

# 無鉛制程介紹

**Jeven Lee**  
**Nov. 2004**

# 無鉛制程介紹

電子產品全面無鉛化越來越接近，業界爲了符合此一潮流正在進行各項相關製程變更，然而要從錫鉛製程轉換至無鉛製程決非易事，若不深入了解的話，勢必會產生問題.....

繼之前的綠色產品報告，在此以下面三個問題與您分享無鉛制程，希望能爲您對無鉛制程了解提供幫助：

1. 導入無鉛製程會產生什麼問題？
2. 這些問題由什麼引起？
3. 這些問題該如何克服？

# 無鉛制程介紹

實際上，公司要提供綠色產品只是在解決兩件事情：

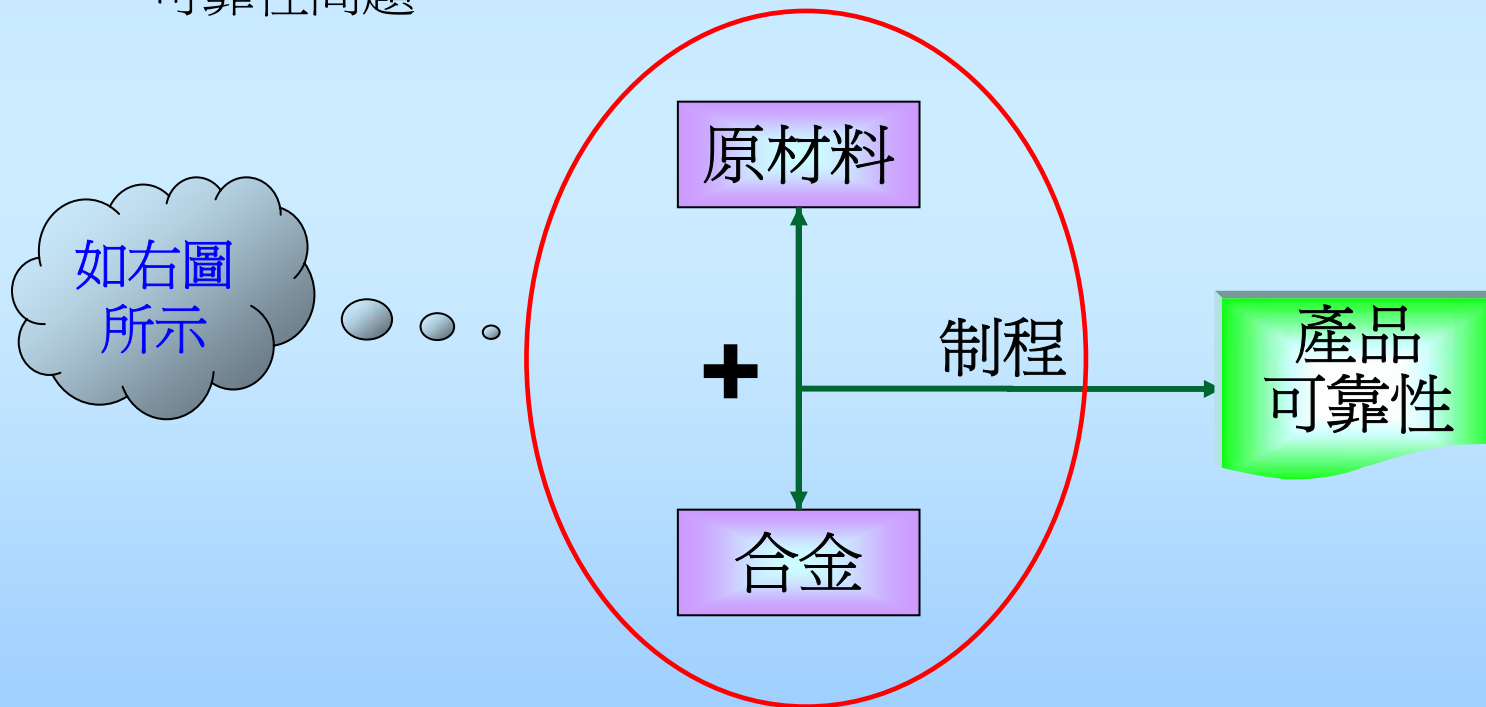
1. 產品有毒有害物質不能超過標準
2. 產品品質要等于或好于含鉛產品

其中第一項基本上由原材料本身決定，加上制程中防止與含有害物質材料混合而增加隔離措施，同時使用無鉛合金進行生產即可解決，而第二項則由整個生產工藝決定，包括為生產所選擇的原材料、合金、助焊劑、設備能力及最佳化制程參數等等，其深入了解程度與否將是成敗的關鍵所在。

# 無鉛制程介紹

---導入無鉛製程會產生什麼問題？

無鉛制程本身不會產生什麼問題，問題在於目前電子業界各技術因素的限制，使得焊接技術受到制約而引發的產品可靠性問題。



# 無鉛制程介紹

要減少各技術因素影響產品可靠性，則需要深入了解產品構成的  
原材料、合金及制程設定三方面制約因素及防止措施。

- 而原材料及合金本身的特性不是我們電子組裝行業所能控制的，我們唯一能控制的僅僅是我們的制程。
- 因此，我們需要挑選符合我們制程的原材料及合金，用最佳化制程生產出最佳可靠性產品。

接下來就是如何挑選材料及制程最佳化問題……

- 產品是由各類不同原材料組合構成，合金是連接各原材料的載體，制程設定則是使合金發揮最佳效果的基準，三者共同制約著產品可靠性，缺一不可。

# 無鉛制程介紹



## ----如何挑選材料？

### 材料挑選分三部分

1. 合金的選擇
2. 零件的選擇
3. PCB的選擇

# 合金的選擇

無鉛合金是無鉛焊接的基礎，它連接PCB與元器件構成產品，其特性如熔化溫度、機械強度、抗疲勞等將直接關係到焊接效果，從而影響焊接產品的**可靠性**，它的挑選是無鉛制程的關鍵。

其選擇的主要考慮點有：

1. 熔點溫度
2. 機械強度
3. 氧化速度
4. 可生產性
5. 保存期限
6. 環境沖擊
7. 成本
8. 可靠性
9. 兼容性
10. 實用性
11. 穩定性
- .....

