

無鉛鉕錫之可靠度試驗

◆ 谷世蓉* 胡國昌**

工研院工業材料研究所

電子金屬元件實驗室

*研究員 **副研究員

◆ 朱時梁***

自動化檢測技術實驗室

***研究員

摘要

近年來由於環保的意識提升，綠色材料的議題也被廣為重視。過去十年中，各種廢棄電子產品所造成的鉛污染問題，也引起了工業界的注意；若干環保相關的研究計畫紛紛展開，以期尋求或開發可替代電子產品主要的含鉛成份-鉕錫。雖然經過了近十年的努力研究，目前尚未有任何可直接替代(DROP-IN)現有錫鉛鉕錫之無鉛鉕錫材料被推出。不過有數種較具替代潛力的合金如錫銀、錫銀銅等鉕錫組成，在過去數年中也分別為國際間各單位所推薦；不過這些合金都還缺乏其長效性之可靠度的資訊。本文中則針對錫銀鉕錫合金在構裝件之使用，進行各種測試以了解其特性及可靠度。

關鍵詞

無鉛鉕錫(Lead-free Solder)；可靠度測試(Reliability Test)；表面黏著技術(Surface Mount Technology)

簡介

早在1991年美國表面黏著技術協會就開始探討可能的無鉛鉕錫及無鉛表面處理的替代技術；在無明確結果的情況下，仍持續使用錫鉛鉕錫^[1]。1992-1997年間美國NCMS結合了12個國家實驗室及

各大公司的研究單位進行無鉛鉕錫的研究，近百種的合金被提出討論，就其材料的燃點、毒性及其他性能的控制、價格以及變更單一材料所衍生的製程上的問題等因素加以分析；最後在總結報告指出三種合金為較有前瞻性的選擇，這三種合金分別為錫銀、錫鈹及錫銀鈹系

列的合金^[2]。此外在歐洲，Brite Euram計畫在1996至1999年所進行的 IDEAL計畫中，針對不同的應用及所對應使用的表面處理進行最佳化材料的研究^[3]。1999年，英國工業貿易局(Department of Trade and Industry, DTI)委託英國國家物理實驗室(National Physical Laboratory, NPL)及錫研究發展中心(The International Tin Research Institute, ITRI)進行無鉛鉛錫之調查^[4]。美國電子協會(US Association Connecting Electronics Industries, IPC)也分別在1999年及2000年舉辦無鉛鉛錫的相關會議，以提升工業界對此議題的注意。

在亞洲，日本構裝協會(Japanese Institute of Electronic Packaging; JIEP)及日本電子工業發展局(Japan Electronics Development Industry Association; JEIDA)也分別針對無鉛鉛錫及其所對應之表面處理技術進行一連串的研究。日本電子業界並搶先世界各國，訂定其開發無鉛產品之時程表：將從2001年起分階段推出無鉛電子家用及通訊產品。此外，自2008年起歐盟的電子廢棄物管理法也將對含鉛產品加以限制^[5]。

面臨國際上的這些變化，國內業者也感受到許多的壓力。本文則針對此狀況進行替代性無鉛鉛錫的探討及測試，以因應未來轉變上的需要。

實驗設計及準備

鉛錫合金(60Sn/40Pb及63Sn/37Pb)，因其價格便宜，且其材料之冶煉、機械性質、助焊劑化性、製程規範及產品可靠度研究都已經過長年的高度發展，而廣為電子組裝業者接受與使用。鉛錫的基本功能在於提供電路板與晶元之間的導電途徑，或作為固定基本元件附著於電路板的一種機械鍵，同時亦有傳遞IC

