

具封裝體印刷電路板受熱之溫度場分析與實驗驗證

王栢村¹、洪辰雄²、許富翔³、梁秀璋³、賴逸少⁴、葉昶麟⁴、李英志⁴

¹ 國立屏東科技大學機械工程系教授

² 國立屏東科技大學生物機電工程系講師

³ 國立屏東科技大學機械工程系研究生

⁴ 日月光集團高雄廠應力可靠度實驗室

摘要

本文探討印刷電路板 (PCB) 以自行製作之加熱片為外部熱源施於 PCB 之封裝體，探討 PCB 受外部熱源之溫度場與熱應力分析與實驗驗證。首先探討加熱片與加熱片貼附於銅片時，施加不同直流電壓之加熱特性，以紅外線熱影像儀可拍攝溫度場分佈，並以熱電偶進行單點量測作比較校正，以了解加熱片在不同輸入電壓之加熱特性。本文也應用此貼附於銅片之加熱片作為 PCB 外部熱源，進行自由邊界下之溫度場量測，並建立對應之 PCB 有限元素模型以進行穩態下之溫度場與熱應力場分析，結果顯示有限元素分析與實驗量測之溫度場相當吻合，故可進一步探討 PCB 之熱變形與熱應力場，未來也可引用此模型，進行 PCB 受熱效應之結構振動耦合分析。

關鍵字：印刷電路板、熱傳分析、熱應力

1. 前言

在電子構裝產業中，印刷電路板 (Printed Circuit Board, PCB) 在體積日益縮小的情況下，除了由高溫所產生之破壞以外，在組裝、運輸及使用過程中，經由振動所產生的破壞亦為印刷電路板之設計關鍵，因此必須進行振動與熱傳複合試驗，故本文熱源採用加熱片對應印刷電路板進行受熱，先探討印刷電路板受熱後之溫度情形，未來將建立振動與熱傳複合試驗。

鄭等人[1]探討利用晶片封裝之散熱評估，利用熱阻值或熱傳值進行實驗量測，最後由實驗與理論的數值模擬進行驗證。余等人[2]在 cisp 之設計流程上，說明如何改善製成之良率，並利用雷射鑽孔技術作微孔，讓封裝時候可以得到較好的對位，在分析方面把熱傳傳遞至晶片表面上與把熱傳遞到在晶片下表面兩種方法，並探討何種方法熱傳效率較好。黃等人[3]探討兩種不同晶片疊合封裝晶片之功率大小與溫度耦合循環測試之影響，並看溫度曲線偏離純粹溫度循環曲線的程度，最後結果可得知不管功率加在那個晶片上，VFBGA 的晶片接點溫度會比 SPBGA 還要來的高，並且探討具雙層堆疊晶片之上板薄型細間距球柵陣列晶片尺寸封裝在功率與溫度耦合循環測試下，結果顯示加入功率循環後，晶片結點溫度與溫度循環曲線及產生差異，功率關閉時，溫度及回歸溫度

循環的溫度曲線。Gonald[4]在印刷電路板上所採用之材料都屬於複合材料，並且加強電路板之結構強度，讓電路板受振動所產生的損壞降到最少。Gibson et al[5]此篇利用三種不同複合材料之平板進行實驗模擬分析，在實驗方面利用兩種不同方法來模擬結構在自由邊界上之結果作比較。Liou et al[6]本文探討結構之材料受到負荷所產生變動之振幅，材料之應力壽命是根據累積規則所進行的循環，而在隨機振動的分析中及可說明材料的此項特性，經由本篇論述疲勞壽命的預測，對理論上之典型疲勞壽命方程式及如何求取疲勞壽命之流程進行瞭解。王等人[7]本文主要針對電路板之封裝結構進行模型驗證，並利用有限元素分析與實驗模擬分析，所求得之模擬參數進行比對，已確認實際結構之等效有限元素模型。王等人[9]探討不同封裝體數量印刷電路板之振動特性與響應預測模擬比較分析，自然頻率比對結果單一封裝體 PCB 於固定邊界下自然頻率之值都比多封裝體 PCB 自然頻率較小。黃等人[10]利用有限元素分析裸晶型晶圓級封裝迴錫於測試電路板後在加速溫度循環測試下之疲勞可靠度，結果顯示可以有效增長此類封裝體之溫度循環疲勞壽命。黃等人[11]利用有限元素分析疊合封裝結構迴錫於測試電路板後進行，加速度溫度循環測試下之疲勞可靠度，溫度循環為 0~100°C 兩個完整溫度循環週期，結果顯示影響最大為基板厚度、晶片厚度及錫球接點高度。黃等人[12]利用有限元素分析裸晶型晶圓級封裝迴錫於測試電路板後在加速溫度循環測試下之疲勞可靠度，結果顯示可以有效增長此類封裝體之溫度循環疲勞壽命。

本文使用所製作加熱片做為印刷電路板之加熱源，先探討加熱片如圖 1(a)與加熱片貼附銅片於直流電壓下受熱的特性分析，並以紅外線熱影像儀如圖 1(b)及熱電偶之溫度量測器如圖 1(c)兩者儀器進行溫度量測。進行量測溫度前，先以紅外線熱影像儀及熱電偶之溫度量測器進行校正，最後以加熱片貼附於銅片加熱方式附加於 PCB 板進行加熱實驗並量測溫度場之分佈，在理論方面也建立有限元素模型進行對應之溫度場及熱應力場分析。

