

相關精彩內容

1. 液晶電視的生命週期盤查
2. 從生命週期評估談企業環保績效的持續改善
3. 歐盟「用電產品之生態化設計指令(草案)」簡介
4. 生命週期思維於資訊科技產品採購的應用
5. LED 照明光源展望(一)：從藍光紫外光到白光
6. 日本近期推出市售的各類電動自行車

盡在材料世界網 <http://www.materialsnet.com.tw>

綠色環保 IC 元件功能探討

The Investigation of Environmental Green Component Characterization

李長斌 Jeffrey C.B. Lee* ; 陳佩君 P.C. Chen** ; 鍾啓生 Anderson Chung** ;
 李寶男 Mark Li** ; 陳宣予 K.Y. Chen*** ; 王靜君 Winky Wang***
 日月光核心能力中心* 資深研發專案經理、** 專案工程師、*** 工程師
 Core Capability Center of ASE

摘要

綠色環保電子的世代已來臨，隨著歐盟與中國大陸RoHS法律規範之要求，所有電子元件供應商莫不積極地進行符合綠色環保規範之材料轉換與元件可靠度之再評估。由於綠色材料的轉換，元件之電性、熱性與錫錫接點之應力可靠度皆可能受到影響，故需於綠色元件設計時，將所有可能影響功能之因素加以考量，而非只考量符合綠色法規。此外，由於無鉛電鍍的導入，錫鬚對綠色導線架元件的影響也將於此篇文章加以討論。

Abstract

1 July 2006 timeline is approaching for the RoHS compliance legislation in European Union and China. Global pressure to phase out 6 concerned substances usage (Pb/Cd/Hg/Cr⁶⁺/PBBs/PBDEs) has been becoming inevitable, particularly for Asian electronic manufacturer.

Due to green material conversion, the electrical, thermal and solder joint stress performance might be impacted in component. Therefore, in the beginning of green product design, all the factors influencing performance of component have to be taken into account, not only just consider green regulation compliance. Furthermore, due to the introduction of lead free plating in lead frame component, whisker concern on the component will be described as well.

關鍵詞/Key words

綠色環保 IC 元件(Green Component)、電性質(Electrical)、熱性質(Thermal)、錫鬚(Whisker)、錫錫接點可靠度(Solder joint reliability)、電機電子設備限用有害物質指令(RoHS)

前言

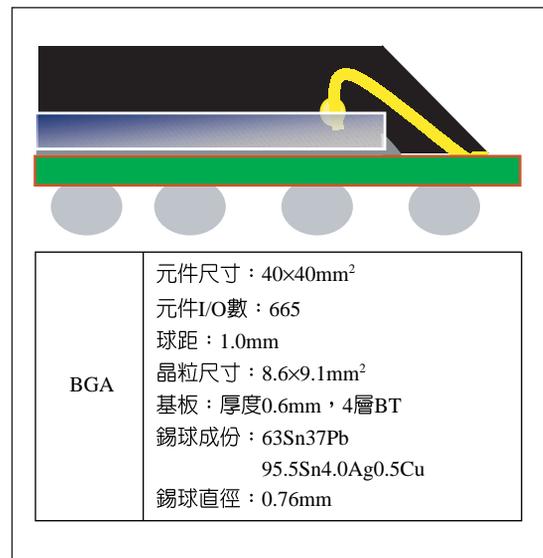
歐盟已訂於 2006 年 7 月禁止含鉛、鎘、汞、六價鉻、PBBs 與 PBDEs 鹵化防火劑之電子產品輸入與製造，而中國大陸亦將跟隨歐盟腳步，將以上六種之有害物質訂於國家法規，綠色產品的規範要求已對整個電子產業之供應鏈產生極大的衝擊，特別是對亞洲的 EMS 與封測之代工產業，在此電子產業供應鏈內，每一成員皆積極地開發新的替代環保材料去製造所謂的綠色產品。除了成本與品質必須兼顧外，與目前製程之相容性、員工之訓練與材料之申報、管控系統之建立，皆凸顯綠色活動對電子產業之重要性。目前台灣的系統組裝廠及 IC 構裝廠已面臨無鉛製程高溫相容的問題，同時也對其上游公司要求提供綠色產品之能力證明，但在無法源的規範下，也有許多業者無法提供。此外，台灣的電子零組件業以代工為主，少數的自有品牌業者若尚不積極開發最終綠色環保產品，對國內整體電子工業而言，將無法傳達正確的企業形象。

