

# 無鉛錒錫

## 相關議題漫談

財團法人台灣電子檢驗中心 林育堯

為了周延這一期綠色產品專輯內容的深度與服務讀者，在此特別增加一篇無鉛錒錫之問答式文章，嘗試以問答方式將相關議題說明清楚，期望對閱者有所幫助，若有不足或不清楚也希望先進不吝指正。

本期專輯

### 一、「無鉛錒錫」緣起與最新法規要求

#### Q1：要求「無鉛」的原因及各國情況

說明：鉛屬於重金屬會沉積在人體內，血液含量超過25 mg/dl就出現中毒現象，影響到神經系統、生殖系統造成新生兒IQ降低(智障兒)，且鉛會溶於酸性水中(酸雨)，在土壤中會擴散難以回收。

在90年代初期美國先有無鉛之提議，美國環保署(EPA)希望美國國民之血液含鉛量能由12.8 mg/dl降至2.8 mg/dl，並規定TRI (Toxics Release Inventory) 廠商使用申報量由25000 lb/year降至100 lb (原規劃為10lb/year)。在電子產品無鉛化議題方面，雖是美國開始，但由於相關技術未臻成熟及工業界反對力量形成之國會遊說壓力，美國相關發展，在90年代末期趨於冷淡，只有IPC 1999發表「美國無鉛錒錫發展藍圖(Roadmap)」之後並無明確進展。同時間，日本電子產業積極推動無鉛化，各

大廠爭先恐後推出無鉛產品，尤其SONY因PS-2電源線含錒事件遭受頗鉅損失，日本企業對此議題皆嚴陣以待；歐聯WEEE指令衍生出的禁限用物質RoHS指令經多年角力爭執終於在2002.10達成共識，2003.2.13正式公告，2006.07.01開始電子產品禁用鉛，現此一趨勢已演變成全球性要求。

#### Q2：為何先對鉛使用量不及1%之電子業下禁令？

說明：使用鉛之工業產品有：Battery、Ammunition(軍火)、Paints、Sheet lead、Solders(焊料)。鉛酸電池是最大宗之鉛使用者，但已建構完整電池回收、再利用體系，至於軍火部份已有射擊靶場附近土壤遭鉛污染案例發生，針對軍火子彈不使用含鉛材料已有研究專案進行中。電子資訊產品鉛使用量雖佔總用量不到1%，但由於電子資訊通訊產品之回收、再利用體系尚在起步，加上廢棄之含鉛PCB於戶外因酸雨溶出而

(3)、助錫劑(FLUX)配方技術

助錫劑配方之研發是錫錫材料開發之最重要核心技術之一，除了在熔煉及製粉階段掌握金屬材料成分之正確性外，助錫劑將扮演促使錫膏在操作性佳及可靠度高(表面絕緣阻抗及電子遷移效應)之最重要角色。

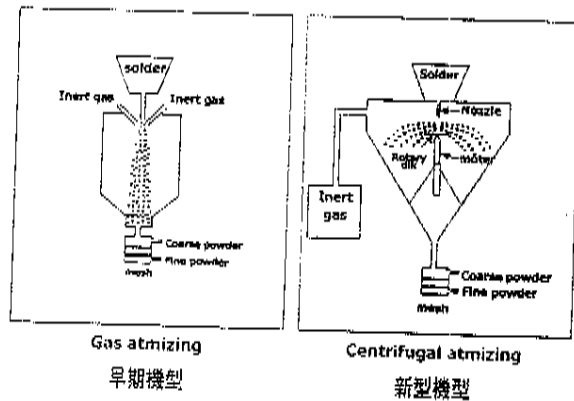


圖1 早、新型噴粉設備圖

目前世界各主要工業國在無鉛錫錫推展之相關工作也以如火如荼的展開中，而美國早在1992~1996年即由NCMS(National Center for Manufacturing Sciences)主導並結合美國國內AT&T、Ford Motor、GM、TI等相關大廠進行了為期5年的無鉛錫錫國家級研究計劃；日本通產省(Japanese Ministry of Industry and Trade Institute)自1998年亦開始展開『無鉛錫錫規格化的研究開發』國家計劃，日本民間團體更於1999年到2000年開始

表1 世界各公司實際量產產品與合金系統

推出時間	公司名稱	產品名稱	合金系統	溫度
1996.03	Nokia	GSM	Sn-Ag-Bi	206-213°C
1996.11	Panasonic	PD drive	Sn-Ag-Cu	217°C
1998.10	Panasonic	TV(tuner)	Sn-Ag-Cu	217°C
1998.10	Panasonic	MD player	Sn-Ag-Bi-In	190-210°C
1998.02	Keyence	Sensor	Sn-Ag-Cu	217°C
1998.06	Nortel	Telephone	Sn-Cu	227°C
1998.08	Omron	Sensor	Sn-Ag-Cu	217°C
1998.08	Omron	Sensor	Sn-Ag-Cu	217°C
1999.03	Sony	TV(Wega)	Sn-Ag-Bi-Cu	210°C
?	NEC	Notebook	Sn-Zn-Bi	187-197°C

試量產無鉛錫錫電子產品，表1所示為將世界各國實際量產的產品與其使用的合金系統利用圖表作一說明(紅色字表示使用於wave soldering，藍色字表示使用於reflow soldering)。事實上許多國際大廠早已推出無鉛產品，如圖2所示為Panasonic所推出之MD(MiniDiscs)無鉛製品內部所使用之電路板。

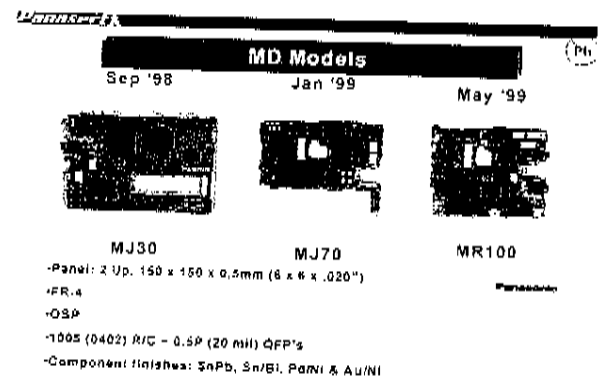


圖2 Panasonic MD(MiniDiscs)無鉛製品內部所使用之電路板

三、無鉛材料-SOLDER PASTESOLDER BAR、SOLDER WIRE

無鉛錫錫合金系統之設計與選擇必須考慮的因素相當多，其中包括了錫錫與基材間的潤滑性、擴散性、吃錫性、合金本身的各項物理特性(如：機械強度、金屬疲勞壽命、抗氧化性、接合點強度...等)及回收再利用性。因此本段內容將參考國內外文獻所記載的各種較

表2、無鉛合金組成系列及特性

組成	成分	比重	強度 (kgf/mm <sup>2</sup> )	伸張率 (%)
Sn-5.0Sb	243/236	7.3	5.1	35
Sn-0.7Cu	227/227	7.4	3.4	28
Sn-3.5Ag	221/221	7.4	3.2	30
Sn-3.0Ag-0.5Cu	219/217	7.4	3.6	38
Sn-3.5Ag-3.0In-0.5Bi	214/190	7.4	5.1	33
Sn-3.5Ag-4.0In-0.5Bi	211/190	7.4	5.2	32
Sn-3.2Ag-2.7In-2.7Bi	210/190	7.5	7.8	17
Sn-3.5Ag-6.0In-3.0Bi	206/165	7.5	7.6	21
Sn-8.8Zn	199/199	7.3	4.6	37
Sn-8.0Zn-3.0Bi	197/187	7.3	7.1	23
Sn-5.8Bi	138/138	8.7	7.0	12



為可能使用的無鉛錫合金組成系統，就其物理特性、操作性能...等作說明。(如表2所示)

#### 四、無鉛焊錫應用前置測試供作之建議

在探討過去國際間所制定的錫膏試驗規範之後，針對規範的內容，已不能完全符合現今需求，目前在國際各大廠，關於電子產品的測試標準，大多以【美國電子電路成型標準協會】及【日本工業規格協會】(\*也就是業界俗稱的IPC協會及JIS協會)所制定的規格，作為電子產品可靠度測試的依據。故於本文中建議之測試項目內容將傾向依據此二協會所頒定的標準為測試基準。

表3、表4為此二協會所頒定有關錫膏測

表3 美國電子電路成型標準協會【IPC】

J-STD-003	Solderability Tests for Printed Boards
J-STD-004	Requirements for Soldering Fluxes
J-STD-005	Requirements & Test Methods for Solder Pastes
J-STD-006	Requirements & Test Methods for Soft Solder Alloys
IPC-TM-650	Test Methods Manual

表4 日本工業規格協會【JIS】

JIS-Z-3197	Testing Method for Resin Type Soldering Flux
JIS-Z-3284	Solder Paste

試的相關規範：

錫膏特性試驗規範建議朝向【作業性】與【信賴性】兩大主軸基準的考量，因此以下內容將區分為兩個部分：

以下將就作業性與信賴性的各個測試單

##### (A)、作業性

項次	項目	目的
1	錫粉粒徑及形狀	確認粒徑範圍與銅板厚度的適用搭配性
2	助錫劑含有量	確認助錫劑含量與標準值不超過 $\pm 0.5\%$
3	黏度測試	確保錫膏印刷品質
4	黏着力測試	確認錫膏有足夠的粘著力，以防止於高速移動時掉(飛)件
5	黏著指數測試	確保錫膏有足夠的防坍塌性
6	印刷性測試	測試錫膏的印刷性，確認印刷品質

