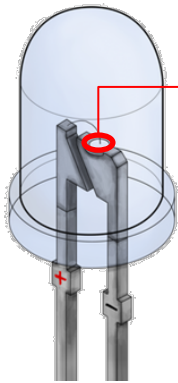


實驗五

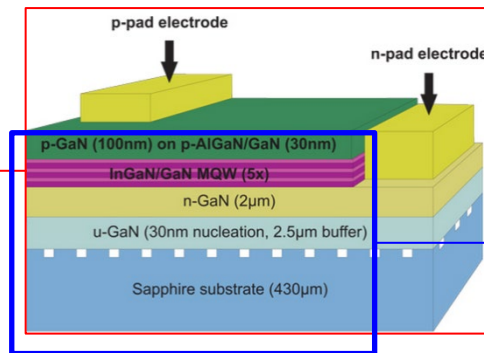
發光二極體量測

背景簡介(Ex 2 PL)

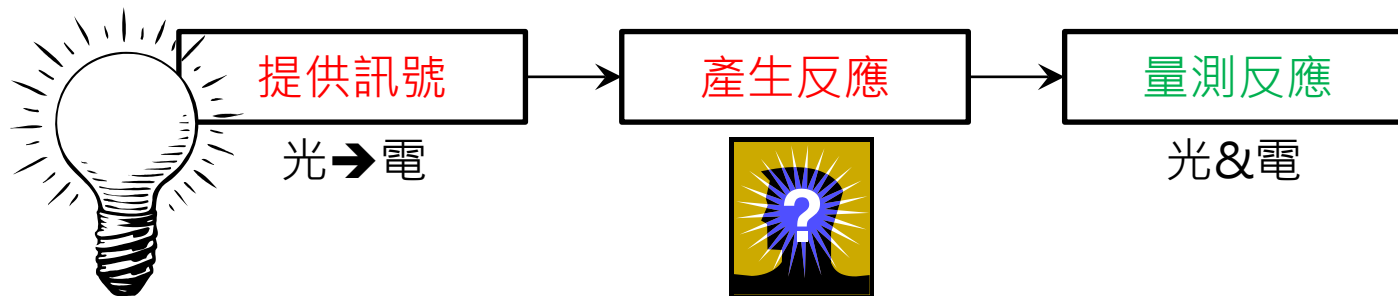
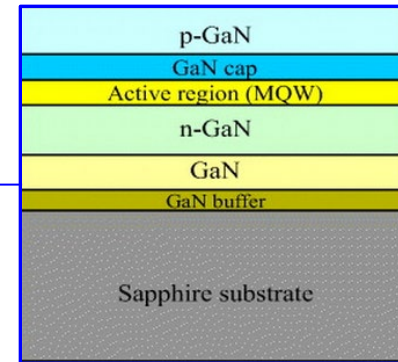
❖ LED(封裝完成)