以電子 IC 主動元件而言，導線架與積層板元件為目前產品主流，為配合歐盟 RoHS 法規與 JEDEC020C 之可靠度要求，模封材(Molding Compound)、黏晶材(Die Attach)、積層板(Substrate)、導線架(Lead Frame)、錫球(Solder Ball)與電鍍層(Lead Termination)皆需轉換至所謂之綠色環保材料。本篇文章將以 BGA 與 LQFP 元件為測試載具，(如圖一、圖二)去探討由於材料之轉換，導線架

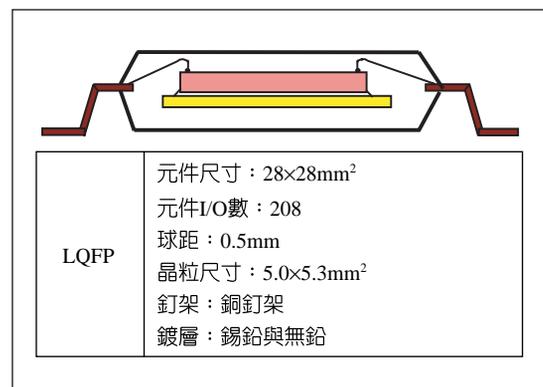
元件與積層板元件之電性與熱性是否受到影響，而由於錫鉛接點轉換至無鉛接點，也將討論錒錫接點之可靠度(SJR)與錫鬚之生成。

綠色環保元件電氣特性探討

綠色環保元件和一般封裝所使用的材料特性不盡相同，所以對於 IC 設計



▲圖一 BGA 元件示意圖



▲圖二 LQFP 元件示意圖

業者而言，這些材料的改變是否會影響其電性參數，便成為衡量綠色環保元件特性一個重要的指標。本節是透過一些特定的量測方法來比較綠色環保元件和一般元件在電性方面的差異。

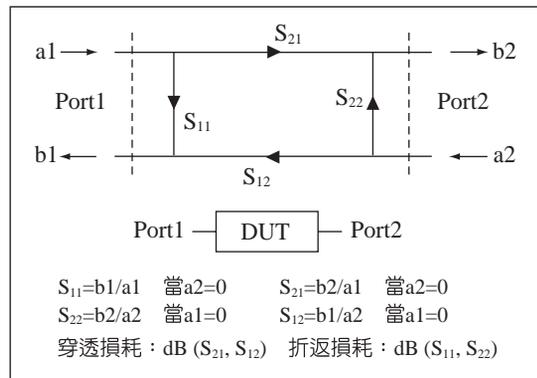
在此實驗中，我們分別由散射參數(S-parameter)、RLC 寄生參數以及特性阻抗(Characteristic Impedance)等三方面來加以探討：

一、散射參數(S-parameter)

散射參數是用來評估訊號品質的直觀參數，從此參數中我們可以得知訊號穿透量、反射量、耦合量等資訊。以一般雙埠(Two Port)網路而言， S_{21} （順向穿透損耗）定義為訊號能量由 Port1 傳至 Port2 之比例； S_{12} （逆向穿透損耗）定義為訊號能量由 Port2 傳至 Port1 之比例； S_{11} （順向折返損耗）定義為訊號能量由 Port1 反彈回來之比例； S_{22} （逆向折返損耗）定義為訊號能量由 Port2 反彈回來之比例。由於量測技術上的限制，我們這裡只針對折返損耗做分析（如圖三）。

二、RLC 寄生參數

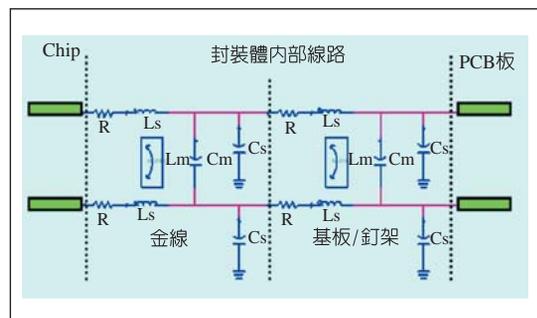
封裝體的内部線路可視為介於 Chip 端和 PCB 板端之中繼橋樑，由於封裝體導體和介質的損耗及一些寄生效應，此中繼橋樑會影響訊號傳遞的品質。我們可以利用簡單的 RLC 寄生參數來模擬此寄生效應，並將封裝體的連接線路