2. 量測儀器之校正分析

本文實驗架構如圖 2 所示，本實驗以熱電偶與紅外線熱影像儀兩種儀器進行溫度量測，加熱片電線接上電源供應器提供電壓產生熱源，加熱片以懸空方式，以紅外線熱影像儀拍攝加熱片表面溫度場分佈，熱電偶以單點方式對加熱片進行溫度量測。

2.1 熱電偶之溫度量測器及紅外線熱影像校正

本文由紅外線熱影像儀拍攝可得加熱片表面溫度，而熱電偶可得加熱片單點溫度，兩者進行比較後，可得知兩者儀器準確度，而紅外線熱影像方面由拍攝方式進行量測，以探討不同距離下的溫度是否有差異性，在溫度量測器方面量測點為 9 點如圖 3(c)，主要以熱電偶進行單點量測及把熱電偶折成一直線進行量測分別如圖 3(a)及 3(b)所示，探討不同受熱時加熱片之表面溫度影響。

表 1 為熱電偶以不同量測方法及紅外線熱影像儀不同距離量測溫度總表，圖 4 為加熱片在電壓 10V，量測距離為 15 cm 時在 10 分鐘之熱影像，綜合討論如下：

1. 觀察表 1 以紅外線熱影像儀，於不同量測距離，包括：10、15、20 及 25cm，可看出 9 個量測點之溫度均相近，但會有數值差異，主要原因在加熱片表面溫度分佈不均勻於選取位置之手動誤差所致，由各點之平均溫度來看均為 82°C 或 83°C，所量得溫度有穩定性，所以紅外線熱影像儀於不同距離量測皆可行。
2. 由表 1 若比較熱電偶之單點及橫條量測方式所得溫度值，平均溫度相差高達 20°C，進一步與紅外線熱影像儀所量測溫度進行比較，其溫度相近在 $\pm 1\sim 2$ °C，故可得知由熱電偶量測以橫條方式量測會有較高之可靠度。
3. 以表 1 若將紅外線熱影像於第 5 點不同距離下溫度量測，可發現有 $\pm 1\sim 2$ °C 誤差，與熱電偶量測溫度比較下同樣有 $\pm 1\sim 2$ °C 誤差，推測其原因量測時周圍溫度並非穩態因而導致有此溫度誤差，而由量測結果顯示出紅外線熱影像儀與熱電偶具有一定可靠度。

3. 加熱片特性分析

本節以紅外線熱影像儀拍攝加熱片於不同電壓加熱下之溫度，瞭解加熱片於不同電壓加熱下之溫度差異，最後並探討加熱片受熱穩態之時間。

3.1 加熱片於固定電壓之加熱特性

本節欲得知加熱片於固定電壓之加熱特性，應用紅外線熱影像儀分別以不同時間與電壓下方式進行拍攝，可得知加熱片達到穩態溫度，最後找出電壓與溫度兩者間所對應關係。

如 2.1 節將加熱片規劃九點進行溫度量測，經由紅外線熱影像儀拍攝結果，可得知加熱片整體平均溫度與加熱片之溫度分佈，在不同電壓下進行溫度量測可得知溫度及電壓對應關係，綜合討論如下：

1. 圖 4 為紅外線熱影像儀拍攝加熱片之溫度分佈圖，可看出加熱片溫度分佈不均，在加熱片四角落與規劃點 2 溫度也明顯降低，規劃點低溫主要原因為電線與加熱片所接合地方，導致熱源無法完全傳遞至該點，加熱片中間溫度明顯較高，可推斷規劃點 5 為熱源傳遞四週表面。
2. 表 2 為加熱片於電壓(6V)不同時間下之溫度比對總表，以中心點溫度觀察大約也有 $\pm 1\sim 2$ °C 誤差，在不同角落規劃點 1、3、7、9 於各點角落在不同時間溫度落差大。
3. 由表 3 電壓與溫度比對上 6V、7V 與 7V、8V 及 8V、9V 溫度差大約 18~17°C，而電壓 9V 與 10V 溫度差約 10°C，因此加熱片溫度為非比例現象。
4. 圖 5. 加熱片中心點於不同時間及電壓之溫度比較圖並且，對應表 3. 加熱片於不同電壓下規劃點 5 之時間與溫度比較總表之數值，由曲線圖可觀察加熱片中心點溫度，達到穩態時間大約為 3 分鐘。

3.2 加熱片貼附銅片於固定電壓之加熱特性

由前一小節得知單獨加熱片特性，由於呈現不等溫又與所輸入電壓呈非比例現象，因此可進一步對加熱片貼附銅片於固定電壓之加熱特性做一探討，主要以耐熱膠進行黏貼並以懸空方式進行與前一小節相同規劃點量測，加熱片之熱源以電源供應器提供，藉由不同電壓產生之不同溫度狀態下瞭解加熱片貼附銅片之溫度分佈。

