

# 第一章 導論

發光二極體的基本結構為半導體的 pn 接面 (pn-junction)，利用磊晶方法與材料分析降低半導體材料的缺陷，以及設計各種元件結構 (包括雙異質接面結構，Double Heterostructure(DH)，或是量子井結構，Quantum Well(QW))，都是提昇發光二極體效能的重要主題。由於發光二極體是由半導體材料製作而成，因此溫度對發光二極體操作時的特性也會有很大的影響：例如半導體的能帶隙能量 (Energy Band-gap,  $E_g$ ) 會隨著溫度改變，所以發光二極體的發光波長也隨溫度而改變；而高溫時，發光層的電子會有足夠的能量脫出發光層，降低發光二極體的發光效率，同時產生更多的熱；而發光二極體操作時的高溫也可能造成發光層中之缺陷持續成長延伸，降低發光二極體的使用壽命。

但是真正影響發光二極體操作時的溫度，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)。發光二極體在操作時，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。藉由量測並比較發光二極體操作時的接面溫度，可以研究發光二極體的元件結構設計是否正確，可以瞭解發光二極體封裝設計對元件效能的影響，而這項研究對於大面積、高功率發光二極體將更是重要。

因為元件很小，所以要直接量測接面溫度並不容易。然而，接面溫度上升可由以下幾個方法來估計：(1)從由 band-gap 的溫度相依性所決定的放射光的波長位移(2)比較在直流與脈衝操作下的光輸出功率(3)從接面電壓(junction voltage)對溫度的相依性。

在順向偏壓下操作的 pn 接面對接面溫度是很靈敏的，當有注入(injection)所產生的熱或是周圍環境(或熱滲透)溫度增加時，接面溫度隨著上升。一個由熱效應所影響的例子如圖 2-1 所示<sup>1</sup>。

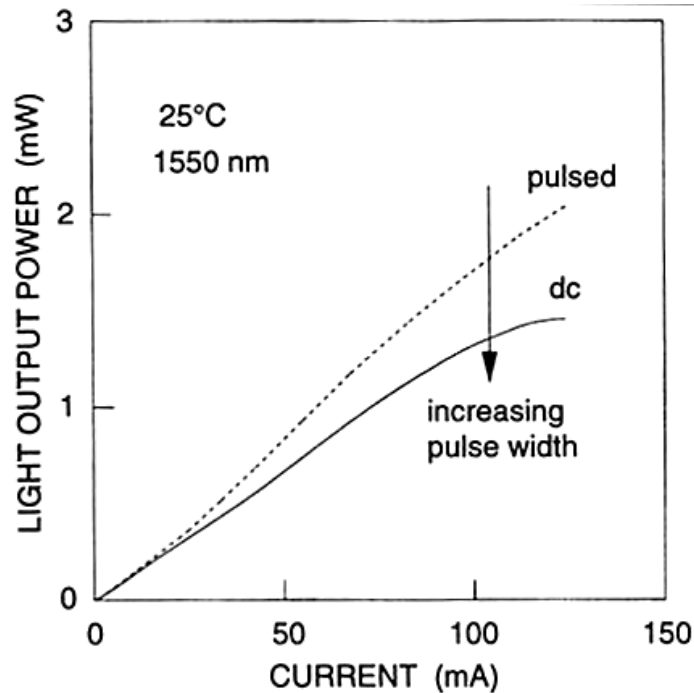


圖 1-1 在直流與脈衝偏壓操作下的 1550nm-band InGaAsP/InP LED 電流對光輸出功率的關係

光輸出功率在直流與脈衝偏壓之間有明顯的不同，而此相異可歸因於接面溫度的不同。在直流操作下，當注入電流增加，因為在作用層與元件其它有歐姆電阻的部分(像電極或是其它的半導體層)的熱變大，光輸出功率漸漸地趨於飽合狀態。而在脈衝操作下，如果脈衝的寬度小於幾個 **microseconds** 的話，因為在此操作條件下所產生的熱可忽略，所以光輸出功率隨著注入電流呈線性的增加。當脈衝寬度增加時接面溫度也漸漸地上升，並且最後將與在直流操作狀態下有相同的數值。

論文中選取第三種量測方式以求得發光二極體的接面溫度，我們將捕捉元件的電壓暫態來計算接面溫度。此研究的目的為建立 LED 接面溫度的量測系統，發展出正確的量測方法，並利用此套量測系統研究磷化銦鋁鎵紅光發光二極體和氮化銦鎵藍光發光二極體，其接面溫度與二極體光電特性的關聯，同時設法降低 LED 接面溫度提昇 LED 發光效能。

## 第二章 量測原理與系統設計

本章節所探討的主題是實驗操作原理、量測系統的建立與量測時所需的條件設定，在實驗條件的設定方面，包括：量測電流(Measurement Current,  $I_M$ )、接面電壓的溫度係數(Temperature Coefficient Of Junction Voltage,  $K_j$ )、冷卻時間(Cooling Time,  $t_c$ )、加熱時間(Heating Time,  $t_H$ )四個方面。

### 2.1 量測原理

#### 2.1.1 TSP<sup>1</sup>

在半導體元件中，許多溫度相依的電的現象能夠被利用來當作溫度量測工具，一般較常使用 TSPs(temperature-sensitive parameters)的是在一個順向偏壓的二極體的電壓降。大部分 TSPs 的理想特性描述如下：

- (1)靈敏(Sensitive)：TSP 靈敏度應該是足夠高的，這個靈敏度是以電壓改變量對溫度改變量的比率來表示的。高的靈敏度提升了電的訊號對雜訊的比率(signal-to-noise)和溫度量測的準確度，不足的靈敏度產生過度的雜訊的數據。
- (2)非侵入性(Non Invasive)：用這個量測技術應該有最小的半導體電性加熱。理想上，溫度的量測不能被量測方法所影響。
- (3)一致性(Consistency)：對於完全相同的元件方面，應該要有足夠的一致性在 TSP 的關係裡，以避免對每一個各別的元件執行完整的元件校正的動作。
- (4)線性(Linear)：TSP 對於電壓對溫度的函數方面必須是線性或是幾乎線性的。許多非線性的 TSPs 通常都是比較不精確或是較難被使用的。

對於大量生產的同一元件方面，電壓溫度特性曲線中的斜率對大多數的元件而言幾乎是常數。雖然小的電流產生較小的自發加熱，但並非是最好的選擇。以下有兩個限制被應用在電流的選擇：

- (a)Conduction lower limit：電流必須足夠大到在元件的接面產生比表面漏電量還

要好的傳導。一般而言，0.1mA 是最小的接面測試的最低選擇。典型地來說，大的接面有較高的電流。

(b)Electrical lower limit : 所有的半導體接面都有並聯的寄生電容。這些電容導致量測到的二極體電壓減弱了真實的半導體溫度相依的電壓。這個減弱的條件在實用的元件測試上產生了問題。這樣的電性的暫態持續時間可達到 500mS 並且能經由較大的電流來減小。

### 2.1.2 接面電壓的溫度係數 $K_j$ 與量測的電流波形

在半導體物理中，二極體電流電壓關係可表示為

$$I = I_s \left[ \exp\left(\frac{eV_j}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2-1)$$

如果在 p 型區域與 n 型區域間加上一個順向偏壓，基本上所有的電壓都是降落在接面區域，圖 2-1 顯示一個具有正電壓  $V_j$  的 pn 接面，此電壓即所謂的接面電壓(junction voltage,  $V_j$ )。

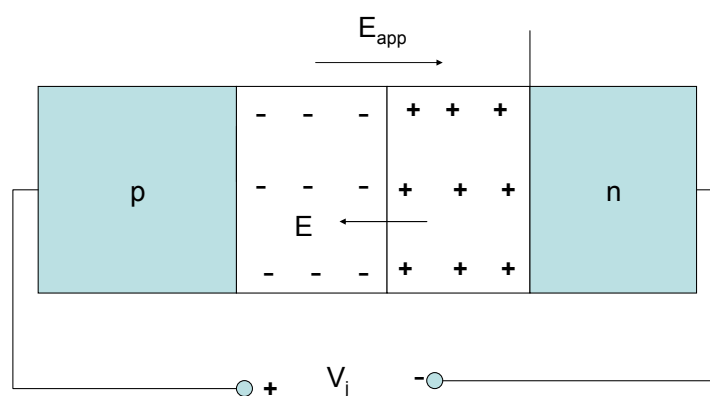


圖 2-1 具有外加順向偏壓電壓的 pn 接面

pn-junction 的接面溫度(junction temperature)可容易地藉由量測在順向偏壓操作下接面電壓的改變量監測到。順向接面電壓由半導體材料的能隙所決定，如圖 2-2<sup>2</sup> 所示與接面溫度幾乎呈線性的關係(equation(2-2))，在 1mA 下的順向接面電壓隨著周圍環境溫度呈現線性的變化。當順向電流被設定在這麼小的一個數值以致於在 pn 接面所產生的熱是可忽略的，從斜率可得到接面電壓的溫度係數， $K_j^{3-5}$ ：

$$\frac{dV_j}{dT_a} = -k_j \quad (2-2)$$

此處的  $T_a$  指的是二極體元件所處的外在環境溫度

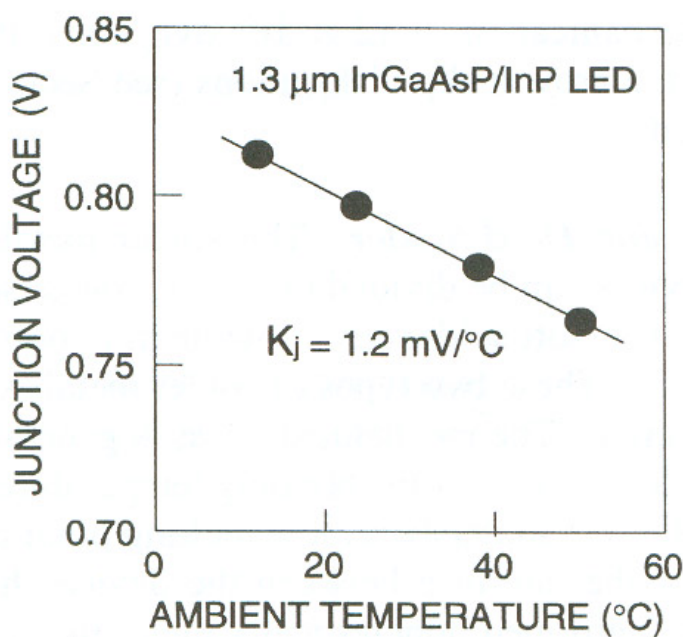


圖 2-2 InGaAsP/InP LED 順向接面偏壓與周遭溫度的關係

為了求得  $K_j$ ，我們可以在實驗中選擇很小的量測電流  $I_M$ （例如 0.1 mA），然後假設在如此低的電流條件下，元件產生的熱可以被忽略，所以此時元件的接面溫度  $T_j$  可視為與環境溫度  $T_a$  相同，所以在實驗中改變環境溫度  $T_a$ ，量測不同環境溫度下的接面電壓，即可獲得  $K_j$  值。

接著我們參考圖 2-3<sup>6</sup>來說明加熱電流時的量測方式。當 LED 持續在較高的電流條件  $I_H$  下操作，LED 的接面溫度達到穩定  $T_j(I_H)$ ，此時將操作電流由  $I_H$  瞬間降至  $I_M$ （也就是量測  $k_j$  時的小電流），在電流變化的一瞬間，LED 的接面溫度仍然為  $T_j(I_H)$ ，然後隨時間變化降至環境溫度  $T_a$ 。當 LED 的接面溫度變化時，LED 的接面電壓也隨之變化，從接面電壓的變化值  $\Delta V_f$ ，可以計算出高電流  $I_H$  操作下的 LED 的接面溫度  $T_j(I_H)$ ：

$$\Delta V_f = V_{Mss} - V_{M0} \quad (2-3)$$

由方程式(2-2)與(2-3)，接面溫度的改變量可由  $\frac{\Delta V_f}{K_j}$  ( $= T_j - T_a$ ) 得到。

$$T_j = T_a + \frac{V_{Mss} - V_{M0}}{K_j} \quad (2-4)$$

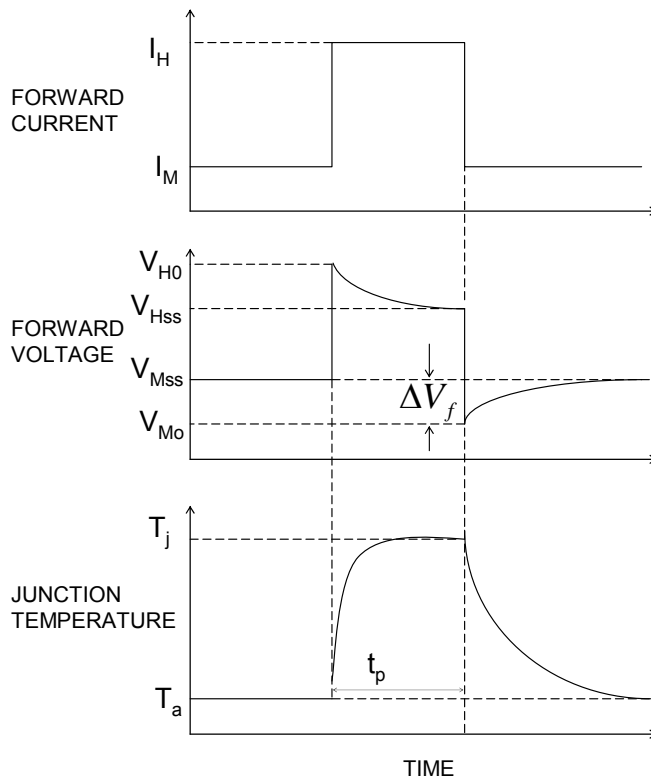


圖 2-3 接面溫度量測的基本概念

## 2.2 系統設計

圖 2-4 為量測系統示意圖。

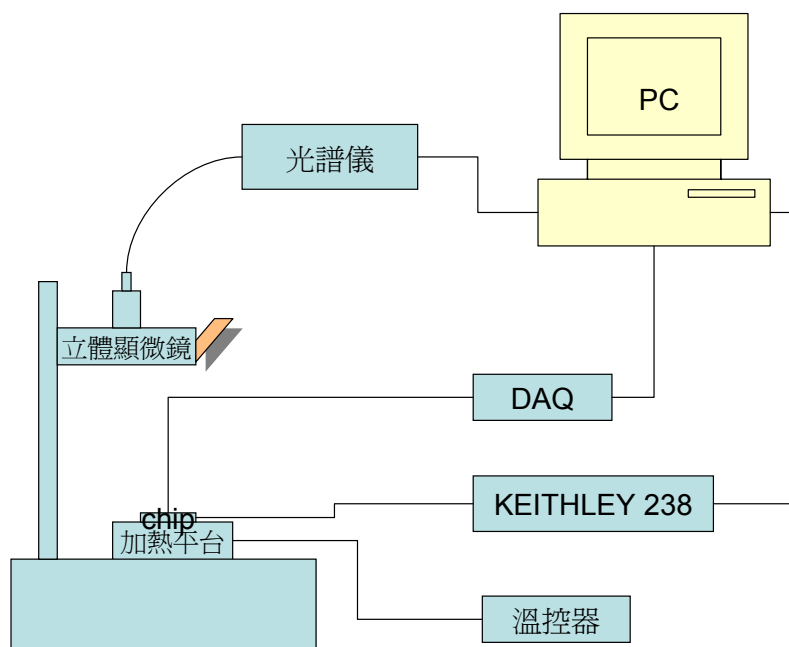


圖 2-4 系統示意圖

要組成量測 LED junction temperature 的儀器設備，包括：

(1) 可控溫恆溫探針平台座：這是為了量測 chip 型態的 LED。

註：假設空氣對流所造成的溫度變動很小，此時  $T_a$  的數值大小等於平台座的溫度(Stage Temperature)。我們將熱電偶緊靠在平台表面上，讀取溫控器上所設定的溫度即為平台座的溫度，準確度可達  $0.1^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 可程式之電流源：產生量測所需之電流波形。

註：電流源為 KEITHLEY 238 HIGH CURRENT SOURCE MEASURE UNIT

(3) 電壓波形量測儀：量測界面電壓的變化，估計  $\text{sampling rate} > 100\text{K/sec}$ ，電壓解析度高於  $0.1\text{ mV}$ 。

註：電壓波形量測儀型號為 DAQPad-6052E

(4) 光譜儀：量測 LED 發光頻譜。

註：光譜儀為 USB2000，量測波長範圍為  $200\text{-}850\text{nm}$

(5) 顯微鏡：量測 chip 型態的 LED 時對準用，同時可收集 LED 產生的光。

(6) 電腦與量測控制軟體。

## 2.3 量測條件設定及參數讀取

### 2.3.1 電流的考慮

通過一個二極體的量測電流( $I_M$ )，必須大到足夠獲得一個不被表面漏電效應所影響的可信賴的順向壓降，但也須足夠小到不產生明顯的自我加熱。 $I_M$  值的選取在二極體 I-V 曲線的彎曲適當範圍內，如圖 2-5 所示，通常在  $100\mu\text{A}$  到  $5\text{mA}$  的範圍內，視元件的大小而定。

