

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

無鉛錒錫球格陣列構裝接點之冷熱循環與動態疲勞分析(第二年)

The analysis of temperature cycling and dynamic fatigue for the lead-free solder joints in the ball grid array package(2nd year)

計畫編號：NSC90-2216-E-002-032

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

主持人：莊東漢教授 台灣大學材料系

一、中文摘要：

球格陣列構裝(BGA)具有高密度、優良電性與散熱性、低成本、高產品良率等優點,再加上其與表面實裝技術的相容性,使其快速普及化。因應電子工業無鉛錒錫的時代潮流,本群體計畫將針對球格陣列構裝改用無鉛錒錫球之製程與可靠度進行研發分析。針對可靠度試驗,本子計畫主要負責「冷熱循環試驗」與「動態疲勞試驗」。本年度先以Sn-58Bi無鉛錒錫為對象,進行動態疲勞試驗及冷熱循環試驗,同時加入電性分析,以提供更直接的應用參考數據,也將藉此有系統的探討錒球接點介金屬成長、組織變化以及裂縫形成等對於接點電性的影響。

關鍵詞：無鉛錒錫,球格陣列構裝,冷熱循環試驗,動態疲勞試驗,電性分析

ABSTRACT:

Among the merits of ball grid array (BGA) packages are high I/O density, good electrical properties, fine heat dissipation capability, low cost and high yield rates. It is small wonder that BGA has been gaining popularity in related fields when capped with the

compatibility with surface mount technology (SMT). Responding to the lead-free trend in the electronic industry, this project is devoted to the manufacturing study and reliability analysis of ball grid array packages by adopting Pb-free solder balls in lieu of traditional Pb-Sn solders. With respect to the reliability analysis, temperature cycling and dynamic fatigue testing are scheduled in this subprogram. In the second year of this project, the electrical analyses have been involved in addition to the dynamic fatigue test and thermal cycling test, in order to shed more light on viable data resources for the applications. Through the electrical analysis, the influences of intermetallic growth, microstructure changes and crack formation upon the electrical properties of solder joints will also be systematically investigated.

Keywords: Pb-free solder, ball grid array package, temperature cycling test, dynamic fatigue test, electrical analysis.

二、計畫源由與目的

有關 BGA 焊錫接點的熱疲勞 潛變等研究已在國內外雜誌及文獻刊登了很多，但對於某些人機介面（如：按鍵、鍵盤等）或應用在具高加速度運動的場合中，電路板直接受到彎曲應力，造成 BGA 元件下方焊錫接點的疲勞現象，卻很少人提及。在一些對熱頗為敏感的 BGA 電子產品（如：薄、厚膜混成元件），極易由於高溫環境而變形、變質甚至損壞，因此該類熱穩定性不佳的元件往往在進行一般傳統高溫（220 以上）SMT 迴焊組裝時，即對元件構成傷害，影響正常功能。目前使用 Bi-42Sn 低熔點共晶無鉛焊錫即是解決此一問題的極佳方法。有鑑於此，本子計畫乃以 Bi-42Sn 做為 BGA 元件組裝在 PCB 上的接點材料，對整體構裝模組進行一系列不同撓度的彎曲疲勞試驗，並以非破壞方式 In-Situ 量測、紀錄整體構裝模組的電阻歷史，直至電路成開路。另外再配合金相分析工具，觀察疲勞裂紋成長情形，推斷成長機構，並找出循環週次、裂紋大小與電阻值三者彼此的對應關係。最後，由於整個 BGA 電子產品組件構造複雜，生產過程冗長，運用的材料很多且精細，致使整體構裝模組品質難穩定，故為了能得到較可靠的實驗數據，需做很多的試驗，才可得到較可靠的數據。因此本研究亦藉由機率、統計等相關理論，對系統進行可靠度分析，了解壽命分佈情況並更進一步對壽命進行預測。