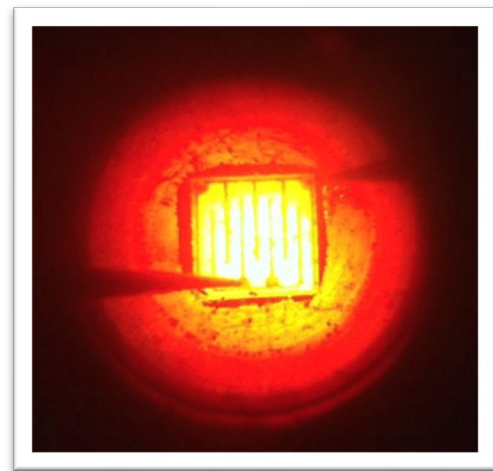
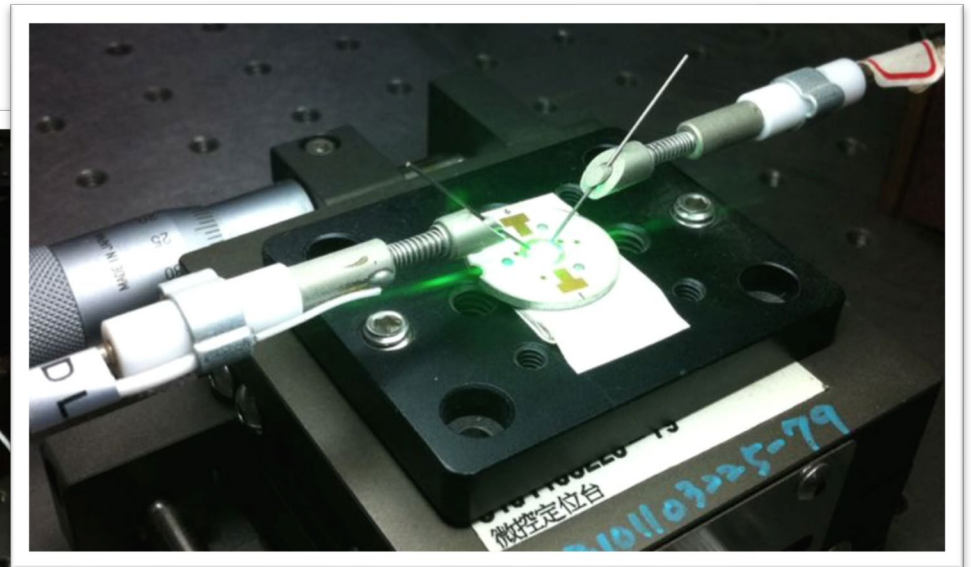
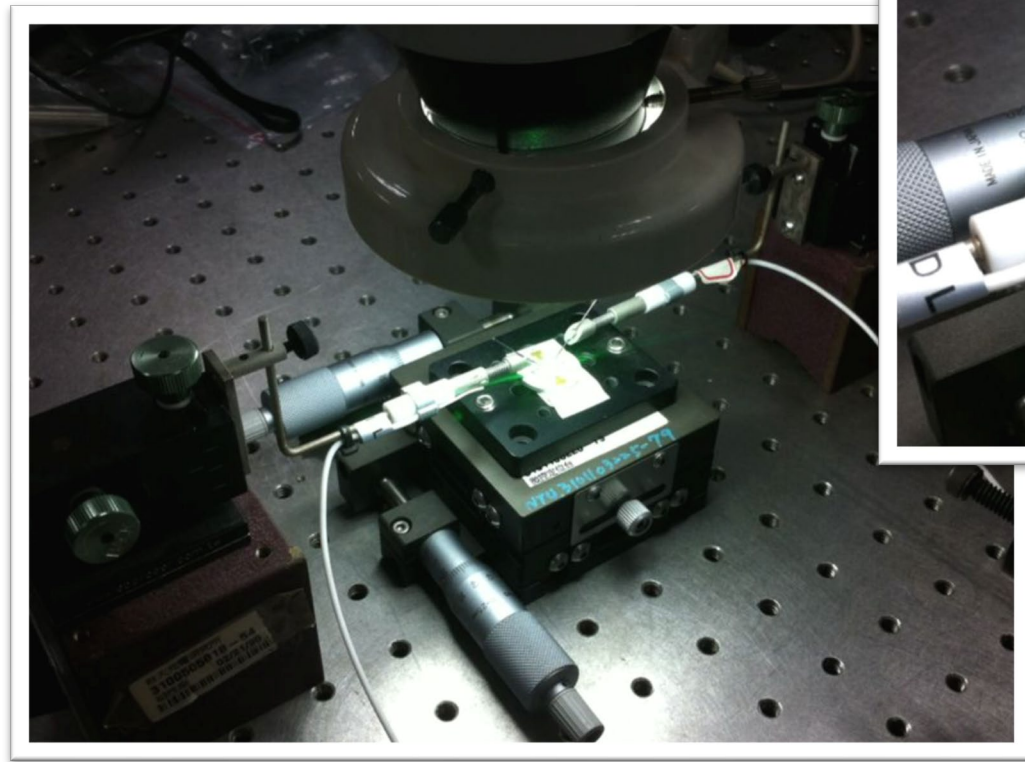
❖ LED(裸晶)



❖ LED(磊晶完成)