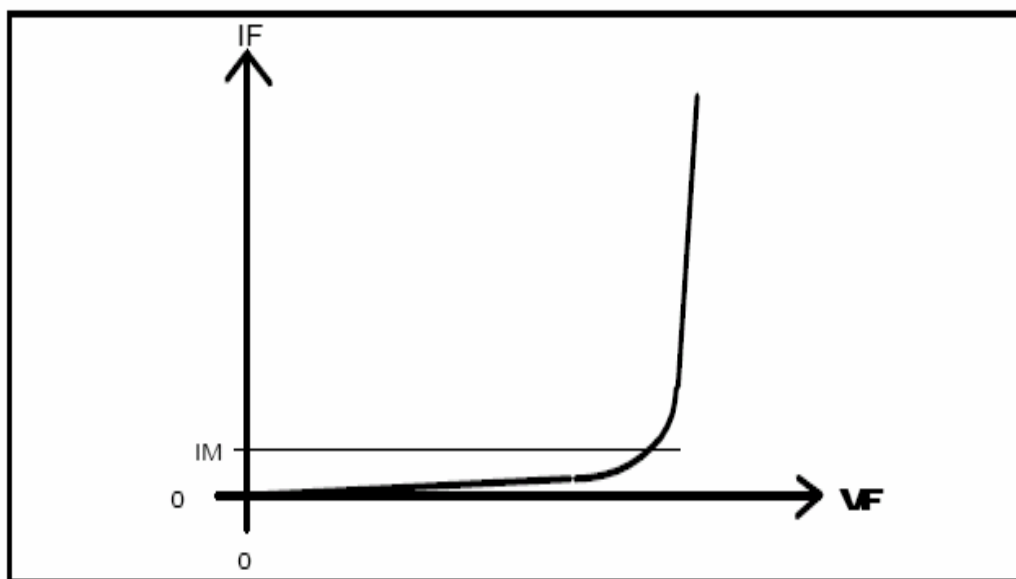


圖 2-5 發光二極體 I-V 曲線



### 2.3.2 $K_j$ 值量測

一旦  $I_M$  的適當值被選取了，在二極體順向偏壓和接面溫度之間的關係就能被決定。在這過程中，在  $I_M$  值操作下的二極體在一個可控溫恆溫的環境下操作，而在不同溫度下的二極體的順向偏壓被紀錄下來。因為  $I_M$  經過適當的選取以致於不產生明顯的自我加熱，所以環境溫度和接面溫度實質上是相同的。

### 2.3.3 加熱時間(Heating Time)的考慮

在構成熱量測方面，須認清在接面所產生的熱需要一個有限的時間傳遞出去到周圍的環境以獲得合理的接面加熱。這方面的參數可從直接讀取壓降差或是計算接面溫度的上升而決定。從圖 2-3 中，當電壓由  $V_{Ho}$  變成  $V_{Hss}$ ，最佳的加熱時間即可被選取。

### 2.3.4 冷卻時間(Cooling Time)的考慮

TSP 需在將熱條件移除後被完成，因為移去外加功率後的接面冷卻，會影響到最後的接面溫度計算的結果。由圖 2-3 可清楚地看到，當電壓由  $V_{Mo}$  變成  $V_{Mss}$ ，最佳的冷卻時間即可被選取。



## 2.4 量測步驟

### (a)判斷元件是否 ok(?)

方式：以  $I = -10\mu A$  量測時， $V$  大於  $-10V$  即 ok，但也須視元件大小等因素不同而定。

### (b)I-V 曲線

方式：以 Labview 程式控制 KEITHLEY 238 驅動 LED，直接擷取數據輸出文字檔存在電腦

### (c) $K_j$ 值量測

方式：以 Labview 程式控制 KEITHLEY 238 驅動 LED 以及用 DAQ 卡擷取數據輸出文字檔存在電腦

### (d)元件的電壓暫態量測：

方式：以 Labview 程式控制 KEITHLEY 238 驅動 LED 以及用 DAQ 卡擷取數據  
輸出文字檔存在電腦

(e)光譜量測：

方式：量測光譜時，用光譜儀與其附屬的量測程式抓取數據。量測時先做暗點將  
背景雜訊去除，顯微鏡上的光圈大小設定一樣，抓取較佳的光譜曲線。

(f)數據處理：

方式：以 Origin 軟體分析



## 第三章 樣本製備與量測參數設定

本章節主要探討由實際量測到的數據，選取適當的  $t_H$ 、 $t_C$ 、 $I_M$  以及說明  $I_H$  數值大小選擇的原因。在章節的安排上，先將樣品的結構做一個簡單的圖示，說明結構上的一些特性，也將展示發光二極體的發光 pattern；接著將實驗所得的曲線，選取適當的  $t_H$ 、 $t_C$ 、 $I_M$  做為接面溫度量測的依據。

### 3.1 樣品製備

#### 3.1.1 AlGaInP/GaAs 樣品

目前紅黃光發光二極體，主要是用有機金屬氣相磊晶法來製作，本實驗所用的 AlInGaP 紅光發光二極體亦是用此法成長。

一般的 AlInGaP 紅光 LED 都是利用成長在 n-型 GaAs 基板上，所用的主要結構是雙異質結構(DH)，其中包括上下的 p-AlInP 及 n-AlInP 披覆層(Cladding Layer)以及中間的 GaInP/AlInGaP 作用層。p-GaP 是用來當作透明電流分佈窗口層，可以摻雜極濃的 p-雜質，而且穿透黃紅色光。另外，光自作用層產生，上面一半有機會自上面射出，而下面的一半傳達到基板，如果基板是有色光吸收的材料，例如：GaAs，那麼大部份將被其吸收。如果要作用層下部產生的光不被吸收，我們可用布拉格反射鏡(DBR)將作用層產生的光反射至上面。我們的樣品結構圖如圖 3-1 所示。而圖 3-2 所示為其發光 pattern，指形般的金屬接觸面以增進電流之分佈。

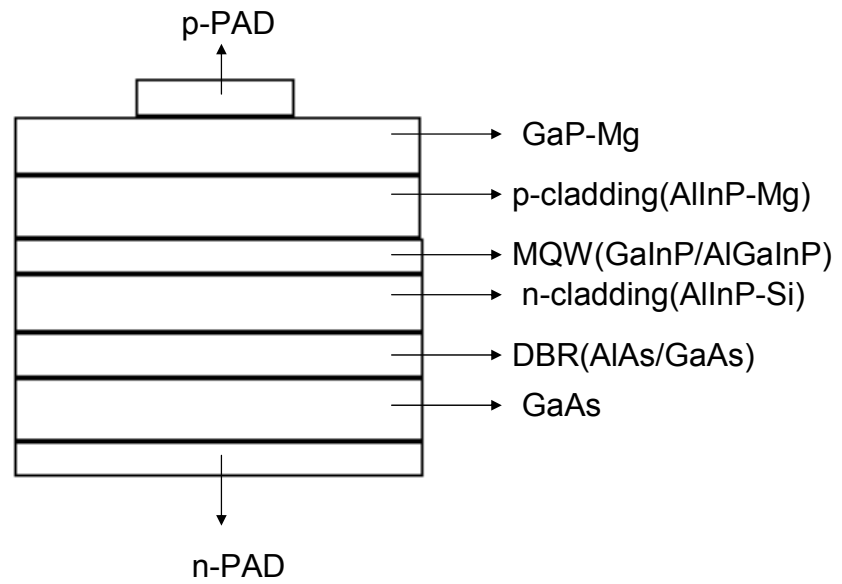


圖 3-1 AlGaInP/GaAs 紅光 LED 結構圖

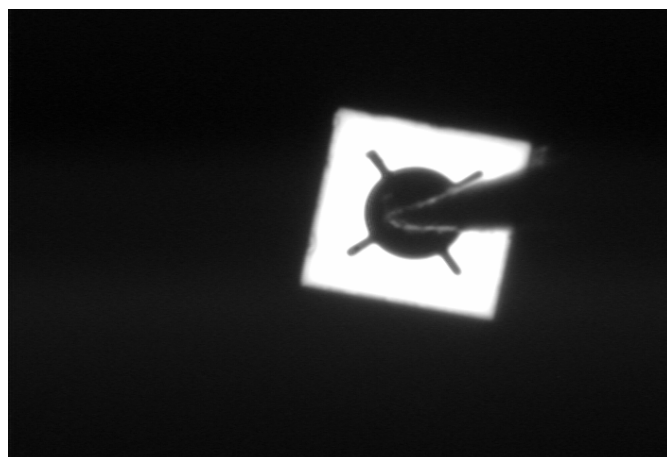


圖 3-2 8\*8mil<sup>2</sup> AlGaInP 紅光 LED 發光 pattern

### 3.1.2 InGaN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 樣品

GaN 的材料研究已經超過二十年，但一直因為沒有晶格常數匹配的基板，所以無法製成品質良好的晶體，並且 p 型 GaN 不易製成，所以進展遲緩，這些問題一直到 1983 年，日本的 S. Yoshida 等人用 AlN 在藍寶石(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> or Sapphire) 基板上先用高溫成長做緩衝層，接著在其上生長 GaN，獲得較好的結晶。<sup>7</sup>

藍光發光二極體跟其它發光二極體不一樣，是因為基板為絕緣，所以 n-PAD 和 p-PAD 需做在正面。而 p-GaN 品質不好，容易吸光，所以不能長太厚，以致於電流無法擴散開來，為了解決此問題，在 p-GaN 上面加透明導電層(TCL)。樣品的結構如圖 3-3 所示。兩個電極在正面時，如何讓電流均勻擴散到整個 LED 的接面上是很重要的，所以必須做特殊的 pattern。在我們所得到的三種樣品的發光 pattern 如圖 3-4 到 3-6 所示。

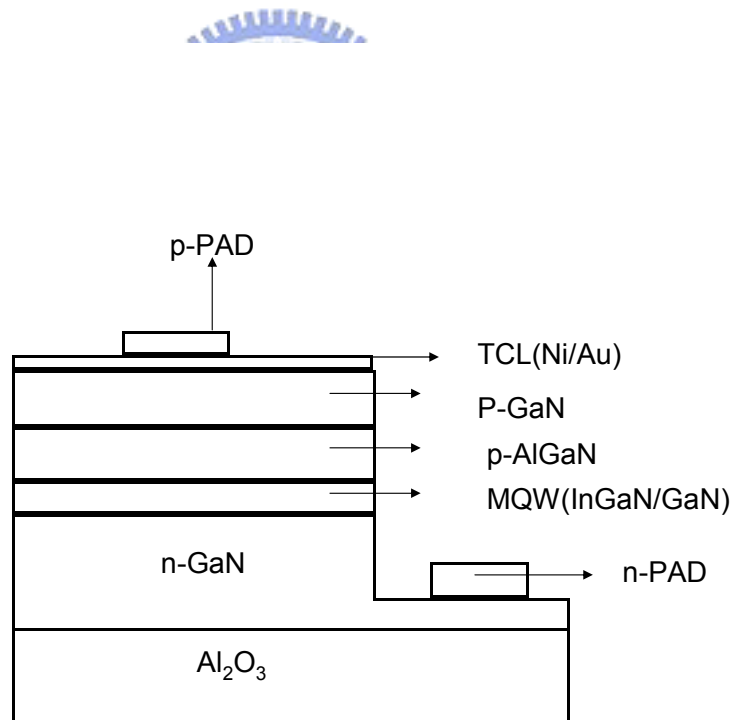


圖 3-3 InGaN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 藍光 LED 結構圖

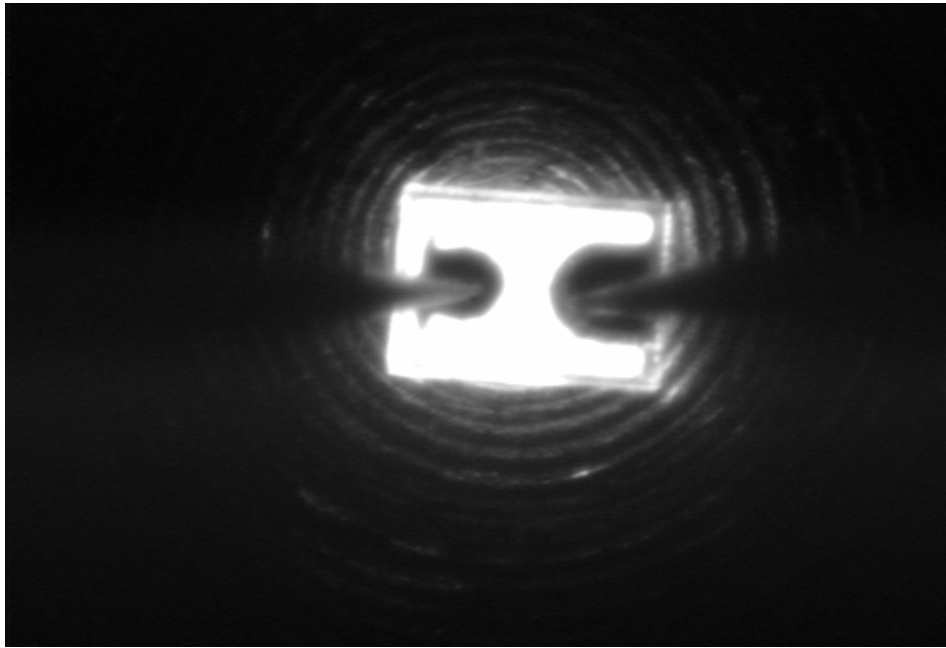


圖 3-4 13\*10mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 發光 pattern

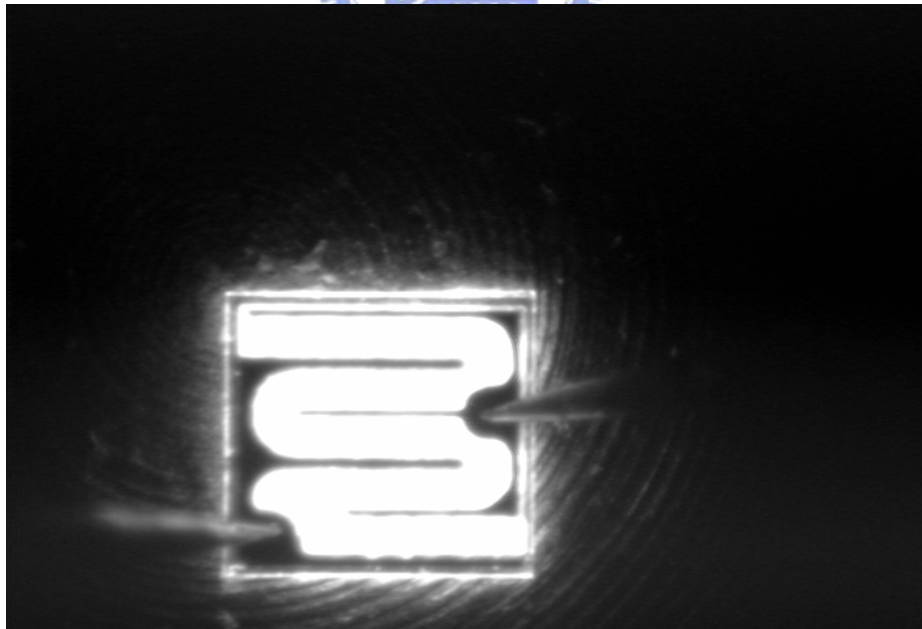


圖 3-5 24\*24mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 發光 pattern

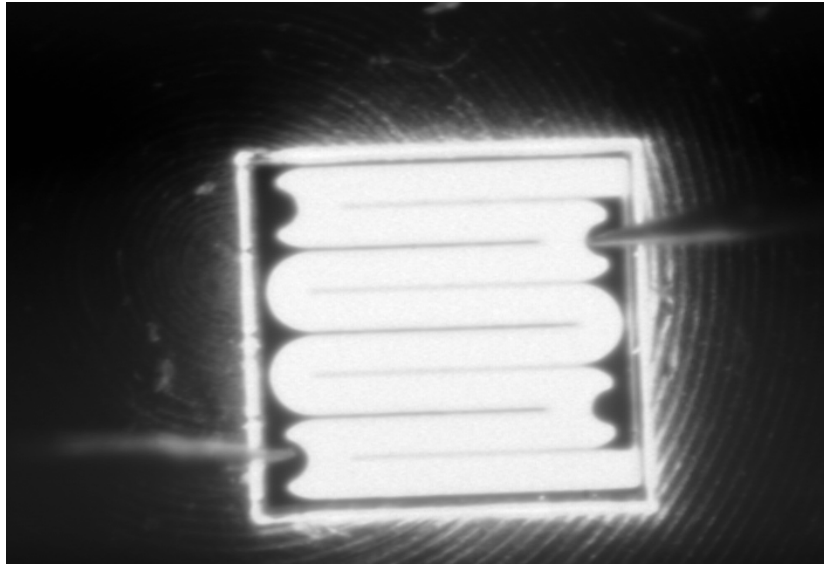


圖 3-6 40\*40mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 發光 pattern

## 3.2 量測參數的設定

### 3.2.1 時間參數的設定

在 2.3.3 和 2.3.4 節中有提到，在構成熱量測方面，須認清在接面所產生的熱，需要一個有限的時間傳遞出去到周圍的環境以獲得合理的接面加熱，這方面的參數可從直接讀取壓降差或是計算接面溫度的上升而決定；而 TSP 需在將熱條件移除後被完成，因為移去外加功率後的接面冷卻，會影響到最後的接面溫度計算的結果。

在本實驗中，我們如何確定得到的  $V_{HSS}$  和  $V_{MSS}$  是穩定的呢？解決的方式是將  $I_M$  和  $I_H$  的所對應的脈衝時間設定在 65s 來量測電壓暫態，將 DAQ 所擷取的電壓暫態曲線，用 Origin 分析。我們可以清楚發現不論是  $V_{HSS}$  或  $V_{MSS}$ ，從 0.5 秒之後的電壓值與 65 秒時的電壓值只有零點幾個 mV 的差。如圖 3-7 到 3-10 所示，四種不同的樣品呈現了相同的趨勢，隨著電流的增大， $V_{HO}$  值愈大，而在穩態時  $V_{HSS}$  亦愈大，且  $V_{HSS}$  值在四個樣品中不會與在 Cooling time 的曲線中所呈現的最終將達到相近甚至相同的讀值，因為 Cooling time 的  $V_{MSS}$  所對應的電流值均相同，而 Heating time 的  $V_{HSS}$  所對應的電流值不同。在接面溫度量測中，

