

國立交通大學

工學院精密與自動化工程學程

碩 士 論 文

熱傳遞路徑對 LED 燈泡接面溫度的影響

The effects of heat transfer path on the
junction temperature of LED blub

研 究 生：賴 俊 明

指 導 教 授：傅 武 雄 博 士

中 華 民 國 101 年 7 月

熱傳遞路徑對 LED 燈泡接面溫度的影響

The effects of heat transfer path on the junction temperature of LED blub

研 究 生：賴俊明

Student : Chun-Ming Lai

指導教授：傅武雄

Advisor : Wu-Shung Fu

國立交通大學

工學院精密與自動化工程學程

碩 士 論 文

A Thesis

Submitted to Degree Program of Automation and Precision Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

In

Automation and Precision Engineering

July 2012

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 101 年 7 月

熱傳遞路徑對 LED 燈泡接面溫度的影響

研究生：賴俊明

指導教授：傅武雄 博士

國立交通大學工學院精密與自動化工程學程

摘 要

LED 接面溫度(T_j)與 LED 壽命顯著逆相關:有效控制接面溫度(T_j)，能直接影響 LED 的亮度衰減、色溫改變及使用壽命的特性。

本研究探討 LED 燈泡之熱傳系統，在被控制的環境對流係數與熱源功率之相同條件下，調控不同之電路基板(PCB)、導熱介質與散熱外殼等條件，來建構不同的熱傳途徑，並量測 LED 的接面溫度 T_j 用以評估最佳化的熱傳途徑，達到 LED 燈源的有效熱傳遞，以提升 LED 燈具的壽命。



The effects of heat transfer path on the junction temperature of LED blub

Student : Chun-Ming Lai

Advisor : Wu-Shung Fu

Degree program of Automation and Precision Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

ABSTRACT

This study is investigated the effects of heat transfer path on the junction temperature(T_j) of LED blub by T_j measurement method. The characteristics of LED such as the decay of the lumen output, the color changed and the life time are all depend on the T_j value. The parameters of this study include the controlled convention, power consupption, PCB material, thermal interface material, heat sink. The different thermal flow pathway is induced the different T_j value by varying the PCB material, thermal interface material, heat sink. The life time of the LED Bulb can be increased by the optimization of the thermal flow pathway.

誌謝

能夠順利完成研究所學程，要感謝的人很多，而其中最要感謝的就是傅教授武雄先生，教授對我的論文指導，不止是在論文的方向，也讓我知道我的論文研究，應該如何應用於工作中，更對原本的工作有著更深一層了解。讓我對於工作更有自信，這無疑是進研究所最大的收穫。

感謝公司當時的主管與同事，讓我有必需要再進修的動力。感謝產品研發部處長謝錦坤先生讓我有足夠時間與機會可以到交大進修。感謝吳孟齋經理、周士欽先生，在我論文遇到瓶頸時，不吝於以他們專業的見解，給我建議，讓我的論文可以順利進行下去，而且當我在學校課業需要，必須請假時，也會給於必要的支援，謝謝。

最後，很慶幸，時間並沒有淡化我對於研究所的熱忱，以及到研究所進修的渴望，也感謝所有幫助過我的人。天時，地利，人合，只要不放棄，願望一定會達成的。

目 錄

中文摘要	.....	I
英文摘要	.....	II
誌謝	.....	III
目錄	.....	IV
表目錄	.....	IV
圖目錄	.....	IVII
符號說明	.....	XI
一、	緒論.....	1
1-1	前言.....	1
1-2	文獻回顧.....	2
1-3	研究動機與目的.....	3
1-4	本文架構.....	3
二、	理論基礎.....	7
2.1	LED 發光原理.....	7
2.2	LED 熱傳遞理論.....	8
2.3	LED 燈泡的主要結構.....	13
三、	實驗/量測方法介紹.....	25
3.1	實驗計畫法介紹.....	25
3.2	順向偏壓法.....	28
四、	熱傳導路徑實驗.....	36
4.1	LED 燈泡結構模型條件.....	36
4.2	實驗步驟與量測數值.....	38
4.3	實驗/量測結果.....	44
五、	實驗因子影響效應.....	75
5.1	基板板材影響效應.....	75
5.2	導熱材料影響效應.....	76
5.3	外殼影響效應.....	77
六、	結論.....	78
參考文獻	.....	79

表 目 錄

	第一章、 緒論	
表 1-1	LED 燈泡與傳統燈泡效率比較表.....	5
表 1-2	LED 照明優點歸納表.....	6
	第二章、 基礎理論	
表 2-1	材料熱傳導係數 k 值(單位, W/m·K).....	18
表 2-2	LED 產業照明專業術語.....	19
表 2-3	LED 燈泡主要規格項.....	20
	第三章、 實驗方法介紹	
表 3-1	「一次一因子」實驗計畫表.....	31
表 3-2	「全因子直交表」實驗計畫表.....	31
表 3-3	$L_4(2^3)$ 直交表表.....	31
表 3-4	LED 於各溫度下之 $V_F @ I_w$	32
	第四章、 熱傳導路徑的實驗	
表 4-1	導熱貼片-型號為 30G-TL 導熱係數.....	46
表 4-2	導熱膠 -型號為 SR-8200 導熱係數.....	46
表 4-3	因子符號與水準說明.....	47
表 4-4	一次一因子實驗計畫表.....	47
表 4-5.	各實驗模組於各溫度下 T_a & V_f 對照表.....	48
表 4-6.	Exp1. 鋁電路基板(A1)/導熱貼片/金屬鋁外殼 V_F & Δt 關係表.....	49
表 4-7.	Exp2. 鋁電路基板(A1)/導熱貼片/工程塑膠外殼 V_F & Δt 關係表.....	50
表 4-8.	Exp3. 鋁電路基板(A1)/導熱膠/-金屬鋁外殼 V_F & Δt 關係.....	51

表 4-9.	Exp4. 鋁電路基板(A1)/導熱膠-工程塑膠外殼 V_F & Δt 關係表.....	52
表 4-10.	Exp5. FR4 雙層鋪銅電路基板/導熱膠/-工程塑膠外殼 V_F & Δt 關係表.....	53
表 4-11.	Exp6. FR4 雙層鋪銅電路基板/導熱貼片/-金屬鋁外殼 V_F & Δt 關係表.....	54
表 4-12.	Exp7. FR4 雙層鋪銅電路基板/導熱貼片/-工程塑膠外殼 V_F & Δt 關係表.....	55
表 4-13.	Exp8. FR4 雙層鋪銅電路基板/導熱膠/-金屬鋁外殼 V_F & Δt 關係表.....	56
表 4-14.	Exp9. FR4 單層電路基板/導熱貼片-金屬鋁外殼 V_F & Δt 關係表.....	57
表 4-15.	Exp10. FR4 單層電路基板/導熱膠/工程塑膠外殼 V_F & Δt 關係表.....	58
表 4-16.	Exp11. FR4 單層電路基板/導熱貼片/工程塑膠外殼 V_F & Δt 關係表.....	59
表 4-17.	Exp12. FR4 單層電路基板/導熱膠-金屬鋁外殼 V_F & Δt 關係表.....	60

圖目錄

第二章、	基礎理論	
圖 2-1	LED 在不同工作溫度使用壽命趨勢圖	21
圖 2-2	LED 封裝結構介紹	21
圖 2-2	Power -LED- Assembly	22
圖 2-4	金屬芯基板結構圖	22
圖 2-5	導熱材料	22
圖 2-6	AC-DC 恒流驅動器	23
圖 2-7	散熱風扇	23
圖 2-8	熱管	23
圖 2-9	LED 燈泡以瓦數/ 散熱/ 製程分類	24
圖 2-10	LED 燈泡得獎產品-iF2011	24
第三章、	實驗方法介紹	
圖 3-1	Thermal Management of LED	33
圖 3-2	恆溫溫控烤箱 (熱風循環)	33
圖 3-3	Keithley (2400 series)	34
圖 3-4	溫度擷取器 Center 309	34
圖 3-5	LED 溫度與 $V_F @ 100 \mu A$ 之關係	34
圖 3-6	LED 操作電流與時間關係圖	35
圖 3-7	推算實際 T_j	35
第四章、	熱傳導路徑的實驗	
圖 4-1	LED 型式(5630)	61

圖 4-2	3 種不同製程參數的電路基板.....	61
圖 4-3	導熱貼片示意圖.....	62
圖 4-4	導熱膠示意圖.....	62
圖 4-5	散熱外殼示意圖.....	62
圖 4-6	實驗模組.....	63
圖 4-7	Exp1. 鋁電路基板(A1)/導熱貼片/金屬鋁外殼 Ta & Vf 關係方程圖.....	63
圖 4-8	Exp2. 鋁電路基板(A1)/導熱貼片/工程塑膠外殼 Ta & Vf 關係方程圖.....	63
圖 4-9	Exp3. 鋁電路基板(A1)/導熱膠/-金屬鋁外殼 Ta & Vf 關係方程圖.....	64
圖 4-10	Exp4. 鋁電路基板(A1)/導熱膠-工程塑膠外殼 Ta & Vf 關係方程圖.....	64
圖 4-11	Exp5. FR4 雙層鋪銅電路基板/導熱膠/-工程塑膠外殼 Ta & Vf 關係方程圖.....	64
圖 4-12	Exp6. FR4 雙層鋪銅電路基板/導熱貼片/-金屬鋁外殼 Ta & Vf 關係方程圖.....	65
圖 4-13	Exp7. FR4 雙層鋪銅電路基板/導熱貼片/-工程塑膠外殼 Ta & Vf 關係方程圖.....	65
圖 4-14	圖 4-14: Exp8. FR4 雙層鋪銅電路基板/導熱膠/-金屬鋁外殼 Ta & Vf 關係方程圖.....	65

圖 4-15	Exp9. FR4 單層電路基板/導熱貼片-金屬鋁外殼 Ta & Vf 關係方程圖.....	66
圖 4-16	Exp10. FR4 單層電路基板/導熱膠/工程塑膠外殼 Ta & Vf 關係方程圖.....	66
圖 4-17	Exp11. FR4 單層電路基板/導熱貼片/工程塑膠外殼 Ta & Vf 關係方程圖.....	67
圖 4-18	Exp Exp12. FR4 單層電路基板/導熱膠-金屬鋁外殼 Ta & Vf 關係方程圖.....	67
圖 4-19	Exp1. 鋁電路基板(Al)/導熱貼片/金屬鋁外殼 Tj 與 ΔT_{time} 趨勢預測曲線圖.....	68
圖 4-20	Exp2. 鋁電路基板(Al)/導熱貼片/工程塑膠外殼 Tj 與 ΔT_{time} 趨勢預測曲線圖.....	68
圖 4-21	Exp3. 鋁電路基板(Al)/導熱膠/-金屬鋁外殼 Tj 與 ΔT_{time} 趨勢預測曲線圖.....	69
圖 4-22	Exp4. 鋁電路基板(Al)/導熱膠-工程塑膠外殼 Tj 與 ΔT_{time} 趨勢預測曲線.....	69
圖 4-23	Exp5. FR4 雙層鋪銅電路基板/導熱膠/-工程塑膠外殼 Tj 與 ΔT_{time} 趨勢預測曲線圖.....	70
圖 4-24	Exp6. FR4 雙層鋪銅電路基板/導熱貼片/-金屬鋁外殼 Tj 與 ΔT_{time} 趨勢預測曲線圖.....	70
圖 4-25	Exp7. FR4 雙層鋪銅電路基板/導熱貼片/-工程塑膠外殼 Tj 與 ΔT_{time} 趨勢預測曲線圖.....	71
圖 4-26	Exp8. FR4 雙層鋪銅電路基板/導熱膠/-金屬鋁外殼 Tj 與 ΔT_{time} 趨勢預測曲線圖.....	71

圖 4-27	Exp9. FR4 單層電路基板/導熱貼片-金屬鋁外殼 Tj 與 ΔT_{time} 趨勢預測曲線圖.....	72
圖 4-28	Exp10. FR4 單層電路基板/導熱膠/工程塑膠外殼 Tj 與 ΔT_{time} 趨勢預測曲線圖.....	72
圖 4-29	Exp11. FR4 單層電路基板/導熱貼片/工程塑膠外殼 Tj 與 ΔT_{time} 趨勢預測曲線圖.....	73
圖 4-30	Exp12. FR4 單層電路基板/導熱膠-金屬鋁外殼 Tj 與 ΔT_{time} 趨勢預測曲線圖.....	73
圖 4-31	Tj 量測/推算值總表.....	74



符號說明

- T_j : LED junction temperature ($^{\circ}\text{C}$)
 η : 光電轉換係數 optical power/input power(%)
 K : 熱導率 (heat conductivity、thermal conductivity)
 T_a : 為環境溫度 Ambient temperature ($^{\circ}\text{C}$)
 V_j : 接面電壓 (junction voltage)
 V_F : 正向電壓 (Forward voltage)
 I_M : Measuring current (量測電流) (μA)
 I_H : Heating current (驅動電流) (mA)
 K_j : 接面電壓的溫度係數
 t_{set} : Setting of delay time (延遲時間設定) (s)



第一章 緒論

1.1 前言

全球的照明的平均用電量佔了總用電量很高的比重。從 1992 年”京都議定書”的誕生，2011 年白熾燈禁用與禁產的規範，歐盟承諾 2020 年達到碳排放量比 1990 年少 30%的目標。因此全球積極在研究節省能源的新型照明的技術以取代傳統照明。

白熾燈泡和螢光燈管雖然是目前最普遍使用的傳統照明燈，但白熾燈會將大部份的電能轉換成輻射熱，發光效能並不高，且燈絲發光易燒，熱沉積、光衰減等缺點。其所產生的輻射熱，更增加冷氣空調系統的負擔，以致浪費太多能源。螢光燈管的發光效能雖然優於鎢絲燈，但燈管內壁所塗抹的汞(水銀)，會造成環境嚴重污染。

發光二極體 (Light-Emitting Diode, 簡稱 LED) 是一種半導體元件具有體積小，重量輕，環氧樹脂封裝，可承受高強機械衝擊和振動，不易破碎等特性，正常平均壽命應可達 10 萬小時此種光源也被泛稱為固態照明 (SSL)。LED 初期僅適用於指向性光源；隨著白光 LED 的出現，才逐步朝向照明應用的發展。而隨著科技與製程的改進，LED 燈使用壽命已逐漸取代白熾燈和螢光燈市場[1]，參考表 1-1 LED 燈泡與傳統燈泡效率比較表。

發光二極體(LED)被全球公認為一代環保高科技產品。具有體積小、光轉換效率高(約為燈泡 2/3~1/2 的能源消耗)、壽命長、反應速率快(點亮響應速度約 300~400ns)、顏色多樣化、不易破損等優點[2]、[3]，參考表 1-2 為 LED 照明優點歸納表。

1.2 文獻回顧

根據發光二極體接面溫度量測[4]指出，真正影響 LED 操作時的溫度，不是環境溫度，也不是元件表面的溫度，而是發光層的溫度，也就是接面溫度 (junction temperature)。LED 在操作時，在 pn 接面上產生的熱，是影響發光二極體發光效能以及老化速率的關鍵因素之一。

LED 晶片(chip)雖然具有耐高溫的特性，但由多個 LED 組合成構成一個光源時，等於形成高瓦數的發光二極體，假設無法在短時間內有效藉封裝體內結構將晶片處之熱能散逸出時，容易形成熱量高密度集中問題，此現象將導致接面溫度上升，從實驗上知道接面溫度在發光二極體的光輸出衰減方面有一定的影響。經驗顯示若介面溫度升高，會影響發光二極體亮度的 decay、光學規格改變及使用壽命縮減[5]。

雖然高功率發光二極體之亮度特性[6]文中提出，發現發光二極體的熱阻值並非影響光通量衰減的主要原因，但大部份輸入 LED 的能量皆以熱能的形式逸散，確實造成晶片接面溫度上升。發光二極體的接面溫度 (Junction temperature) 直接且深遠地影響其輸出特性與元件壽命。

藉由 LED 模組之熱分析[7] 文中得知，材料的選擇對 LED 接面溫度影響最大；並參考大功率 LED 散熱系統研究[8] 文中結果，使用相同的熱沉，粘接材料的導熱率越大，厚度越薄，晶片溫度越低。

高功率 LED 的散熱方式與溫度量測分析[9] 文中藉由不同的銀膠材料與印刷電路板(PCB)材質做比較分析，得到不同的表現效果。

1.3 研究動機與目的

LED 照明技術的主要目標，是「省能源（效率化）」，雖然 LED 照明具有比傳統照明更高的光效率表現，但因 LED 由半導體材料封裝製作的，雖然本身擁有良好的散熱能力[11]，但受高溫影響下，能量轉換效率會急速下降，變得浪費電力之餘也產生更多熱，令溫度進一步上升；如果散熱不佳以致過熱時，會大幅縮短使用壽命。

為克服 LED 燈具產品散熱問題，需依賴內部結構作熱傳遞與外部環境作散熱的設計概念。

本研究主要探討改變不同熱傳途徑對 LED 燈泡 T_j 的影響；以求獲得熱傳遞效率的比較值與影響的主要因子；改善 LED 照明產品整體熱傳瓶頸，以提昇產品信賴性改善。

1.4 本文架構

本研究探討 LED 照明產品-燈泡熱傳系統，以電路基板(PCB)、導熱介質與散熱外殼等條件設定不同的熱傳途徑架構變因下，在不考慮環境之對流係數的影響下，以 TSP 實驗量測各熱傳途徑 LED 其穩定狀態的接面溫度 T_j 。期望以規劃 LED 熱傳路徑，進而改善 LED 燈泡產品壽命。全文共分五章，每個章節主要內容簡述如下：

第一章包含前言、文獻回顧與研究動機與目的。此章主要說明 LED 照明的特性以及針對影響 LED 發光效能以及老化速率的關鍵因素等研究文

獻略作介紹說明。

第二章則對本研究相關的基礎原理作介紹說明，LED 發光原理、LED 熱傳遞理論、LED 燈泡的主要結構。

第三章主要說明實驗/量測方法介紹，從多種實驗計畫方法中選擇「一次一因子實驗法」設定實驗的控制因子與變化的水準。使用「順向偏壓法」手法取得溫度的量測值。

第四章規劃熱傳導路徑實驗，分別對熱傳導路徑的實驗因子：電路基板、導熱介質與散熱外殼作實驗的組別，說明實驗步驟與紀錄量測數值，再加以整理實驗結果。

第五章討論不同實驗因子對晶片接合溫度之影響效應。

第六章結論提出對 LED 燈泡產品壽命需求最佳化的組合；並建議未來的實驗發展方向與技術突破的展望。

表 1-1 LED 燈泡與傳統燈泡效率比較表

樣品名稱	PHILIPS-40W (白熾燈泡)	PHILIPS-60W (白熾燈泡)	PHILIPS-20W (省電燈泡)	LED 7W 燈泡
樣品照片				
Power(Watt)	35.2	52.5	18.0	7
Luminous Flux (lumens)	345	659	986	455
光效(lm/w)	9.8	12.6	54.8	65

表 1-2 LED 照明優點歸納表[23]

