epoxidharze mit thermischen Füllern: 35 -50 ppm/K)

Die Hot-Air-Leveling-Verzinnung war aufgrund der schlechten Automatisierbarkeit, des engen Prozessfensters und der schwierigen Arbeitsatmosphäre seit je her ein unbeliebtes Verfahren bei den Leiterplattenherstellern. Dennoch haben die wesentlichen Vorzüge, wie z.B. die Benetzungsfreundlichkeit, die Wirtschaftlichkeit, die Prozessgeschwindigkeit u.a. das HAL weiterhin als die bevorzugte Oberfläche bewahrt. Nun, wo einige Vorzüge verloren oder stark reduziert sind, bleibt abzuwarten, ob die chemischen Oberflächen breitflächig vom Markt akzeptiert werden. Denn, wenn HAL vollständig vom Markt verschwindet, dann wären die Anlagen für die chemischen Oberflächen für jedermann auslastbar und chemisch Zinn und chemisch Silber preisneutral herzustellen.

CHEMISCH ZINN

Chemisch Zinn ist in Westeuropa die Alternative Nr. 1, wenn eine planare Oberfläche für das Lötten von Fine-Pitch-Bauteilen erforderlich ist. Die Schichtdicke beträgt 0,8µ bis 1µ, kann reaktiviert werden und bietet eine sehr gute Benetzungsfreundlichkeit. Die viel diskutierte Whiskerbildung ist bei heutigem Stand der Verfahrenstechnik zu vernachlässigen, da Inhibitoren bei der eh nur sehr dünnen Zinnschicht das Whiskerwachstum weitestgehend unterdrücken.

Eine Lagerzeit bis zu 12 Monaten im verpackten Zustand und bei stabilen Lagerkonditionen ist unkritisch. Häufige Temperaturwechsel und Haltezeiten größer 2 Wochen zwischen Mehrfachlötprozessen sollten vermieden werden, da jeder Temperaturwechsel eine Druckspannung des Kupfers in das Zinn auslöst. Sobald Kupfer durch das Zinn hindurch an die Oberfläche drängt, entsteht Kupferoxid, das eine bestimmungsgemäße Benetzung mit Lot beeinträchtigt/verhindert.

Alterung am Beispiel einer chemisch Zinn-Oberfläche

Dauertemperatur	
23°C	1 µ in 2 Jahren
40°C	1 µ / Jahr
80°C	1 µ / Monat
140°C	1 µ / Tag
190°C	1 µ / Stunde
260°C	1 µ / Minute
330°C	1 µ / Sekunde

CHEMISCH SILBER

Chemisch Silber kommt vornehmlich in Nordamerika und Süd-Ostasien zum Einsatz, während die Nachfrage in Europa noch recht gering ist. Dies mag an dem geringen Bekanntheitsgrad oder dem „unschönen“ Erscheinungsbild nach dem ersten Lötprozess liegen (nicht verlötete Pads sehen dunkel- verfärbt-angelaufen aus, was aber keine Bedeutung für die weitere Benetzungsfreundlichkeit hat).

Die Schichtstärke beträgt 0,2µ bis 0,4µ und bietet eine hervorragende Benetzung. Die Lagerzeit beträgt bis zu 12 Monaten, wobei die Leiterplatten unbedingt in der Originalverpackung eingelagert werden müssen, da Silber als Reaktion insbesondere mit Schwefel Sulfide bildet und somit die Benetzung beeinträchtigt. Daher sollte der direkte Kontakt zu schwefelhaltigen Stoffen (Papier, Karton, Trocknungsmittel) vermieden werden. Die Oberfläche ist aber reaktivierbar. Ein Nachteil ist die Neigung zur Elektromigration, insbesondere unter Einfluss von Feuchtigkeit.

OSP ORGANIC SOLDERABILITY PRESERVATIVE

Die organische Passivierung von Kupfer ist im Grunde die ideale Oberfläche für alle Beteiligten, wenn da nicht die wesentliche Einschränkung der Lagerdauer (max. 6 Monate) und der nur bedingten Fähigkeit zu Mehrfachlöt-Prozessen wäre.

Eine sehr preiswert herzustellende, 0,02µ bis 0,06µ starke, organische Schicht schützt das Kupfer vor der Oxidation. Erst durch das Fluxmittel und durch thermische Belastung bricht die Schicht auf und eine einwandfreie Lötung direkt auf Kupfer ist möglich.

Wenn Lötparameter und Fluxer für diese Oberfläche gut abgestimmt werden, so sind bis zu zwei Lötprozesse möglich, die allerdings in sehr kurzen Zeitabständen zueinander erfolgen müssen, sonst entstehen viele kalte Lötstellen bei zweiter Lötung.

CHEMISCH NICKEL-GOLD (SUDGOLD)

Chemisch Nickel-Sudgold ist aufgrund der hohen Kosten nicht unbedingt als Bleifrei-Alternative zum HAL zu betrachten. Es bietet zwar zusammen mit der bleifreien Silberpaste im Reflowprozess die besten Benetzungseigenschaften, aber chemisch Zinn oder chemisch Silber sind hier völlig ausreichend.

Chemisch Nickel-Sudgold ist dann gefragt, wenn es um eine sehr gute Alu-Draht-Bondfähigkeit oder um Applikationen wie Tipp- und Schleifkontakte geht.

Die 0,05-0,2µ starke Goldschicht löst sich während des Lötens auf. Die eigentliche Lötung erfolgt auf Nickel. Die Lagerzeit beträgt mehr als 12 Monate und Mehrfachlötungen ist auch bei größeren Zeitabständen unproblematisch.