我們將選擇 0.5 秒為加熱所需的時間。

在 Cooling time 選取的考慮方面，四種不同的樣品均有相同的趨勢，隨著電流的增加，加熱功率的上升使得對應到的  $V_{MO}$  值逐漸變小，最後隨冷卻時間夠長而且平台溫度保持在定溫下，電壓回到  $V_{MSS}$  值，如圖 3-11 到 3-14 所示，曲線達到穩態所需的冷卻時間為 0.5 秒。實驗中，我們將選取 1 秒為冷卻所需的時間，以確保是在穩態下所量測到的電壓。

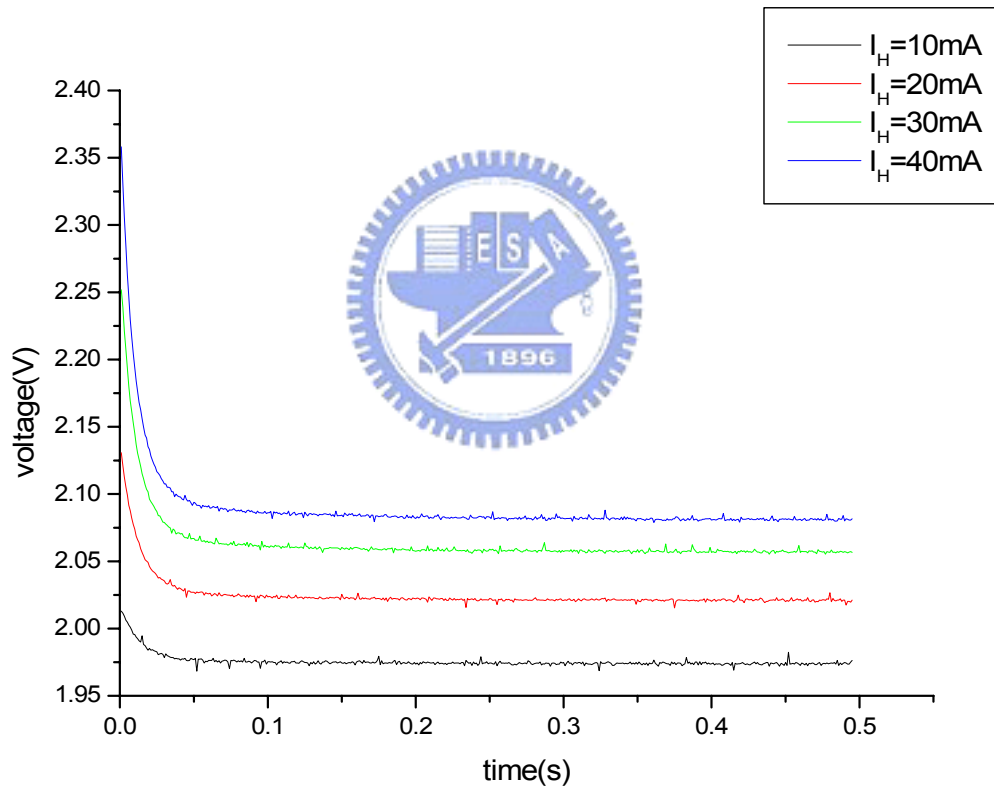


圖 3-7 8\*8mil<sup>2</sup> AlGaInP 紅光 LED 加熱暫態圖



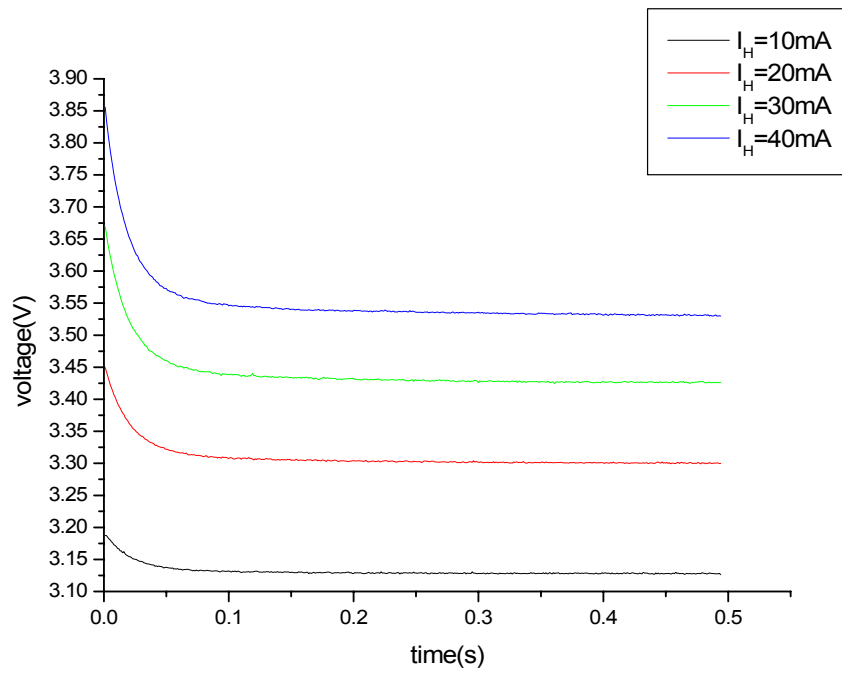


圖 3-8 13\*10 mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 加熱暫態圖

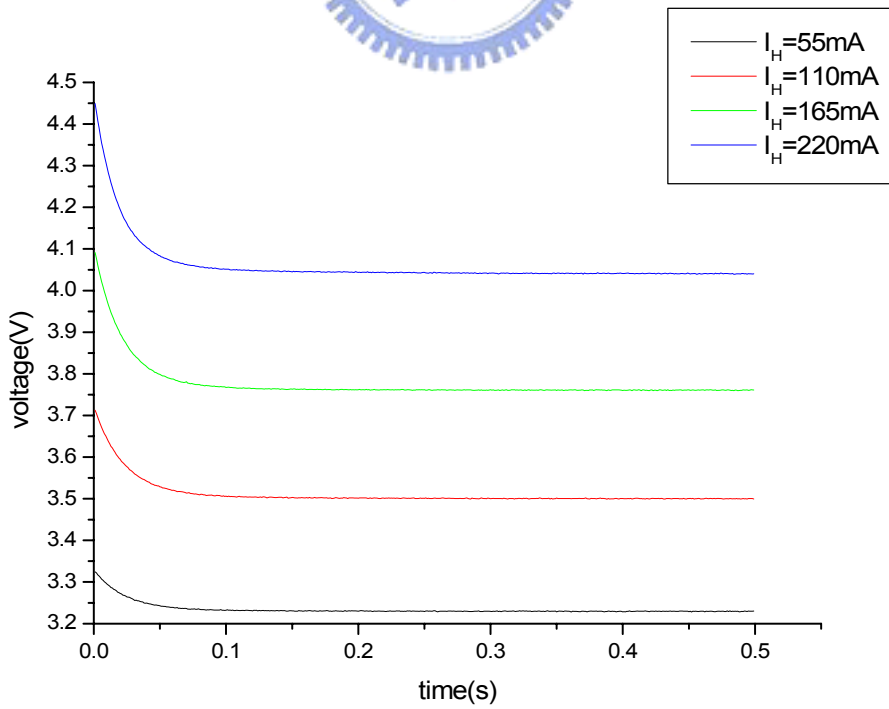


圖 3-9 24\*24mil<sup>2</sup> 藍光 InGaN LED 加熱暫態圖

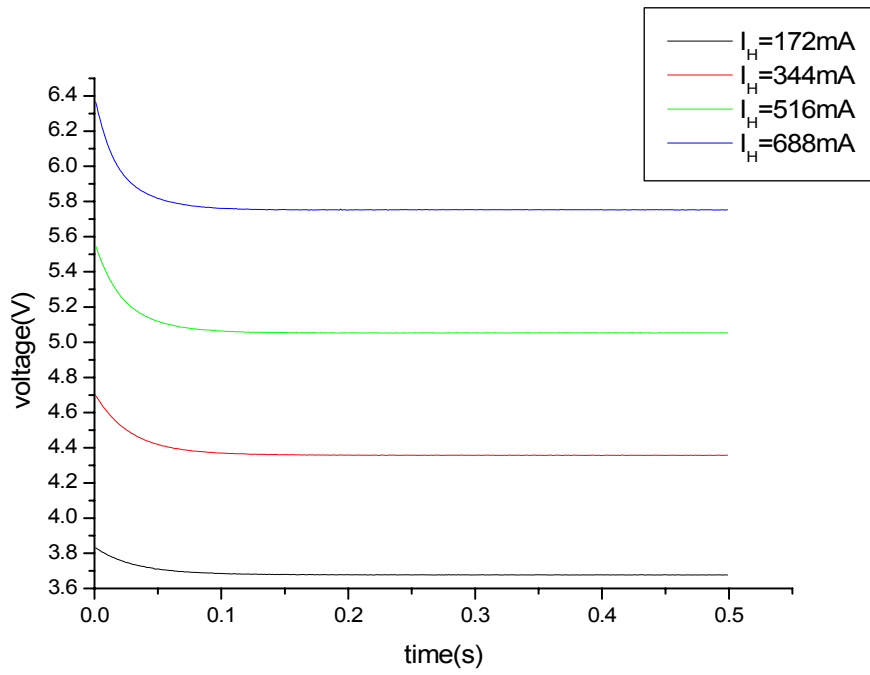


圖 3-10 40\*40 mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 加熱暫態圖

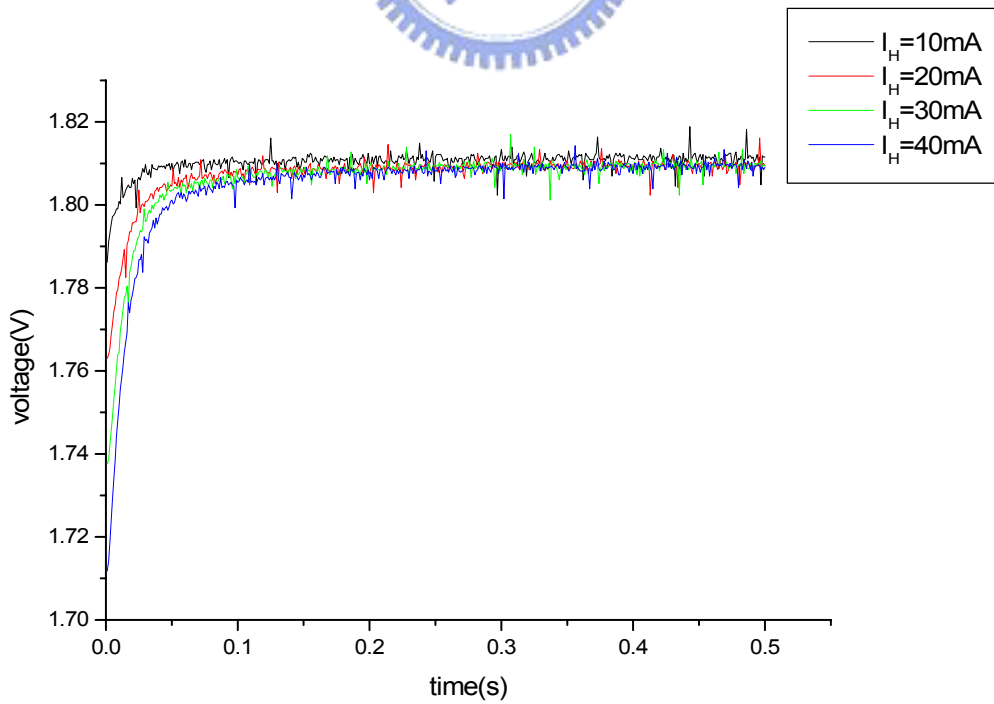


圖 3-11 8\*8mil<sup>2</sup> AlGaInP 紅光 LED 冷卻暫態圖

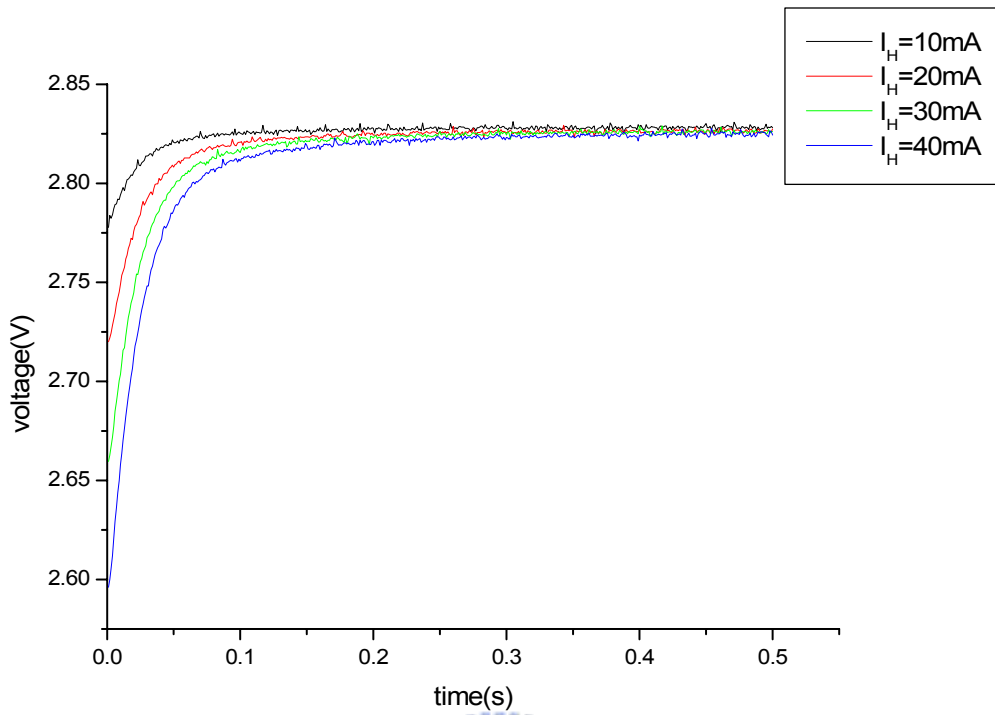


圖 3-12 13\*10 mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 冷卻暫態圖

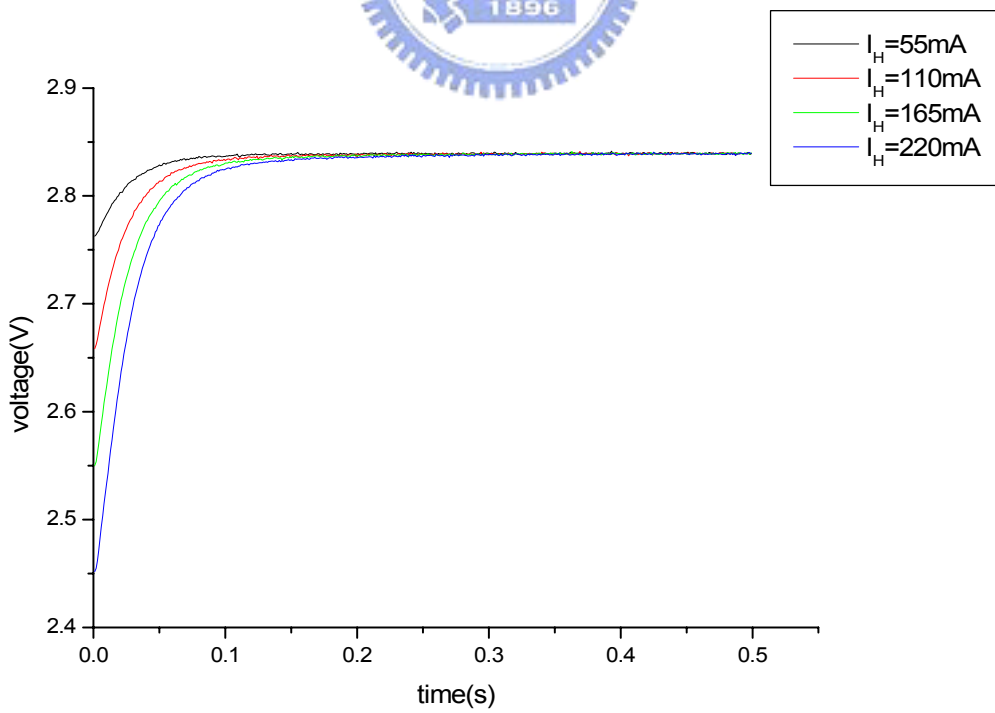


圖 3-13 24\*24 mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 冷卻暫態圖

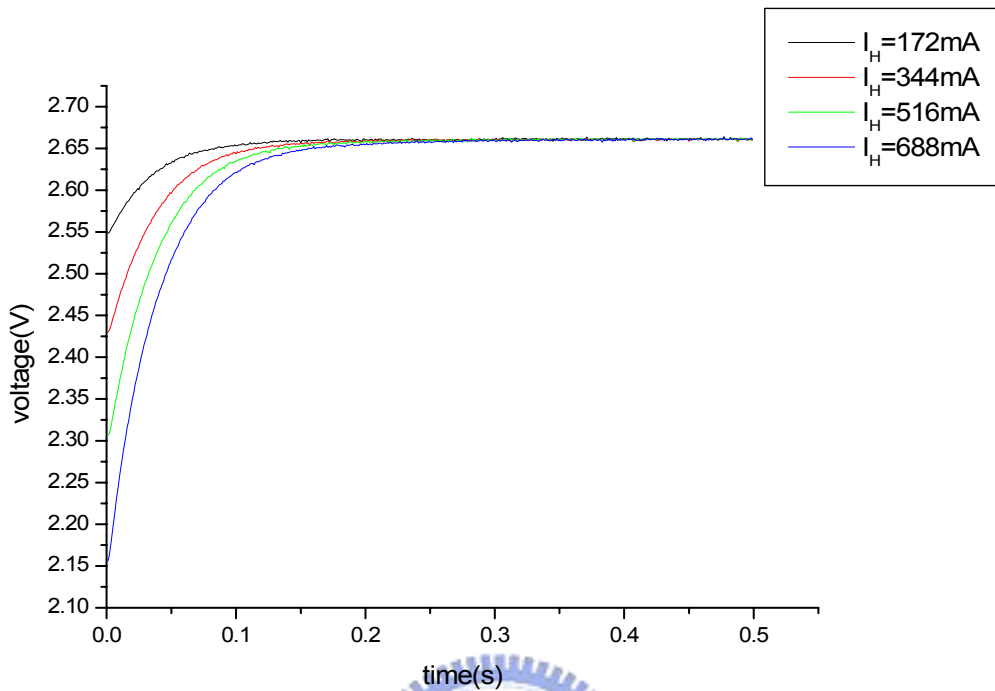


圖 3-14 40\*40 mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 冷卻暫態圖

### 3.2.2 $I_M$ 的設定

爲了之後的一連串的實驗量測所會用到的數值，8\*8mil<sup>2</sup>AlInGaP 紅光 LED、13\*10mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED、24\*24mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 和 40\*40mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED，在電流對電壓曲線中的最大電流值分別爲 80mA、100mA、250mA 和 700mA。由圖 3-15 到 3-18 的 I-V 特性曲線，我們可獲得四個樣品的 turn on voltage 分別爲 1.56V、2.45V、2.44V、2.36V。