經紅外線照射後可得加熱片貼附銅片上之溫度及溫度分佈情形，將其整理成表 4、5 及圖 6、7 進行以下之綜合討論：

1. 圖 6 為加熱片貼附銅片於電壓(10V)受熱 10 分鐘之溫度分佈圖，並且對應表 4 為加熱片貼附銅片於電壓(10V)在不同時間之溫度比較表之數值，由圖 6 以整體觀看是均勻的，觀察表 4 各規劃點之溫度誤差皆在 $\pm 1\sim 2^\circ\text{C}$ ，此特性對後續受熱於印刷電路板之封裝體上熱源可均勻分佈於電路板可更加確認日後實驗準確度，改善單獨加熱片之溫度不均勻缺點。
2. 圖 7 為加熱片貼附銅片由量測規劃點 5 於不同時間不同電壓之比對，此結果加熱片貼附於銅片大約 5 分鐘溫度以達到等溫狀態，並對應表 5 為加熱片貼附銅片於不同電壓下規劃點 5 之時間與溫度比較總表之對應數值，可觀察表 5 時間經過 5 分鐘後溫度以達到等溫並無誤差，並且可得知電壓提高 1(V)溫度提升大約 $9\sim 12^\circ\text{C}$ 。

4. 印刷電路板受熱之溫度及熱應力場分析

本文探討對環境振動測試所使用之印刷電路板並以加熱片為熱源並貼附受熱於印刷電路板之封裝體上並應用 ANSYS 探討 PCB 板受熱後之溫度場與熱應力分析，並與實驗進行溫度驗證。

4.1 加熱片應用於 PCB 板之加熱實驗

實驗方面將利用如圖 8(a)及(b)印刷電路板之封裝體貼附加熱片如圖 8(c)，並以自由邊界懸空方式進行實驗，並給予不同電壓使加熱片具穩定溫度對 PCB 板加熱，探討印刷電路板之溫度分佈情況，本次實驗配合熱電偶貼附在封裝體與加熱片中間，以方便觀察溫度。

利用紅外線熱影像儀拍攝方式量測印刷電路板之封裝體貼附加熱片受熱後之溫度分佈情形，由實驗之分佈情況後續可以與理論相比較，綜合討論如下：

1. 表 6 為印刷電路板貼附於封裝體貼附銅片在不同電壓下之溫度分佈，可觀察溫度有小範圍分佈印刷電路板中心點。
2. 圖 9 為加熱片貼附銅片於印刷電路板上，熱像儀所量測之影像為加熱片表面溫度，而銅片為加熱

片與封裝體所包附故溫度無法得知，以熱電偶貼附於銅片與封裝體之間量測溫度為 $103\sim 105^\circ\text{C}$ ，與前小節銅片於電壓 (13V) 量得溫度 106°C 誤差不大表示實驗之正確性。

3. 圖 10 為 PCB 板貼附加熱片電壓為 (13V) 於不同時間及不同點之溫度比對圖，量測點為圖 9 直線座標量得溫度，量測點 1~6 及 10~15 點比較，可觀察時間 1 分鐘 PCB 板受熱影響不大，受熱 3 至 30 分鐘與受熱 1 分鐘比較後溫度有明顯提高，而由圖可得知 PCB 板受熱三分鐘後在各點上溫度呈現些微波動。
4. 圖 11(a)為量測規劃點 3(取於圖 6 規劃點 3)於不同電壓及不同時間之溫度曲線圖，可觀察低電壓 5 分鐘時，大致呈現穩態故瞭解由於週界溫度環境影響溫度略有 $2\sim 3^\circ\text{C}$ 之跳動。
5. 圖 11(b)為量測規劃點 6(取於圖 6 規劃點 6)於不同溫度及不同時間之溫度曲線圖，可觀察接近熱源附近溫度變化比較小，由曲線圖可得知電路板受熱後間大約為 20 分鐘達到穩態。

4.2 溫度場及熱應力場之有限元素分析

本文分析是利用套裝軟體 ANSYS 進行溫度場分析，整體模型如圖 12 分別為電路板、封裝體及加熱片，進行模型建構時加熱片與銅片為一體進行建構，並假設電路板為正向性材料，封裝體及銅片皆為等向性材料，架構材料先以王等人[10]之材料性質設定為初始值。建立有限元素模型建構說明如下：

印刷電路板貼附銅片之模型建構(溫度場)

1. 元素選用：PCB 板具熱效應之熱傳溫度場分析時 PCB 板使用線性立方體熱傳元素(Solid70)。
2. 元素分割：使用 sweep mesh 將模型分割為 1162 元素，2428 個節點。
3. 熱邊界條件：於實驗量測其周圍環境溫度為 27，因此配合實驗故於印刷電路板及封裝體表面皆給予週界溫度 $T_\infty = 27^\circ\text{C}$ ，週界熱對流係數主要以實際實驗量測溫度，校正所得為 $h_f = 50(\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 與實際對流狀況相當，依實驗將加熱片貼附於銅片中心位置並調整電壓由 11V~13V 可得知電壓提高 1V 銅片溫度上升約 $9\sim 12^\circ\text{C}$ ，故本文以平均溫度 10°C 為一間距，並給予穩態溫度 85、95 及 105°C 。