##### (B)、信賴性

項次	項目	目的
1	鉻酸鉍試驗	檢測助錫劑中是否含有過量的氯、溴離子
2	銅鏡試驗	檢測助錫劑中是否含有過量的氯、溴離子
3	銅板腐蝕試驗	檢測錫膏中的活性劑是否有強烈的腐蝕作用
4	鹵素含有量試驗	檢測助錫劑中的氯或溴離子含量是否符合規範中所列的含量
5	錫球試驗	測試錫膏於加熱融化後，於氧化鋁板上是否收縮成一顆錫球的能力與安定不飛濺的穩定度
6	坍塌試驗	測試錫膏於受熱時的抗坍塌性，以防止短路與錫球產生
7	擴散性試驗 (spread test)	測試錫膏的吃錫性，確認其清除氯化物的能力
8	濕潤性試驗 (wetting test)	測試錫膏的濕潤能力，確保錫膏的吃錫效果
9	S.I.R試驗	確認錫膏迴錫後的助錫劑殘留，是否有足夠的絕緣阻抗值
10	E.M試驗	確認錫膏迴錫後的助錫劑殘留，是否於電路間因高溫及高濕環境下形成漏電流，而隨著電子遷移形成樹突狀纖維

元進行詳細的內容說明：

##### 【A】、作業性

##### (1)、錫粉粒徑及形狀

良好的錫粉形狀(球狀)與粒徑範圍，將有助於印刷時的下錫性。規範標準建議依據參考J-STD-005之3.3 Solder Powder Particle Size或IPC-TM-650之2.2.14。內容如表5及表6所示。

表5 % of Sample by Weight -Nominal Sizes

	Less Than 1% Larger Than	80% Minimum Between	10% Maximum Less Than
Type 1	150 $\mu\text{m}$	150-75 $\mu\text{m}$	20 $\mu\text{m}$
Type 2	75 $\mu\text{m}$	75-45 $\mu\text{m}$	20 $\mu\text{m}$
Type 3	45 $\mu\text{m}$	45-25 $\mu\text{m}$	20 $\mu\text{m}$

表6 % of Sample by Weight-Nominal Sizes

	Less Than 1% Larger Than	90% Minimum Between	10% Maximum Less Than
Type 1	38 $\mu\text{m}$	38-20 $\mu\text{m}$	20 $\mu\text{m}$

##### (2)、助錫劑含有量

目的在確認助錫劑含量與標準值不超過 $\pm 0.5\%$ ，避免錫膏在加熱之後，殘留過多的助錫劑。所依據之規範標準參考JIS-Z-3197

之6.1篇。

測試方法為將錫膏攪拌均勻後，精秤約30克樣品至250毫升燒杯中，記錄其重量為W1(g)。加入甘油，其量須能完全覆蓋錫膏，加熱使錫膏與助錫劑完全分離。放冷並令錫錫固化。取出已固化的錫錫，以水清洗。浸入乙醇中約5分鐘，常溫下再水洗並乾燥之，精秤其重量記為W2(g)。並依據規範要求計算助錫劑含量。

### (3)、黏度測試

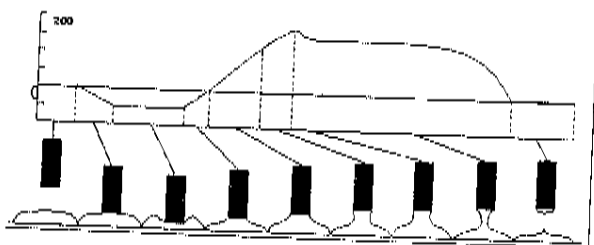
目的在於確保錫膏印刷品質及保持良好的下錫性。所依據之規範標準參考J-STD-005之3.5(Viscosity)及3.5.1或IPC-TM-650之2.4.34.3或JIS-Z-3284之附件六4.1篇，並建議利用穩定性良好之黏度計進行測試。

### (4)、黏著力測試

目的在於確認錫膏有足夠的黏著力，以防止於高速移動時掉(飛)件。所依據之規範標準參考J-STD-005之3.8或 JIS-Z-3284之附件九。

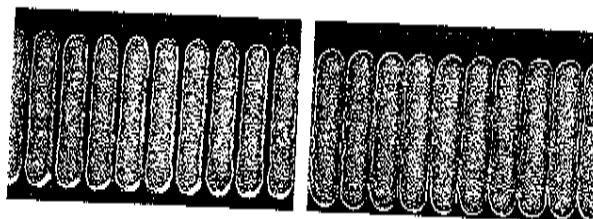
測試方法為使用鋼版，將錫膏印刷在玻璃板上，做4個直徑6.5mm、厚度0.2mm的圓形錫膏，上述的順序所準備的試料，在試驗前需保存在溫度 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ，相對溼度(50±10)%的條件裡；將試驗用試料放在探針的下方，調整探針在所印刷的4個模型的其中之一中心。以穩定的速度將探針降下到所印刷的錫膏中，並以 $50 \pm 5\text{g}$ 固定的壓力加壓。加壓後將探針自錫膏提起，記錄剝離所需最大荷重。用相同條件測定5次，取平均值。在上述的順序，求印刷後的經過時間及粘著強度之間的關係。

### (5)、黏著指數測試



目的在確保錫膏有足夠的防坍塌性，所依據之規範標準參考JIS-Z-3284附件六之5.2篇。

測試方法為將錫膏自冷藏庫取出後室溫下回溫，並將錫膏容器的蓋子打開，用刮刀小心攪拌1~2分鐘，再將錫膏罐置於黏度計的試樣槽中，開啟黏度計電源，將sensor沒於錫膏中，攪拌直到錫膏自sensor上方的排出排出，當溫度到達 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 時，即開啟溫度記錄器電源，測定黏度值。參考值界定依據如附圖所示，小於0.4則易坍塌，大於0.6則不易印刷。黏著指數的計算方式可參考JIS-Z-3284之5.2篇。



### (6)、印刷性測試

目的為測試錫膏的印刷性，確認印刷品質，規範標準依據參考JIS-Z-3284之附件五。

測試方法為使用評價印刷性之標準印刷模孔，將所要評價的錫膏印刷在銅張積層板上，所印刷錫膏的平面形狀及厚度(分佈)，甚而在連續印刷時測其安定性，就其印刷性加以評價。印刷裝置及材料必須考量印刷機及印刷條件(包括網版印刷機形式及種類、網版的種類、刮刀(Squeegee)之硬度及角度、刮刀速度、印刷壓力或各刮刀擠壓量、印刷角度、鋼版、銅張積層板(基板)間間隙、環境溫度等)、鋼版及試驗裝置及材料(包括錫膏、銅張積層板(160×160×1.6mm)、實體顯微鏡及攝影裝置、雷射式變位計或觸針式表面粗糙計)。

## 【B】信賴性

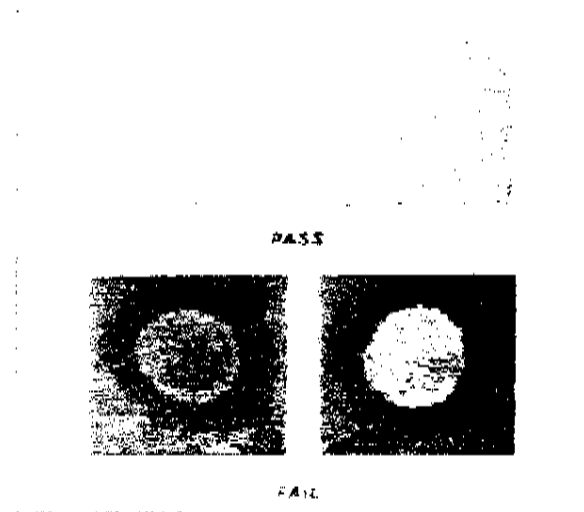
### (1) 鉻酸銀試驗

目的為利用鉻酸銀試紙的顏色變化來檢



測助錫劑中氮、溴離子的含量，規範標準依據參考J-STD-004之3.2.4.2.1或IPC-TM-650之2.3.33。

測試方法是將錫膏當中的助錫劑萃取後，再把一滴助錫劑溶液滴於51mm×51mm的鉻酸銀試紙，約過了10min後，觀察試紙上顏色的變化。判定標準以試驗紙不能變為白色或白黃色，由於此試驗方法屬於定性測試，詳細內容需參考規範標準。



## (2)、銅鏡試驗

目的為利用銅鏡是否有透光或顏色消失來檢測助錫劑對真空蒸鍍成的銅鏡的侵蝕性，標準規範：依據參考J-STD-004之3.2.4.1或IPC-TM-650之2.3.32。測試方法是將約0.05ml的助錫劑溶液滴於銅鏡上，並且將銅鏡置於溫度為23±2°C及相對溼度為50±5%RH的試驗箱中，放置24小時。判定標準以銅鏡的銅膜不能被除去而透光為標準。由於此試驗方法屬於定性測試，詳細內容需參考規範標準。

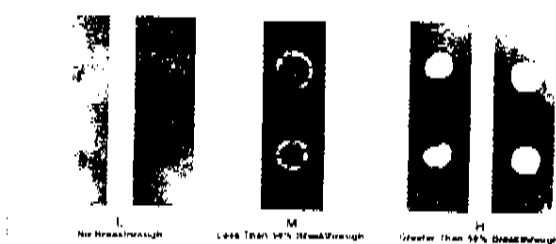
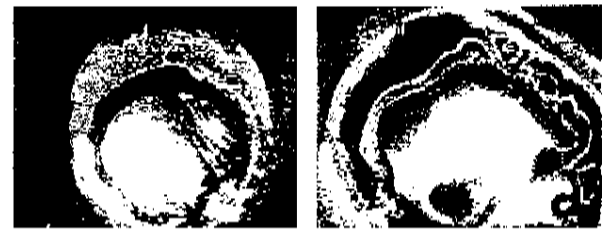


Figure 1. The test is conducted by copper mirror test.