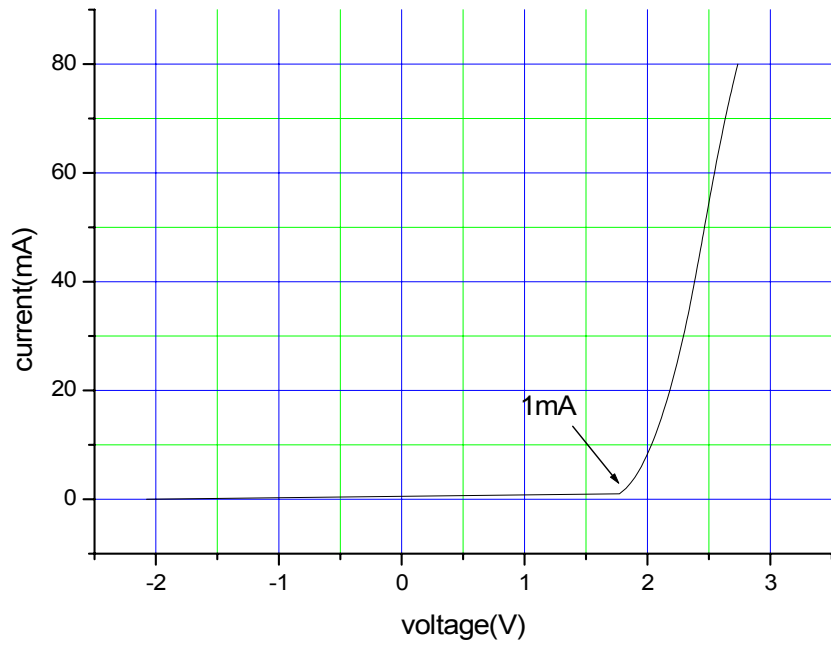


圖 3-15 8\*8mil<sup>2</sup> AlGaInP 紅光 LED 的 I-V 特性圖

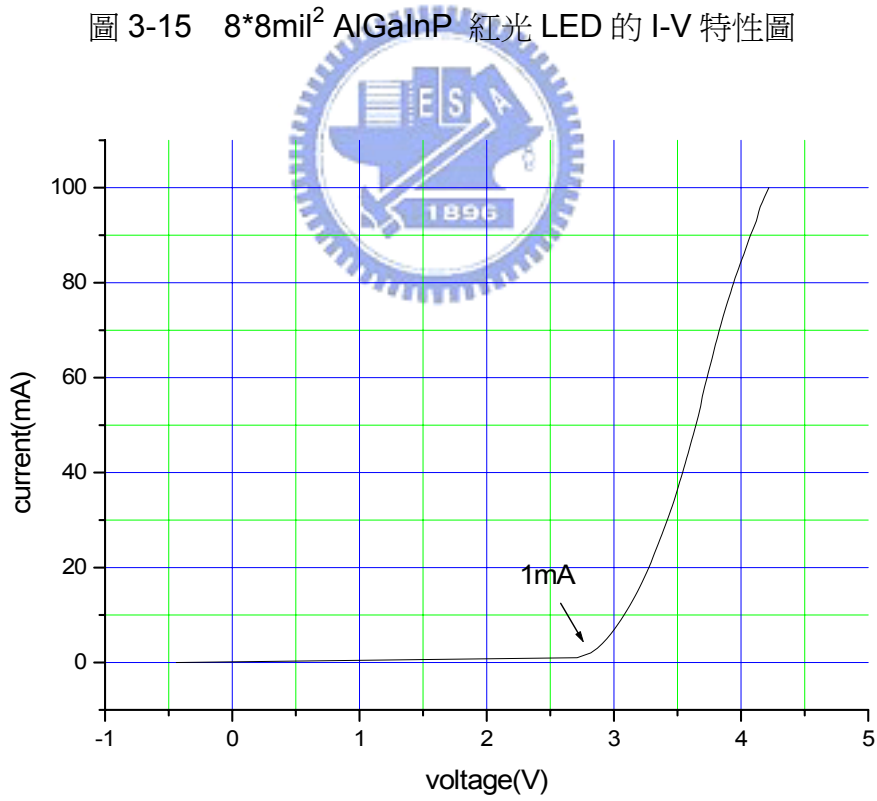


圖 3-16 13\*10 mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 的 I-V 特性圖

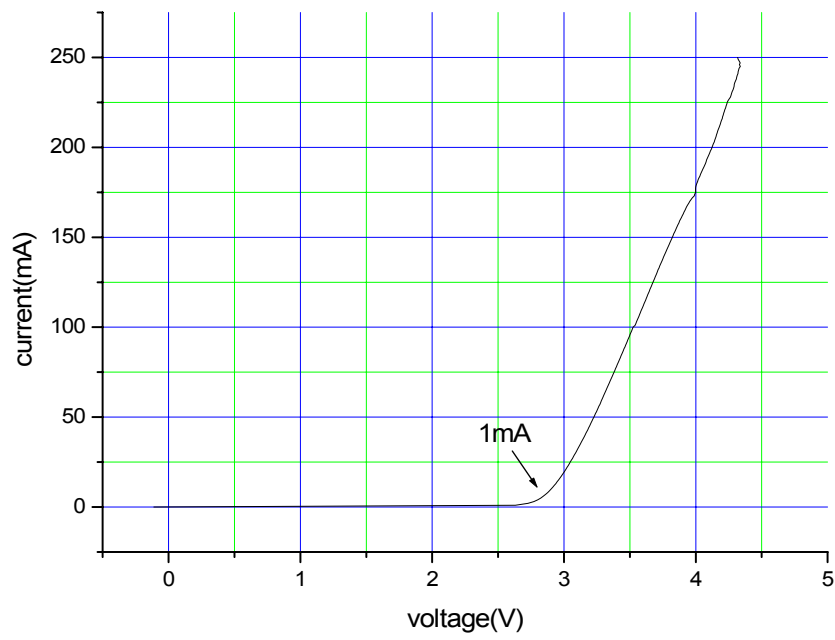


圖 3-17 24\*24mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 的 I-V 特性圖

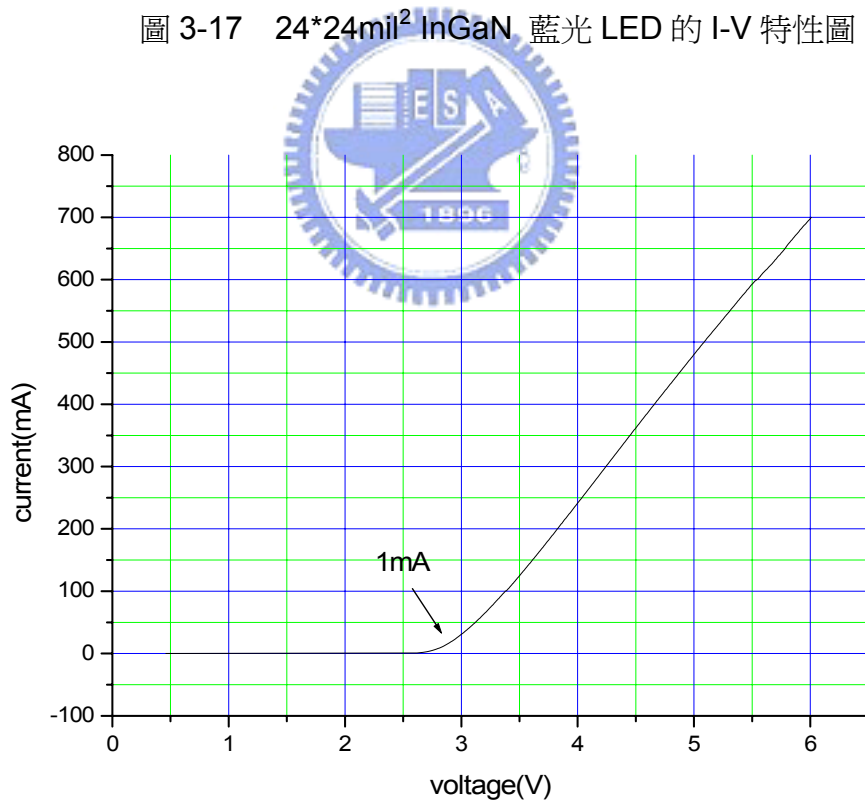


圖 3-18 40\*40mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 的 I-V 特性圖

在圖 3-23 到 3-26 中， $8*8\text{mil}^2$  AlInGaP 紅光 LED、 $13*10\text{mil}^2$  InGaN 藍光 LED、 $24*24\text{mil}^2$  InGaN 藍光 LED 和  $40*40\text{mil}^2$  InGaN 藍光 LED，在不同的  $I_M$  下所對應到的  $K_j$  範圍分別為  $2.35(\text{mv}/^\circ\text{C})$ 到  $2.94(\text{mv}/^\circ\text{C})$ 、 $1.91(\text{mv}/^\circ\text{C})$ 到  $2.28(\text{mv}/^\circ\text{C})$ 、 $2.76(\text{mv}/^\circ\text{C})$ 到  $3.11(\text{mv}/^\circ\text{C})$ 和  $2.51(\text{mv}/^\circ\text{C})$ 到  $2.97(\text{mv}/^\circ\text{C})$ 。而四個樣品的  $K_j$  v.s  $I_M$  的特性曲線較線性的部分分別為  $0.5\text{mA}$ - $4\text{mA}$ 、 $0.1\text{mA}$ - $5\text{mA}$ 、 $1\text{mA}$ - $10\text{mA}$ 、 $2\text{mA}$ - $9\text{mA}$  及  $10\text{mA}$ - $20\text{mA}$ 。

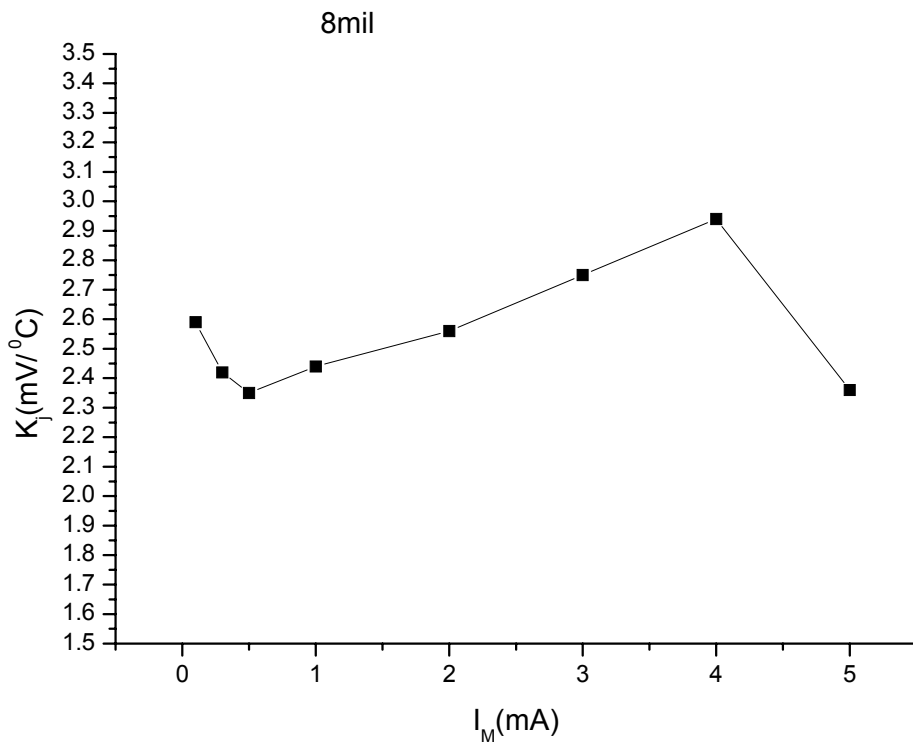


圖 3-19  $8*8\text{mil}^2$  AlGaInP 紅光 LED  $K_j$  v.s  $I_M$  的特性曲線

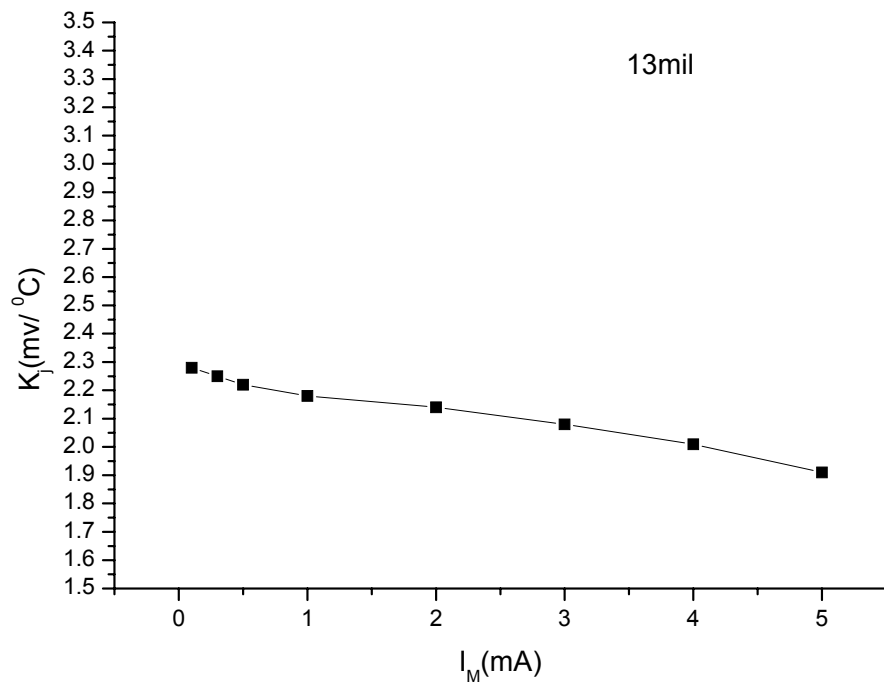


圖 3-20 13\*10 mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED  $K_j$  v.s  $I_M$  的特性曲線

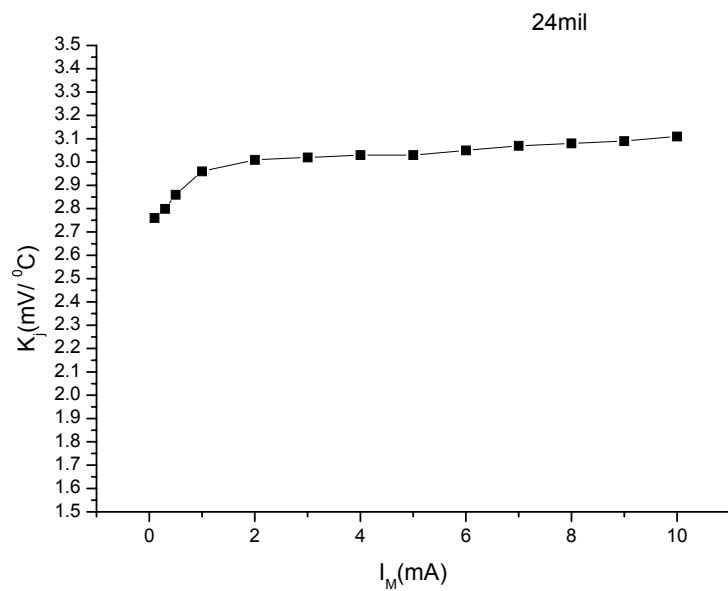


圖 3-21 24\*24mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED  $K_j$  v.s  $I_M$  的特性曲線



