

國立交通大學  
機械工程學系  
碩士論文



散熱器對熱電致冷器之性能影響

指導教授：傅武雄 博士

研究生：王威翔

中華民國九十七年七月

散熱器對熱電致冷器之性能影響

The effect of heat sink on the performance of thermal electric cooler

研 究 生：王威翔

Student : Wei-Shiang Wang

指導教授：傅武雄

Advisor : Wu-Shung Fu

國立交通大學

機械工程學系

碩士論文

A Thesis

Submitted to Department of Mechanical Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

in

Mechanical Engineering

July 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年七月

# 散熱器對熱電致冷器之性能影響

研究生：王威翔

指導教授：傅武雄

國立交通大學機械工程研究所

## 摘要

本文研究熱電致冷器之基本特性，並探討散熱器對熱電致冷器之性能影響與熱電致冷器應用於 LED 散熱之實用性。首先以數值模擬分析散熱鰭片於自然對流下之散熱能力，並以實驗驗證數值模擬之結果。由此數值模擬結合熱電致冷器之運作原理進一步計算熱電致冷器配合散熱鰭片與一發熱源在自然對流下之散熱效果。本研究再以熱電致冷器做為 LED 之散熱元件，以實驗方法量測在自然對流下，不同規格熱電致冷器應用於不同封裝型式 LED 之散熱效果。研究結果發現熱電致冷器應用於 LED 散熱上能有效提高 LED 之照度。此外不同封裝型式與對溫度的敏感度不同之 LED 對於熱電致冷器的效果也不相同，研究發現對溫度較敏感之 LED 在以熱電致冷器降溫時照度提升百分比也會較高。

# The effect of heat sink on the performance of thermal electric cooler

Student: Wei-Shiang Wang

Advisor: Wu-Shung Fu

Department of Mechanical Engineering

National Chiao Tung University

## Abstract

This article discusses the effect of heat sink on the performance of thermal electric cooler and takes advantage of the thermal electric cooler on the thermal management of LED. This study uses the numerical methods to calculate the temperature of heat sink under the nature convection which is validated by an experimental work procedure simultaneously. Combine the numerical methods with the basic theorem of thermal electric cooler to calculate the cooling efficiency of the cooling system which contains a heat source and a heat sink with thermal electric cooler under the natural convection. Furthermore, a cooling device with thermal electric cooler on LED is setup to measure the cooling efficiency between different types of thermal electric cooler and LED. The results show that the use of thermal electric cooler as a cooling device on LED is efficient to increase the illuminance of LED. The effects of thermal electric cooler on different packaging types of LED and temperature of LED are different. The results show that usages of the thermal electric cooler to decrease the temperature of LED and to increase the illuminance are efficient.

## 誌謝

我由衷的感謝指導老師傅武雄教授在這兩年來給予課業和論文上的指導，以及在生活各方面上的關心與教誨，在此謹致最高的謝忱與敬意。同時也感謝機械系諸師長在課業方面的指導，學長連信宏和李崇綱及黃玠超在數值模擬方面的協助，學弟張良任在實驗上的輔助，實驗室同窗林敬倫、陳又旭、王俊傑、楊忠霖、許友維在精神上的鼓勵，讓我得以突破難關，使本研究順利完成。

更要感謝父母含辛茹苦的養育之恩，與家人和親友的支持與關懷，今日方能順利完成學業。最後謹將此喜悅與所有關心我的人共同分享。



# 目錄

	頁
中文摘要 .....	i
英文摘要 .....	ii
目錄 .....	iii
表目錄 .....	v
圖目錄 .....	vi
符號說明 .....	viii
第一章 緒論.....	1
第二章 散熱鰭片之性能.....	9
2.1 散熱鰭片散熱能力之數值模擬.....	9
2.1.1 統御方程式.....	9
2.1.2 邊界條件.....	10
2.1.3 數值方法.....	11
2.1.4 網格品質.....	12
2.2 散熱鰭片散熱能力之實驗.....	17
2.2.1 加熱片原理.....	17
2.2.2 量測散熱鰭面自然對流之溫度.....	18
第三章 熱電致冷器之性能.....	27
3.1 熱電致冷器之物理模式.....	27
3.1.1 熱電致冷器散熱系統.....	27
3.1.2 熱電致冷器之效率.....	28
3.2 熱電致冷器效率之實驗.....	34
3.3 散熱鰭片對熱電致冷器之性能影響.....	40
第四章 熱電致冷器散熱系統應用於LED之實驗.....	45
4.1 實驗目的.....	45
4.2 實驗設備.....	47
4.3 實驗步驟.....	64
4.3.1 LED耗電量與照度實驗.....	64

4.3.2	熱電致冷器之熱電發電實驗.....	65
4.3.3	熱電致冷器耗電量與LED照度實驗.....	65
第五章	結果與討論.....	67
5.1	LED耗電量與照度實驗結果.....	67
5.2	熱電致冷器之熱電發電實驗結果.....	71
5.3	熱電致冷器耗電量與LED照度實驗結果.....	77
第六章	結論.....	97
參考文獻	.....	98
附錄	實驗不準度分析.....	100



## 表目錄

表 2-1	散熱鰭片自然對流結果對照表.....	23
表 2-2	散熱鰭片自然對流實驗與模擬對照表.....	25
表 3-1	熱電致冷器規格表.....	33
表 3-2	熱電致冷器實驗規格對照表.....	39
表 3-3	熱電致冷器散熱系統耗電量與溫度對照表.....	43
表 4-1	熱電致冷器規格表.....	51
表 5-1	LED 功率與照度實驗結果.....	68
表 5-2	S1 熱電電流實驗結果.....	73
表 5-3	S2 熱電電流實驗結果.....	74
表 5-4	S1 熱電致冷器功率與LED照度實驗結果.....	80
表 5-5	S2 熱電致冷器功率與LED照度實驗結果.....	82
表 5-6	S3 熱電致冷器功率與LED照度實驗結果.....	87
表 5-7	S4 熱電致冷器功率與LED照度實驗結果.....	89



## 圖目錄

圖 1-1	熱電致冷器.....	7
圖 1-2	熱電致冷器結構圖.....	8
圖 2-1	相鄰網格中心點及離散面相關位置示意圖.....	14
圖 2-2	對流通量示意圖.....	15
圖 2-3	網格示意圖.....	16
圖 2-4	加熱片結構圖.....	20
圖 2-5	量測散熱鰭片效率實驗配置示意圖.....	21
圖 2-6	散熱鰭片.....	22
圖 2-7	散熱鰭片自然對流實驗結果圖.....	24
圖 2-8	散熱鰭片自然對流實驗與模擬對照圖.....	26
圖 3-1	熱電致冷器示意圖.....	30
圖 3-2	熱電致冷器散熱系統.....	31
圖 3-3	熱電致冷器熱泵圖.....	32
圖 3-4	量測最大電流、電壓、溫差實驗配置示意圖.....	37
圖 3-5	量測最大致冷量實驗配置示意圖.....	38
圖 3-6	計算流程圖.....	42
圖 3-7	熱電致冷器散熱系統耗電量與溫度對照圖.....	44
圖 4-1	S1 結構圖.....	50
圖 4-2	S1、S2 散熱鰭片圖.....	52
圖 4-3	S1 與熱電致冷器散熱系統配置圖.....	53
圖 4-4	S1、S2、S3、S4 測溫點示意圖.....	54
圖 4-5	S2 結構圖.....	55
圖 4-6	S2 與熱電致冷器散熱系統配置圖.....	56
圖 4-7	S3 結構圖.....	57

圖 4-8	S3 散熱鰭片圖.....	58
圖 4-9	S3 與熱電致冷器散熱系統配置圖.....	59
圖 4-10	S4 結構圖.....	60
圖 4-11	S4 散熱鰭片圖.....	61
圖 4-12	S4 與熱電致冷器散熱系統配置圖.....	62
圖 4-13	LED 照度量測系統配置示意圖.....	63
圖 5-1	S2 耗電量與照度百分比圖.....	69
圖 5-2	S4 耗電量與照度百分比圖.....	70
圖 5-3	熱電電流圖.....	76
圖 5-4	S1 熱電致冷器耗電量與照度提升關係圖.....	81
圖 5-5	S2 熱電致冷器耗電量與照度提升關係圖.....	86
圖 5-6	S3 熱電致冷器耗電量與照度提升關係圖.....	90
圖 5-7	S4 熱電致冷器耗電量與照度提升關係圖.....	91
圖 5-8	S2 系統相對耗電量與照度提升比較圖.....	92
圖 5-9	S4 系統相對耗電量與照度提升比較圖.....	93
圖 5-10	熱電致冷器耗電量與照度提升對照圖.....	94
圖 5-11	熱電致冷器耗電量與 LED 溫度下降對照圖.....	95
圖 5-12	LED 溫度與照度提升關係圖.....	96

## 符號說明

$A$	熱電致冷器內部熱傳導面積	$m^2$
$A_b$	巴沙木面積	$m^2$
$I$	電流	$A$
$I_{\max.}$	熱電致冷器最大電流	$A$
$k$	熱電致冷器熱傳導係數	$W/m \cdot K$
$k_b$	巴沙木熱傳導係數	$W/m \cdot K$
$L$	熱電致冷器冷熱端之距離	$m$
$\dot{Q}_C$	熱電致冷器冷端吸熱	$W$
$\dot{Q}_H$	熱電致冷器熱端放熱	$W$
$\dot{Q}_J$	熱電致冷器焦耳熱	$W$
$\dot{Q}_k$	熱電致冷器內物熱傳導熱	$W$
$\dot{Q}_S$	熱電致冷器冷端發熱源	$W$
$\dot{Q}_{HS}$	熱電致冷器熱端熱傳導至散熱器熱通量	$W$
$\dot{Q}_{c \max.}$	熱電致冷器最大致冷量	$W$
$\dot{Q}_{in}$	輸入加熱片之能量	$W$
$\dot{Q}_{lose}$	加熱片背面逸散之能量	$W$
$R$	熱電致冷器電阻	$\Omega$
$r$	熱電致冷器單位長度電阻	$\Omega \cdot m$
$T_C$	熱電致冷器之冷端溫度	$K$
$T_H$	熱電致冷器之熱端溫度	$K$
$T_H^*$	模擬散熱鰭片底面溫度	$K$
$T_S$	熱電致冷器冷端發熱源表面溫度	$K$
$V_{\max.}$	熱電致冷器最大電壓	$V$
$\dot{W}$	熱電致冷器作功	$W$
$Z$	熱電優值	$1/K$

$\Delta T_{\max}$	熱電致冷器最大溫差	$K$
希臘符號		
$\alpha$	賽貝克係數	$V/K$



## 一、緒論

熱電致冷器的基本原理為熱電效應 (Thermoelectric effect)，所謂熱電效應，就是熱能與電能做互相轉換的一種現象，在 19 世紀就被科學家所發現。一般來說，熱電效應可分成三種：賽貝克效應 (Seebeck effect)、珀爾帖效應 (Peltier effect) 和湯姆森效應 (Thomson effect)。

賽貝克效應由德國科學家 Thomas Johann Seebeck 於西元 1821 年所發現。他發現在由 A 和 B 兩種不同金屬接合成的封閉迴路上，若兩接點有溫度差時，就會造成電位差產生電流。此電位差會和溫度差成正比，因此定義出賽貝克係數 (Seebeck Coefficient)，關係式如下：

$$\alpha = -\frac{V_{12}}{\Delta T} \quad (1-1)$$

$\alpha$  為賽貝克係數， $V_{12}$  為產生的電位差， $\Delta T$  是 A、B 兩金屬接觸兩端的溫度差。賽貝克效應是熱電偶 (thermocouple) 和熱電發電器 (thermoelectric power generator) 的基本原理。

在 Seebeck 發現賽貝克效應的幾年後，法國錶匠 Jean Charles Athanase Peltier 發現若在 A、B 兩種不同金屬接合成的迴路上給予電流，在接合端其中一邊會吸熱，而另一端會放熱，且吸熱或放熱的熱量與通入的電流大小成正比，因此也定義出珀爾帖係數 (Peltier coefficient)，關係式如下：

$$Q = \Pi I \quad (1-2)$$

$\Pi$  為珀爾帖係數， $Q$  是熱傳量， $I$  是電流。珀爾帖即為熱電致冷器 (thermoelectric cooler) 的工作原理。

到了 1857 年，物理學家 William Thomson 建立了熱電現象的理論基礎。他推導出賽貝克效應和珀爾帖效應之間的關係，得知兩不同金屬材料接合成一封閉迴路時，在已有溫度差的情況下再通予電流，則電流可以控制兩端溫度差增加或減少的情形，即為湯姆生效應 (Thomson effect)。而賽貝克係數和珀爾帖係數的關係如下：

$$\Pi = \alpha T \quad (1-3)$$

$T$  為絕對溫度。

由上述三種熱電效應可以得知賽貝克效應和珀爾帖效應實為一體兩面的關係。

熱電效應在被發現後的 100 年間，因為一般材料的熱電效率低，不能引起科學家廣泛的興趣，熱電現象這個領域幾乎停滯不前。到了 1950 年代，隨著半導體工業的發展，俄國物理學家 Ioffe[1]發現具較佳熱電特性之半導體，使熱電材料真正能開始應用在熱能與電能的轉換。Goldsmid 和 Douglas[2]利用半導體熱電材料，將熱電致冷器之冷端成功冷卻至 0°C 以下，因此引起全球性的研究熱潮。1977 年美國旅行家無人太空船升空，其中部份電能便是利用放射性熱電產生器 (radioisotope thermoelectric generators) 產生，這為熱電現象之應用寫下光明的前景。

熱電致冷器 (Thermoelectric Cooler, TEC) 是由熱電材料所製成，以輸入電流來達到冷卻的效果。熱電致冷器比之傳統壓縮機的優勢在於不需使用冷媒，可避免氟氯碳化物對環境的破壞。且其體積小，可應用在目前日益縮小的微電子元件上，如電腦中央處理器 (CPU)、晶片組 (chip)、發光二極體 (LED) 等，以針對局部發熱量的不同來做調整。此外在於需做精準溫控的元件，如 LED 背光螢幕來說，熱電致冷器憑著改變電流方向即可控制熱傳方向的特性，可迅速達到所要求的操作溫度。另外由於熱電致冷器為固定元件，有著不易損壞及零噪音的優點，可長期可靠的工作而無需特別維護。亦可倒立使用，沒有方向的限制。甚至可回收熱能轉換成電能，達到節約能源的效果。

熱電致冷器由 P 型半導體和 N 型半導體組合而成，一組 P 型與 N 型半導體稱為一個 couple。P 型半導體和 N 型半導體兩端以金屬將其串連，當電流通過 P-N couple 時，P 型半導體中僅高能量電洞能克服能障而通過，而 N 型半導體中僅高能量電子能克服能障而通過。因為這兩種熱載子的離開而帶走熱量，使連接 P 型半導體與 N 型半導體的金屬一端會吸熱，另一端則放熱，如圖 1-1。在一般

使用上，每一對 couple 是以並排的方式排列並且串連在一起以達到吸熱量加乘的效果，如圖 1-2。

評估熱電材料的性能通常用一係數  $Z$  來表示，稱為熱電優值 (Thermoelectric figure of merit)。熱電優值是由賽貝克係數、熱傳導係數、電導率所組成如下：

$$Z = \frac{\alpha^2 \sigma}{k} \quad (1-4)$$

$\alpha$  是半導體的賽貝克係數 (Seebeck coefficient)， $\sigma$  是半導體的電導率 (electrical conductivity)， $k$  是半導體的熱傳導係數 (thermal conductivity)。熱電優值的單位是絕對溫度的倒數 ( $1/K$ )，因此也有人用  $ZT$  這樣子的無因次參數來表示。

熱電致冷器的性能係數 (Coefficient of performance, COP) 為：

$$COP = \frac{\gamma T_C - T_H}{(T_H - T_C)(1 + \gamma)} \quad (1-5)$$

$T_H$  為熱電致冷器的熱端溫度， $T_C$  為冷端溫度， $\gamma$  定義如下：

$$\gamma = (1 + ZT)^{\frac{1}{2}} \quad (1-6)$$

其中

$$T = \frac{T_H + T_C}{2} \quad (1-7)$$



由以上可知，當熱電致冷器的熱電優值 ( $ZT$ ) 越高， $\gamma$  就越高，熱電致冷器的性能係數 (COP) 也越高。為了得到更高的熱電優值，因此我們希望熱電材料的賽貝克係數越高越好，電導率越大越好，熱傳導係數則越小越好。

目前來說熱電材料在使用上是以溫度來做區分，依不同溫度範圍選擇不同的熱電材料來達到最佳化的熱電優質如下：

- 一、常溫區間 ( $200^\circ\text{C}$  以下)：碲化鉍 (bismuth telluride,  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ) 及其合金，是目前廣範被使用在製造熱電致冷器的材料。
- 二、中溫區間 ( $200^\circ\text{C}$  到  $600^\circ\text{C}$ )：碲化鉛 (lead telluride,  $\text{PbTe}$ ) 及其合金，常用於熱電發電器 (thermoelectric generator)。
- 三、高溫區間 ( $600^\circ\text{C}$  以上)：矽鍺合金 (silicon germanium,  $\text{SiGe}$ )，亦常應

用於熱電發電器。

從使用的溫度區間來看，碲化鉍 ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ) 是較適用於熱電致冷器的熱電材料。早期就有人用 p-type 的  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$  合金和 n-type 的  $\text{Bi}_2\text{Se}_{0.15}\text{Te}_{2.85}$  合金在室溫下得到將近 1 的熱電優值 (ZT)，Venkatasubramanian 等人[3]利用 MOCVD 的方法做出  $\text{Bi}_2\text{Te}_3/\text{Sb}_2\text{Te}_3$  的超晶格 (super lattice) 結構，發現超晶格結構材料的電洞移動率 (hole mobility) 會比合金高，在電阻率 (resistivity) 相同時，賽貝克係數也會比合金高。此外，因為超晶格結構的多層膜使其熱傳導係數明顯下降，進一步提高了材料的熱電優值。Venkatasubramanian 等人[4]進一步發現 p-type 的  $\text{Bi}_2\text{Te}_3/\text{Sb}_2\text{Te}_3$  超晶格結構其最大的 ZT 值可達到 2.4，因此使用碲化鉍 (bismuth telluride,  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ )、碲化銻 (Antimony telluride,  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ )、碲化鉍 (Bismuth selenide,  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ) 等材料製作 p-type 或 n-type 的超晶格結構是目前熱電材料發展的重點之一。

TEC 除了應用在冷卻電子元件外，為了節能與商業化的考量，有人研究當被冷卻物不需冷卻到極低溫時，使用 TEC 與否對電子元件的工作效率與耗電量的考量。CHU [5]研究在多晶片模組下使用 TEC 與不使用 TEC 的效率，因為 TEC 的 ZT 值在目前材料來說還不夠高，COP 沒辦法與壓縮機相比，因此此份研究在說明使用 TEC 與否且結合水冷或空冷並找出可商業化的方法。Solbrekken[6]研究一冷卻系統在給予 TEC 不同電流大小時結合散熱器的結果，文中指出 TEC 結合散熱器在冷卻上有實質的好處。Bierschenk 和 Johnson[7]指出水冷或空冷結合 TEC 可達到極高的效率，他們發現一個適當的設計配合 TEC 可以使水冷或空冷的熱阻小於零。Ioan[8]研究 TEC 配合散熱器來做 CPU 的散熱系統，降低風扇轉速來改善噪音的問題。他們成功發展一套冷卻系統作用於 130W 發熱量的 CPU，使噪音低於 40dB 且 COP 達到 10.8。Chein[9]探討如何在改變 TEC 冷卻系統的配置上來提高整體的 COP，他發現當 TEC 的冷端溫度高於熱端溫度時，系統的 COP 會較高，而使用微渠道散熱鰭片在熱端上亦可提高系統的 COP 值。另一方面，除了在冷卻上的應用，亦有人研究使用 TEC 在電子元件的溫控上，



Huang[10]利用一線性回授系統來操控通過 TEC 的電流大小來控制溫度，在暫態的情況下可以把系統維持在 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 的精準度。

由以上可知，因為熱電致冷器有著體積小，溫控容易的優點，在使用上若配合散熱器來做為發熱元件的溫度控制系統，以小型熱電致冷器使用在微電子元件的熱點上可解決熱集中的問題。從這個角度來看，熱電致冷器如果使用在發光二極體（Light Emitting Diode, LED）的散熱上將會有極大的優點。

LED 自從 70 年代開始商業化之後，便快速朝向高輝度、多色化以及高發光效率發展，80 年代陸續出現 GaAsP 高輝度紅光 LED 與 AlGaAs 綠光 LED，90 年代則有 AlGaInP 高輝度紅光、橙色 LED 與 GaInN 藍光、綠光 LED 被開發。隨著白光 LED 的出現，LED 的用途逐漸轉移到一般照明領域，尤其是高亮度藍光 LED 的實用化後，使得白光 LED 照明光源的發展動向備受歐美日各國的重視。隨著高亮度 LED 的實用化，不論是由用途或是省能源的觀點來看，低成本、高效率化、可靠性、高亮度的提升，將是 LED 未來發展的主要方向。

目前 LED 與傳統燈泡相比主要優點為體積小、反應快、壽命長、不易衰減、外表堅固、耐震動、可全彩發光（含不可見光）、指向設計容易、低電壓、低電流、轉換損失低、熱輻射小、量產容易、環保等。但是以做為照明來評估，LED 仍有以下幾項缺點：

- 一、發光效率低：目前市面上 LED 的發光效率大都在 60lm/W 左右，但是如果要用在照明上，至少需 100lm/W 才符合經濟效益。
- 二、散熱不易：通常 LED 的溫度在使用上以  $100^{\circ}\text{C}$  為限，但 LED 結構上會有點熱源的問題產生，以一般的散熱鰭片來進行散熱的效果有限，因此容易造成熱集中而燒毀。
- 三、亮度隨溫度而變化：因為本身的特性，LED 亮度會隨著溫度上升而下降，因此需經一段時間達平衡狀態後，亮度才會穩定，這對照明來說是必須解決的問題。

從以上幾點可知，快速且穩定的控制 LED 在低溫下運作是 LED 應用在照明

上的發展重點。從文獻[11,12,13,14]中可得知 LED 的發光效率及強度會隨著溫度上升而呈現線性的衰減，另外文獻[15]亦表示 LED 的平均失效時間 (MTTF) 隨著溫度提高而呈現指數下降。因此如果在 LED 散熱系統上與熱電致冷器做整合，將可提高 LED 的亮度，並且以精準的溫控降低 LED 通電後達到平衡的時間，更能增加 LED 的使用壽命，使 LED 使用在照明上的可行性大幅提升。

本文研究 LED 與熱電致冷器散熱系統，以實驗配合模擬計算。當固定發熱源時，設定發熱源與熱電致冷器間接觸面所要求的溫度，改變通過熱電致冷器的電流值，以軟體分析後端散熱鰭片進行自然對流時所需的鰭片大小及高度，計算不同散熱鰭片與電流大小對熱電致冷器效率的影響，並且以各種型式之 LED 與其散熱基板配合不同規格熱電致冷器及散熱鰭片之實驗來求出 LED 散熱基板與熱電致冷器散熱系統之配置與效率之關係，結合實驗與計算來得知熱電致冷器應用於 LED 散熱系統上之最佳化。



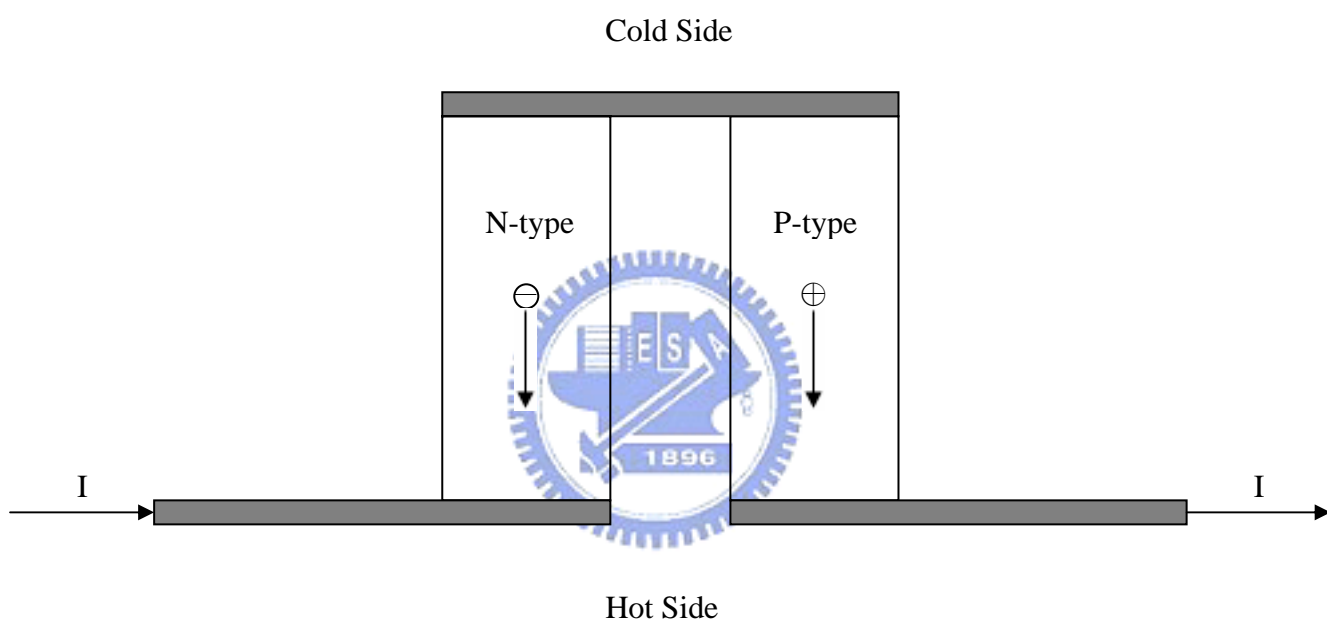


圖 1-1 熱電致冷器

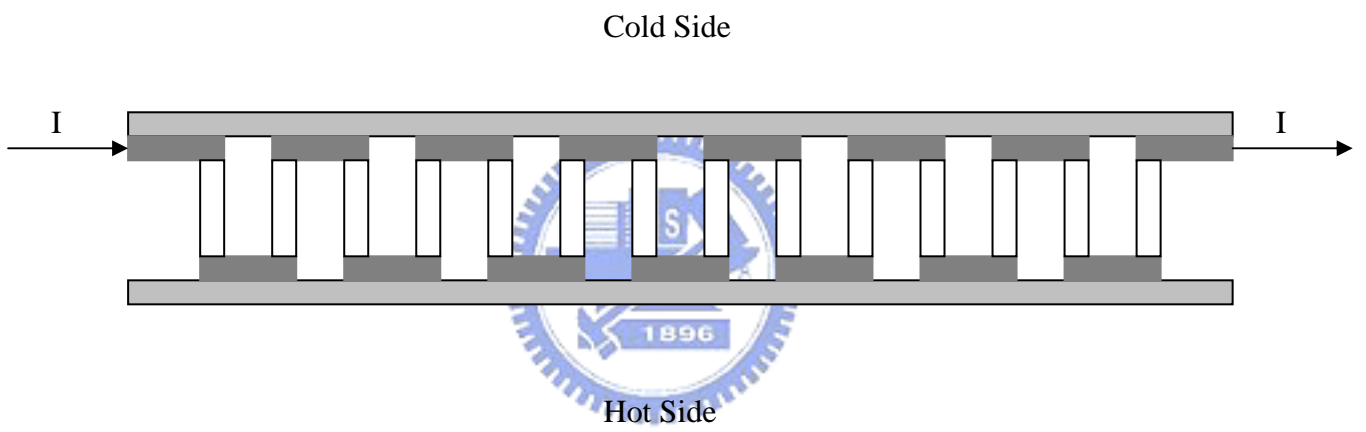


圖 1-2 熱電致冷器結構圖

## 二、散熱鰭片之性能

### 2.1 散熱鰭片散熱能力之數值模擬

本文研究的熱電致冷器散熱系統，主要是以熱電致冷器配合散熱鰭片來達到散熱的效果，因此在本研究中需要事先了解散熱鰭片之性能，再結合熱電致冷器之物理模式即可求出熱電致冷器散熱系統之效率。在此以數值模擬求得散熱鰭片在自然對流下之散熱能力，並以實驗驗證數值模擬之結果。

#### 2.1.1 統御方程式

本文選擇層流來模擬流場，為簡化分析，流場做如下假設：

- 1、流場為三維不可壓縮穩態流場。
- 2、流體為牛頓流體，密度和黏性係數隨溫度而改變。
- 3、考慮重力與自然對流的影響。

統御方程式如下：

連續方程式

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \tilde{u}_j) = 0 \quad (2-1)$$