發光二極體量測:實驗示意圖



Keithley2400萬能電表

aka凱薩琳2400



□ 電流電壓源



□ 三用電表



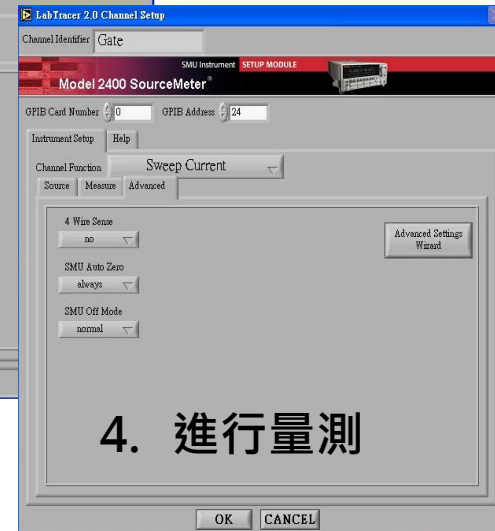
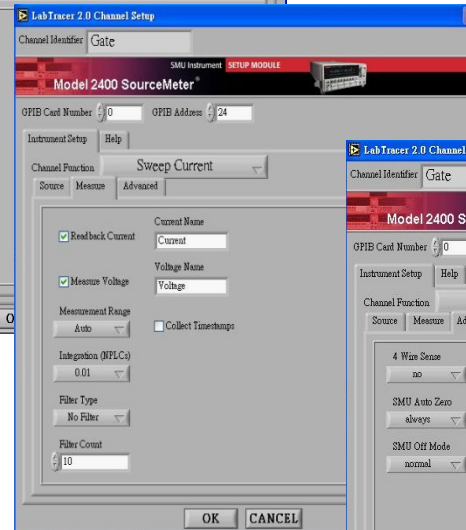
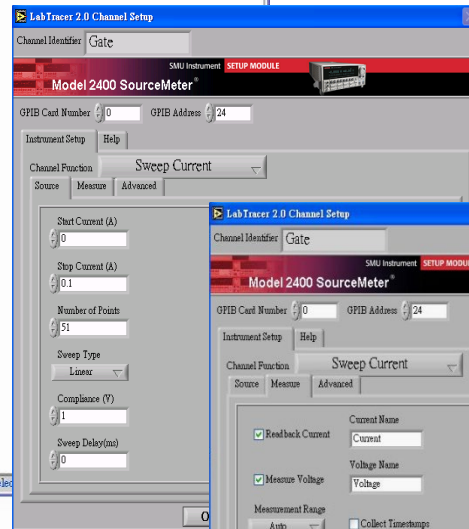
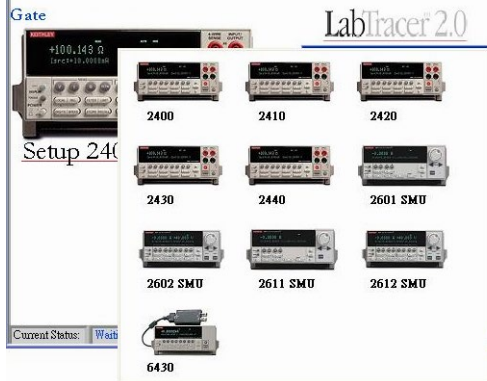
Keithley2400萬能電表

1. 選擇控制儀器

2. 選擇操作方式

3. 設定量測範圍

4. 進行量測



實驗目的

- 發光二極體(LED)即經由p-n接面，由兩側注入電子電洞使其結合而放光之二極體。在過去實驗中，我們藉由量測電流-電壓特性(I - V characteristics)以及電激發光(Electroluminescence, EL)之實驗，來探討R、G、B三種LED的材料特性與其光電特性。
- 實驗A:電流電壓特性量測→Electrical
- 實驗B:電激發光頻譜量測→Optical