## (3)、銅板腐蝕試驗

目的在於檢測錫膏中的活性劑是否有強烈的腐蝕作用。規範標準是依據參考JIS-Z-3197之6.6.1。

測試方法以秤取0.3g錫膏放置於銅板上。將此試驗板放置在220°C的加熱板上熔化，再將此試驗板冷卻至室溫，然後再將試驗板放在40±2°C，相對溼度90%~95%RH的環境中放置96小時。判定標準以將此試驗板與室溫下儲存之比較用試驗板互相比較，其腐蝕性並未更加顯著。



## (4)、鹵素含有量測試

目的在檢測助錫劑中的氮或溴離子含量是否符合規範中所列的含量，規範標準依據參考JIS-Z-3197之6.5或JIS-Z-3284之4.2(Flux for solder paste)。

測試方法為精秤約10克錫膏樣品至燒杯中，加入乙醇。將裝有樣品的燒杯移至電位滴定裝置充分攪拌後以0.02M硝酸銀溶液滴定至終點。判定之標準以符合JIS-Z-3284之4.2的規範內容。

助錫劑的品質分類

記號	活性度	助錫劑成份的氮含有量%	總抵抗 $\Omega$		銅板腐蝕	銅鏡腐蝕
			條件A <sup>1)</sup>	條件B <sup>2)</sup>		
I	低	0.03以下	1×10 <sup>11</sup> 以上	5×10 <sup>10</sup> 以上	無腐蝕	無腐蝕
II	中	0.03以上0.1以下	1×10 <sup>11</sup> 以上	1×10 <sup>10</sup> 以上	無腐蝕	-----
III	高	0.1以上0.5以下	1×10 <sup>11</sup> 以上	1×10 <sup>10</sup> 以上	無腐蝕	-----

## (5)、錫球試驗

目的在測試錫膏於加熱融化後，於氧化鉛板上是否收縮成一顆錫球的能力與安定不飛濺的穩定度。規範標準是依據參考J-STD-005之3.7。




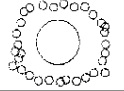
測試方法如下所述：

1. 錫錫浴槽的溫度，以Sn63/Pb37及Sn60Pb40錫膏試驗時，溫度設定在235±2°C，又如為其它成

份的錫膏，設定溫度為比該合金的液相線溫度高50°C。

2. 在氧化鋁基板上放上鋼版，用刮刀印刷錫膏直到鋼板上孔補滿為止，試料準備2個。2個試料中以(3)的要領加熱融解。有必要時以150°C·1分鐘預熱。條件a：印刷後1小時以內，條件b：印刷後在相對溼度(60±20)%、溫度25±2°C放置24小時後。
3. 用刮板將錫浴槽的錫表面刮乾淨，將試料以水平放在錫液面，自錫膏熔融後，將試料由錫液面以水平方式取出放置直到凝固冷卻為止。

錫粒子的凝集狀態

錫的凝集程度	錫凝集狀態的說明	圖示例
1	錫(粉末)熔融，錫成為一個大球，周圍沒有錫球。	
2	錫(粉末)熔融，錫變成一個大球，在周圍有直徑75 μm以下的錫球在3個以下。	
3	錫(粉末)熔融，錫變成一個大球，在周圍有直徑75 μm以下的錫球在3個以上，未成半連續的環狀。	
4	錫(粉末)熔融，錫變成一個大球，在周圍有多數的細球成半連續的環狀排列。	
5	上記以外的東西	

#### (6)、坍塌試驗

目的在測試錫膏於受熱時的抗坍塌性，以防止短路與錫球產生，規範標準是依據參考J-STD-005之3.6或JIS-Z-3284之附件七(Cold slump)及附件八(Hot slump)。

測試方法(cold slump)如下所述：

1. 用砂紙研磨銅張積層板，用異丙醇清洗。
2. 將鋼版放在銅張積層板上，使用適當的刮刀(squeegee)來印刷錫膏，之後拿開鋼板。
3. 在室溫裡保管試驗板1小時。
4. 在2種模型之中的5列，測定記錄所印刷的錫膏全體不會變成一體的最小間隔。

#### (7)、擴散性試驗(Spread test)

目的在測試錫膏的吃錫性，確認其清除

氧化物的能力，規範標準依據參考J-STD-004之3.2.7.2或IPC-TM-650之2.4.46。

測試方法：為秤取0.3克錫膏置於銅板上，將此試驗板置於220°C的加熱板上加熱，去除助錫劑殘渣後，量測錫膏的高度，並由錫膏的高度計算錫膏擴散率。判定標準以錫膏擴散率需大於80%以上為準。


#### (8)、濕潤性試驗(Wetting test)

目的為測試錫膏的濕潤性能力，確保錫膏的吃錫效果，所依據之規範標準參考J-STD-005之3.9或JIS-Z-3284之附件十。

測試方法如下所述：

1. 將錫浴槽設定在溫度235±2°C。用異丙醇將銅及黃銅的試驗板擦拭乾淨。
2. 將試驗片的單面用砂紙沾水研磨後再用異丙醇再次擦拭表面。
3. 塗抹錫膏，用刮刀將鋼板上的孔完全塗滿。
4. 如有預備乾燥時，將塗有錫膏的試驗板放到150°C的空氣循環乾燥器裡處理1分鐘。
5. 錫浴槽的表面用刮板加以清除乾淨。
6. 將表面塗有錫膏的基板以水平放置在錫浴槽上加熱。
7. 自錫膏融解起5秒後，將基板自錫浴槽中取出。直到基板上錫膏固化為止。
8. 檢查擴散程度。

## 五、結論

錫膏的選用及其特性的判斷對於工廠無鉛製程的導入順利性及無鉛產品的可靠度具有舉足輕重的影響，藉由本文中對於錫膏選用的說明，及在焊錫材決定前的測試工作，將可幫助廠商在導入面臨無鉛製程不良品之原因分析與判斷上，可以提供非常大之助益，所以企業在選用各家之錫膏前，除錫膏商所提供之資訊外，最好可以委託第三公正單位，對於錫膏特性徹底進行一次分析，如此，將對企業本身的製程與成品可能產生之風險將可相對地具有保障。 



# 由產品環保規格要求

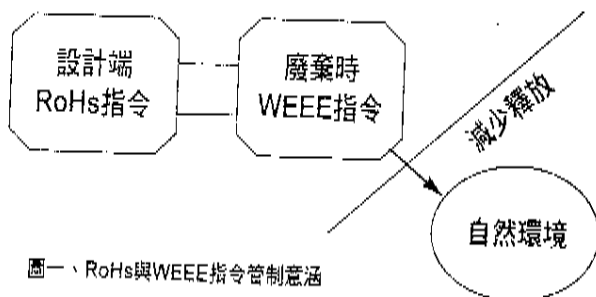


## 電子、電機產品環境風險之管理

財團法人台灣電子檢驗中心 湯可弘

### 法規趨勢

2003年1月歐盟陸續通過兩項有關管理電子電機產品指令，這兩項管理指令分別為管理廢電子電機產品回收目標及工作的WEEE指令(Directive 2002/96/EC on the waste electrical and electronic equipment (WEEE))，與限制使用於電子、電機產品危害物質的RoHS指令(Directive 2002/95/EC on restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (RoHS))。如圖一所示，以電子、電機產品生命週期而言，兩項指令之要求分別針對，電子、電機產品於設計端就限制使用主要危害物質RoHS指令(包含重金屬鉛、鎘、汞及六價鉻與PBB、PBDE)與確保回收管道與績效達成之WEEE指令。兩項指令之最終目的都是盡量減少電子、電機產品中所含的危害物質釋放於自然環境中而衍生之管制手法。