實際挑選時無法兼顧到所有考慮點

# 合金的選擇

在目前多種多樣的無鉛合金前提下，爲了使電子產品生產成本最小化，一個起決定性的判定標準就是**PCB**、零件及無鉛焊錫互相兼容性。

當制程中多種無鉛合金同時存在時，將會對系統產生不適應性：

- 總成本將增加，因爲供應商需要對相同的焊接提供多種合金
- **PCB**及零件供應商制造能力與及時性將受限制，以防因不同合金對**PCB**及零件的要求不一致。

因此，各零件及**PCB**供應商公認需要集中一種或少數幾種合金來取代錫鉛合金。



# 合金的選擇

經專家超過十年的積極研究與對比，從多種多樣無鉛合金中挑選出性能優越的八種無鉛合金：

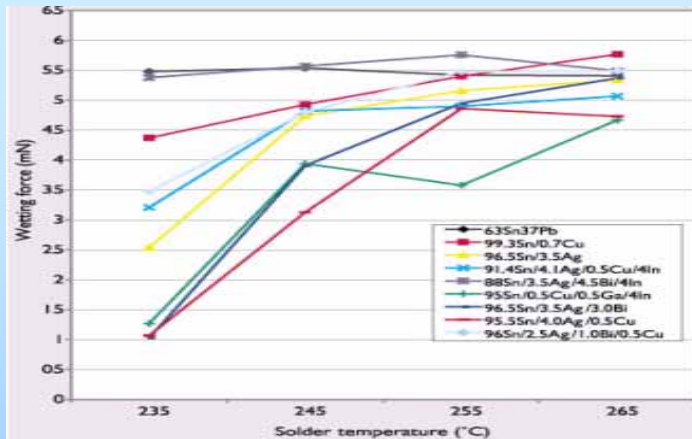
- ❑ Sn/Cu 錫/銅
- ❑ Sn/Ag/Bi 錫/銀/鉍
- ❑ Sn/Ag/Cu 錫/銀/銅
- ❑ Sn/Ag/Cu/Bi 錫/銀/銅/鉍
- ❑ Sn/Ag/Cu/In 錫/銀/銅/銦
- ❑ Sn/Cu/In/Ga 錫/銅/銦/鎳
- ❑ Sn/Ag/Bi/In 錫/銀/鉍/銦
- ❑ Sn/Ag/Bi/Cu/In 錫/銀/鉍/銅/銦

且目前許多工業集團如**NEMI**、**IPC**、**JEDEC**等已共同認可**SnAgCu**及**SnCu**合金，因其性能優點表現突出。

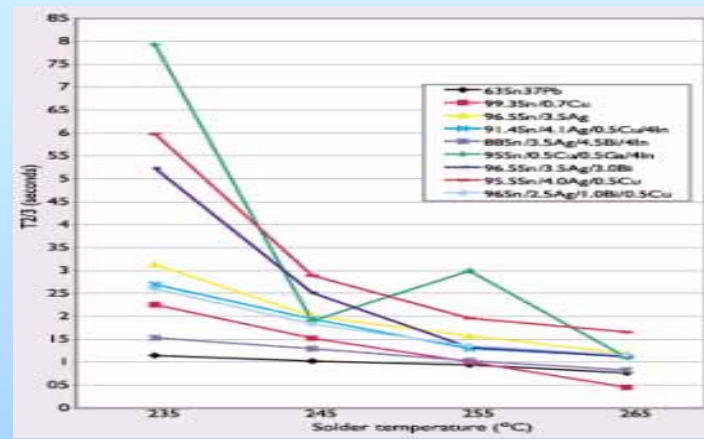
# 合金的選擇

## SnAgCu合金性能----

- 3.0-4.7%Ag和0.5-1.7%Cu比63Sn/37Pb有更高的抗拉強度與抗疲勞特性;
- 銀含量從3.0%提高到4.7%對抗疲勞強度無任何幫助;
- 銅和銀都處於較高含量時塑性變壞，如93.6Sn/4.7Ag/1.7Cu;
- 熔點比63Sn/37Pb高 34°C (217-183)
- 合金浸潤力不及63Sn/37Pb (下圖所示)。



無鉛合金與SnPb合金最大浸潤力比較



無鉛合金達到2/3最大力的浸潤時間

# 合金的選擇

選定的無鉛合金為SnAgCu合金時，此無鉛合金性能狀況將對材料及制程的挑戰來自于以下兩方面：

## 1. 需求耐更高溫度的原材料

因錫/銀/銅合金熔點高，爲了獲得良好的焊接品質，必需提高制程焊接溫度，勢必要求原材料能承受更高的溫度；

## 2. 需求更精准的制程參數

錫/銀/銅合金浸潤力較差，溫度低時焊接強度不夠，溫度高時原材料承受不了，溫度可調空間更爲狹窄，挑戰來自于從窄的溫度範圍內設定精准的制程參數克服浸潤力差的問題。

# 零件的選擇

環保零件選擇最主要考慮以下三點：

## 1. 零件的有害物質含量

零件的各部分有毒有害物質含量需符合公司相關規定以符合無鉛產品規格要求；

目前除部分IC、保險絲及顯像管的內部可含適量鉛外（因業界還無法生產內部不含鉛的材料），其余零件的有毒有害物質含量均須在管制範圍內。

注意：環保材料必須與含鉛材料作區分隔離，  
必須有一識別方式以便進行庫存管理

# 零件的選擇

## 2. 零件的耐溫性

過Reflow或Wave soldering的零件耐溫性必須要達到260°C 10秒  
至少能焊接三次的基本要求；

目前有部分零件存在邊緣耐溫性問題，如貼片鋁電解電容、  
微型薄膜電容等。

處理方式：

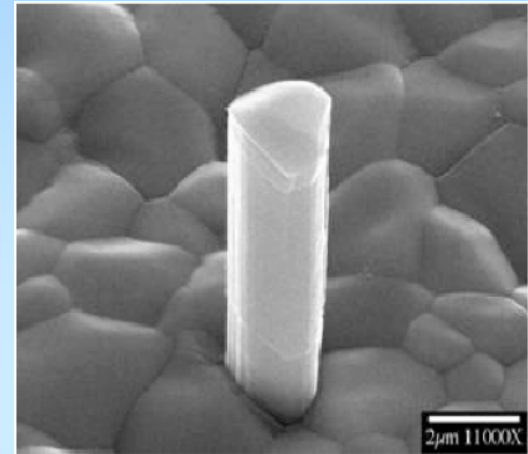
- a. 凡過**Reflow**或**Wave soldering**的零件必須滿上述要求；
- b. 不能滿足要求的零件使用替代品；
- c. 促進供應商發展新技術以提供可耐高溫及多次焊接的零件。