大綱

□ 背景簡介

- 原理-發光二極體
- 二極體設計
 - 材料選用
 - 量子井結構
 - Ex: GaN-based LED/MOCVD

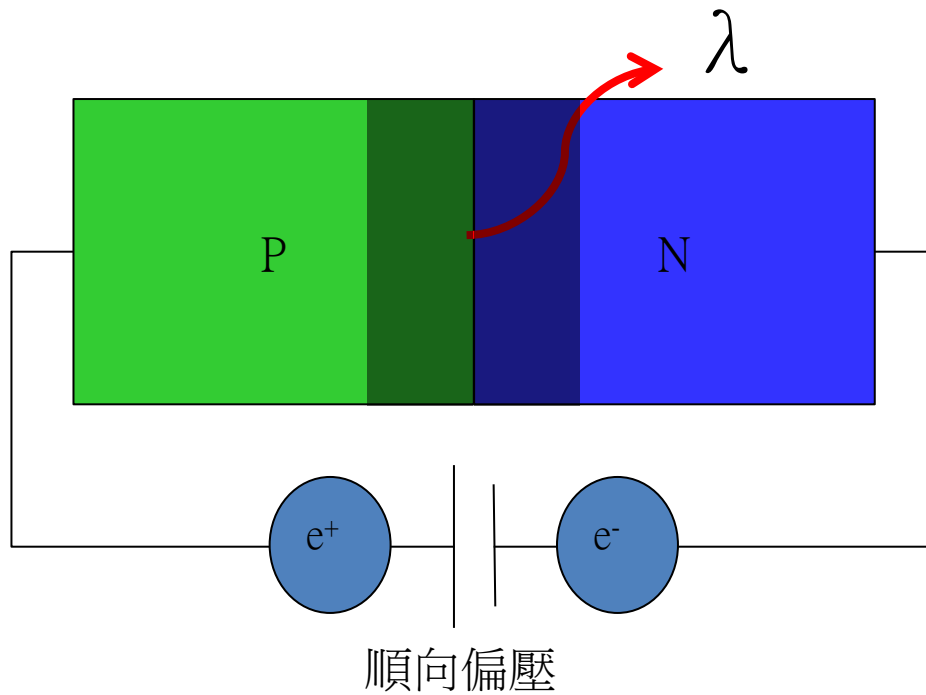
□ 實驗目的

□ 實驗A:電流電壓特性量測→Electrical

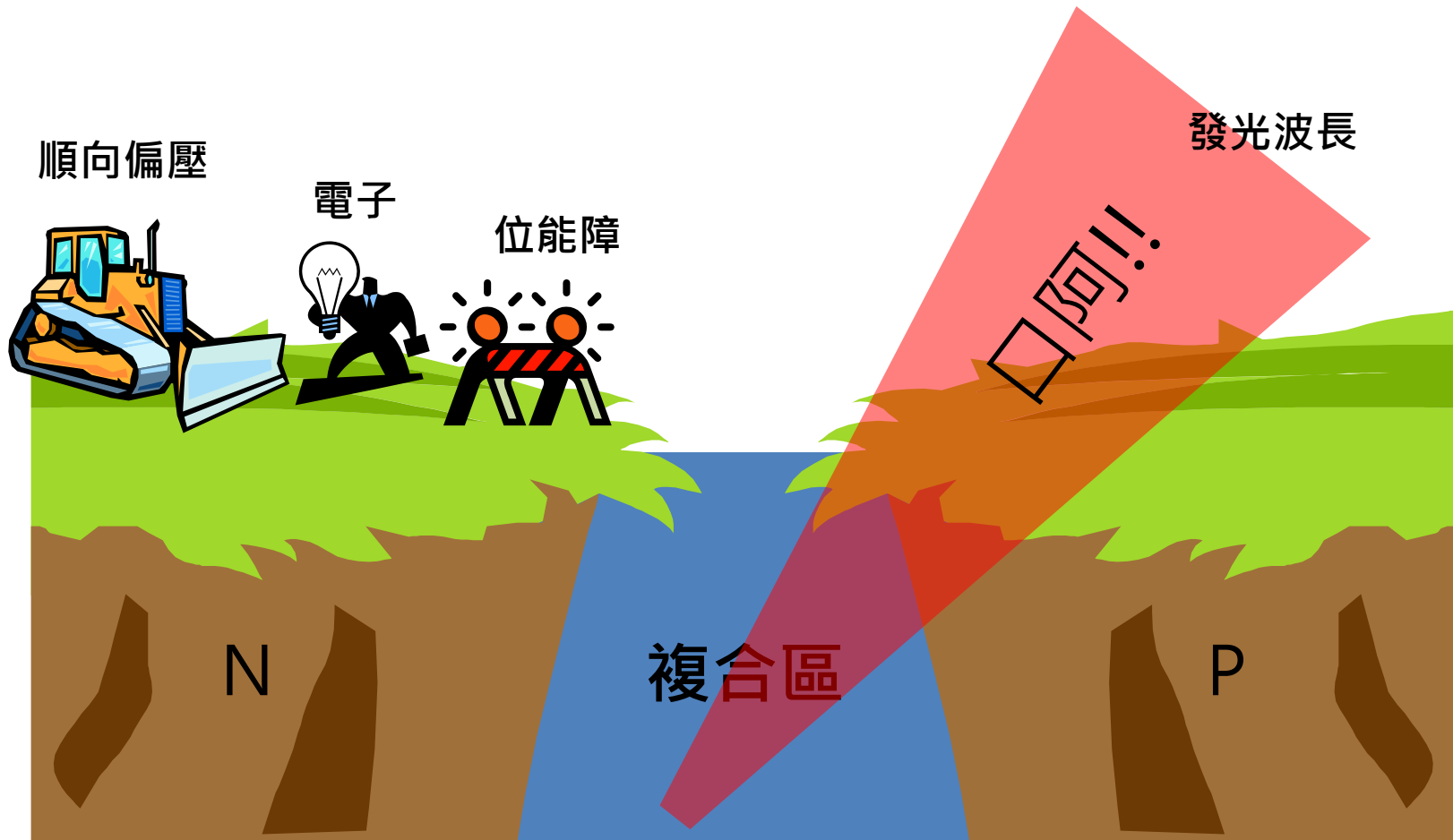
□ 實驗B:電激發光頻譜量測→Optical

發光二極體發光原理