▲圖三 散射參數示意圖

等效成一段由電阻(R)、電感(L)及電容(C)所組成的電路模型（如圖四）。

須特別注意的是，在此我們忽略了金線的電容效應，並將金線和基板/釘架的寄生參數合而為一。另外，所有的參數都是由之前散射參數的結果，經由一連串數學運算而得到的。萃取電感值首先要將短路樣本的散射矩陣轉成阻抗矩陣，由 Z_{11} 和 Z_{22} 的虛數項可得 L_{s1} 和 L_{s2} ，由 Z_{21} 或 Z_{12} 的虛數項可得 L_m ，而 R_{s1} 和 R_{s2} 可由 Z_{11} 和 Z_{22} 的實數項求得。萃取電容值則要將開路樣本的散射矩陣轉成導納矩陣後，由 Y_{11} 和 Y_{22} 的虛數項可得 C_{i1} 和 C_{i2} ，由 Y_{21} 或 Y_{12} 的虛數項可得 C_m 。



▲圖四 RLC 等效模型示意圖

三、特性阻抗 (Characteristic Impedance)

阻抗的定義是一個元件在某特定頻率的交流訊號下，所受到的總阻力。阻抗控制不好，即所謂的阻抗不匹配會造成訊號的反彈、增加串音現象及引起相關的訊號整合問題，因此阻抗控制的良窳已經受到高度的重視，尤其是在高頻高速的產品上。在封裝體內，其內部連接線路也扮演了一段或多段不同阻抗之元件。時域反射分析儀可被用來量測一元件之特性阻抗，其原理是將一步階波形打入元件後，去量得反射的波形，利用入射和反射的電壓差，可以求得反射係數及元件之特性阻抗，其公式如下：

$$\rho = \frac{V_{\text{反射}}}{V_{\text{入射}}} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