4. 熱負荷條件：進行熱應力場分析時由溫度場分析結果帶入節點對應溫度值轉換為靜力元素，線性立方體元素(Solid 45)。

印刷電路板貼附銅片之模型建構(熱應力場)

1. 元素選用：進行熱應力場分析時由溫度場分析之線性立方體熱傳元素(Solid70)，轉換為靜力元素，線性立方體元素(Solid 45)。
2. 元素分割：使用 sweep mesh 將模型分割為 225 元素，476 個節點。
3. 熱邊界條件：自由邊界不需設定任何位移限制。
4. 熱負荷條件：進行熱應力場分析時由溫度場分析結果帶入節點對應溫度值。

4.3 PCB 板之理論分析與實驗驗證

在實驗部分將 PCB 板之封裝體貼附加熱片，以自由邊界懸吊的方式進行實驗，並施與不同電壓於加熱片探討 PCB 板之溫度分佈情況，在理論分析部分則利用有限元素分析軟體 ANSYS 模擬 PCB 板之封裝體貼附加熱片進行溫度場分析，經由溫度場分析在延伸至熱應力場分析，探討理論之 PCB 板溫度分佈現象，再將實驗與理論之結果進行比對驗證。

表 8 實驗與理論於 PCB 板貼附銅片電壓(13V)之溫度曲線圖(受熱 20 分鐘)，表 9 PCB 板於不同電壓下溫度分佈及熱通量分佈總表。以溫度場分析之結果帶入節點對應溫度值，求得結構之熱變形及熱應力，並針對 PCB 板受熱後其應力集中現象進行探討。圖 13 為印刷電路板之熱變形圖，表 10 為 PCB 板於不同電壓下之熱應力場分佈圖。本節綜合討論如下：

1. 由表 8 以直線與橫線方式對實驗與理論分析之溫度分佈進行比對，可觀察出兩條曲線有一定的趨勢，由此可推論在 PCB 板理論分析與實驗驗證結果有相當的可靠度。
2. 如表 6 與表 9 將實驗與理論之溫度分佈相互比對，可看出在不同溫度下實驗與理論之溫度分佈現象皆以中心點向外擴散，由理論分析之熱通量分佈可觀察出在封裝體周圍有明顯的熱流動現象。
3. 圖 13 為 PCB 板之熱變形圖，可以看出 PCB 板受熱後所導致的熱變形，在封裝體的位置有些微膨脹彎曲的現象；如表 10 所示，應力集中現

象皆發生於封裝體表面，在電壓 11V、12V、13V 之最大主應力達 16.3MPa、18.2MPa、20.1MPa，在麥西斯應力達 18.5MPa、20.7MPa、22.8MPa，由此可判斷當溫度升高時，應力有相對提高的現象。

5. 結論

本文先以加熱片作為 PCB 板之加熱源，並探討加熱源於 PCB 板封裝體上受熱時之印刷電路板溫度場及熱應力場分析與實驗驗證，本文重點討論如下：

1. 本文對紅外線熱影像儀做校正分析，並進行不同量測距離之溫度比較與熱電偶之溫度量測器所量得溫度進行比較，比較結果皆為良好並確認儀器的正確性，且得到加熱片面之溫度與整體溫度分佈
2. 加熱片與加熱片貼附於銅片受不同直流電壓下之加熱特性，實驗可得知加熱片溫度與直流電壓成正比，達到穩態時間大約 5 分鐘，加熱片本身表面溫度分佈較為不均勻故貼附於銅片時表面溫度是均勻，故利用此銅片特性應用在印刷電路板上當作加熱源。
3. 應用加熱片為加熱源於印刷電路板上之封裝體所貼附進行自由邊界下不同加熱過程之溫度分佈達到穩態時間為 20 分鐘，並利用有限元素分析模擬印刷電路板之封裝體貼附加熱片進行溫度場之溫度分佈與實驗比對結果相當吻合。
4. 進行溫度場分析時與實驗比對時，也調整得到熱對流係數之參數，完成溫度場分析進一步進行印刷電路板熱應力場分析，並可判斷最大應力在封裝體與 PCB 板之界面上。
5. 未來引用本文所建立之分析模型，以自行製作之加熱片為外部熱源施於 PCB 之封裝體進行，印刷電路板受熱狀態之振動模態分析與驗證。

6. 參考文獻

1. 鄭宗杰，余致廣，2005，「FC-PBGA之熱流模擬簡介」，奈米通訊，第11卷，第4期，第17-21頁。
2. 余致廣，鄭宗杰，2005，「內藏式晶片封裝之熱傳研究」，奈米通訊，第12卷，第3期，第30-33頁
3. 黃東鴻，李長祺，賴逸少，王靜君，「疊合封裝