# 零件的選擇

## 3. 零件鍍層的材質

Ni/Pd/Au、Ni/Pd、Sn/1-3%Bi或Sn/1-5%Ag等可用于零件腳鍍層合金，目的是爲了防止錫須產生；

零件表面鍍層爲純錫情況下將會生長錫須，會導至元件間產生短路現象。

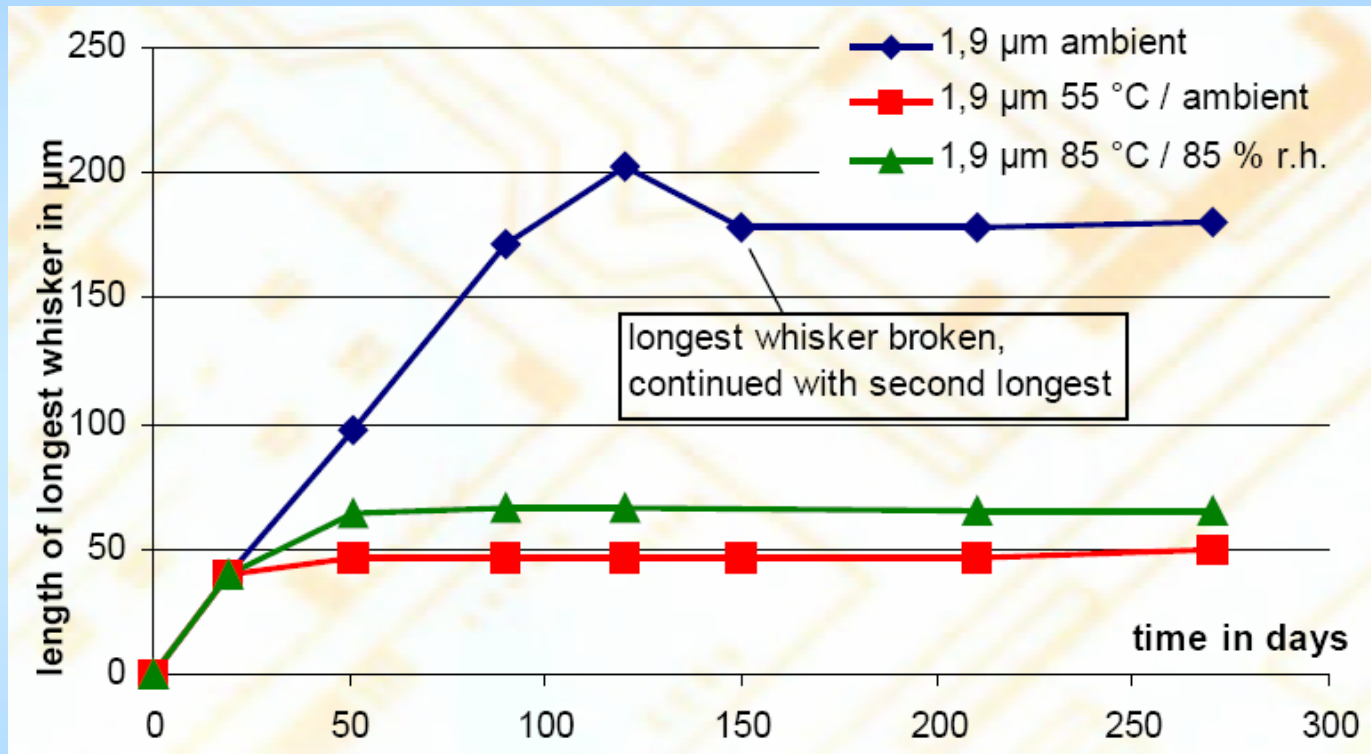


預防方式：

- a. 零件鍍層外鍍鎳形成一層隔離層可阻止錫須生長；
- b. 零件電鍍后烘烤處理1H@150°C。

# 零件的選擇

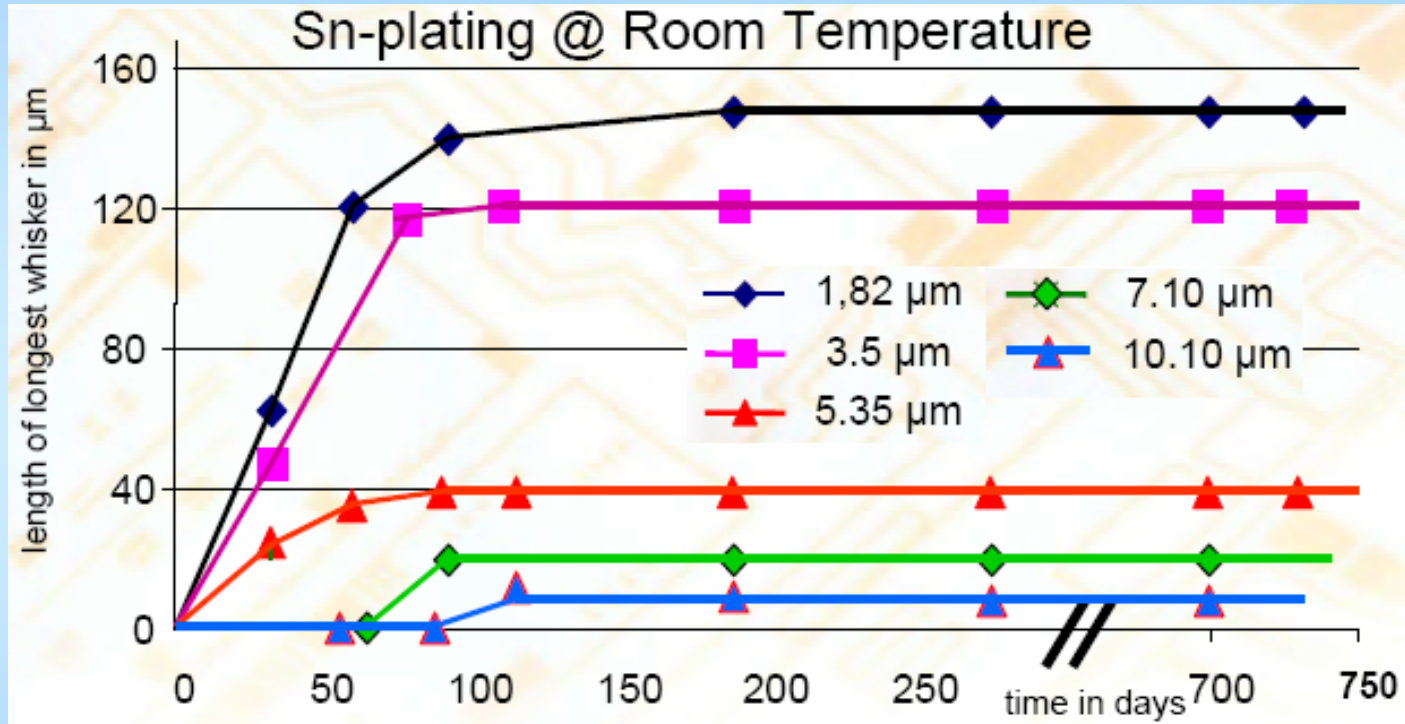
銅基材上鍍錫后不同環境條件下錫須的最長生長狀況：



1. 溫度越高濕度越大錫須生長越短
2. 錫須生長到一定長度后將不再生長

# 零件的選擇

室溫下銅基材上不同鍍錫厚度時的錫須最長生長狀況：

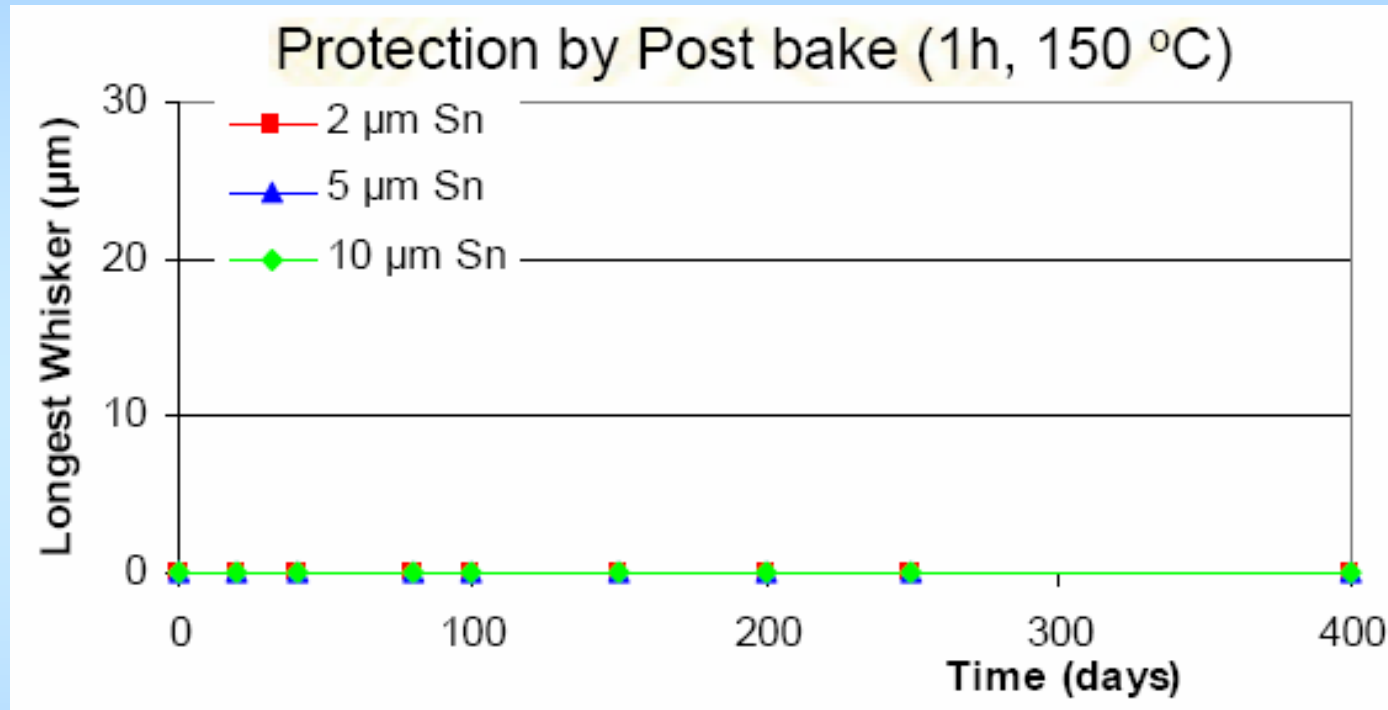


1. 鍍錫層越厚錫須生長越短
2. 錫須生長到一定長度后將不再生長



# 零件的選擇

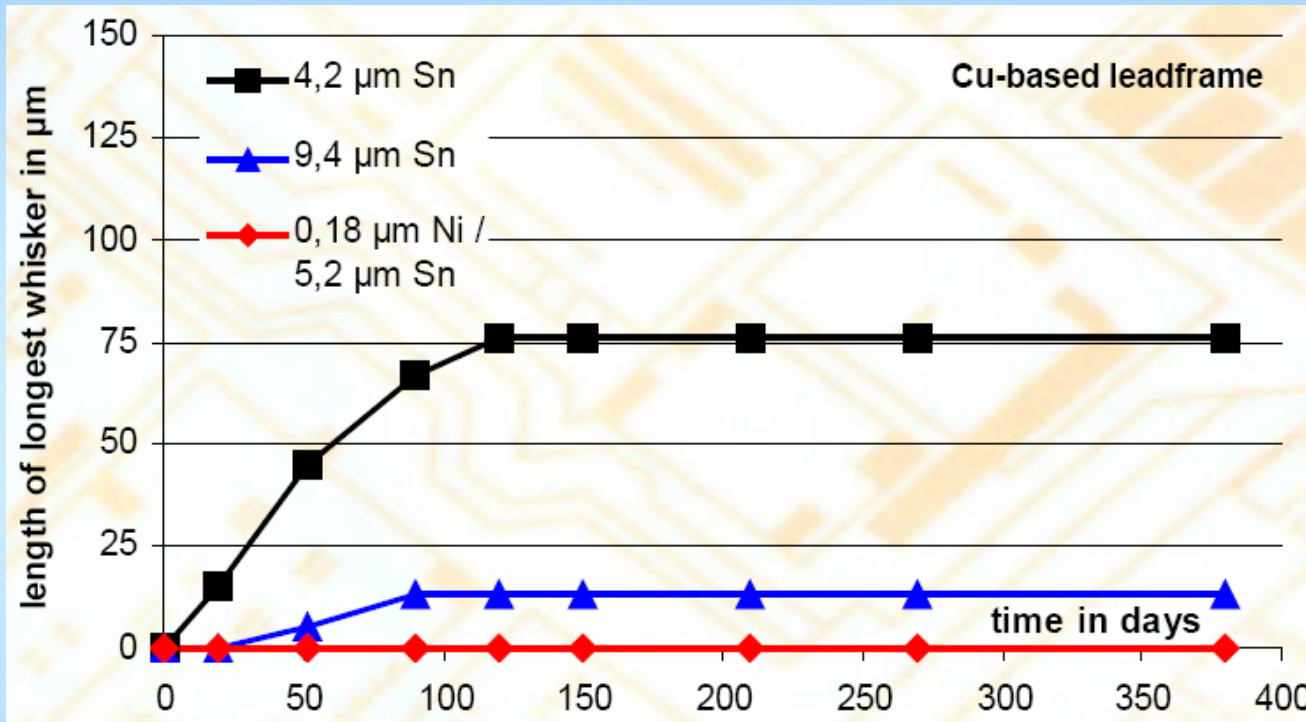