圖一、RoHS與WEEE指令管制意涵

### 產品環保規格要求發展現況

如SONY、IBM、Microsoft等國際知名大廠均依照RoHS指令與各國法規要求為主體，制訂企業體內對於產品環保要求的管理規則與產品環保規格，例如以SONY集團為首所推出的SS-00259產品標準要求與供應鏈之GP(Green Partner)管理計畫，希望藉由這些管理要求降低由產品所衍生之環境風險。這些管理規則大多會在買賣契約中加諸於採購合約之中，要求供應鏈廠商在提供其所製造之產品於交貨時提出不使用證明或相關保證書、切結書等，確保其產品符合環保要求。

若觀察這些要求文件的演化可以發現，早期這些文件均屬於自我宣告性質或是調查表居多，近半年來這些產品環保要求文件，均需製造商提出相關證明文件(例如檢測報告)確保產品環保規格之符合程度。以目前的情況而言，台灣廠商在貿易過程中至少面臨2~3個或更多由客戶所提出之產品環保要求。並且，這些產品環保要求文件在提出時都具有時效性及迫切性。製造商在沒有經驗及沒有準備的情況下，常常發生措手不及的窘境，或是在根本不瞭解這些文件意義的情況下，簽下相關的保證書、切結書、不使用證明之類的產品環保要求宣告文件。因此，這些宣告性質文件其潛在所

本報專訊

帶來的企業經營風險，若無法適當的加以管控將造成企業的損失。

如檢視國際大廠對於產品環保規格之規定可以發現，這些環保規格大多是綜合了歐盟或美日等國對於危害物質管理法規及包裝材規定等。這些環保規格中所限、禁用物質的物質有大部分是早年就已經禁用掉的危害化學品，但值得注意的是RoHS指令中所關切的危害化學物質是早年公告的法規中所未管制的範疇。所以組織在規劃本身對於產品環境風險範圍時應多注意新指令的影響。

## 執行建議

基於以上之情況，企業如何有效對應產品環保要求已成為當務之急，在此建議製造商應以系統化之管裡來控制產品環保要求與其所衍生之經營風險，具體執行的方法可分為兩方面說明：

### 一、產品面

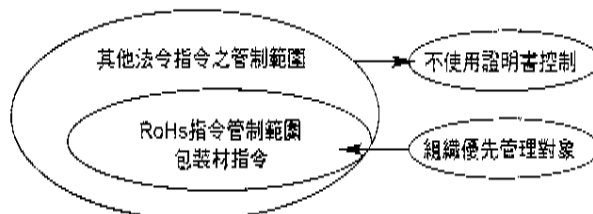
產品環境風險之規劃：

如圖二所示產品環境風險主要是以法規的管制範圍為主，國際知名大廠管制之範圍也不離此，但值得注意的是管制範圍雖廣，但實際執行上需要供應商提出符合性證明文件（如檢測報告）的卻只有2~3項（如重金屬鉛、鎘的檢測報告）並非每樣於管至範圍內的危害物質均需檢測，主要原因就是為了控制檢測成本的問題，需提檢測報告的項目越多表示供應商成本越高。但不提檢測證明文件的危害物質，並不表示風險不需管理，組織可利用不使用證明文件來控制這部分的風險，至於需提檢測報告的範圍應有多廣主要還是需要以法規演進的趨勢為主。事實上組織對於產品環境風險的控

制範圍，就是組織對於產品所要求之產品環境規格

上述產品環保規格應包含：產品與零組件適用之範圍、名詞解釋、限制及禁用危害物質的種類、限制區域、限制日期、管制日期、參考資料等等。規格必須詳細而明確，對於未來法規演進而有可能逐漸淘汰或禁用之物質也應列為逐漸禁用或限用之範圍，以作為未來管理及風險預防之用。

在確立組織及其供應鏈所能承擔的成本及必須控制之環境風險範圍後，下一步建議針對旗下的產品，所含危害物的成分及含量進行研究與分析。將產品中危害物質的種類、含量、存在的部位等資料建立資料庫管理。



圖二、電子電機產品環境風險管制範疇

### 二、系統面：修正及整合現有之管裡系統

#### ●管理系統之整合：

首先組織應整合廠內各部們，成立因應小組，並明訂管理責任。如圖三所示，組織可整合目前管理系統，規劃面可由ISO 14001延伸，包含產品環保要求相關資訊的收集可由4.3.2法規及其他要求事項的程序中修正，將業務、品管、客服等單位由客戶端所收到的產品環保要求彙整至單一窗口，再分發至相關單位進行查核作業，彙整資料後進行回覆及改善作業。

改善及削減計畫應明訂目標/標的，並提出管理方案執行，相關的執行流程可延用ISO



14001相關程序執行。由規劃而擴充至執行面可依循ISO 9001現有程序執行，需注意的事項可分為下列數點討論：

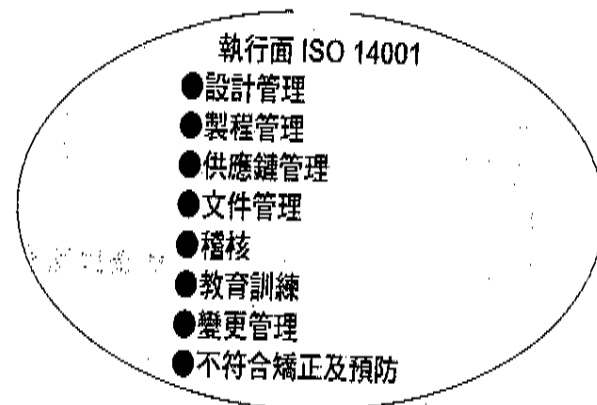
- 設計管制：在產品設計階段，設計管制相關作業程序中需指引至組織所規劃的產品環境規格，產品研發人員應依循公司本身所制訂之產品環保規格進行設計。所選用的零部件與材料，可先行與產品危害物質資料庫中的資訊作比對，確保所使用的零部件是符合環保規格。若是新開發的零部件，於材料承認階段就需進行環保規格的承認作業，要求零部件供應商提出材質證明，環保規格確定之後需將相關之品管規格（與環保有關）傳遞至進料檢驗及採購單位以便後續流程之控制與管理。
- 供應鏈管理：供應鏈管理為組織達成控制產品環境風險重要執行手法，在此建議組織對於供應鏈規劃供應商在產品承認階段與產品量產階段不同之管理方法。其中應包含供應商所需提出之證明文件，該文件之內容應能將組織有可能發生產品環境風險作有效的分散，並且相關之證明書應保持可追塑性。除此之外採購單位應將組織對於產品環保要求清楚而明確的傳達給供應鏈廠商（例如透過供應商說明會）。並且在供應鏈稽核計畫中（第二者稽核），將組織對於供應商在系統面如何降低產品環境風險納入供應商評鑑系統中。
- 製程管理：目前產品環境規格並未如安規一般適用於所有製造商所製造的產品中，而是依據不同的客戶別所提出不同的產品環保規格進行管制。因此在製造過程中需注意，非環保材質之零件與環保材質的零件在外觀上有可能一模一樣，無法用肉眼辨識，而唯一能夠加以識別之方法就是審查材料及零件的履歷與相關文件（如不使用證明），所以，廠內需培養相關辨識人員。並且在加工過程中應避免混線。實際管理上品質不良品

與環保不良品應分開存放，畢竟品質不良品可以收回重工（rework）而環境不良品幾乎無法收回重工。

## 資訊收集



## 組織展開



圖三、產品環境風險管理執行步驟

## 結語

產品環保要求是繼產品安全規格之後的新型產品要求，現在由於各廠分別提出不同要求無法趨於統一，組織在因應時應關注國際法規發展之趨勢，與本身產品材質特性，設計實用的資料庫在設計階段就執行管理，並結合供應商管理機制確實達到風險分散之目的。 **ETC**

# 無鉛錒錫

## 相關議題漫談

財團法人台灣電子檢驗中心 林育堯

為了周延這一期綠色產品專輯內容的深度與服務讀者，在此特別增加一篇無鉛錒錫之問答式文章，嘗試以問答方式將相關議題說明清楚，期望對閱者有所幫助，若有不足或不清楚也希望先進不吝指正。

### 一、「無鉛錒錫」緣起與最新法規要求

Q1：要求「無鉛」的原因及各國情況

說明：鉛屬於重金屬會沉積在人體內，血液含量超過25 mg/dl就出現中毒現象，影響到神經系統、生殖系統造成新生兒IQ降低(智障兒)，且鉛會溶於酸性水中(酸雨)，在土壤中會擴散難以回收。

在90年代初期美國先有無鉛之提議，美國環保署(EPA)希望美國國民之血液含鉛量能由12.8 mg/dl降至2.8 mg/dl，並規定TRI (Toxics Release Inventory) 廠商使用申報量由25000 lb/year降至100 lb (原規劃為10lb/year)。在電子產品無鉛化議題方面，雖是美國開始，但由於相關技術未臻成熟及工業界反對力量形成之國會遊說壓力，美國相關發展，在90年代末期趨於冷淡，只有IPC 1999發表「美國無鉛錒錫發展藍圖(Roadmap)」之後並無明確進展。同時，日本電子產業積極推動無鉛化，各

大廠爭先恐後推出無鉛產品，尤其SONY因PS-2電源線含鎘事件遭受頗鉅損失，日本企業對此議題皆嚴陣以待；歐聯WEEE指令衍生出的禁限用物質RoHS指令經多年角力爭執終於在2002.10達成共識，2003.2.13正式公告，2006.07.01開始電子產品禁用鉛，現此一趨勢已演變成全球性要求。