結構受功率與溫度耦合循環測試之熱傳特性與疲勞可靠度評估」, 專題報導, 第42期, 第4-8頁, 2007。

4. Liou, H. Y., Wu, W. F., and Shin, C. S., "A Modified Model for the Estimation of Fatigue Life Derived from Random Vibration Theory," *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol. 14, pp. 281-288, 1999.
5. Lai, Y. S., Yang, P. F., Yeh, C. L., and Tsai, C. I., 2004, "Board-Level Drop Performance of Lead-Free Chip-Scale Packages with Different Soldermask Openings and Solder Compositions," *Proceedings of the 6th International Conference on Electronics Materials and Packaging*, China, pp. 56-60.
6. Gibson, R. F., and Wen, Y. F., "Evaluation of Boundary Conditions for a Composite Plate Vibration Test," *Proceeding of the Spring Conference on Experimental Mechanics*, pp. 19-27, 1993.
7. 王栢村, 陶致均, 賴逸少, 葉昶麟, 李英志, 2008, 「上級封裝體於自由邊界下之模型驗證」, 中華民國振動與噪音工程學術研討會第十六屆, 台北, 論文編號: C-6。
8. 王栢村, 許富翔, 陶致均, 賴逸少, 葉昶麟, 李英志, 2008, 「不同封裝體數量印刷電路板之振動特性與響應預測模擬比較分析」, 中華民國振動與噪音工程學會第十六屆學術研討會, 台北, 論文編號: C-5。
9. 黃東鴻, 李長祺, 王靜君, 賴逸少, 2006 「推疊晶片尺寸受功率與溫度耦合循環測試的熱特性與疲勞可靠度表現」, 中華民國力學學會第三十屆全國力學會議, 彰化, 第8-10頁。
10. 黃東鴻, 賴逸少, 2006 「裸晶型晶圓級封裝溫度循環疲勞可靠度之最佳化設計」, 中國機械工程學會第二十一屆全國學術研討會論文集, 高雄, 第5789-5794頁。
11. 黃東鴻, 王靜君, 賴逸少, 2005 「疊合封裝結構溫度循環疲勞可靠度之最佳化設計」, 中華民國力學學會第二十九屆全國力學會議, 新竹市, L015-1-7。

7. 圖表彙整

表 1 熱電偶以不同量測方法及紅外線熱影像儀不同距離量測溫度總表(10分鐘)

加熱片 (10V)						
規劃點	熱電偶		紅外線熱影像儀			
	單點方式量測	橫條方式量測	量測距離 (10cm)	量測距離 (15cm)	量測距離 (20cm)	量測距離 (25cm)
	溫度 (C)	溫度 (C)	溫度 (C)	溫度 (C)	溫度 (C)	溫度 (C)
1	60	79	77	80	79	79
2	58	63	61	65	63	61
3	63	80	77	80	77	78
4	63	82	92	95	95	87
5	75	127	128	129	128	126
6	67	93	91	89	95	93
7	57	61	64	64	63	67
8	55	81	87	86	86	92
9	48	63	65	67	66	68
平均溫度 (C)	60	81	82	83	83	83

表 2 加熱片於電壓(6V)不同時間下之溫度比對總表

規劃點	1分鐘	3分鐘	5分鐘	10分鐘	15分鐘	20分鐘
	溫度(C)	溫度(C)	溫度(C)	溫度(C)	溫度(C)	溫度(C)
1	47	50	46	52	54	52
2	39	44	44	44	45	43
3	40	50	51	53	60	53
4	57	54	62	58	60	68
5	66	63	66	67	68	67
6	60	65	68	64	70	66
7	43	52	44	44	46	50
8	51	55	62	68	63	61
9	52	52	52	54	56	52
平均溫度(C)	51	53	57	57	58	57

表 3 加熱片於不同電壓下規劃點 5 之時間與溫度比較總表

時間 \ 伏特	6V	7V	8V	9V	10V
	溫度 (C)	溫度 (C)	溫度 (C)	溫度 (C)	溫度 (C)
1 分鐘	65	84	100	116	113
3 分鐘	66	85	101	118	126
5 分鐘	66	85	102	118	126
10 分鐘	67	87	100	117	128
15 分鐘	68	85	102	117	127
20 分鐘	67	86	102	118	126

表 4 加熱片貼附銅片於電壓(10V)在不同時間之溫度比較表

規劃點	1分鐘	3分鐘	5分鐘	10分鐘	15分鐘	20分鐘
	溫度(°C)	溫度(°C)	溫度(°C)	溫度(°C)	溫度(°C)	溫度(°C)
1	57	72	75	75	73	74
2	58	74	76	75	75	76
3	57	73	77	75	75	76
4	59	73	77	76	76	76
5	58	75	76	76	76	76
6	58	76	79	77	77	77
7	58	76	78	78	77	78
8	61	78	79	77	78	78
9	59	73	76	76	76	77
平均溫度(°C)	58	74	77	76	75	76

表 5 加熱片貼附銅片於不同電壓下規劃點 5 之時間與溫度比較總表

時間 \ 伏特	10V	11V	12V	13V
	溫度(°C)	溫度(°C)	溫度(°C)	溫度(°C)
1分鐘	58	76	56	66
3分鐘	75	83	91	106
5分鐘	76	85	94	106
10分鐘	76	85	94	106
15分鐘	76	85	94	106
20分鐘	76	85	94	106

表 6 印刷電路板之封裝體上貼附銅片在不同電壓下之溫度分佈

	10V(76°C)	11V(85°C)	12V(94°C)	13V(106°C)
10分鐘				
20分鐘				
30分鐘				

表 7 印刷電路板及銅片材料參數總表

種類	本文設定值
底層楊氏係數 $E_{X,B}, E_{Y,B}$	13.87×10^9 (N/m ²)