三、結果與討論

圖一至圖四分別表示四種不同撓度彎曲疲勞試驗下，整體構裝模組串接電阻值隨應變循環次數的變化情形。其中

圖一屬高週疲勞而圖二、三及四均為低週疲勞破壞，比較各圖特性可清楚發現疲勞壽命主要可分為三個時期，分別為裂紋孕核期、裂紋擴展期及瞬間斷裂，而疲勞總壽命主要是由裂紋孕核期所決定，在較小的彎曲撓度下， σ 較小，裂紋孕核所需的應力循環次數較多，因此疲勞壽命較長，符合 Coffin-Manson 方程式的預期；裂紋擴展期佔總循環壽命並不多且在不同彎曲撓度下差異並不大；最後進入到瞬間斷裂階段，此時裂紋急速貫穿整顆錫，造成電阻急遽升至無窮大，如圖四所示。若將圖的尺度放大來看，可更深入了解整體構裝模組串接電阻的變化情形；在裂紋孕核時期呈正弦波形；在裂紋擴展期則呈正弦遞增波形。圖五說明 3% 撓度彎曲試驗期間，在循環次數達到 770 時，電阻值變化突然加速遞增的情形，這顯然地是因為裂紋長度在該循環次數已累積達臨界尺寸，開始擴展裂紋之現象。

表一為一系列彎曲疲勞試驗的失效循環次數統計表。利用最小平方法，分別估計常態、對數常態及韋伯函數回歸線的係數，如表二所示。在可靠度分析上以機率圖紙法及卡方 (Chi-Square; χ^2) 測試法來驗證適用的壽命機率分佈。圖六、七及表二至四的資料都證實對數常態分佈函數比較能嵌合 Bi-42Sn 的彎曲疲勞壽命。圖八至十一分別表示，在 2、2.5% 彎曲撓度下，疲勞壽命與對數常態分布之累積密度函數及可靠度函數的嵌合情形。從此連續函數可清楚定義任意循環次數與累積失效率或可靠度間的對應關係；如在 2% 彎曲撓度下，可靠度為 0.9 時的疲勞壽命為 880 循環；而在 2.5% 撓度

下，相同可靠度時的疲勞壽命則為 690 循環。

四、計畫成果自評

本研究成功地將 Bi-42Sn 共晶錫錫材料應用在 BGA 晶片接點上，進行一系列彎曲疲勞試驗，提供可靠度資訊。另外，本研究也完整地建構一套動態即時電阻監測系統，便於研究各種無鉛焊料應用在不同場合中，進行裂紋成長動力學探討；對於產、學、研界應有相當的幫助。

表一、Bi-42Sn 彎曲疲勞試驗失效次數統計

試片編號	1.5%振幅	2%振幅	2.5%振幅	3%振幅
1	12204+	1383	1034	609
2	9581	1173	859	754
3	14535	1188	948	
4	11613	2925	1651	
5		684	471	
6		3154	1382	
7		2177	1838	
8		1836	1929	
9		1880	1045	
10		1301	887	
11		3183	1603	
12		1007	1115	

表二、三種機率分布參數一攬表

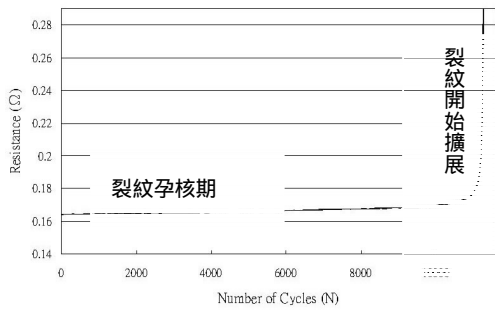
振幅%	Normal		Lognormal		Weibull	
	μ (N)	(N)	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}$	(N)	
2.0	1824	864	7.403	0.4876	2071	2.1598
2.5	1230	446	7.047	0.4012	1391	2.6307