項次	比較項目	傳統光源	LED 光源
1	發光效率 (流明/瓦)	白熾燈、鹵鎢燈 12-24、螢光燈 50-70、瓦鈉燈 90-140 流明/瓦。	目前 LED 光效可達到 100 流明/瓦以上。
3	光源使用壽命(小時)	螢光燈為 10,000 ~ 15,000，白熾燈為 1,000 ~ 2,000。	壽命可達 100,000。
4	驅動方式	須高壓交流電的環境要求	低壓直流電即可驅動
5	環保	須添加二氧化硫及氮化物等有害氣體以及含汞、鈉元素等可能危害健康的物質以及“汞”。	環氧樹脂固態封裝，耐衝擊、耐震動，不易破碎、為全固態發光體、廢棄物可完全回收。
6	安全可靠 性	發熱量高、具有熱輻射性、熱光源不可直接觸摸。	發熱量低、無熱輻射性、冷光源、可以安全觸摸
7	反應時間	反應時間慢	反應時間非常快，在微秒級別，反應(開關)時間快 - 可以達到很高的閃爍頻率。
8	體積		LED 元件的體積非常小，更加便於各種設備的佈置和設計。
9	節能	雖然 LED 光源要比傳統光源昂貴，但是用一年時間的節能收回光源的投資，從而獲得 4-9 年中每年幾倍的節能淨收益期	

資料來源：

http://www.ledinside.com.tw/10_reason_for_led_light_source_20080

1

第二章、基礎理論

2.1 LED 發光原理：

材料依照導電性可分為導體、半導體與絕緣體三種，當原子互相接近時，其能階相互交錯形成獨立的能帶。其中，能量較高的能帶稱為導電帶 (Conduction Band)，而能量較低的能帶稱為價電帶 (Valence Band)。以上兩者能帶間的距離不存在任何電子與電洞稱為能隙 (Energy Gap) [10]。

導電價的電子或價電帶的電洞，負責傳遞電流。導體的導電帶與價電帶有部分相互重疊，此時能隙為 0 電子伏特(eV)，電子可自由流動傳遞。絕緣體能隙為 9 電子伏特(eV)，因能隙太大，很難激發電子的遷移。半導體能隙約在 1~3 電子伏特(eV) 之間[10]。

發光二極體 (Light-Emitting Diode，簡稱 LED) 是一種特殊的二極體，由半導體晶片組成，加入少量三價原子，成為 P 型半導體；加入少量五價原子，則成為 N 型半導體。利用 P-N 接面結構，在不同的電極電壓作用下，電流從 P 極 (陽極) 流向 N 極 (負極)，而相反方向則不能，叫作正向偏壓，當電流流過時，P 極的電洞往 N 極移動；同時 N 極的電子也往 P 極移動，電洞與電子在 P-N 接面的空乏區相遇而產生複合 (Recombination) [9]。

發光二極體通常使用直接能階半導體 (Direct Bandgap Semiconductor) 作為基本發光材料，例如砷化鎵，當電子跌落到較低的能階，同時以光子 (即是一般常稱的光) 的模式釋放出能量這叫電致發光效應，此複合過程稱為輻射複合 (Radiative Recombination)。相對

的，間接能階半導體(Indirect Bandgap Semiconductor)，例如矽，複合過程沒有釋出光子，而是把能量轉化為熱能，會因晶格內部缺陷(差排或空缺)產生熱量，稱為非輻射複合(Non-Radiative Recombination) [10]。

對於發光二極體而言，因複合過程，晶片材料影響，會產生光子與熱能的能量型式。可藉光電轉換係數(η)，了解兩者所佔比例，並定義如下所示[10]:

$$\eta = \text{optical power} / \text{input power} (\%)$$

藉著光電轉換係數(η)，了解晶片能量轉換之效能，以便探討結構熱傳的行為。

2.2 熱傳遞分析理論

熱傳遞(Heat Transfer)是熱能從高溫向低溫作能量轉移的過程，傳遞熱量大小和發熱體本身的熱傳係數(Thermal Conductivity)與傳導的路徑有關，當有熱傳遞現象發生時，並不一定只以一種形態進行，熱傳遞有三種型態分別為熱傳導傳遞(Conduction Heat Transfer)、熱對流傳遞(Convection Heat Transfer)、熱輻射傳遞(Radiation Heat Transfer)。

2.2-1. 熱傳導

當兩者間存在溫度梯度(temperature gradient)時，較高動能的分子藉由互相接觸將能量轉移至較低動能的分子，分別以固體、液體、氣體說明能量傳遞[18]。

(1) 氣體: 分子的運動經由擴散及碰撞，在過程中較高動能的分子經碰撞接觸進行能量轉移，將能量轉移至較低動能的分子。

(2) 液體: 傳遞方式與氣體相似，只是液體分子間的距離比氣體分子間的距離小很多。

(3) 固體: 分子與分子間有固定的組織結構，分子不能像液體或是氣體一樣自由的運動，因此傳遞能量的方法，主要是靠晶格振動和自由電子的運動。

依傅利葉(Fourier Law)定律[18]得知，熱量傳遞與溫度梯度呈正比，由傅立葉一維定律(Fourier's Law) 如(2-1)式所示，可知溫度差為熱量 q 傳遞的主要動力，與熱傳導係數 K (thermal conductivity)、物體截面積 A 、溫度差值 ΔT 成正比，與傳遞距離成反比[10][18]。

其公式如下:

$$Q_n = -K A \frac{dT}{dn} \quad (2-1)$$

Q_n : 通過面積之熱源於 n 方向的熱量傳遞 (W)

A : 熱量通過的正向面積 (m^2)

$\frac{dT}{dn}$: 單位長度之溫度變化量(溫度梯度)

K : 熱傳導係數(thermal conductivity) ($W/m^{\circ}C$)

其中 Q_n : 為正實數，式中加上負號是為了滿足熱力學第二定律，即熱必須由高溫傳至低溫。

通常熱傳導係數(thermal conductivity): 為材料特性, 是用來計算熱傳導最基本的參數, 主要是定義單位時間通過截面積的熱量(dQ/dt) 和截面積 A 與溫差 ΔT 成正比 而和長度 L 成反比。根據傅立葉定律定義熱導率公式(thermal conductivity) 如(2-2)式所示,

$$k = (dQ/dt) * (L/A) / \Delta T \quad (2-2)$$

各種材料的熱傳導性能不同, 傳導性能好的, 因自由電子的移動, 所以傳熱速度快, 可以做熱交換器材料; 傳導性能不好的, 可以做熱絕緣材料。

2.2-2. 熱對流:

當物體進行熱傳遞時, 藉由液體或氣體為流體介質, 流體受到不同的溫度的熱膨脹, 導致引起系統的密度差、重量差, 造成上下對流, 通過循環流動, 使溫度趨於均勻的過程, 稱為熱對流。藉由牛頓冷卻定律(Newton' s Law of Cooling) 如(2-3)式所示, 可知表面間的溫度差為熱量 q 對流的主要動力。

$$q = h * A * (T - T_a) \quad (2-3)$$

其中 T_s 為物體表面溫度、 T_a 為環境溫度、A 為截面積而 h 為流體熱對流係數(Convection Coefficient) [10]。

在熱傳學中, 對流被分為自然對流(Natural Convection)與強制對流(Forced Convection): 自然對流是指在流體之間僅有溫度差存在時發生的運動, 強制對流是指當有外力推動(如通過泵或者風扇)流體導致流體運動的對流現象。

熱從熱源表面進入流體介質的速率，經過流體表面的局部對流熱通量表示為

$$q' = h(T_s - T_\infty)$$

其中：

- q' - 局部熱通量 (dq / dA)
- h - 局部對流係數
- T_s - 表面溫度
- T_∞ - 精製或環境溫度(T_a)

通過一個表面總熱傳導通過計算 q 的積分得到，

$$q = \int_{A_s} q' dA_s$$

其中：

- A_s - 表面面積
- q - 總熱導率(單位是 能量/單位時間)

這就引出平均對流係數 \bar{h} 的定義，

$$q = \bar{h}A_s(T_s - T_\infty)$$

2.2-3. 熱輻射：

是一種物體用電磁輻射的形式把熱能向外散發的熱傳方式。它不依賴任何媒介條件而進行熱能的交換，傳導速度取決於熱源的絕對溫度，溫度越高，輻射越強。

LED 模組由光學高溫處將熱量傳至外殼，再由外殼與空氣間之熱對流而散發熱量；本實驗量測環境是在空氣對流小，且無其他熱輻射燈具的實驗室執行，所以環境熱對流與熱輻射在此對熱傳遞的變化並無明顯作用，故此實驗的數據將熱對流與熱輻射的影響因素作排除。

2.2-4. 發光二極體之熱傳導特性[18]：

LED 熱量是二極體中心產生光子即 PN 接面所發出，且溫度最高稱為接合溫度 T_j ，在 LED 的熱管理中為最具有指標性的參考溫度，溫度 T_j 過高會使光通量輸出減少，造成亮度的降低。

此熱量係經由第一層封裝傳出到晶粒表面，這部分的熱阻與上游晶粒製作技術有關。再者，LED 透光的一端所用的環氧樹脂材料，晶粒表面的熱量會往下方的銀膠、散熱塊、導熱膏以及金屬芯基板(MCPCB)傳遞，即為第二層封裝。

其中晶片接合溫度 T_j 至散熱塊底部導熱膏的熱阻值為 R_{j-s} ，接著熱量傳至基板(Board)，此熱阻為基板熱阻 R_{board} ，而經由散熱塊底部散熱膏至基板的熱阻值 R_{s-b} ，其值與導熱膏與基板的熱傳能力有關，目前藉由特殊的基板製作技術可降低其熱阻值。最後熱量由基板透過底座散熱外殼傳到空氣中，此熱阻為冷卻系統熱阻 R_{b-a} ，也就是基板至外界環境的熱阻值。簡單言之，LED 由半導體接合面至外界空氣的總熱阻 R_{j-a} 可分為三部分， $R_{j-a} = R_{j-s} + R_{s-b} + R_{b-a}$ 。因此如何降低總熱阻 R_{j-a} ，將能增加其散熱功能。

除了輸入功率的大小會影響其發熱溫度外，還要考慮到結構材料的熱傳特性。一般是使用熱傳導性良好的介面材質，請參考表 2-1。材料熱傳導係數 k 值。在考慮自然對流的條件下，針對不同幾何形狀各有其對應的特徵長度與待定常數。而散熱鰭片之間緊密或是疏遠則會影響垂直面對流 [10]。LED 的散熱能力是評估 LED 優劣的要素之一，LED 機構著重在熱傳路徑；而 junction temperature 更是影響 LED 壽命的主要因素；當以 LED 作為光源時，必須考慮在不同環境系統與操作電流下的介面溫度，圖 2-1 LED 在不同工作溫度使用壽命趨勢圖。

2.3 LED 燈泡的主要結構

LED 照明產品主要組成部分是：LED 發光二極體、電路基板、驅動器、散熱外殼。這四個部分決定了燈具產品工作是否穩定，品質好壞，與燈體散熱設計至關重要 [12]。

而一般 LED 燈泡熱傳導的途徑，由 LED 黏著在電路基板表面，經過導熱片 (Thermal Pad) 或導熱膏 (Thermal Grease) 等導熱材料，有效率地傳導至散熱片 (Heat Sink) 上，電路基板導熱係數越高，LED 光源模組傳熱路徑越順暢；再藉由散熱片的表面積完成散熱作用。故 LED 未能有良好的散熱系統、整體產品的壽命也會受影響。從主要功能項目中可作初步的產品比較，參考表 2-2 LED 產業照明專業術語 [13] 與表 2-3 LED 燈泡主要規格項目。

LED 燈泡主要熱傳構造共分為 LED 發光二極體、電路基板、導熱材料、驅動器與散熱外殼，簡述如下：

2.3.1 LED 發光二極體：

發光二極體(Light Emitting Diode, LED)是一種會發光的半導體元件，參考圖 2-2 LED 封裝結構介紹。LED 封裝結構介紹。主要由 PN 接面晶片、電極和光學系統組成。但因 LED 在作用過程中大多數能量都轉化為熱，因此散熱效果若不佳，熱量會集中在 LED 結構晶粒中，便會加速晶片的老化，不僅影響發光效率急速降低，還可能導致焊點的融化，使 LED 失效。目前解決 LED 照明系統的散熱問題主要採用的方法有調整 LED 晶粒間距、伴隨著晶粒高密集化，使用過程產生的熱量隨之增加，為了有效傳送熱量，最便捷的方法就是改進材料的熱傳導性。

[12]文中表示，發光二極體的亮度是由 LED 晶片裸芯亮度和燈體封裝外形決定的，它的壽命是由 LED 晶片工作環境和品質決定的。LED 的介面溫度會被周圍溫度及內部自我加熱所影響，LED 的接面溫度則影響元件的發光亮度和順向偏壓。決定 LED 接面溫度的三個因素分別為周圍溫度、熱阻及 LED 注入功率。

2.3.2 電路基板[18]:

LED 具有體積小的特性，可以在電路板上陣列排列多顆 LED 形成一大面積的發光源，電路板與 LED 結合稱之為 LED Light source，參考圖 2-3 LED Module。電路基板作為光源的載體，其材質的選用與加工技術的要求將直接影響整個產品的品質和壽命 [12]。

LED 散熱基板主要朝向高熱傳導、熱膨脹低的方向技術進行，主要分為 [9]：

印刷電路板 (Printed Circuit Board; PCB):

一般而言，利用最常見的印刷電路基板散熱，其製程技術較成熟，成本最為經濟。然而隨著 LED 功率提高，發熱量相對愈來愈高，一般的單層基板(熱傳導率約為 $0.36\text{W/m}^{\circ}\text{C}$)無法有效將熱量傳出。此時，可選擇多層板架構、增加鋪銅面積與增加銅箔厚度(oz)或是貫穿導熱孔(through-hole)的結構、等配套方案，來改善電路基板的熱傳效率。

金屬芯的印刷電路板(Metal Core PCB; MCPCB):

為了改善電路板層面的散熱，即是將原有的印刷電路板附貼在另外一種熱傳導效果更好的金屬上，而這片金屬位在印刷電路板內，所以才稱為金屬芯，主要材料以鋁基板與銅基板為主。如圖 2-4 所示。

藉由銅鋁金屬的高傳導係數特性，強化 LED 散熱效果，泛用於高功率 LED 封裝與散熱用途，MCPCB 的垂直熱傳導係數達 $1\text{ W/m}^{\circ}\text{C} \sim 3\text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ 。

陶瓷基板：主要以氮化鋁與氧化鋁與碳基基板，其熱膨脹係數較 FR4 低；但導熱係數較 FR4 高。

碳基基板：主要以碳鋁、碳銅或石墨為主的基材，碳原子鍵結方向的

熱傳導係數高，但法線方向則不佳，用途與尺寸都有限制。

目前高功率的 LED 照明產品大多採用鋁基板，[14]鋁基板是一種獨特的金屬基覆銅板，具有其他 PCB 材料不可比擬的優點，適合功率元件表面貼裝技術，導熱係數高、散熱好、電氣絕緣性能和機械加工性能。可以有效的將內部熱量導出。設計時也要儘量將 PCB 靠近鋁底座，從而減少部分產生的熱阻。

2.3.3 導熱材料(Thermal Interface Material):

LED 藉由傳導方式，將熱傳至散熱片(Heat Sink)，再經由熱對流或熱輻射方式使熱散失，但 LED 及散熱片表面均非平坦、光滑，兩者間無法完全貼合而使介面間產生縫隙，且空氣為熱的不良導體，使熱傳效率大幅降低，因此需要導熱材料來填補縫隙，以增進熱傳效率。導熱材料為介於發熱源與散熱器的中間介質，除了一般常見的介於晶片與散熱片間的 TIM(Thermal Interface Materials)或 PCM(Phase Change Materials)，還包含 LED 散熱基板的 MCPCB(Metal Core PCB)中的介電絕緣導熱層。導熱材料包含導熱片(Thermal Pad)、導熱膠帶(Thermal Tape)、導熱膏(Thermal Grease)等。用來填充 LED 熱源與散熱片中間的空隙，提供最完善的導熱條件，以降低 LED 溫度。導熱片通常由矽膠，壓克力膠，陶瓷粉末等組合而成，在電子產品之散熱途徑中，負責導熱(Heat Transferring)的熱介面材料為散熱功率高低之關鍵材料，參考圖 2-5 導熱材料。

2.3.4 驅動器:

LED 屬於低壓直流元件，其正向導通電壓的一般約為 3.0V~3.4V，驅動電流為 20mA~25mA(建議 20mA)。LED 照明產品主要在推廣替換傳統燈具，以求與現有燈座共用。故需藉由驅動器將交流電(AC)轉換為穩定的直流電

(DC)，使 LED 在穩定、可靠的工作狀態，參考圖 2-6 AC-DC 恒流驅動器。

2.3.5 散熱外殼：

目前 LED 燈具產品的散熱方式主要有：自然對流散熱、強制對流(加裝風扇) 參考圖 2-7 風扇、相變化對流(熱管和回路熱管) 參考圖 2-8 熱管。強制對流系統複雜，並衍生風扇可靠性低的疑慮，熱管和回路熱管散熱方式成本高。目前市場接受度仍以散熱片(Heat Sink)自然對流方式為主流，散熱片通常由銅或鋁壓鑄或沖型製成，主要負責散熱(Heat Spreading)，燈泡的散熱外殼除了作為燈泡主體外型外，兼具保護層內部零件與散熱的功能。

散熱外殼設計中須考慮幾項主要可能存在的問題：第一項：外型須符合燈具規範，不可任意設定。第二項：設計彈性須考量製程方式的限制，參考圖 2-9 LED 燈泡瓦數/散熱/製程分類。第三項：外殼表面積散熱效果的發揮，整體熱溫度分佈的均衡性。

外殼設計的最終目標希望達到穩定的高效能散熱，可避免 LED 光衰、色飄與過熱失效，延長燈具的使用壽命、小型輕量化設計，增加 LED 燈具的輕巧美觀。如何在有限的空間下，設計出最大值散熱效果的外殼，讓 LED 達到自然對流散熱；挑戰設計者的創意。參考圖 2-10 LED 燈泡得獎產品 -iF2011。

表 2-1 材料熱傳導係數 k 值(單位. W/m·K) [24]

材質	20°C 導熱係數	27°C 導熱係數
銀	411	429
銅	395	401
金	311	318
鋁	229	237
矽	---	157
鎂鋁合金	116	---
黃銅	81~116	---
矽晶片	---	80
錫	66	---
鐵	58	80.4
環氧樹脂	---	6
FR4-PCB 板	---	2
玻璃	0.76	1.38
電木	0.233	---
橡膠	0.13~0.23	---
空氣	---	0.024~0.026

資料來源：http://www.kson.com.tw/chinese/study_25.htm

表 2-2 LED 產業照明專業術語[25]

專業術語	說明
光通量 (Luminous flux, Φ) 單位為：流明 (lumen, lm)	由一光源所發射並被人眼感知的所有輻射能稱的為光通量。
光強度 (luminous intensity, I) 單位：坎德拉 (candela, cd)	光源在某一方向立體角內的光通量大小，在特定方向所放出的可見光輻射強度稱為光強度。
照度 (Illuminance, E) 單位：勒克斯 (Lux, lx)	照度是光通量與被照面的比值。1 lux 的照度為 1 lumen 的光通量均勻分佈在面積為一平方米的區域。
發光效率 (Luminous efficacy, η) 單位：流明每瓦 [lmW]	代表光源將所消耗的電能轉換成光的效率。
色溫 (Color Temperature) 單位：絕對溫度 (Kelvin, K)	與其具有相同光色的標準黑體 (black body radiator) 本身的絕對溫度值，此溫度可以在色度圖上的普朗克軌跡上找到其對應點。其色溫主要可分成三大類：暖色：2700~3300K、中間色：3300 ~ 5000K、晝光色：5000~6500 K。
演色性 (Color rendering)	人造光源應讓人眼正確地感知色彩，就如同在太陽光下看東西一樣。此資料即是光源的演色特徵，稱為平均演色性指數 (general color rendering index, (Ra))。