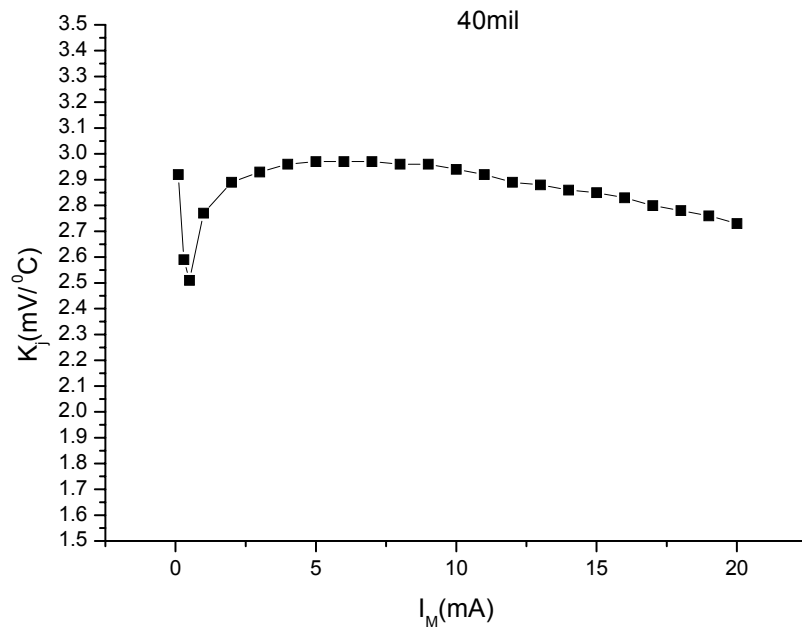


圖 3-22 40\*40mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED  $K_j$  v.s  $I_M$  的特性曲線

### 3.2.3 $I_H$ 的選擇

- AlGaInP 紅光 LED 以一般標準的 20mA 為參考，上下變化，因此用 10mA→40mA
- InGaN 藍光 LED 用定電流密度，以利比較

表(一)所示為藍光發二光極體電流取舍依據

Sample	晶粒大小(mil <sup>2</sup> )	有效發光面積 (um <sup>2</sup> )	有效發光面積比率
1	13*10	37933	1
2	24*24	209150	5.5
3	40*40	652201	17.2

表一 三種藍光發光二極體相關的數據

由上表中，我們選擇  $13 \times 10 \text{mil}^2$  InGaN 藍光 LED 的操作電流分別為 10mA、20mA、30mA、40mA； $24 \times 24 \text{mil}^2$  InGaN 藍光 LED 的操作電流分別為 55mA、110mA、165mA、220mA； $40 \times 40 \text{mil}^2$  InGaN 藍光 LED 的操作電流分別為 172mA、344mA、516mA、688mA，而 10mA、55mA、172mA 所對應的電流密度為  $26.36(\text{A}/\text{cm}^2)$ 。

結論：

我們可從  $I_M$  v.s  $K_j$  的特性曲線圖中選取適當的  $I_M$ ，將  $I_M$  所對應的  $K_j$  配合量測到的電壓暫態，求得量測界面溫度。我們將在下一章節中的界面溫度與量測電流  $I_M$  的關係圖中找出合理的  $I_M$ 。另外，在三個不同尺寸的藍光發光二極體，我們可以發現隨著尺寸的增加， $I_M$  值可接受的值亦變大，可能是由於面積較大，而元件自我加熱的效應減小的原故。



## 第四章 接面溫度量測與光性分析

本章節將驗證第三章所選取的  $I_M$  值是否正確，也將接面溫度與發光二極體的發光頻譜做一個結合，就不同的樣品做光性分析。在內容的安排上，先圖示接面溫度與其它物理量(如  $I_M$ 、 $I_H$ )的特性曲線，接著以接面溫度的觀點來探討發光頻譜的特性。

### 4.1 接面溫度量測結果

當操作電流增加時，輸入的電功率愈大，產生的熱也愈多，所以接面溫度隨著電流的增加而上升，由圖 4-1 到 4-4 可得到驗證。而在相同的電流下， $8*8\text{mil}^2$  AlGaInP 紅光 LED 的接面溫度較  $13*10\text{mil}^2$  InGaN 藍光 LED 的接面溫度低。就 LED 的發光效率來講，一般來講從電轉換到光的比例是 10%，因為藍光的操作電壓比較高，所以產生的熱也比較多的原故。

另外在藍光 LED 方面，可看到在同樣的電流密度下，尺寸愈大，接面溫度愈高。我們可從圖 4-5 來解釋，因為尺寸愈大，可能設計不良，導致串聯電阻較高，產生較多的熱。

由圖 4-6 到 4-12 七張圖中，我們可以驗證在第三章所選取的  $I_M$  是否正確。首先，在圖 4-6 到 4-9 四張圖中，可以得知在  $I_M$  為 1mA 到 4mA 區間的接面溫度變化量，在同溫、不同的操作電流下有較小的變動，與我們所選取的 0.5mA 到 4mA，幾乎符合我們所選取的範圍。在圖 4-10 到 4-12 中， $I_M$  對接面溫度變動較小的區域分別為 0.1mA-5mA、5mA-10mA、10mA-20mA，與我們先前所選取的 0.1mA-5mA、1mA-10mA、2mA-9mA 及 10mA-20mA 的範圍有重疊的部分，可清楚看到量測電流的允許值隨著尺寸的增加而上升，推論應該是面積愈大，電流所產生的自我加熱效應減小的原因。

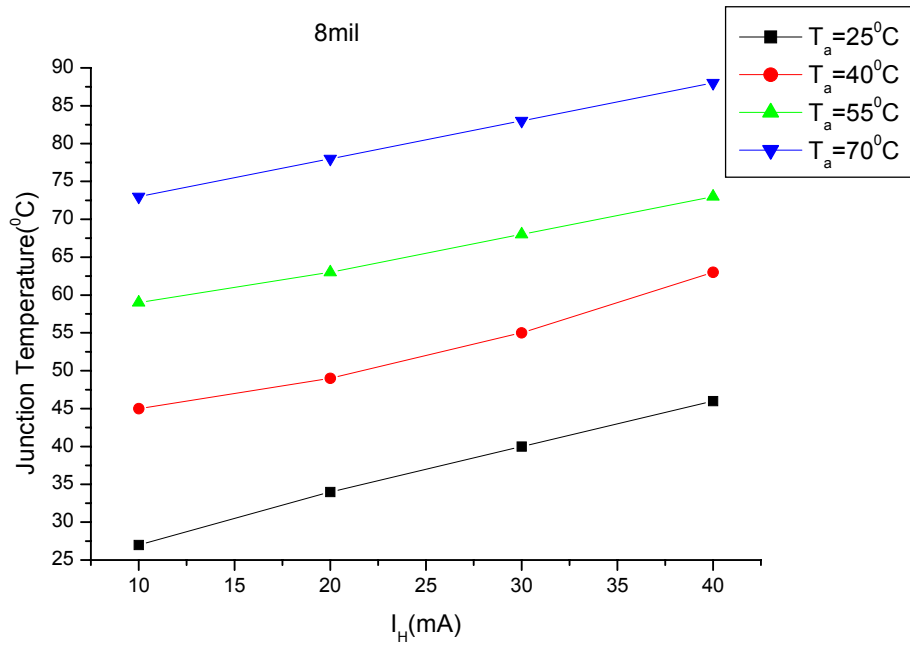


圖 4-1 8\*8mil<sup>2</sup> AlGaInP 紅光 LED 接面溫度對操作電流特性曲線

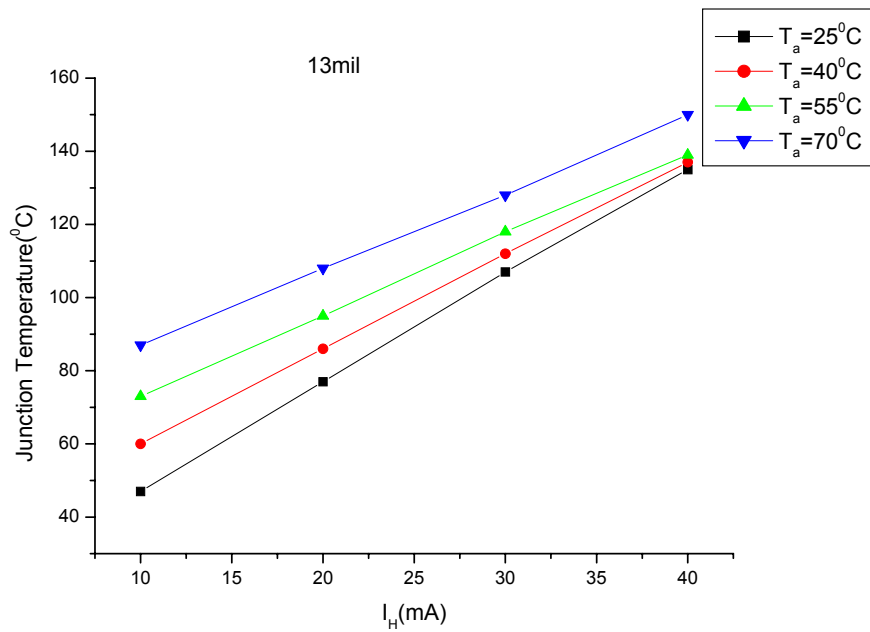


圖 4-2 13\*10mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 接面溫度對操作電流特性曲線

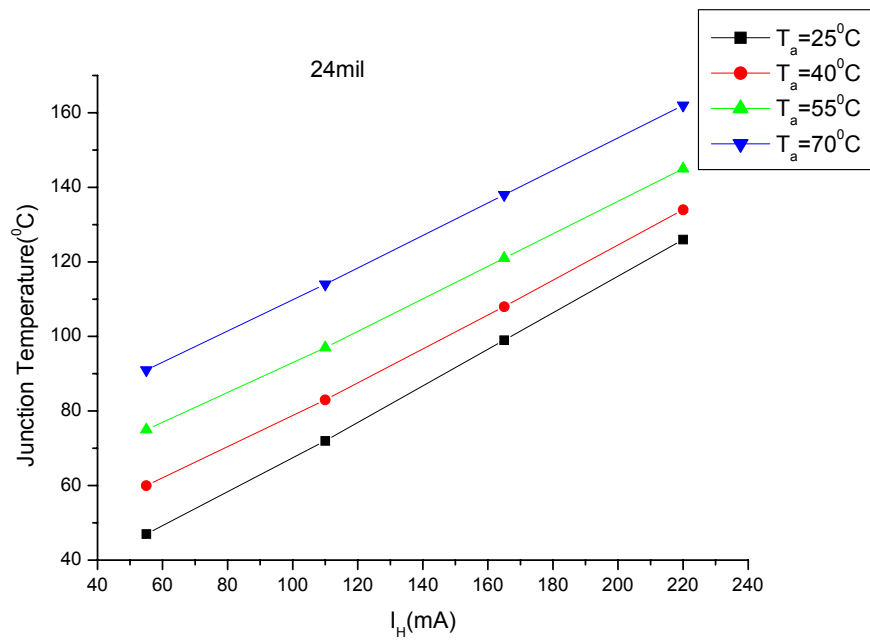


圖 4-3 24\*24mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 接面溫度對操作電流特性

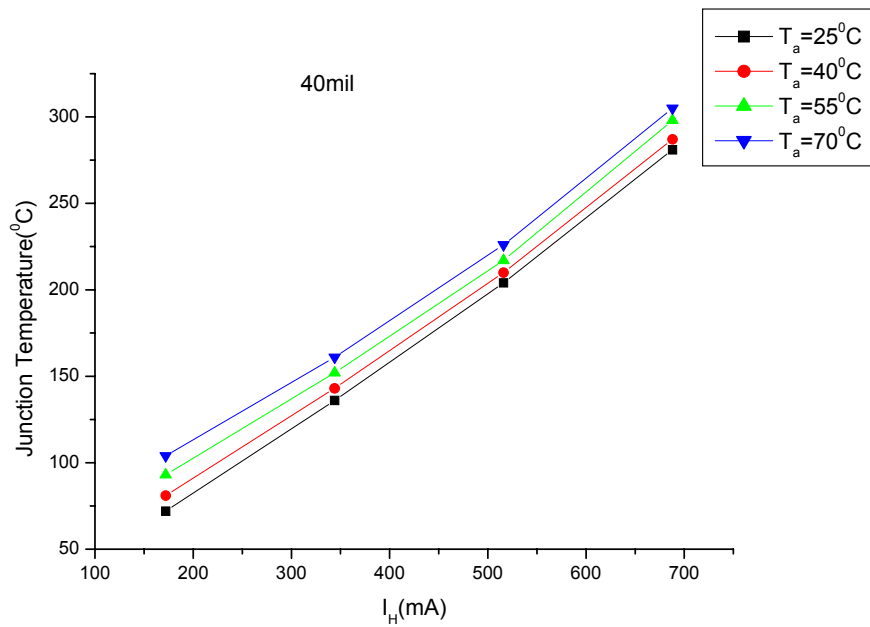


圖 4-4 40\*40mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 接面溫度對操作電流特性曲線

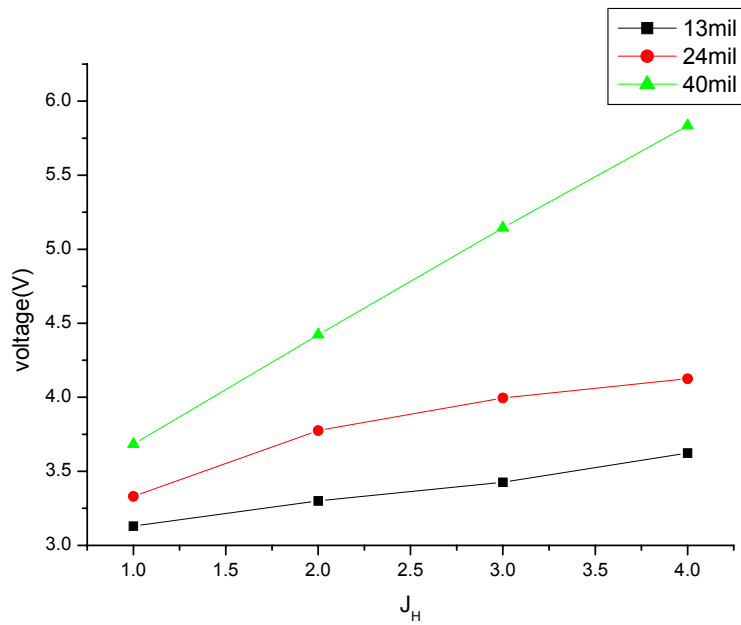


圖 4-5 不同尺寸 InGaN 藍光 LED 的電流密度對電壓的特性曲線

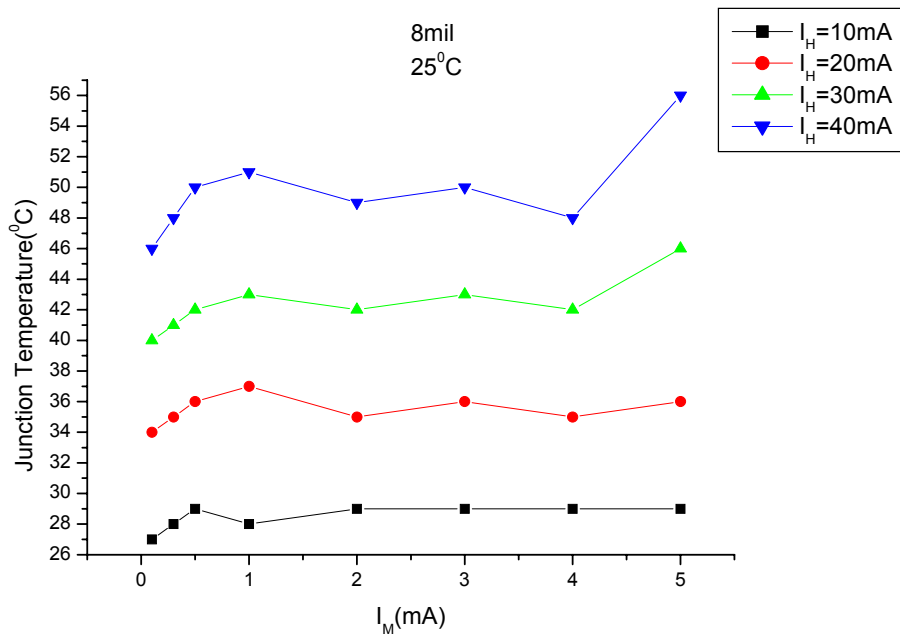


圖 4-6  $8 \times 8 \text{mil}^2$  AlGaInP 紅光 LED 在  $25^\circ\text{C}$  時接面溫度對量測電流特性曲線