Q2：為何先對鉛使用量不及1%之電子業下禁令？

說明：使用鉛之工業產品有：Battery、Ammunition(軍火)、Paints、Sheet lead、Solders(焊料)。鉛酸電池是最大宗之鉛使用者，但已建構完整電池回收、再利用體系，至於軍火部份已有射擊靶場附近土壤遭鉛污染案例發生，針對軍火子彈不使用含鉛材料已有研究專案進行中。電子資訊產品鉛使用量雖佔總用量不到1%，但由於電子資訊通訊產品之回收、再利用體系尚在起步，加上廢棄之含鉛PCB於戶外因酸雨溶出而

污染土壤之情形日益嚴重，故有從源管制之構想。以資訊通信電子製造業而言，產品無鉛化包括使用無鉛錒錫、PCB及零件腳鍍層無鉛化、及零件內部接點無鉛化(參考圖一所示)。

### Q3：何謂RoHS指令？其要求內容為何？

說明：歐聯WEEE指令於2000年一分為二成為現有之2002/96/EC WEEE指令(waste electrical and electronic equipment)及2002/95/EC RoHS指令(the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment, 有害物質禁用指令)；前者強調回收、再利用與再生，後者規範產品中禁用物質的要求。

其中RoHS指令方面，歐聯議會和部長級理事會一致同意自2006年7月起禁止在電子電器設備中使用鉛、鎘、汞、六價鉻等四種重金屬以及PBB和PBDE等兩種溴化物阻燃劑，其適用範圍參見表一。此外，指令提案附件中列示了一個免除清單(如表二所示)，以保證在一定條件下(沒有可行、經濟的替代方案等情況)使用上述物質將不受影響。但是歐聯有關機構將對這一清單作定期評估，並逐漸減少豁免範圍，指令中的要求則是2005年3月前需重新評估管制範圍。

為因應RoHS指令，大部分企業直接採用材料取代的方式，以不受限制的材料來取代指令中禁用的材質。以現今常為人討論的產品無鉛化而言，不論是錒材本身或零件的成分，近年來已有不少的產品進入市場；關鍵錒材選用方面，目前以錒銀銅合金為主流。雖然2006.7看似久遠，我們建議應配合產品開發週期提前因應，切莫等到指令生效日前才採取動作。

### Q4：何謂「無鉛」化產品？

說明：由於物理特性，微量的鉛可能存在於不同合金之中，故先要定義何謂「無鉛」，在WEEE及RoHS指令中對此並無明確界定，有人以 $< 0.2\%$ 有人以 $< 0.1\%$ 為判定標準，目前業界逐漸形成之共識是以「在每一均勻材質皆 $< 0.1 \text{ wt.}\%$  ( $< 0.1 \text{ wt.}\%$  Pb in each homogeneous material)」為判定標準，也就是說不是以裝備、PCB、或零件總重為基礎，產品需要進行拆解再分析測試判斷。在此另要強調，因為目前並無一致性規定各公司可能有不同之規定，材料/零件製造商必需明確了解自家產品之特性。

### Q5：如何檢測？誰可以測？

說明：由於在RoHS指令中對檢測方法並無明確界定，據了解目前並無針對相關分析之標準方法(含取樣、前處理)，大部份廠商是以歐聯規定分析土壤中含重金屬量之方法進行測試、或參酌美國EPA之相關分析方法，不幸的是不同方法得到結果會有不同，此一部份仍有待進一步協商決定。

至於誰可以測試，會因不同狀況而有不同解答，歐聯基本上採用廠商自我宣告模式，廠商可以自行測試或尋求外部獨立實驗室測試；另外各別廠商則有不同規定，例如SONY原在其SS-00259規格中「建議(recommend)」實驗室可找SGS，為此ETC曾去函詢問，相關負責人員明確告知SONY並未指定實驗室，只要有能量SONY都會接受。故個人建議廠商或可自行建立分析能量、或找獨立實驗室，但重點是要確保測試分析能量已經ISO17025認證(如

CNLA、IECQ...), 如此測試報告才會有公信力。

表1 RoHS管制適用範圍

類別	例
1 大型家電	refrigerators, freezers
2 小型家電	vacuum cleaner, toaster
3 資訊通信裝備	mainframes, PC, printers, cellular
4 消費電子	radios, TV
5 燈具	fluorescent lamps
6 電動工具	drills, saws
7 玩具、休閒、運動裝置	
8 醫療設備	
9 監控裝置	smoke detector
10 自動販賣機(dispensers)	

表2、RoHS管制範圍之例外

例外	說明
汞	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 小型日光燈中不超過5毫克/燈者。</li> <li>* 特殊用途的直管日光燈中的汞。</li> <li>* 附錄中未特別提及的其他照明燈中的汞含量。</li> </ul>
鉛	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 陰極射線管、電子部件和發光管的玻璃內的鉛含量。</li> <li>* 鋼中合金元素中的鉛含量達0.35%、鋁含量達0.4%、銅合金中的鉛含量達4%。</li> <li>* 高溫鋼材中的鉛。</li> <li>* 用於交換、信號和傳輸，以及電信網路管理的網路基礎設施設備中鋼材中的鉛。</li> <li>* 電子陶瓷產品中的鉛。</li> </ul>
鎘	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 根據修改關於限制特定危險物質和預製品銷售和使用的第76/769/EEC 號指令的第91/338/EEC號指令禁止以外的銅電鍍。</li> </ul>
六價鉻	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 吸收式電冰箱中作為碳鋼冷卻系統防腐劑的六價鉻。</li> </ul>

## 二、「無鉛錒錫」各國產業進展及對我國製造業者之影響

### Q6：針對「無鉛錒錫」各國產業進展

說明：根據日本JEITA(Japan Electronics and Information Technology Industries Association)於2002.09公佈的「Lead-free Roadmap 2002 (ver. 2.1)」及英國SOLDERTEC公司

2003.02所公佈之「Second European Lead-free Soldering Technology Roadmap 2002」, 歐洲產業針對無鉛化仍有46% 左右未擬定因應策略, 歐洲大廠有47% 會全球同步要求無鉛化, 有9% 會主動提供海外技術協助, 72% 的兩支時才提供 0.1wt.% hole 零組件能耐受新製程條件(波焊260°C/10 Sec, 參見圖二所示)有24% 及18%、不確定的有52% 及64%、可能無法承受的有24% 及18%。依據2002.12東京舉行之「第二屆世界無鉛高峰會(the second lead-free world summit)」結論可摘要如下:

\*由JEITA與SOLDERTEC等廠「Framework for an International Lead-free Soldering Roadmap」做為電子業無鉛化之指導綱要

\*建議以0.1 wt.%做為(法規)無鉛之判定標準

\*建議採用「AuSn63」等錒

\*證明現有PWB仍適用新無鉛錒錫製程

\*鉛禁用之時程表:

(1) 零件業:

2001.12: 開始供應無鉛零件

2003.12: 零件端子(terminal)完全無鉛

2004.12: 零件腳電鍍完全無鉛

(2) 組裝業:

2002.12: 開始製造無鉛產品

2005.12: 所有產品完全無鉛化

註:上述時程是指產業平均時程, 領導廠商會超前一年, 而技術跟隨者會延後兩年左右; 但要注意RoHS 2006.7之規定不變, 廠商要自行控制進度

\*針對重L1/再利用需要, 零組件有標示使用材料成分之需求, 但相關標示方

本報專稿

法標準仍待討論。

#### Q7：針對「無鉛錫」我國製造業面對之問題

說明：由於我國電子產業在全球資訊電子供應鍊中主要負責OEM、ODM等製造者角色，面對無鉛化要求時我國業者承受壓力將遠大於國外產業，因為無鉛錫製程是電子產品無鉛化核心，加上客戶不只一家各個客戶要求又不盡相同甚至有所衝突，使問題更形複雜。個人認為面對無鉛化要求，我國業者需面對之議題有：

- (1) 新材料評估及選用-在產品無鉛化過程可能涉及的材料有油墨、無鉛錫、PCB及零件腳鍍層等，選擇新材料當然會考慮其品質特性、法規符合性、不同零組件相容性、成本，針對此議題另有專利問題必需考慮。
- (2) 客戶關係與溝通能力-由於不同客戶對無鉛錫可能有不同要求，但製程標準化是追求生產管理效率重要因子，國內廠商需以技術資料與不同客戶溝通協調，才能得到最佳組合。
- (3) 綠色供應鍊管理能力-裝備產品為達到無鉛，根本解決之道「就源管制」所使用所有零件、材料皆為無鉛，故供應鍊管理將成為重要議題；目前業界較為人知曉的是SONY的GP(綠色夥伴)計畫要求，本期專題另有文章說明。
- (4) 零組件管理能力-對代工製造廠而言，馬上面對的是無鉛製程轉換與不同客戶不同要求的問題，無鉛製程將是以階段性逐步導入方式轉換、轉換期間製造廠仍需負責舊有產品維修重工，另外不同客戶對無鉛錫選用、零組件電鍍成份可能有不同規定，製造廠勢將面臨更多零件種類、型態，如何有效管理零件不致混料與缺料將