動量方程式

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i \quad (2-2)$$

$$\tau_{ij} = \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2-3)$$

其中  $x_i$  為卡氏座標 ( $i=1,2,3$ )， $u_i$  為流體在  $x_i$  方向的絕對速度， $\rho$  為密度， $p$  是靜壓， $\tau_{ij}$  是應力張量， $\rho g_i$  為  $i$  方向上的重力體積力的動量來源 (momentum source)。

流體能量方程式

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (u_i (\rho E + p)) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( k_{eff} \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + S_h \quad (2-4)$$

$$E = h - \frac{p}{\rho} + \frac{u_i^2}{2} \quad (2-5)$$

$$h = c_p (T - T_{ref}) \quad (2-6)$$

其中  $k_{eff}$  是有效熱傳導係數， $S_h$  代表熱源項。

$T_{ref}$  為 298.15K。

固體能量方程式

$$\dot{q} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( k \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) \quad (2-7)$$

其中  $\dot{q}$  是熱源項， $k$  是固體的熱傳導係數。

### 2.1.2 邊界條件

本文流場主要是計算一散熱鰭片，在不同熱負載時，以自然對流的方式使熱負載面可達到的溫度。本流場為一半開放空間，在流場中有一固體邊界為散熱鰭片，而在散熱鰭片底部為一熱源。邊界條件的設定是將流體邊界設為出口壓力邊界，在底面設一固體絕熱壁面，在流場中散熱鰭片的固體邊界在能量方程式上的計算上則與流場耦合。

#### 1、出口壓力邊界：

本文出口壓力設為大氣壓力，溫度為 300K。

$$p = p_{atm}$$

#### 2、底面固體邊界：

壁面設為無滑移條件 (no-slip condition)。

$$U = 0, V = 0, W = 0$$

一般而言固體邊界適用於無法移動的邊界設定，如天花板、壁面、地板、阻礙物

的接觸面，均可使用此設定。

3、散熱鰭片底面固體邊界：

熱通量  $\dot{Q}$  ( $W/m^2$ )

### 2.1.3 數值方法

本文利用數值方法來求解三維不可壓縮穩態自然對流中流場及溫度場的變化。此數值方法為應用 STAR-CD 流體力學計算軟體輔助計算，STAR-CD 利用有限容積法(finite-volume)疊代解三維 Navier-Stokes equations，利用 SIMPLE 演算法計算穩態流場。各物理量變數定義於每個控制容積的中央，離散方程式則是將統御方程式對每一個控制容積做積分而求得，如圖 2-1 所示。

有限體積法的守恆方程式(conservation equations)可表示如下：

$$\int_V \frac{\partial \rho \phi}{\partial t} dV + \sum_j \int_{A_j} (\rho \phi \bar{v} - \Gamma_\phi \nabla \phi) \cdot d\bar{A} = \int_V S_\phi dV \quad (2-8)$$

其中  $\phi$  為任意相關變數， $\Gamma_\phi$  為擴散係數及  $S_\phi$  為來源係數。

式 (2-8) 中的第一項可以離散如下式：

$$\int_V \frac{\partial \rho \phi}{\partial t} dV \approx \frac{(\rho \phi V)_p^n - (\rho \phi V)_p^o}{\delta t} \quad (2-9)$$

式 (2-9) 中的第二項可以將其分成對流項(convection)以及擴散項(diffusion)

$$\sum_j (\rho \bar{v} \phi \cdot \bar{A})_j - \sum_j (\Gamma_\phi \bar{\nabla} \phi \cdot \bar{A})_j \equiv \sum_j C_j - \sum_j D_j \quad (2-10)$$

擴散項用中點近似法可下列來表示：

$$D_j \approx \Gamma_{\phi,j} \left[ f_j^l (\phi_P - \phi_N) + (\bar{\nabla} \phi \cdot \bar{A} - f_j^l \bar{\nabla} \cdot \bar{d}_{PN})_j \right] \quad (2-11)$$

其中  $f_j$  為幾何因子， $\bar{d}_{PN}$  為 P 到 N 之向量， $\Gamma_{\phi,j}$  為面擴散係數。

對流項以 Upwind Scheme 處理，根據 (2-10) 式的推導，對流項可由下列表示：

$$C_j \equiv F_j \begin{cases} \phi_p & , F_j \geq 0 \\ \phi_{N+} & , F_j < 0 \end{cases} \quad (2-12)$$

$$F_j \equiv (\rho \vec{v} \cdot \vec{A})_j \quad (2-13)$$

$F_j$  為通過面  $j$  和  $\phi_j$  的質通量如圖 2-2 所示。

式 (2-9) 中的第三項為來源項(source term)

$$\int_V S_\phi dV \approx s_1 - s_2 \phi_p \quad (2-14)$$

綜合上述，(2-9) 式可表示為：

$$a_p \phi_p^n = \sum_{nb} a_{nb} \phi_{nb}^n + s_1 + B_p \phi_p^o \quad (2-15)$$

其中

$$a_p \equiv \sum_{nb} a_{nb} + s_2 + B_p \quad (2-16)$$

$$B_p \equiv (\rho V)^o / \delta t$$

計算流場的收斂條件為：

每一次疊代後所有控制容積內的殘值改變率小於給定值，即

$$C_\phi^k = \sum (|B_p^n \phi_p^n| - |B_p^o \phi_p^o|) < (\text{給定值}) \quad (2-17)$$

本文在解流場時，所給的值為 0.001。

#### 2.1.4 網格品質

在求解流場的過程中，必需建立流場計算網格，以其設定邊界作為計算的迭代。而網格品質的好壞可以直接影響於計算速度之快慢與流場收斂的趨向及穩定性。更甚者其流場結果之正確性與否也和網格建立有極大的影響。

好的網格品質必需具備下列條件：一、平滑，二、正交性好，三、適合物理模式足夠網格數。由於散熱鰭片的幾何外形複雜變化大，在鰭片相間的空間非常狹小，因此對於這部份的網格處理需要非常的小心。此區域的網格大小必需小



於空間的尺寸，否則無法建立品質好的網格。

本文配合散熱器之形狀，在散熱鰭片間採用較密集的非結構網格，以避免正交性差以及網格品質差所造成計算誤差及計算時間增長，如圖 2-3 所示，在其餘半開放空間則採用較大之網格，以加快計算速度。



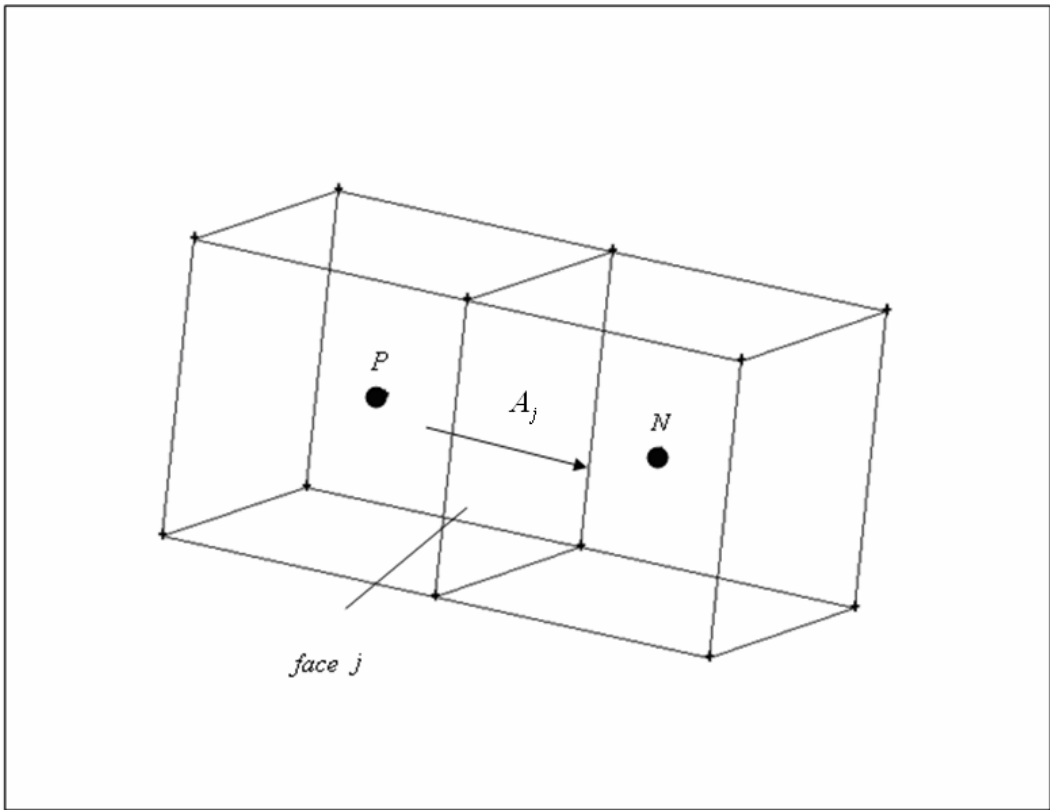


圖 2-1 相鄰網格中心點及離散面相關位置示意圖

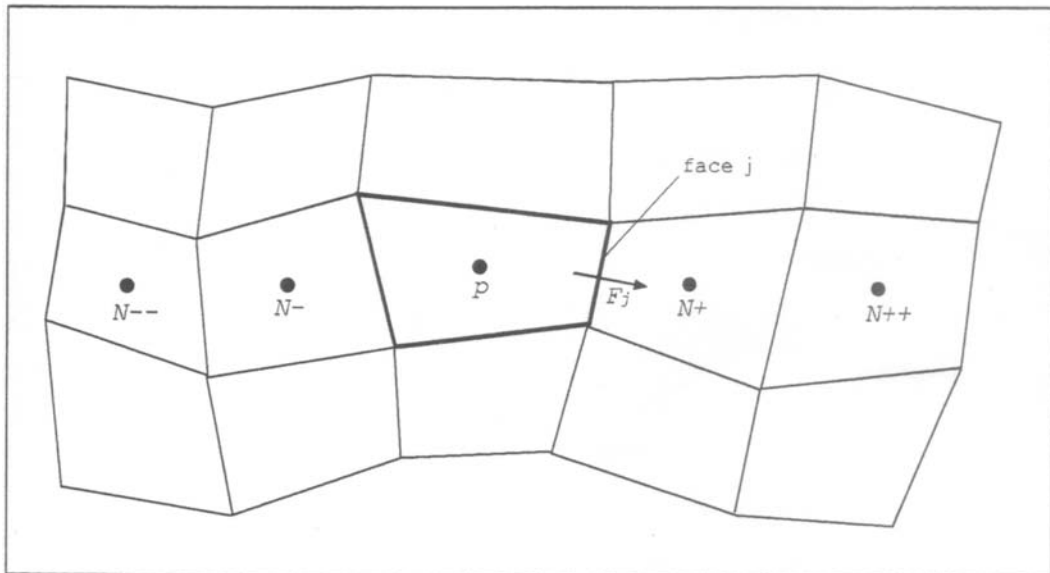


圖 2-2 對流通量示意圖

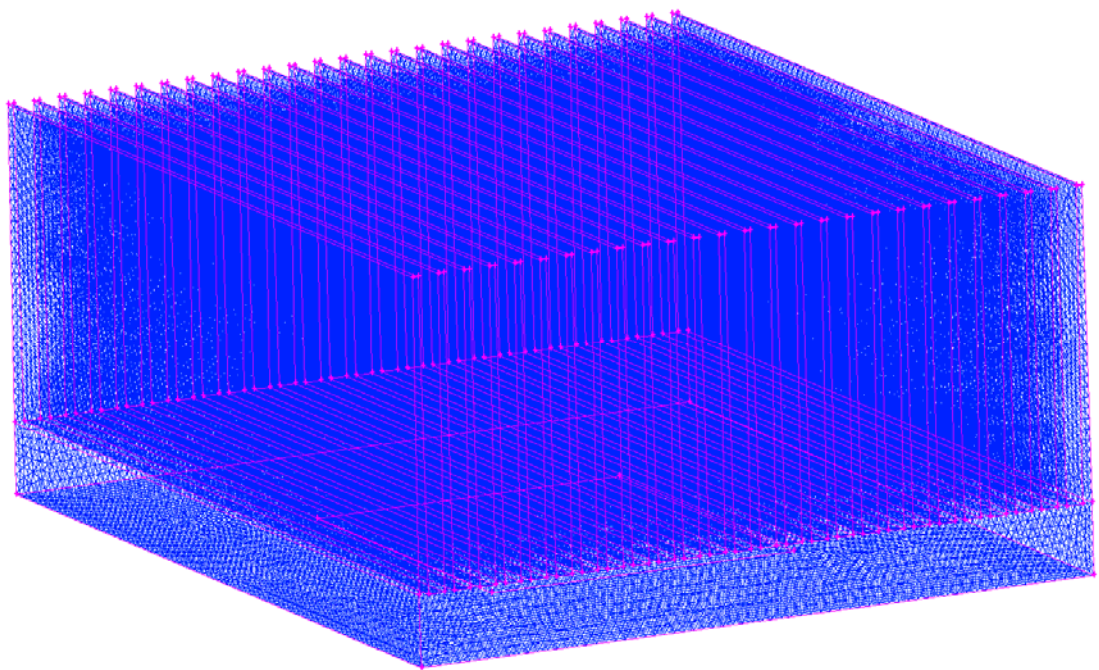


圖 2-3 網格示意圖

## 2.2 散熱鰭片散熱能力之實驗

### 2.2.1 加熱片原理

在量測散熱鰭片之散熱能力時，需要在散熱鰭片底部加一熱負載，在此使用加熱片來給予散熱鰭片發熱源，加熱片的原理如下：

將鎳鉻絲纏繞於孔洞分布均勻的電路板，並且連接電源供應器通以電流使其均勻發熱，外面包覆高熱傳導係數的銅箔藉此形成一個表面均溫且對於熱反應快速的發熱體。在其側邊利用相同製作過程的銅箔夾層緊靠來達成熱保護的效果，當這些銅箔夾層都加熱到相同溫度時，彼此間就不會有熱傳，藉此降低無法估計的熱損。銅箔的下表面緊貼巴沙木用以計算下方熱傳導帶走的熱損失，其餘的部份則貼覆絕熱泡棉使其熱損失降到最低。

加熱片的製作方法：

#### (1) 材料準備：

銅箔（厚度 0.05mm）、電路板（厚度 1.6mm）、直徑 0.17mm 之鎳鉻絲，鐵氟龍絕緣膠帶、巴沙木（厚度 1.5mm 和 6mm）、直徑 0.001mm 之 J-TYPE 熱電偶線、OMEGA 公司的 OB-200 導熱膠、AB 膠等。

#### (2) 製作銅箔夾層：

將厚度 1.6mm 之電路板裁成長度 31mm，寬度 11mm 之長條型，其內部有 48 個孔洞（12x4），表面有金屬的部份用砂紙磨去，並取中間且均勻分佈鑽三個通孔以便於放置熱偶線；於裁好的電路板上繞以細密且均勻間隔之鎳鉻絲，其纏法如圖 2-4 所示，注意鎳鉻絲需保持平整避免在電路板表面發生高突而與銅箔間隙太大，接著再將鐵氟龍絕緣膠帶包覆於纏好鎳鉻絲的電路板外用以與銅箔絕緣；切取尺寸為 31mmx24mm 厚度 0.05mm 之銅箔，將銅箔折成寬度為 11mm 之 U 字型，包覆於巴沙木外且銅箔表面需盡量保持平坦。並將穿過電路板夾層之三條熱電偶線黏貼於銅箔內側通孔對應的位置。

#### (3) 製作巴沙木夾層：

為了減少同組的三個加熱片間因為組合時產生的接觸熱阻，因此把一組加熱區塊所需的三個巴沙木夾層一起製作，將巴沙木（厚度 1.5mm 和 6mm）裁成一塊長度 31mm，寬度 35mm 之長方體，也就是三個銅箔夾層組合起來的大小，對照銅箔夾層適當的位置鑽九個通孔用來穿過所有的熱偶線。為求估算經由巴沙木的熱損失，在巴沙木（厚度為 1.5mm）上下放置熱偶線以量測溫度，用以求得藉由熱傳導耗散的熱量。

#### (4) 加熱片成形：

組裝時，最上層為銅箔夾層，中間為厚度 1.5mm 之巴沙木夾層，下層則為 6mm 之巴沙木夾層，熱偶線分別由各通孔拉出，銅箔夾層三條，中間巴沙木上下各三條，接著再將各層之間均勻塗上導熱膠，組合夾緊放置 24 小時待其乾燥固定，即可完成組裝工作。製作過程中需注意加熱面銅箔保持平整，以達到均溫效果。另外需注意加熱片有無縫隙，須以導熱膠或 AB 膠於適當的地方填補。

為準確的控制每個加熱片之輸入熱量，將每一加熱片分別連接至 GW 公司型號 GPC-3030D 的直流電源供應器，並且利用 UNI-T 公司型號 UT60E 的三用電表量測電壓與電流值。溫度量測部分則利用 OMEGA 公司 J-TYPE 熱偶線，配合 Yokogawa 公司型號 MX110 的資料擷取器，讀取各熱電偶線溫度值。並以 Yokogawa 公司型號 MX100 資料擷取卡，將熱偶線所量得的溫度值讀入個人電腦進行分析。

### 2.2.2 量測散熱鰭片自然對流之溫度

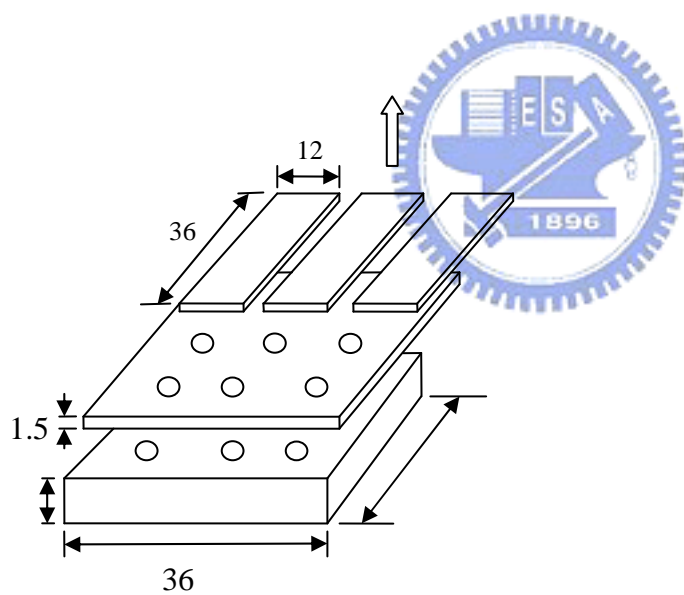
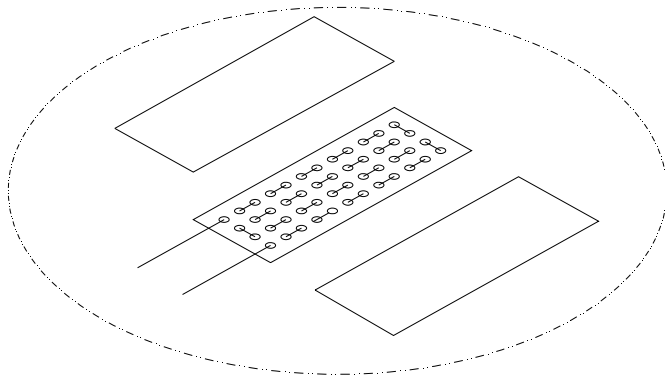
為了評估散熱鰭片之散熱能力，在散熱鰭片的底面置放一加熱片來模擬熱源，藉此量取此散熱鰭片在某個固定熱通量下，散熱鰭片底面的溫度。實驗設備如圖 2-5，散熱鰭片型式如圖 2-6。實驗步驟如下：

- (1) 開啟加熱片電源，輸入不同的電流以產生不同的熱通量。
- (2) 每 60 分鐘量取加熱片表面溫度，當兩次溫度差小於  $0.2^{\circ}\text{C}$  時則視系統已達穩態，紀錄溫度及電流大小。

- (3) 計算加熱片的熱損，計算總熱傳至散熱鰭片的熱通量。
- (4) 量得的溫度及熱通量即為在自然對流下，此散熱鰭片在發熱源為此熱通量下發熱源面之溫度。

實驗結果如表 2-1 及圖 2-7 所示，在不同熱源大小時，加熱片表面溫度隨之變化。由此可以跟數值模擬的結果做相互比對。在數值模擬中，把本實驗的六組熱源輸入，模擬相同散熱鰭片在自然對流下熱源面的溫度。實驗與模擬的對照結果如表 2-2 及圖 2-8，可得知在模擬散熱鰭片的自然對流下，熱源小時，無法估計的熱損相對來說較大，因此模擬值會比實驗值高上許多，誤差百分比達 28.8%，但是以絕對誤差來說，模擬值也比實驗值多上 3 度；而在熱源大時，因為熱損相對來說就減小了，因此溫度相對誤差也越少，僅有 8.6%。





單位：公釐

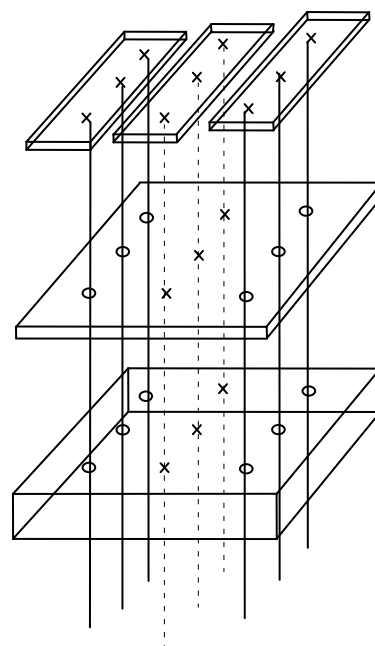


圖 2-4 加熱片結構圖



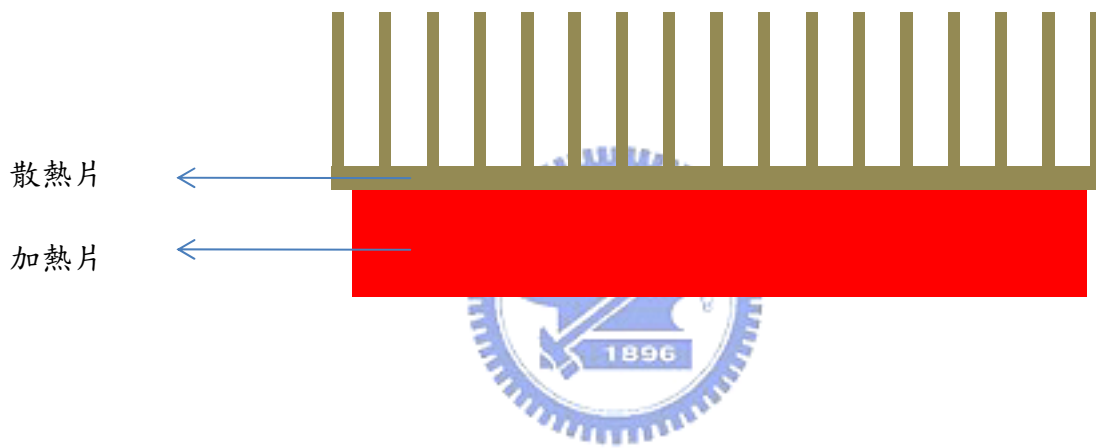


圖 2-5 量測散熱緒片效率實驗配置示意圖

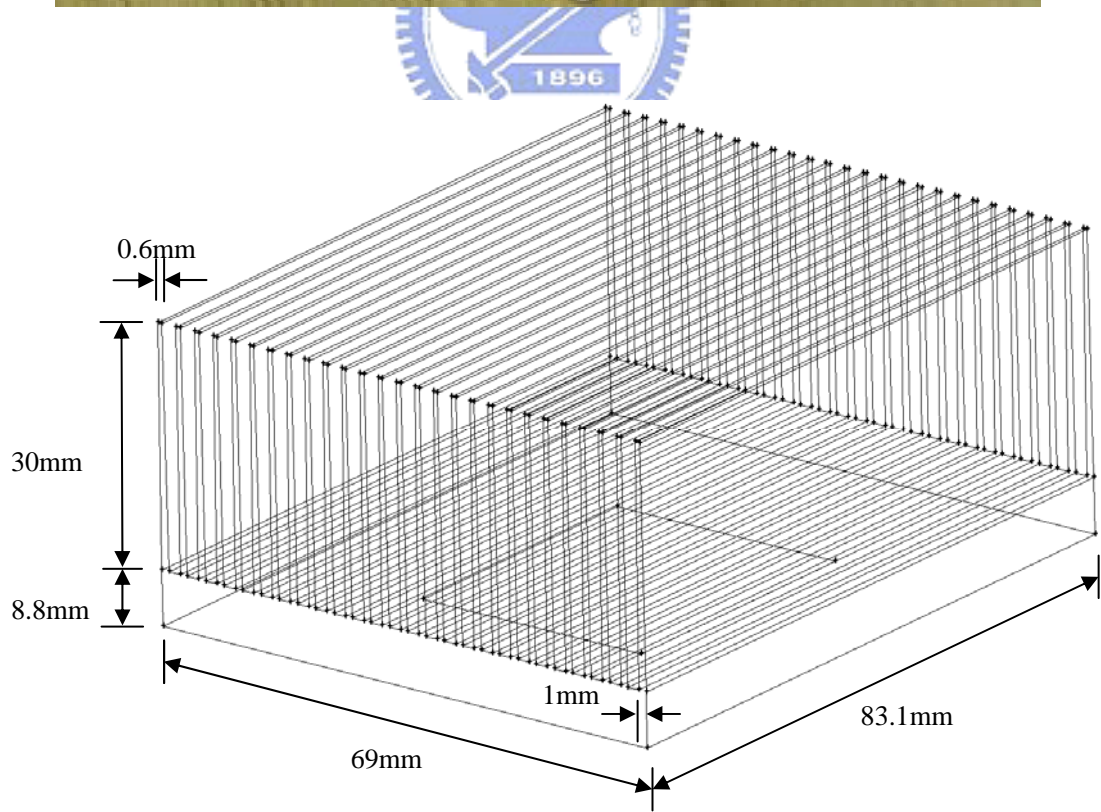
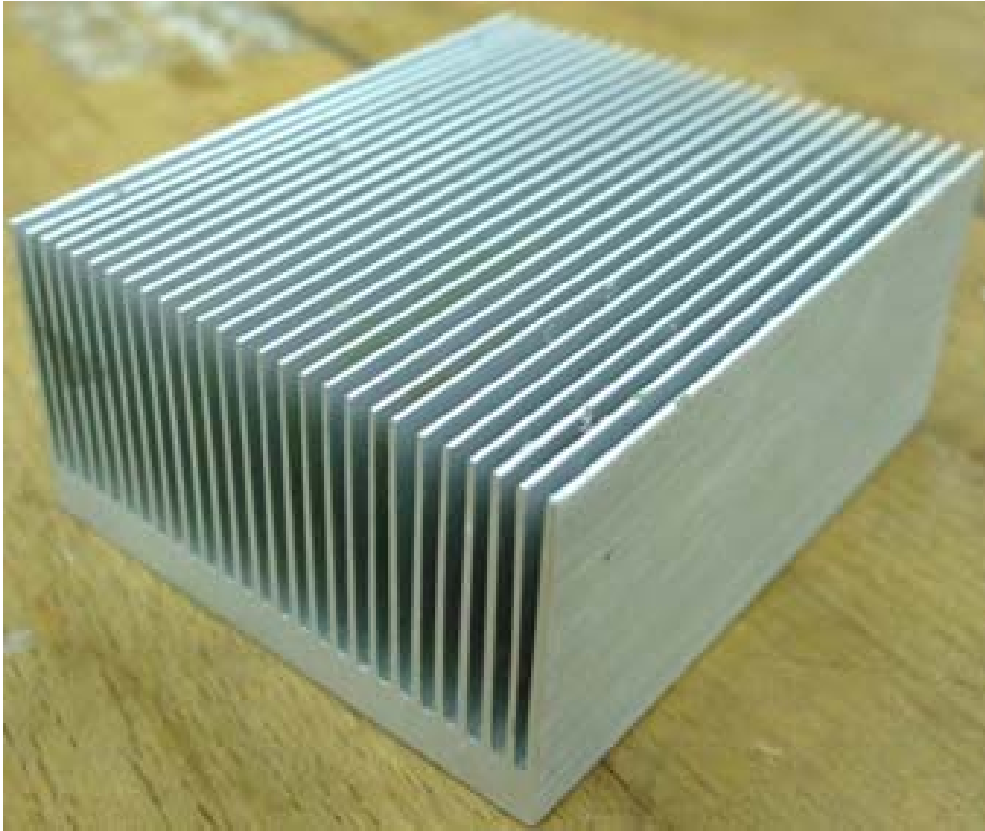