資料來源：

http://www.ledinside.com.tw/glossary_of_led_light_industry

表 2-3 LED 燈泡主要規格項目

效能	廠牌 7W 燈泡
重量 (Weight)	105g ± 10%
輸入電源 (Input Power)	100~120 or 200~220 VAC
光源消耗 (Power Consumption)	7W
光源發光效率 (Total Luminous Efficiency*)	白光: 65 lm/W、暖光: 55 lm/W
光源壽命 (Rated Life(Ta=25°C))	40,000 hrs
運作溫度 (Operating Temperature)	-20~40 °C
運作溼度 (Operating Humidity)	0%~80%
光源照度 (View Angle)	180°
適用燈座 (Base)	E26 / E27
顏色 (Color)	白光 / 暖光

資料來源：自製

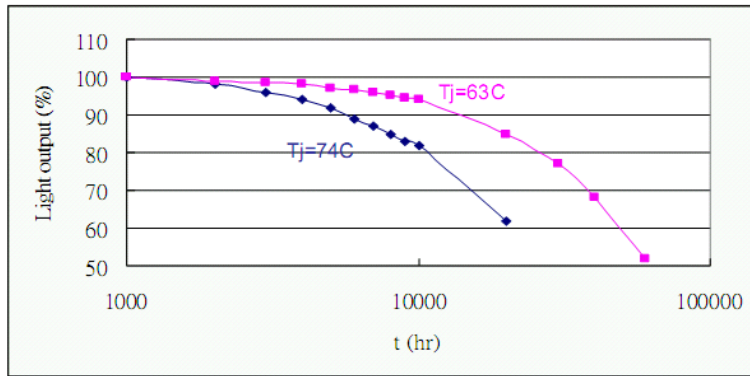


圖 2-1 LED 在不同工作溫度使用壽命趨勢圖[26]

資料來源：<http://www.nchu.edu.tw/~acende/rdmp/speaker/961224.pdf>

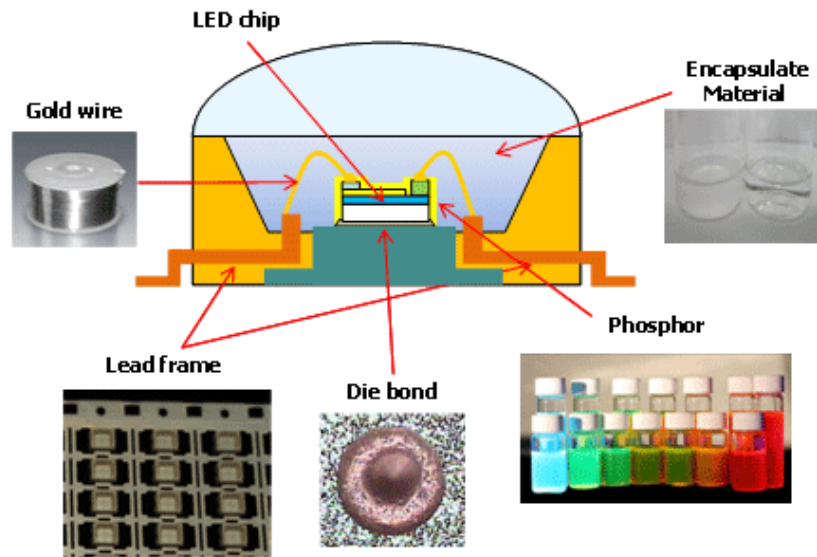


圖 2-2 LED 封裝結構介紹[27]

資料來源：<http://www.dwtbj.com/news/detail-1750.html>



圖 2-3 Power -LED- Assembly[28]

資料來源：

<http://renatec.en.made-in-china.com/offer/bMrENKwYbAhQ/Sell-Power-LED-Assembly.html>

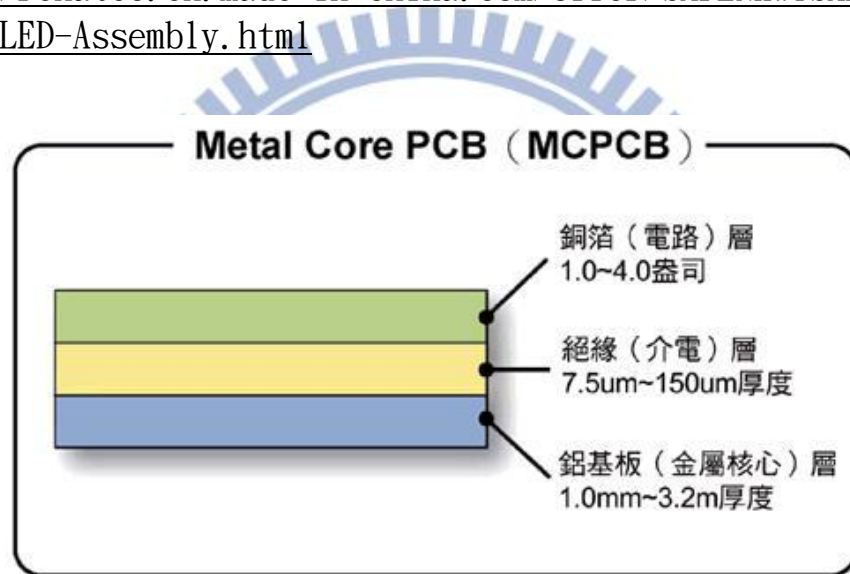


圖 2-4 金屬芯基板結構圖



圖 2-5 導熱材料[29]

資料來源：

http://www.ck365.cn/sell/201010/20/sell_info_219745.html

<http://big5.hisupplier.com/product/detail-315643.html>

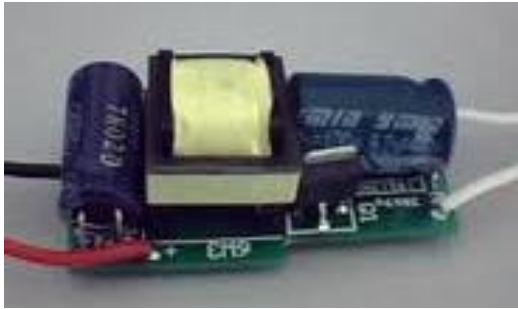


圖 2-6 AC-DC 恒流驅動器[30]

資料來源：<http://www.led-yx.com/products-show.asp?id=4>



圖 2-7 散熱風扇[31]

資料來源：<http://www.chinaswitch.com/buy/offerdetail/106731.html>



圖 2-8 熱管[32]

資料來源：<http://www.pcpop.com/doc/0/269/269055.shtml>



圖 2-9. LED 燈泡以瓦數/ 散熱/ 製程分類

資料來源：2011 南港光電展拍攝

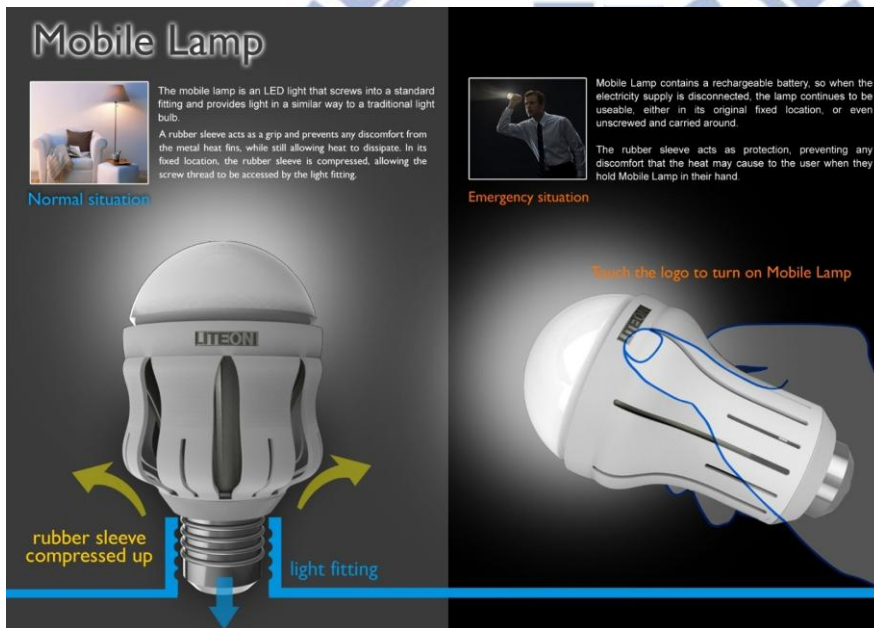


圖 2-10 LED 燈泡得獎產品-iF2011[33]

資料來源：

<http://www.liteon.com/Page.aspx?id=bbce52a8-1c1c-422f-8911-2e8a773c8789&no=328>

第三章 實驗/量測方法介紹

實驗的目的在於研究模型系統的表現來達到接近目標值的方向，通常會有多個因子存在並影響實驗的表現；在執行實驗前必須先規劃，決定哪些實驗因子對整個研究系統有影響，本研究依照實驗的控制因子與變化的水準，從多種實驗計畫方法中選擇一種並使用「順向偏壓法」的量測方法來間接求得 LED junction temperature 的溫度值。

3.1 實驗計畫法介紹 [19][20][21][22]：

一般決定設計參數的方法大略歸納為以下幾項：

3.1.1. 試誤法 (trial-and-error)：

根據一次實驗的結果，作為下一次實驗中改變因子的經驗參考；太過依賴個人經驗，累積的經驗較少資料分析且非系統性的方法。傳統使用的實驗策略大部分，缺點為大部份的結果是不能保證最佳的；又稱為最佳猜測途徑或散彈槍方式。

3.1.2. 一次一因子實驗法 (one-factor-at-a-time experiments)：

實務界較常在實驗每執行一次改變一個因子，而固定其他因子；將因子分開，缺點為因子的效應是在特定的條件下之計算值，容易產生偏見的決定；各別處理的實驗方法又稱為單因子實驗法，表 3-1 為「一次一因子」實驗計畫表。

3.1.3. 全因子實驗法 (full-factorial experiments)：

考慮所有可能的因子排列組合，實驗因子數與變動水準數的次方，以致形成太多實驗組合，此方法的缺點為需要耗費大量的時間與金錢

作實驗；例如實驗因子 4 個與 3 個變動水準作排列組合，共需要 81 (3^4) 組的實驗，表 3-2 為「全因子直交表」實驗計畫表。

3.1.4. 田口式直交表實驗法 (Taguchi' s orthogonal arrays):

田口式直交表最常被使用的 $L_a(b^c)$ ，L 表示直交表乃由拉丁方陣 (Latin square) 而來，a 為列數 (number of rows)，即實驗次數，b 為水準數 (number of levels)，通常表示可能的水準為 0, 1, 2，c 為行數 (number of columns)，又稱為因子數目 (number of factors)。

表 3-3. $L_4(2^3)$ 直交表的定義在於，3 個因子 (A、B、C) 各具 2 水準 (1、2)，實驗次數為 8，3 行中各水準出現的頻率是相同的 (各水準出現的次數一樣 1、2 各三次)，且對一因子的任一水準，其它因子的各水準出現相同的次數，此為平衡 (“balanced”)，如此才能客觀地評估各因子之各水準對回應變數 (response variables) 的影響。

田口方法特點，在於以較少的實驗組合，取得有用的資訊。雖不如全因子法真正找出確切的最佳化位置，但能以少數實驗便能指出最佳化趨勢，可行性遠大於全因子法。依主要水準數成 4 類：

(1)、二水準的直交表： $L_4(2^3)$ 、 $L_8(2^7)$ 、 $L_{12}(2^{11})$ 、 $L_{16}(2^{15})$ 、 $L_{32}(2^{31})$ 。

(2)、三水準的直交表： $L_9(3^4)$ 、 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 、 $L_{27}(3^{13})$ 、 $L_{36}(2^{11} \times 3^{12})$ 、 $L_{36}(2^3 \times 3^{13})$ 、 $L_{54}(2^1 \times 3^{25})$ 。

(3)、四水準的直交表： $L_{16}(4^5)$ 、 $L_{32}(2^1 \times 4^9)$ 。(4)、五水準的直交表： $L_{25}(5^6)$ 、 $L_{50}(2^1 \times 5^{11})$ 。

綜合上述實驗計畫法的優缺點，應採用「田口式直交表實驗法」來執行；但實驗條件設定電路基板、導熱介質與散熱外殼為3個實驗因子，而電路基板變動水準又分為MCPCB的鋁基板(A1)、FR4雙層板(即鋪銅)與FR4單層板3個變動水準；導熱介質設定導熱貼片與導熱膠兩種，即2個變動水準；而散熱外殼又分別選擇金屬與塑膠材質，也是2個變動水準。若使用田口直交表上規劃則呈現： $L_9(2^2 \times 3^1)$ 的直交表，無法套用田口式直交表實驗法。

由於實驗因子的種類與變動水準的數量都未超過3個，因此選擇實務界較常使用的「一次一因子實驗法」來執行。



3.2 順向偏壓法量測介紹：

電子元件在操作中，有許多與溫度相關聯的電性現象，可以用來量測或換算電子封裝內原件的溫度特性，實務上要直接量得 LED 元件封裝內部 chip 的 junction temperature 是相當困難的，圖 3-1 Thermal Management of LED 所示。

TSP(Temperature Sensitive Parameters) 是順向偏壓的二極體電壓降法。利用 LED chip 溫度與電壓的線性關係特性，來間接求得 LED junction temperature [16]。TSP 具有靈敏 (sensitive)、非侵入性 (Non-invasive)、一致性 (consistency)、線性 (linear) 的特性。

要組成 LED junction temperature 的儀器設備需求包含：

1. 可恆溫控制的熱風循環烤箱(圖 3-2)，可設定不同溫度視為環溫。
2. Keithley 2400 電源供應器 (圖 3-3)，可程式電流源，可限制 Conduction lower limit：接面測試電流 0.1mA；Electrical lower limit：電性暫態持續時間 500mS；選擇微小電流，量測切換時間須精確。
3. 溫度擷取器 / 溫度感測線 (圖 3-4) (Center 309 / 適用 K-type Thermal couple)。

在 P-N 接面上輸入一個順向偏壓，此電壓及所謂的接面電壓 (junction voltage, V_j) 或正向電壓 (Forward voltage, V_F)，在 1mA 下的正向電壓隨著環境溫度的改變而呈現線性的變化。微小的順向電流所產生的熱對整個量測系統影響極微小，故可忽略。從線性變化的斜率可得知接面電壓 (正向電壓) 的溫度係數， K_j 與二極體的外在環境

溫度 T_a 的關係式，3-1 式表示：〔4〕2-2 式

$$-K_j = (dV_j / d T_a) \quad (3-1)$$

接面電壓的溫度係數(K_j)即是為定義出 LED chip 溫度與電壓 ($V_F - T_j$) 之關係：

在實驗執行時，將待測物元件置入烤箱空間內，設定微小的量測電流 I_M (例如 $100 \mu A$)，使元件產生的熱可以被忽略。烤箱設定的溫度可是為環境溫度 T_a 。待烤箱溫度數值以及於 $100 \mu A$ 下之 V_F 數值穩定時，此時環境溫度 (T_a) 等於 LED junction 溫度 (T_j)，在實驗中改變環境溫度 (T_a) 即烤箱在不同溫度下 ($25、40、60、80 \text{ }^\circ\text{C}$)，分別量取各溫度所對應的正向電壓值 (V_F)，如表 3-4 所示。將各溫度所對應的 V_F 值以線性迴歸方式找出其關係方程式，即可定義出 LED $V_F - T_j$ 之關係 (K_j)，如圖 3-5 所示。

當 LED 持續在操作電流 I_H (20mA) 下啟動，待穩定之後 (如： 30 min) 即 LED 的接面溫度 T_j 達到穩定，此時將操作電流 I_H 瞬間切換到電流 I_M ($100 \mu A$)，切換時間為 1 msec ，參考圖 3-6 說明 LED 操作電流與時間關係圖。

當電流變化的一瞬間，LED 的 T_j 仍為 I_H 時的接面溫度，然後隨著時間變化降至環境溫度 (T_a)。當 LED 的 T_j 變化時，其 V_F 也隨著變化，從正向電壓的變化值 ΔV_F 可以計算出 LED 持續在操作下的 $T_j(I_H)$ 。

$$\Delta V_f = \Delta V_{f2} - \Delta V_{f1} \quad (3-2)$$

由(3-1)與 (3-2)方程式，接面溫度的改變量為：

$$T_j = T_a + (\Delta V_f / K_j) \quad (3-3)$$

將上述中所量得的 ΔV_f 帶入 LED 電壓與溫度之關係式(3-1)，便可以得到該系統下 LED 的 junction temperature，圖 3-7 推算實際 T_j 。

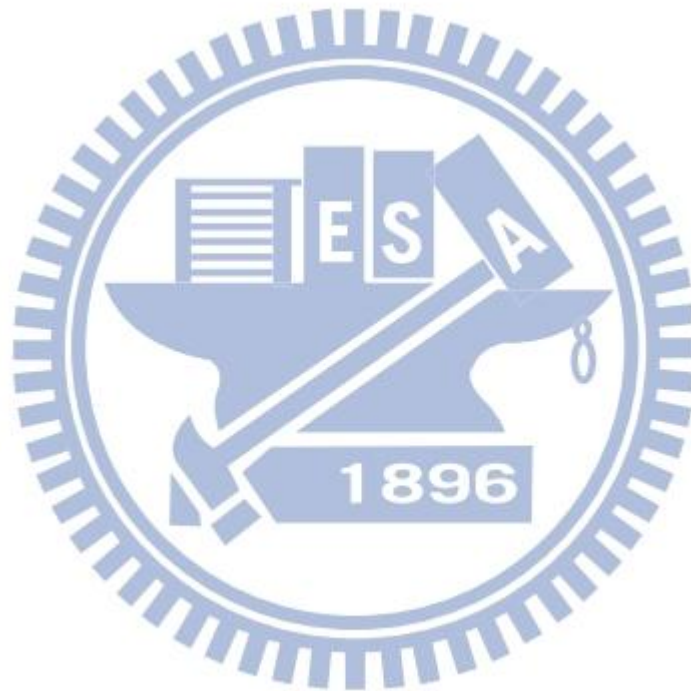


表3-1：「一次一因子」實驗計畫表

Exp	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	1	1	1	1	1	1
3	2	2	1	1	1	1	1
4	2	2	2	1	1	1	1
5	2	2	2	2	1	1	1
6	2	2	2	2	2	1	1
7	2	2	2	2	2	2	1
8	2	2	2	2	2	2	2

資料來源：〔22〕

表3-2 「全因子直交表」實驗計畫表

Exp	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	1	1	2
3	1	1	2	1
4	1	1	2	2
5	1	2	1	1
6	1	2	1	2
7	1	2	2	1
8	1	2	2	2
9	2	1	1	1
10	2	1	1	2
11	2	1	2	1
12	2	1	2	2
13	2	2	1	1
14	2	2	1	2
15	2	2	2	1
16	2	2	2	2