是一大工程。

(5) 製程技術能力-錫銀銅錒錫熔點在217°C左右，比傳統63/37錫鉛錒錫(熔點在183°C左右)高出約30°C，吃錫能力亦有不同，雖然錒錫提供廠商會建議適合其材料之最佳製程條件，但設備限制及產品差異性，製造廠必需改變調整包括迴焊、波焊與手焊之製程參數，以達最佳製程條件，尤其研究指出新錒錫溫度輪廓之允許溫差(window)將縮小到10°C左右(參見圖三所示)，另外所有老闆都希望原有設備可以不必更換延用，但新錒錫之最佳使用條件可能需要更長預熱時間、更多溫度控制區，可見要以最低成本維持高良率將是製造工程師一大考驗；而近幾年針對高密度組裝需求而發展應用的光學自動檢驗系統，也將因錫銀銅錒點亮度降低而需要調整以免誤判。

- (6) 符合性驗證-如前所述「無鉛」之判定標準、測試分析方法各國法規、各公司仍有不一致或不明確情形，如何有效測試驗證「無鉛」是另一待解決議題。
- (7) 確保產品品質與可靠度-「不劣於錫鉛錒錫之特性」是目前所有客戶之要求，但如何證明則沒有共通之依據標準，新的錒錫材料、新的接點、新製程條件是否可以延用原有的可靠度試驗方法與模式，是每一個可靠度工程師皆有興趣知道的議題。

#### Q8：「無鉛錒錫」相關檢測試驗有那些？

說明：若從裝備製造廠來看，無鉛錒錫相關之檢測試驗可區分成：

- (1) 無鉛錒錫材料評估試驗：評選新無鉛錒錫材料與供應商、及常態性進料檢驗是其應用時機，包括合金與助焊劑特性兩部份。
- (2) 無鉛錒錫用零組件試驗：用於評選新零件與供

應商，評估重點在不合鉛、耐焊熱、製程適合性(如可焊性、焊點強度...)及其他(如錫鬚試驗)；不同廠商可能有不同要求條件與項目。

(3)製程檢驗：包括自動檢驗及目視檢查之判定標準皆需重新檢討與設定。

(4)「無鉛」符合性驗證：證明產品完全符合相關環保法規要求。

(5)實裝板與裝備可靠度驗證：目的在驗證無鉛製程產品其品質與可靠度「不劣於傳統錫鉛產品」及尋找失效模式和正確加速試驗因子，目前試驗會以驗證焊點壽命為主，如溫度循環、振動試驗。

### 三、「無鉛錫」材料選用與製程技術

Q9：全球「無鉛錫」選用之主流為何？

說明：根據日本JEITA及英國SOLDERTEC公司公佈之資料顯示，錫銀銅合金仍是主流無鉛錫之選擇(歐系廠商建議Sn-3.8Ag-0.7Cu，日系廠商建議Sn-3.0Ag-0.5Cu)，詳細資料摘要如下：

(1) 不同機構之建議

- 1996-1999歐洲的IDEALS研究計畫結論建議採用Sn-3.8Ag-0.7Cu
- SOLDERTEC於1999.10建議採用Sn-(3.4~4.1)Ag-(0.45~0.9)Cu
- JEITA在2000及2002皆建議採用Sn-3.0Ag-0.5Cu
- 美國NEMI在2000建議採用Sn-3.9Ag-0.6Cu

Q10：無鉛化印刷電路板表面處理

說明：基本上現有印刷電路板鍍熱表面處理皆可適用無鉛製程，依據JEITA公佈之Lead-free Roadmap 2002建議Land

finish為(plating)Au、(solder precoat) Sn 3 Ag 0.5 Cu。依JEITA & SOLDERTEC 2002.12公佈「Framework for an International Lead-free Soldering Roadmap」，目前業界最普遍使用的是Au/Ni(歐31%、日37%)，其他有SnAgCu(歐6%、日21%)、純錫(歐12%、日9%)、Pd/Au(各3%)、SnCu(日12%)、純銀(歐9%)、OSP等。

Q11：無鉛化零組件表面處理及錫球材料

說明：依據JEITA公佈之Lead-free Roadmap 2002建議solder balls使用Sn3Ag0.5Cu，零件表面處理則依不同零件而有不同選擇：

- 半導體：(主要) SnBi，其餘依序為SnCu、純錫、SnAg、SnPd。
- 被動元件：(主要)鍍純錫，其餘依序為SnCu、SnBi。
- 零件端子：(主要)鍍SnCu與純錫，其餘有鍍金。

依SOLDERTEC公佈之「EU Lead-free Soldering Roadmap(2003.2)」，目前業界solder balls使用最普遍的是SnAgCu，其次為純錫(13%)、SnAg(9%)；零件腳表面處理目前並無共識，常見的有純錫(24%)、Au/Ni(14%)，而在連接器則以純錫為主。

Q12：針對迴焊製程是否有建議之溫度輪廓(thermal profiles)？

說明：常見的迴焊溫度輪廓有三種：angle、hat、linear type(參見圖四)，JEITA在Lead-free Roadmap 2002中建議使用hat type(參見圖四)，但SOLDERTEC以問卷調查方式統計廠商製程情況發現歐洲有37%使用linear type、29%使用angle type，並沒有廠商使用hat type；再參考

SOLDERTEC調查發現歐洲廠商有43%認為導入無鉛製程不必更新設備，可知歐洲大部份廠商是以現有設備能量特性調整做為無鉛製程解決方案。

事實上所有無鉛錒錫供應商皆會提供針對其材料建議之「溫度輪廓」，但實際建置時需考慮設備能力(如溫度區數目、溫升曲線...等)、產品特性(如過錫爐之溫度分佈...)，這時就是在考驗各公司之製程及產品設計工程師技術能力與功力。

#### 四、錫鬚試驗

Q13：何謂「錫鬚(tin whiskers)」？

錫鬚是無鉛化過程中始料未及之技術問題，相關議題已成為學術界及業界皆重視之題目。2003.5.15在日本東京召開" Tin Whisker Joint Meeting"，不同機構在會中各自提出研究報告與發現，例如定義「錫鬚」(長>10um或長/寬比>2，有一致橫切面中心)之位置(參見圖六)、樣品處理與試驗方法...。會中並協議由日JEITA、美NEMI及英SOLDERTEC組成專案小組，研究錫鬚生成機制，並在2004之前提出「錫鬚試驗方法」之IEC標準草案。

Q14：錫鬚試驗方法

說明：目前JEDEC建議之試驗條件為：熱衝試驗(TC)：-55°C/85°C，每循環20分鐘，濕熱試驗：60°C，90 +/-5% RH，室溫試驗：~23°C；但由於試驗之重複

與再現性不佳，JEDEC也註明試驗目的是幫助評估鍍層處理，並不是用來做可靠度評估用。2003東京召開的" Tin Whisker Joint Meeting"，與會者對錫鬚試驗之初步共識為：

- 高溫/濕試驗(high temperature/humidity condition test)：60°C，93 +/-3% RH
- 熱衝試驗(Thermal Cycling, TC)：高溫85°C，低溫-40°C 或-55°C，高低溫停留時間及溫變率(待決定)。
- 室溫環境(Ambient conditions)：20~25°C 或 15~35°C (待決定)。