- 利用p型材料(電洞)及n型材料(電子)接合，通入順向電壓，電子與電洞於pn接面結合而產生光

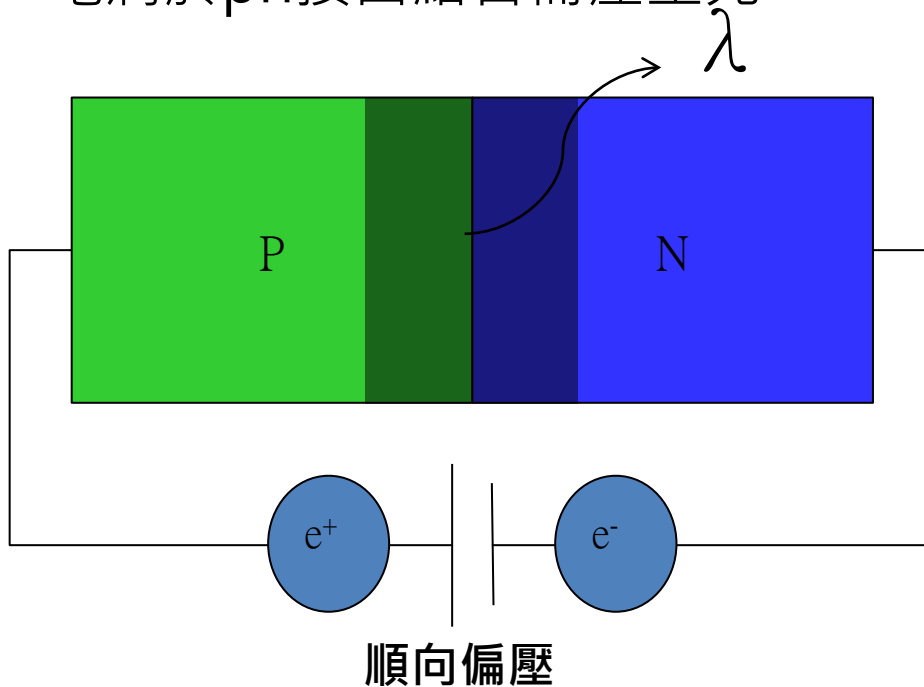


發光二極體發光原理

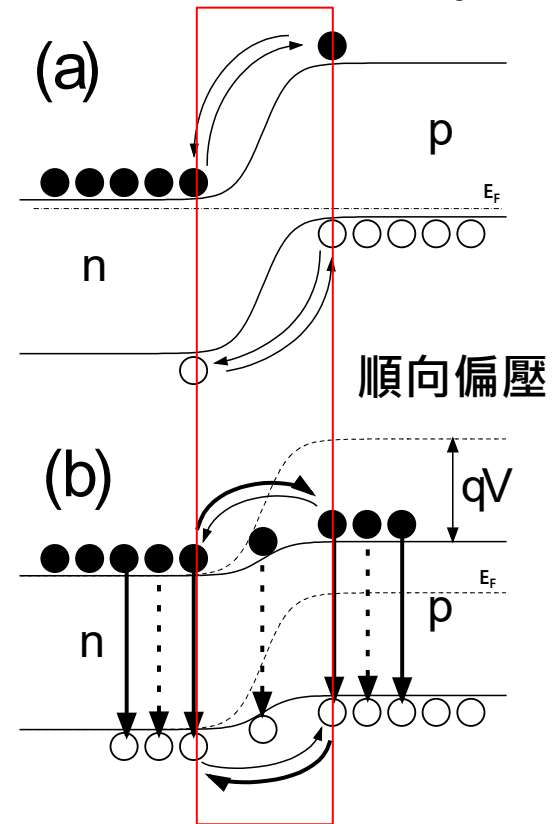


發光二極體發光原理

利用p型材料(電洞)及n型材料(電子)接合，通入順向電壓，電子與電洞於pn接面結合而產生光



p-n 同質接面 (homojunction)