圖 2-6 散熱鰭片

表 2-1 散熱鰭片自然對流結果對照表

組數	熱源 (W)	室溫 (°C)	加熱片表面溫度 (°C)
Case1	0.594	25.5	35.9
Case2	1.591	26.6	41.6
Case3	2.991	28.4	49.0
Case4	4.401	28.1	56.1
Case5	5.833	26.3	62.5
Case6	10.356	25.1	80.7



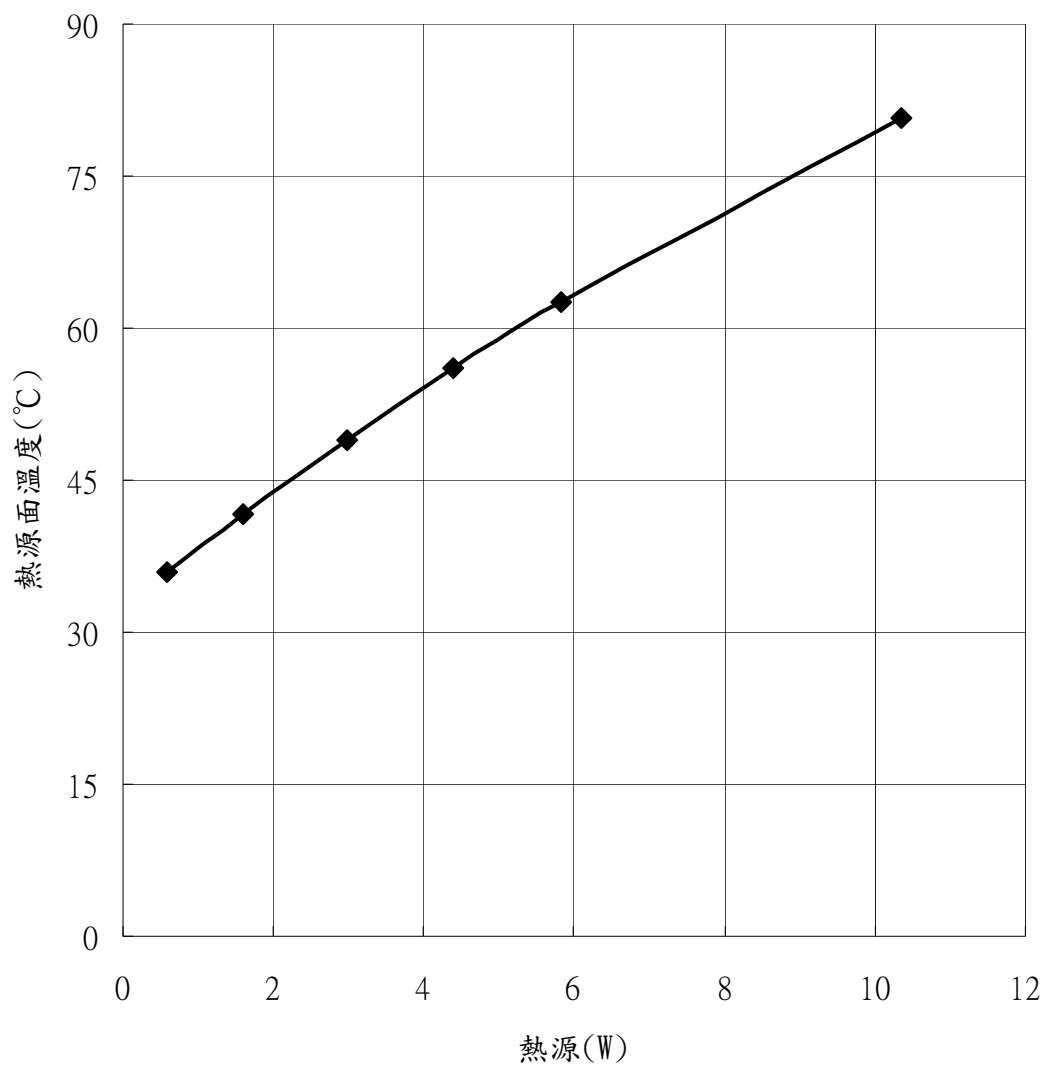


圖 2-7 散熱鰭片自然對流實驗結果圖

表 2-2 散熱鰭片自然對流實驗與模擬對照表

組數	熱源 (W)	室溫 (°C)	加熱片表面溫度 (°C)	模擬值 (°C)	誤差 (°C)	相對誤差 (%)
Case1	0.594	25.5	35.9	38.9	3.0	28.8
Case2	1.591	26.6	41.6	45.3	3.7	24.7
Case3	2.991	28.4	49.0	52.9	3.9	18.9
Case4	4.401	28.1	56.1	59.9	3.8	13.6
Case5	5.833	26.3	62.5	66.7	4.2	11.6
Case6	10.356	25.1	80.7	85.5	4.8	8.6



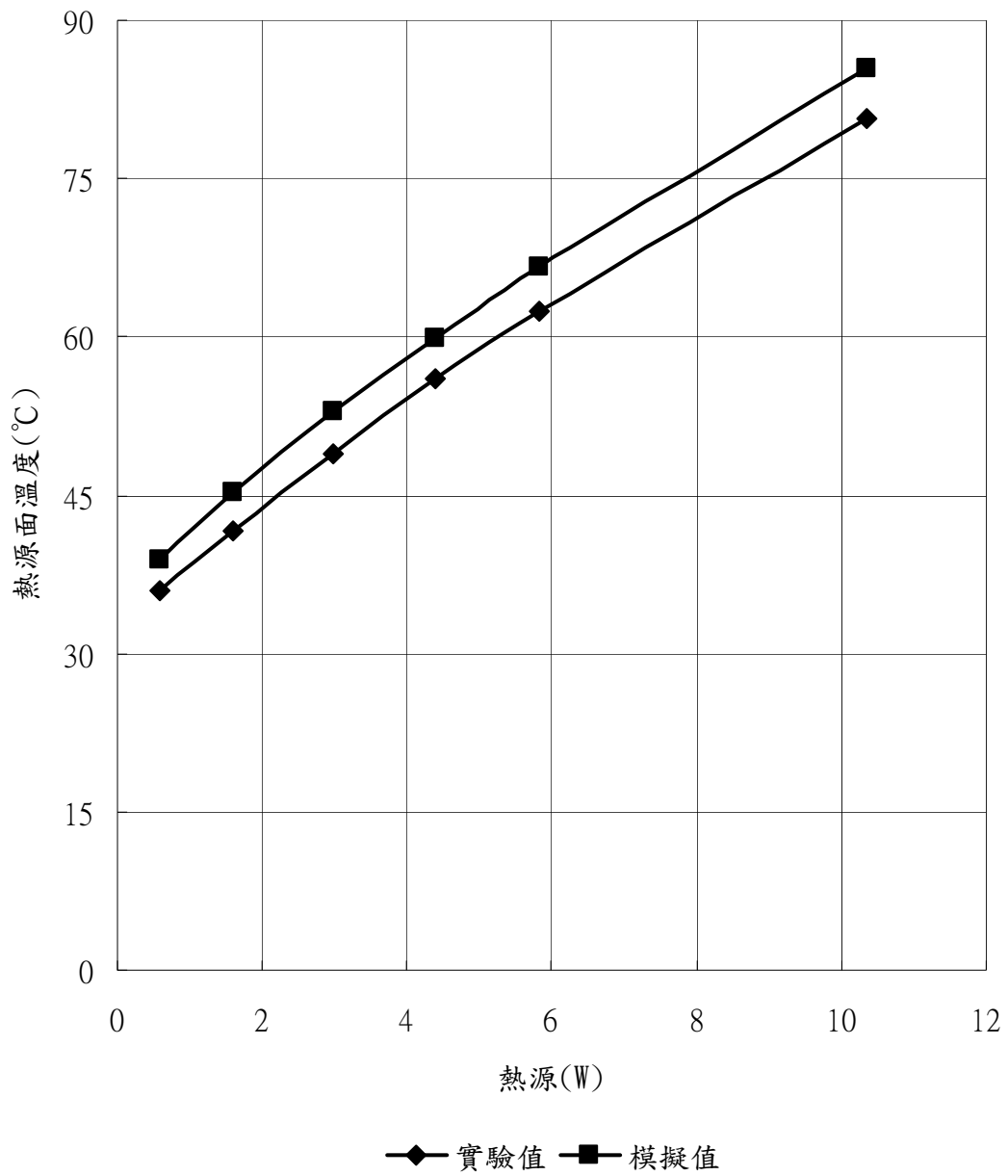


圖 2-8 散熱鰭片自然對流實驗與模擬對照圖

### 三、 熱電致冷器之性能

#### 3.1 熱電致冷器之物理模式

##### 3.1.1 熱電致冷器散熱系統

熱電致冷器的基本架構為兩片陶瓷基板，中間夾有數對 P-N 半導體，每對 P-N 半導體間以串連方式連接，如圖 3-1。

熱電致冷器應用在散熱上，可以有效降低熱源溫度，惟需配合散熱器來使用方能達到最大效益。因此熱電致冷器散熱系統的架構通常為熱電致冷器一端貼在發熱源上，另一端緊貼散熱器，如圖 3-2。

熱電致冷器基於賽貝克效應，當電流通過兩相異熱電材料時，在接觸面產生吸熱與放熱反應，因此可定義出冷端（Cold Side）與熱端（Hot side），把熱電致冷器視為一個熱泵（Heat Pump）如圖 3-3。當有一電流通過熱電致冷器時，在冷端會因為材料特性而吸熱（ $\dot{Q}_C$ ），熱端會放熱（ $\dot{Q}_H$ ）；而整個系統會因為通入電流而產生焦耳熱（ $\dot{Q}_J$ ），以及把能量由低溫傳遞到高溫所需做的功（ $\dot{W}$ ），除此之外，在系統內部會有一傳導熱（ $\dot{Q}_k$ ）由熱端回流至冷端。考慮在系統冷端有一熱負載（ $\dot{Q}_S$ ），熱端有一散熱器時，假設系統產生的焦耳熱會平均分配到冷端與熱端，若達穩態，兩端的能量方程式如下：

冷端

$$\frac{1}{2}\dot{Q}_J + \dot{Q}_S + \dot{Q}_k = \dot{Q}_C \quad (3-1)$$

熱端

$$\frac{1}{2}\dot{Q}_J + \dot{Q}_H = \dot{Q}_k + \dot{Q}_{HS} \quad (3-2)$$

系統的能量方程式如下：

$$\dot{Q}_J + \dot{W} + \dot{Q}_S = \dot{Q}_{HS} \quad (3-3)$$

其中

$$\dot{Q}_J = I^2 R \quad (3-4)$$

$$\dot{Q}_k = k \frac{A}{L} (T_H - T_C) \quad (3-5)$$

$$\dot{Q}_C = \alpha I T_C \quad (3-6)$$

$$\dot{Q}_H = \alpha I T_H \quad (3-7)$$

$$\dot{W} = \alpha I (T_H - T_C) \quad (3-8)$$

$I$  為輸入熱電致冷器的電流 (A)， $R$  為熱電致冷器的電阻 ( $\Omega$ )， $k$  為熱電致冷器之熱傳導係數 ( $W/m \cdot K$ )， $\dot{Q}_S$  為冷端負載 (W)， $A$  為熱電致冷器內部之熱傳導面積 ( $m^2$ )， $L$  為熱電致冷器冷熱端之距離 (m)， $T_H$  為熱電致冷器之熱端溫度 (K)， $T_C$  為熱電致冷器之冷端溫度 (K)， $\dot{Q}_{HS}$  為熱端熱傳導至散熱器的熱通量 (W)。

使用熱電致冷器散熱系統時，要冷卻一發熱源  $\dot{Q}_S$  使之溫度達到  $T_S$ ，假設熱電致冷器冷面與發熱源接觸面及熱電致冷器熱面與散熱器接觸面沒有接觸熱阻，則  $T_S = T_C$ 。由式(3-1)、(3-4)、(3-5)、(3-6)可得

$$\frac{1}{2} I^2 R + \dot{Q}_S + k \frac{A}{L} (T_H - T_C) = \alpha I T_C \quad (3-9)$$

在熱電致冷器的熱端通常會放置一散熱器以排除從冷端傳過來的熱量，散熱器的種類很多，有風扇、散熱鰭片、熱導管、水冷系統等等。本文使用散熱鰭片來進行後端排熱的動作，鰭片材質為最常使用的鋁鰭片，型式如圖 2-6 所示。

### 3.1.2 熱電致冷器之效率

在使用熱電致冷器之前，需要對熱電致冷器的材料性質與性能做全盤的了解才能決定如何使用熱電致冷器於一熱電致冷器散熱系統上。熱電致冷器在材料特性上有幾個參數是必須知道的： $\alpha$  與  $k$  及  $R$ ，即熱電致冷器之賽貝克係數、熱傳導係數、及電阻。



在此以市售由碲化鉍 ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ) 材料製成的熱電致冷器 TEC1-07103 為例，幾項材料參數  $\alpha = 0.0002$  ( $\text{V}/\text{K}$ )， $r = 0.00001$  ( $\Omega \cdot \text{m}$ )， $k = 1.5$  ( $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$ )， $\alpha$  為賽貝克係數， $r$  為單位長度的電阻， $k$  為熱傳導係數，在室溫 ( $27^\circ\text{C}$ ) 下熱電優值 ( $ZT$ ) 為 0.8。以上為單一熱電材料晶柱的性質，而熱電致冷器在使用上是以數對晶柱來串連成熱電致冷器，因此單一熱電致冷器的材料特性如下：

$$\alpha_{tec} = 2 \cdot N \cdot \alpha \quad (\text{V}/\text{K})$$

$$R_{tec} = 2 \cdot N \cdot r \frac{L}{A} \quad (\Omega)$$

$$L = 0.0035 \quad (\text{m}), \quad A = 1.82 \times 10^{-6} \quad (\text{m}^2)$$

在熱電致冷器的性能上，由表 3-1 可得知一熱電致冷器在使用上有幾項規格須要注意，即熱電致冷器冷熱端之最大電流 ( $I_{\max.}$ )、最大電壓 ( $V_{\max.}$ )、最大致冷量 ( $\dot{Q}_{c \max.}$ )、最大溫差 ( $\Delta T_{\max.}$ )。最大溫差是指當把熱電致冷器熱端維持在  $27^\circ\text{C}$ ，而冷端絕熱時，此熱電致冷器所能達到的最大溫差；而最大電流及最大電壓則是此時供給熱電致冷器的電流與電壓。另外最大致冷量則是在最大電流之下，當熱端維持在  $27^\circ\text{C}$  時，冷端加一熱負載使冷端也維持  $27^\circ\text{C}$ ，此時這個熱負載即為最大致冷量。

這些數值可以根據熱電致冷器的能量方程式來計算，由式 (3-9)， $\dot{Q}_s$  為零時，

$$\frac{1}{2} I^2 R + k \frac{A}{L} (T_H - T_C) = \alpha I T_C \quad (3-10)$$

在某個  $I$  之下可得到一最小的  $T_C$ ，此  $I$  即為  $I_{\max.}$ ， $T_H - T_C$  則為  $\Delta T_{\max.}$ ；若要計算

$\dot{Q}_{c \max.}$ ，令  $T_H = T_C$ ，(3-9) 即可化簡成下式

$$\frac{1}{2} I^2 R + \dot{Q}_s = \alpha I T_C \quad (3-11)$$

當  $I = I_{\max.}$ ， $\dot{Q}_s$  即為  $\dot{Q}_{c \max.}$ 。

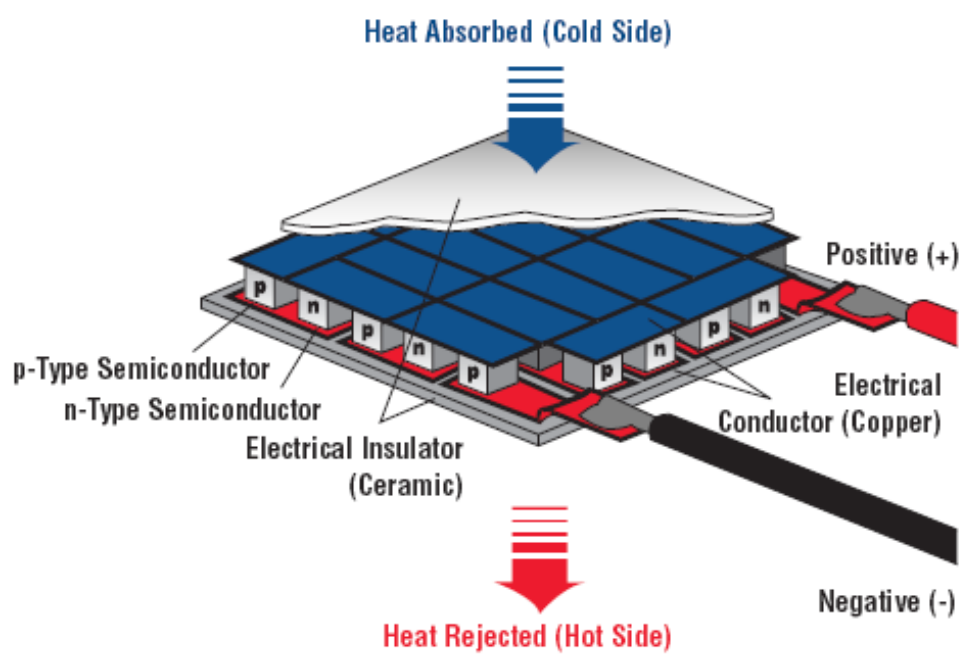


圖 3-1 熱電致冷器示意圖

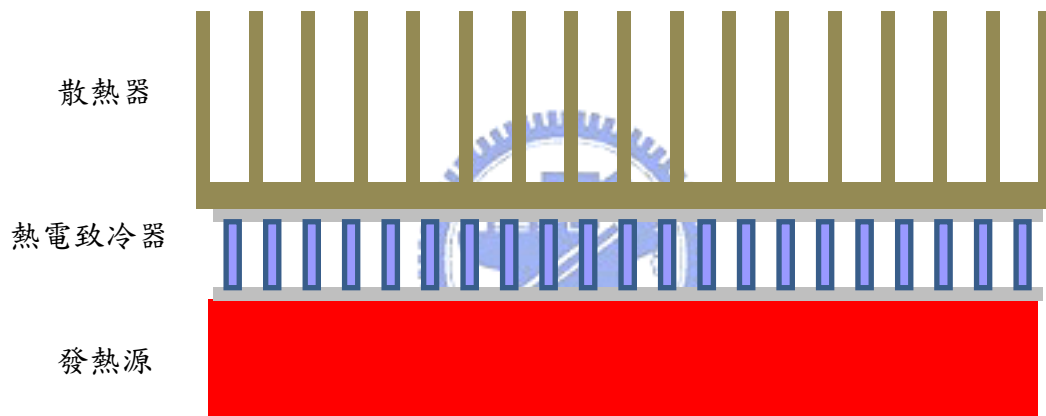


圖 3-2 熱電致冷器散熱系統

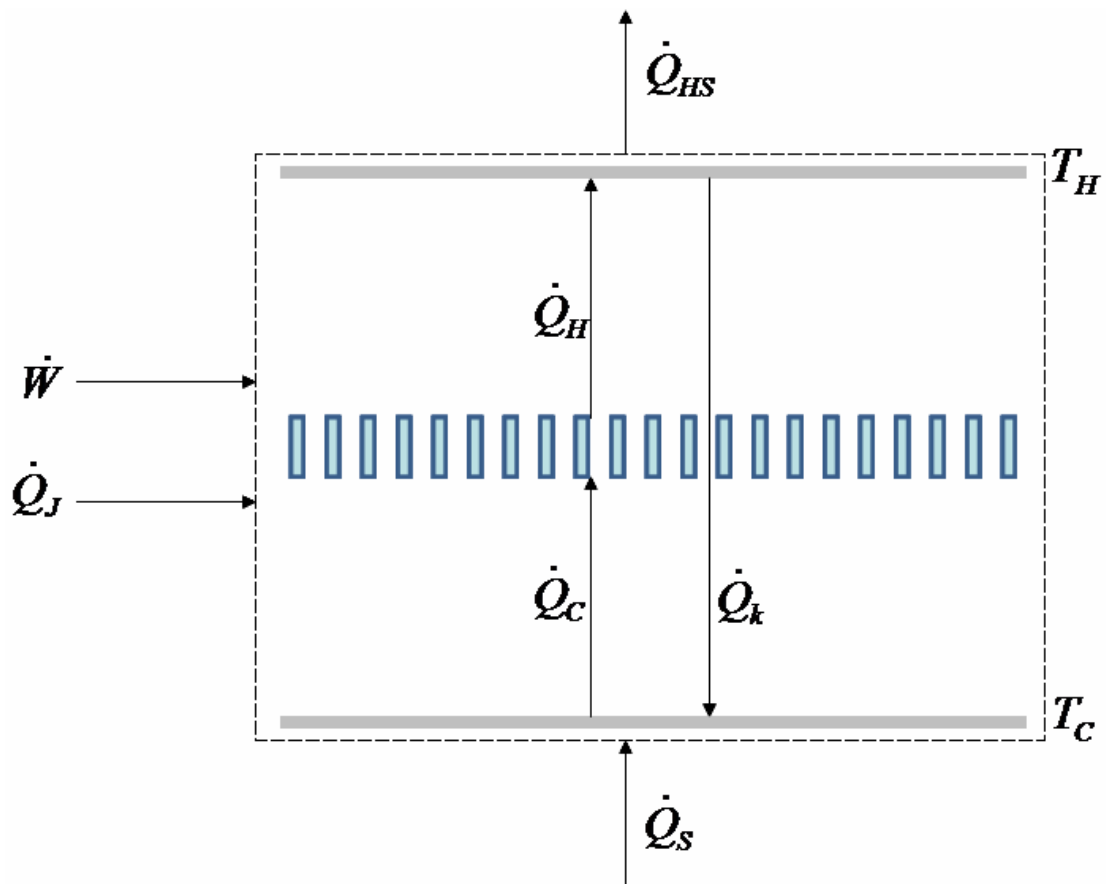


圖 3-3 熱電致冷器熱泵圖

表 3-1 熱電致冷器規格表

Part No.	Dimension LxWxH(mm)	Couples	I <sub>max</sub> (A)	V <sub>max</sub> (V)	Q <sub>c max</sub> (W)	ΔT <sub>max</sub> (°C)
TEC1 07103	30x30x4.8	71	3.00	8.1	16.40	68.0



### 3.2 熱電致冷器效率之實驗

為了了解熱電致冷器之效率，在此需要量取熱電致冷器之最大溫差、最大電流與電壓及最大致冷量。

量測最大溫差時，首先需要把熱電致冷器的熱端維持在  $27^{\circ}\text{C}$ ，而冷端絕熱。在本實驗中，熱電致冷器的熱端緊貼一散熱鰭片，並以一風扇做強制對流，冷端則包覆多層絕熱泡綿把熱損降到最低。另外在冷熱端各放一熱電偶線來量測溫度，實驗設備配置如圖 3-4，散熱鰭片型式如圖 2-6。實驗步驟如下：

- (1) 開啟風扇電源，開啟熱電致冷器電源。
- (2) 熱電致冷器輸入初始電壓，此電壓不宜過大。
- (3) 每 60 分鐘量取冷端及熱端溫度一次，當兩次溫度差小於  $0.2^{\circ}\text{C}$  時則視系統已達穩態，並計算冷熱端溫差。
- (4) 每次系統達穩態後電壓增加 0.2 伏特，並重複步驟 (3)。
- (5) 當冷熱端溫差隨著電壓增加而減小時，結束實驗。
- (6) 冷熱端溫差減少前所量得的電流、電壓、冷熱端溫差即為最大電流、最大電壓、最大溫差。

量測最大致冷量時，輸入上面量測到的最大電流，並且在冷端放置加熱片當做發熱源使冷熱端皆維持在  $27^{\circ}\text{C}$  即可。實驗設備配置如圖 3-5。實驗步驟如下：

- (1) 開啟風扇電源，開啟熱電致冷器電源。
- (2) 熱電致冷器輸入最大電流。
- (3) 加熱片輸入初始電流，每 60 分鐘量取冷端及熱端溫度一次，當兩次溫度差小於  $0.2^{\circ}\text{C}$  時則視系統已達穩態，並計算冷熱端溫差。
- (4) 每次系統達穩態後電壓增加 0.1 安培，並重複步驟 (3)。
- (5) 當冷熱端溫差為零時，結束實驗。計算加熱片對熱電致冷器冷端的熱通量，此熱通量即為最大致冷量。

在本實驗中，使用加熱片來模擬熱源，最理想的狀況為所有熱量皆傳遞到銅

箔上，但實驗中熱量損失無可避免，在忽略熱輻射的前提下，當熱量輸入加熱片後，有三種傳遞的途徑，一為經由表面的銅箔傳入熱電致冷器，另一為經由巴沙木向後方散逸，第三部分則為加熱片彼此間的熱傳，詳細熱損計算原理如下：

(1) 輸入加熱片的能量：

電源供應器提供加熱片能量，輸入能量為輸入電流平方和鎳鉻絲電阻值乘積

$$\dot{Q}_{in} = I^2 R \quad (3-12)$$

(2) 散逸的能量：

雖然巴沙木背面加有絕熱泡棉，但仍有熱量由此散逸

$$\dot{Q}_{lose} = k_b \times A_b \times dT / dy \quad (3-13)$$

式中  $k_b$  為巴沙木熱傳導係數=0.055 ( $W/mK$ )

$A_b$  為巴沙木面積=0.031×0.012=3.72×10<sup>-4</sup> ( $m^2$ )

$dT$  為巴沙木兩端溫度差 ( $^{\circ}C$ )

$dy$  為巴沙木厚度=0.0015 ( $m$ )

(3) 加熱片間熱傳：

因加熱片有熱保護措施防護其中，故加熱片間彼此的熱傳效應幾乎微乎其微，故可以忽略不計。

在本實驗中因為僅用風扇做強制對流，因此無法完全把熱端維持在 27 $^{\circ}C$ ，對結果產生些微的影響，實驗結果與廠商規格對照如表 3-2 所示。由表 3-2 (a) 中可知，第四組實驗數據即為量得的最大溫差及最大電流、最大電壓，因此把此最大電流輸入熱電致冷器，即可量得最大致冷量，如表 3-2 (b) 所示。

另外在量測最大電壓、最大電流、最大溫差的實驗中，熱端僅能維持在 35 $^{\circ}C$ ，此時冷端為-27.7 $^{\circ}C$ ，由表 3-2 (c)，廠商規格的最高溫差為 68 $^{\circ}C$ ，而熱端定義為 27 $^{\circ}C$ ，因此冷端即為-41 $^{\circ}C$ 。本實驗所量得的冷端溫度比定義的為高，因此由式 (3-10)，最高溫差應該會比廠商規格的 68 $^{\circ}C$  高，但在本實驗中量得的最大

溫差僅為  $62.7^{\circ}\text{C}$ ，這是因為在冷端絕熱的部分僅是以多層絕熱泡綿包覆，無法完全絕熱，使得冷端從外界吸熱，冷端溫度上升，最大溫差因此下降。

而在量測最大致冷量的實驗中，冷熱端皆只能維持在  $45.7^{\circ}\text{C}$ ，比定義的  $27^{\circ}\text{C}$  高，由式 (3-11)，量得的最大致冷量會比定義為高。由表 3-2 (a)，本實驗量得的最大致冷量為  $17.04\text{W}$ ，比廠商規格中的  $16.4\text{W}$  高，符合理論計算。