資料來源：〔22〕

如表 3-3. $L_4(2^3)$ 直交表

實驗編號	行		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

資料來源：〔22〕

表 3-4：LED 於各溫度下之 $V_F@I_M$

Oven temperature (°C)	V_F (V) @ 100uA
25	2.48x
40	2.46x
60	2.43x
80	2.39x

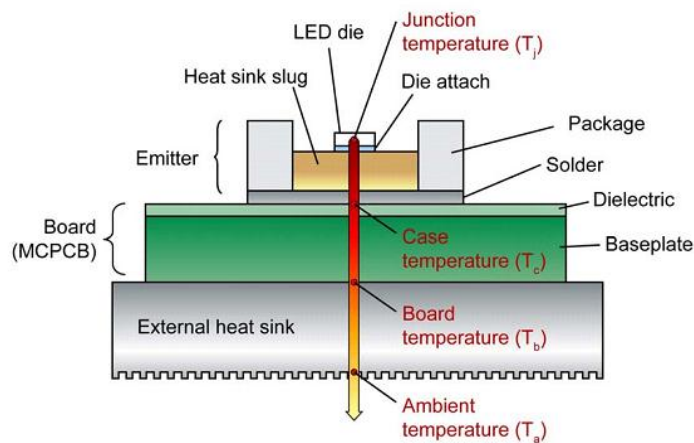


圖 3-1 Thermal Management of LED[34]

資料來源：

<http://www.fobsun.com/blog/2011/04/controlling-junction-temperature-of-leds-with-thermal-management-materials/>



圖 3-2 恆溫溫控烤箱（熱風循環）[35]

資料來源：

http://www.cens.com/cens/html/zh/product/product_main_93184.html

ml



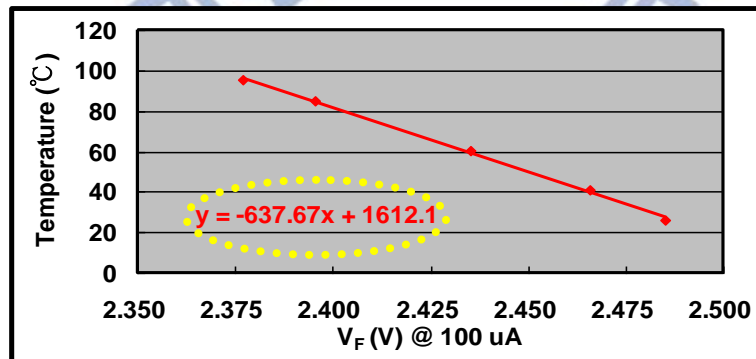
圖 3-3 Keithley (2400 series) [36]

資料來源：

http://www.testequipmentconnection.com/470/Keithley_2400.php



圖 3-4 溫度擷取器 Center 309



如圖 3-5：LED 溫度與 $V_F @ 100 \mu A$ 之關係

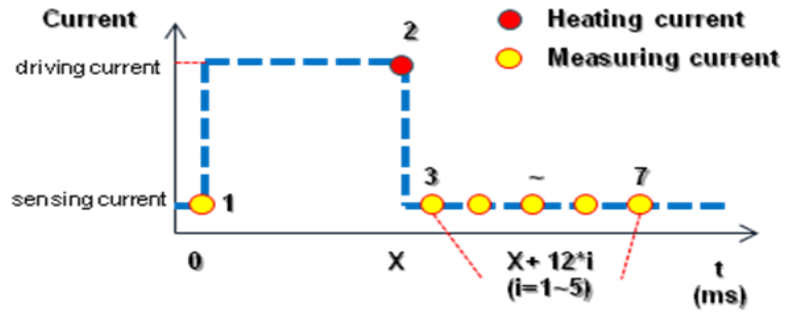


圖 3-6：LED 操作電流與時間關係圖。

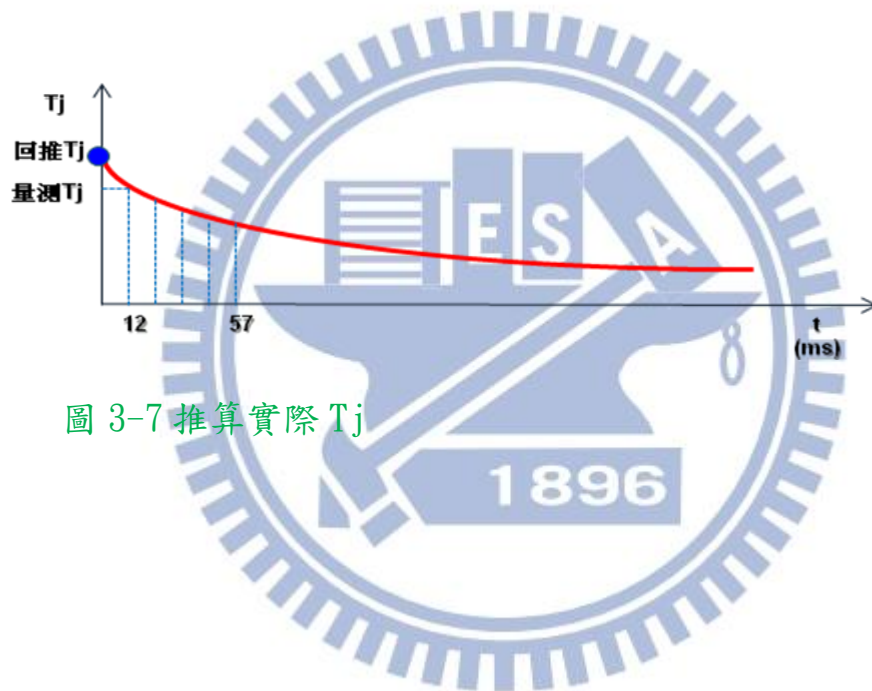


圖 3-7 推算實際 T_j

第四章、熱傳導路徑的實驗

研究的條件選擇外型符合IEC-A55系列的7W-LED球泡燈，LED Source 為6W規格，為避免電子驅動器Driver產生自發熱與其他機構件的雜訊因子存在而影響量測真實性，未將其納入實驗因子中，設定電路基板、導熱介質與散熱外殼為3個實驗因子，選擇實務界較常使用的「一次一因子實驗法」來執行實驗組合的規劃。

4-1. LED 燈泡結構模型條件

4-1-1. LED Source 材料:

LED 照明產品為取代傳統照明產品，相對的，其光通量(亮度)須採用高功率的 LED 才能達到。本實驗選擇使用大 chip 封裝的 LED 型式 5630，單顆 LED 功率約為 0.4W(驅動電性 3.3~3.4V/120mA) 做為光源元件；多顆陣列排列(5 串 3 並)形成 LED Module 的光源模組；此實驗的光源模組驅動電性為定電流 360mA /16.5~17V)，如圖 4-1 所示。

4-1-2. 電路基板材條件:

在此實驗中，我們選用不同製程參數的電路基板，如圖 4-2 所示，由左至右分別為 MCPCB 的鋁電路基板(A1)、FR4 雙層電路基板(背面鋪銅)、與 FR4 單層電路基板，做為第 1 項實驗因子的 3 個變動水準。

4-1-3. Thermal Interface Material:

此實驗的導熱材料為發熱源與散熱器的中間傳遞介質，選用導熱係

數相似的導熱貼片(thermal tape)與導熱膠(thermal glue)做為第 2 項實驗因子的 2 個變動水準。分別選擇日本富士高分子有機材的導熱貼片-型號為 30G-TL，導熱係數為 2.8W/mk；鴻西公司代理的導熱膠 -型號為 SR-8200，導熱係數為 1.0W/mk，其物性資料表如表 4-1 與 4-2 所示，即圖 4-3 與 4-4 示意圖。

4-1-4. 散熱外殼:

發熱源須藉由外殼與環境作對熱流方式的傳遞，須選擇高傳導係數的材質，鋁材質(Aluminum) 具有金屬高傳導係數與重量輕特性，是目前最普遍與最經濟的選擇；但隨著「絕緣導熱」的工程材料突破，我們多了作為散熱外殼的材料選擇。因此，選用金屬鋁與工程塑膠(plastic)的外殼做為第 3 項實驗因子的 2 個變動水準項實驗因子，其結構如圖 4-5 所示。

4-1-5. 實驗參數的組合:

將 3 項實驗因子與其變動水準作列表示意，如表 4-3. 所示。

承 3.1. 實驗計畫法介紹所述，採用「一次一因子實驗法」規畫出實驗計畫表:4-4. 「一次一因子實驗計畫表」作實驗組合，共有 12 項實驗，分別為:

Exp1. 鋁電路基板(A1)/導熱貼片/金屬鋁外殼

Exp2. 鋁電路基板(A1)/導熱貼片/工程塑膠外殼

Exp3. 鋁電路基板(A1)/導熱膠/-金屬鋁外殼

Exp4. 鋁電路基板(A1)/導熱膠-工程塑膠外殼

Exp5. FR4 雙層 電路基板/ 導熱膠/-工程塑膠外殼

Exp6. FR4 雙層 電路基板/ 導熱貼片/-金屬鋁外殼

Exp7. FR4 雙層 電路基板/ 導熱貼片/-工程塑膠外殼

Exp8. FR4 雙層 電路基板/ 導熱膠/-金屬鋁外殼

Exp9. FR4 單層 電路基板/ 導熱貼片-金屬鋁外殼

Exp10. FR4 單層 電路基板/ 導熱膠/工程塑膠外殼

Exp11. FR4 單層 電路基板/ 導熱貼片/工程塑膠外殼

Exp12. FR4 單層 電路基板/ 導熱膠-金屬鋁外殼

4-2. 實驗步驟與量測數值:

4-2-1. 溫度確認:

首先將 thermal couple 固定於 LED 燈泡外殼附近，確實監控待測環境溫度 (T_a)，最後放置於恆溫控制烤箱中。

溫度穩定判斷依據，溫度數值是否穩定(溫度變化在溫差 1°C 以內)、Thermal couple 溫度數值是否穩定(兩根 thermal couple 溫差 1°C 以內)、監控樣品於量測電流下之 VF 數值是否穩定 (小數點後第三位固定或穩定跳動)。

4-2-2. 紀錄 T_a & Vf 值:

4-2-2-1. 將烤箱設定在室溫(25°C)溫度下，待溫度穩定後，此時給予模組量測電流 $I_M(0.0006\text{A})$ ，VF 讀值為小數點下 3 位。此時環境溫度 (T_a)

等於 LED junction 溫度 (T_j)，記錄 LED 的 VF 數值以及 thermal couple 溫度讀值。

4-2-2-2. 重複步驟(4-2-2-1)，設定烤箱在不同溫度下 (40、60、80 °C)，分別量取各溫度所對應的 VF 值，將量測數據依序紀錄至表格中，如表 4-6. 各實驗模組於各溫度下 T_a & V_f 對照表所示。

4-2-2-3. 將各溫度所對應的 VF 值以線性迴歸方式繪製斜率圖形，即可定義出各實驗模組 LED T_a & V_f 之關係式，如圖 4-7~4-18 所示，分別求得關係方程式如下：

(1) Exp1. T_a & V_f 關係方程式：

$$y = -0.0073x + 12.576 ; K_j = -0.0073, \Delta V_{f1} = 12.576$$

(2) Exp2. T_a & V_f 關係方程式：

$$y = -0.0067x + 12.55 ; K_j = -0.0067, \Delta V_{f1} = 12.55$$

(3) Exp3. T_a & V_f 關係方程式：

$$y = -0.0066x + 12.591 ; K_j = -0.0066, \Delta V_{f1} = 12.591$$

(4) Exp4. T_a & V_f 關係方程式：

$$y = -0.0062x + 12.564 ; K_j = -0.0062, \Delta V_{f1} = 12.564$$

(5) Exp5. T_a & V_f 關係方程式：

$$y = -0.0068x + 12.615 ; K_j = -0.0068, \Delta V_{f1} = 12.615$$

(6) Exp6. T_a & V_f 關係方程式：

$$y = -0.0074x + 12.584 ; K_j = -0.0074 , \Delta V_{f1} = 12.584$$

(7) Exp7. Ta & Vf 關係方程式:

$$y = -0.0067x + 12.616 ; K_j = -0.0067 , \Delta V_{f1} = 12.616$$

(8) Exp8. Ta & Vf 關係方程式:

$$y = -0.0068x + 12.614 ; K_j = -0.0068 , \Delta V_{f1} = 12.614$$

(9) Exp9. Ta & Vf 關係方程式:

$$y = -0.0071x + 12.577 ; K_j = -0.0071 , \Delta V_{f1} = 12.577$$

(10) Exp10. Ta & Vf 關係方程式:

$$y = -0.007x + 12.656 ; K_j = -0.007 , \Delta V_{f1} = 12.656$$

(11) Exp11. Ta & Vf 關係方程式:

$$y = -0.0067x + 12.651 ; K_j = -0.0067 , \Delta V_{f1} = 12.651$$

(12) Exp12. Ta & Vf 關係方程式:

$$y = -0.0067x + 12.61 ; K_j = -0.0067 , \Delta V_{f1} = 12.61$$

4-2-3. TSP 實際量測與紀錄:

4-2-3-1. 利用 Keithley 2400 series 設定 LED 操作電流與時間迴圈程式: 第一段設定: 室溫溫度與 V_f 達到穩態後, 利用 Keithley (2400 series) 量測電流 $I_H(0.0006A)$, 時間設定(delay time)為 0ms。

4-2-3-2. 第二段設定: 接續設定 LED 操作電流 $I_H(0.36A)$, 30min 待穩定之後 (時間設定為 1800 s); 最後再次切換至量測電流 $I_H(0.0006A)$, 時間設定(delay time)同樣為 0ms。

4-2-3-3. 第三段設定: 量測電流 $I_H(0.0006A)$, 時間設定(delay time)為 0ms, 重複設定 18 次。讀取並紀錄共計 20 次之 V_f 數值與實際經過時間; 取樣 $\Delta t_2 \sim \Delta t_{18}$ 值。

4-2-3-4. LED component T_j 的量測與計算:
將步驟 4-2-3. TSP 實際量測紀錄中所測得的 V_f 與時間, 帶入步驟 4-3-1. T_a & V_f 關係方程式。套用 (3-2) 與 (3-3) 公式計算出接面溫度 T_j 。
如表 4-7~4-18 V_f & Δt 關係表。

$$\Delta V_f = \Delta V_{f2} - \Delta V_{f1} \quad (3-2)$$

$$T_j = T_a + (\Delta V_f / K_j) \quad (3-3)$$

4-2-3-5. 回推 LED component 原始 T_j 值:

將各模組所計算出的 T_j 與 ΔT_{time} (ms), 取樣 $\Delta t_2 \sim \Delta t_{18}$ 的 ΔT_{time} (ms) 值與運用方程式所計算出的 T_j 值作趨勢預測曲線圖, 如圖 4-19~4-30 所示。並用迴歸分析求出 T_j 多項式方程式, 以求出 LED 模組在驅動電流 $I_H(0.36A)$ 時, 相當於 ΔT_{time} (ms) 為零時的 T_j 值, 得到以下多項式:

(1). Exp1. -Tj 多項式:

$$T_{Exp.1} T_j = -2989.4x^3 + 1192.4x^2 - 172.83x + 94.944 ;$$

當 time= x=0 時，帶入多項式，求得: $T_j = 94.944^{\circ}\text{C}$ 。

(2). Exp2. -Tj 多項式:

$$Exp. 2 T_j = -4942.2x^3 + 1855.2x^2 - 248.03x + 131.61 ;$$

當 time= x=0 時，帶入多項式，求得: $T_j = 131.61^{\circ}\text{C}$ 。

(3). Exp3. -Tj 多項式:

$$Exp. 3 T_j = -4296.6x^3 + 1616.6x^2 - 216.56x + 103.56 ;$$

當 time= x=0 時，帶入多項式，求得 $T_j = 103.56^{\circ}\text{C}$

(4). Exp4. -Tj 多項式:

$$Exp. 4 T_j = -4128.9x^3 + 1679.7x^2 - 243.19x + 145.56 ;$$

當 time= x=0 時，帶入多項式，求得: $T_j = 145.56^{\circ}\text{C}$ 。

(5). Exp5. -Tj 多項式:

$$Exp. 5 T_j = -3454x^3 + 1489.6x^2 - 230.51x + 181.23 ;$$

當 time= x=0 時，帶入多項式，求得: $y = T_j = 181.23^{\circ}\text{C}$ 。

(6). Exp6. -Tj 多項式:

$$Exp. 6 T_j = -2567x^3 + 1053.7x^2 - 158.95x + 98.332 ;$$

當 time= x=0 時，帶入多項式，求得: $y = T_j = 98.332^{\circ}\text{C}$ 。

(7). Exp7. -Tj 多項式:

$$\text{Exp. 7 } T_j = -3815x^3 + 1553.3x^2 - 229.6x + 173.78 ;$$

當 time= x=0 時，帶入多項式，求得: $T_j=173.78^\circ\text{C}$ 。

(8). Exp8. -Tj 多項式:

$$\text{Exp. 8 } T_j = -4183.4x^3 + 1566.6x^2 - 209.12x + 106 ;$$

當 time= x=0 時，帶入多項式，求得: $T_j =106^\circ\text{C}$ 。

(9). Exp9. -Tj 多項式:

$$\text{Exp. 9 } T_j = -2037.9x^3 + 944.96x^2 - 165.46x + 126.66 ;$$

當 time= x=0 時，帶入多項式，求得: $T_j=126.66^\circ\text{C}$ 。

(10). Exp10. -Tj 多項式:

$$\text{Exp. 10 } T_j = -3945x^3 + 1603x^2 - 255.76x + 215.03 ;$$

當 time= x=0 時，帶入多項式，求得: $T_j=215.03^\circ\text{C}$ 。

(11). Exp11. -Tj 多項式:

$$\text{Exp. 11 } T_j = -1907.8x^3 + 1075.3x^2 - 214.06x + 212.05 ;$$

當 time= x=0 時，帶入多項式，求得: $T_j =212.05^\circ\text{C}$ 。

(12). Exp12. -Tj 多項式:

$$\text{Exp. 12 } T_j = -4015.4x^3 + 1533.9x^2 - 217.96x + 128.67 ;$$

當 time= x=0 時，帶入多項式，求得: $T_j =128.67^\circ\text{C}$ 。

4-3. 實驗/量測結果：

將12項實驗組合所獲得的 T_j 數值取小數點後一位數，歸納成表4-31. T_j 量測/推算值總表，由總表得知溫度由低至高的排序為：

Ranking1:

Exp1. 鋁電路基板(A1)/導熱貼片/金屬鋁外殼組別， $T_j=94.9^{\circ}\text{C}$ 。

Ranking2:

Exp6. FR4 雙層電路基板/導熱貼片/-金屬鋁外殼， $T_j=98.3^{\circ}\text{C}$ 。

Ranking3:

Exp3. 鋁電路基板(A1)/導熱膠/-金屬鋁外殼， $T_j=103.6^{\circ}\text{C}$ 。

Ranking4:

Exp8. FR4 雙層電路基板/導熱膠/-金屬鋁外殼， $T_j=106.0^{\circ}\text{C}$ 。

Ranking5:

Exp9. FR4 單層電路基板/導熱貼片-金屬鋁外殼， $T_j=126.7^{\circ}\text{C}$ 。

Ranking6:

Exp12. FR4 單層電路基板/導熱膠-金屬鋁外殼， $T_j=128.7^{\circ}\text{C}$ 。



Ranking7:

Exp2. 鋁電路基板(A1)/導熱貼片/工程塑膠外殼， $T_j=131.6^{\circ}\text{C}$ 。

Ranking8:

Exp4. 鋁電路基板(A1)/導熱膠-工程塑膠外殼， $T_j=145.6^{\circ}\text{C}$ 。

Ranking9:

Exp7. FR4 雙層電路基板/導熱貼片/-工程塑膠外殼， $T_j=173.8^{\circ}\text{C}$ 。

Ranking10:

Exp5. FR4 雙層電路基板/導熱膠/-工程塑膠外殼， $T_j=181.2^{\circ}\text{C}$ 。

Ranking11:

Exp11. FR4 單層電路基板/導熱貼片/工程塑膠外殼， $T_j=212.1^{\circ}\text{C}$ 。

Ranking12:

Exp10. FR4 單層電路基板/導熱膠/工程塑膠外殼， $T_j=215.0^{\circ}\text{C}$ 。



表 4-1 導熱貼片-型號為 30G-TL 導熱係數

Report on Sarcon 30G-TL Typical Properties		FP-7928	Page: 1/3	
		29 th . Jun . 2010		
【Headline】 Typical Properties of Sarcon 30G-TL				
【Typical Property】 •Material Property				
Material Properties	Unit	Sarcon GR-L	Test Method	Specimen
Color	-	Gray	Visual	-
Hardness	ASKER-c	35	JIS K 7312	A
Thermal Conductivity	W/m·k	2.8	JIS R 2616	A
Volume Resistivity	MΩ·m	2.0 × 10 ⁴	JIS K 6249	B
Extractable Volatiles	wt%	Less than 0.0039wt% (D ₄ ~D ₂₀)	Gas Chromatographic Analysis	-
Operating Temp. range	°C	-40°C~+150°C	-	-

表 4-2 導熱膠 -型號為 SR-8200 導熱係數

顏色	白色
黏度(25°C, ps)	3,800
表面乾爽時間 (25°C)	15 - 20分鐘
硬化時間 (25°C)	24小時
比重 (25°C)	1.45
收縮率 (%)	5
硬度 (Shore A)	65
抗張強度 (psi)	150
拉伸強度 (%)	100
線性熱膨脹 (cm/cm °C, 5 °C - 150 °C)	1.5 x 10 ⁻⁴
熱傳導係數 (W/mk)	1.0
耐燃特性	UL 94V0

表 4-3. 因子符號與水準說明：

因子符號	說明	變動水準一	變動水準二	變動水準三
A	電路基板材	鋁電路基板	FR4 雙層電路基板	FR4 單層電路基板
B	導熱介質	導熱貼片 30G-TL	導熱膠 SFR-8200	--
C	散熱外殼	AL-殼	Plastic-外殼	--

表 4-4、一次一因子實驗計畫表：

Exp	A	B	C
1	1	1	1
2	1	1	2
3	1	2	1
4	1	2	2
5	2	2	2
6	2	1	1
7	2	1	2
8	2	2	1
9	3	1	1
10	3	2	2
11	3	1	2
12	3	2	1

表 4-5. 各實驗模組於各溫度下 Ta & Vf 對照表(IM=0.0006A)

Ta(°C)	Exp. 1 Vf (V)	Exp. 2 Vf (V)	Exp. 3 Vf (V)	Exp. 4 Vf (V)
23.2	12.405	12.3972	12.426	12.418
42.0	12.274	12.2534	12.331	12.298
62.2	12.124	12.1536	12.182	12.202
81.5	11.982	11.993	12.047	12.048
Ta(°C)	Exp. 5 Vf (V)	Exp. 6 Vf (V)	Exp. 7 Vf (V)	Exp. 8 Vf (V)
23	12.442	12.404	12.456	12.447
41.6	12.348	12.289	12.335	12.35
60.2	12.217	12.14	12.24	12.201
78.9	12.062	11.993	12.073	12.075
Ta(°C)	Exp. 9 Vf (V)	Exp. 10 Vf (V)	Exp. 11 Vf (V)	Exp. 12 Vf (V)
25.7	12.385	12.468	12.478	12.425
41.4	12.286	12.369	12.362	12.34
62.8	12.151	12.242	12.263	12.202
80.9	11.986	12.076	12.093	12.052

表 4-6. Expl. 鋁電路基板(Al)/導熱貼片/金屬鋁外殼 V_f & Δt 關係表:

Exp. 1							
point	Ta	23.2	Kj	-0.0073		$\Delta Vf1$	12.576
	Δt	Time(ms)	$\Delta Ttime$ (ms)	$\Delta Vf2$	ΔVf	ΔTj	Tj
0	NA	0	NA	12.4316	NA	NA	NA
1	NA	1796.481	NA	16.8596	NA	NA	NA
2	$\Delta t1$	1796.49	0.009	12.3629	-0.2131	29.19	52.39
3	$\Delta t2$	1796.5	0.019	12.0751	-0.5009	68.62	91.82
4	$\Delta t3$	1796.509	0.028	12.0781	-0.4979	68.21	91.41
5	$\Delta t4$	1796.519	0.038	12.0882	-0.4878	66.82	90.02
6	$\Delta t5$	1796.527	0.046	12.0949	-0.4811	65.90	89.10
7	$\Delta t6$	1796.536	0.055	12.1006	-0.4754	65.12	88.32
8	$\Delta t7$	1796.546	0.065	12.1036	-0.4724	64.71	87.91
9	$\Delta t8$	1796.555	0.074	12.1072	-0.4688	64.22	87.42
10	$\Delta t9$	1796.564	0.083	12.1096	-0.4664	63.89	87.09
11	$\Delta t10$	1796.573	0.092	12.1114	-0.4646	63.64	86.84
12	$\Delta t11$	1796.583	0.102	12.1124	-0.4636	63.51	86.71
13	$\Delta t12$	1796.592	0.111	12.1142	-0.4618	63.26	86.46
14	$\Delta t13$	1796.602	0.121	12.1161	-0.4599	63.00	86.20
15	$\Delta t14$	1796.61	0.129	12.1169	-0.4591	62.89	86.09
16	$\Delta t15$	1796.619	0.138	12.1187	-0.4573	62.64	85.84
17	$\Delta t16$	1796.629	0.148	12.1198	-0.4562	62.49	85.69
18	$\Delta t17$	1796.638	0.157	12.1207	-0.4553	62.37	85.57
19	$\Delta t18$	1796.647	0.166	12.1208	-0.4552	62.36	85.56

表 4-7. Exp2. 鋁電路基板(Al)/導熱貼片/工程塑膠外殼 V_f & Δt 關係表:

Exp. 2							
point	Ta	24.5	Kj	-0.0067		ΔV_f1	12.55
	Δt	Time(ms)	ΔT time (ms)	ΔV_f2	ΔV_f	ΔT_j	T_j
0	NA	0	NA	12.44972	NA	NA	NA
1	NA	1796.766	NA	16.63072	NA	NA	NA
2	$\Delta t1$	1796.775	0.009	12.08828	-0.46172	68.91	93.41
3	$\Delta t2$	1796.784	0.018	11.85932	-0.69068	103.09	127.59
4	$\Delta t3$	1796.794	0.028	11.86802	-0.68198	101.79	126.29
5	$\Delta t4$	1796.804	0.038	11.87794	-0.67206	100.31	124.81
6	$\Delta t5$	1796.813	0.047	11.88838	-0.66162	98.75	123.25
7	$\Delta t6$	1796.822	0.056	11.89492	-0.65508	97.77	122.27
8	$\Delta t7$	1796.832	0.066	11.89792	-0.65208	97.33	121.83
9	$\Delta t8$	1796.841	0.075	11.89844	-0.65156	97.25	121.75
10	$\Delta t9$	1796.851	0.085	11.90512	-0.64488	96.25	120.75
11	$\Delta t10$	1796.86	0.094	11.90598	-0.64402	96.12	120.62
12	$\Delta t11$	1796.869	0.103	11.90678	-0.64322	96.00	120.50
13	$\Delta t12$	1796.879	0.113	11.90834	-0.64166	95.77	120.27
14	$\Delta t13$	1796.889	0.123	11.91052	-0.63948	95.44	119.94
15	$\Delta t14$	1796.897	0.131	11.91188	-0.63812	95.24	119.74
16	$\Delta t15$	1796.907	0.141	11.91224	-0.63776	95.19	119.69
17	$\Delta t16$	1796.917	0.151	11.91576	-0.63424	94.66	119.16
18	$\Delta t17$	1796.926	0.16	11.91554	-0.63446	94.70	119.20
19	$\Delta t18$	1796.936	0.17	11.91746	-0.63254	94.41	118.91

表 4-8. Exp3. 鋁電路基板(Al)/導熱膠/-金屬鋁外殼 V_f & Δt 關係表:

Exp. 3							
	Ta	25.4	Kj	-0.0066		ΔV_f1	12.591
point	Δt	Time(ms)	ΔT time (ms)	ΔV_f2	ΔV_f	ΔT_j	T_j
0	NA	0	NA	12.445	NA	NA	NA
1	NA	1796.766	NA	16.873	NA	NA	NA
2	$\Delta t1$	1796.774	0.008	12.347	-0.244	36.97	62.37
3	$\Delta t2$	1796.784	0.018	12.098	-0.493	74.70	100.10
4	$\Delta t3$	1796.794	0.028	12.105	-0.486	73.64	99.04
5	$\Delta t4$	1796.803	0.037	12.116	-0.475	71.97	97.37
6	$\Delta t5$	1796.813	0.047	12.123	-0.468	70.91	96.31
7	$\Delta t6$	1796.822	0.056	12.128	-0.463	70.15	95.55
8	$\Delta t7$	1796.831	0.065	12.131	-0.46	69.70	95.10
9	$\Delta t8$	1796.841	0.075	12.134	-0.457	69.24	94.64
10	$\Delta t9$	1796.851	0.085	12.136	-0.455	68.94	94.34
11	$\Delta t10$	1796.859	0.093	12.138	-0.453	68.64	94.04
12	$\Delta t11$	1796.869	0.103	12.139	-0.452	68.48	93.88
13	$\Delta t12$	1796.878	0.112	12.141	-0.45	68.18	93.58
14	$\Delta t13$	1796.888	0.122	12.143	-0.448	67.88	93.28
15	$\Delta t14$	1796.897	0.131	12.143	-0.448	67.88	93.28
16	$\Delta t15$	1796.906	0.14	12.144	-0.447	67.73	93.13
17	$\Delta t16$	1796.916	0.15	12.147	-0.444	67.27	92.67
18	$\Delta t17$	1796.926	0.16	12.147	-0.444	67.27	92.67
19	$\Delta t18$	1796.936	0.17	12.148	-0.443	67.12	92.52

表 4-9. Exp4. 鋁電路基板(Al)/導熱膠-工程塑膠外殼 V_f & Δt 關係表:

Exp. 4							
	Ta	24.5	Kj	-0.0062		ΔV_f1	12.564
point	Δt	Time(ms)	ΔT time (ms)	ΔV_f2	ΔV_f	ΔT_j	T_j
0	NA	0	NA	12.437	NA	NA	NA
1	NA	1796.766	NA	16.619	NA	NA	NA
2	$\Delta t1$	1796.775	0.009	12.103	-0.461	74.35	98.85
3	$\Delta t2$	1796.784	0.018	11.839	-0.725	116.94	141.44
4	$\Delta t3$	1796.794	0.028	11.845	-0.719	115.97	140.47
5	$\Delta t4$	1796.804	0.038	11.856	-0.708	114.19	138.69
6	$\Delta t5$	1796.813	0.047	11.866	-0.698	112.58	137.08
7	$\Delta t6$	1796.822	0.056	11.871	-0.693	111.77	136.27
8	$\Delta t7$	1796.832	0.066	11.875	-0.689	111.13	135.63
9	$\Delta t8$	1796.841	0.075	11.879	-0.685	110.48	134.98
10	$\Delta t9$	1796.851	0.085	11.882	-0.682	110.00	134.50
11	$\Delta t10$	1796.86	0.094	11.884	-0.68	109.68	134.18
12	$\Delta t11$	1796.869	0.103	11.885	-0.679	109.52	134.02
13	$\Delta t12$	1796.879	0.113	11.887	-0.677	109.19	133.69
14	$\Delta t13$	1796.889	0.123	11.889	-0.675	108.87	133.37
15	$\Delta t14$	1796.897	0.131	11.89	-0.674	108.71	133.21
16	$\Delta t15$	1796.907	0.141	11.892	-0.672	108.39	132.89
17	$\Delta t16$	1796.917	0.151	11.892	-0.672	108.39	132.89
18	$\Delta t17$	1796.926	0.16	11.893	-0.671	108.23	132.73
19	$\Delta t18$	1796.936	0.17	11.894	-0.67	108.06	132.56

表 4-10. Exp5. FR4 雙層鋪銅電路基板/導熱膠/-工程塑膠外殼

V_f & Δt 關係表:

Exp. 5							
	Ta	25.2	Kj	-0.0068		$\Delta Vf1$	12.615
point	Δt	Time(ms)	ΔT time (ms)	$\Delta Vf2$	ΔVf	ΔTj	Tj
0	NA	0	NA	12.466	NA	NA	NA
1	NA	1796.766	NA	16.45	NA	NA	NA
2	$\Delta t1$	1796.774	0.008	11.882	-0.733	107.79	132.99
3	$\Delta t2$	1796.784	0.018	11.582	-1.033	151.91	177.11
4	$\Delta t3$	1796.794	0.028	11.586	-1.029	151.32	176.52
5	$\Delta t4$	1796.803	0.037	11.599	-1.016	149.41	174.61
6	$\Delta t5$	1796.813	0.047	11.608	-1.007	148.09	173.29
7	$\Delta t6$	1796.822	0.056	11.615	-1	147.06	172.26
8	$\Delta t7$	1796.831	0.065	11.621	-0.994	146.18	171.38
9	$\Delta t8$	1796.841	0.075	11.625	-0.99	145.59	170.79
10	$\Delta t9$	1796.851	0.085	11.628	-0.987	145.15	170.35
11	$\Delta t10$	1796.859	0.093	11.631	-0.984	144.71	169.91
12	$\Delta t11$	1796.869	0.103	11.633	-0.982	144.41	169.61
13	$\Delta t12$	1796.879	0.113	11.636	-0.979	143.97	169.17
14	$\Delta t13$	1796.888	0.122	11.637	-0.978	143.82	169.02
15	$\Delta t14$	1796.897	0.131	11.638	-0.977	143.68	168.88
16	$\Delta t15$	1796.907	0.141	11.639	-0.976	143.53	168.73
17	$\Delta t16$	1796.916	0.15	11.641	-0.974	143.24	168.44
18	$\Delta t17$	1796.926	0.16	11.642	-0.973	143.09	168.29
19	$\Delta t18$	1796.936	0.17	11.643	-0.972	142.94	168.14

表 4-11. Exp6. FR4 雙層鋪銅電路基板/導熱貼片/-金屬鋁外殼

V_f & Δt 關係表:

Exp. 6							
	Ta	23.2	Kj	-0.0074		ΔV_f1	12.584
point	Δt	Time(ms)	ΔT time (ms)	ΔV_f2	ΔV_f	ΔT_j	T_j
0	NA	0	NA	12.4351	NA	NA	NA
1	NA	1796.48	NA	16.8534	NA	NA	NA
2	$\Delta t1$	1796.489	0.009	12.3508	-0.2332	31.51	54.71
3	$\Delta t2$	1796.499	0.019	12.0505	-0.5335	72.09	95.29
4	$\Delta t3$	1796.508	0.028	12.0511	-0.5329	72.01	95.21
5	$\Delta t4$	1796.518	0.038	12.0613	-0.5227	70.64	93.84
6	$\Delta t5$	1796.526	0.046	12.0687	-0.5153	69.64	92.84
7	$\Delta t6$	1796.536	0.056	12.0741	-0.5099	68.91	92.11
8	$\Delta t7$	1796.545	0.065	12.0777	-0.5063	68.42	91.62
9	$\Delta t8$	1796.554	0.074	12.0801	-0.5039	68.09	91.29
10	$\Delta t9$	1796.563	0.083	12.0828	-0.5012	67.73	90.93
11	$\Delta t10$	1796.572	0.092	12.085	-0.499	67.43	90.63
12	$\Delta t11$	1796.582	0.102	12.0864	-0.4976	67.24	90.44
13	$\Delta t12$	1796.591	0.111	12.0875	-0.4965	67.09	90.29
14	$\Delta t13$	1796.601	0.121	12.0901	-0.4939	66.74	89.94
15	$\Delta t14$	1796.609	0.129	12.0906	-0.4934	66.68	89.88
16	$\Delta t15$	1796.618	0.138	12.0919	-0.4921	66.50	89.70
17	$\Delta t16$	1796.628	0.148	12.0935	-0.4905	66.28	89.48
18	$\Delta t17$	1796.637	0.157	12.0944	-0.4896	66.16	89.36
19	$\Delta t18$	1796.646	0.166	12.0948	-0.4892	66.11	89.31

表 4-12. Exp7. FR4 雙層鋪銅電路基板/導熱貼片/-工程塑膠外殼

V_f & Δt 關係表:

Exp. 7							
	Ta	25.2	Kj	-0.0067		ΔV_f1	12.616
point	Δt	Time(ms)	ΔT time (ms)	ΔV_f2	ΔV_f	ΔT_j	T_j
0	NA	0	NA	12.422	NA	NA	NA
1	NA	1796.765	NA	16.467	NA	NA	NA
2	$\Delta t1$	1796.773	0.008	11.933	-0.683	101.94	127.14
3	$\Delta t2$	1796.783	0.018	11.648	-0.968	144.48	169.68
4	$\Delta t3$	1796.792	0.027	11.651	-0.965	144.03	169.23
5	$\Delta t4$	1796.802	0.037	11.663	-0.953	142.24	167.44
6	$\Delta t5$	1796.811	0.046	11.672	-0.944	140.90	166.10
7	$\Delta t6$	1796.82	0.055	11.68	-0.936	139.70	164.90
8	$\Delta t7$	1796.829	0.064	11.684	-0.932	139.10	164.30
9	$\Delta t8$	1796.839	0.074	11.689	-0.927	138.36	163.56
10	$\Delta t9$	1796.849	0.084	11.691	-0.925	138.06	163.26
11	$\Delta t10$	1796.857	0.092	11.693	-0.923	137.76	162.96
12	$\Delta t11$	1796.867	0.102	11.695	-0.921	137.46	162.66
13	$\Delta t12$	1796.876	0.111	11.698	-0.918	137.01	162.21
14	$\Delta t13$	1796.886	0.121	11.7	-0.916	136.72	161.92
15	$\Delta t14$	1796.895	0.13	11.701	-0.915	136.57	161.77
16	$\Delta t15$	1796.904	0.139	11.702	-0.914	136.42	161.62
17	$\Delta t16$	1796.913	0.148	11.703	-0.913	136.27	161.47
18	$\Delta t17$	1796.923	0.158	11.705	-0.911	135.97	161.17
19	$\Delta t18$	1796.932	0.167	11.706	-0.91	135.82	161.02

表 4-13. Exp8. FR4 雙層鋪銅電路基板/導熱膠/-金屬鋁外殼

V_f & Δt 關係表:

Exp. 8							
	Ta	25.6	Kj	-0.0068		$\Delta Vf1$	12.614
point	Δt	Time(ms)	ΔT time (ms)	$\Delta Vf2$	ΔVf	ΔTj	Tj
0	NA	0	NA	12.488	NA	NA	NA
1	NA	1796.765	NA	16.884	NA	NA	NA
2	$\Delta t1$	1796.774	0.009	12.349	-0.265	38.97	64.57
3	$\Delta t2$	1796.784	0.019	12.091	-0.523	76.91	102.51
4	$\Delta t3$	1796.793	0.028	12.098	-0.516	75.88	101.48
5	$\Delta t4$	1796.803	0.038	12.108	-0.506	74.41	100.01
6	$\Delta t5$	1796.813	0.048	12.114	-0.5	73.53	99.13
7	$\Delta t6$	1796.821	0.056	12.12	-0.494	72.65	98.25
8	$\Delta t7$	1796.831	0.066	12.123	-0.491	72.21	97.81
9	$\Delta t8$	1796.841	0.076	12.126	-0.488	71.76	97.36
10	$\Delta t9$	1796.85	0.085	12.128	-0.486	71.47	97.07
11	$\Delta t10$	1796.859	0.094	12.13	-0.484	71.18	96.78
12	$\Delta t11$	1796.869	0.104	12.132	-0.482	70.88	96.48
13	$\Delta t12$	1796.878	0.113	12.133	-0.481	70.74	96.34
14	$\Delta t13$	1796.888	0.123	12.133	-0.481	70.74	96.34
15	$\Delta t14$	1796.897	0.132	12.135	-0.479	70.44	96.04
16	$\Delta t15$	1796.906	0.141	12.136	-0.478	70.29	95.89
17	$\Delta t16$	1796.916	0.151	12.138	-0.476	70.00	95.60
18	$\Delta t17$	1796.925	0.16	12.139	-0.475	69.85	95.45
19	$\Delta t18$	1796.935	0.17	12.14	-0.474	69.71	95.31

表 4-14. Exp9. FR4 單層電路基板/導熱貼片-金屬鋁外殼 V_f & Δt 關係表:

Exp. 9							
	Ta	25.7	Kj	-0.0071		ΔV_f1	12.577
point	Δt	Time(ms)	time (ms)	ΔV_f2	ΔV_f	ΔT_j	T_j
0	NA	0	NA	12.4304	NA	NA	NA
1	NA	1796.481	NA	16.771	NA	NA	NA
2	$\Delta t1$	1796.49	0.009	12.191	-0.386	54.37	80.07
3	$\Delta t2$	1796.499	0.018	11.8835	-0.6935	97.68	123.38
4	$\Delta t3$	1796.509	0.028	11.8829	-0.6941	97.76	123.46
5	$\Delta t4$	1796.518	0.037	11.8932	-0.6838	96.31	122.01
6	$\Delta t5$	1796.527	0.046	11.9019	-0.6751	95.08	120.78
7	$\Delta t6$	1796.536	0.055	11.908	-0.669	94.23	119.93
8	$\Delta t7$	1796.546	0.065	11.9131	-0.6639	93.51	119.21
9	$\Delta t8$	1796.555	0.074	11.9176	-0.6594	92.87	118.57
10	$\Delta t9$	1796.563	0.082	11.92	-0.657	92.54	118.24
11	$\Delta t10$	1796.573	0.092	11.9226	-0.6544	92.17	117.87
12	$\Delta t11$	1796.582	0.101	11.9249	-0.6521	91.85	117.55
13	$\Delta t12$	1796.592	0.111	11.9274	-0.6496	91.49	117.19
14	$\Delta t13$	1796.601	0.12	11.9295	-0.6475	91.20	116.90
15	$\Delta t14$	1796.609	0.128	11.9308	-0.6462	91.01	116.71
16	$\Delta t15$	1796.619	0.138	11.9323	-0.6447	90.80	116.50
17	$\Delta t16$	1796.628	0.147	11.9335	-0.6435	90.63	116.33
18	$\Delta t17$	1796.638	0.157	11.9345	-0.6425	90.49	116.19
19	$\Delta t18$	1796.646	0.165	11.9375	-0.6395	90.07	115.77

表 4-15. Exp10. FR4 單層電路基板/導熱膠/工程塑膠外殼
 V_f & Δt 關係表:

Exp. 10							
	Ta	25.2	Kj	-0.007		$\Delta Vf1$	12.656
point	Δt	Time(ms)	ΔT time (ms)	$\Delta Vf2$	ΔVf	ΔTj	Tj
0	NA	0	NA	12.514	NA	NA	NA
1	NA	1796.765	NA	16.442	NA	NA	NA
2	$\Delta t1$	1796.773	0.008	11.702	-0.954	136.29	161.49
3	$\Delta t2$	1796.783	0.018	11.365	-1.291	184.43	209.63
4	$\Delta t3$	1796.792	0.027	11.362	-1.294	184.86	210.06
5	$\Delta t4$	1796.802	0.037	11.371	-1.285	183.57	208.77
6	$\Delta t5$	1796.811	0.046	11.389	-1.267	181.00	206.20
7	$\Delta t6$	1796.82	0.055	11.395	-1.261	180.14	205.34
8	$\Delta t7$	1796.829	0.064	11.406	-1.25	178.57	203.77
9	$\Delta t8$	1796.839	0.074	11.407	-1.249	178.43	203.63
10	$\Delta t9$	1796.848	0.083	11.417	-1.239	177.00	202.20
11	$\Delta t10$	1796.857	0.092	11.424	-1.232	176.00	201.20
12	$\Delta t11$	1796.866	0.101	11.426	-1.23	175.71	200.91
13	$\Delta t12$	1796.876	0.111	11.427	-1.229	175.57	200.77
14	$\Delta t13$	1796.885	0.12	11.426	-1.23	175.71	200.91
15	$\Delta t14$	1796.895	0.13	11.427	-1.229	175.57	200.77
16	$\Delta t15$	1796.903	0.138	11.431	-1.225	175.00	200.20
17	$\Delta t16$	1796.913	0.148	11.433	-1.223	174.71	199.91
18	$\Delta t17$	1796.923	0.158	11.437	-1.219	174.14	199.34
19	$\Delta t18$	1796.932	0.167	11.447	-1.209	172.71	197.91

表 4-16. Exp11. FR4 單層電路基板/導熱貼片/工程塑膠外殼

V_f & Δt 關係表:

Exp. 11							
	Ta	25.2	Kj	-0.0067		ΔV_f1	12.651
point	Δt	Time(ms)	ΔT time (ms)	ΔV_f2	ΔV_f	ΔT_j	T_j
0	NA	0	NA	12.462	NA	NA	NA
1	NA	1796.765	NA	16.452	NA	NA	NA
2	$\Delta t1$	1796.773	0.008	11.756	-0.895	133.58	158.78
3	$\Delta t2$	1796.783	0.018	11.428	-1.223	182.54	207.74
4	$\Delta t3$	1796.792	0.027	11.427	-1.224	182.69	207.89
5	$\Delta t4$	1796.802	0.037	11.44	-1.211	180.75	205.95
6	$\Delta t5$	1796.811	0.046	11.451	-1.2	179.10	204.30
7	$\Delta t6$	1796.82	0.055	11.459	-1.192	177.91	203.11
8	$\Delta t7$	1796.829	0.064	11.467	-1.184	176.72	201.92
9	$\Delta t8$	1796.839	0.074	11.472	-1.179	175.97	201.17
10	$\Delta t9$	1796.848	0.083	11.477	-1.174	175.22	200.42
11	$\Delta t10$	1796.857	0.092	11.48	-1.171	174.78	199.98
12	$\Delta t11$	1796.866	0.101	11.483	-1.168	174.33	199.53
13	$\Delta t12$	1796.876	0.111	11.487	-1.164	173.73	198.93
14	$\Delta t13$	1796.885	0.12	11.489	-1.162	173.43	198.63
15	$\Delta t14$	1796.895	0.13	11.491	-1.16	173.13	198.33
16	$\Delta t15$	1796.903	0.138	11.493	-1.158	172.84	198.04
17	$\Delta t16$	1796.913	0.148	11.495	-1.156	172.54	197.74
18	$\Delta t17$	1796.923	0.158	11.496	-1.155	172.39	197.59
19	$\Delta t18$	1796.932	0.167	11.498	-1.153	172.09	197.29

表 4-17. Exp12. FR4 單層電路基板/導熱膠-金屬鋁外殼 V_f & Δt 關係表:

Exp. 12							
	Ta	24.5	Kj	-0.0067		$\Delta Vf1$	12.61
point	Δt	Time(ms)	ΔT time (ms)	$\Delta Vf2$	ΔVf	ΔTj	Tj
0	NA	0	NA	12.453	NA	NA	NA
1	NA	1796.766	NA	16.814	NA	NA	NA
2	$\Delta t1$	1796.775	0.009	12.212	-0.398	59.40	83.90
3	$\Delta t2$	1796.784	0.018	11.937	-0.673	100.45	124.95
4	$\Delta t3$	1796.794	0.028	11.942	-0.668	99.70	124.20
5	$\Delta t4$	1796.804	0.038	11.954	-0.656	97.91	122.41
6	$\Delta t5$	1796.813	0.047	11.962	-0.648	96.72	121.22
7	$\Delta t6$	1796.822	0.056	11.967	-0.643	95.97	120.47
8	$\Delta t7$	1796.832	0.066	11.972	-0.638	95.22	119.72
9	$\Delta t8$	1796.841	0.075	11.976	-0.634	94.63	119.13
10	$\Delta t9$	1796.851	0.085	11.978	-0.632	94.33	118.83
11	$\Delta t10$	1796.86	0.094	11.98	-0.63	94.03	118.53
12	$\Delta t11$	1796.869	0.103	11.982	-0.628	93.73	118.23
13	$\Delta t12$	1796.879	0.113	11.984	-0.626	93.43	117.93
14	$\Delta t13$	1796.889	0.123	11.987	-0.623	92.99	117.49
15	$\Delta t14$	1796.897	0.131	11.987	-0.623	92.99	117.49
16	$\Delta t15$	1796.907	0.141	11.99	-0.62	92.54	117.04
17	$\Delta t16$	1796.917	0.151	11.991	-0.619	92.39	116.89
18	$\Delta t17$	1796.926	0.16	11.993	-0.617	92.09	116.59
19	$\Delta t18$	1796.936	0.17	11.995	-0.615	91.79	116.29

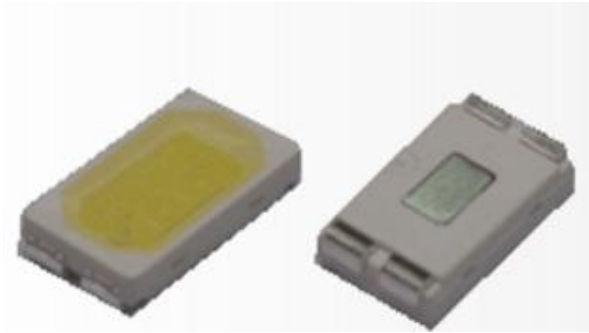


圖 4-1 LED 型式(5630)