發光二極體設計

STEP.1

- 要什麼顏色? → 選材料 → 能隙工程

STEP.2

- 效率 → 結構設計 → 多重量子井

STEP.3

- 功能 → 封裝 → 二次光學設計

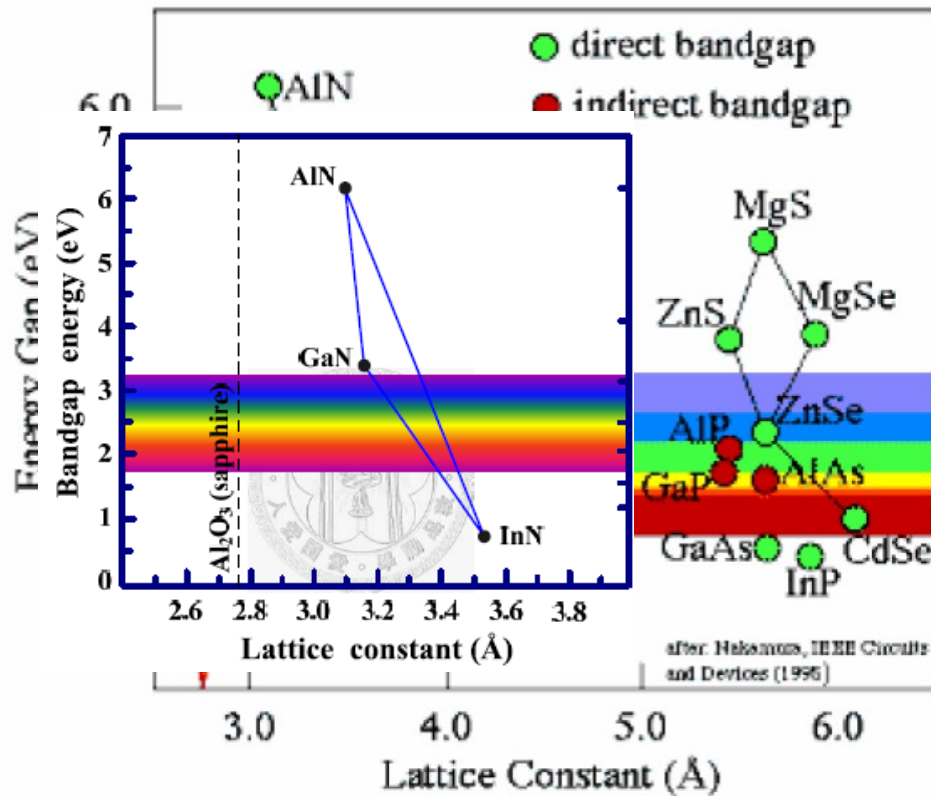
要什麼顏色:LED 材料系統與發光波長

從2樓掉到1樓→
碰~唉唷 能量小

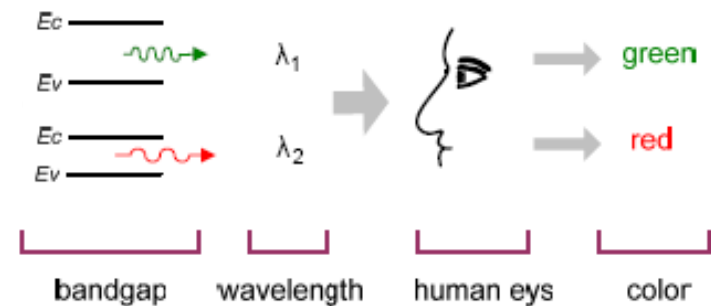
從20樓掉到1樓→
唉唷~~~~碰 能量大



要什麼顏色:LED 材料系統與發光波長



一般半導體LED，其材料大部份是Ⅲ-V族及Ⅱ-VI族。然而由於Ⅱ-VI這族材料較不穩定，目前所用的發光材料大部份是Ⅲ-V族。

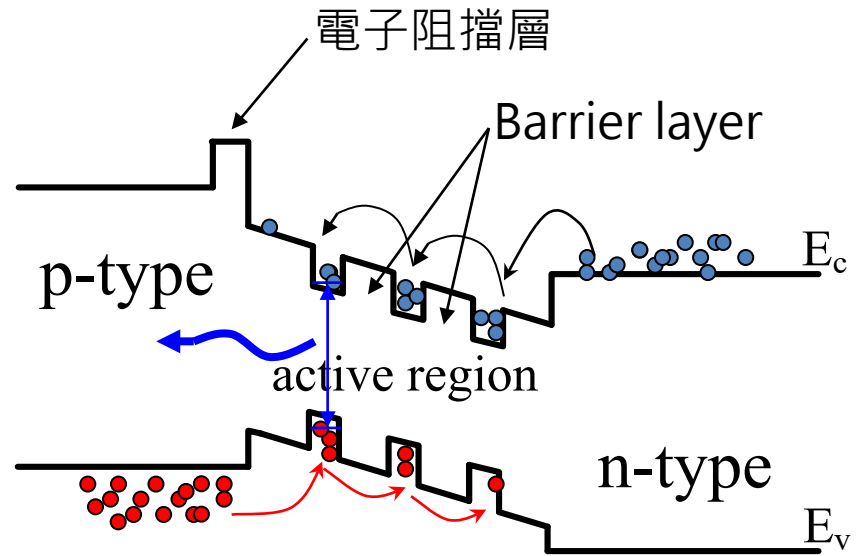
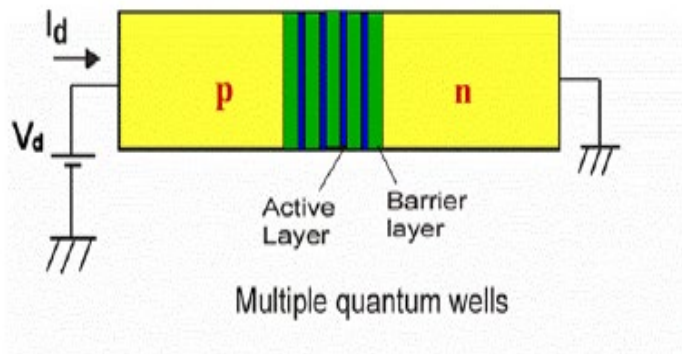