所產生之熱能，協助散熱功能。封裝製程中無論是傳統Through-Hole(TH)製程，及未來主流趨勢的表面黏著技術(Surface Mount Technology; SMT)，都需經由高溫波鐸或迴鐸製程熔融鉛錫。使與元件與基板達到接合的目的。以往因使用鉛錫合金做為接合的鉛錫，所以元件及基板的接合銅墊也多半使用鉛錫合金做為表面處理的主要材料。在無鉛的要求之下，不僅鉛錫材料需要無鉛，同樣的元件及基板的表面處理材料也需要無鉛；因而無鉛表面處理的技術也同樣面臨了考驗。而不同的無鉛鉛錫與表面處理材料所產生的介金屬層，也是無鉛產品之可靠度考量的一項議題。

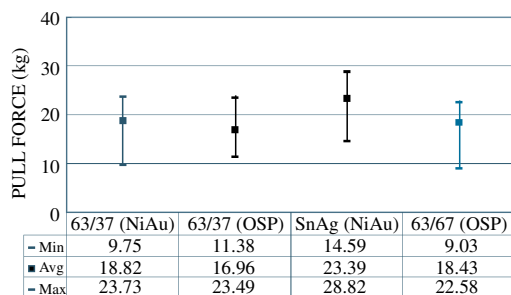
良好的封裝元件及基板表面的表面處理可防止表面氧化達到所需的鐸接效果。傳統的錫鉛覆膜（又稱Hot Air Solder Leveling; HASL），因其含鉛的材質在無鉛製程中受到挑戰，此外其易產生表面高度不均，也常造成SM製程不易的問題。近年來有機熔鐸保護膜(Organic Solderability Preservatives, OSP)因成形之表面平坦，能充分達到表面保護的功能，因此也被廣為接受；但在使用免洗助鐸劑的情況下，OSP表面處理方式無法提供足夠的熱保護，易在迴鐸過程中產生鐸接(Wetting)不良的現象^[6]。此外鍍金層(Gold Over Nickel)的表面處理方式也能達到相當好的效果，但因其價格較高，業界因而裹足不前。

對於電子封裝產品，常進行的可靠度測試有熱循環測試，機械式彎曲、扭曲以及剪力測試、振動測試等。一般而言，測試所需耗費的時間及財力、物力則是相當龐大的支出；但可靠度評估為其憑斷無鉛材料是否具體可替代性的重要根據。

本試驗選用一8 mm×8 mm之CSP元

表一 四種測試件之材料及表面處理的組合

Solder Alloy	Sn37Pb	Sn3.5Ag
Surface Finish		
Gold over Nickel	✓	✓
OSP	✓	✓



▲圖一 元件拉伸試驗的結果



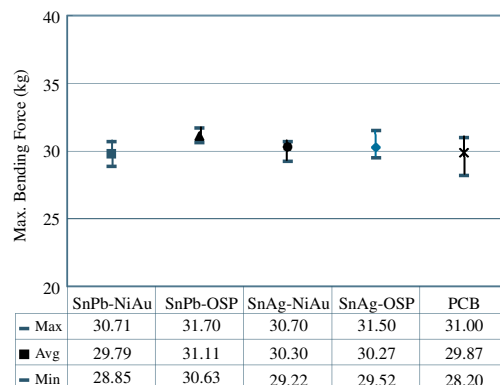
◀圖二 拉伸試驗之破壞元件一介金屬層破壞

件，此元件包含有64個I/O的錫球，錫球的直徑及間距分別為0.4 mm及0.8 mm。兩種無鉛表面處理的基板—OSP及鍍金層，應用於一四層的FR-4積體電路板；此外使用兩種錫鉛材料-錫鉛(Sn37Pb)合金及錫銀(Sn3.5Ag)合金，進行無鉛構裝的可靠度試驗。試片之材料及表面處理的組合方式可見表一。

測試結果及資料分析

本文中所進行的試驗規劃，包含三種機械性測試，分別為元件拉伸試驗、三點彎曲試驗以及振動試驗。這幾種測試主要在模擬元件組裝及運送過程可能遭遇之人員或器具設備等外力的影響，對試驗本身也具有比較不同材料及表面處理間之相對應關係的機械性質之目的。