其中

ρ 表示反射係數

$V_{\text{反射}}$ 是指反射電壓

$V_{\text{入射}}$ 是指入射電壓

Z_L 是待測物之特性阻抗

Z_0 是儀器系統之特性阻抗

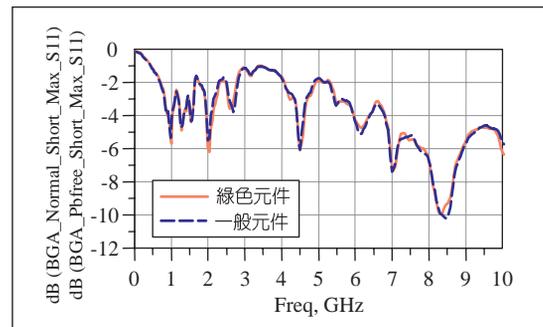
實驗結果

1.S-parameter：（如圖五～圖八）

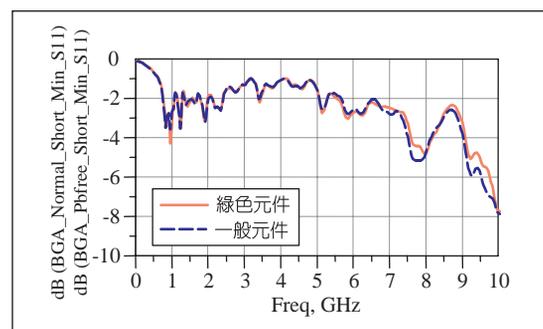
BGA：實線為綠色環保元件、虛線為一般元件

LQFP：實線為一般封裝、虛線為綠色環保元件（Sn 與 SnCu 為無鉛電鍍層）

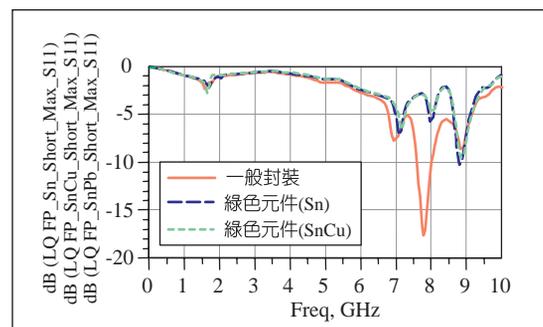
從散射參數的比較圖中如圖五至圖



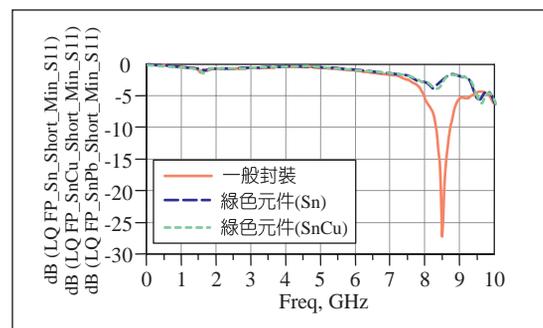
▲圖五 BGA 短路最大測試點 S11



▲圖六 BGA 短路最小測試點 S11



▲圖七 LQFP 短路最大測試點 S11



▲圖八 LQFP 短路最小測試點 S11

八，我們可以得知 BGA、HSBGA 和 QFP 在 10GHz 頻率範圍內的折返損耗都相差不多，這表示此三種封裝在 10GHz 頻率範圍內的電性特性相去不遠。不過 LQFP 採用一般封裝時的頻域電性特性似乎比無鉛封裝來得差，我們可以從比較圖中看出一般 LQFP 在 5GHz 以後的損耗比無鉛 LQFP 大。

2. RLC 寄生參數：

(Rs 之單位為 mOhm，Ls 和 Lm 之單位為 nH，Cl 和 Cm 之單位為 pF)

從表一、表二 RLC 寄生參數來看，在電感和電容效應方面，不論是 BGA 或是 LQFP，其綠色環保元件的效應和一般元件幾乎一樣，但在電阻值上就有一些差異。一般 BGA 的電阻值比綠色環保元件 BGA 的電阻值大約大了 45mohm，而 LQFP 則呈現不規則變化，而且差異頗大，不過由於此電阻值均小於 1ohm，對整個電路的電性特性並不會有太大的影響，因此我們可以忽略此電阻之差異點。

3. 特性阻抗：(如圖九、圖十所示)

BGA：實線為綠色環保元件、虛線為一般元件

LQFP：實線為一般封裝、虛線為綠色環保元件

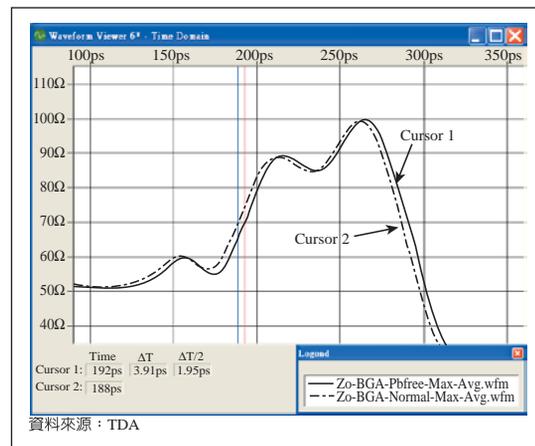
如圖九、圖十就時域的阻抗分析結果而言，BGA 在一般元件和綠色環保

表一 BGA 之寄生參數值

最大測試點	Value	最小測試點	Value	典型測試點	Value
R1-Green	362	R1-Green	321	R1-Green	333
R1-Normal	479	R1-Normal	403	R1-Normal	351
R2-Green	524	R2-Green	307	R2-Green	352
R2-Normal	539	R2-Normal	329	R2-Normal	369

表二 LQFP 之寄生參數值

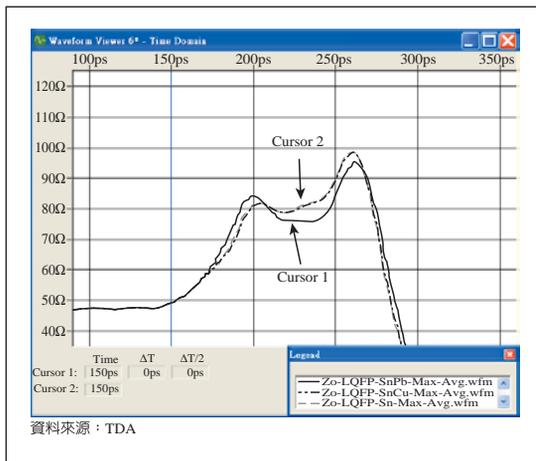
最大測試點	Value	最小測試點	Value	典型測試點	Value
R1-Green	168	R1-Green	159	R1-Green	189
R1-Normal	172	R1-Normal	172	R1-Normal	193
R2-Green	231	R2-Green	197	R2-Green	200
R2-Normal	214	R2-Normal	167	R2-Normal	197