效率:利用量子井結構做為發光層



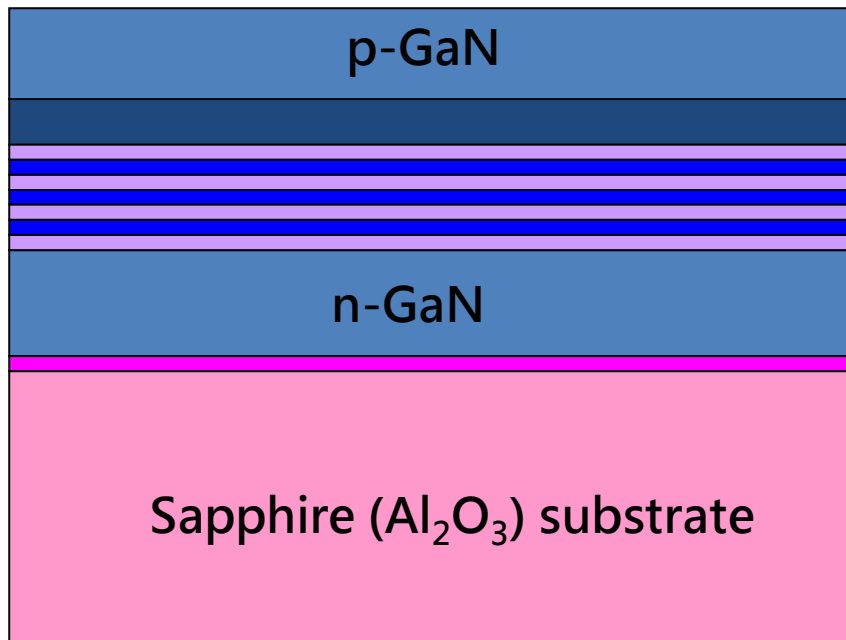
掉下去的機率大增!!...囧

效率:利用量子井結構做為發光層



Efficiency is drastically improved !!

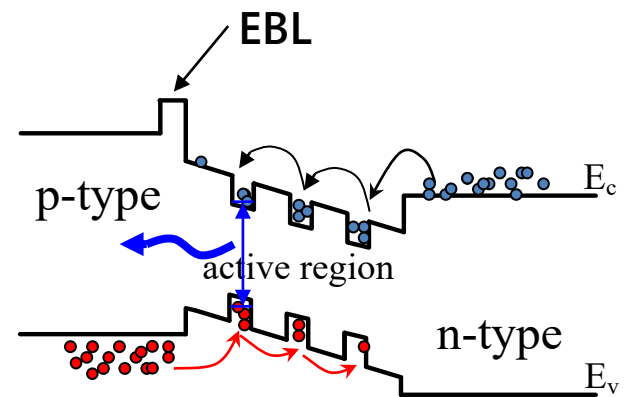
Ex: GaN-based LED 磊晶片 結構



Al_yGa_{1-y}N as Electron Blocking Layer

In_xGa_{1-x}N/GaN QWs

GaN nucleation layer

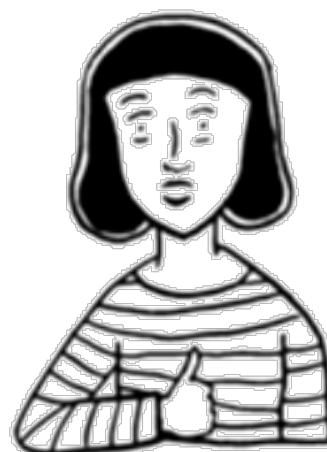


實驗目的

- 發光二極體(LED)即經由p-n接面，由兩側注入電子電洞使其結合而放光之二極體。在過去實驗中，我們藉由量測電流-電壓特性(I - V characteristics)以及電激發光(Electroluminescence, EL)之實驗，來探討R、G、B三種LED的材料特性與其光電特性。
- 實驗A:電流電壓特性量測→Electrical
- 實驗B:電激發光頻譜量測→Optical