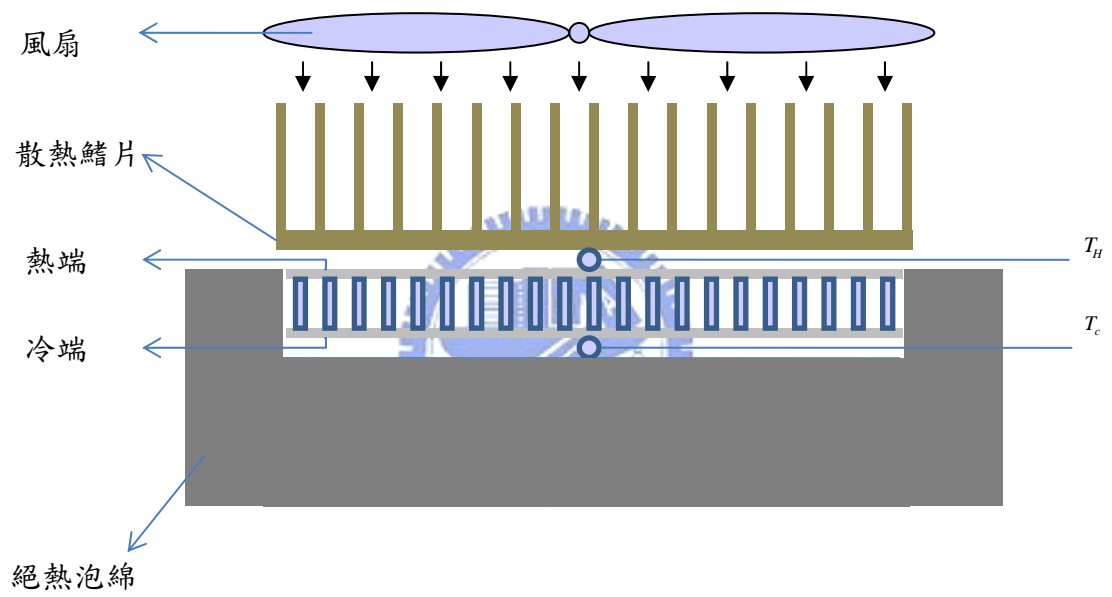


圖 3-4 量測最大電流、電壓、溫差實驗配置示意圖

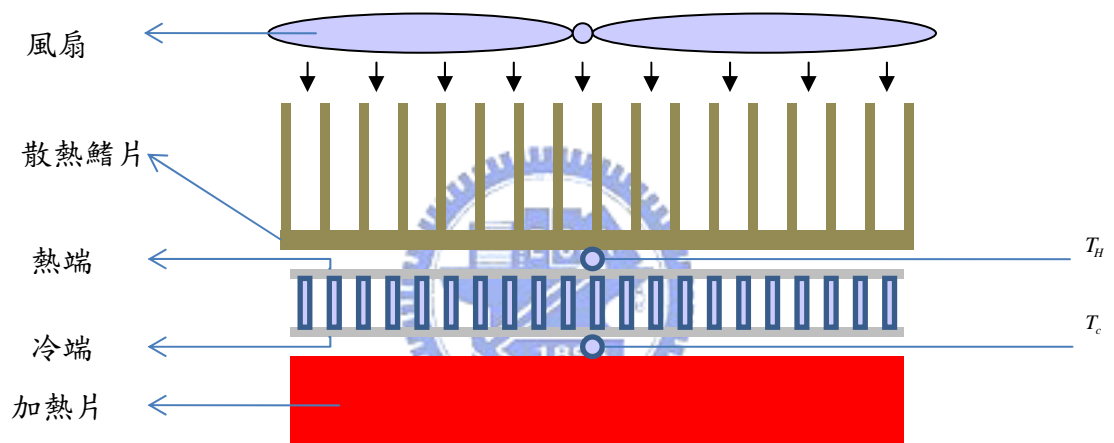


圖 3-5 量測最大致冷量實驗配置示意圖

表 3-2 熱電致冷器實驗規格對照表

組數	電壓(V)	電流(A)	Th(°C)	Tc(°C)	ΔT(°C)
Case1	7.6	2.73	34.2	-27.2	61.4
Case2	7.8	2.82	34.5	-27.5	62.0
Case3	8.0	2.88	34.8	-27.4	62.2
Case4	8.2	2.95	35.0	-27.7	62.7
Case5	8.4	3.02	35.3	-27.3	62.6
Case6	8.6	3.09	35.6	-27.0	62.6

(a) 量測最大電壓、最大電流、最大溫差。環境溫度為 27.5°C

電壓(V)	電流(A)	Th(°C)	Tc(°C)	Q(W)
8.0	2.95	45.7	45.7	17.04

(b) 量測最大致冷量。環境溫度為 27.8°C

	I <sub>max.</sub> (A)	V <sub>max.</sub> (V)	$\dot{Q}_c$ max. (W)	ΔT max. (°C)
廠商規格	3.00	8.1	16.40	68.0
實驗值	2.95	8.2	17.04	62.7

(c) 實驗值與廠商規格對照

### 3.3 散熱鰭片對熱電致冷器之性能影響

由表 2-2 的結果可知，以數值模擬散熱片的自然對流結果是相當成功的，因此可進一步考慮散熱鰭片對熱電致冷器的影響。

使用熱電致冷器散熱系統時，要冷卻一發熱源  $\dot{Q}_S$  使之溫度達到  $T_S$ ，假設熱電致冷器冷面與發熱源接觸面及熱電致冷器熱面與散熱器接觸面沒有接觸熱阻，則  $T_S = T_C$ 。由(3-9)可得

$$T_H = f(I) \quad (3-14)$$

輸入不同的電流  $I$ ，即可得到不同的  $T_H$ 。

由(3-3)、(3-4)、(3-8)可得

$$I^2 R + \alpha I(T_H - T_C) + \dot{Q}_S = \dot{Q}_{HS} \quad (3-15)$$

由(3-14)、(3-15)得

$$\dot{Q}_{HS} = f^*(I) \quad (3-16)$$

由以上可知，當要評估一熱電致冷器散熱系統的性能時，在已知發熱源的情況下，要使發熱源面達到所需要的溫度 ( $T_C$ )，只要輸入一  $I$  值，即可求出散熱器所需帶走的熱通量  $\dot{Q}_{HS}$ ，也可就此結果來決定當固定電流大小時散熱器的型式或固定散熱器型式時所需通入的電流大小。

假設發熱源  $\dot{Q}_S$  緊貼在熱電致冷器的冷面，要使熱源與冷面接合處的溫度達到  $T_C$ ，在已知型式的散熱器下(圖 2-6)，需要輸入電流  $I$ 。由式(3-9)及(3-15)，固定  $\dot{Q}_S$  及  $T_C$  時，熱電致冷器輸入一初始電流  $I$  可得熱面溫度  $T_H$  及散熱鰭片的熱通量  $\dot{Q}_{HS}$ ，此  $\dot{Q}_{HS}$  即是在數值模擬散熱片自然對流中所輸入的熱源大小。

在數值計算中，把  $\dot{Q}_{HS}$  視為散熱鰭片底部熱通量大小，因此能計算出此散熱鰭片在底部熱通量為  $\dot{Q}_{HS}$  時，穩態後散熱鰭片底部的溫度  $T_H^*$ ，接下來就要比較  $T_H^*$

與 $T_H$ 的差異。由式(3-9)及(3-15)所計算得到的 $T_H$ 意義即為在此電流 $I$ 下，要使發熱源溫度維持在 $T_C$ 時，熱電致冷器的熱端需要維持在 $T_H$ ，而在此情況下熱端的散熱器需帶走 $\dot{Q}_{HS}$ 的熱通量。但若在數值計算中所得到的散熱鰭片底面溫度 $T_H^*$ 與 $T_H$ 相差甚大，即表示此散熱鰭片在底面為 $\dot{Q}_{HS}$ 的熱通量下，無法達到 $T_H$ 的溫度，因此要重新改變 $I$ 的值，計算出新的 $T_H$ 、 $\dot{Q}_{HS}$ ，並以數值計算再一次算出新的 $T_H^*$ 。

當 $|T_H - T_H^*| < 0.1$ 時，即可結束計算，此時即可得知此熱電致冷器散熱系統在發熱源為 $\dot{Q}_S$ 下，要把發熱源維持在 $T_C$ 時，熱電致冷器需要輸入的電流 $I$ 為多少，即為輸入的電功率為多少，就此來評估此熱電致冷器散熱系統的效能。整個系統的計算流程圖如圖3-6所示。

在此若熱源 $\dot{Q}_S$ 為4W，則此熱電致冷器散熱系統的效能如表3-3及圖3-7所示，可發現要使 $T_C$ 維持在越低溫，則熱電致冷器的耗電功率將會越大，因此在使用熱電致冷器散熱系統時，發熱源所要達到的溫度及熱電致冷器耗電量的取捨亦是一個需要考量的問題。

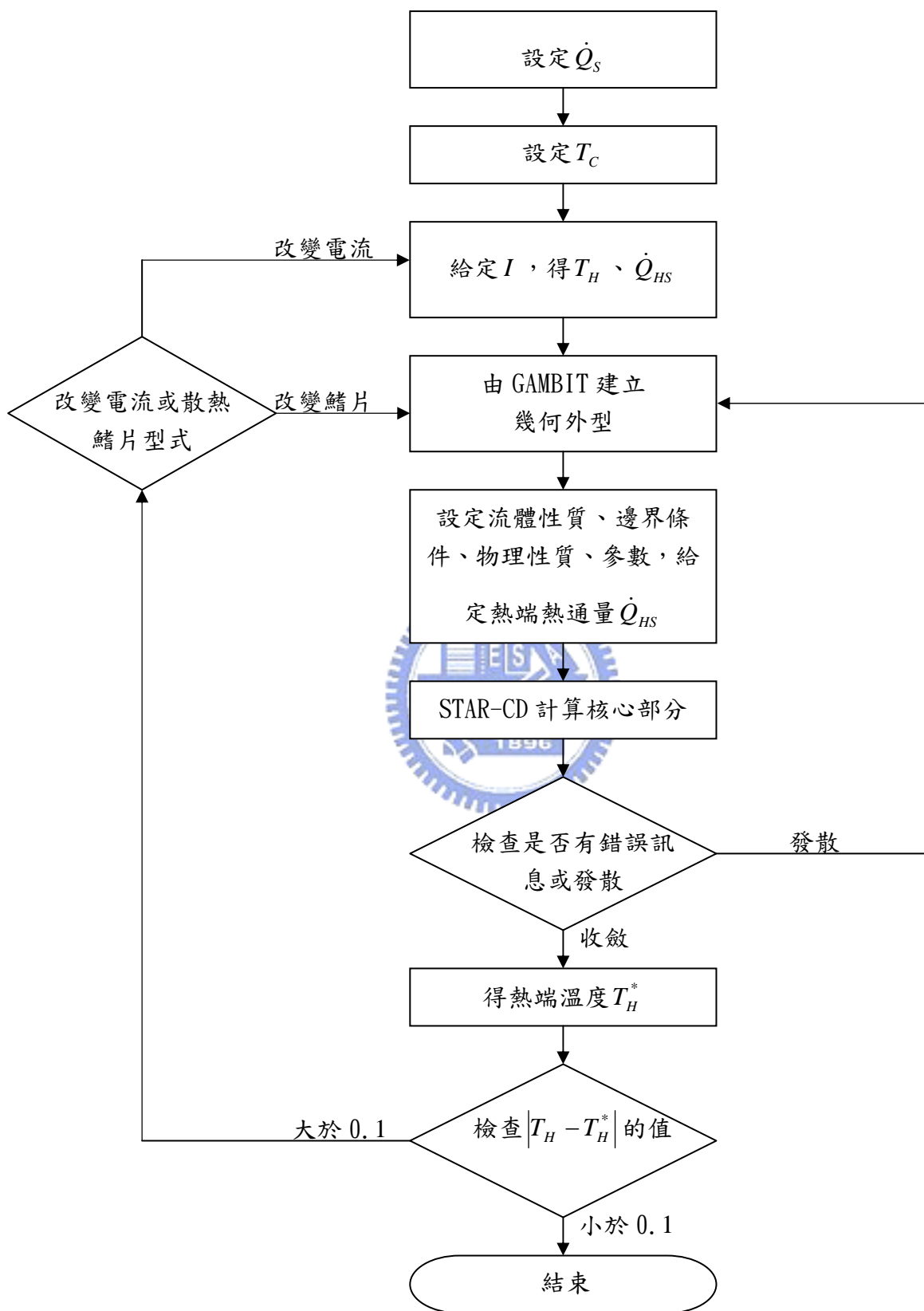
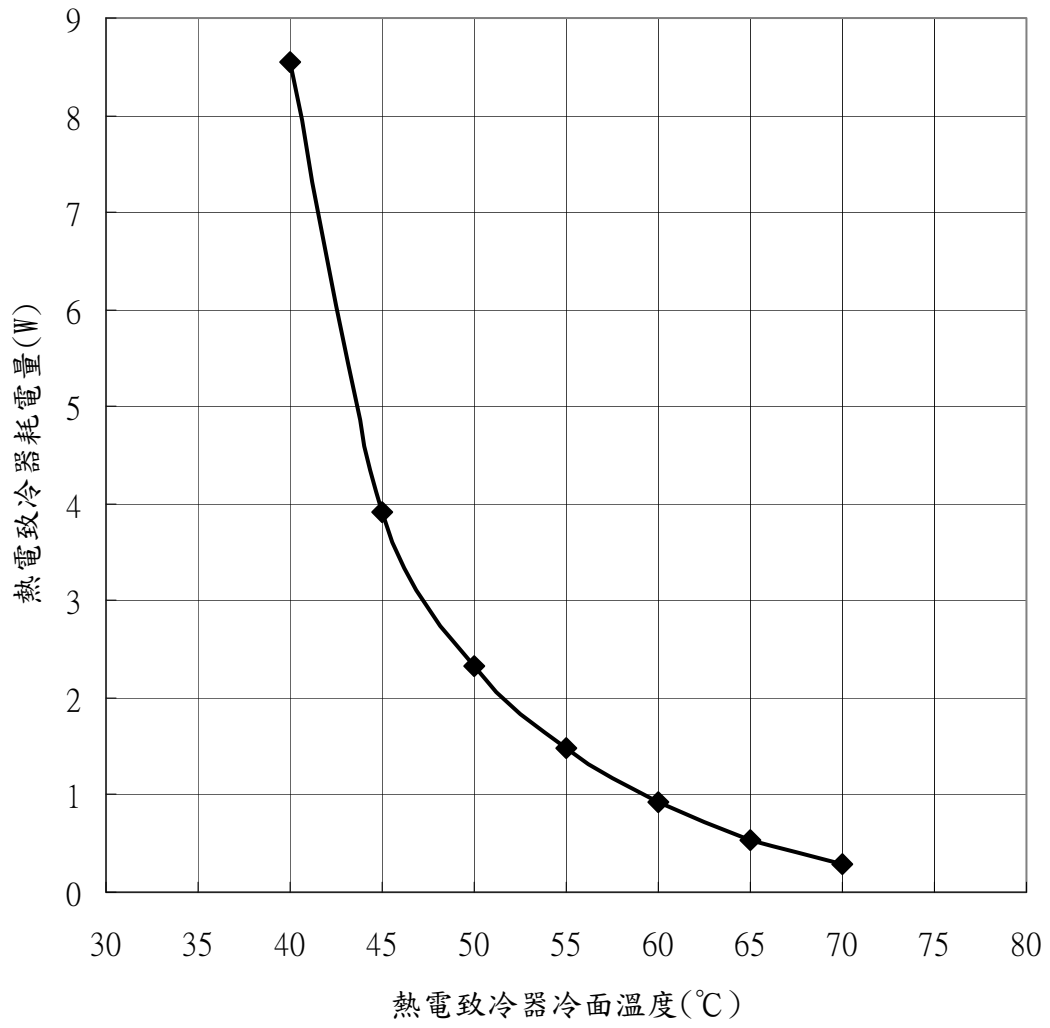


圖 3-6 計算流程圖

表 3-3 熱電致冷器散熱系統耗電量與溫度對照表

發熱源：4W

組數	$T_c$ (°C)	$I$ (A)	熱電致 冷器耗 電量 (W)	$\dot{Q}_{HS}$ (W)	$T_H$ (°C)	$T_H^*$ (°C)	$ T_H - T_H^* $ (°C)
Case1	40	1.50	8.55	13.43	96.6	96.6	0.0
Case2	45	1.03	3.91	8.87	79.8	79.7	0.1
Case3	50	0.81	2.32	7.30	73.0	73.1	0.1
Case4	55	0.67	1.48	6.47	69.4	69.3	0.1
Case5	60	0.55	0.92	5.91	66.8	66.8	0.0
Case6	65	0.45	0.54	5.54	65.0	65.0	0.0
Case7	70	0.36	0.29	5.30	64.0	63.9	0.1



發熱源：4W

圖 3-7 熱電致冷器散熱系統耗電量與溫度對照圖



## 四、熱電致冷器散熱系統應用於 LED 之實驗

### 4.1 實驗目的

在人類的生活中，照明是一不可或缺的因素。近年來，隨著環保意識抬頭，標榜省電與節能的消費性產品逐漸為大眾所關注，傳統的照明設備如燈泡將被其他高效能的發光元件所替代。

LED 自從 1970 年代開始商業化後持續蓬勃發展，現今的白光 LED 的用途已逐漸轉移到照明的領域，但是高功率 LED 在使用上仍有許多問題需要解決，最主要的即是散熱不易。由於高功率 LED 在輸入功率上只有 15~20% 轉換為光能，其餘都轉換為廢熱，如果這些熱無法即時排出將會使 LED 晶粒界面溫度過高，進而影響 LED 的發光效率及使用壽命。

傳統使用上 LED 的散熱設備一般以散熱片為主，熱量透過 LED 本體及 PCB 板熱傳至散熱片上。但是 LED 由於本身封裝的限制，點熱源的問題及本身材料熱阻抗大，散熱片的散熱效果有限，各種散熱方式遂因應而生，但至今仍無一有效的方法能完全解決高溫的問題。

在本文的研究中，嘗試以熱電致冷器散熱系統來處理 LED 的散熱問題。熱電致冷器散熱系統對於 LED 的散熱有諸多優點如下：

- 一、體積小，構造簡單：熱電致冷器散熱系統不需要龐大的體積（如壓縮機）或複雜的元件（如風扇）來進行散熱，可靠性高。
- 二、主動式散熱：大部分應用於 LED 之散熱方法皆為被動式散熱，只能消極的防止 LED 溫度上升。而熱電致冷器散熱系統以熱電現象為基礎，隨著通過電流的大小可主動控制散熱效果，因應不同的操作環境來改變耗能，使用彈性大。
- 三、溫控精準：由於 LED 亮度會隨著溫度而衰減，因此在一般散熱方式上會有亮度不均的情形發生。熱電致冷器散熱系統可透過改變電流大小與方向來穩定維持 LED 在低溫下操作，提升 LED 效率與使用壽命，穩定

的亮度對於照明來說更是一必要條件。

綜觀以上各點，使用熱電致冷器散熱系統於 LED 散熱上有實質的可行性，在此將以不同型號之熱電致冷器配合不同類型之 LED 樣品來實際量測在熱電致冷器通入不同電流時對於 LED 之散熱效果及效能提升，以及不同封裝之 LED 對於使用熱電致冷器之成效。



## 4.2 實驗設備

在本實驗中使用四組不同的 LED 樣品配合熱電致冷器散熱系統來量測 LED 在不同耗電量時，熱電致冷器輸入不同電流所造成的溫度下降以及相對照度的提升，比較 LED 配合熱電致冷器散熱系統的耗電量提升與相對照度的增加百分比，評估使用熱電致冷器散熱系統於 LED 上之優缺點。

本實驗使用的四組 LED 樣品，分為 S1、S2、S3、S4，分別為相異之封裝結構，並配合適當型號之熱電致冷器及散熱鰭片，以此比較不同封裝結構之 LED 對於使用熱電致冷器散熱系統的成效。

以下為四組樣品的簡介：

### (1) S1：

S1 樣品是單顆 LED 的結構，如圖 4-1 所示，整個 LED 焊於一星狀 PCB 板上，在 PCB 板上有電極來輸入電流，而 PCB 板與 LED 接觸面為絕緣層，有電路分佈於其上，而另一面與熱電致冷器散熱系統的接觸面則為鋁材。

與 S1 配合之熱電致冷器型號為 TEC1-03103，相關規格如表 4-1 所示。使用於此熱電致冷器之散熱鰭片型式如圖 4-2 所示。而 S1 與熱電致冷器散熱系統的配置為 S1-熱電致冷器-散熱鰭片，如圖 4-3 所示。

在整個 LED-熱電致冷器散熱系統中，因為 S1 結構的關係，選取的 LED 測溫點為 S1 的 PCB 板與空氣間的接觸面，如圖 4-4 所示。

### (2) S2：

S2 樣品也是單顆 LED 的結構，如圖 4-5 所示，S2 與 S1 最大的不同在於 S2 沒有 PCB 板，而是直接從封裝內部拉出腳位當做電極。有別於 S1 透過 PCB 板來與散熱器接合，S2 於封裝內部延伸出一圓形鋁板，略為突出於 LED 底部，以之來跟散熱器做接觸面。

與 S2 配合之熱電致冷器型號為 TES1-00703，相關規格如表 4-1 所示。使用於此熱電致冷器之散熱鰭片型式如圖 4-2 所示。而 S2 與熱電致冷器散熱系統的

配置為 S2-熱電致冷器-散熱鰭片，如圖 4-6 所示。

在整個 LED-熱電致冷器散熱系統中，因為 S2 結構的關係，選取的 LED 測溫點為 S2 的發光表面，如圖 4-4 所示。

(3) S3：

S3 樣品與 S1 和 S2 不同，是完整的 LED 燈條，如圖 4-7 所示，共有 2 排 16 顆 LED，共 32 顆 LED 焊於 PCB 板上。PCB 板與 LED 接觸面為絕緣層，有電路分佈於其上，而另一面與熱電致冷器散熱系統的接觸面則為鋁材。

與 S3 配合之熱電致冷器型號為 TEC1-12704，相關規格如表 4-1 所示，由於 LED 燈條尺寸的關係，在此使用了 8 個熱電致冷器來配置熱電致冷器散熱系統。使用於此熱電致冷器之散熱鰭片型式如圖 4-8 所示。而 S3 與熱電致冷器散熱系統的配置為 S3-熱電致冷器-散熱鰭片，如圖 4-9 所示。

在整個 LED-熱電致冷器散熱系統中，因為 S3 結構的關係，選取的 LED 測溫點為 S3 的發光表面，如圖 4-4 所示。

(4) S4：

S4 樣品與 S3 相同，也是完整的 LED 燈條，如圖 4-10 所示，有一排共 16 顆 LED 焊於已挖空的 PCB 板上，PCB 板的表面為絕緣層，有電路分佈於其上。S4 的 LED 封裝與 S2 類似，在 LED 封裝內直接延伸一圓形鋁板與散熱器接觸，因此 S4 不需透過 PCB 板做為熱傳導的途徑。

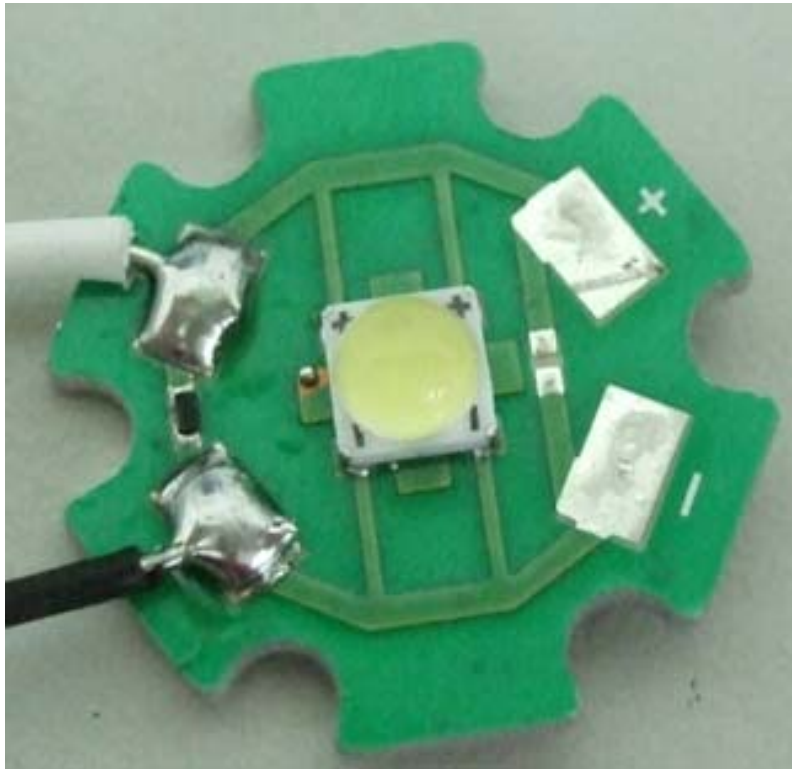
與 S4 配合之熱電致冷器型號為 TEC1-01703，相關規格如表 4-1 所示，由於 LED 燈條尺寸的關係，有別於 S1、S2、S3 中 LED 直接接觸熱電致冷器，S4 另外配置了一均溫鋁基板於 LED 燈條下，而在均溫鋁基板下再配置 16 個熱電致冷器平均分佈於 16 顆 LED 的相對位置下來配置熱電致冷器散熱系統。使用於此熱電致冷器之散熱鰭片型式如圖 4-11 所示。而 S4 與熱電致冷器散熱系統的配置為 S4-均溫鋁基板-熱電致冷器-散熱鰭片，如圖 4-12 所示。

在整個 LED-熱電致冷器散熱系統中，因為 S4 結構的關係，選取的 LED 測溫點為 S4 與均溫鋁基板之間，的如圖 4-4 所示。

以上四組 LED-熱電致冷器散熱系統即為本實驗的主要部分。為了量得 LED 之亮度變化，在實驗中以照度計與 LED 相隔一固定距離來量得相對照度。另外在量測照度的過程中，為避面外界光源影響 LED 照度之變化，LED 發光面至照度計以不會反光的黑紙所包圍，如圖 4-13 所示。

本實驗使用 GW 公司型號 GPC-3030D 的直流電源供應器提供 LED 與熱電致冷器電能，並且利用 UNI-T 公司型號 UT60E 的三用電表量測電壓與電流值。在量測照度方面，使用 The Art of Measurement 公司型號 LX-101 的照度計做相對照度的量測。溫度量測部分則利用 OMEGA 公司 J-TYPE 熱偶線，配合 Yokogawa 公司型號 MX110 的資料擷取器，讀取各熱電偶線溫度值。並以 Yokogawa 公司型號 MX100 資料擷取卡，將熱偶線所量得的溫度值讀入個人電腦進行分析。





(a) S1 正面圖

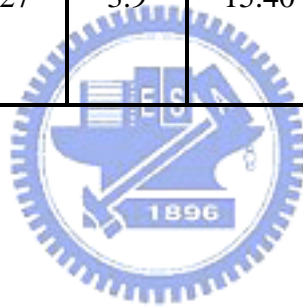


(b) S1 背面圖

圖 4-1 S1 結構圖

表 4-1 熱電致冷器規格表

Part No.	Dimension LxWxH(mm)	Couples	I <sub>max</sub> (A)	V <sub>max</sub> (V)	Q <sub>c</sub> max(W)	ΔT max(°C)
TEC1 03103	20x20x4.7	31	3.3	3.50	7.2	67.0
TES1 00703	8x8x3.6	7	3.0	0.85	1.4	67.0
TEC1 01703	15x15x4.7	17	3.4	2.00	3.9	67.0
TEC1 12704	40x40x4.7	127	3.9	15.40	33.4	67.0