#### 五、電檢中心可提供之服務

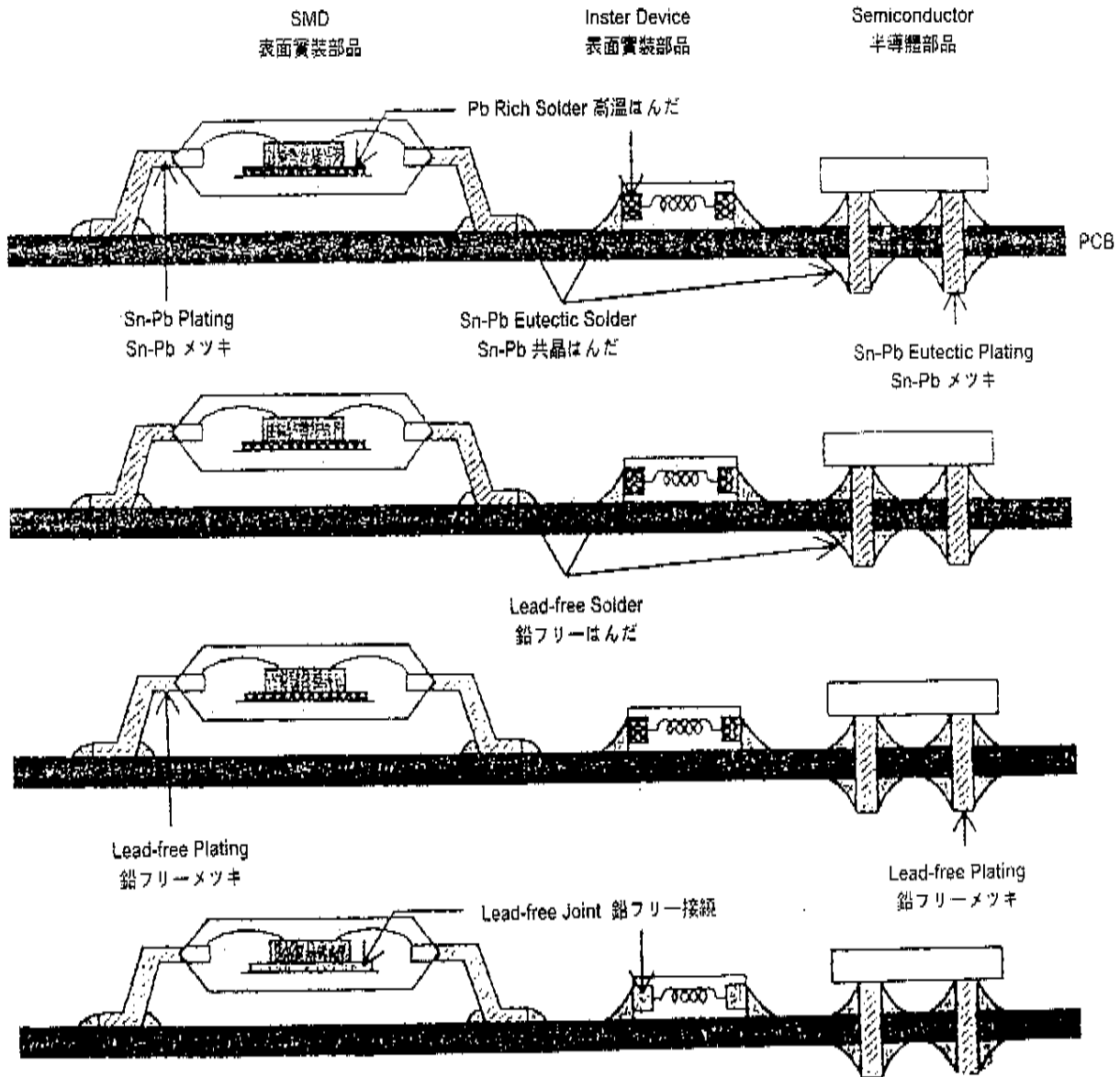
說明：針對無鉛錒錫議題，ETC可以提供之服務如下：

- (1) 資訊提供-系列研討會(包括ETC人員參與其他機構主辦研討會、邀請專家舉辦專題研討會)、到廠說明解釋、ETC季刊專題。
- (2) 綠色供應鏈管理輔導-以SONY的GP為標的協助廠商建立「綠色供應鏈管理系統」。
- (3) 無鉛製程導入技術輔導-組成技術輔導方案輔導方式，協助廠商順利導入無鉛錒錒製程。
- (4) 符合性測試驗證--針對RoHS指令要求進行測試分析，出具獨立實驗室測試報告(ETC環保分析實驗室取得CNLA認可、目前正與SONY相關實驗室進行能力比對中)。
- (5) 無鉛錒錒試驗及特殊評估、無鉛化零組件特性測試(包括可焊性、耐焊熱、焊點強度...)、實裝板可靠度試驗。

### 七、結語

翻開舊資料從民國89年ETC就曾舉辦過相關議題研討會，也持續在蒐集資料研究、進行準備，針對2002.10 RoHS指令公告，及國際大廠一道又一道的催促要求，ETC自然很樂意扮演某種對產業有助益之角色。

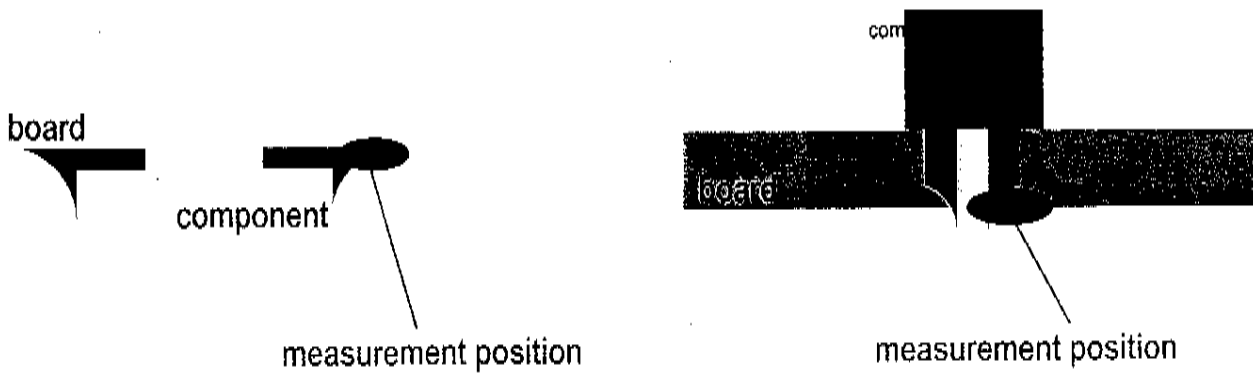
當然不論是相關無鉛製程、測試分析技術、檢測設備能量，ETC仍有許多改善空間，但只要有機會ETC願意站在與業界(資訊及測試能量)互補、協助產業技術提昇角色，提供一份心力。 **ETC**