表三、2%撓度彎曲疲勞壽命以卡方測試三種機率分布結果一攬表

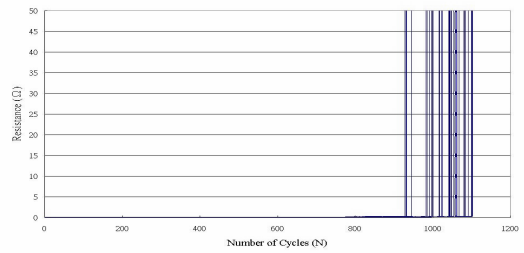
Intervals	O _i	Normal		Lognormal		Weibull	
		E _i	$(O-E)^2/E$	E _i	$(O-E)^2/E$	E _i	$(O-E)^2/E$
0-1184	3	2.7525	0.0223	3.0186	0.0001	3.0976	0.0031
1184-1684	3	2.4719	0.1128	3.2335	0.0169	2.5679	0.0727
1684-2183	3	2.7088	0.0313	2.3998	0.1501	2.4195	0.1393
2183-2683	0	2.1445	2.1445	1.4689	1.4689	1.8260	1.8260
2683-Inf	3	1.9223	0.6042	1.8792	0.6684	2.0890	0.3973
SUM	12	12.0000	2.9151	12.0000	2.3044	12.0000	2.4384

表四、2.5%撓度彎曲疲勞壽命以卡方測試三種機率分布結果一攬表

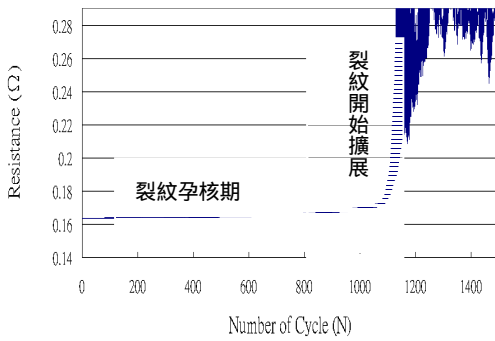
Intervals	O _i	Normal		Lognormal		Weibull	
		E _i	$(O-E)^2/E$	E _i	$(O-E)^2/E$	E _i	$(O-E)^2/E$
0-763	1	1.7711	0.3357	1.8390	0.3828	2.2283	0.6771
763-1054	5	2.3906	2.8484	3.1375	1.1057	2.3573	2.9625
1054-1346	1	3.0640	1.3904	2.8588	1.2086	2.6099	0.9931
1346-1637	2	2.6029	0.1396	1.8985	0.0054	2.2149	0.0209
1637-Inf	3	2.1714	0.3162	2.2662	0.2376	2.5895	0.0651
SUM	12	12.0000	5.0303	12.0000	2.9401	12.0000	4.7186