▲圖九 BGA 短路樣本最大測試點之特性阻抗

元件的特性差不多，而 LQFP 則有大約 3ohm 的差異，由於 LQFP 之特性阻抗均非常的高，所以此差異還在可容忍範圍內。

綜合以上頻域和時域的分析結果，不論是折返損耗、RLC 寄生參數或是



▲圖十 LQFP 短路樣本最大測試點之特性阻抗

特性阻抗，大致而言，我們發現綠色環保元件和一般元件的電性特性非常類似，甚至綠色環保元件在某些特性上要比一般元件來的好。因此我們可以說，針對 BGA 或是 LQFP 的產品，採用一般元件封裝的型式，和採用綠色環保元件封裝的型式，在電性特性上是不會有太大的差異，此將有利於 IC 設計工程師較不須考慮綠色產品轉換對電性特性的影響。

綠色環保元件散熱特性探討

在綠色環保元件封裝的轉換過程中，IC 的散熱特性是必須考慮的因素。本節實驗將針對綠色環保元件以及一般元件來做散熱特性分析的探討，並分析其封裝材料對電子產品散熱的影響，以下將分別以散熱分析及電子元件熱傳實驗來探討綠色環保元件以及一般元件其散熱的效能。

本實驗之熱傳分析包含三個部分，一是自然對流量測系統，而另一個是強制對流量測系統，還有熱傳測試晶片電壓校正系統。測試樣品分別為 LQFP 與 PBGA，而所有測試樣品所用的晶片則是採用美國 DELCO 公司所生產的熱傳分析測試晶片 (Thermal Die)，其晶片尺寸為 300×300mils。為了遵照 JEDEC 熱傳實驗的標準，所有的封裝樣品都必須上板做量測，板子的尺寸與層數皆遵照 JEDEC 51-7 與 51-9 的標準規格。所須的控制項目為：

1. 熱傳測試晶片之熱通量

在進行加熱實驗時，可利用直流電源供應器來調整所輸出的電壓、電流值以控制熱傳測試晶片之熱通量。

2. 恆溫油槽內的溫度

在進行熱傳測試晶片電壓校正實驗時，須精確地控制每一校正點的溫度以及油槽內溫度的均勻性，以確保晶片在每一校正點所擷取的電壓值，這對計算晶片的接面溫度 (Junction Temperature) 有很大的影響。

3. 風洞內的空氣流速

在進行強制對流的實驗中，須控制空氣流速，本實驗控制空氣流速在 1m/s 與 2m/s。

在所有實驗的過程中，所須量測的數據分別為：

- (1) 測試系統中的環境溫度，以及恆溫油槽內的油溫。
- (2) 測試系統達到熱平衡後的晶片電壓。
- (3) 直流電源供應器所輸出的電壓、電流值。

(4)熱阻的量測

將各溫度下所擷取的電壓畫成一直線，並且求出其斜率與截距，接著再將在自然對流與強制對流時所記錄的感測器電壓值帶入此線性方程式中，就可得到晶片的溫度，再由所得到的環境溫度與電壓電流值帶入熱阻的公式，即可算出熱阻值 θ_{JA} 。計算公式如下所示：

$$T_j = (V_s - \text{Intercept}) / \text{Slope} \quad (1)$$

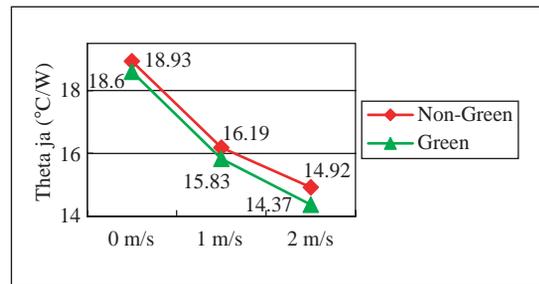
$$\theta_{JA} = (T_j - T_a) / \text{Power} \quad (2)$$

其中 V_s 為溫度感測器的電壓， T_j 為晶片的溫度， T_a 為環境溫度，Power 為晶片所消耗的功率。

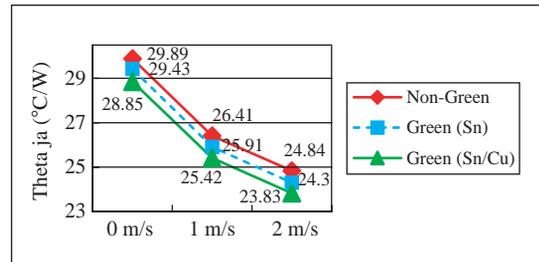
從實驗的結果顯示，不管是無鉛無鹵素與有鉛有鹵素之 IC 封裝產品，其熱阻值 θ_{JA} 會隨著風速的增加而降低，根據牛頓冷卻定律(Newton's Law of Cooling)，這是因為在強制對流下，會隨著風速的增加而加大其對流熱傳係數(Convective Heat Transfer Coefficient)，以致於使 IC 所產生的熱被帶走的量增多，所以晶片的溫度就跟著降低，因此，熱阻值也隨之降低。