銅基材上不同鍍錫厚度在1h@150°C烘烤后的錫須最長生長狀況：



1. 經1H@150°C烘烤后錫須將不再生長
2. 鍍錫厚度與生長狀況無關

# 零件的選擇

銅基材上鍍錫及鍍鎳后錫須最長生長狀況：



以上實驗數據由 PHILIPS、ST及 Infineon 三家公司共同提供

1. 銅基材上鍍鎳可防止錫須生長
2. 實驗証實銅基材上鍍銀同樣可防止錫須生長

# PCB的選擇

PCB選擇的考慮：

## 1. 板材必須耐高溫

無鉛制程溫度較含鉛制程溫度高，要求PWB能經高溫而不致使基板彎曲變形；

目前FR1板材不能用于無鉛制程生產，其T<sub>g</sub>點約90°C，CEM1及FR4可用于無鉛制程生產，T<sub>g</sub>點 >130°C。

業界還有兩種無鉛疊層板CEM3及FR5將計劃用于未來的無鉛產品生產。

基板價格比：

**FR1:CEM1:FR4=1:1.3:2.8**

# PCB的選擇

## 2. 表面處理須兼容無鉛合金

目前業界有六種無鉛表面處理可供選擇：

- a. 鍍金板 (Electrolytic Ni/Au) 最穩定，價格最高