REFLOWLÖTEN

Insoweit die vorhandenen Lötöfen für die um 30 K – 40 K höheren Schmelztemperaturen geeignet sind, sollten für das bleifreie Reflowlötungen einige Testläufe mit immer dem gleichen Leiterplattenlayout, aber verschiedenen Lotpasten, durchgeführt werden. Es ist eine Auswahl von Lotpasten – SnAg(Cu) in verschiedenen Anteilsverhältnissen - entwickelt worden, bei denen die Siede- und Wirktemperaturen der Flussmittelsysteme auf das verwendete Lötprofil abgestimmt sind. Je kleiner die Lotkügelchen, desto größer ist deren relative Oberfläche, die bei den höheren Temperaturen vor Oxidation geschützt werden muss.

Da der Benetzungswinkel der bleifreien SnAg(Cu)-Legierungen bis zu 300% über dem der SnPb-Legierung liegt, ergibt sich eine schlechtere Benetzbarkeit, womit ein geringerer Selbstzentrierungseffekt der Bauteile, ein geringerer Querschnitt und somit eine geringere Scherfestigkeit einhergehen kann. Daher ist ein möglichst geringer Versatz im Schablonen-Pastendruck erforderlich.

Eine sauerstoffarme Umgebung ist zu bevorzugen, um die Oxidbildung zu reduzieren. Das Dampfphasenlötungen und insbesondere das Konvektionslötungen unter Stickstoffatmosphäre bieten hier klare Vorteile.

WELLENLÖTEN

Sn-Legierungsbasis im Überblick:

	Schmelzpunkt °C	Tpeak °C Reflow/Konvektion	T-Bad °C Welle	wesentliche Vor- und Nachteile
Sn3.5Ag07Cu	217	230	255-265	sehr gute Benetzbarkeit; weniger Materialstress durch geringere Temperatur; Teure Legierung wegen hohem Silbergehalt; hoher Leaching-Effect; sehr aggressiv gegenüber anderen Metallen, Anlagen müssen gegen Ablegerung geschützt werden; vergleichbar Sn3.5Ag07Cu, jedoch mehr Materialstress durch höhere Temperatur; enges Prozessfenster bez. Cu-Gehalt
Sn3,5Ag	221	235	255-265	Materialstress durch erhöhte Temperatur; insbesondere bei Reflowlötungen widerstehen nicht alle Bauteile der hohen Temperatur; günstige Legierung; höhere Zyklenresistenz gegenüber Ag-Legierungen; bestehende Lötanlagen oftmals nachrüstbar, da weniger Werkstoffangriff
Sn0,7Cu	227	240	260-270	vergleichbar Sn0,7Cu, allerdings durch Ni-Zusatz besseres Erstarrungsverhalten, reduzierte Brückenbildung; geringerer Leaching-Effect (geringere Krätzbildung)
Sn0,7Cu0,1Ni	227	240	260-270	

Um 150 g Kupfer aufzulösen benötigen die Legierungen:

Sn3,5Ag07Cu	2-3 Std.
SnCu0,7	8 Std.
Sn0,7Cu0,1Ni	24 Std.

Zudem steigt der Kupferabtrag je Legierung mit zunehmender Temperatur progressiv an. So wurde z.B. bei der SAC SnAG3,5Cu0,7 festgestellt, dass bei ausgeprägter Meniskus; Lunkerbildung). Daher sind Feinabstimmung der Lötparameter und Hilfsstoffe abhängig vom Lötverfahren gefragt. In jedem Falle müssen geänderte (aktiver) Fluxmittel zum Einsatz kommen (höherer Feststoffgehalt).

Auch beim Wellenlöten konnte in vielen Versuchsreihen festgestellt werden, dass das Löten unter Schutzgasatmosphäre wesentliche Vorteile bringt:

- geringe Oxidbildung
- geringe Gas- und Feuchtigkeitsaufnahme
- weniger und kleinere Lunker
- weniger unerwünschte Reaktionen mit dem Fluxmittel
- größer Oberflächenspannung Pad/Lot
- geringere Bildung von Krätze
- verminderter Zinnverbrauch
- geringer Wartungsaufwand

DESIGN

Bedingt durch die höheren Löttemperaturen müssen neue Design-Rules erstellt werden, die auf empirisch zu erstellenden Erkenntnissen beruhen, z.B.:

Löttemperaturen von 265 °C bis zu 10µ Kupfer abgetragen wurden. Daher ist der sog. Leaching-Effect bei der Wahl der Legierung in Abwägung aller Vor- und Nachteile in die nähere Betrachtung zu ziehen.

Allen Legierungen ist gemein, dass gegenüber der SnPb-Legierung höhere Löttemperaturen erforderlich sind und die Benetzungskraft geringer ist (weniger stark)

- Überlegte Anordnung der Bauelemente unter Beachtung der Wärmekapazitäten
- Geeignete Lotfänger einbauen (Wellenlöten)
- In Masse liegende Lötungen mit Wärmefallen versehen (verbessert den Lotdurchzug und reduziert die Lunkerbildung)
- Größtmögliche Isolationsabstände, da höhere Neigung zur Brückenbildung
- Anordnung der Bauelemente in geeignetem Winkel zur Wellenfront

In der jetzigen Übergangszeit belassen es die meisten Anwender bei der HAL-Verzinnung, nur eben in bleifrei, und die chemischen Oberflächen behalten ihre bisherige Daseinsberechtigung dort, wo ihre Vorzüge benötigt (Oberflächenplanarität) oder die applikationsbedingte Notwendigkeit (Bonden, Schleif-Steck- und Tippkontakte) besteht.

Im Interesse aller ist es erforderlich und vorteilhaft, einen offenen Erfahrungsaustausch unter allen Marktteilnehmern - also auch gegenüber Mitwettbewerbern - auf der Basis von Gegenseitigkeit und Fairness zu führen.