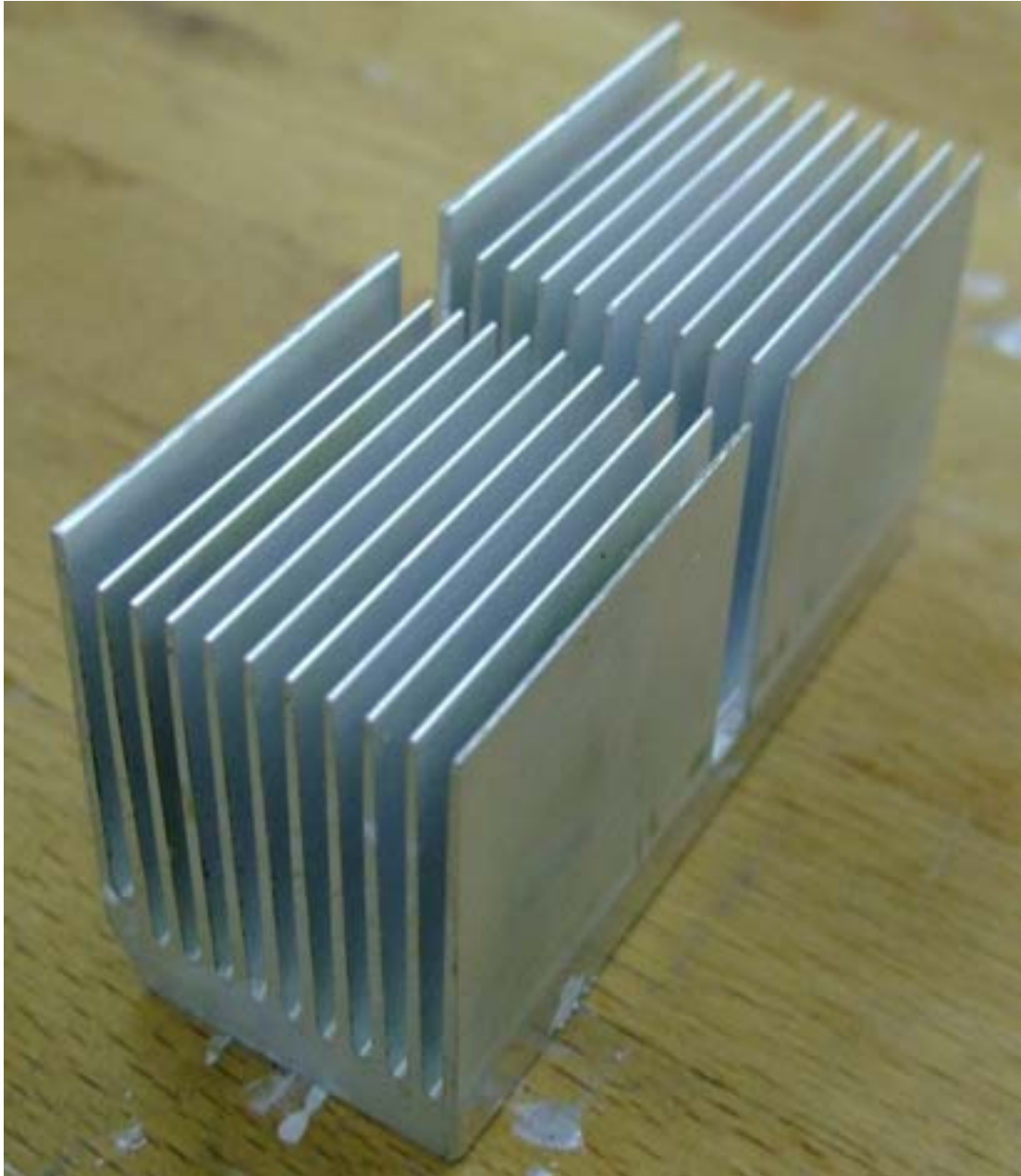


圖 4-2 S1、S2 散熱鰭片圖



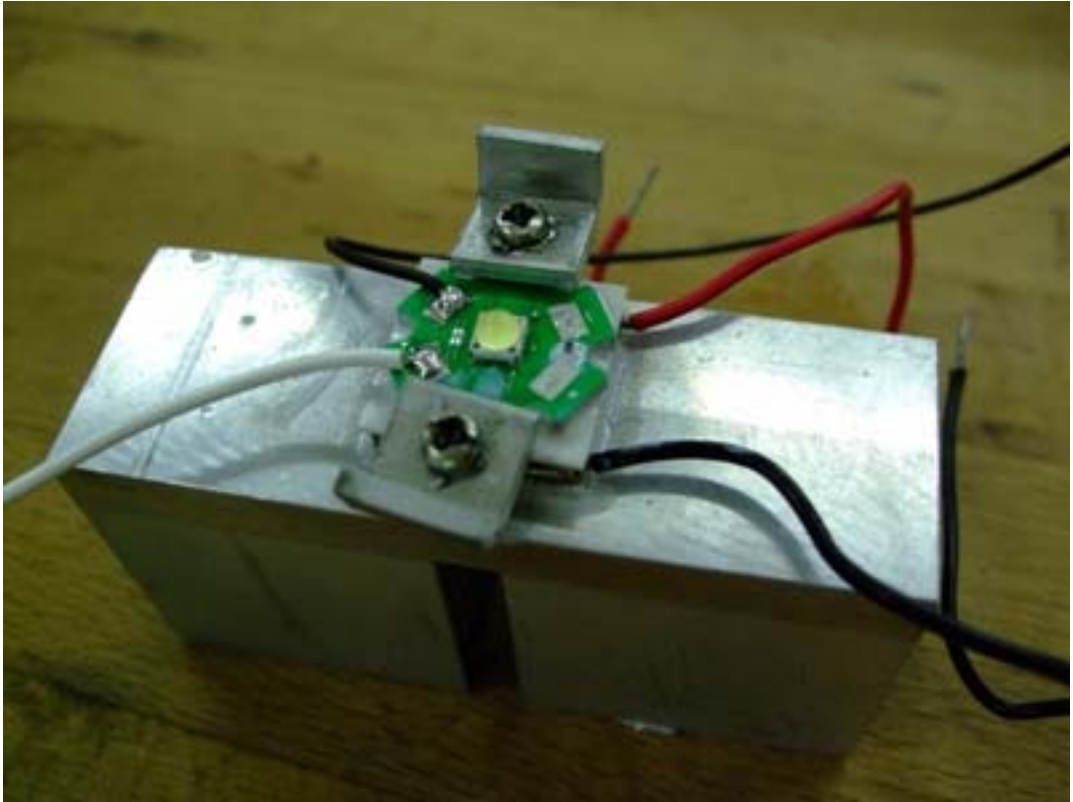


圖 4-3 S1 與熱電致冷器散熱系統配置圖

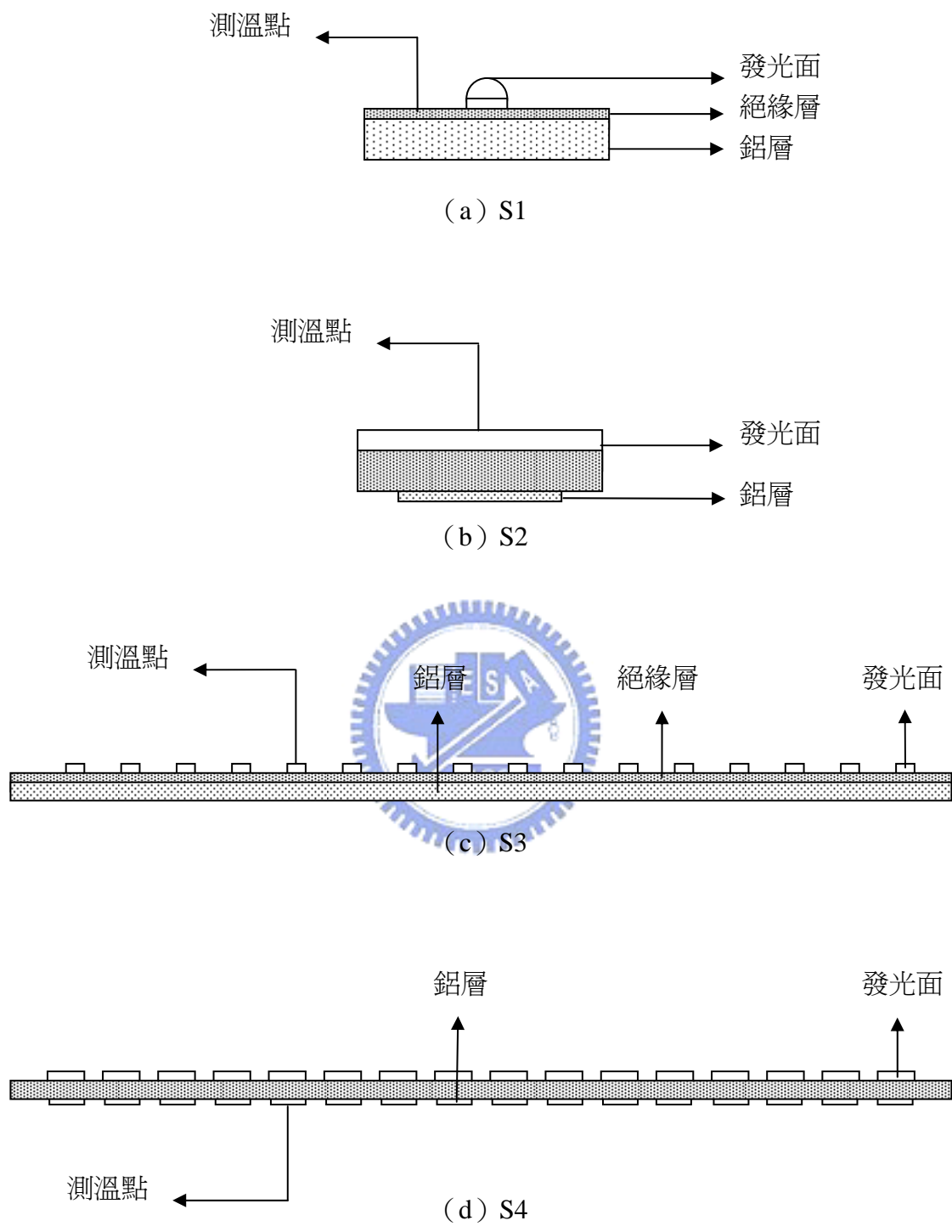
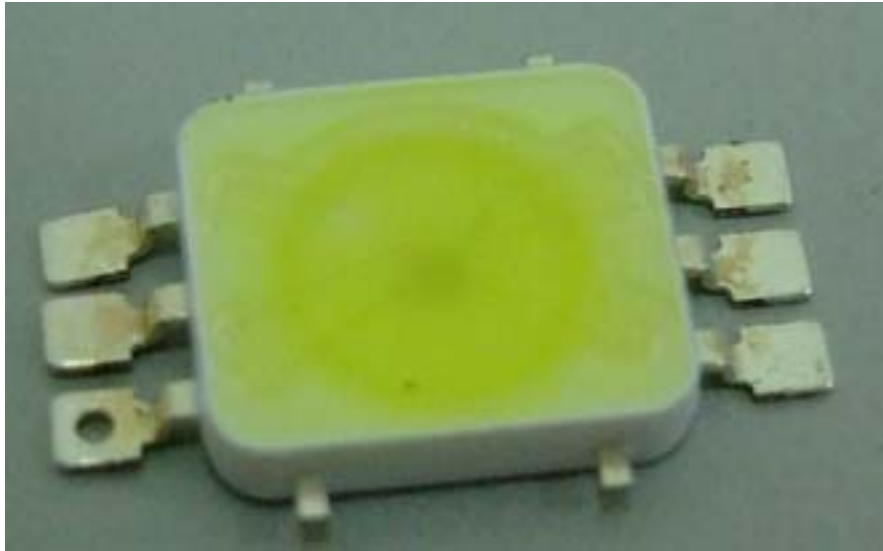


圖 4-4 S1、S2、S3、S4 測溫點示意圖



(a) S2 正面圖



(b) S2 背面圖

圖 4-5 S2 結構圖

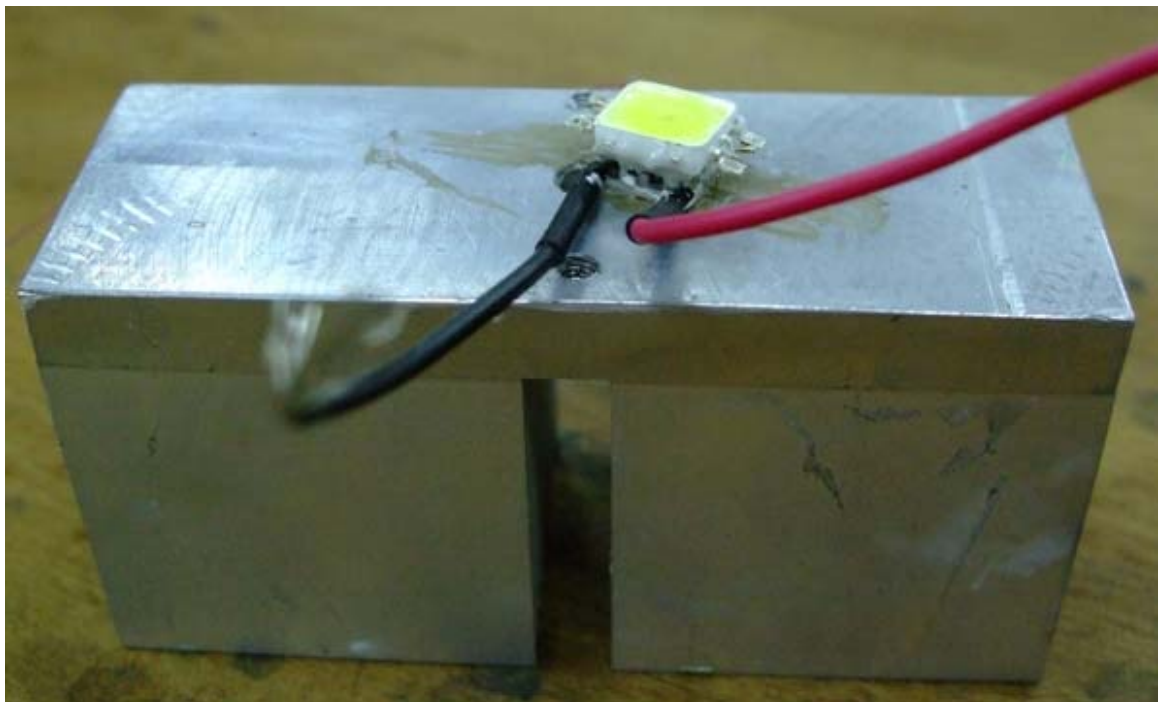


圖 4-6 S2 與熱電致冷器散熱系統配置圖

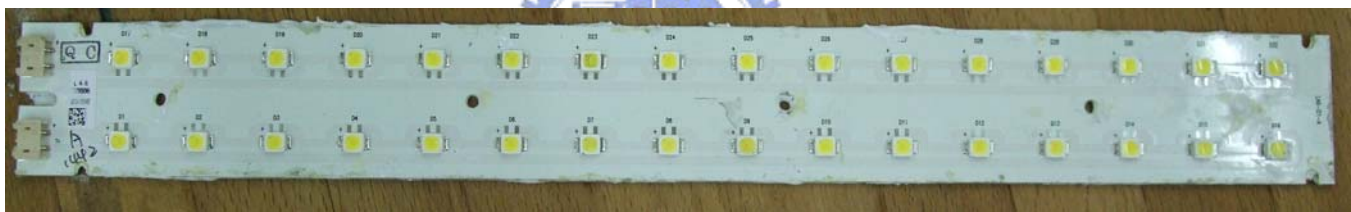


圖 4-7 S3 結構圖



圖 4-8 S3 散熱鰭片圖

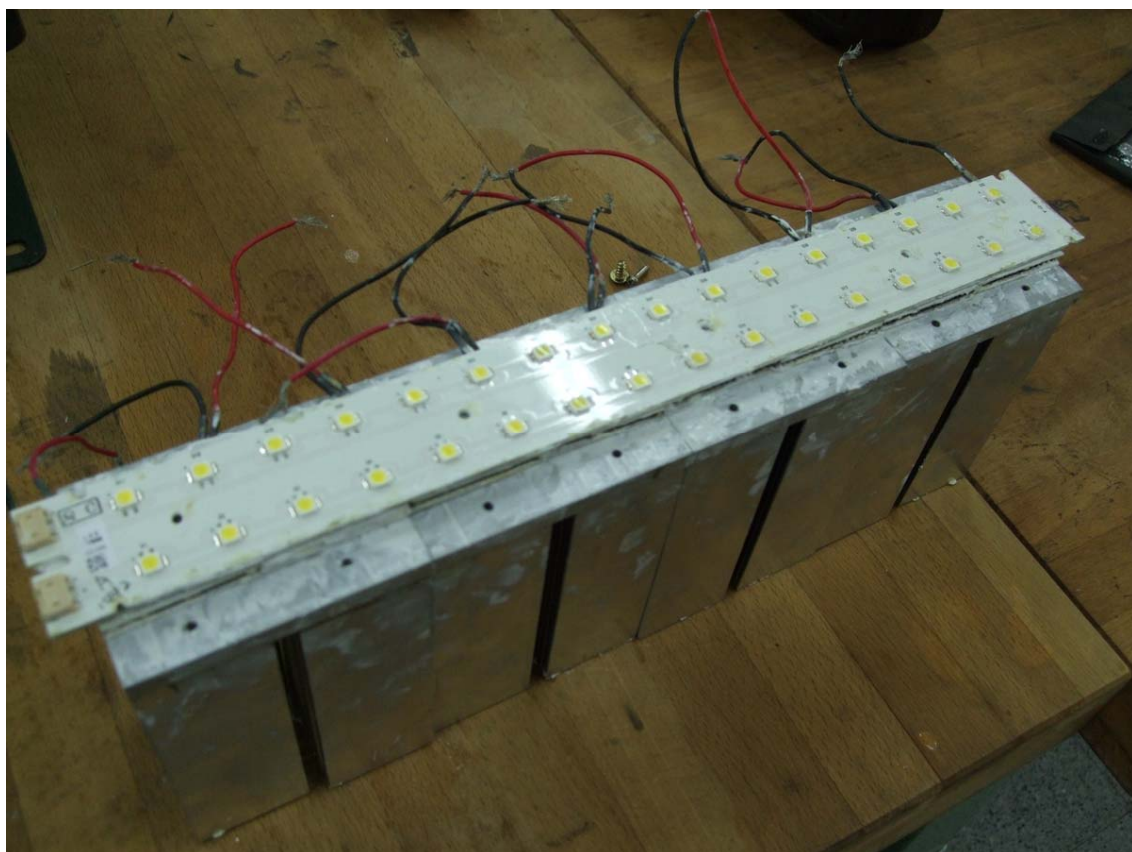


圖 4-9 S3 與熱電致冷器散熱系統配置圖

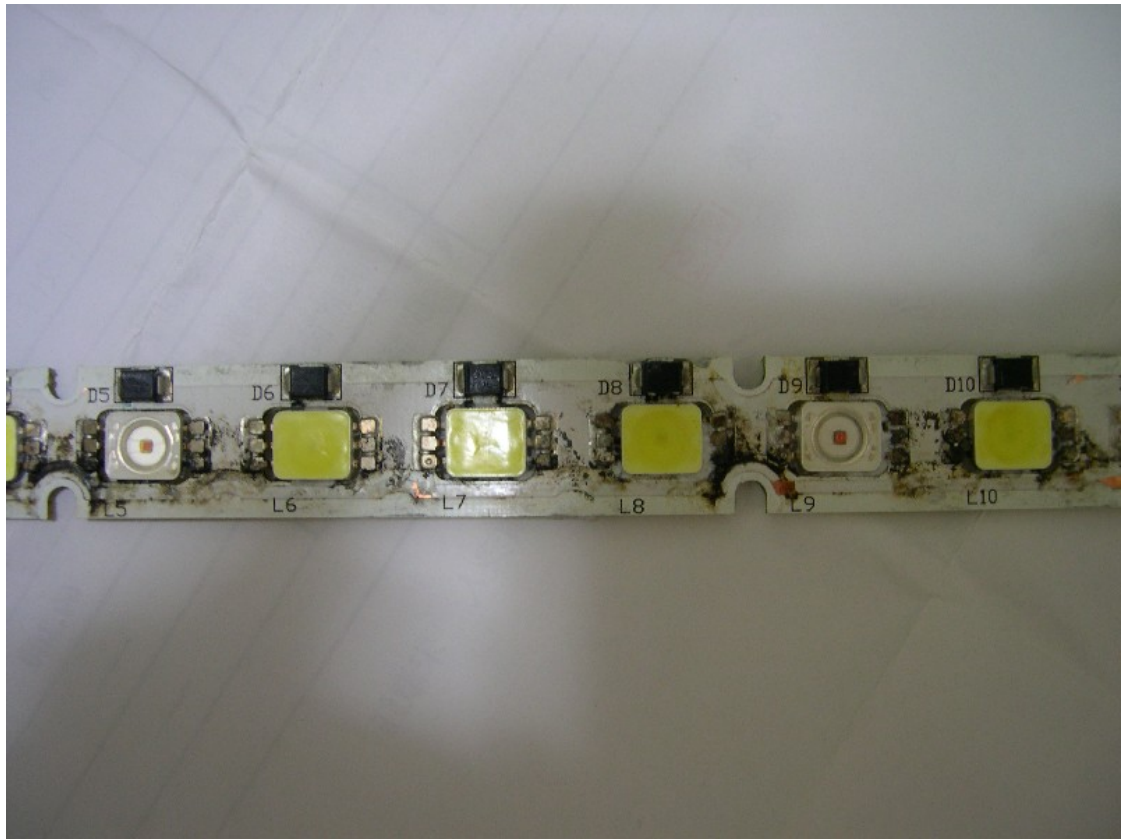


圖 4-10 S4 結構圖



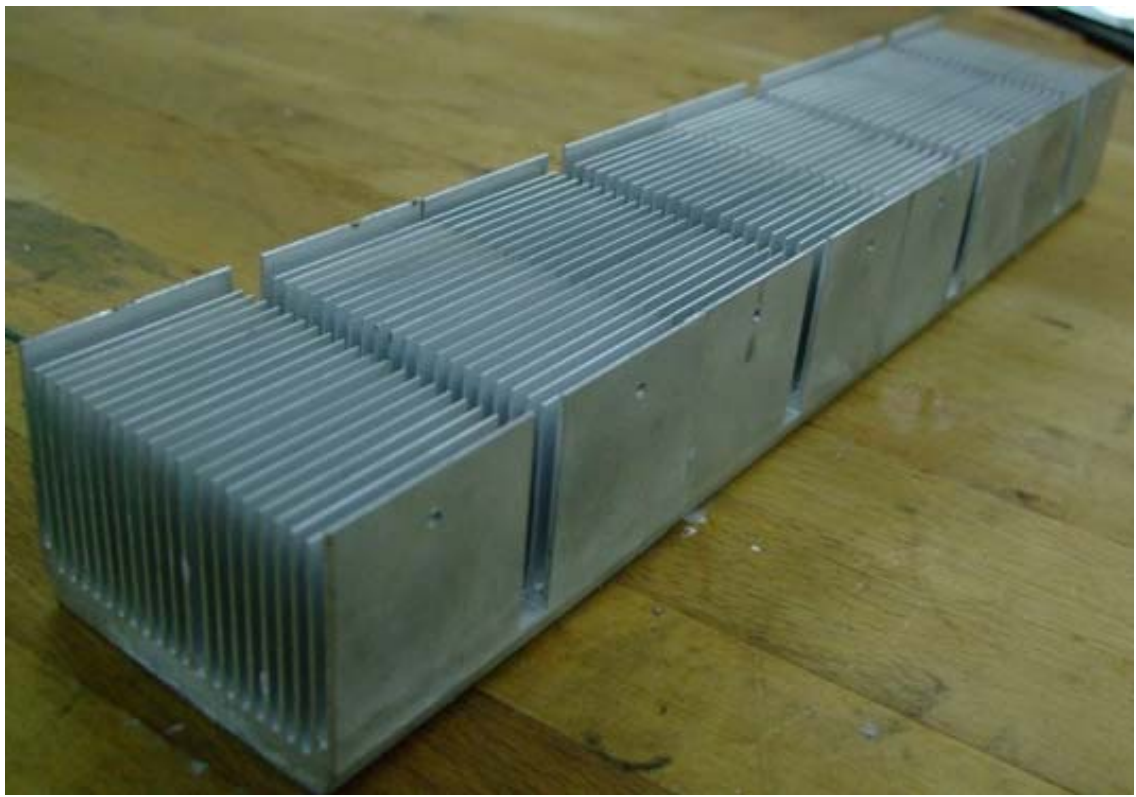
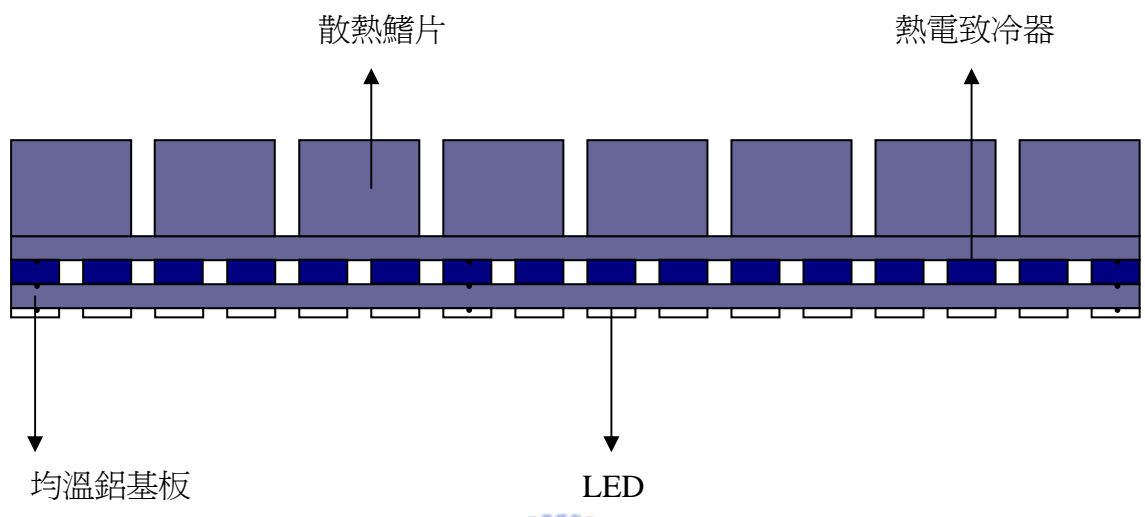
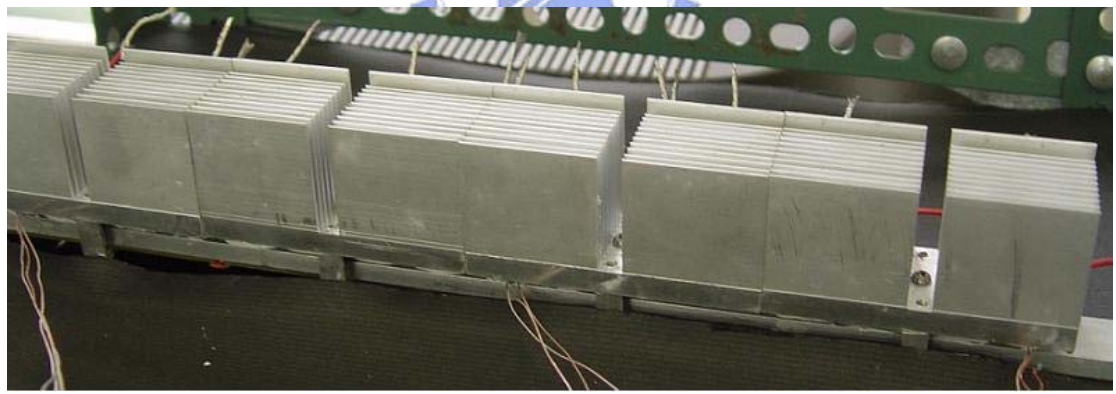


圖 4-11 S4 散熱鰭片圖



(a) 配置示意圖



(b) 配置圖

圖 4-12 S4 與熱電致冷器散熱系統配置圖

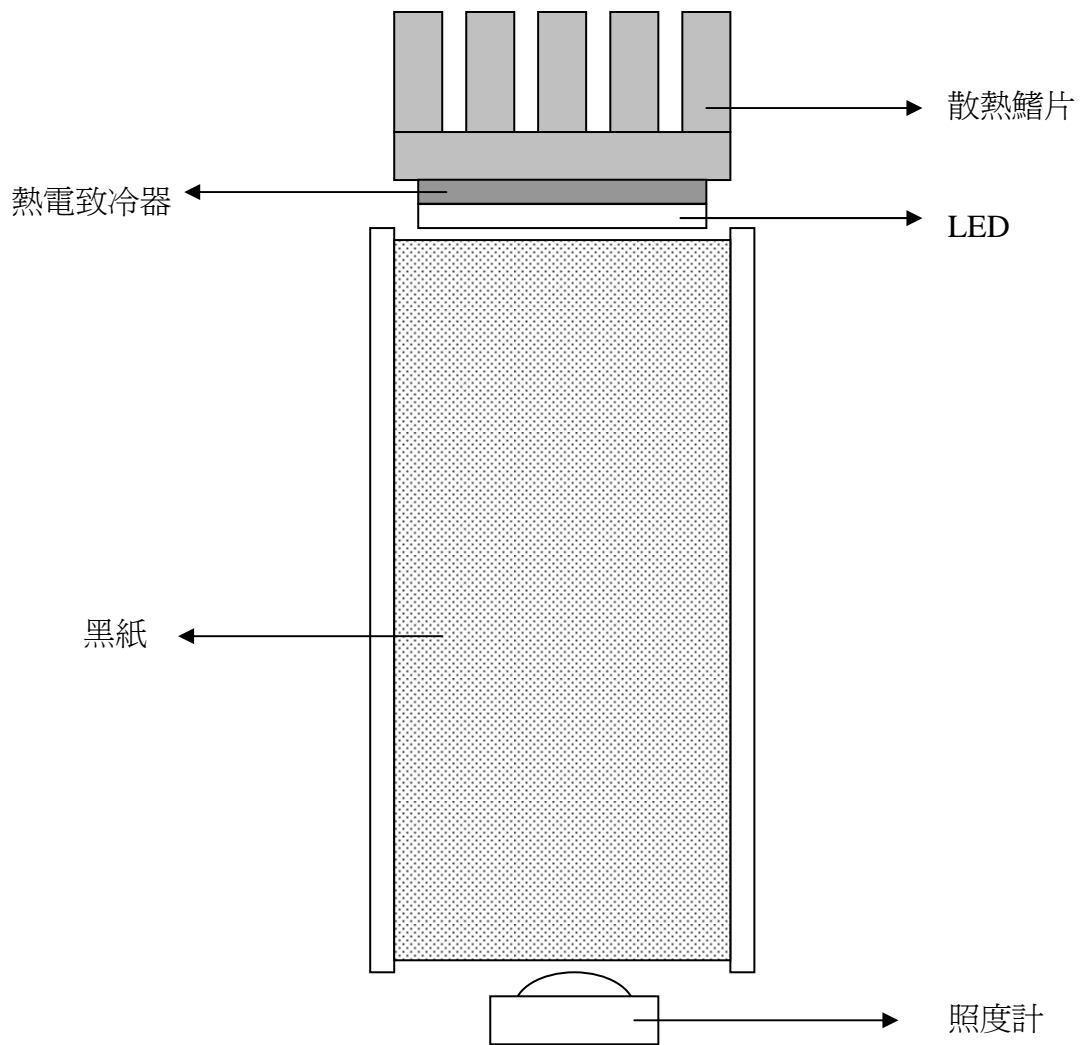


圖 4-13 LED 照度量測系統配置示意圖

### 4.3 實驗步驟

本實驗研究熱電致冷器散熱系統應用於 LED 散熱之效能，因此在實驗中幾個最重要的量測參數即為 LED 溫度、LED 耗電量、LED 相對照度、熱電致冷器耗電量、熱電致冷器冷熱端之溫度。由量得的數據計算出整個 LED-熱電致冷器散熱系統在提高整體耗電時，相對照度是否也相對應提升，由此判斷 LED 使用熱電致冷器散熱系統之效益。