從圖十一中可得知綠色環保元件的 PBGA 之散熱特性比有鉛有鹵素的要來得好約 1.7~3.7%，其原因在於綠色環保元件的 PBGA 之封裝材料膠餅(Molding Compound)、銀膠以及 Sn/Ag/Cu 錫球(Solder Ball)的熱傳導係數比一般有鉛元件來得高。

從圖十二中可發現 LQFP 的產品其熱阻值 θ_{JA} 會隨著引腳(Lead)電鍍層的不同而變化，由實驗結果顯示，引



▲圖十一 量測 PBGA 封裝產品在不同的封裝材料錫球成份及風速下對熱阻值 θ_{JA} 的影響



▲圖十二 量測 LQFP 封裝產品在不同的封裝材料、引腳電鍍材料及風速下對熱阻值 θ_{JA} 的影響

腳電鍍錫銅(Sn/Cu)比電鍍錫(Sn)要來得好，而電鍍 Sn 也比電鍍 Sn/Pb 要來得好。所以，綠色環保元件的 LQFP 之散熱特性在自然對流的情形下，比一般有鉛元件好約 1.5~3.5%，其原因在於綠色環保元件的 LQFP 其封裝材料膠餅的熱傳導係數比一般有鉛元件高，而且 Sn/Cu 材料的熱傳導係數也比 Sn/Pb 好。

綜合以上的分析結果我們可以發現，封裝材料的熱傳導係數在 IC 散熱上佔有一定的影響。為了因應環保，未來的電子封裝產品都會轉為綠色環保元件，而轉換的過程中，在不影響 IC 原來的散熱能力下，甚至使散熱能力變得更好，綠色環保元件的封裝材料選用是

相當重要的。從本節結果顯示，封裝材料的熱傳導係數愈高，其 IC 散熱的能力就會愈好。此外也可發現，熱阻值會隨著風速的增加而下降，因為在風速作用下的熱傳對流係數比自然對流下的熱傳係數高，也因此所能散出的熱通量也愈大。

綠色環保元件鉚錫接點應力特性探討

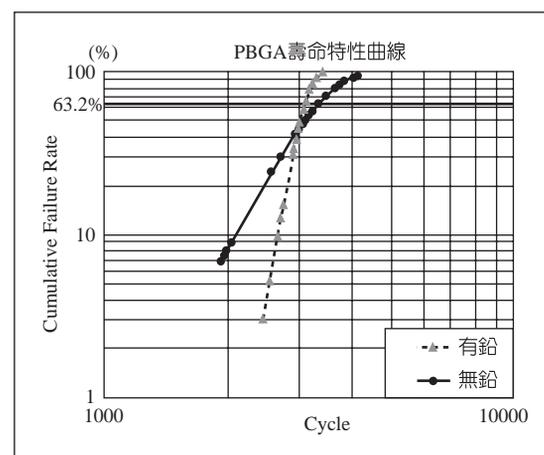
在綠色環保元件封裝的轉換過程中，由於鉚錫接點的無鉛化，對於 IC 元件與系統組裝之使用壽命勢必產生影響。本節實驗將針對綠色環保元件以及一般錫鉛元件來做鉚錫接點應力可靠度特性的探討。

溫度循環為必要之可靠度實驗項目之一，主要是藉由快速的溫度高低變化，來評估元件鉚錫接點對熱應力環境的抗疲勞度。由於 IC 構裝的元件是由多種不同材料結合而成，當元件受到外在溫度時，不同材料由於熱膨脹係數之不同而會呈現不同之尺寸變化。因此當產生不協調尺寸變化時，伴隨而生的即是熱應力的存在。換言之，溫度循環實驗即是利用熱脹冷縮的原理進行冷熱循環測試。

實驗進行時，將所有測試載具放入溫度循環機的測試櫃中，再使用鉗鐵器具將阻值量測線與測試板上事先預留的量測點鉚接在一起，由於實驗進行後，每個無鉛元件上的錫球阻值狀態必須同步進行量測，並將量測結果用電子檔方式記錄，記錄週期為每二分鐘一筆，故