底層剪力係數 $G_{XY,B}$	3.25×10^9 (N/m ²)
底層蒲松比 $\nu_{XY,B}$	0.36
底層密度 ρ_B	2066(kg/m ³)
底層熱膨脹係數	14.5×10^{-6} (1/°K)
底層熱傳導係數	19.27 (W/m·°C)
封裝層楊氏係數 E_C	9.15×10^9 (N/m ²)
封裝層蒲松比 ν_C	0.4
封裝層密度 ρ_C	2958 (kg/m ³)
封裝層熱膨脹係數	2.8×10^{-6} (1/°K)
封裝層熱傳導係數	$150 \cdot \left(\frac{\text{temp}}{300}\right)^{-4}$ (W/m·°C)
銅片楊氏係數 E_d	96×10^9 (N/m ²)
銅片密度 ρ_d	7388.6 (kg/m ³)
銅片蒲松比 ν_C	0.34
銅片熱膨脹係數	16.7×10^{-6} (1/°K)
銅片熱傳導係數	385 (W/m·°C)

表 8 實驗與理論於 PCB 板貼附銅片電壓為 (13V) 之溫度曲線比較圖 (受熱 20 分鐘)

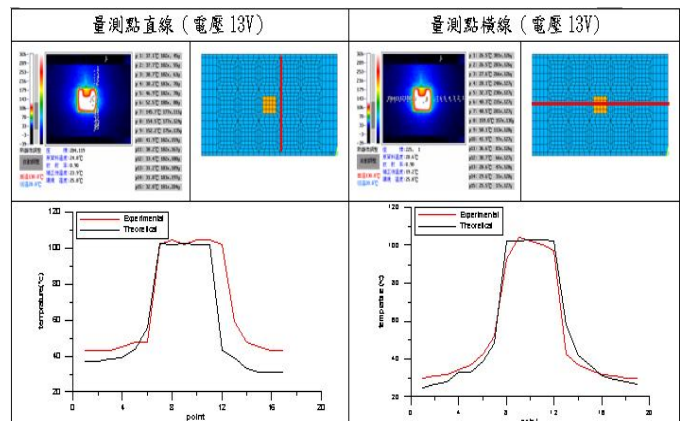


表 9 PCB 板於不同電壓下溫度分佈及熱通量分佈總表

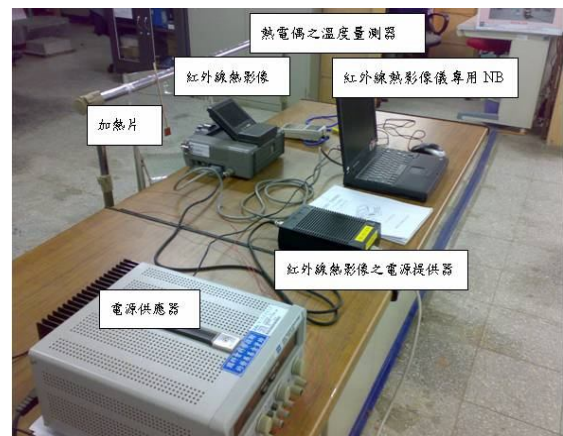
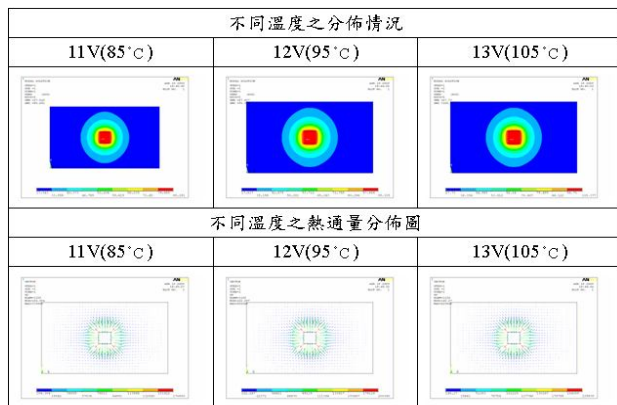


圖 2 紅外線熱影像儀實驗架設

表 10 PCB 板於不同電壓下之熱應力場分佈圖

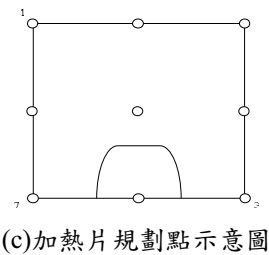
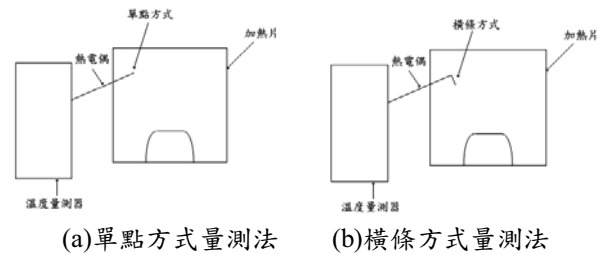
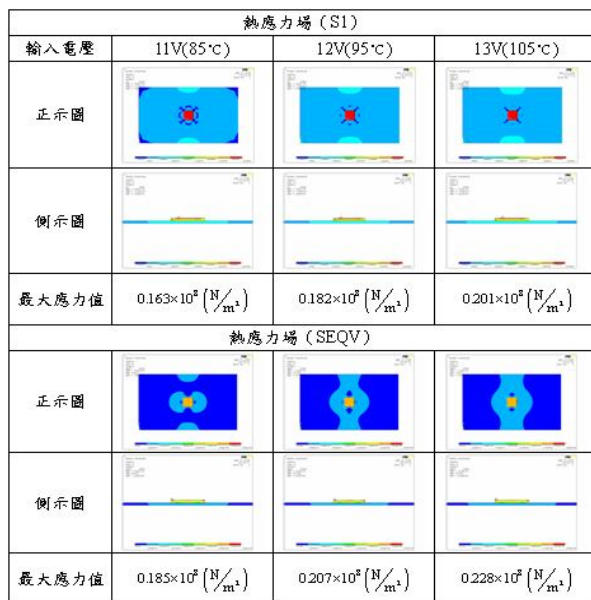