#### 4.3.1 LED 耗電量與照度實驗

在應用熱電致冷器於 LED 前，首先需要考慮單獨 LED 的耗電量比上 LED-熱電致冷器的總耗電量。在一般情況下，LED 固定耗電量時，單獨 LED 的耗電量一定少於 LED-熱電致冷器的耗電量，但此時所要考慮的還有相對照度的提升。如果 LED-熱電致冷器多消耗的電量可以增加額外的相對照度，那使用熱電致冷器於 LED 上即有實質的好處。

要比較單獨 LED 與 LED-熱電致冷器的優缺點，在本實驗中首先將以 LED 之額定耗電量來量取單獨 LED 之相對照度，接著增加 LED 之耗電量，比較 LED 耗電量增加時相對照度提升的百分比。實驗步驟如下：

- (1) 把 LED 樣品置於量測設備上，並連接 LED 樣品之正負極於電源供應器上。
- (2) 開啟電源，調整電流至 LED 之額定電流為止。
- (3) 每 60 分鐘量取 LED 溫度及相對照度一次，當兩次的溫度差小於  $0.2^{\circ}\text{C}$ ，相對照度差小於 1LUX 時，即視系統已達穩態，並紀錄此時的 LED 電流、電壓、溫度及相對照度。
- (4) 增加 LED 電流至適當值，並重複步驟 (3)。

由以上實驗即可量得 LED 在不同耗電量時，相對照度提升的百分比，以此來與 LED-熱電致冷器相對照。

#### 4.3.2 熱電致冷器之熱電發電實驗

熱電效應除了可以用電流來造成熱傳外，也可以溫差來產生電流，因此在熱電致冷器的使用上，熱電發電亦是考慮的一項因素。在 LED-熱電致冷器散熱系統上，假使熱電致冷器不輸入任何電流，因為 LED 本身高溫的關係，會在熱電致冷器的冷熱端間產生一溫度差，此溫度差即可產生一熱電發電的電流，若能有效利用此發電量，對於節約能源來說即有重大的意義。實驗步驟如下：

- (1) 把 LED 樣品置於量測設備上，並連接 LED 樣品之正負極於電源供應器上。
- (2) 開啟電源，調整電流至 LED 之額定電流為止。
- (3) 每 60 分鐘量取 LED 溫度及熱電致冷器熱端溫度及相對照度一次，當兩次的溫度差小於  $0.2^{\circ}\text{C}$ ，相對照度差小於 1LUX 時，即視系統已達穩態，並紀錄此時的熱電致冷器熱端溫度、LED 電流、電壓、溫度及相對照度。
- (4) 連接 LED 樣品上之熱電致冷器之正負極於電源供應器上，並重複步驟 (3)，同時每 10 秒量取熱電致冷器之發電電流一次，當兩次的電流差小於 0.01A 時，即視系統已達穩態，並紀錄此時熱電致冷器的發電電流值。

以上實驗可量得 LED-熱電致冷器散熱系統在固定 LED 耗電量下，LED 及熱電致冷器熱端的溫度差及熱電致冷器的發電電流。

#### 4.3.3 熱電致冷器耗電量與 LED 照度實驗

由 4.3.1 的實驗可得知 LED 在增加耗電量時，相對照度提升的百分比。接下來即可把熱電致冷器也考慮進整個系統的使用中，固定 LED 耗電量，增加熱電致冷器的耗電量，觀察熱電致冷器額外消耗的電能對於 LED 照度提升的影響，並比較單獨 LED 與 LED-熱電致冷器散熱系統的總耗電量與照度提升百分比。實驗步驟如下：

- (1) 把 LED 樣品置於量測設備上，並連接 LED 樣品之正負極於電源供應器上。
- (2) 開啟電源，調整電流至 LED 之額定電流為止。
- (3) 每 60 分鐘量取 LED 溫度及熱電致冷器熱端溫度及相對照度一次，當兩次

的溫度差小於  $0.2^{\circ}\text{C}$ ，相對照度差小於 1LUX 時，即視系統已達穩態，並紀錄此時的 LED 電流、電壓、溫度及相對照度。

- (4) 連接 LED 樣品上之熱電致冷器之正負極於電源供應器上，並重複步驟(3)
- (5) 增加熱電致冷器之電壓至適當值，並重複步驟(3)，紀錄熱電致冷器之電流與電壓。



## 五、 結果與討論

### 5.1 LED 耗電量與照度實驗結果

本實驗以樣品 S2、S4 來進行，觀察 LED 耗電量增加時，相對照度增加的幅度，以此為基準與使用熱電致冷器於 LED 所增加的相對照度做比較。在 S2 方面，通入的電流大小為 0.15A、0.17A、0.19A、0.21A、0.23A；在 S4 方面，通入的電流大小為 0.3A、0.47A。

實驗結果如表 5-1 所示，結果顯示 LED 照度百分比不會隨著 LED 耗電量的增加而提升，S2、S4 之 LED 耗電量百分比與照度百分比關係如圖 5-1、圖 5-2，照度百分比提升的幅度遠小於耗電量百分比提升的幅度，這是由於 LED 在耗電量提高時，溫度相對也會提高。由文獻[11]可知，LED 的發光強度隨著溫度上升而衰減，因此耗電量提升雖然會造成亮度提升，但是高溫又會造成亮度衰減，造成 LED 在耗電量提高時，照度增加的幅度相對於耗電量來說不高，再加上在高溫下使用將減低 LED 的使用壽命，這就是現今要發展高功率 LED 用於照明上所發生的主要問題。

表 5-1 LED 耗電量與照度實驗結果

室溫(°C)	LED 溫度 (°C)	LED 照度 (LUX)	LED 照度 百分比 (%)	LED 電流 (A)	LED 耗電 量 (W)	LED 耗電 量百分比 (%)
20.6	74.2	61	100.0	0.15	0.44	100.0
20.5	81.6	64	104.9	0.17	0.51	117.2
20.5	86.9	67	109.8	0.19	0.57	131.0
20.4	94.4	70	114.8	0.21	0.63	144.8
20.1	100.5	71	116.4	0.23	0.69	158.6

(a) S2

室溫(°C)	LED 溫度 (°C)	LED 照度 (LUX)	LED 照度 百分比 (%)	LED 電流 (A)	LED 耗電 量 (W)	LED 耗電 量百分比 (%)
27.1	64.0	266	100.0	0.35	18.8	100.0
27.7	79.7	285	107.1	0.47	26.3	139.9

(b) S4



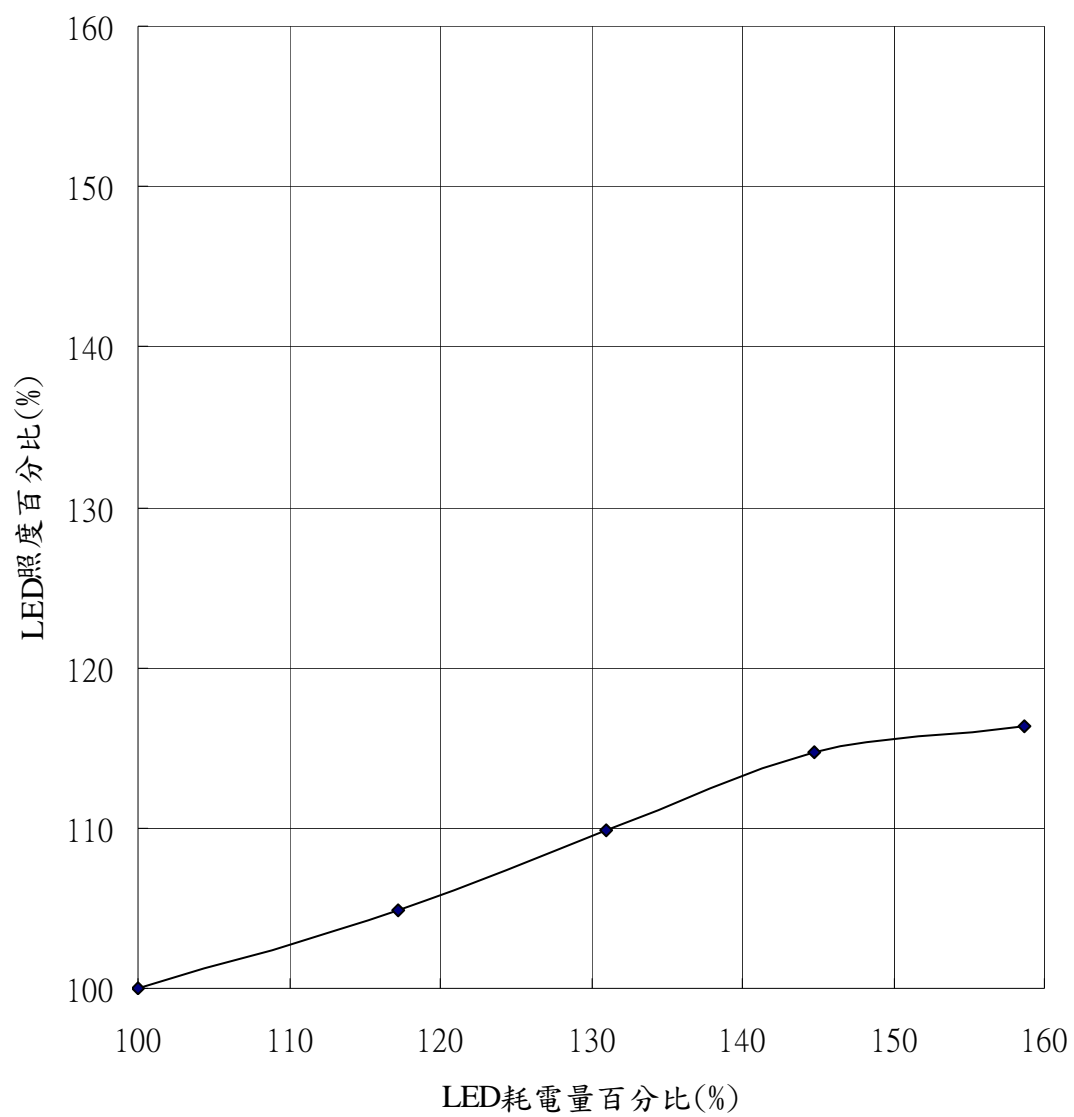


圖 5-1 S2 耗電量與照度百分比圖

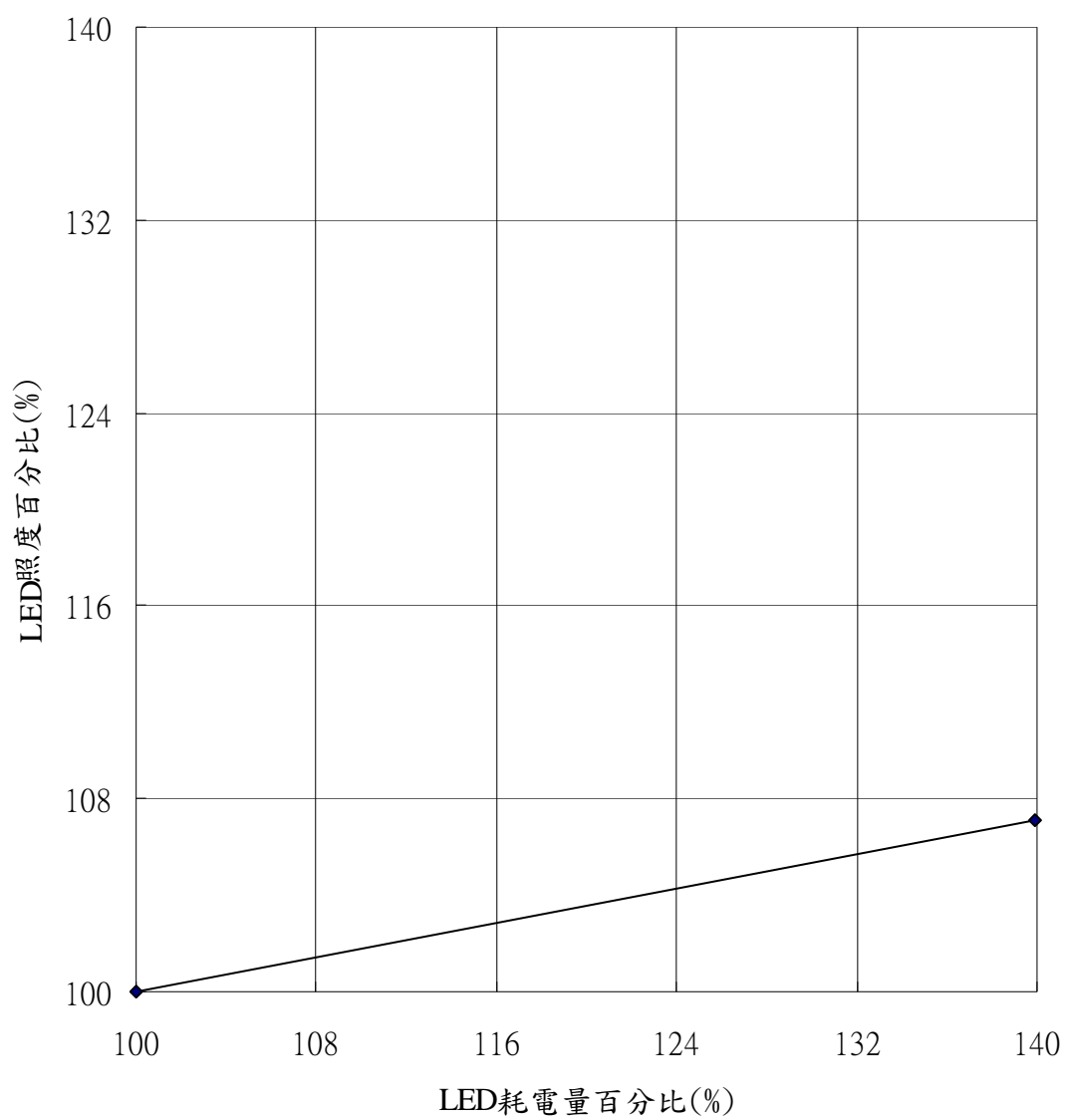


圖 5-2 S4 耗電量與照度百分比圖

## 5.2 熱電致冷器之熱電發電實驗結果

熱電致冷器應用於 LED 上時，首先可考慮由 LED 的發熱所產生的熱電電流，本實驗以樣品 S1、S2 來進行。在量測過程中，當熱電致冷器是斷路時，整個系統達穩態，由於 LED 為一發熱源，在熱電致冷器的冷熱端將會產生一溫度差，此溫度差即為熱電發電的能量來源。當熱電致冷器從斷路變成通路時，即會產生一熱電電流，而此時熱電致冷器的冷熱端溫差會逐漸減少，同時熱電電流也會減少，直到最後達到一平衡狀態。

本實驗量測數據如表 5-2、表 5-3 所示，熱電電流隨時間達平衡狀態的變化如圖 5-3 所示，由此可看出熱電電流大約在 1 分鐘後即會達平衡。實驗結果顯示熱電致冷器在通路後冷熱端的溫差減少，而產生了熱電電流，此熱電電流在剛通路時由於溫度差高，熱電電流也高，溫度差會隨著時間減少，熱電電流也逐漸減少至一穩定值，即是減少的溫度差造成的熱通量轉換成為熱電致冷器的發電量，符合熱電發電的理論基礎。

從熱電發電的效率來看，比較同一種 LED 在不同耗電量時的結果可發現：LED 耗電量越高，熱電電流也越大。這是由於熱電致冷器的厚度一定，耗電量越大熱電致冷器的冷熱端溫差則越大，產生的熱電電流也會越大。

另外比較不同 LED 在相同耗電量下的結果，1.19W 的 S1 的發電電流明顯少於 1.19W 的 S2，甚至少於 0.66W 的 S2 的發電電流。比較斷路與通路間的溫度下降，S1 也少於同耗電量下 S2 的溫度下降，主要的原因為 LED 的封裝結構的不同。S1 為 LED 焊於一星狀板，與散熱端間有一絕緣層，造成往散熱端的熱傳效果差，熱量大部分由 LED 發光面熱傳至空氣中，因此熱電致冷器的冷熱端溫差小，熱電效應也小；而 S2 在 LED 本體中直接延伸一圓形鋁板與散熱端接觸，熱傳導至散熱端的熱量大於 S1 熱傳導至散熱端的熱量，熱電致冷器溫差大，熱電效應顯著。

從本實驗的結果可知，在不消耗多餘的電力下，熱電致冷器即可略為降低

LED 之溫度，提高 LED 的亮度及使用壽命，另一方面把這些熱量轉換為電能來使用，以節能的觀電來看，此 LED-熱電致冷器散熱系統比之單獨的 LED，可以較少的電量發揮較大的效率，因此熱電致冷器對於 LED 散熱的益處是顯而易見的。



表 5-2 S1 熱電電流實驗結果

LED 電流 (A)	0.35	
LED 耗電量 (W)	1.19	
熱電致冷器狀態	斷路	通路
室溫 (°C)	23.4	23.4
LED 溫度 (°C)	30.6	29.6
熱電致冷器熱端溫度 (°C)	23.3	23.3
LED 與熱端溫差 (°C)	7.3	6.3
LED 照度 (LUX)	572	574
LED 照度百分比 (%)	100.0	100.3
熱電電流 (A)	0.00	0.05

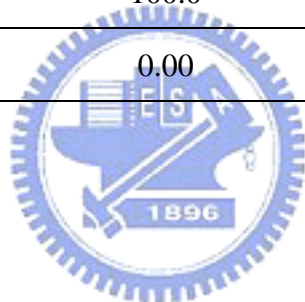


表 5-3 (a) S2 熱電電流實驗結果

LED 電流 (A)	0.20	
LED 耗電量 (W)	0.66	
熱電致冷器狀態	斷路	通路
室溫 (°C)	20.9	21.0
LED 溫度 (°C)	52.4	50.4
熱電致冷器熱端溫度 (°C)	23.4	23.4
LED 與熱端溫差 (°C)	29.0	27.0
LED 照度 (LUX)	536	540
LED 照度百分比 (%)	100.0	100.7
熱電電流 (A)	0.00	0.10

LED 電流 (A)	0.30	
LED 耗電量 (W)	1.02	
熱電致冷器狀態	斷路	通路
室溫 (°C)	21.1	21.0
LED 溫度 (°C)	70.8	67.1
熱電致冷器熱端溫度 (°C)	24.6	24.6
LED 與熱端溫差 (°C)	46.2	42.5
LED 照度 (LUX)	722	732
LED 照度百分比 (%)	100.0	101.4
熱電電流 (A)	0.00	0.17

表 5-3 (b) S2 熱電電流實驗結果

LED 電流 (A)	0.35	
LED 耗電量 (W)	1.19	
熱電致冷器狀態	斷路	通路
室溫 (°C)	19.4	19.4
LED 溫度 (°C)	77.5	73.3
熱電致冷器熱端溫度 (°C)	27.3	27.5
LED 與熱端溫差 (°C)	50.2	45.8
LED 照度 (LUX)	625	637
LED 照度百分比 (%)	100.0	101.9
熱電電流 (A)	0.00	0.18

LED 電流 (A)	0.40	
LED 耗電量 (W)	1.40	
熱電致冷器狀態	斷路	通路
室溫 (°C)	20.9	20.9
LED 溫度 (°C)	91.1	86.2
熱電致冷器熱端溫度 (°C)	25.8	25.9
LED 與熱端溫差 (°C)	65.3	60.3
LED 照度 (LUX)	842	860
LED 照度百分比 (%)	100.0	102.1
熱電電流 (A)	0.00	0.24

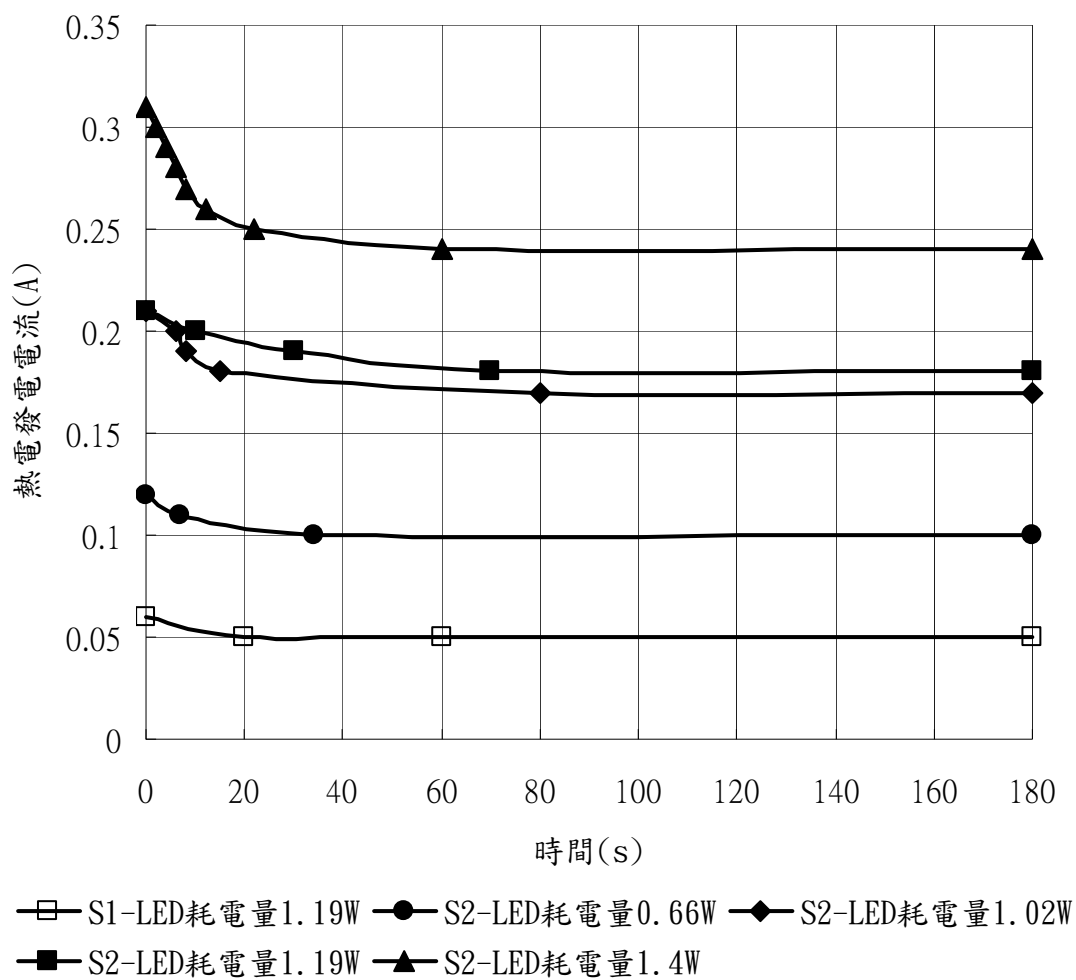


圖 5-3 熱電電流圖



### 5.3 熱電致冷器耗電量與 LED 照度實驗結果

本實驗探討熱電致冷器耗電量大小對 LED 照度提升的影響，以樣品 S1、S2、S3、S4 做研究。首先觀察 S1 在 0.35A 之下，熱電致冷器對照度的提升，如表 5-4，此時 LED 的耗電量為 1.19W。在 LED 的溫度方面，熱電致冷器是斷路時，此散熱系統僅靠散熱鰭片做自然對流，LED 溫度為 30.6°C。隨著熱電致冷器形成通路，加大熱電致冷器的耗電量，LED 的溫度也逐漸下降，當熱電致冷器的耗電量為 0.36W 時，LED 溫度達到 18°C。

在此需要注意的是此 LED 溫度並非晶粒界面的溫度，而是 PCB 板表面溫度，因此實際的 LED 溫度將會比此溫度來的高，但是相對來說，LED 晶粒因熱電致冷器而下降的溫度幅度與 PCB 板表面溫度下降的幅度是相同的。

接著觀察 LED 因熱電致冷器而提升的照度百分比，在表 5-4 中熱電致冷器的相對耗電百分比即為熱電致冷器耗電量與 LED 耗電量的比例，由表中可看出熱電致冷器消耗 29.85% 的 LED 耗電量時，LED 照度僅提升了 4.55%，此結果對於熱電致冷器應用於 LED 的效率來說是非常不理想的。

圖 5-4 顯示熱電致冷器相對耗電百分比與照度提升百分比的關係圖，圖中的斜線為耗電百分比與照度提升百分比相同比例的 45 度線，由圖中可看出 S1 的曲線在前半段有一小部份在此線上，而其他部分皆在此線以下。此現象說明了使用熱電致冷器於 S1 時，在此線以上的部分為 LED 照度提升百分比大於熱電致冷器耗電百分比，即是對於此系統來說這個部分的使用效益是正面的。

其次比較 S2 的實驗結果，S2 共使用了四種不同的耗電量來進行此部分的實驗，分別為 0.66W、1.09W、1.19W、1.4W，實驗結果列於表 5-5。與 S1 的結果相似，熱電致冷器形成通路後 LED 的溫度隨之下降，比較不同 LED 耗電量時可發現，LED 耗電量越高時，在相同耗電量百分比之下 LED 溫度下降的幅度也越高。圖 5-5 顯示 S2 的熱電致冷器相對耗電百分比與照度提升百分比，由圖中可看出 LED 耗電量越高時，曲線有越多的部分落在 45 度線以上，即是 LED 耗電

量越高，熱電致冷器的效果越好。此結論與熱電發電電流實驗的結果一樣，當 LED 耗電量越高時，熱電效應越明顯。

比較 S3 與 S4 兩組實驗，S3 以兩種不同的耗電量，35.4W 及 42W，而 S4 則以 18.48W 來進行實驗，結果如表 5-6 及表 5-7 所示，圖 5-6 及圖 5-7 為熱電致冷器相對耗電百分比與 LED 照度提升百分比。由實驗結果可看出與 S1、S2 相同的結果，即 LED 耗電量對於熱電致冷器的效率有著絕對的影響。

圖 5-8 及圖 5-9 為 S2 及 S4 以提高 LED 耗電量來增加 LED 照度以及使用熱電致冷器來增加 LED 照度的比較，圖中系統相對耗電百分比的數值，對有使用熱電致冷器的 LED 來說是以熱電致冷器斷路時之 LED 耗電量為基準；對無使用熱電致冷器的 LED 來說是以 LED 的初始耗電量為基準。從 S2 來看，使用熱電致冷器來增加 LED 照度的效果在系統相對耗電量 25% 內比提高 LED 耗電量來的好，超過 25% 之後的效果則以提高 LED 耗電量較好，這是因為熱電致冷器的效率在耗電量越大時會變差的原因；但在超過 25% 後，雖然提高 LED 耗電量的效果較好，LED 的溫度卻會過高而降低了 LED 的使用壽命，而此時以使用熱電致冷器來提高 LED 照度的 LED 溫度反而比初始溫度還低。另外從 S4 來看，使用熱電致冷器的效果在所有量測數據中皆優於提高 LED 耗電量，因此可知在提高 LED 照度及使用壽命的前提下，以使用熱電致冷器來降溫的實用價值確實較好。