http://www.u-pec.com/tw/product_info.php?d=94



圖 4-2 3 種不同製程參數的電路基板



圖 4-3 導熱貼片 30G-TL 示意圖

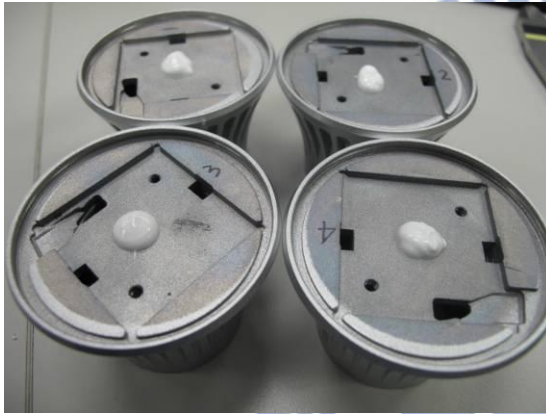


圖 4-4 導熱膠 SR-8200 示意圖



圖 4- 5 散熱外殼示意圖

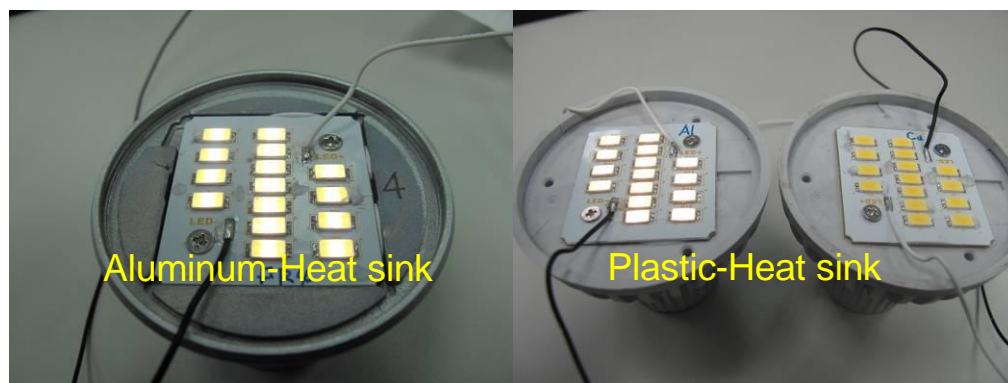


圖 4-6 實驗模組

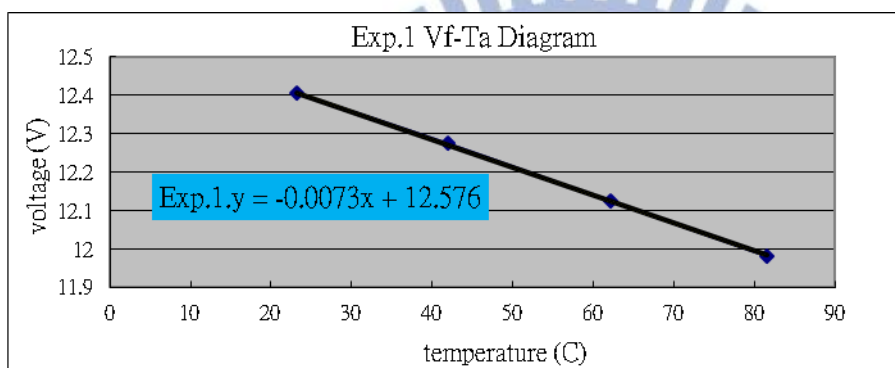


圖 4-7: Exp1. 鋁電路基板(Al)/導熱貼片/金屬鋁外殼 Ta & Vf 關係方程圖

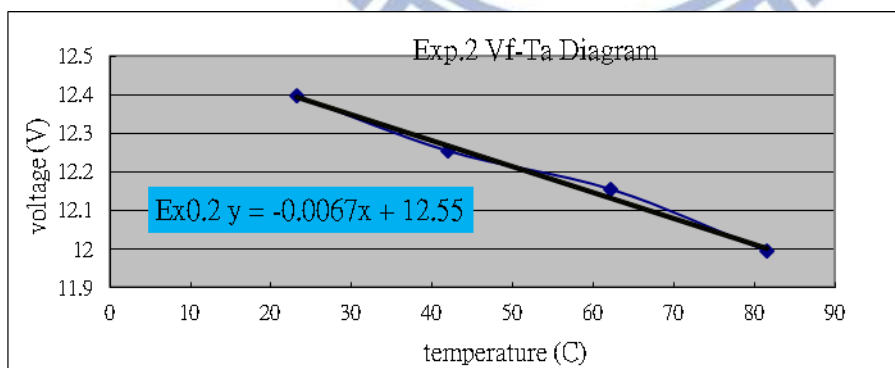


圖 4-8:Exp2. 鋁電路基板(Al)/導熱貼片/工程塑膠外殼 Ta & Vf 關係方程圖

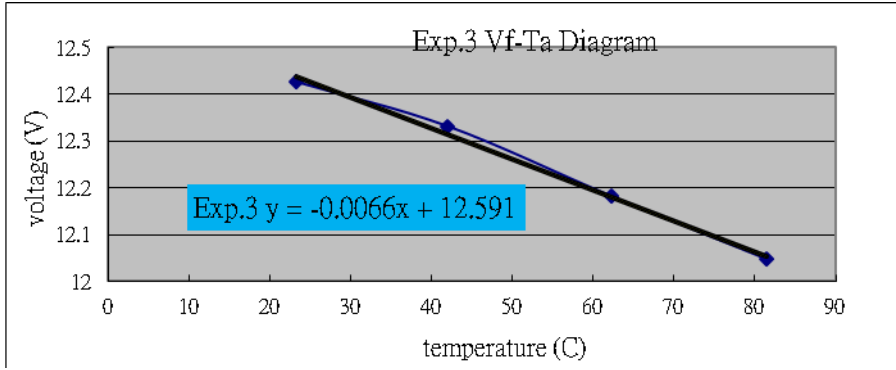


圖 4-9: Exp3. 鋁電路基板(A1)/導熱膠/-金屬鋁外殼 Ta & Vf 關係方程圖

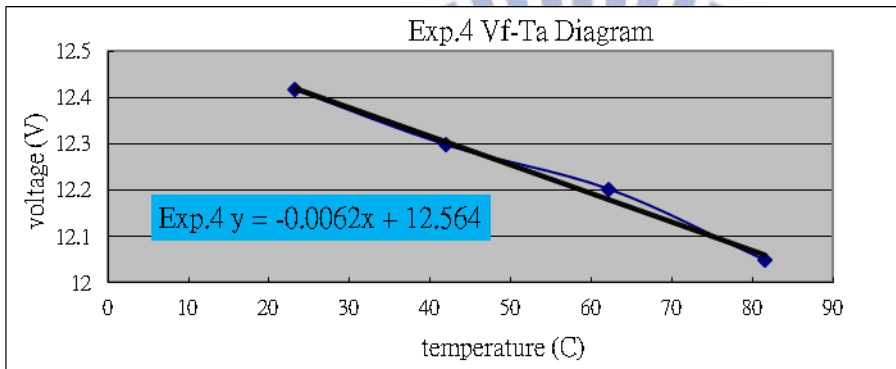


圖 4-10: Exp4. 鋁電路基板(A1)/導熱膠-工程塑膠外殼 Ta & Vf 關係方程圖

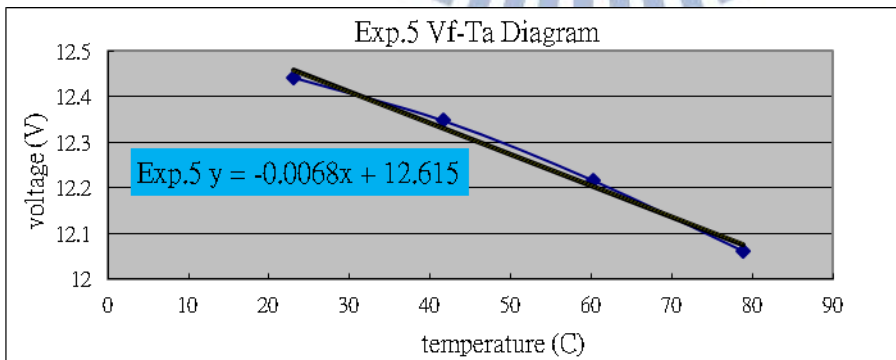


圖 4-11: Exp5. FR4 雙層鋪銅電路基板/導熱膠/-工程塑膠外殼 Ta & Vf 關係方程圖

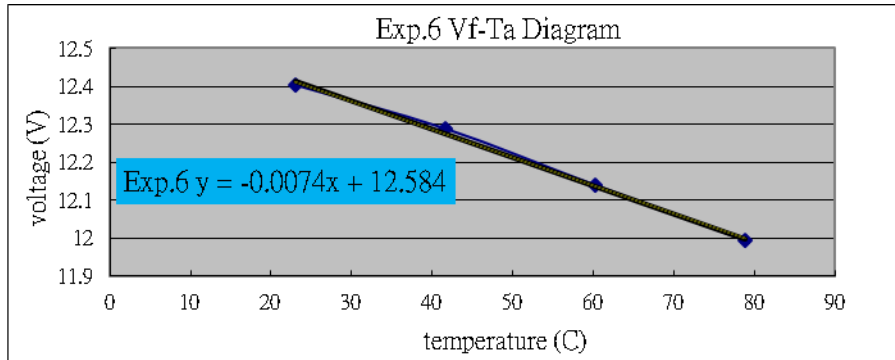


圖 4-12: Exp6. FR4 雙層鋪銅電路基板/導熱貼片/-金屬鋁外殼 Ta & Vf 關係方程圖

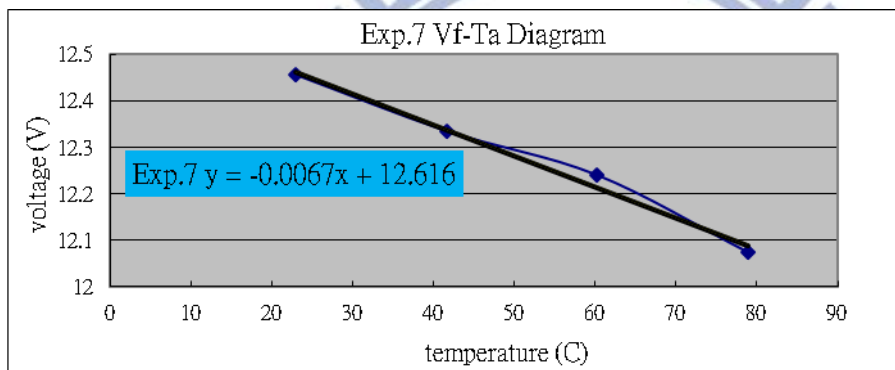


圖 4-13: Exp7. FR4 雙層鋪銅電路基板/導熱貼片/-工程塑膠外殼 Ta & Vf 關係方程圖

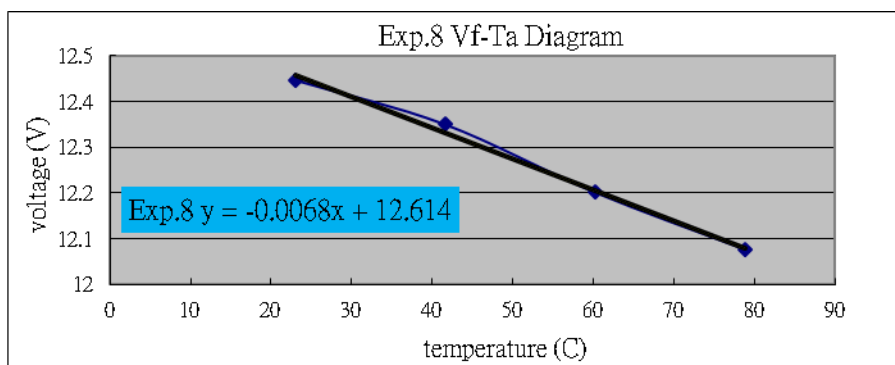


圖 4-14: Exp8. FR4 雙層鋪銅電路基板/導熱膠/-金屬鋁外殼 Ta & Vf 關係方程圖

係方程圖

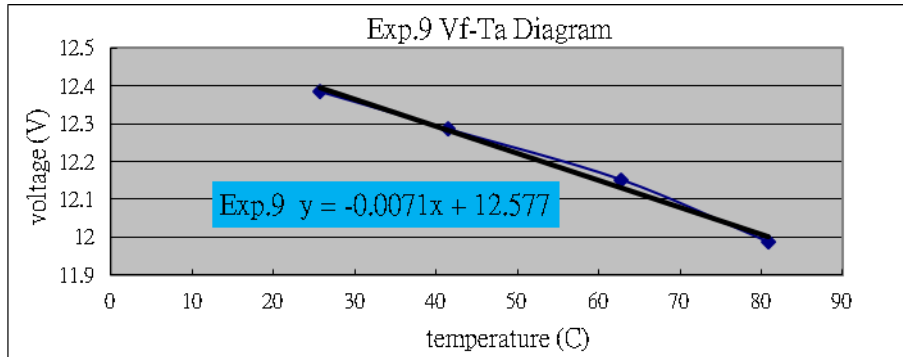


圖 4-15: Exp9. FR4 單層電路基板/導熱貼片-金屬鋁外殼 Ta & Vf 關係方程圖

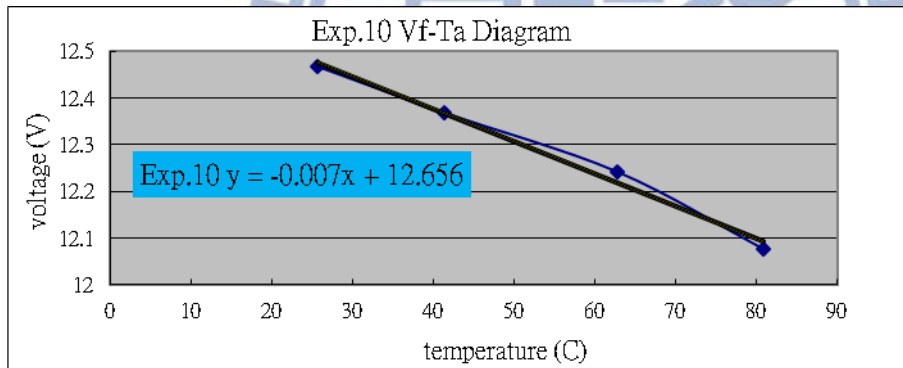


圖 4-16: Exp10. FR4 單層電路基板/導熱膠/工程塑膠外殼 Ta & Vf 關係方程圖

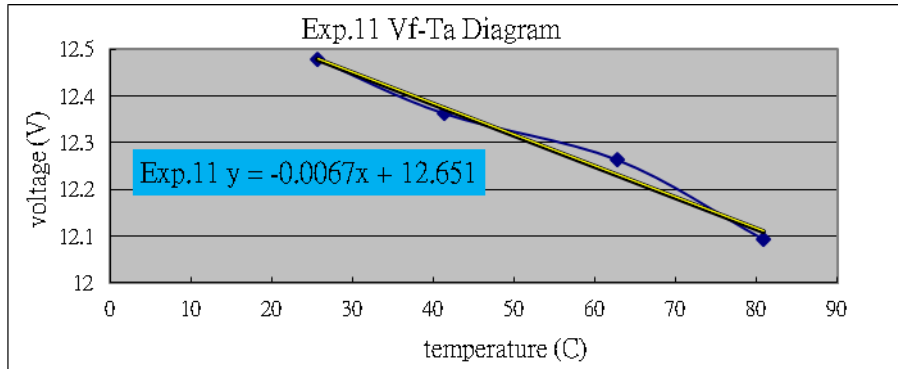


圖 4-17: Exp11. FR4 單層電路基板/導熱貼片/工程塑膠外殼
Ta & Vf 關係方程圖

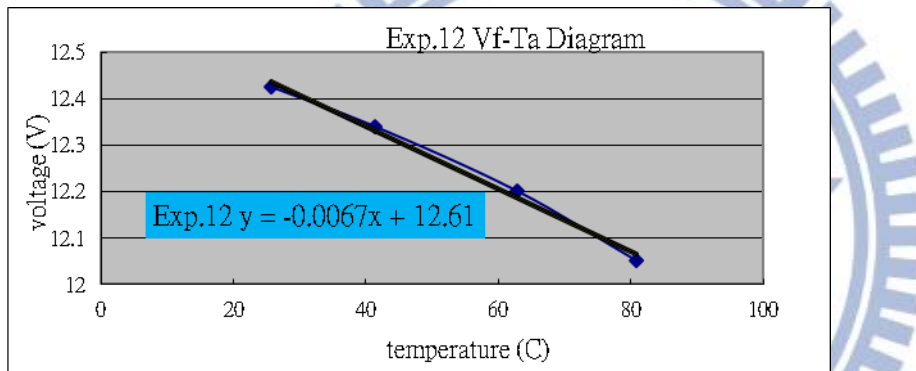


圖 4-18: Exp12. FR4 單層電路基板/導熱膠-金屬鋁外殼
Ta & Vf 關係方程圖

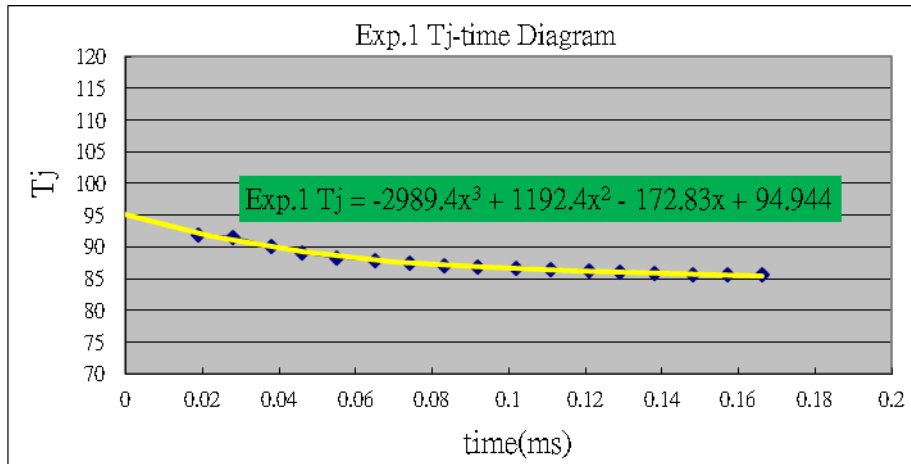


圖 4-19: Exp1. 鋁電路基板(A1)/導熱貼片/金屬鋁外殼 Tj 與 ΔT time 趨勢預測曲線圖

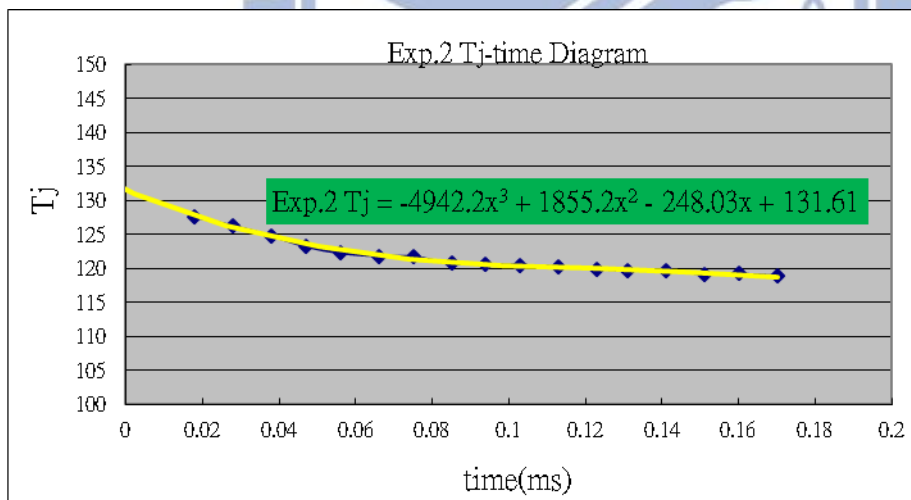


圖 4-20: Exp2. 鋁電路基板(A1)/導熱貼片/工程塑膠外殼 Tj 與 ΔT time 趨勢預測曲線圖

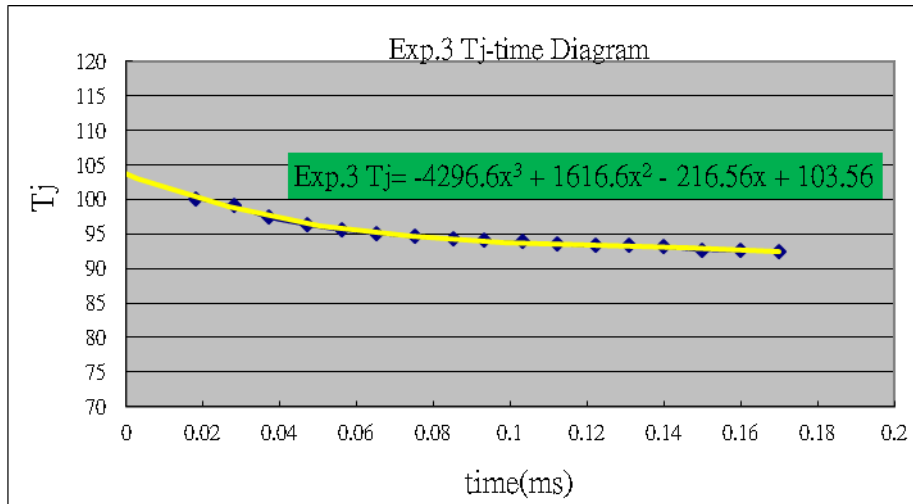


圖 4-21: Exp3. 鋁電路基板(A1)/導熱膠/-金屬鋁外殼
Tj 與 ΔT_{time} 趨勢預測曲線圖

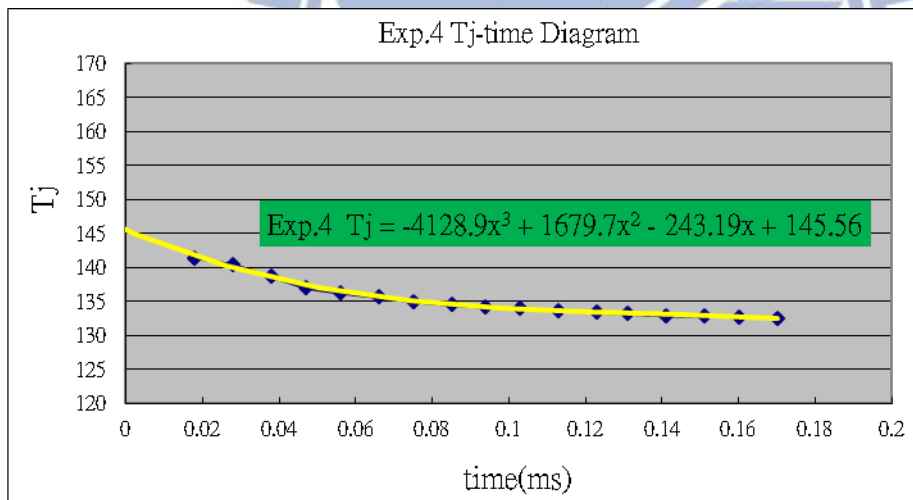


圖 4-22: Exp4. 鋁電路基板(A1)/導熱膠-工程塑膠外殼
Tj 與 ΔT_{time} 趨勢預測曲線圖

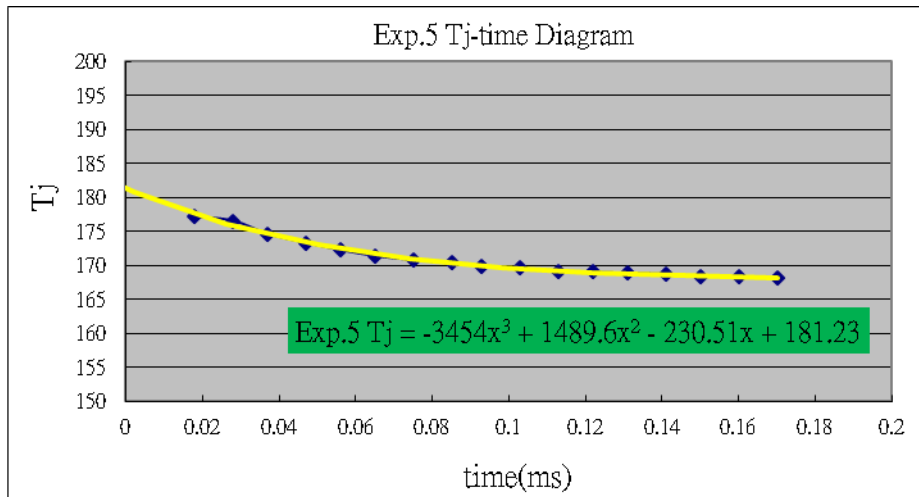


圖 4-23: Exp5. FR4 雙層鋪銅電路基板/導熱膠/-工程塑膠外殼 T_j 與 ΔT_{time} 趨勢預測曲線圖

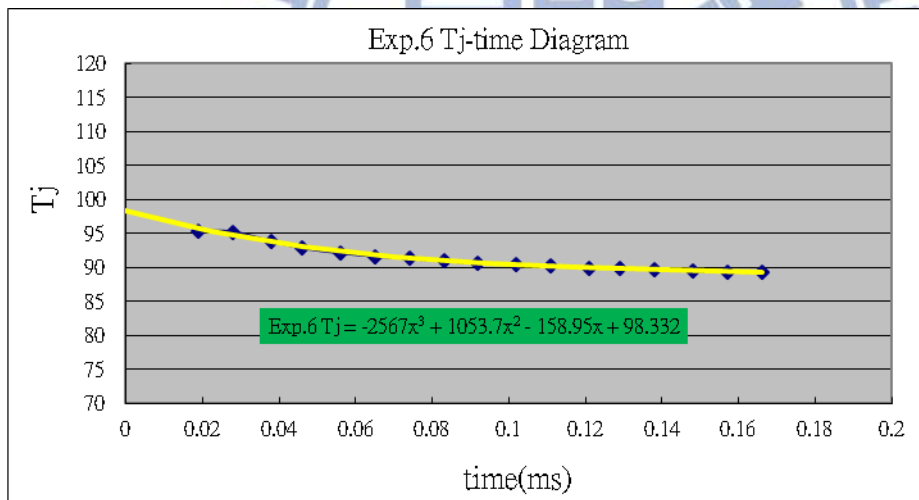


圖 4-24: Exp6. FR4 雙層鋪銅電路基板/導熱貼片/-金屬鋁外殼 T_j 與 ΔT_{time} 趨勢預測曲線圖

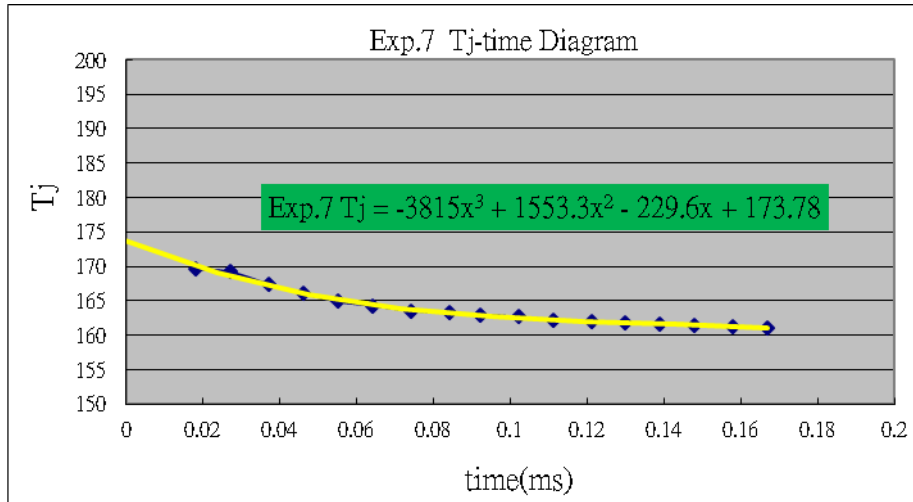


圖 4-25: Exp7. FR4 雙層鋪銅電路基板/導熱貼片/-工程塑膠外殼
 T_j 與 ΔT_{time} 趨勢預測曲線圖

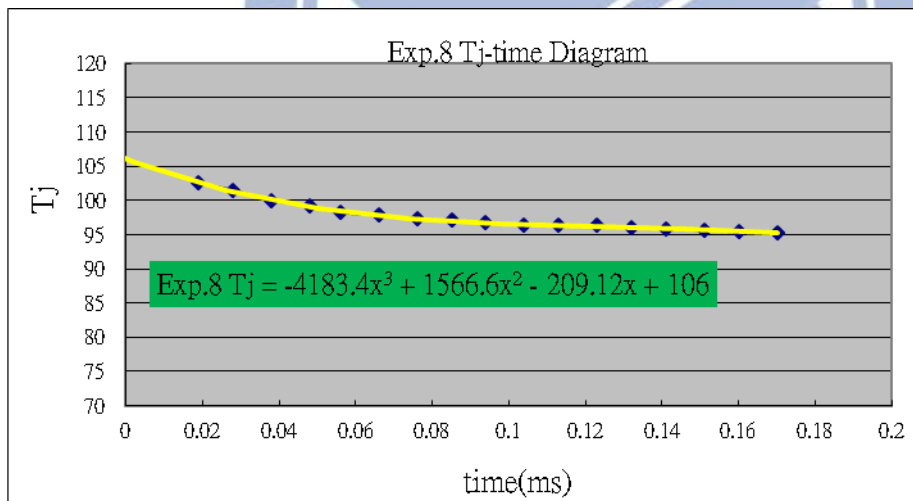


圖 4-26: Exp8. FR4 雙層鋪銅電路基板/導熱膠/-金屬鋁外殼
 T_j 與 ΔT_{time} 趨勢預測曲線圖

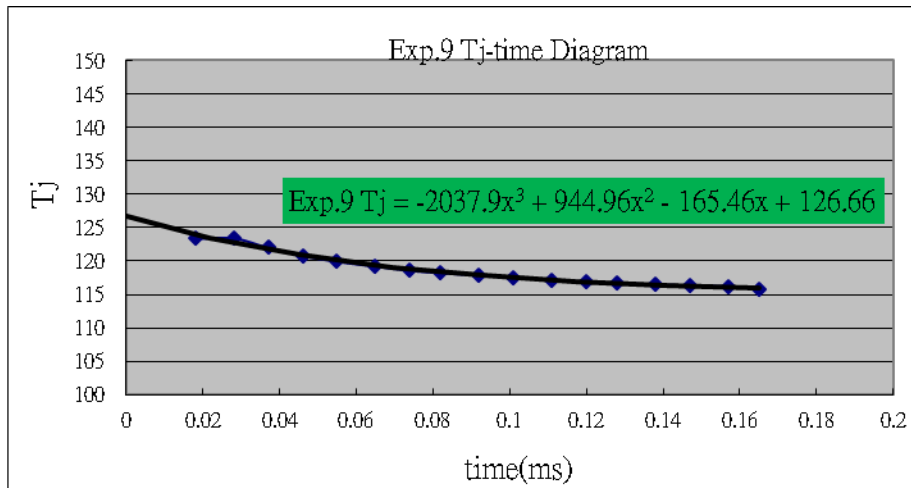


圖 4-27: Exp9. FR4 單層電路基板/導熱貼片-金屬鋁外殼
Tj 與 ΔT_{time} 趨勢預測曲線圖

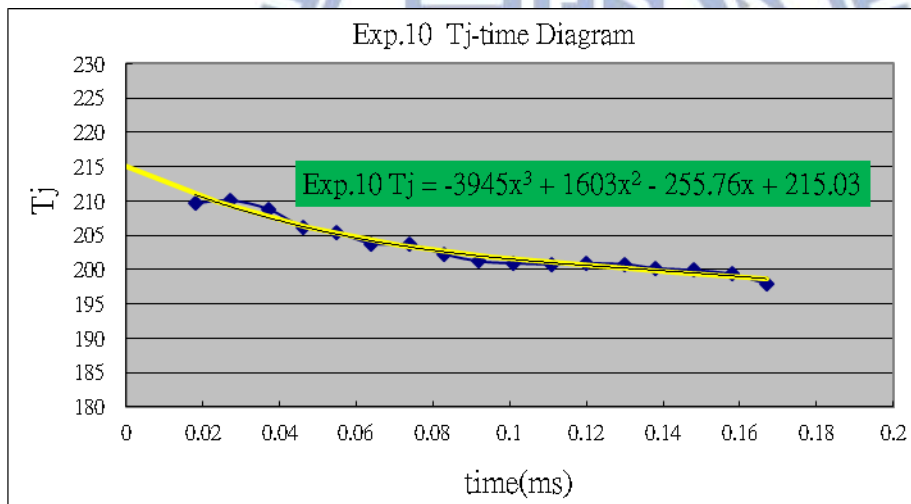


圖 4-28: Exp10. FR4 單層電路基板/導熱膠/工程塑膠外殼
Tj 與 ΔT_{time} 趨勢預測曲線圖

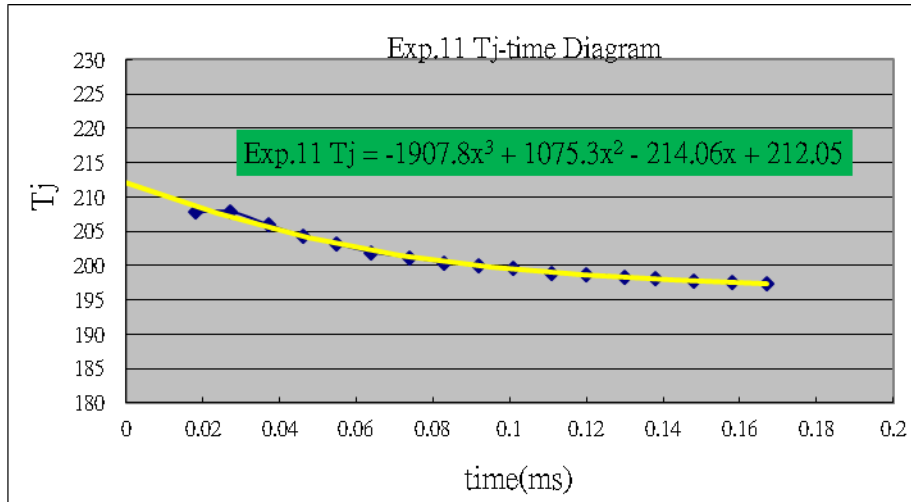


圖 4-29: Exp11. FR4 單層電路基板/導熱貼片/工程塑膠外殼
Tj 與 ΔT_{time} 趨勢預測曲線圖

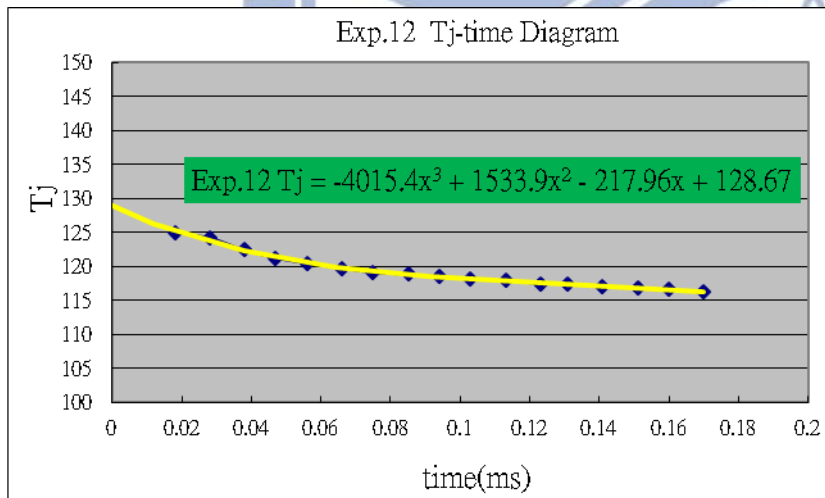


圖 4-30: Exp12. FR4 單層電路基板/導熱膠-金屬鋁外殼
Tj 與 ΔT_{time} 趨勢預測曲線圖

4-31. Tj 量測/推算值總表：

Exp	A 電路基板	B 導熱介質	C 外殼材質	Tj 推算值 (°C)	Ranking
1	鋁基板	導熱貼片	金屬鋁	94.9	1
6	FR4 雙面基板	導熱貼片	金屬鋁	98.3	2
3	鋁基板	導熱膠	金屬鋁	103.6	3
8	FR4 雙面基板	導熱膠	金屬鋁	106.0	4
9	FR4 單層基板	導熱貼片	金屬鋁	126.7	5
12	FR4 單層基板	導熱膠	金屬鋁	128.7	6
2	鋁基板	導熱貼片	工程塑膠	131.6	7
4	鋁基板	導熱膠	工程塑膠	145.6	8
7	FR4 雙面基板	導熱貼片	工程塑膠	173.8	9
5	FR4 雙面基板	導熱膠	工程塑膠	181.2	10
11	FR4 單層基板	導熱貼片	工程塑膠	212.1	11
10	FR4 單層基板	導熱膠	工程塑膠	215.0	12

第五章、實驗因子對模組效應分析

5.1 電路基板板材影響效應:

電路基板板材在整個模組中，須立即將 LED 熱源往整個系統作傳導，避免 LED 積熱時間過長，影響壽命。因此在材質選擇上，將高導熱係數參數列為優先的考量。

由 4-31. Tj 量測/推算值總表發現，在「實驗因子 B」與「實驗因子 C」固定的條件下，鋁基板與 FR4 雙層基板的組合比較，兩者溫差分別為:【1 比 6】溫差 3.4°C、【3 比 8】溫差 2.4°C。而鋁基板與 FR4 單層基板的組合比較，兩者溫差分別為: :【1 比 9】溫差 31.7°C、【3 比 12】溫差 25.1°C。

鋁基板主要基材為鋁，(鋁的導熱係數約為 $K=237\text{W/mk}$)，相對其導熱效率相當佳，通常是 LED High power(3W 以上) 產品在設計初期時，優先的選項。

FR4 雙面板，主要基材為玻纖材質(絕緣強、導熱較差); 一般製程上會在正反兩面鋪 1 盎司的銅層(導電、導熱極佳)，而在兩者材質間有導熱黏著劑作結合。雖然基材的導熱係數僅 $K=2\text{W/mk}$ ，但因銅的導熱係數高達 $K=401\text{W/mk}$ 相對其導熱效率相當佳，FR4 雙面板正反兩面有銅層作熱傳導，與鋁基板溫差最高 $<5^\circ\text{C}$ ，效果無明顯差異。

FR4 單層基板材料與 FR4 雙面板極相似，差異在於僅有正面鋪 1 盎司的銅層作熱傳導，反面無銅層作熱傳導，與整個模組系統熱傳遞會較差。與鋁基板材料溫差卻有最低 $>25^\circ\text{C}$ ，效果有明顯差異。

5.2 導熱材料影響效應：

LED 及散熱片表面並非平坦，兩者作貼合時的縫隙，藉由具有可變形的導熱材料來填補，以增進熱傳效率。

因導熱貼片 30G-TL 的導熱係數($K=2.8\text{W/mk}$)高於導熱膠 SR-8200 的導熱係數($K=1.0\text{W/mk}$)，故使用導熱貼片的實驗組別效果較佳。