元件拉伸試驗中，元件被固定於特



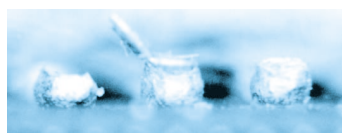
▲圖三 三點彎曲測試的結果

殊治具下，利用拉伸試驗機以等速率施以拉拔力，並記錄最大拉拔力。圖一顯示測試的結果。每一種測試元件各有20個試片被測試及記錄，各試片破壞的最大及最小之拉拔力及其平均值也分別顯示在圖形下方。

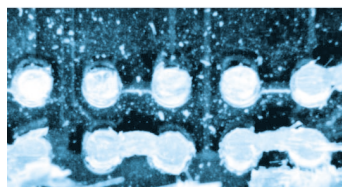
由測試的結果可觀察到使用錫銀鍍錫及鍍金層表面處理之基板的破壞拉拔力較高，其次為在鍍金層基板之錫鉛鍍錫，而以錫鉛鍍錫與有機OSP表面處理之組合的基板的破壞拉拔力最低。試片經過拉伸試驗後的破壞面顯示於圖二之中，由測試的結果可觀察到元件的破壞多發生在積體電路板上銅箔電路軌跡的撕裂及介金屬層的拉力破壞；其中以電路軌跡破壞的現象佔較大多數。

圖三顯示三點彎曲試驗的結果。三點彎曲試驗中為使元件各鍍錫接點所承受的彎曲力距相當，所使用之支點跨距需十倍於元件的長度。元件在固定於拉伸試驗機之治具後，以等速率施壓，元件的電阻訊號及最大拉拔力也同時被記錄。在此試驗中所有的元件電阻值均發生在其元件接點破壞瞬間，並無前期訊號破壞的現象。

四種測試元件分別有20個試片被測試及記錄，各試片破壞的最大及最小之拉拔力及其平均值也分別顯示在圖形下



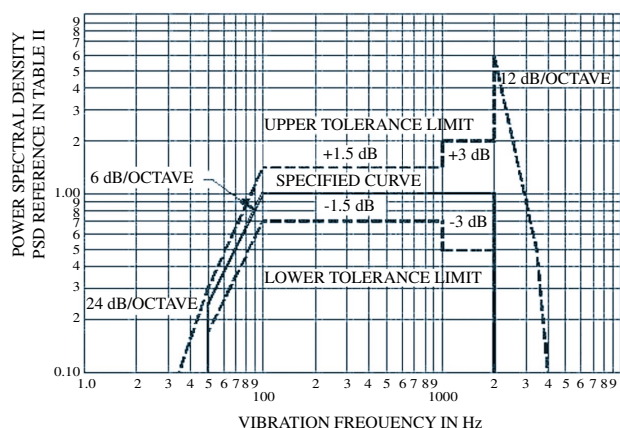
(a)



(b)

◀圖四 三點彎曲測試之破壞接點
(a)側視圖；
(b)頂視圖

▼圖五 變頻測試之頻譜密度曲線



方。此外數個等大小的基板（無任何構裝件黏著其上），也進行相同的測試以便了解基板的特性。由測試的結果觀察這五組的試片主要都是基板的先行脆斷，再破壞基板破壞斷面附近的銲錫接點，所以各組的平均彎曲力並無太大的差異。圖四顯示破壞接點的破壞狀況，亦多為拉力破壞。

振動試驗主要在模擬產品在運送過程中環境振動對其所造成的破壞，本實驗根據美國軍規 Mil-STD-883E, Method 2007.2 變頻振動(Variable Frequency)測試之條件A及Method 2026隨機(Random)振動之條件I 的字母 A、B、C、及 D 等參數要求進行測試。Mil-STD-883E, Method 2007.2 變頻振動測試之條件A要求試件應在最大加速度20g 的振動環境下測試，試驗機的振動頻率需在四分鐘時間內由20 Hz漸增至2000 Hz，再用相同的時間漸減