圖 5-10 比較 S1、S2、S3、S4 在不同 LED 耗電量下熱電致冷器耗電量與照度提升，首先觀察不同樣品在相同耗電量下的結果，當 S1 與 S2 的 LED 耗電量都是 1.19W 時，S2 的曲線甚高於 S1，S1 在 1.19W 時大約與 S2 在 0.66W 時相近。代表在 LED 相同耗電量時，使用熱電致冷器的效果 S2 優於 S1，這是由於 S1 與 S2 的封裝結構不同所致，S2 連接散熱端的热傳效果優於 S1。

接著比較所有樣品的結果，由圖中可發現 S4 的效率明顯高於其他三者，大約在熱電致冷器相對耗電量 10% 以內對 LED 都有實用價值，其次最好是 S2 在 1.4W 下是在 4% 以內有實用價值。

圖 5-11 表示熱電致冷器相對耗電百分比與 LED 溫度下降的幅度。從 S2 及 S3 的曲線可知同一 LED 樣品但不同耗電量時，耗電量高者降溫效果越好；而再次比較 S1 與 S2 顯示不同 LED 樣品在相同耗電量之下，封裝結構也會影響熱電致冷器的降溫效果。

比較整體的降溫效果，圖 5-11 與圖 5-10 相比，S4 並未大幅領先其他 LED 樣品，僅比最好的 S2 在 1.4W 時略高，由此可知熱電致冷器對於 S4 與 S2 的降溫效果是相近的，而造成圖 5-10 中 S4 優於其他三者的原因可從圖 5-12 來分析。

圖 5-12 為 LED 溫度與照度提升比較圖，照度百分比是以 LED 在未使用熱電致冷器時的照度為基準，而不同 LED 間的 LED 溫度因為測溫點的不同不能互相比較。在此圖中主要是觀察 LED 溫度與照度提升曲線的斜率，由圖中可知 S4 對於溫度的敏感度高於其他三者，因此造成雖然熱電致冷器在相同耗電百分比下，S4 的降溫效果與其他 LED 相似，但是照度百分比的提升卻大的多。由此可得知熱電致冷器對 LED 效率的影響，除了封裝結構影響散熱與熱電致冷器的效能外，LED 本身對溫度的敏感度也是一重要變因。

表 5-4 S1 熱電致冷器耗電量與 LED 照度實驗結果

LED 電流：0.35A LED 耗電量：1.19W

熱電致冷器狀態	室溫 (°C)	LED 溫度 (°C)	LED 溫度下降 (°C)	LED 照度 (LUX)	熱電致冷器耗電量 (W)
斷路	23.4	30.6	0.0	572	0
通路	23.4	29.6	1.0	574	0
	23.3	26.9	3.7	579	0.02
	23.3	25.5	5.1	582	0.04
	23.3	24.2	6.4	585	0.08
	23.3	21.9	8.7	589	0.14
	23.3	20.9	9.7	592	0.19
	23.3	19.8	10.8	595	0.26
	23.2	18.0	12.6	598	0.36

熱電致冷器狀態	LED 照度提升百分比 (%)	熱電致冷器相對耗電百分比 (%)
斷路	0	0
通路	0.35	0
	1.22	1.92
	1.75	3.93
	2.27	6.86
	2.97	11.85
	3.50	16.34
	4.02	21.53
	4.55	29.85

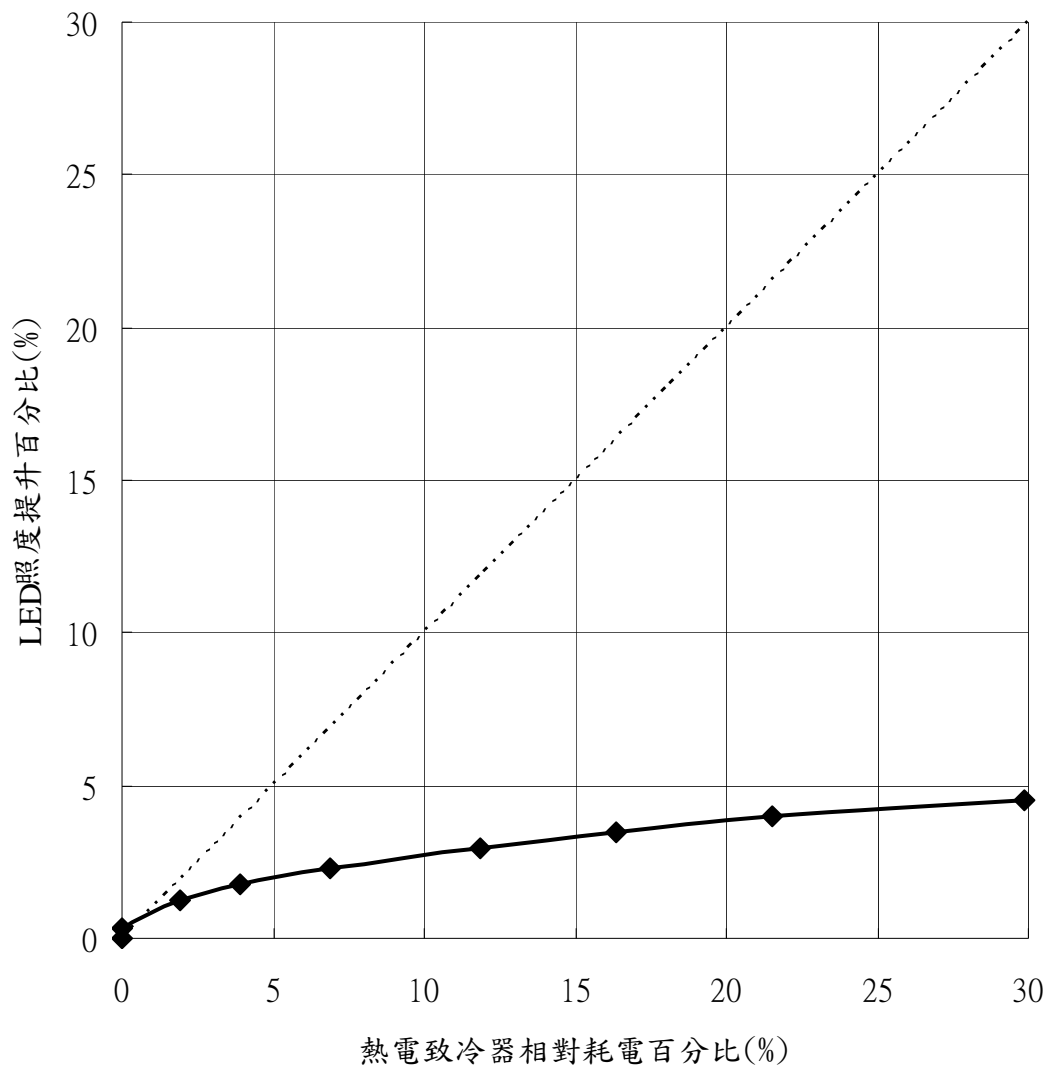


圖 5-4 S1 熱電致冷器耗電量與照度提升關係圖

表 5-5 (a) S2 熱電致冷器耗電量與 LED 照度實驗結果

LED 電流：0.2A LED 耗電量：0.66W

熱電致冷器狀態	室溫 (°C)	LED 溫度 (°C)	LED 溫度下降 (°C)	LED 照度 (LUX)	熱電致冷器耗電量 (W)
斷路	20.9	52.4	0.0	536	0.00
通路	21.0	50.4	2.0	540	0.00
	21.0	43.2	9.2	557	0.11
	21.0	38.4	14.0	566	0.27
	20.9	37.1	15.3	569	0.42
	20.9	34.1	18.3	576	0.68
	21.1	30.0	22.4	585	1.16

熱電致冷器狀態	LED 照度提升百分比 (%)	熱電致冷器相對耗電百分比 (%)
斷路	0.00	0.00
通路	0.75	0.00
	3.92	17.27
	5.60	41.36
	6.16	63.03
	7.46	103.03
	9.14	175.45

表 5-5 (b) S2 熱電致冷器耗電量與 LED 照度實驗結果

LED 電流：0.3A LED 耗電量：1.09W

熱電致冷器狀態	室溫 (°C)	LED 溫度 (°C)	LED 溫度下降 (°C)	LED 照度 (LUX)	熱電致冷器耗電量 (W)
斷路	21.1	70.8	0.0	722	0.00
通路	21.0	67.1	3.7	732	0.00
	20.9	60.2	10.6	754	0.13
	20.9	56.5	14.3	766	0.29
	21.0	53.8	17.0	774	0.48
	21.2	50.0	20.8	784	0.83

熱電致冷器狀態	LED 照度提升百分比 (%)	熱電致冷器相對耗電百分比 (%)
斷路	0.00	0.00
通路	1.39	0.00
	4.43	12.94
	6.09	28.53
	7.20	47.06
	8.59	80.88

表 5-5 (c) S2 熱電致冷器耗電量與 LED 照度實驗結果

LED 電流：0.35A LED 耗電量：1.19W

熱電致冷器狀態	室溫 (°C)	LED 溫度 (°C)	LED 溫度下降 (°C)	LED 照度 (LUX)	熱電致冷器耗電量 (W)
斷路	19.4	77.5	0.0	625	0.00
通路	19.4	73.3	4.2	637	0.00
	19.6	67.6	9.9	652	0.09
	19.4	64.0	13.5	662	0.20
	19.6	60.9	16.6	670	0.34
	19.6	56.6	20.9	682	0.58
	19.5	54.1	23.4	689	0.85
	19.5	52.2	25.3	693	1.11

熱電致冷器狀態	LED 照度提升百分比 (%)	熱電致冷器相對耗電百分比 (%)
斷路	0.00	0.00
通路	1.92	0.00
	4.32	7.90
	5.92	16.89
	7.20	28.91
	9.12	48.74
	10.24	71.09
	10.88	93.53

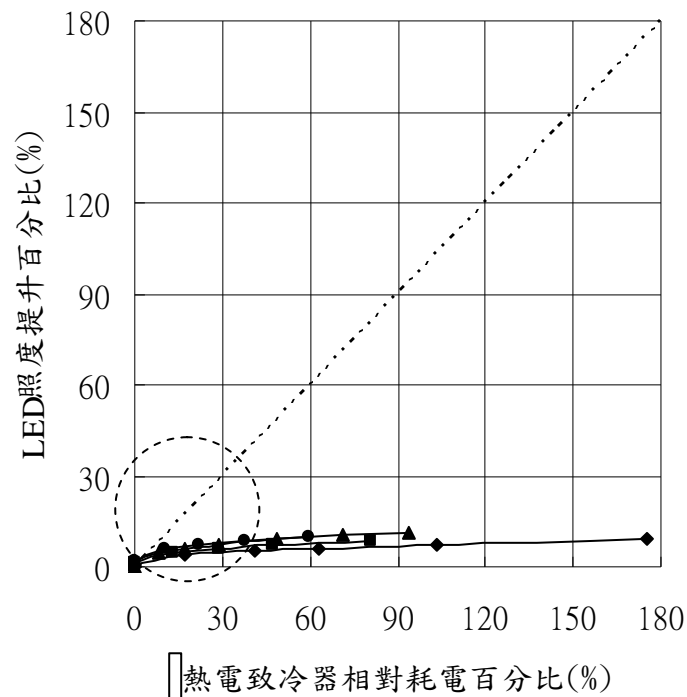


表 5-5 (d) S2 熱電致冷器耗電量與 LED 照度實驗結果

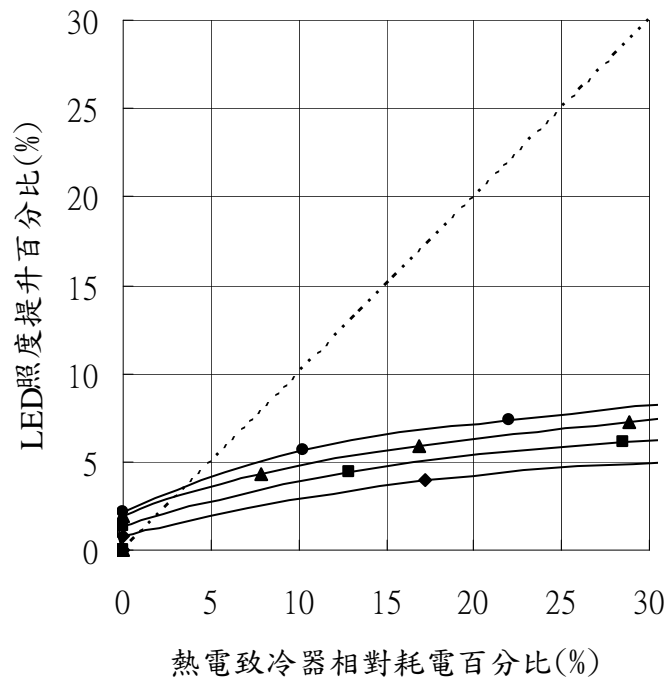
LED 電流：0.4A LED 耗電量：1.4W

熱電致冷器狀態	室溫 (°C)	LED 溫度 (°C)	LED 溫度下降 (°C)	LED 照度 (LUX)	熱電致冷器耗電量 (W)
斷路	20.9	91.1	0.0	842	0.00
通路	20.9	86.2	4.9	860	0.00
	20.7	77.4	13.7	890	0.14
	20.6	74.1	17.0	904	0.31
	20.9	70.4	20.7	916	0.53
	20.7	66.8	24.3	927	0.84

熱電致冷器狀態	LED 照度提升百分比 (%)	熱電致冷器相對耗電百分比 (%)
斷路	0.00	0.00
通路	2.14	0.00
	5.70	10.29
	7.36	22.07
	8.79	37.71
	10.10	59.64



熱電致冷器相對耗電百分比(%)



- ◆ LED耗電量0.66W
- ▲ LED耗電量1.19W
- LED耗電量1.02W
- LED耗電量1.4W

圖 5-5 S2 熱電致冷器耗電量與照度提升關係圖

表 5-6 (a) S3 熱電致冷器耗電量與 LED 照度實驗結果

LED 電流：0.3A LED 耗電量：35.4W

熱電致冷器狀態	室溫 (°C)	LED 溫度 (°C)	LED 溫度下降 (°C)	LED 照度 (LUX)	熱電致冷器耗電量 (W)
斷路	23.4	79.9	0.0	605	0.00
通路	23.2	78.8	1.1	609	0.00
	23.3	78.5	1.4	610	0.07
	23.2	77.6	2.3	612	0.33
	23.5	76.8	3.1	613	0.75
	23.3	76.1	3.8	615	1.33
	23.2	75.2	4.7	616	2.07
	23.2	74.0	5.9	619	3.19
	23.3	73.3	6.6	620	4.42
	23.3	72.6	7.3	621	5.85
	23.4	72.0	7.9	622	7.65

熱電致冷器狀態	LED 照度提升百分比 (%)	熱電致冷器相對耗電百分比 (%)
斷路	0.00	0.00
通路	0.66	0.00
	0.83	0.20
	1.16	0.93
	1.32	2.12
	1.65	3.76
	1.82	5.85
	2.31	9.01
	2.48	12.49
	2.64	16.53
	2.81	21.61

表 5-6 (b) S3 熱電致冷器耗電量與 LED 照度實驗結果

LED 電流：0.35A LED 耗電量：42W

熱電致冷器狀態	室溫 (°C)	LED 溫度 (°C)	LED 溫度下降 (°C)	LED 照度 (LUX)	熱電致冷器耗電量 (W)
斷路	21.5	83.1	0.0	670	0.00
通路	21.5	81.2	1.9	674	0.00
	21.5	80.7	2.4	676	0.07
	21.6	80.2	2.9	677	0.20
	21.6	79.5	3.6	678	0.36
	21.5	78.8	4.3	680	0.56
	21.6	78.6	4.5	681	0.80
	21.7	78.2	4.9	682	1.08
	21.7	77.7	5.4	683	1.40
	21.7	77.4	5.7	684	1.76
	21.7	76.6	6.5	686	2.25
	21.6	74.5	8.6	691	4.55

熱電致冷器狀態	LED 照度提升百分比 (%)	熱電致冷器相對耗電百分比 (%)
斷路	0.00	0.00
通路	0.60	0.00
	0.90	0.17
	1.04	0.48
	1.19	0.86
	1.49	1.33
	1.64	1.90
	1.79	2.57
	1.94	3.33
	2.09	4.19
	2.39	5.36
	3.13	10.83

表 5-7 S4 熱電致冷器耗電量與 LED 照度實驗結果

LED 電流：0.35A LED 耗電量：18.48W

熱電致冷器狀態	室溫 (°C)	LED 溫度 (°C)	LED 溫度下降 (°C)	LED 照度 (LUX)	熱電致冷器耗電量 (W)
斷路	26.7	66.3	0.0	312	0.00
通路	26.7	60.2	6.1	327	0.00
	26.6	57.6	8.7	334	0.16
	26.7	55.1	11.2	338	0.48
	26.1	53.0	13.3	342	0.93
	25.9	51.1	15.2	345	1.56
	26.3	49.7	16.6	347	2.35
	26.1	48.4	17.9	349	3.24
	26.3	47.0	19.3	351	4.34
	26.4	46.0	20.3	353	5.52
	26.2	45.0	21.3	354	6.84

熱電致冷器狀態	LED 照度提升百分比 (%)	熱電致冷器相對耗電百分比 (%)
斷路	0.00	0.00
通路	4.81	0.00
	7.05	0.87
	8.33	2.60
	9.62	5.03
	10.58	8.44
	11.22	12.72
	11.86	17.53
	12.50	23.48
	13.14	29.87
	13.46	37.01

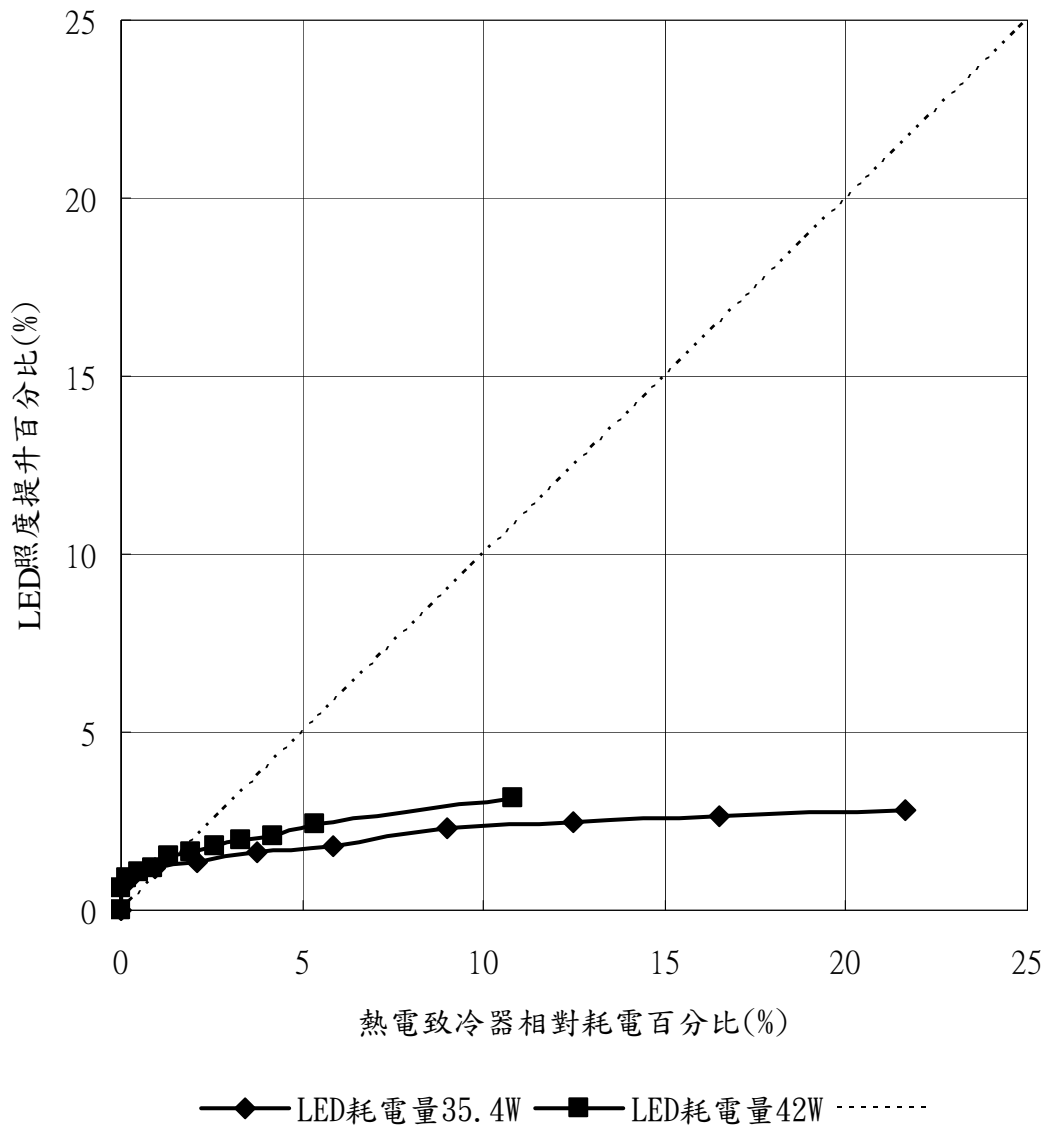
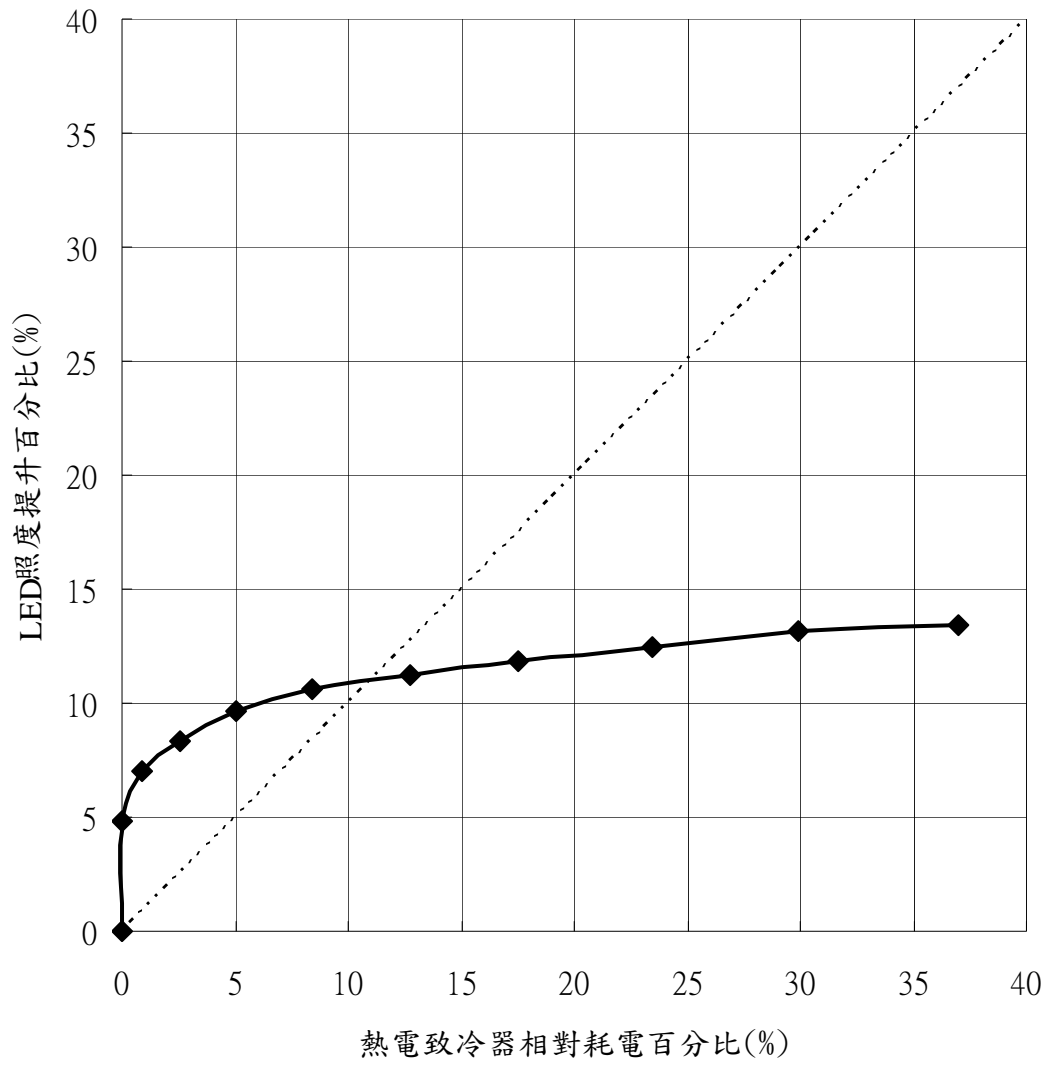
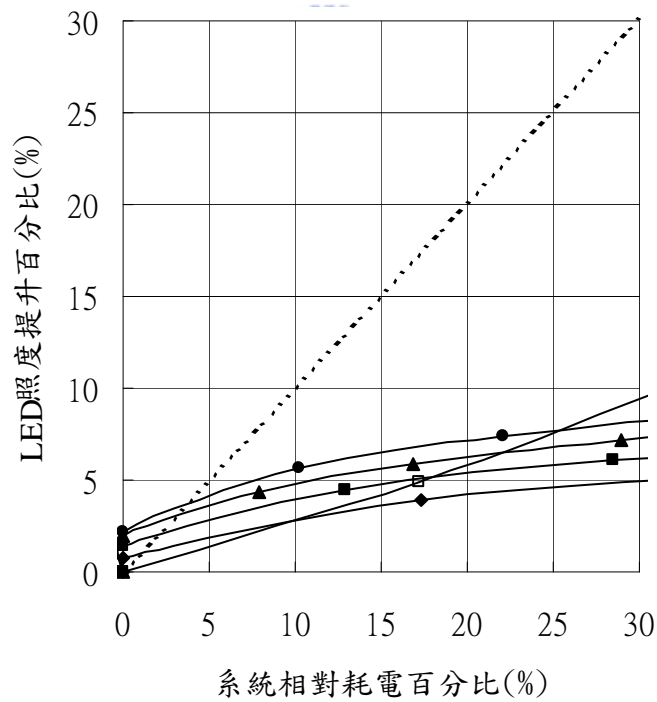
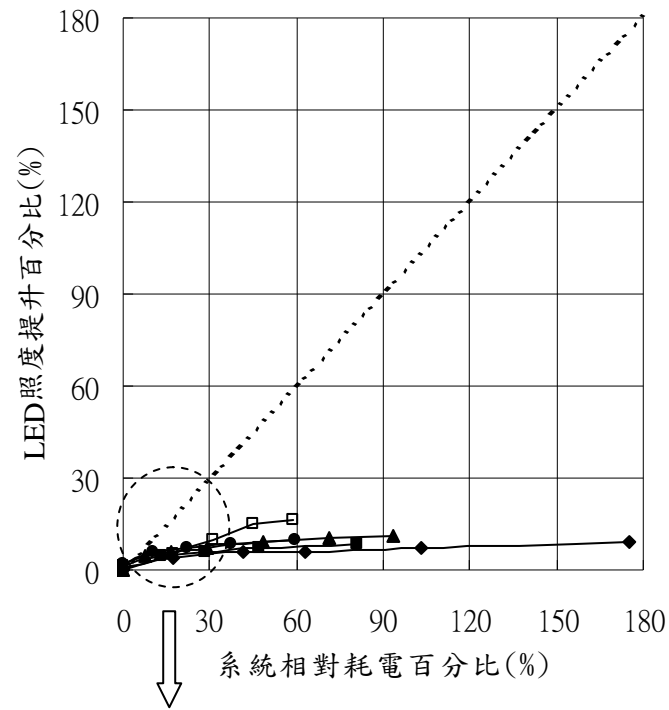


圖 5-6 S3 熱電致冷器耗電量與照度提升關係圖



LED 耗電量：18.48W

圖 5-7 S4 熱電致冷器耗電量與照度提升關係圖



- ◆ 使用熱電致冷器-LED耗電量0.66W
- 使用熱電致冷器-LED耗電量1.02W
- ▲ 使用熱電致冷器-LED耗電量1.19W
- 使用熱電致冷器-LED耗電量1.4W
- 無熱電致冷器