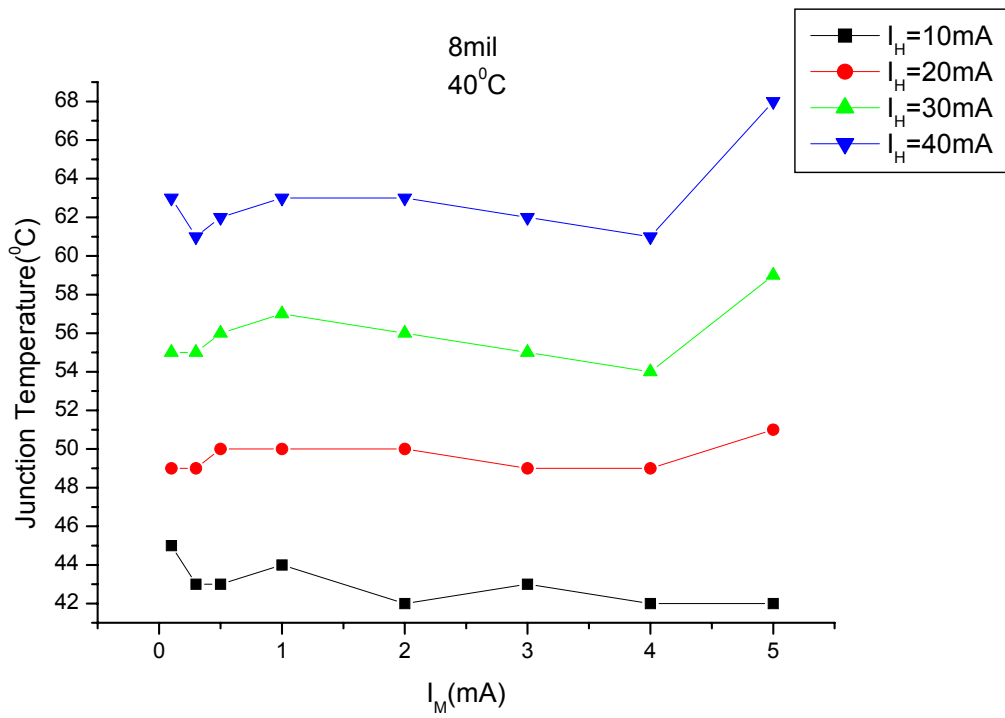


圖 4-7 8\*8mil<sup>2</sup> AlGaInP 紅光 LED 在 40°C 時接面溫度對量測電流特性曲線

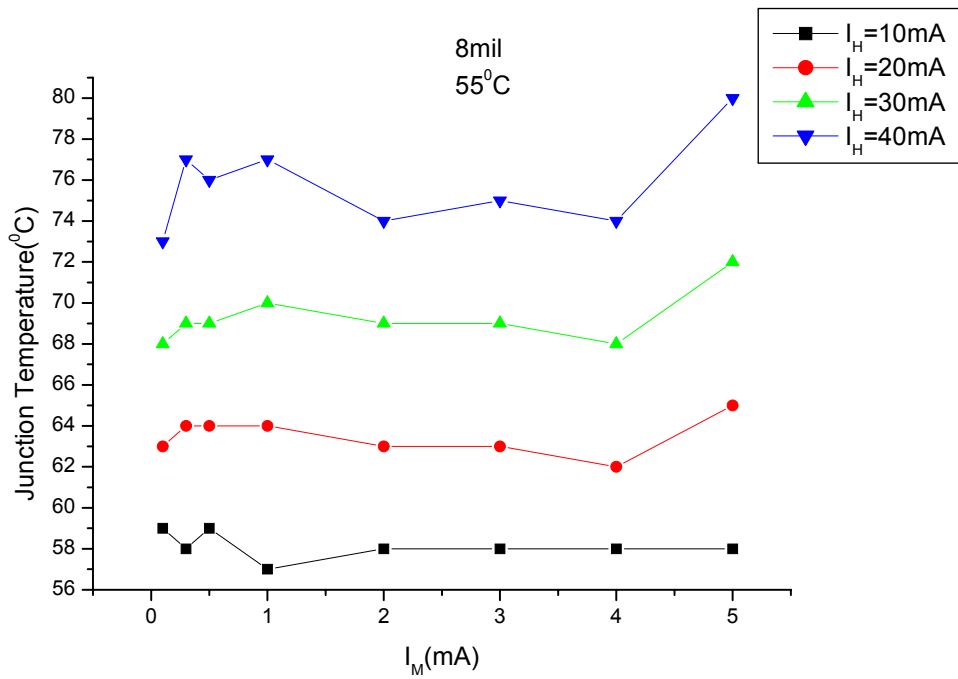


圖 4-8 8\*8mil<sup>2</sup> AlGaInP 紅光 LED 在 55°C 時接面溫度對量測電流特性曲線

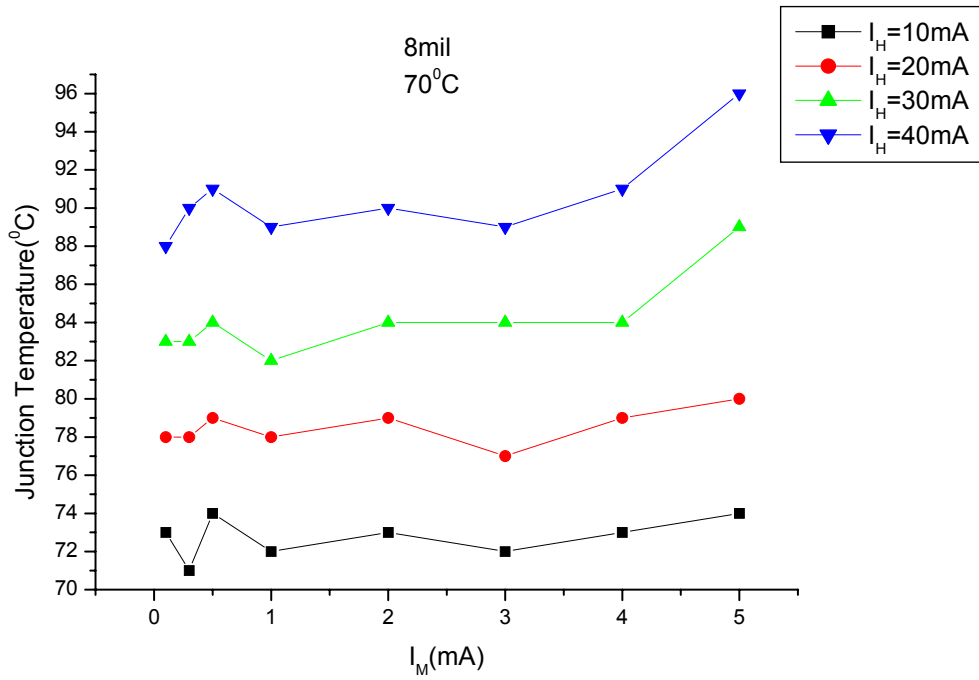


圖 4-9 8\*8mil<sup>2</sup> AlGaInP 紅光 LED 在 70°C 時接面溫度對量測電流特性曲線

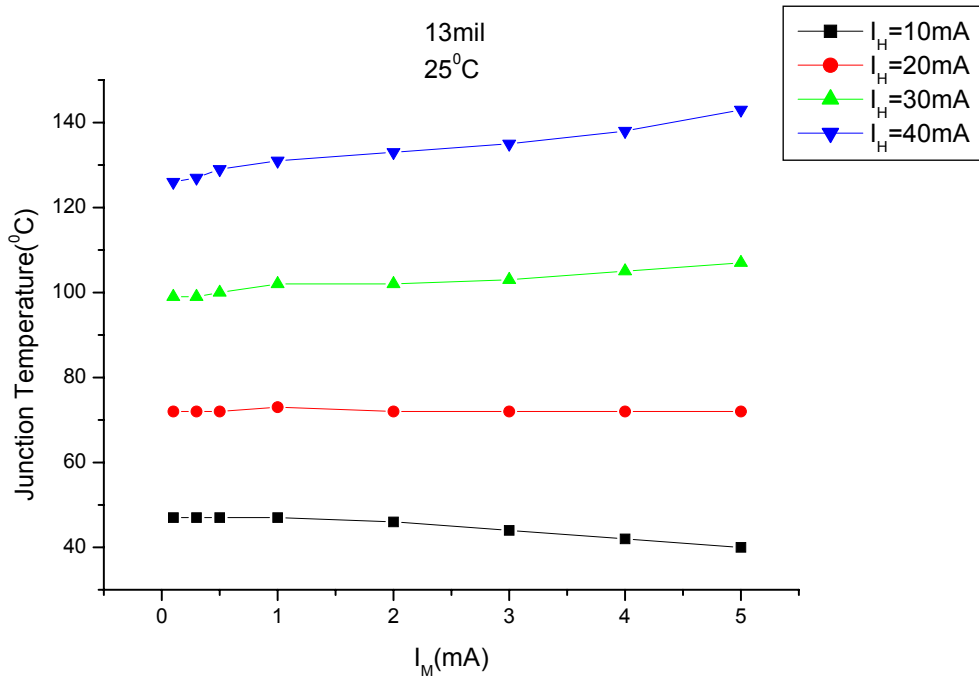
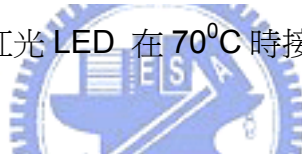


圖 4-10 13\*10mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 在 25°C 時接面溫度對量測電流特性曲線



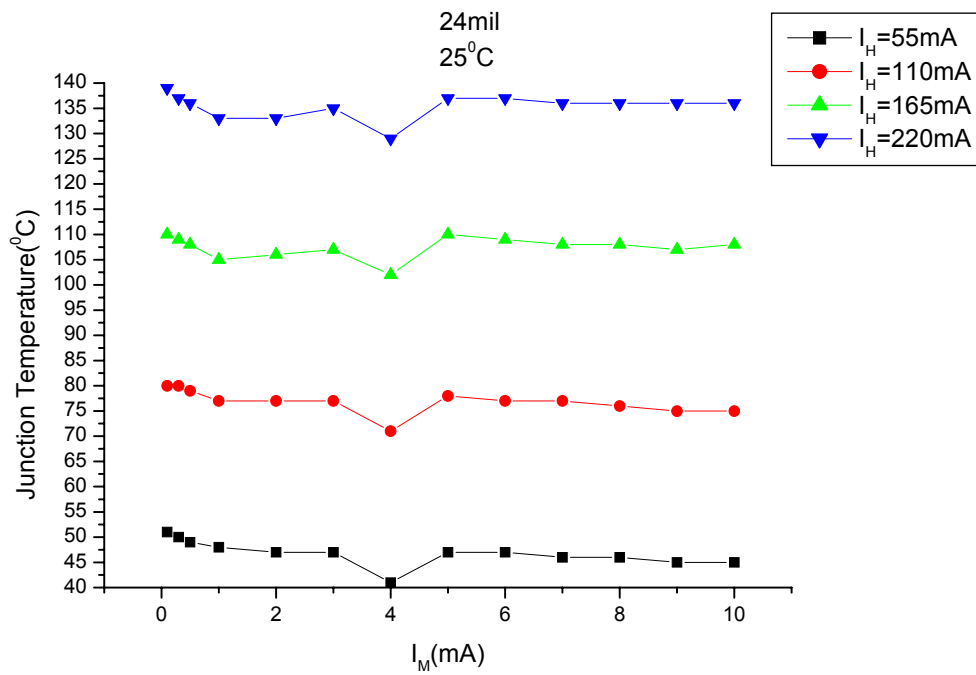


圖 4-11 24\*24mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 在 25<sup>0</sup>C 時接面溫度對量測電流特性曲線

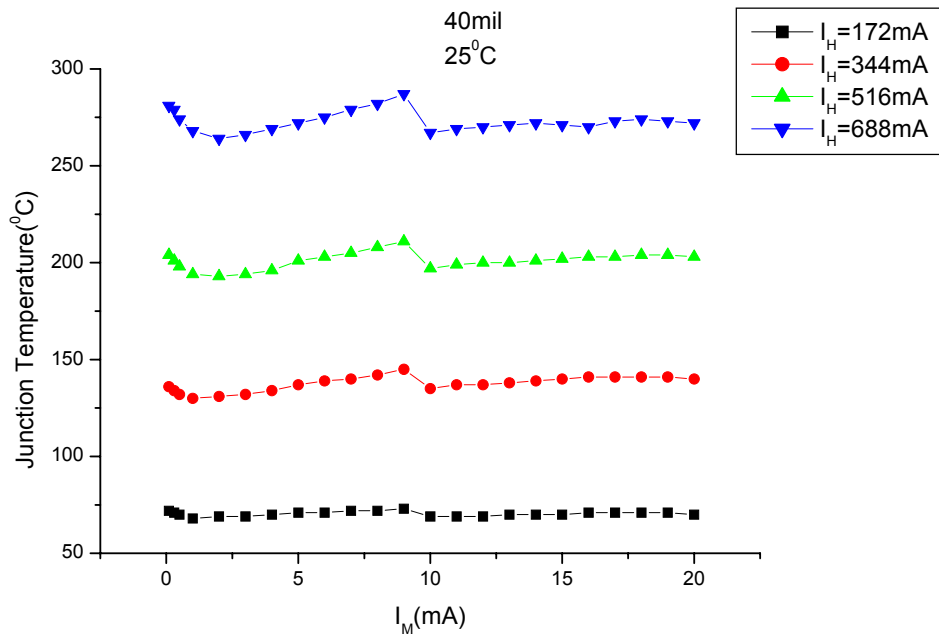


圖 4-12 40\*40mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 在 25<sup>0</sup>C 時接面溫度對量測電流特性曲線

## 4.2 接面溫度與光譜分析

發光二極體的放射強度隨著溫度的增加而減小。這個放射強度的減小可能由幾個溫度相依的因素所影響包括：(1)經由深層能階的非輻射性的復合(2)表面復合(3)載子越過異質結構能障的損耗

因為藍色發光二極體有較深的位能井以致於在 InGaN/GaN 結構中有較好的載子侷限作用。一些材料系統如 AlGaInP/GaN 或 AlGaAs/GaAs 有相對高的能障，所以有較低的漏電流越過能障。其它如 AlGaInP/AlGaInP 發光波長 600~650nm 的材料系統有較低的能量，所以有較大的載子漏損越過能障。從作用層進入侷限區域的載子外流(overflow of carriers)是另一個損耗機制。載子外流發生在高注入的電流密度。隨著注入電流增加，在作用層的載子濃度增加並且 Fermi 能量上升。對足夠高的電流密度而言，Fermi 能量將上升至能障的頂端。此時作用區域將充滿載子，並且再增加注入的電流密度將不會增加在作用區域的載子濃度；因此，光強度飽和。另外，高溫會增加載子的熱能，促進載子脫離作用區域。

由圖 4-13 到 4-16 中，我們可以看到，在同溫度、同電流範圍下，隨著電流上升，紅光 LED 光子數會漸漸趨於飽和，而藍光未達到飽和態。而在圖 4-17 到 4-20 中，在同一電流下，隨著接面溫度上升，載子獲得足夠的熱能，導致脫離發光層，所以光強度下降。從圖 4-21 到 4-29 中，紅光 LED 在外部量子效率方面，受到操作電流跟接面溫度的影響比藍光 LED 強烈，可能原因是 carrier confinement 的關係。那麼藍光 LED 和紅光 LED 受到操作電流跟接面溫度的影響程度為何？我們可由圖 4-30 和圖 4-31 來比較得知。在此，我們選擇  $8 \times 8 \text{mil}^2$  AlGaInP 紅光 LED 和  $13 \times 10 \text{mil}^2$  InGaN 藍光 LED 來比較，在接面溫度固定下，LED 為 low level injection，所以光強度和注入的電流成正比，從圖 4-30 中我們可以清楚看到，藍光的光強度和注入的電流成正比，而紅光在四倍的電流密度下，光強度只有增加四倍，猜想是因為 LED 結構設計不是很正確，導致電流增加時，carrier 跑出發光層。而在接面溫度的影響方面，可由圖 4-31 來探討。從圖上，我們可看到紅光的相對光子數對接面溫度的衰減速率較藍光快許多，即使

藍光的接面溫度較紅光高許多，可能是由於藍光 LED 的 $\Delta E_C=0.38\text{eV}$ ，而紅光 LED 的 $\Delta E_C=0.19\text{eV}$  所影響。另外，在三個不同尺寸的藍光 LED 比較上，面積愈大發光效率差，可能 pattern 沒設計好，造成串聯電阻太大，導致在高電流操作下，發光效率較差。

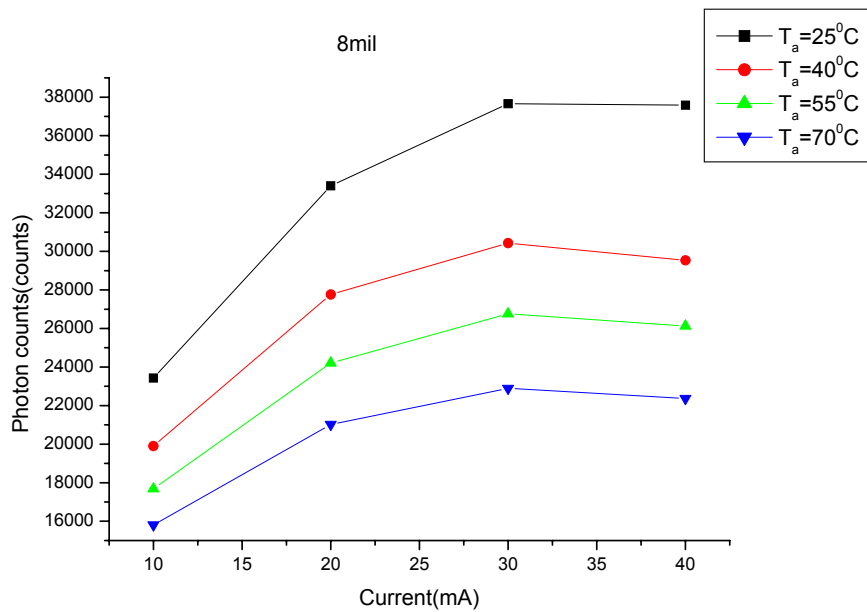


圖 4-13 8\*8mil<sup>2</sup> AlGaInP 紅光 LED 光子數對操作電流的特性曲線

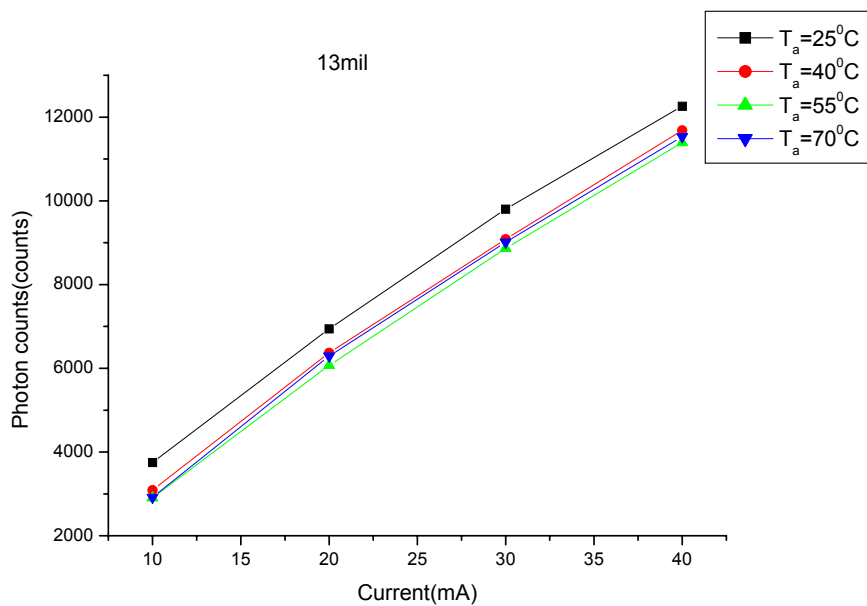


圖 4-14 13\*10mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 光子數對操作電流的特性曲線