圖 3 不同量測方法及規劃點示意圖



(a) 加熱片及銅片實體結構



(b) 紅外線熱影像儀



(c) 熱電偶

圖 1 量測儀器實際結構圖

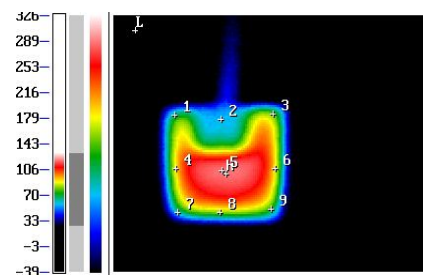


圖 4 加熱片於電壓 (6V) 受熱 10 分鐘之溫度分佈圖

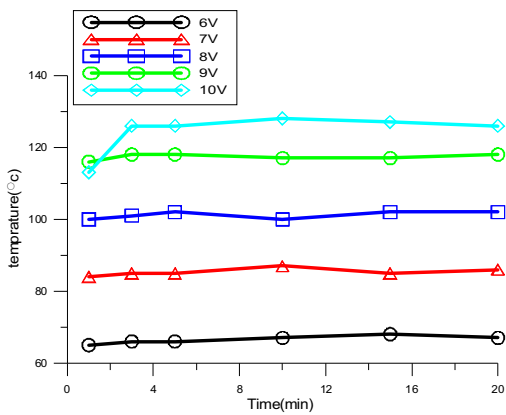
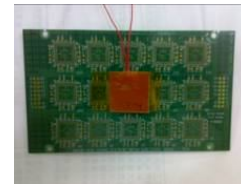


圖 5 加熱片中心點於不同時間及電壓之溫度比較圖



(c)PCB 板貼附加熱片實體
圖 8 實際結構外觀及尺寸圖

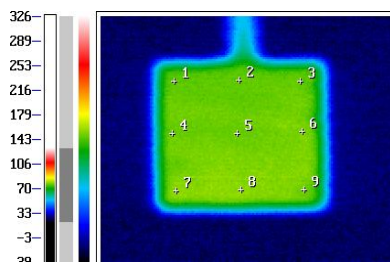


圖 6 加熱片貼附銅片於電壓(10V)受熱 10 分鐘之溫度分佈圖

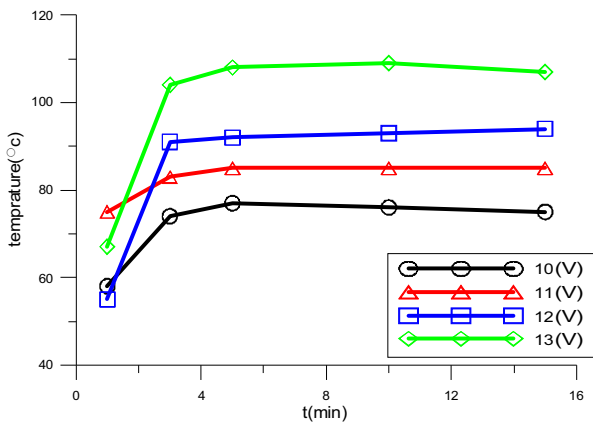


圖 7 加熱片貼附銅片由量測規劃點 5 於不同時間不同電壓之比對圖

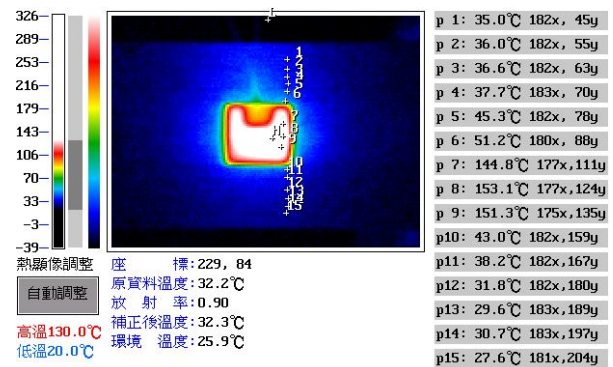


圖 9 PCB 板貼附銅片電壓為 (13V) 之溫度量測分佈圖 (受熱 20 分鐘)