圖 5-8 S2 系統相對耗電量與照度提升比較圖



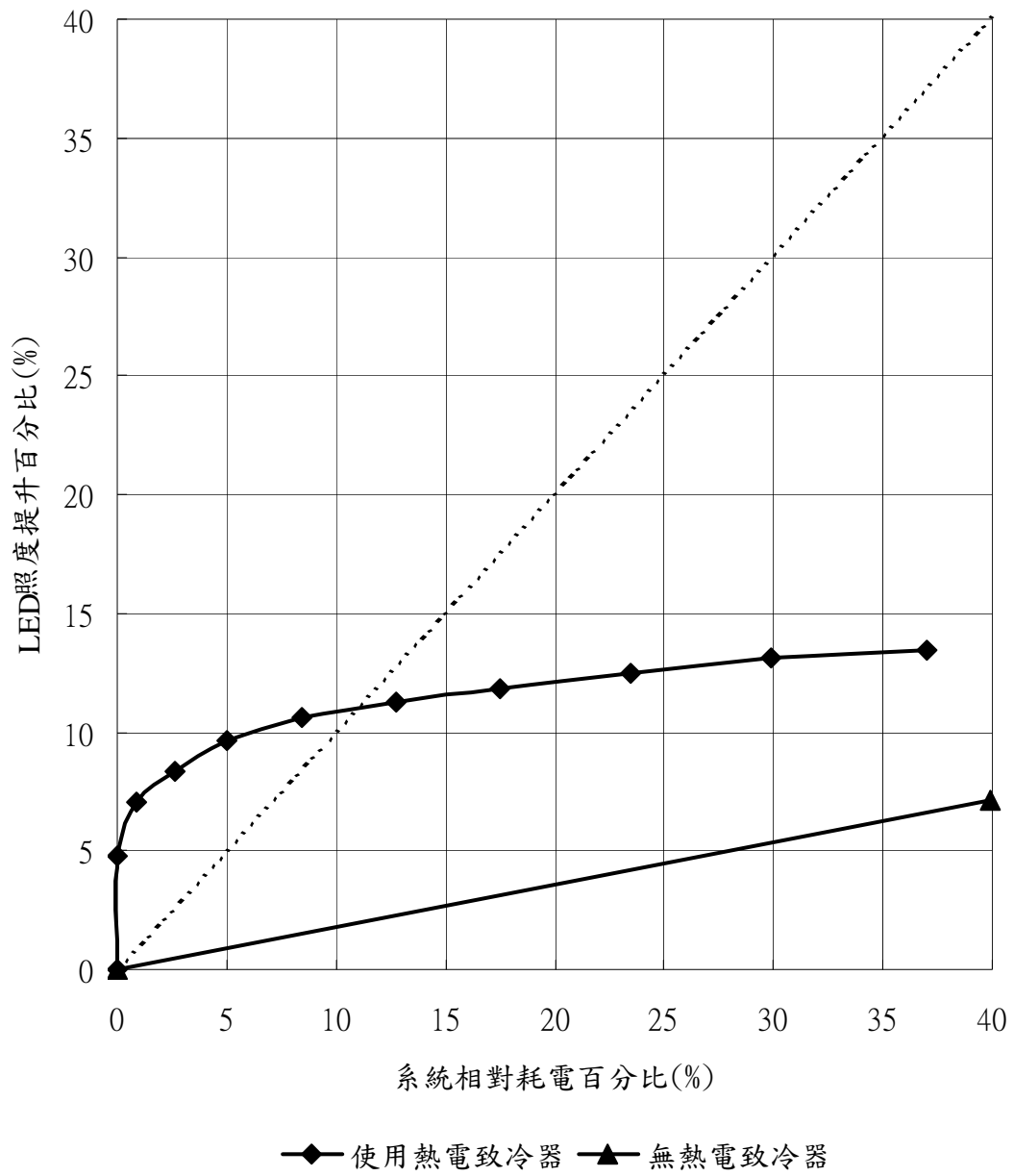
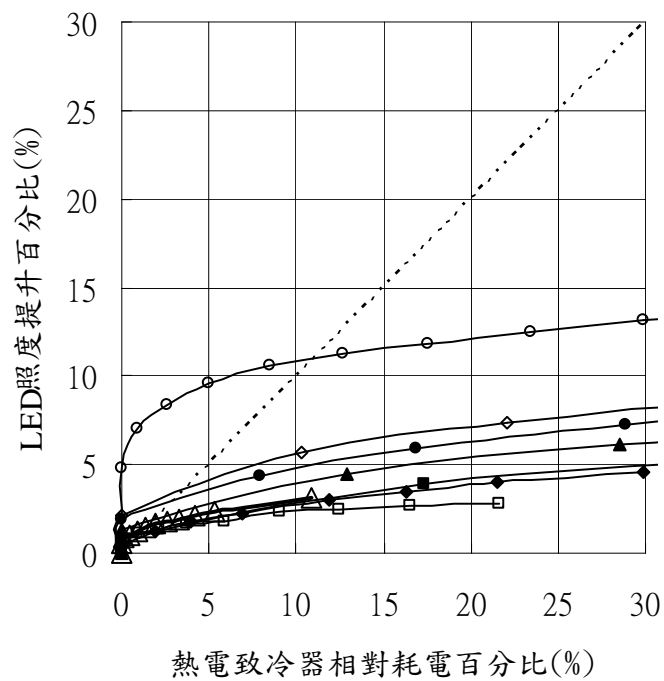
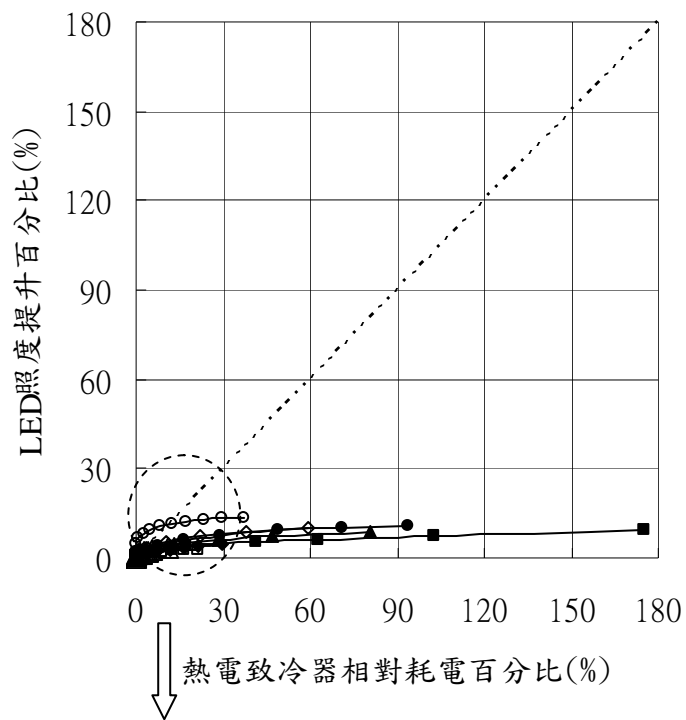
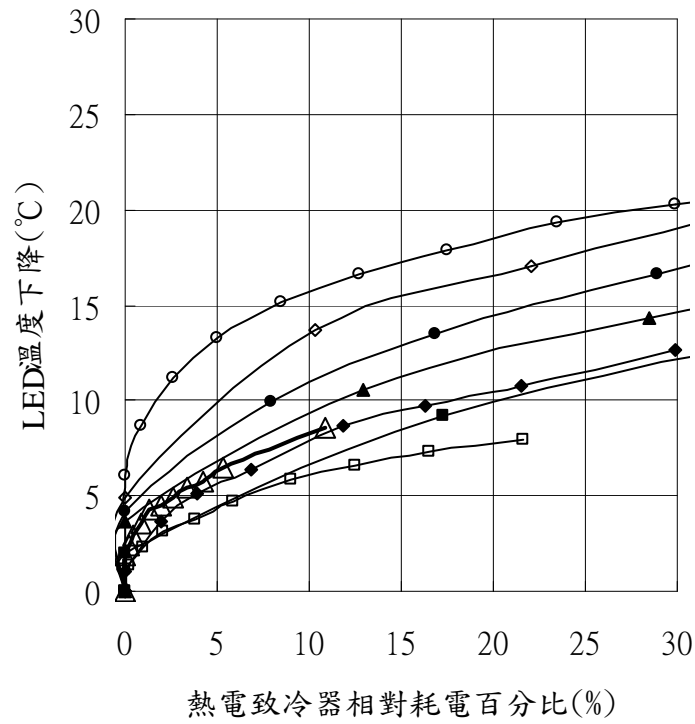
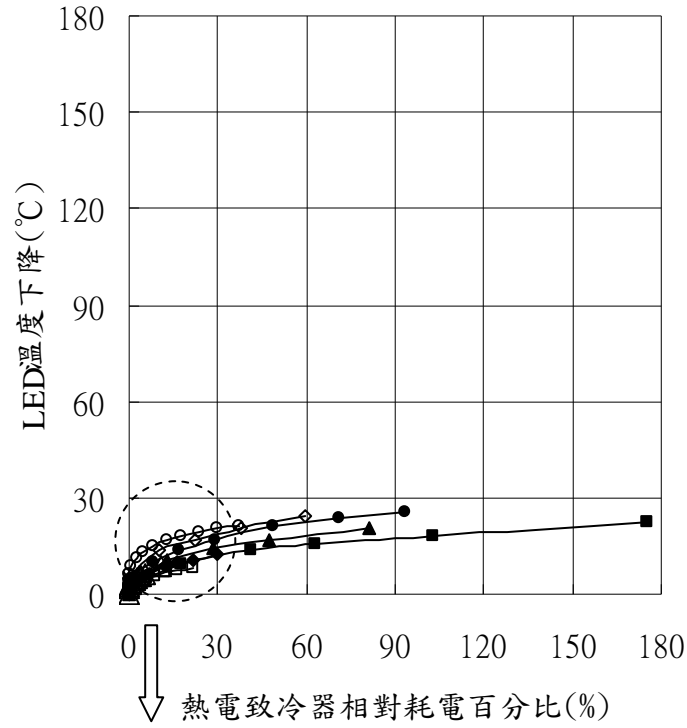


圖 5-9 S4 系統相對耗電量與照度提升比較圖



- |                    |                     |
|--------------------|---------------------|
| —◆— S1-LED耗電量1.19W | —■— S2-LED耗電量0.66W  |
| —▲— S2-LED耗電量1.02W | —●— S2-LED耗電量1.19W  |
| —◇— S2-LED耗電量1.4W  | —□— S3-LED耗電量35.4W  |
| —△— S3-LED耗電量42W   | —○— S4-LED耗電量18.48W |

圖 5-10 熱電致冷器耗電量與照度提升對照圖



- ◆ S1-LED耗電量1.19W
- ▲ S2-LED耗電量1.02W
- ◇ S2-LED耗電量1.4W
- △ S3-LED耗電量42W
- S2-LED耗電量0.66W
- S2-LED耗電量1.19W
- S3-LED耗電量35.4W
- S4-LED耗電量18.48W

圖 5-11 熱電致冷器耗電量與 LED 溫度下降對照圖

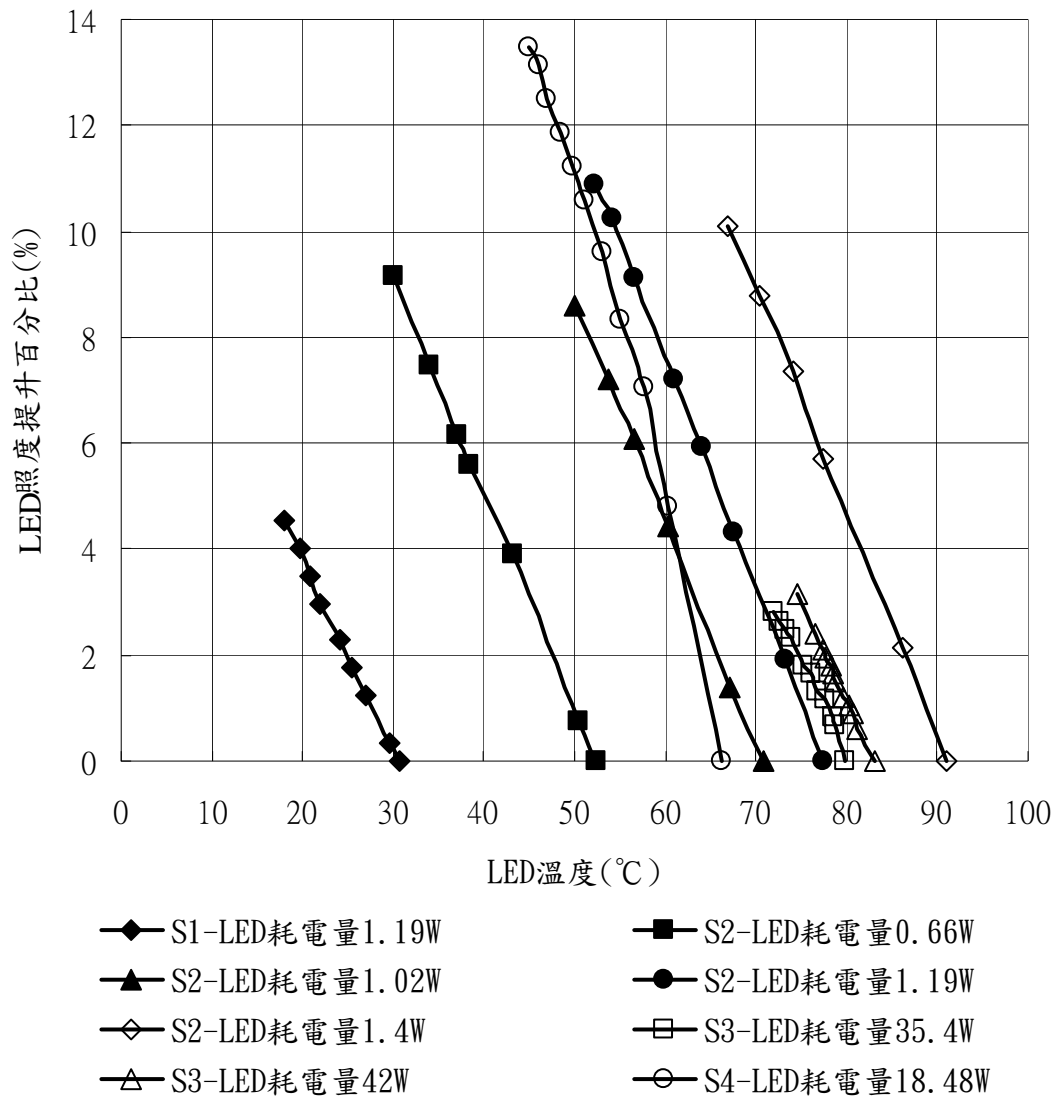


圖 5-12 LED 溫度與照度提升對照圖

## 六、 結論

本文研究熱電致冷器之實用性，以散熱器配合熱電致冷器及一發熱源在自然對流下熱電致冷器之冷卻效果，並以實驗與數值模擬的結果相互比對。另外以熱電致冷器應用於 LED 之散熱系統，以不同耗電量與型式之 LED 配合熱電致冷器以提高 LED 之亮度，最後歸納結果如下：

1. 以熱電致冷器冷卻一發熱源時，熱端散熱器之散熱能力對於熱電致冷器的效率影響極大。
2. 要使發熱源冷卻至越低溫，熱電致冷器之耗電量越高，因此在使用熱電致冷器時需在耗電量與溫度上取得平衡點。
3. 熱電致冷器應用於 LED 有實質的好處，一方面可以 LED 之熱量發電，另一方面可降低 LED 之溫度提高 LED 之照度及使用壽命。
4. LED 之封裝型式不同，熱電致冷器之冷卻效率亦不同，而 LED 之耗電量越高，熱電致冷器之冷卻效果越好。
5. 不同 LED 對於溫度的敏感度不同，因此對於溫度下降時 LED 所提高的照度百分比亦不同。

## 參考文獻

- [1] Ioffe, A. F., Semiconductor Thermoelements and Thermoelectric Cooling, Infosearch, London, 1957.
- [2] Goldsmid, H. J., The use of semiconductors in thermoelectric refrigeration, Research Laboratories, The General Electric Co. Ltd, Wembley, Middlesex, 1954.
- [3] R. Venkatasubramanian, MOCVD of  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  and their superlattice structures for thin-film thermoelectric applications, Journal of Crystal Growth, Vol.170, pp.817-821, 1997.
- [4] R. Venkatasubramanian, Thin-film thermoelectric devices with high room-temperature figures of merit, Research Triangle Institute, Nature, Vol.413, pp.597-602, 2001.
- [5] Chu, R. C., 2000, "Application of Thermoelectric Cooling to Electric Equipment: A Review and Analysis," Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium, pp.1-9, 2000.
- [6] Solbrekken, G. L., K. Yazawa, and A. Bar-Cohen, 2003, Chip Level Refrigeration of Portable Electronic Equipment Using Thermoelectric Devices, Proceedings of InterPack 2003, Maui, HA, Jul 6-11, Paper IPACK2003-35305.
- [7] Jim Bierschenk, Dwight Johnson, Extending the Limits of Air Cooling with Thermoelectrically Enhanced, Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems, Vol.1, pp.679-684, 2004.
- [8] Y. Noda, H. Sauciuc, I. Erturk, H, Thermal Performance of Thermoelectric Cooler (TEC) Integrated Heat Sink and Optimizing Structure for Low Acoustic Noise / Power Consumption, Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium, pp144-151, 2006.

- [9] Reiyu Chein, Thermoelectric cooler application in electronic cooling, *Applied Thermal Engineering*, Vol.24, pp.2207–2217, 2004.
- [10] B.J. Huang, System dynamic model and temperature control of a thermoelectric cooler, *International Journal of Refrigeration*, Vol.23, pp.197-207, 2000.
- [11] J. O’Gorman, A. F. J. Levi, S. Schmitt-Rink, T. Tanbun-Ek, D. L. Coblenz, and R. A. Logan, On the temperature sensitivity of semiconductor lasers, *Applied Physics Letters*, Vol. 60, pp.157-159, 1992.
- [12] J. O’Gorman, A. F. J. Levi, S. Schmitt-Rink, T. Tanbun-Ek, D. L. Coblenz, and R. A. Logan, Temperature dependence of long wavelength semiconductor lasers, *Applied Physics Letters*, Vol. 60, pp.1058-1060, 1992.
- [13] B. Matveev, M. Aidaraliev, G. Gavrilov, N. Zotova, S. Karandashov, G. Sotnikova, N. Stus’, G. Talalakin, N. Il’inskaya, S. Aleksandrov, Room temperature InAs photodiode–InGaAs LED pairs for methane detection in the mid-IR, *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol. 51, pp.233-237, 1998.
- [14] Tetsushi Tamura, Tatsumi Setomoto, Tsunemasa Taguchi, Illumination characteristics of lighting array using 10 candela-class white LEDs under AC 100 V operation, *Journal of Luminescence*, Vol.87-89, pp.1180-1182, 2000.
- [15] J. M. Ralston and J. W. Mann, Temperature and current dependence of degradation in red-emitting GaP LED’s, *Journal of Applied Physics*, Vol. 50, pp.3630-3637, 1979.
- [16] S. J. Kline, The Purpose of Uncertainty Analysis, *ASME Journal of Heat Transfer*, Vol.117, pp.153-160, 1985.

## 附錄、實驗不準度分析

為提供有效的測試結果，並說明當次測試結果的信賴度，實驗不準度之計算和分析是必要的，一般不準度的表示方式有絕對不準度與相對不準度兩種，本文採用 Kline[16]之相對不準度來分析實驗結果，根據 Kline 之研究

$$R = R(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$$

$$\begin{aligned} \delta R &= \left\{ \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial X_1} \right) \delta X_1 \right]^2 + \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial X_2} \right) \delta X_2 \right]^2 + \dots + \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial X_n} \right) \delta X_n \right]^2 \right\}^{1/2} \\ \frac{\delta R}{R} &= \left\{ \left[ \left( \frac{\partial \ln R}{\partial \ln X_1} \right) \left( \frac{\delta X_1}{X_1} \right) \right]^2 + \left[ \left( \frac{\partial \ln R}{\partial \ln X_2} \right) \left( \frac{\delta X_2}{X_2} \right) \right]^2 + \dots + \left[ \left( \frac{\partial \ln R}{\partial \ln X_n} \right) \left( \frac{\delta X_n}{X_n} \right) \right]^2 \right\}^{1/2} \end{aligned} \quad (1)$$

若  $R = X_1^a \cdot X_2^b \cdot X_3^c \cdot \dots$

則其相對不準度可由式(1)求得

$$\frac{\delta R}{R} = \left\{ \left[ a \times \left( \frac{\delta X_1}{X_1} \right) \right]^2 + \left[ b \times \left( \frac{\delta X_2}{X_2} \right) \right]^2 + \left[ c \times \left( \frac{\delta X_3}{X_3} \right) \right]^2 + \dots \right\}^{1/2} \quad (2)$$

以下分別根據 LED 耗電量與照度實驗、熱電致冷器之熱電發電實驗、熱電致冷器耗電量與 LED 照度實驗，以 S2 樣品為基準來說明不準度之範圍。



## 1. LED 耗電量與照度實驗

### 1.1 S2 之 LED 電流在 0.15 A 時

#### 1.1.1 LED 耗電量之不準度

LED 電量  $P = IV$ ，由式 (2)，LED 耗電量之不準度為

$$\frac{\delta P}{P} = \left\{ \left( \frac{\delta I}{I} \right)^2 + \left( \frac{\delta V}{V} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, \text{ LED 之電流為 } 0.15 \text{ A, 電壓為 } 2.9 \text{ V, GPC-3030D}$$

之電流與電壓精準度為 0.01 A 及 0.1 V，因此其不準度為

$$\frac{\delta P}{P} = \left\{ \left( \frac{\delta I}{I} \right)^2 + \left( \frac{\delta V}{V} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} = \left\{ \left( \frac{0.005}{0.15} \right)^2 + \left( \frac{0.05}{2.9} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} = 3.75\%$$

#### 1.1.2 LED 照度之不準度

LED 照度為 61LUX，LX-101 之精準度為 1LUX，因此 LED 照度之不準度為

$$\left[ \left( \frac{0.5}{61} \right)^2 \right]^{1/2} = 0.82\%$$



### 1.2 S2 之 LED 電流在 0.23 A 時

#### 1.2.1 LED 耗電量之不準度

LED 之電流為 0.23 A，電壓為 3V，GPC-3030D 之電流與電壓精準度為 0.01 A 及 0.1 V，因此其不準度為

$$\frac{\delta P}{P} = \left\{ \left( \frac{\delta I}{I} \right)^2 + \left( \frac{\delta V}{V} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} = \left\{ \left( \frac{0.005}{0.23} \right)^2 + \left( \frac{0.05}{3} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} = 2.74\%$$

#### 1.2.2 LED 照度之不準度

LED 照度為 71LUX，LX-101 之精準度為 1LUX，因此 LED 照度之不準度為

$$\left[ \left( \frac{0.5}{71} \right)^2 \right]^{1/2} = 0.7\%$$

## 2. 熱電致冷器之熱電發電實驗

### 2.1 S2 之 LED 電流在 0.2 A 時

#### 2.1.1 LED 溫度下降之不準度

LED 溫度下降為  $52.4^{\circ}\text{C} - 50.4^{\circ}\text{C} = 2^{\circ}\text{C}$ ，MX110 之準確度為  $0.1^{\circ}\text{C}$ ，因此 LED 溫度下降之不準度為

$$\frac{\delta dT}{dT} = \left[ \left( \frac{0.05}{2} \right)^2 \right]^{1/2} = 2.5\%$$

#### 2.1.2 熱電致冷器熱電電流之不準度

熱電致冷器熱電電流為  $0.1\text{ A}$ ，GPC-3030D 之電流精準度為  $0.01\text{ A}$ ，因

此熱電致冷器熱電電流不準度為  $\left[ \left( \frac{0.005}{0.1} \right)^2 \right]^{1/2} = 5\%$

### 2.2 S2 之 LED 電流在 0.4 A 時

#### 2.2.1 LED 溫度下降之不準度

LED 溫度下降為  $91.1^{\circ}\text{C} - 86.2^{\circ}\text{C} = 4.9^{\circ}\text{C}$ ，MX110 之準確度為  $0.1^{\circ}\text{C}$ ，因此 LED 溫度下降之不準度為

$$\frac{\delta dT}{dT} = \left[ \left( \frac{0.05}{4.9} \right)^2 \right]^{1/2} = 1.02\%$$

#### 2.2.2 熱電致冷器熱電電流之不準度

熱電致冷器熱電電流為  $0.24\text{ A}$ ，GPC-3030D 之電流精準度為  $0.01\text{ A}$ ，

因此熱電致冷器熱電電流不準度為  $\left[ \left( \frac{0.005}{0.24} \right)^2 \right]^{1/2} = 2.08\%$

### 3. 熱電致冷器耗電量與 LED 照度實驗

#### 3.1 當 S2 在耗電量 0.66W 時

##### 3.1.1 LED 溫度下降之不準度

LED 最大溫度下降為  $52.4^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C} = 22.4^{\circ}\text{C}$ ，MX110 之準確度為  $0.1^{\circ}\text{C}$ ，

因此 LED 溫度下降之不準度為  $\frac{\delta dT}{dT} = \left[ \left( \frac{0.05}{22.4} \right)^2 \right]^{1/2} = 0.22\%$

##### 3.1.2 LED 照度提升之不準度

LED 最大照度提升為  $585\text{LUX} - 536\text{LUX} = 49\text{LUX}$ ，LX-101 之精準度為  $1\text{LUX}$ ，

因此 LED 照度提升之不準度為  $\left[ \left( \frac{0.5}{49} \right)^2 \right]^{1/2} = 1.02\%$

##### 3.1.3 熱電致冷器耗電量之不準度

熱電致冷器耗電量  $P = IV$ ，由式 (2)，熱電致冷器耗電量之不準度為

$\frac{\delta P}{P} = \left\{ \left( \frac{\delta I}{I} \right)^2 + \left( \frac{\delta V}{V} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$ ，熱電致冷器之最大電流為  $1.93\text{A}$ ，最大電壓為

$0.6\text{V}$ ，GPC-3030D 之電流與電壓精準度為  $0.01\text{A}$  及  $0.1\text{V}$ ，因此其不準度

為  $\frac{\delta P}{P} = \left\{ \left( \frac{\delta I}{I} \right)^2 + \left( \frac{\delta V}{V} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} = \left\{ \left( \frac{0.005}{1.93} \right)^2 + \left( \frac{0.05}{0.6} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} = 8.34\%$

##### 3.1.4 LED 耗電量之不準度

LED 之電流為  $0.2\text{A}$ ，電壓為  $3.3\text{V}$ ，GPC-3030D 之電流與電壓精準度為  $0.01\text{A}$  及  $0.1\text{V}$ ，因此其不準度為

$$\frac{\delta P}{P} = \left\{ \left( \frac{\delta I}{I} \right)^2 + \left( \frac{\delta V}{V} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} = \left\{ \left( \frac{0.005}{0.2} \right)^2 + \left( \frac{0.05}{3.3} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} = 2.5\%$$

### 3.2 當 S2 在耗電量 1.4W 時

#### 3.2.1 LED 溫度下降之不準度

LED 最大溫度下降為  $91.1^{\circ}\text{C} - 66.8^{\circ}\text{C} = 24.3^{\circ}\text{C}$ ，MX110 之準確度為

$$0.1^{\circ}\text{C}，因此 LED 溫度下降之不準度為  $\frac{\delta T}{dT} = \left[ \left( \frac{0.05}{24.3} \right)^2 \right]^{1/2} = 0.21\%$$$

#### 3.2.2 LED 照度提升之不準度

LED 最大照度提升為  $693\text{LUX} - 625\text{LUX} = 68\text{LUX}$ ，LX-101 之精準度為 1LUX，

因此 LED 照度提升之不準度為  $\left[ \left( \frac{0.5}{85} \right)^2 \right]^{1/2} = 0.59\%$

#### 3.2.3 熱電致冷器耗電量之不準度

熱電致冷器之最大電流為 1.67A，最大電壓為 0.5V，GPC-3030D 之電流與電壓精準度為 0.01A 及 0.1V，因此其不準度為

$$\frac{\delta P}{P} = \left\{ \left( \frac{\delta I}{I} \right)^2 + \left( \frac{\delta V}{V} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} = \left\{ \left( \frac{0.005}{1.67} \right)^2 + \left( \frac{0.05}{0.5} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} = 10\%$$

#### 3.2.4 LED 耗電量之不準度

LED 之電流為 0.4A，電壓為 3.5V，GPC-3030D 之電流與電壓精準度為 0.01A 及 0.1V，因此其不準度為

$$\frac{\delta P}{P} = \left\{ \left( \frac{\delta I}{I} \right)^2 + \left( \frac{\delta V}{V} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} = \left\{ \left( \frac{0.005}{0.4} \right)^2 + \left( \frac{0.05}{3.5} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} = 1.9\%$$