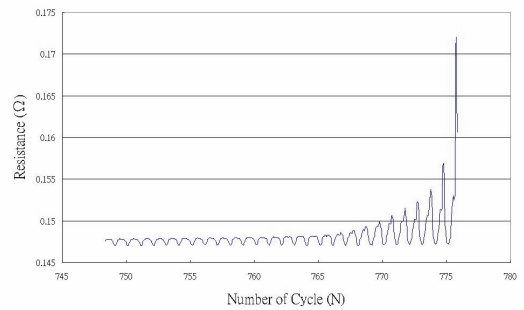
圖一、1.5%撓度彎曲試驗電阻與應力循環次數的關係



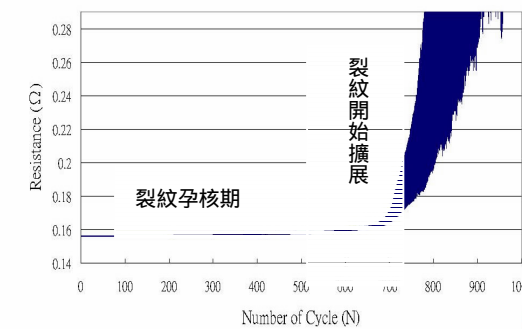
圖四、3%撓度彎曲試驗期間以電阻值全程監測，直到試片失效的情形



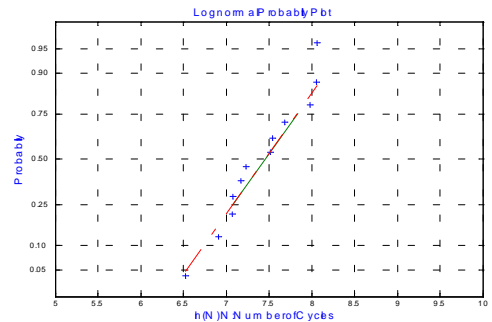
圖二、2%撓度彎曲試驗電阻與應力循環次數的關係



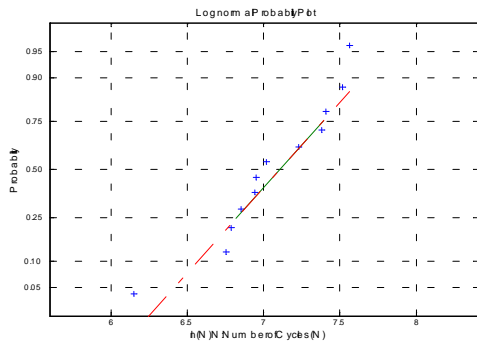
圖五、3%撓度彎曲試驗期間以電阻值監測到裂紋孕核完成並開始擴展的情形（為圖四的局部放大）



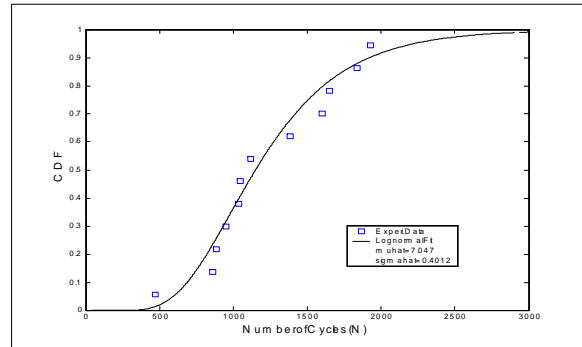
圖三、2.5%撓度彎曲疲勞試驗電阻與應力循環次數的關係



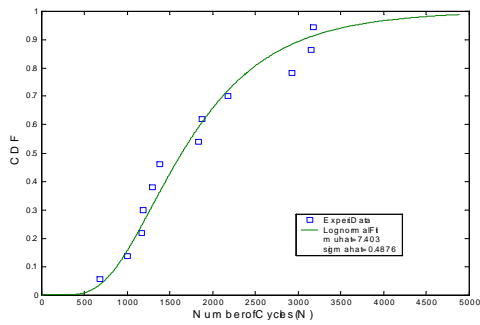
圖六、以機率圖紙法判別 2%撓度彎曲疲勞壽命近似呈對數常態分布的情形



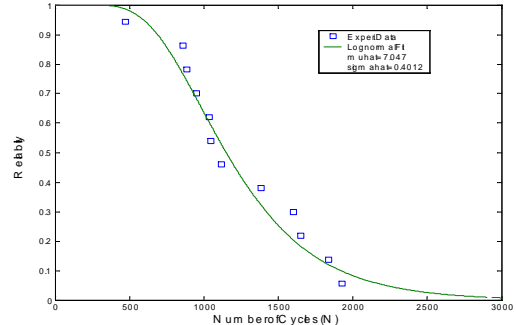
圖七、以機率圖紙法判別 2.5%撓度彎曲疲勞壽命近似呈對數常態分布的情形



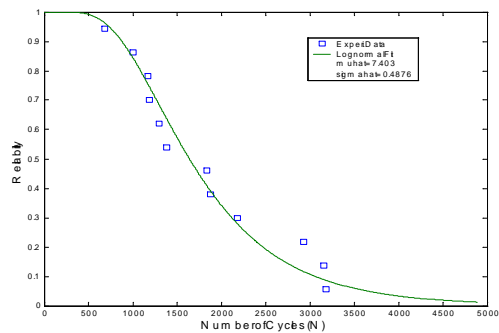
圖十、2.5%撓度彎曲疲勞壽命與對數常態分布累積密度函數的嵌合情形



圖八、2%撓度彎曲疲勞壽命與對數常態分布累積密度函數的嵌合情形



圖十一、2.5%撓度彎曲疲勞壽命與對數常態分布可靠度函數的嵌合情形



圖九、2%撓度彎曲疲勞壽命與對數常態分布可靠度函數的嵌合情形