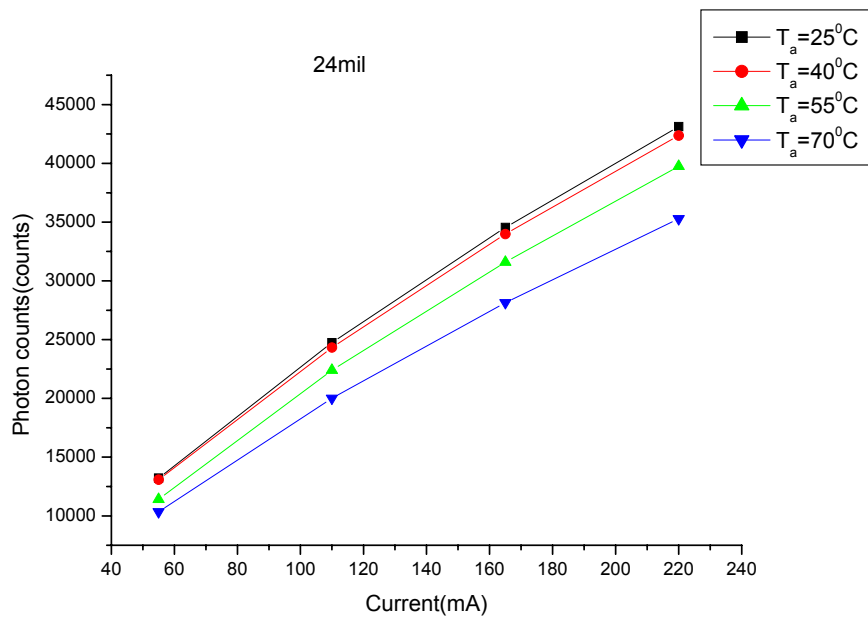


圖 4-15 24\*24mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 光子數對操作電流的特性曲線

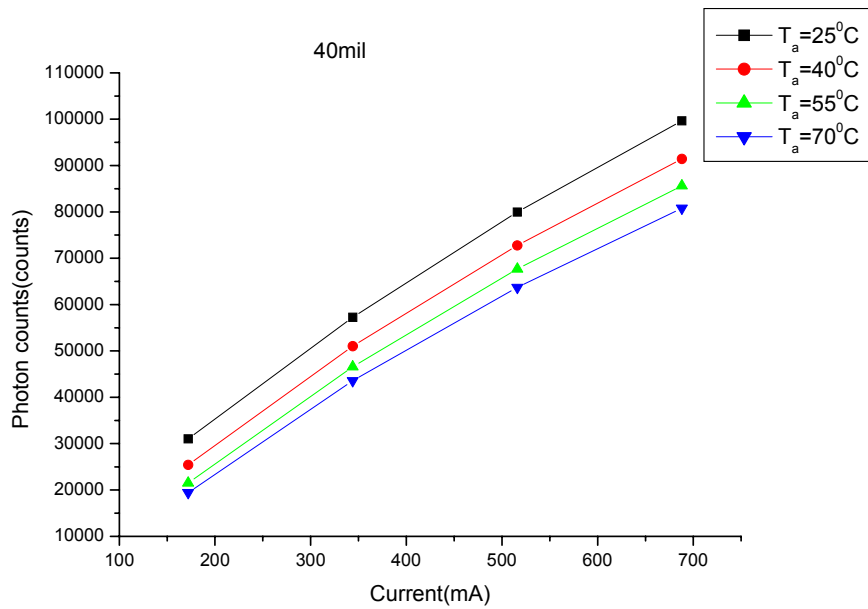


圖 4-16 40\*40mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 光子數對操作電流的特性曲線

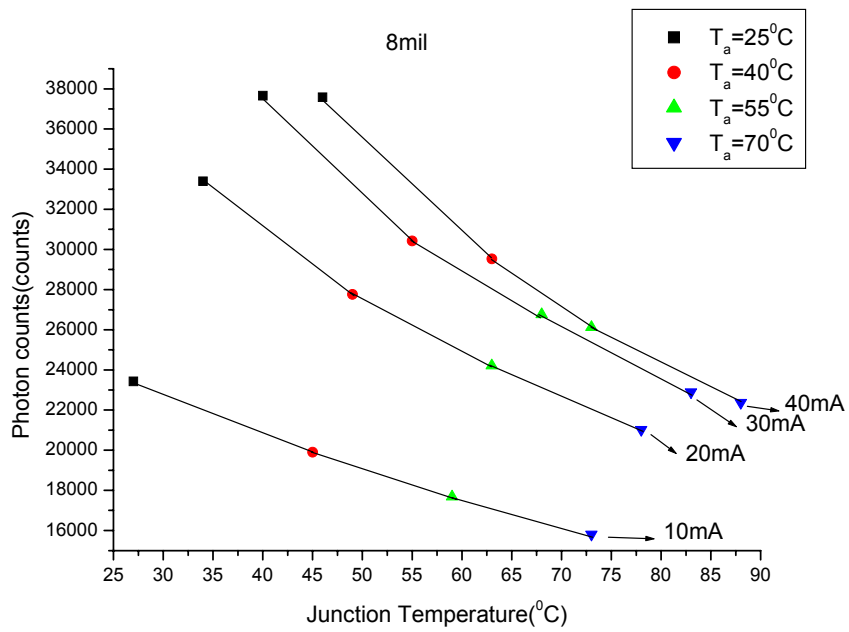


圖 4-17 8\*8mil<sup>2</sup> AlGaInP 紅光 LED 光子數對接面溫度的特性曲線

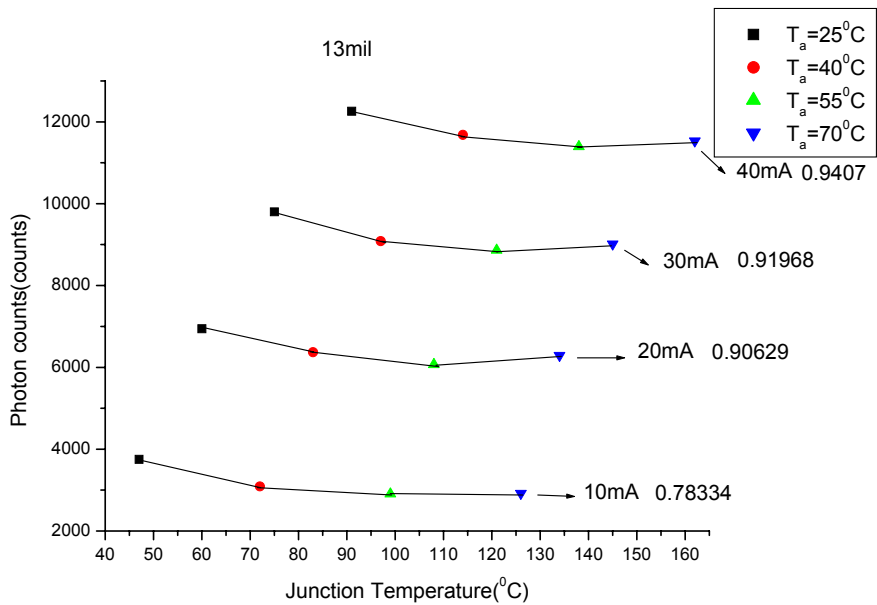


圖 4-18 13\*10mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 光子數對接面溫度的特性曲線

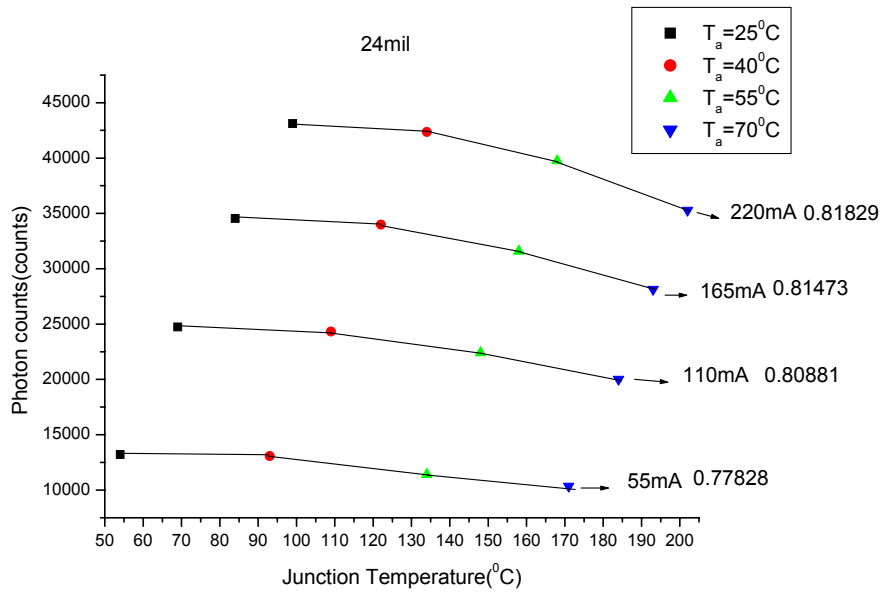


圖 4-19 24\*24mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 光子數對接面溫度的特性曲線

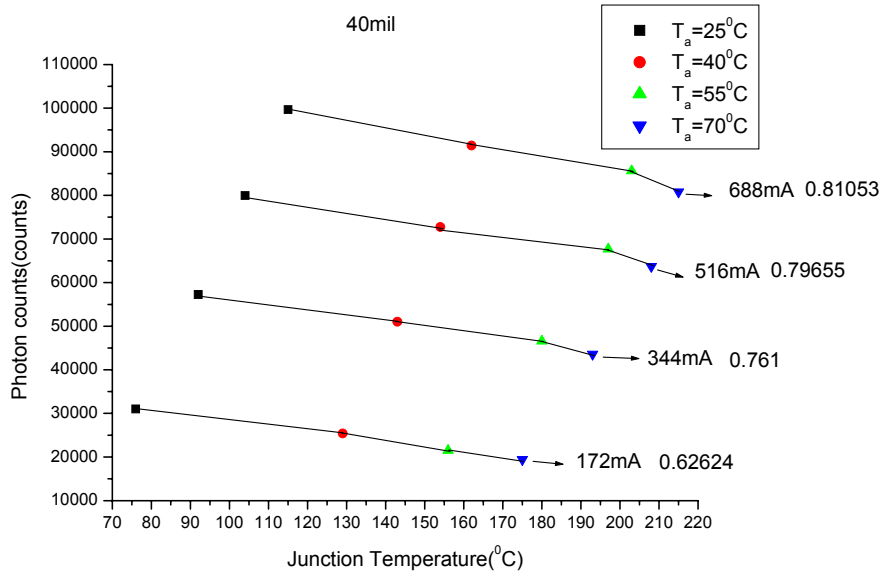


圖 4-20 40\*40mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 光子數對接面溫度的特性曲線

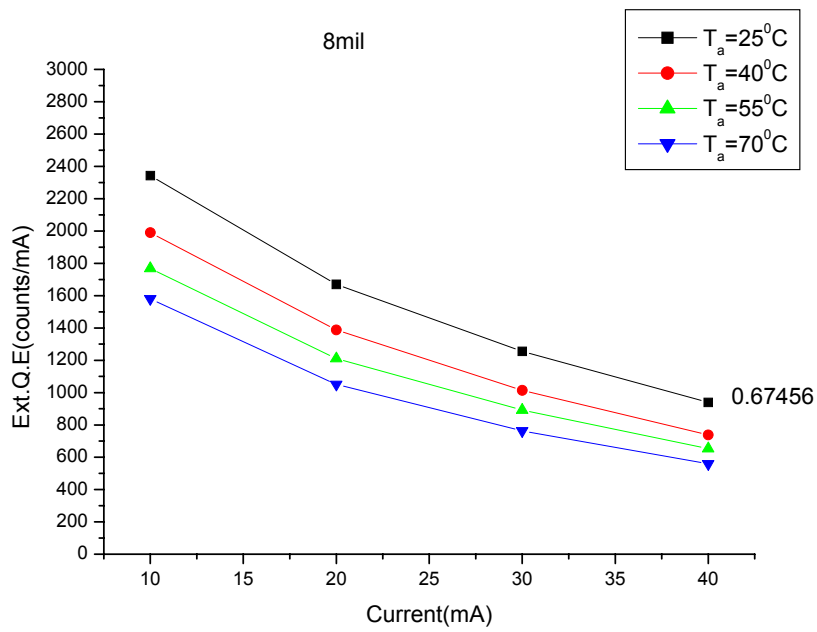


圖 4-21 8\*8mil<sup>2</sup> AlGaInP 紅光 LED 外部量子效率對操作電流的特性曲線

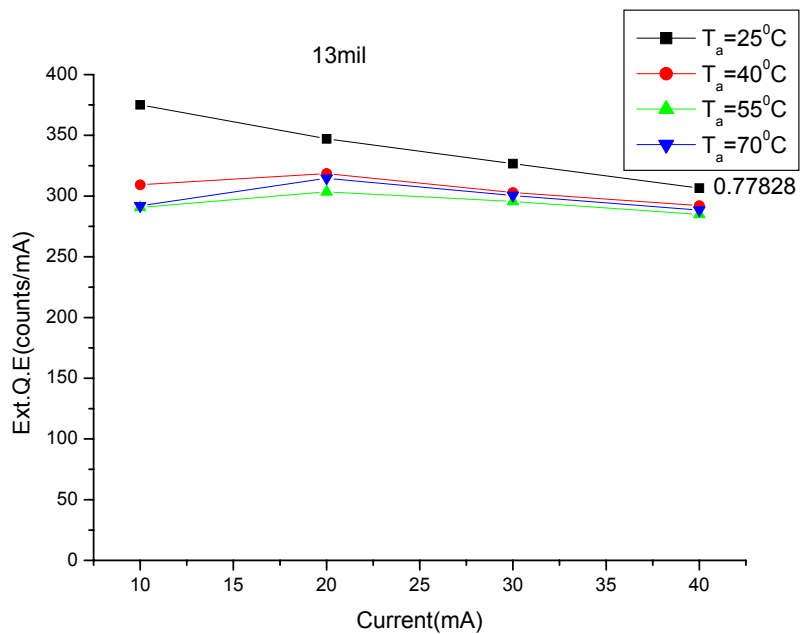


圖 4-22 13\*10mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 外部量子效率對操作電流的特性曲線

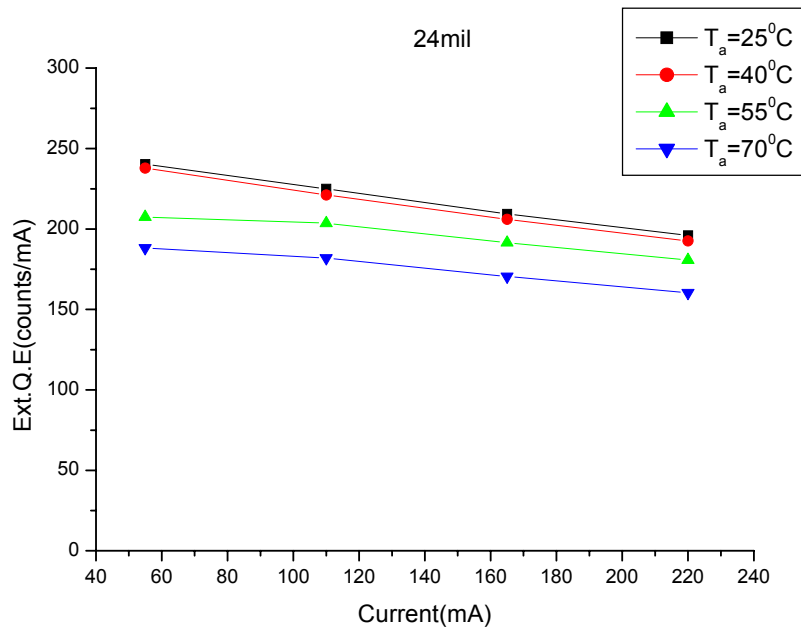


圖 4-23 24\*24mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 外部量子效率對操作電流的特性曲線