- b. OSP板 (Organic Solderability Preservatives) 最便宜，性能最差
- c. 化銀板 (Immersion Ag) 性能次之，易遷移導致漏電
- d. 化金板 (Electroless Ni/Au，ENIG) 黑墊，HP、Dell產品禁用
- e. 化錫板 (Immersion Tin) 製程未成熟
- f. 錫銀銅噴錫板 (SACHASL) 製程未成熟

使用**OSP**處理板需注意兩次**Reflow**之間及**Reflow**至**Wave soldering**之間存放時間，因其經高溫加熱後**pad**上的保護膜受到破壞而使焊錫性降低。

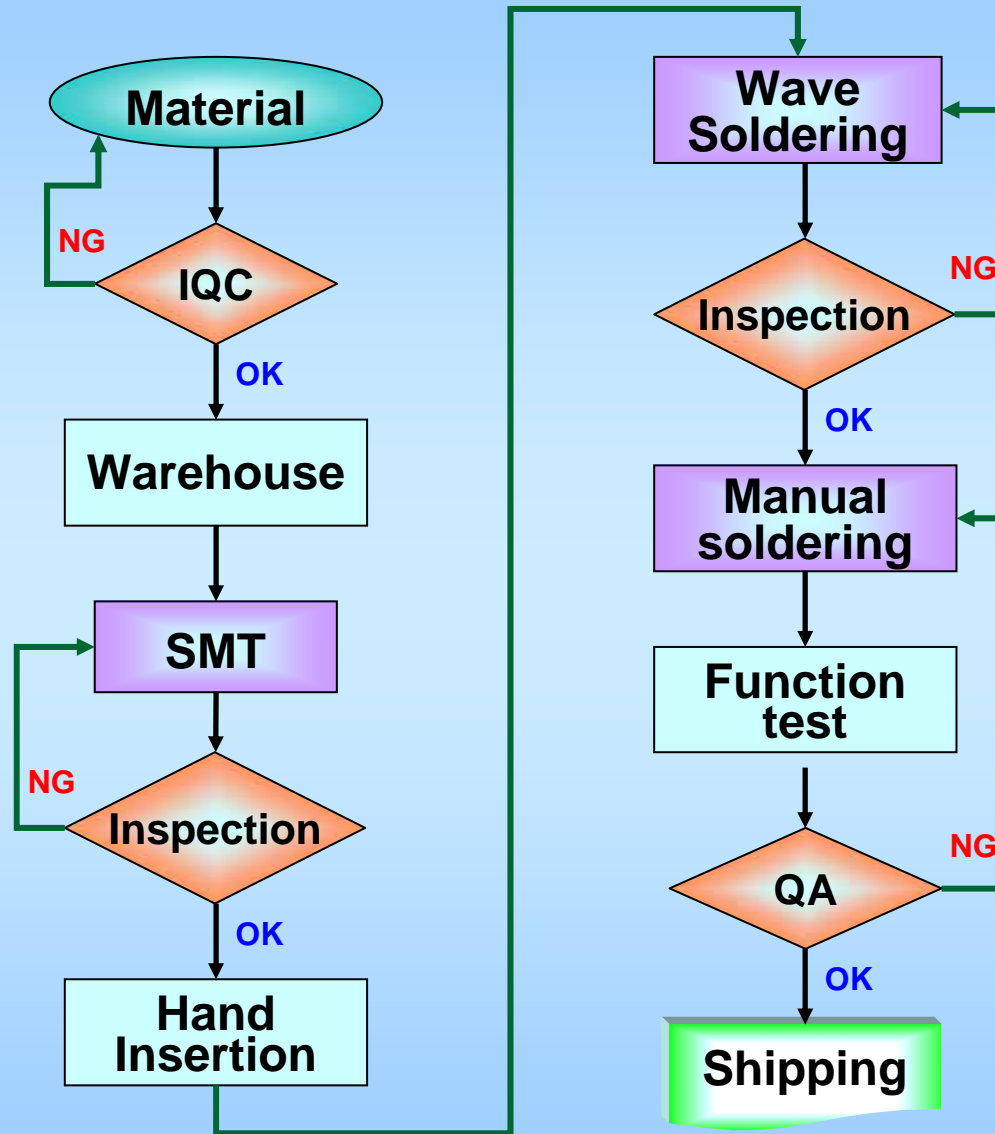


## ----制程最佳化

### 關鍵的三部分

1. SMT
2. Wave soldering
3. Manual soldering

# 無鉛制程流程

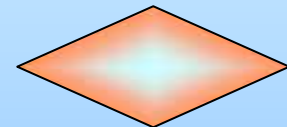


Remark:

1. Lead-free Key points difference with Pb process:



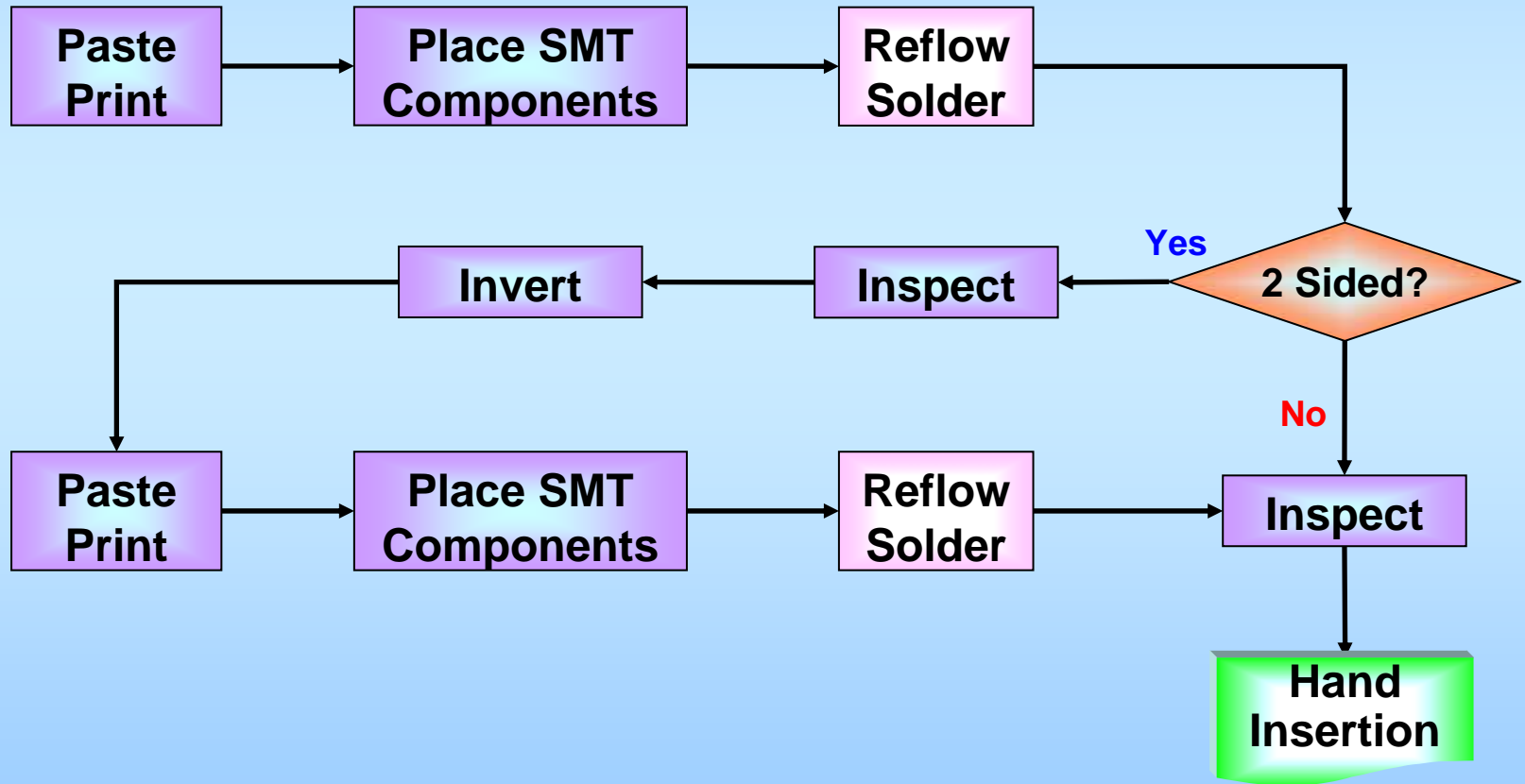
2. Quality check points:



# SMT

## SMT (Surface Mount Technology) 制程流程圖：

(無鉛AI/RI及紅膠制程與含鉛制程設定相同故未列出)



# SMT

## 1. 具備適合無鉛工藝生產的回焊爐是無鉛生產前提

- a. 回焊爐能進行足夠的溫度範圍調節以滿足無鉛製程profile所需，特別是預熱區的溫度提高及冷卻區的急速冷卻效果；
- b. 需具備良好的爐溫控制技術，因無鉛工藝範圍比含鉛工藝範圍狹窄，加上設備控制精度如設置速度、溫度等變化對工藝產生的波動，要求其具備更好的工藝開發與控制的工具進行無鉛工藝生產。

## 2. 鋼網開孔尺寸需適當增大

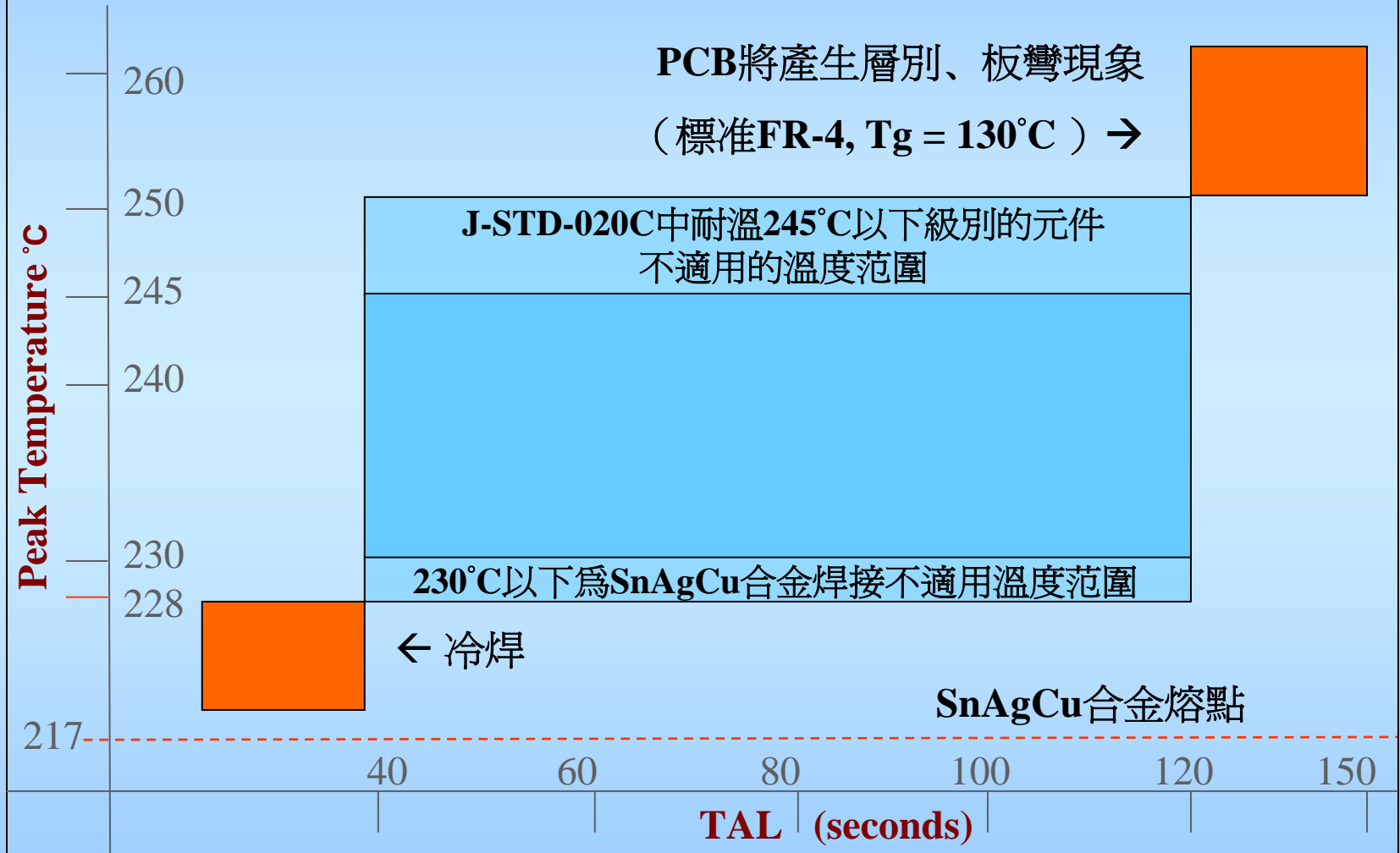
由於無鉛焊膏的擴散性較差，鋼網開孔尺寸需依元件類型作適當增大以確保良好的焊接效果。