一旦初始阻值超過定義失效阻值時，即判定為失效。將每個元件失效的第一個失效循環數統計起來，直到所有元件達到百分之百失效。此次實驗中，所執行的溫度條件測試範圍是 $-40\sim 125^{\circ}\text{C}$ ，高低溫駐留時間各 15 分鐘，每分鐘溫度斜率變化為 11°C ，故每個循環時間為 60 分鐘。由於了解元件失效的模式將有助於改善元件構裝製程的能力，因此元件失效後，必須執行失效模式的分析去了解元件真正失效的原因。

根據圖十三之實驗結果，在 PBGA 元件中，錫鉛元件第一個失效的樣品發生在 2435 個循環，而 63.2% 失效點為 3,095 個循環，而在綠色無鉛元件方面，第一個失效的樣品發生在 1,916 個循環，而 63.2% 失效點為 3,329 個循環。從 63.2% 失效點的比較，在錫球接點抗疲勞度方面綠色無鉛元件是比錫鉛元件好 ($>7.5\%$)。此外，根據紅墨水染色實驗後，發現錫鉛元件上所有錫球接點已達

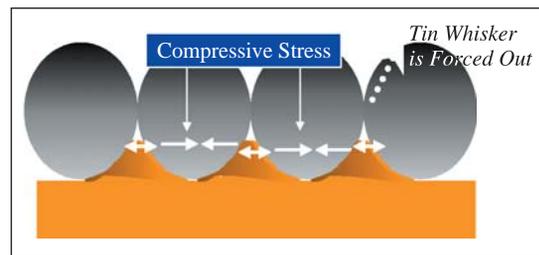


▲圖十三 PBGA 之鉚錫接點可靠度 Weibull Curve

96.6% 有斷裂的情況，同時也發現 16.2% 接合點已經有完全斷裂的現象，反觀綠色無鉛元件上只發現 36.2% 的錫球接合點有發生局部斷裂的情況，而沒有發現完全斷裂的接合點。因此從兩者的結果可以判定在 PBGA 產品錫球接合點抗冷熱循環疲勞度上，綠色無鉛元件是比錫鉛元件為優。

綠色環保元件錫鬚特性探討

在導線架綠色環保元件封裝的轉換過程中，元件零件腳由錫鉛鍍層轉換為無鉛鍍層，如純錫、錫銅或錫鈹，錫鬚之問題一直困擾著系統組裝廠及 IC 構裝廠，錫鬚若是太長可能會造成電路上的短路，而導致元件無法正常運作。錫鬚的研究已有多年的歷史，它不只發生於純錫鍍層上，在其他金屬鍍層亦有錫鬚的成長。其成長機制雖尚未明瞭，但大致推論結果是由鍍層內之應力所造成。影響錫鬚成長的因素有電鍍製程條件的控制、釘架的材質、錫晶格的大小與鍍層的厚度等等。如圖十四所示，因 Sn 鍍層與 Cu 基材為不同金屬，經長時間或高溫下會形成錫銅介金屬，此錫銅介金屬若不規則成長將擠壓鍍層產生壓縮內應力(Compressive Stress)，而鍍層則以成長錫鬚來釋放此壓縮內應力。而在 Alloy42 鐵鎳合金導線架，因為導線架與 Sn 鍍層的熱膨脹係數差距頗大，在溫度循環下因熱膨脹係數之不同而產生熱應力，而此熱應力也是造成錫鬚成長的主因。



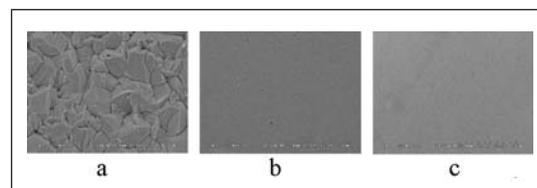
▲圖十四 錫鬚的成長機構示意圖(Refer from Lee B.Z, and Lee D.N., Act Metallurgica (1998))

在國際上已有非常多的研究是針對無鉛元件對錫鬚的探討，但在本實驗為模擬實際 SMT 製程，將 LQFP 元件先經過 220°C 與 260°C 高溫迴錫(Reflow)後，再使用表三三種測試條件探討錫鬚成長的影響。