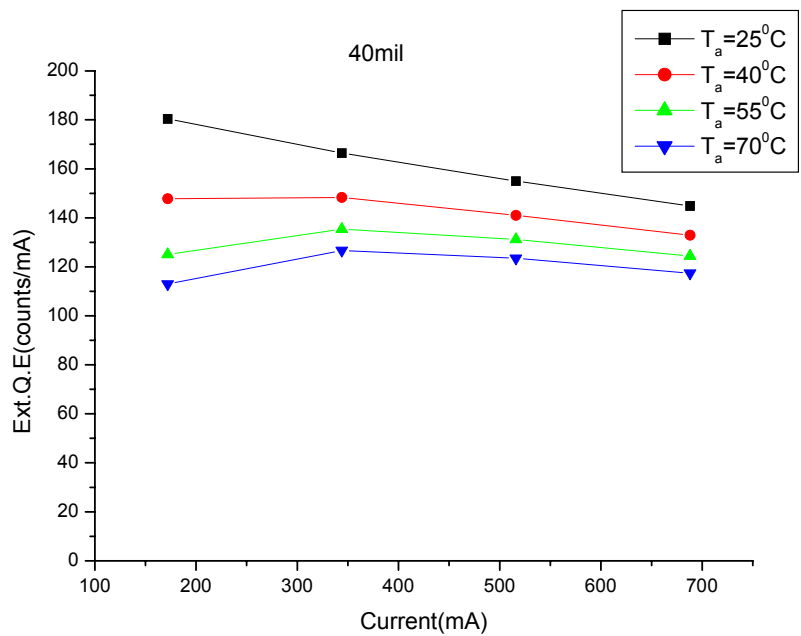


圖 4-24 40\*40mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 外部量子效率對操作電流的特性曲線



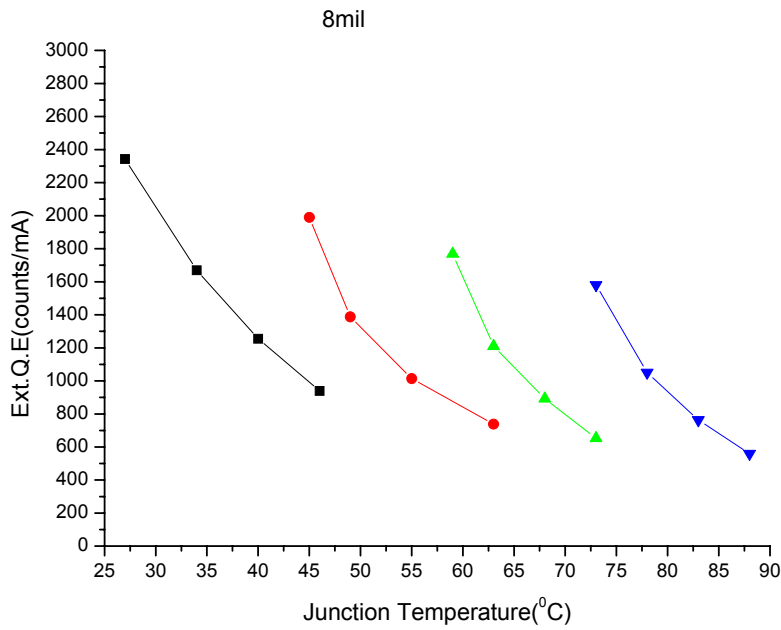


圖 4-25 8\*8mil<sup>2</sup> AlGaInP 紅光 LED 外部量子效率對接面溫度的特性曲線

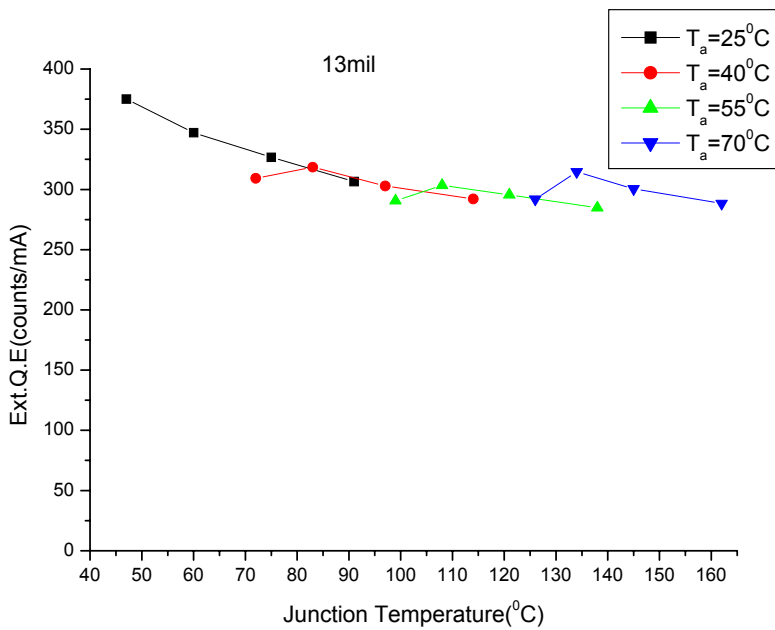
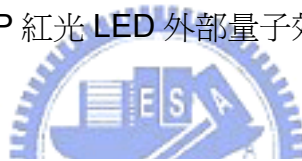


圖 4-26 13\*10mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 外部量子效率對接面溫度的特性曲線(一)

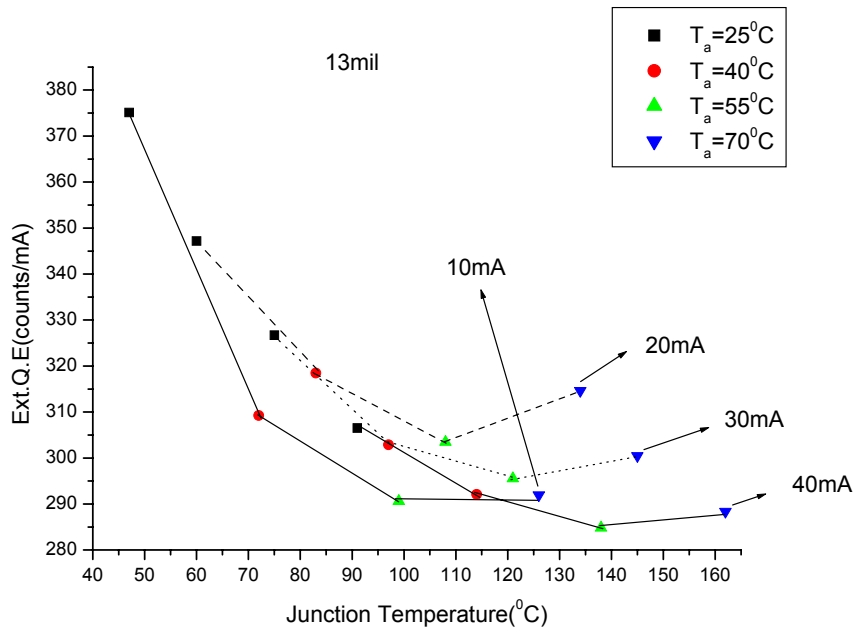


圖 4-27 13\*10mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 外部量子效率對接面溫度的特性曲線(二)

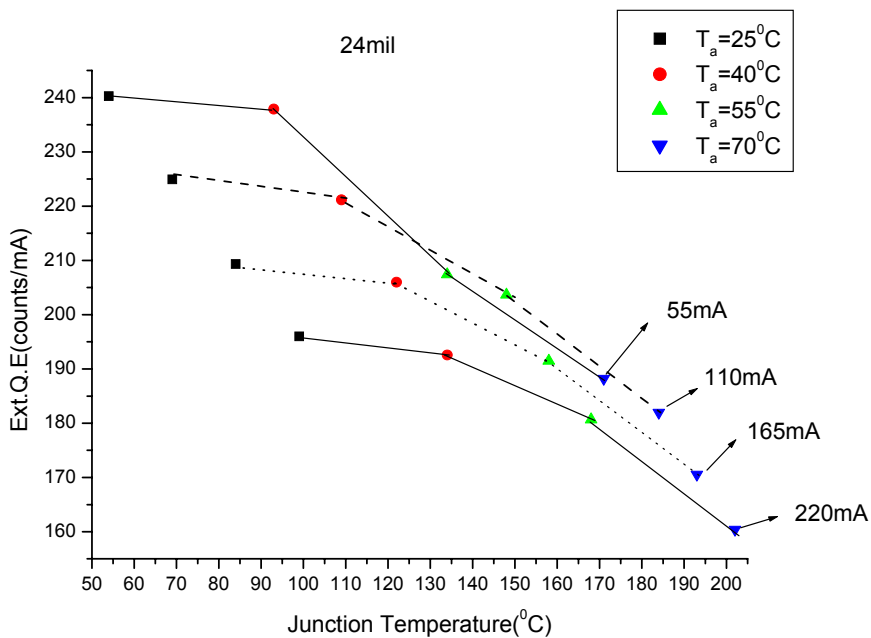


圖 4-28 24\*24mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 外部量子效率對接面溫度的特性曲線

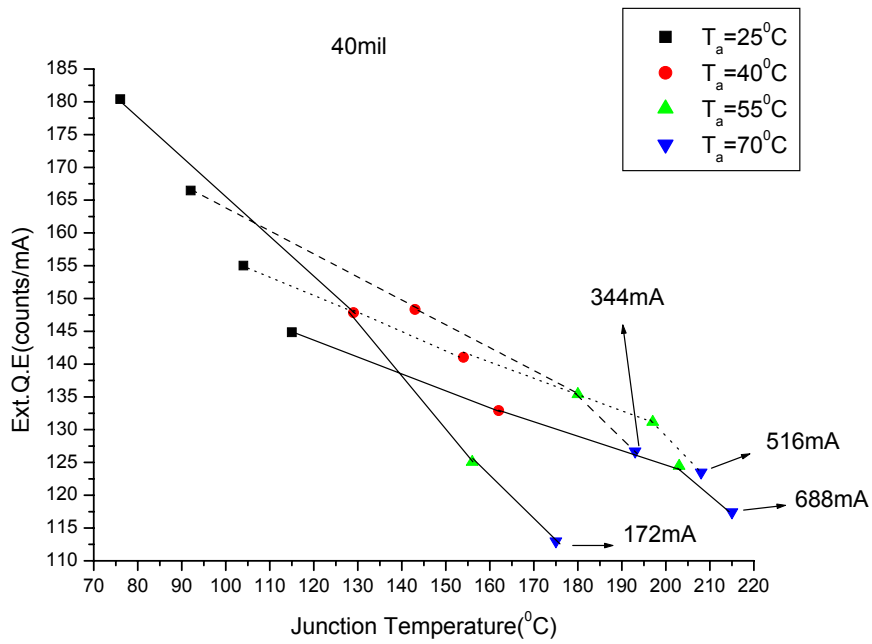


圖 4-29 40\*40mil<sup>2</sup> InGaN 藍光 LED 外部量子效率對接面溫度的特性曲線

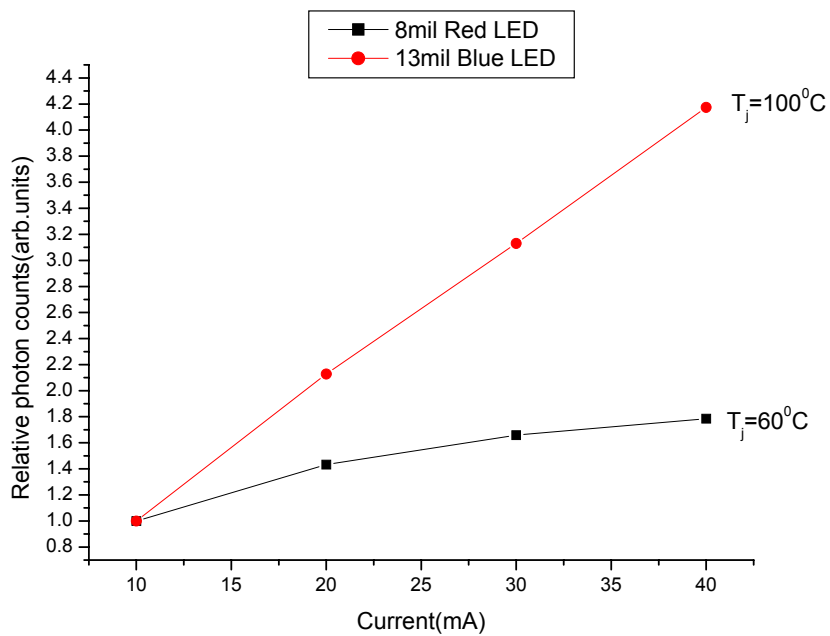


圖 4-30 定接面溫度下，操作電流與相對光子數的特性曲線

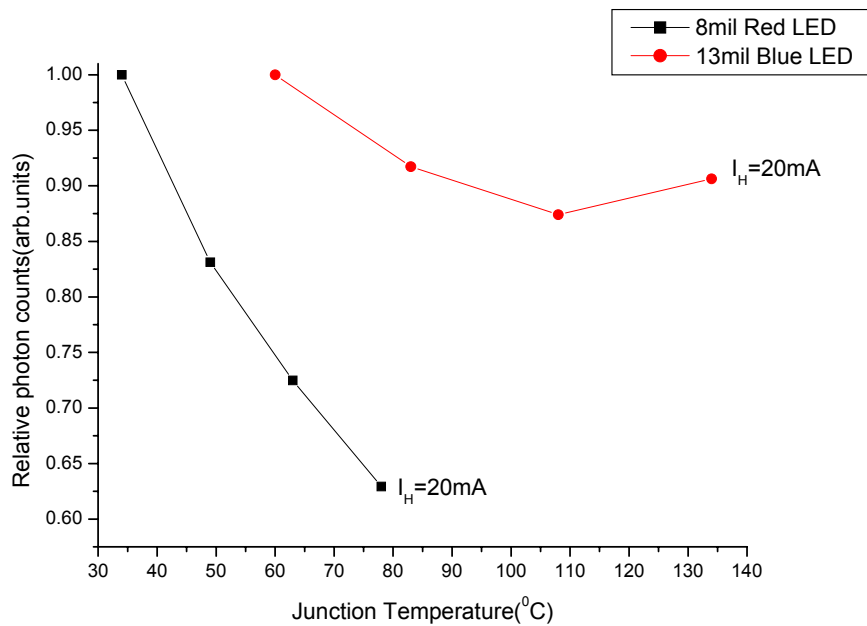


圖 4-31 定操作電流下，接面溫度與相對光子數的特性曲線

結論：

首先，我們藉由接面溫度對操作電流的特性曲線，驗證了理論的一般性，操作電流愈大接面溫度愈高，也確定了系統所量測的數值是合理的，成功地建立了量測系統。接著，在接面溫度對量測電流的特性曲線中，我們再一次的驗證在第三章所建立的  $I_M$  選取的規則是否合理，結果是 OK 的。而在接面溫度對發光頻譜的特性分析上，我們可得知藍光 LED 和紅光 LED 在結構上的不同，藍光所表現的光性較紅光來得好。

## 第五章 總結與未來展望

本論文中，首先對實驗操作原理、量測系統的建立與量測時所需的條件設定做一番說明，接著再選取實驗所需的參數：有量測電流(Measurement Current,  $I_M$ )值、接面電壓的溫度係數(Temperature Coefficient Of Junction Voltage,  $K_j$ )值、冷卻時間(Cooling Time,  $t_c$ )、加熱時間(Heating Time,  $t_H$ )四個方面。

接著憑藉所建立的實驗原理與條件選取的規範，量測發光二極體的接面溫度，我們發覺大體上都符合理論的結果。另外，在相同的材料不同的尺寸中，量測電流  $I_M$  值隨著尺寸的變大而有較大的電流。接面溫度量測方面，藍光 LED 在相同的電流密度和相同的環境溫度下，接面溫度隨著樣品的尺寸變大而增加；而在  $8*8\text{mil}^2$  AlGaInP 紅光 LED 和  $13*10\text{mil}^2$  InGaN 藍光 LED 中，在相同的溫度下以相同的電流大小驅動時，藍光發光二極體的接面溫度比紅光發光二極體的接面溫度高，即使在面積方面，藍光發光二極體比紅光發光二極體大。

在發光二極體的光譜分析方面，也得到了教科書或是 paper 上相同的趨勢，如發光二極體的放射強度隨著溫度的增加而減小、高溫會增加載子熱能促進載子脫離作用區域或是載子外流所導致光強度飽和等現象。

我們也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。而橫跨發光二極體的壓降隨著溫度的增加呈現性的改變只在一特定的範圍內，所以接面溫度可藉由量測發光二極體接面不同的壓降來決定。實驗中，接面溫度的上升是經由兩個方式：保持周圍環境溫度的穩定然後再以較高的電流下操作發光二極體；和驅動發光二極體在定電流而改變周圍環境的溫度。這些方法証實了發光二極體的接面溫度可在不影響產品的完整性而輕易地量測到。

計算接面溫度只是有助於預測準確的系統生命期的第一步。未來工作為將接面溫度與 LED 的衰減速率相結合，以決定 LED 的生命期。探討周圍環境溫度愈高元件壽命愈短是否跟接面溫度有關。

## 參考文獻

1. Electrical temperature measurement using semiconductors, Dr. John W Sofia, Analysis Tech, Cooling Zone
2. Mitsuo Fukuda, "Optical Semiconductor Devices, Chapter 2", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1999.
3. Yimin Gu and Nadarajah Narendran, "A Non-contact Method for Determining Junction Temperature of Phosphor-Converted White LEDs", Proceeding of SPIE, Vol. 5187, 2003.
4. Eugene Hong and Nadarajah Narendran, "A Method for Projecting Useful Life of LED Lighting Systems", Proceedings of SPIE, Vol. 5187, 2003.
5. Agilent Technologies, Application Brief A05, Led Thermal Testing
6. Mitsuo Fukuda, "Optical Semiconductor Devices, Chapter 6", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1999.
7. 史光國, 現代半導體發光及雷射二極體材料技術, 全華科技圖書股份有限公司。