## 3. 制程參數如刮刀速度、壓力需重新設置



# SMT

## Reflow 無鉛制程範圍: Temp vs. TAL



# Wave soldering

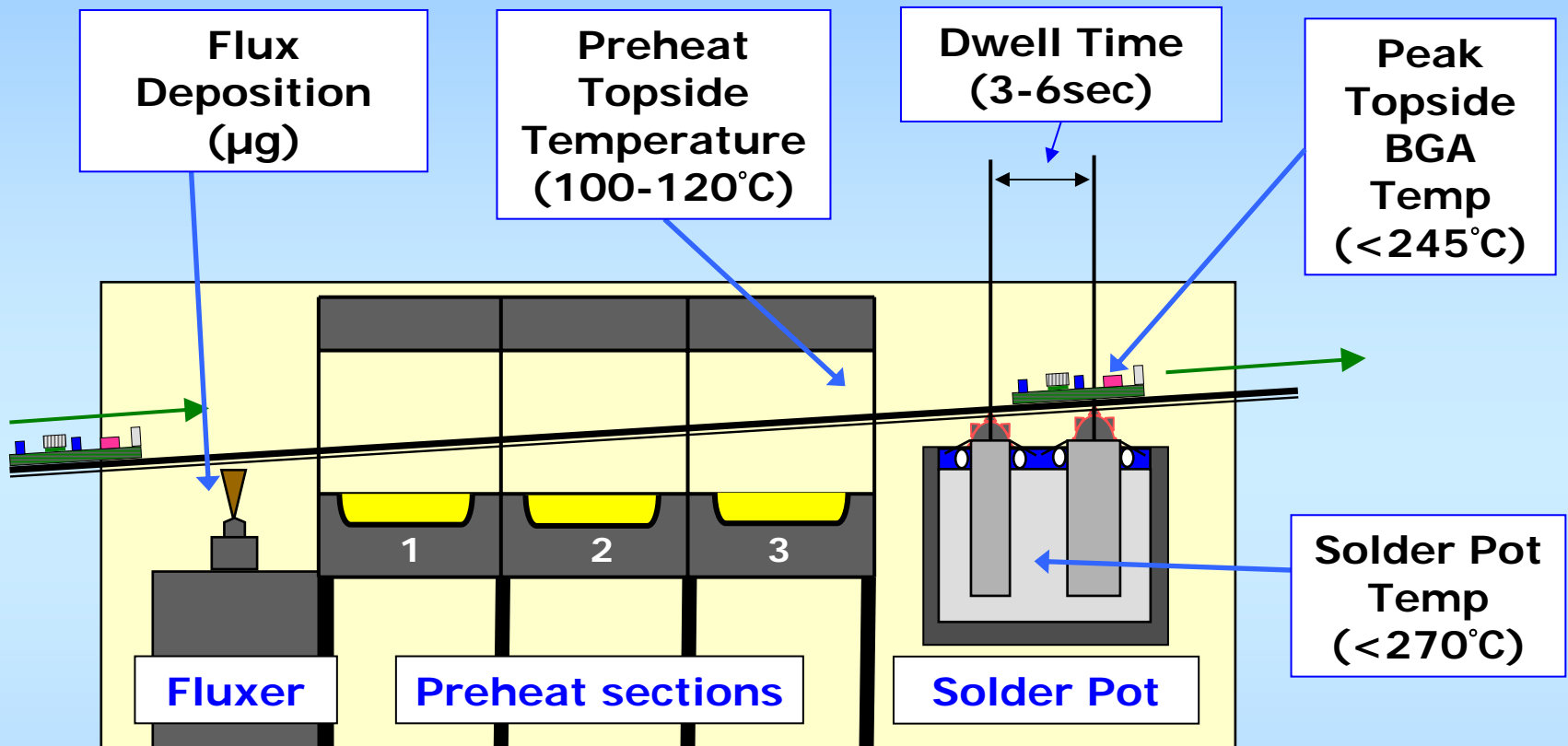
## 1. 更換適合無鉛工藝生產的焊錫爐

- a. 用於**63/37**製程的波焊爐已無法使用於無鉛製程，因無鉛錫棒熔點提升了**34°C**，錫槽的加熱功率須提高，預熱區長度須增加以滿足焊接熱補償及溫升；
- b. 無鉛焊材高比例的錫成分在長期高溫下對錫槽壁產生侵蝕作用，須選用防止侵蝕的錫槽壁如“鈦合金”等材質以延長錫槽的壽命；
- c. 波焊爐出口加裝急速冷卻系統增加冷卻速率，避免因冷卻緩慢而使焊點出現錫裂現象。

## 2. 設置精準的無鉛產品生產曲線

確保：足以使焊料熔融形成金屬間化合物、足以使焊劑活化產生潤濕效果、足夠低的溫度以不損壞元器件和**PCB**前提下產出最佳焊接品質。

# Wave Soldering



無鉛錫爐需加強維護保養，尤其是設備參數的檢測及錫槽內合金成份偵測。

# Manual soldering

## 1. 使用適合無鉛焊接的烙鐵

- a. 選擇功率大、回溫快、有足夠熱補償的烙鐵，因無鉛焊錫絲熔點高，帶走熱量快，焊接時易產生冷焊；
- b. 選用耐侵蝕不含重金屬的烙鐵頭，因無鉛焊錫絲的高錫含量易腐蝕烙鐵頭，降低烙鐵頭使用壽命。