圖十五為純錫鍍層元件在未經過迴錫與經過 220°C 與 260°C 迴錫之表面結構觀察，可以看到未經過迴錫之鍍層表面為顆粒結構，甚至可以明顯看出純錫鍍層的晶界結構，而經過 220°C 與 260°C 迴錫之純錫鍍層表面結構已改變。將以

表三 錫鬚的測試條件

TCT	-55°C~85°C, 1000 Cycles
THT	60°C / 90%, 1000hr
Ambient	4 Months



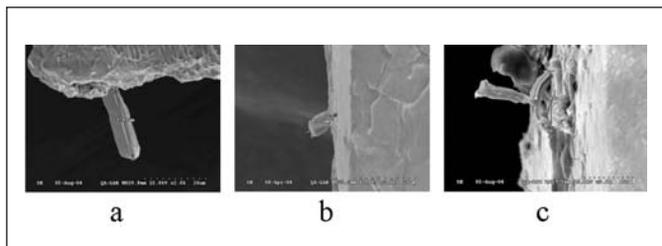
▲圖十五 為純錫鍍層元件在未經過迴錫與經過 220°C 與 260°C 迴錫之表面結構觀察(a.no Reflow、b.220°C Reflow、c.260°C Reflow)

上之試樣依據上述之測試條件下做錫鬚觀察。

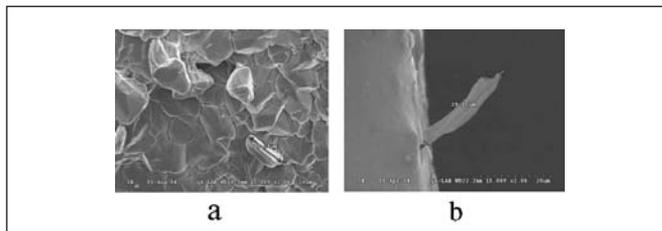
將未經過迴錫之元件經過三種錫鬚的加速測試，分別以光學顯微鏡與電子顯微鏡觀察錫鬚的成長狀況。圖十六為經過 THT1000 小時後在 SEM 下所得到之錫鬚照片，其長度約為 $24\mu\text{m}$ 。圖十七為經過 TCT 條件後所得之錫鬚照片，可發現在 TCT 測試條件下，錫鬚成長的密度較在 THT 條件下多。因此可說 TCT 對元件所造成之熱應力為錫鬚成長的驅動力之一。而當元件置放於室溫下經過四個月，並無錫鬚成長。

將元件經 220°C 迴錫後，發現只有在 THT1000 小時後有錫鬚成長，且錫鬚成長的密度比未經過迴錫的元件少。而在 TCT 的測試環境下並無錫鬚的成長。

將元件經 260°C 迴錫後，在 THT



▲圖十六 為純錫鍍層元件經過 THT1000 小時後在 SEM 下所得到之錫鬚觀察(a.no Reflow、b. 220°C Reflow、c. 260°C Reflow)



▲圖十七 為純錫鍍層元件經過 TCT1000 Cycle 後 SEM 下所得到之錫鬚觀察(a.no Reflow、b. 260°C Reflow)

1,000 小時後發現有錫鬚成長，長度為 $12.6\mu\text{m}$ 。在 TCT 的測試環境下亦有錫鬚生成，但錫鬚的數量非常少，其長度約為 $29\mu\text{m}$ 。

在本實驗結果發現，元件在經過高溫迴錫後，仍舊有錫鬚生成，也就是說無鉛純錫電鍍元件在 SMT 後，亦有錫鬚成長的可能性，但錫鬚成長的傾向將由於壓縮內應力被迴錫所釋放而降低。此外也發現此三種測試條件以溫度循環測試為一最容易驅使錫鬚成長的測試條件。

結論

綠色環保電子的世代已來臨，所有電子元件供應商莫不積極地進行符合綠色環保規範之材料轉換與元件可靠度之再評估。值此綠色材料的轉換階段，IC 元件之電性質、熱性質應不致受到太大影響，而無鉛錫接點之應力可靠度在抗熱疲勞度測試亦有相當的表現，但更多的應力可靠度測試必須去進行，以確保錫接點之穩健(Ro-bustness)。無鉛電鍍的錫鬚問題將隨著愈來愈多的發現與工業標準的共識如 JEDEC22A-121 而加以整合。此篇對於綠色環保元件之功能探討的目的在於當設計綠色元件時，所有可能影響功能之因素須加以考量，而非只考量符合綠色法規。如此將可確保一穩健可靠之綠色環保電子元件轉換，以達到功能與環保並兼之最佳目標。