由 4-31. T_j 量測/推算值總表發現，在「實驗因子 A」與「實驗因子 C」固定的條件下，導熱貼片 30G-TL 與導熱膠 SR-8200 的組合比較，兩者溫差分別為：【1 比 3】溫差 8.6°C 、【4 比 2】溫差 14°C 、【6 比 8】溫差 7.7°C 、【7 比 5】溫差 7.4°C 、【9 比 12】溫差 2°C 、【11 比 10】溫差 3°C 。

導熱貼片與導熱膠的組合比較，兩者溫差最低有 2°C ，顯示只要填補空隙，就可達到相同效果。

5.3 外殼影響效應：

外殼為模組系統中具有熱對流功效的因子，本實驗所選用的 AL-散熱外殼材質為 JIS 編號 ADC-12 屬於鑄鋁錠的元素，其導熱係數 K 約 96W/mk ；而以工程塑膠為材質散熱外殼，其導熱係數 K 約 6W/mk 。

由 4-31. T_j 量測/推算值總表發現，在「實驗因子 A」與「實驗因子 B」相同的條件下，金屬鋁外殼與工程塑膠外殼的組合比較，兩者溫差分別為：【1 比 2】溫差 36.7°C 、【3 比 4】溫差 42°C 、【6 比 7】溫差 75.4°C 、【8 比 5】溫差 75.2°C 、【9 比 11】溫差 85.4°C 、【12 比 10】溫差 86.4°C 。

金屬鋁外殼與工程塑膠外殼的，溫差最高達 86.4°C ，效果較前兩項因子有顯著影響。

第六章、結論

目前在LED照明產品的設計上，常以導熱係數作為選用材料的參考依據，以改善散熱的現象。電路基板是最接近LED的主要結構，其主要功能之一是迅速將熱遠離LED。

鋁基板傳導的效率雖較FR4雙面基板佳，但兩者在 T_j 溫度差距 $<5^{\circ}\text{C}$ 時，考量其他干擾因素的條件下，FR4雙面基板的熱傳導效率已相當接近鋁基板。

FR4可以使用其他一疊構金屬材質的製程，以提高散熱效果

方向 1.： 板材 PAD 噴錫，以增加與 LED-PAD 的相容性。

方向 2.： 改變鋪銅層的單位(盎司)，增加高導熱材質的比例。

方向 3.： 調整黏著劑結合的參數，以提高導熱效能。

本次的實驗雖然選擇不同導熱參數來作比較，但因導熱貼片為固體型，導熱膠為液態型，兩者的相形不同，比較的基準仍有些差異。導熱材料功能在於電路基板與散熱外殼之間的傳遞介質，導熱係數並非極大值就是最佳，畢竟散熱效果須視整個系統的架構而定。

承上所述，外殼在模組系統中必須作熱對流的功效，金屬鋁外殼熱傳效率高，可迅速將熱量由內部的傳導模式轉成外部的對流模式。工程塑膠熱傳效應雖然較低，但因其同時具有導熱與絕緣的特性；在未來規範定案時，金屬外殼是必須與其作搭配使用。

文獻參考

- [1] 經濟部標準檢驗局九十七年度專案成果報告,「節約能源產業產品標準、安全及性能檢測技術先期研究及導入委辦計劃」。
- [2] 伊東新太郎著,鄭振東譯,「LED 淺說光電技術入門」。
- [3] 陳建隆 編著,全華圖書發行,「發光二極體之原理與製程」。
- [4] 陳義宏,「發光二極體接面溫度量測」,國立交通大學電子物理研究所,碩士論文,2004。
- [5] 林神江,「LED 介面溫度量測之研究」,國立臺灣科技大學機械工程系,碩士論文,2011。
- [6] 李佩璇,「高功率發光二極體之亮度特性」,國立成功大學工程科學系,碩博士論文,2011。
- [7] 陳少宇,「LED 模組之熱分析」,國立成功大學工程科學系,碩博士論文,2006。
- [8] 葉建男,「大功率 LED 散熱系統研究」,義守大學機械與自動化工程學系,碩博士論文,2011。
- [9] 林旻賢,「高功率 LED 的散熱方式與溫度量測分析」,國立交通大學平面顯示技術碩士學位學程,碩博士論文,2010。
- [10] 紀偉豪,「高功率發光二極體照明模組之散熱特性分析」,國立清華大學動力機械工程學系,碩士論文,2009。

[11]>產業資訊 LED inside>技術專欄 > 淺談 LED 照明技術缺點，
2007-10-04。

http://www.ledinside.com.tw/led_light_source_issue_200710

[12]>產業資訊 LED inside>技術專欄 > 淺談 LED 燈飾產品基本組成，
2008-03-26。

http://www.ledinside.com.tw/led_light_basic_com_200803

[13]>產業資訊 LED inside>技術專欄 > LED 產業照明專業術語與測光
公式，2007-10-25。

http://www.ledinside.com.tw/glossary_of_led_light_industry

[14] >產業資訊 LED inside>技術專欄 > LED 鋁基板的特點、結構與作
用，2008-09-01。

http://www.ledinside.com.tw/led_al_substrate_200809

[15]>江志宏，IT 電子產業專區>熱傳導專區

http://www.kson.com.tw/chinese/study_25.htm

[16]> Japanese Journal of Applied Physics Vol. 44, No. 10, 2005,
pp. 7260 – 7266 「SELECTED TOPICS in APPLIED PHYSICS III」。

[17]> 技術文件，「弘凱光電大功率熱管理」

<http://www.brightekled.com/admin/products/UploadFiles/200812111956907.pdf>

- [18]> 黃子軒，「利用反應曲面法配合基因演算法分析陣列式高功率 LED 構裝散熱之最佳設計」，國立成功大學工程科學系，碩博士論文，2009。
- [19]> 丁志華、戴寶通，「田口實驗計畫法簡介 (I)」，國家毫微米元件實驗室，http://www.ndl.org.tw/cht/ndlcomm/P8_3/8_3_2.pdf
- [20]> 張明毅，「田口方法簡介」，宜蘭大學生機系 2003.10.24
<http://www.ecaa.ntu.edu.tw/weifang/sysEng/田口/田口方法>
- [21]> 鍾正發，「高功率發光二極體熱傳途徑分析研究」，國立中山大學機械與機電工程系，碩博士論文，2007。
- [22]> 李輝煌著，高立圖書發行，「田口方法」。
- [23] >http://www.ledinside.com.tw/10_reason_for_led_light_source_200801
- [24]> www.kson.com.tw/chinese/study_25.htm
- [25]> www.ledinside.com.tw/glossary_of_led_light_industry
- [26]> <http://www.nchu.edu.tw/~acende/rdmp/speaker/961224.pdf>
- [27]> <http://www.dwtbj.com/news/detail-1750.html>
- [28]>
<http://renatec.en.made-in-china.com/offer/bMrENKwYbAhQ/Sell-Power-LED-Assembly.html>
- [29]> http://www.ck365.cn/sell/201010/20/sell_info_219745.html
<http://big5.hisupplier.com/product/detail-315643.html>
- [30]> <http://www.led-yx.com/products-show.asp?id=4>
- [31]> <http://www.chinaswitch.com/buy/offerdetail/106731.html>
- [32]> <http://www.pcpop.com/doc/0/269/269055.shtml>

[33]>

<http://www.liteon.com/Page.aspx?id=bbce52a8-1c1c-422f-8911-2e8a773c8789&no=328>

[34]>

<http://www.fobsun.com/blog/2011/04/controlling-junction-temperature-of-leds-with-thermal-management-materials/>

[35]>

http://www.cens.com/cens/html/zh/product/product_main_93184.html

[36]>

http://www.testequipmentconnection.com/470/Keithley_2400.php