▲圖六 振動測試設備及瞬間斷電監測系統

回到20 Hz；三軸測試，每一軸向進行48分鐘。

Mil-STD-883E, Method 2026 則是根據頻譜密度曲線（見圖五）來規範隨機振動的範圍，字母 A、B、C、及 D 則分別定義振動加速度的大小（見表二）。測試的條件為三軸，每軸各15分鐘。

兩種振動測試均以適當設備即時監測其電阻訊號變化（參見圖六），任何大於千分之一秒的不連續訊號都會被記錄。此測試的結果則列於表三，由結果可發現，在測試期間所有的測試件都沒有出現不連續訊號的現象；亦即所有試件均通過規範的要求。

結語

本計畫針對錫銀及錫鉛銲錫在有機膜及鍍金屬兩種表面處理的基板所表現的機械性能進行探討。就銲錫接點的機械強度而言，不論是錫銀或錫鉛銲錫，在任何一種表面處理的基板上，均表現出高於基板強度的情況；所以在進行三點彎曲測試時，所有破壞的現象均先發生在基板的裂斷。

元件拉伸的試驗中則可觀察到，錫

表二 隨機振動測試之要求

Test condition letter	Power spectral density, G^2/Hz	Overall rms G, minimum
A	0.02	5.2
B	0.04	7.3
C	0.06	9.0
D	0.1	11.6

表三 振動測試的結果

Solder alloy	SnPb		SnAg	
	Ni/Au	OSP	Ni/Au	OSP
PCB surface finish				
Variable	Pass	Pass	Pass	Pass
Frequency	(12/12)	(12/12)	(12/12)	(10/10)
Random	Pass	Pass	Pass	Pass
	(12/12)	(12/12)	(12/12)	(9/9)

銀鉛錫在鍍金屬的基板上顯現較大的拉拔強度，其次為在鍍金屬基板之錫鉛錫；而以使用有機膜基板之錫鉛錫接合強度為最弱。

振動測試的結果顯現四種試件均能通過法規的要求，但無法顯示彼此間性質的差異。一般而言，較能表現出錫接點之可靠度特性的試驗方法是經由熱循環測試，用以模擬產品使用中冷、熱溫差所造成的效應。不過熱循環測試往往需要長達2至3個月測試時間，方能得到所需的資料。工研院材料所在本文所使用之四種試件將在近期完成熱循環測試之結果與報告。屆時將有更完整的可靠度資料可供參考。

誌謝

本文使用之測試件由華泰電子所提供，作者在此對謝文樂副總及其研發部同仁表達由衷的謝意。此外，也感謝工研院材料所謝佩辛小姐協助測試的準備工作。最後並感謝經濟部對此計畫的支

持及經費的協助。

參考資料

1. SMC, "An assessment of the use of lead in electronic assembly," IPC publication, 1991.
2. NCMS, "Lead-free solder project — final report," NCMS report 0401RE96, Aug. 1997.
3. IDEALS, "Improved design life & environmentally aware manufacturing of electronic assemblies by lead-free soldering — IDEALS," BRITE-EURAM BE95-1994 Collaborative project 1994-1998.
4. DTI, "Lead-free soldering — an analysis of the current status of lead-free soldering," DTI report, Apr. 1999.
5. WEEE, "Draft proposal for a European Parliament Council Directive/EC .. on Waste Electrical and Electronic Equipment," Brussels, May 10, 2000.
6. Bastecki, Chris, "Soldering copper boards with copper protective coating (CPC's)," Internal Tech. Report, Alpha metals web article, 1996.
7. APEX 2000, Long Beach, California, March 12-16, 2000.
8. Bradley, et al., "Lead-free project focuses on electronics assemblies," Advanced packaging, Feb. 2000.
9. IPCworks' 99, Proceedings of "An international summit on lead-free electronics assemblies" symposium, Oct. 25-28, 1999, Minneapolis, MN.
10. SOLDERTEC, "Euro MP' s vote on End-of-Life Vehicles," Lead-free soldering technology centre web page, 2000.
11. Suga, T. "NEDO project for R&D of lead-free solders toward practical solution and standardization," JEIDA publication, 1999.