圖一、電子產品無鉛化示意 資料來源：Nikkei Electronics 2000

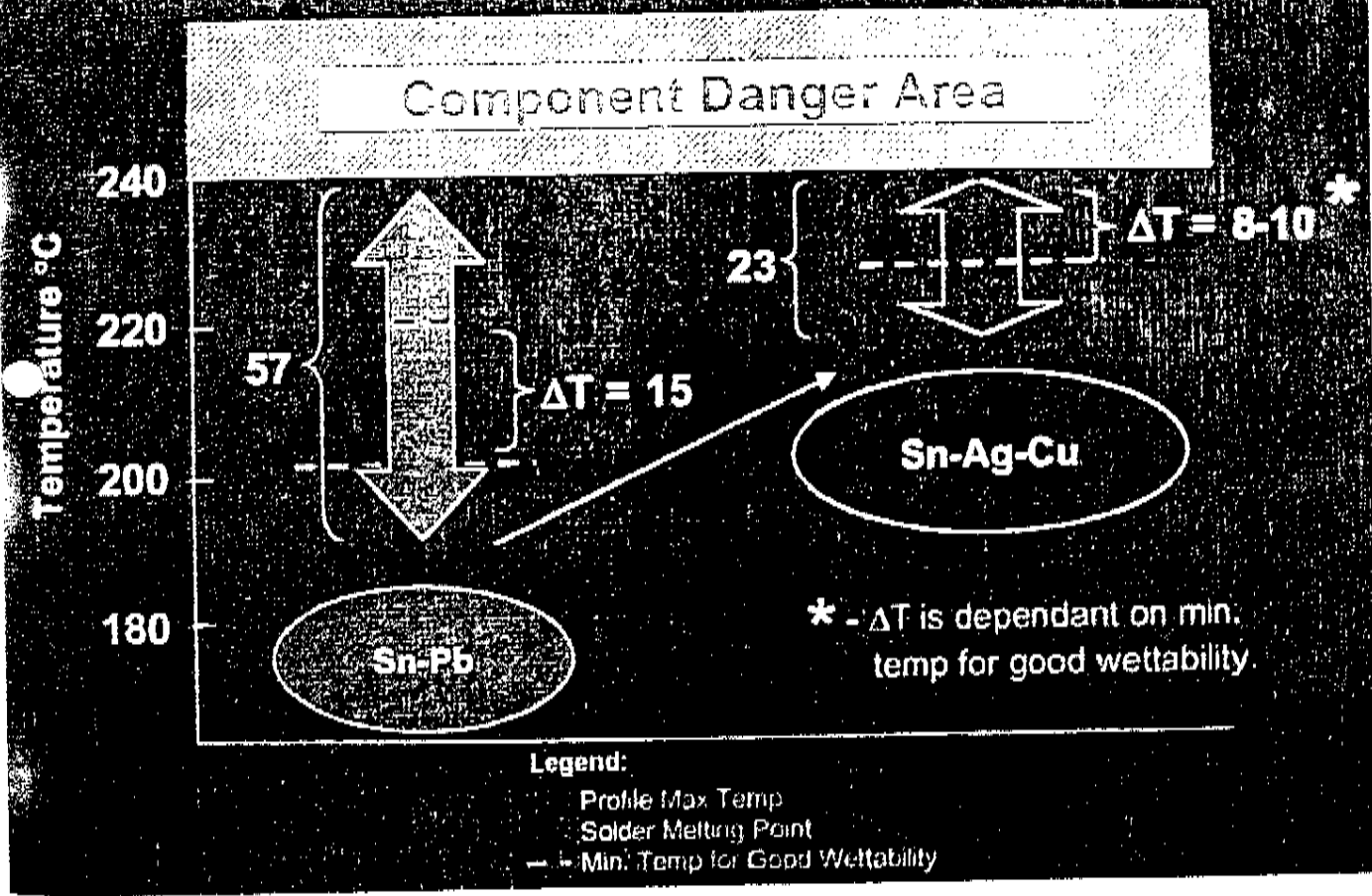
本報專電



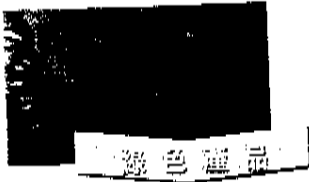


圖二、零組件耐焊熱溫度量測點 資料來源：「2nd EU LEAD-FREE SOLDERING ROADMAP」-SOLDERTEC

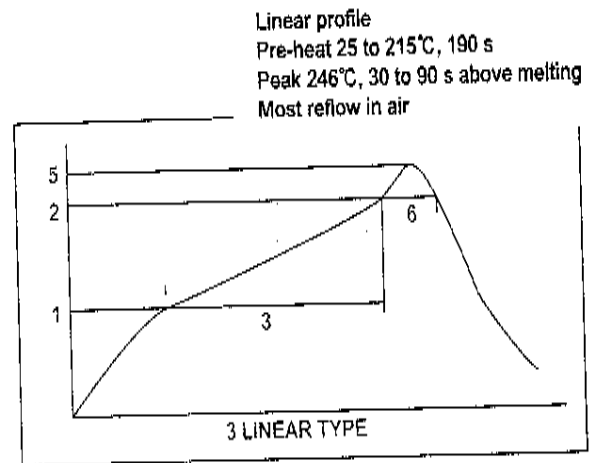
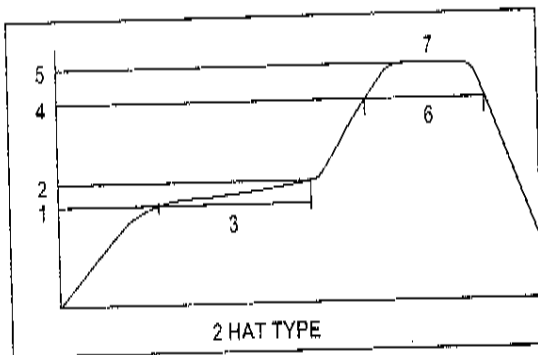
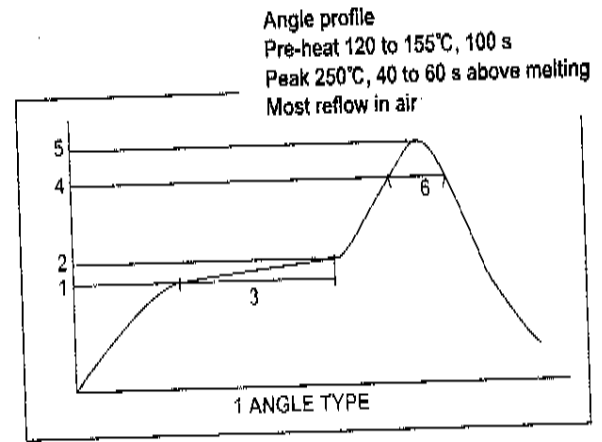
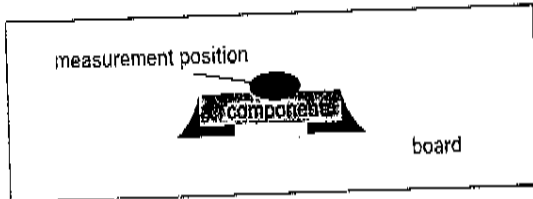
# Pb-free Process Implications



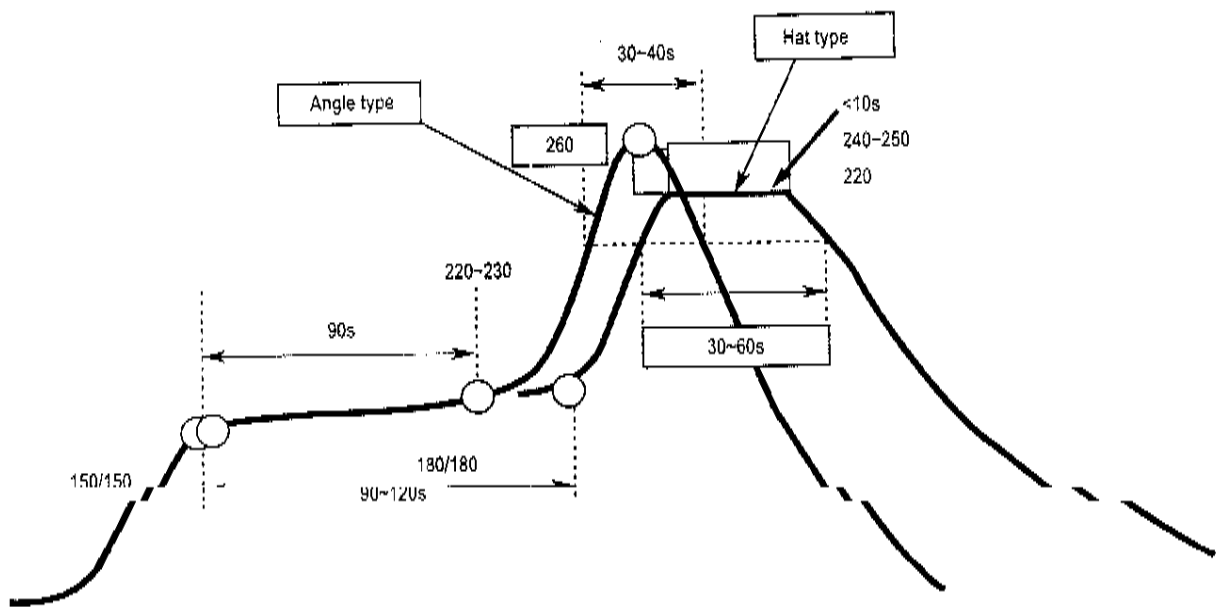
圖三、溫度輪廓之允許溫差範圍(window)示意 資料來源：工研院電子所游善浦博士92.8研討會資料



圖四、(a) 迴焊溫度輪廓型態



(b) JEITA建議使用



資料來源：「2nd EU LEAD-FREE SOLDERING ROADMAP」-SOLDETEC

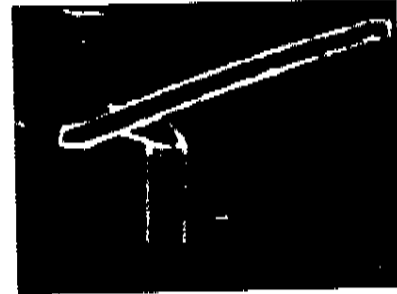
「Lead-free Roadmap 2002」--JEITA



Striations on whisker and  
consi-sent cross-section



Very rarely, whiskers may  
branch

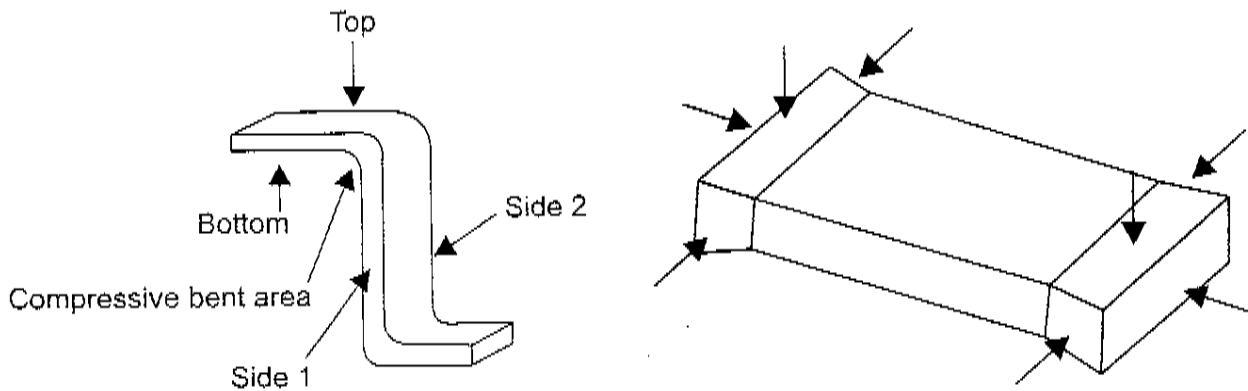


Kinked whisker

SEM photos-courtesy of p. Bush, SUNY at Buffalo

圖五、錫鬚

資料來源：NEMI Sn Whisker Project



圖六、建議錫鬚試驗檢視位置

資料來源：NEMI Sn Whisker Project

## 電檢中心服務窗口

針對"RoHS及無鉛化服務", ETC已組成服務團隊, 由黃凱顯博士為總召集人  
(Tel:03-3276767 hkhung@etc.org.tw), 相關分工及負責人如下:

- (1) 綠色供應鏈管理輔導—吳爾昌 課長(03-3276143)
- (2) 無鉛製程導入技術輔導—黃凱顯 博士 (03-3276767 hkhung@etc.org.tw)
- (3) 產品RoHS符合性測試驗證—孫秀鳳 課長 (03-3280026 ext292)
- (4) 無鉛鉍錫驗證及特殊評估—黃凱顯博士 (03-3276767)
- (5) 無鉛化零組件特性與實裝板可靠度試驗—彭心旭 課長(03-3276184  
eric@etc.org.tw)及吳錦豐組長(03-3276159 joy@etc.org.tw)。