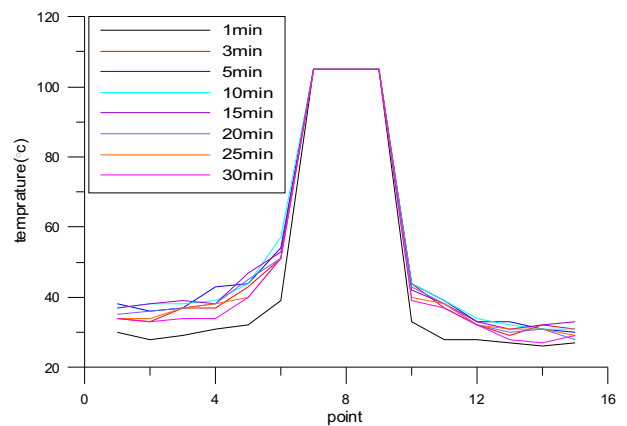
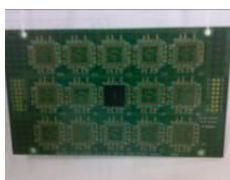
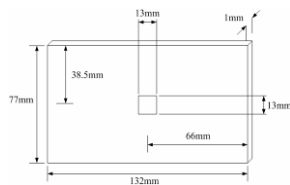


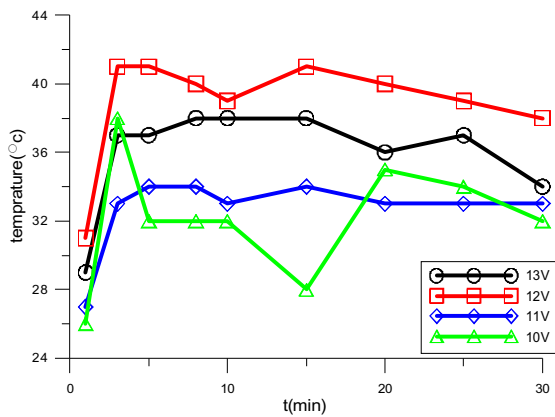
圖 10 PCB 板貼附銅片電壓為 (13V) 於不同時間及不同點之溫度比對圖



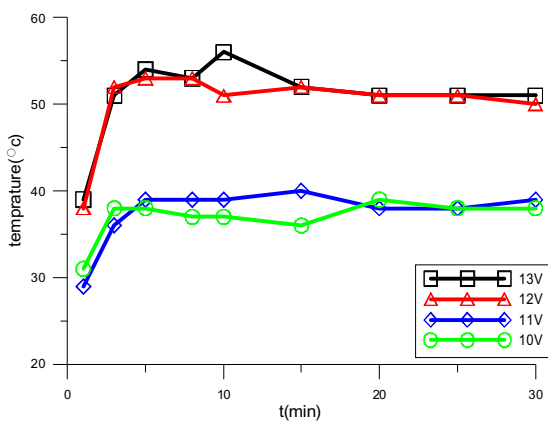
(a)PCB 實體



(b)細部尺寸圖

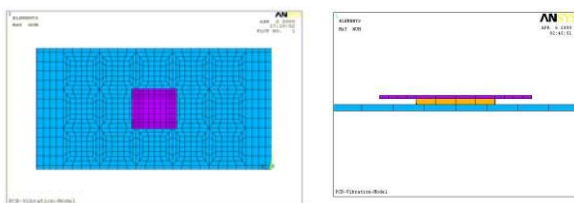


(a) 第3量測點



(b) 第6量測點

圖 11 PCB 板貼附銅片於相同點不同溫度及不同時間之溫度曲線圖



(a) 模型正視圖

(b) 模型側示圖

圖 12 PCB 板之有限元素模型示意圖



圖 13 PCB 板之熱變形圖

Temperature Analysis and Experimental Verification of Printed Circuit Board with a Package in Heating Condition

Bor-Tsuen Wang¹, Chen-Hsiung Hung²,
Fu-Xiang Hsu³, Xiu-Wei Liang³,
Yi-Shao Lai⁴, Chang-Lin Yeh⁴,
Ying-Chih Li⁴

¹Professor, Department of Mechanical Engineering

²Lecturer, Department of Biomechanics Engineering

³Graduate student, National Pingtung University of Science and Technology

⁴ASE Group Kaohsiung Stress-Reliability Lab

Abstract

This paper uses the developed heating pad as the external heat source applying to the IC package on the printed circuit board (PCB). The temperature distribution and thermal stress fields of the PCB are theoretically and experimentally studied. First, the heating characteristics of the heating pad with and without the attached copper shim subjected to the constant voltage of direct current (DC) are calibrated. The digital infrared thermography (DIT) is used to capture the temperature distribution, and the thermal couple for single point measurement is also adopted to compare and verify the temperature measurement. The calibrated heating pad with the attached copper shim is then applied to the surface of IC package on the PCB as the heat source. The transient temperature distributions are recorded by the DIT. The finite element model for the PCB with the thermal loading is constructed and solved for the temperature distribution in the steady state. Both the analytical and experimental results are compared and validated. The stress field in the PCB can then be studied. In the future, the calibrated FE model for the PCB including the thermal effect can also be studied for its coupled field analysis account for both thermal and structural vibration.

Keywords: Printed Circuit Board (PCB), Thermal analysis, Thermal stress