## 2. 設定無鉛手焊溫度

確保：足以使焊料熔融形成金屬間化合物、足夠低的溫度以不損壞元件和**PCB**。

**SMD < 300°C @ 3S**

**PTH < 400°C @ 3S**

# 無鉛制程介紹

材料及制程最佳化設定完成之后，產出的無鉛產品將涉及焊接檢測包括外觀及可靠性判定規範。

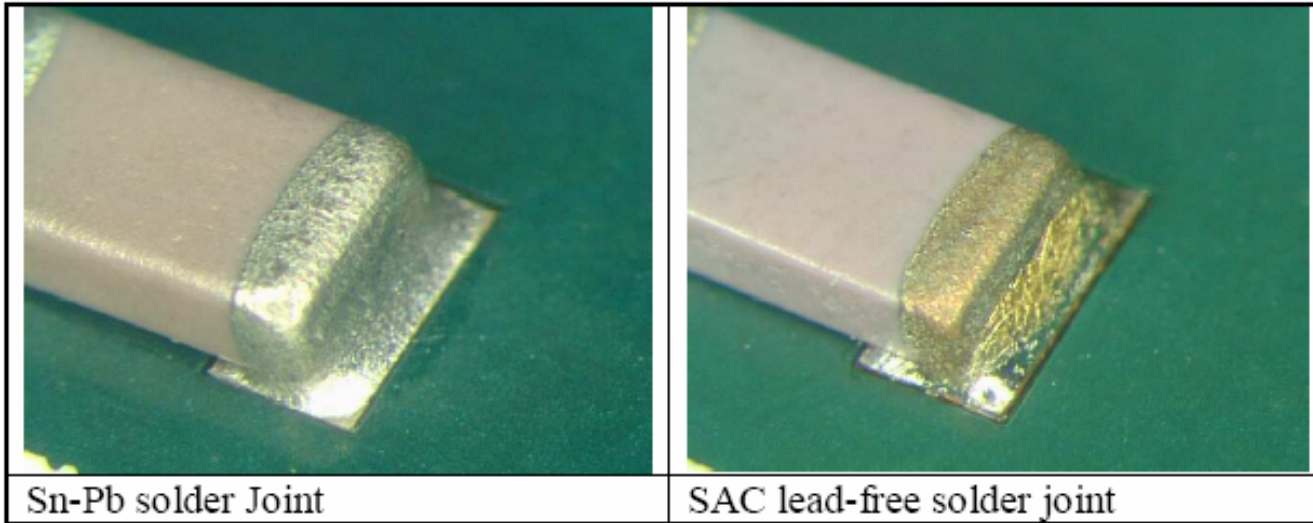
業界已經証實無鉛焊接在**外觀上**與含鉛焊接有明顯光澤度差異外，**機械強度**及**抗疲勞性**都比含鉛焊接好，而無鉛焊料所特有的**浸潤力差**則由制程參數最佳化解決。

因此，為確保有鉛焊接與無鉛焊接的性能可比性，即**無鉛焊接**效果在什麼狀況下品質等于或好于有鉛產品，其外觀檢驗標準將被重新定義，并需輔助相應的可靠性測試結果。

# 無鉛與含鉛外觀比較

目前業界提供的含鉛及無鉛焊接外觀差異如下：

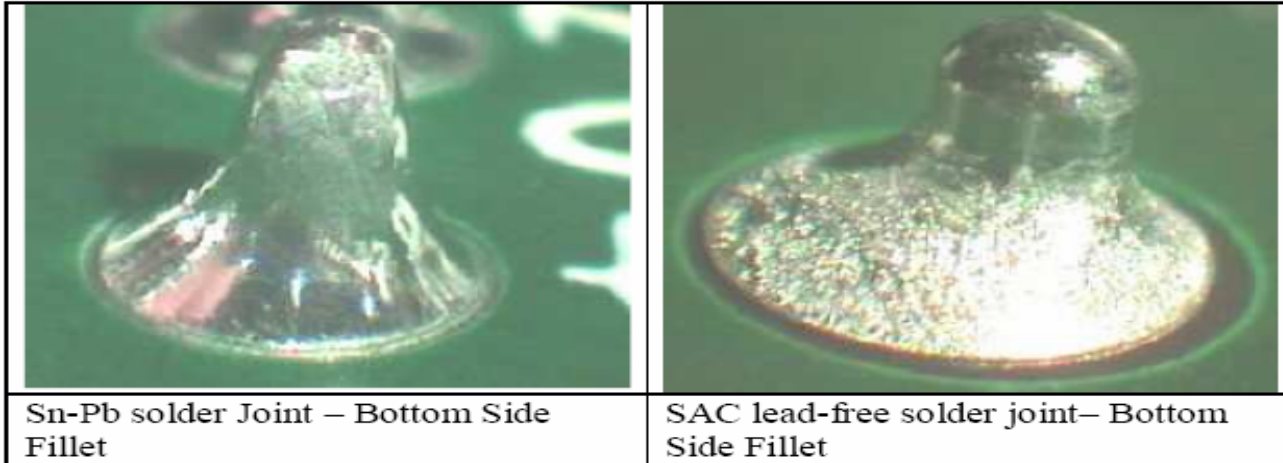
## SMD:



1. **SnPb**焊接點表面光滑，焊錫平滑地伸展到**pad**邊緣
2. **SAC**焊接點表面呈顆粒狀，焊錫不能平整伸展至**pad**邊緣

# 無鉛與含鉛外觀比較

## PTH (Bottom):



## PTH (Top):



# 無鉛焊接外觀檢驗標準

因目前業界還未正式發行無鉛產品外觀檢驗標準，現仍以 **IPC-A-610C** 為檢驗基準，並在確保焊接可靠性的情況下修改部分外觀判定標準如焊接點暗淡、霧狀及波紋狀等，但不能有明顯的浸潤差異及不浸潤。

下一**IPC-A-610**版本將含蓋無鉛檢驗標準，待正式發行后依其標準進行檢驗。



# 可靠性測試

目的： 確保無鉛產品品質等于或優于含鉛產品

必要的試驗：

- a. 振動試驗 (Vibration Test)
- b. 熱循環測試 (Thermal Shock Test)
- c. 金相切片試驗 (Cross-Section Test)
- d. IC零件腳的拉力試驗 (Pull Test)
- e. 電阻電容的推力試驗 (Shear Test)
- f. 跌落試驗 (Drop Test)

以驗證無鉛焊接浸潤力、機械強度及抗疲勞性

# 無鉛制程介紹

向無鉛制程轉換時制程有毒有害物質管制：

## 1. 預防鉛污染

- a. 專用線體生產無鉛產品
- b. 防止零件混料
- c. 防止半成品、成品混合

## 2. 有鉛及無鉛并行技術

- a. 前期兼容管制
- b. 后期兼容管制

# 防污染管制

當發生鉛污染時的影響：

環保零件、**PCB**中混有有鉛零件、**PCB**時將會導致：

- a. 零件、**PCB**本身含有毒有害物質卻在零件、**PCB**包裝上標識無鉛**Mark**；
- b. 含有毒有害物質的零件、**PCB**過錫爐時污染錫爐內合金并導致更多過錫爐板被污染；
- c. 產品使用了有鉛材料，而制程設置為無鉛生產參數，部分有鉛零件、**PCB**可能因無法承受無鉛制程溫度設置而危及產品良率及可靠性。

# 防污染管制

無鉛生產需求：

1. 所有材料必須符合**LS-301**標準并以料號區分
2. 使用無鉛專用生產設備（治工具、加工設備、錫爐等）
3. 生產無鉛產品的同時其線體需專注于無鉛生產
4. 無鉛材料、半成品及成品需完全隔離區分
5. 有鉛生產線轉無鉛生產線前須確認以上符合要求
6. 同一線體當有鉛生產轉無鉛生產前需作清潔并記錄確認

無鉛制程介紹

Question?