實驗A:I-V 特性量測-實驗目標

- 繪出RGB→高亮度藍光LED的 I - V curves
- 記錄RGB→高亮度藍光LED開始導通的電壓，並與其材料的band gap比較，是否與預估值相近
- 由量測的曲線來估計RGB→高亮度藍光LED的串聯電阻 R_s 與理想值 ideality factor, n
- 助教會提供一組Chip藍光LED的數據做為比較
- 三組電流範圍：
 - 0~10 mA→細分為三等份



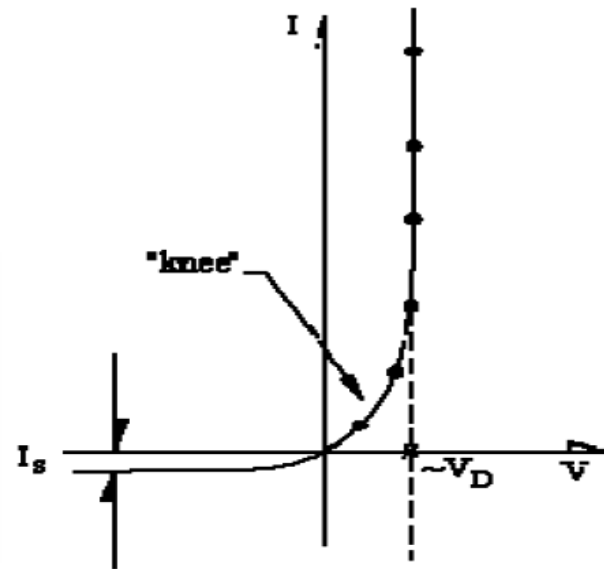
我最喜歡做研究了。

電流電壓特性(I-V characteristics)

- The simple **ideal** diode equation:

$$I_D = I_S (e^{qV_D/kT} - 1)$$

- I_S = saturation current (A)
- q = electronic charge (1.6E-19 C)
- V_D = diode voltage (V)
- k = Boltzmann's constant (1.379E-23 J/K)
- T = temperature (K)



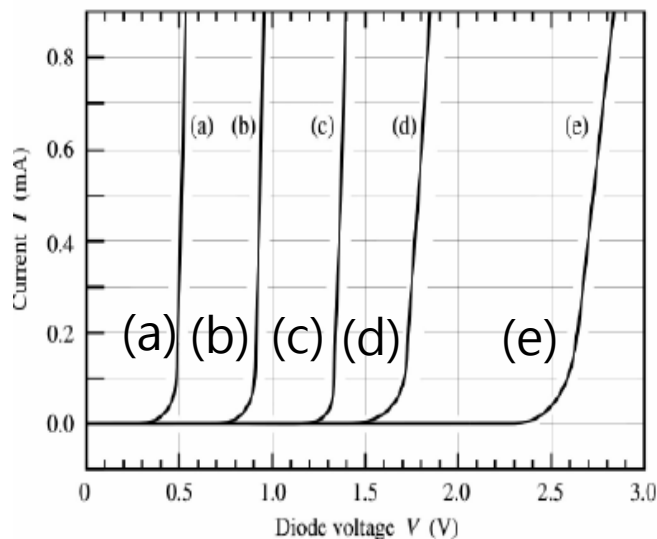
常見電流電壓特性曲線

- 二極體導通之順向電壓 V_{th} 條件：

$$eV_D + (E_F - E_V) + (E_C - E_F) = E_g$$

當兩邊是高度摻雜時 $(E_F - E_V) + (E_C - E_F)$ 可忽略

$$\rightarrow V_{th} \sim E_g / e$$



T=300K

(a) Ge $E_g=0.7\text{eV}$

(b) Si $E_g=1.1\text{ eV}$

(c) GeAs $E_g=1.4\text{ eV}$

(d) GeAsP $E_g=2.0\text{ eV}$

(e) GeInN $E_g=2.9\text{ eV}$

實際電流電壓曲線

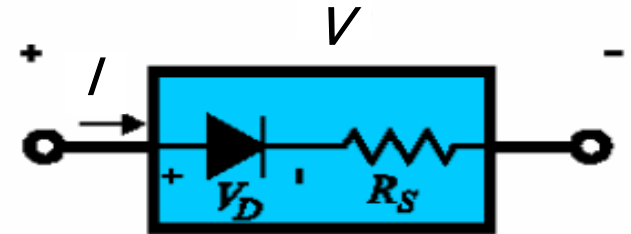
❖ Ideal one:

$$I = I_s \left(\exp \left((qV_D)/KT \right) - 1 \right)$$

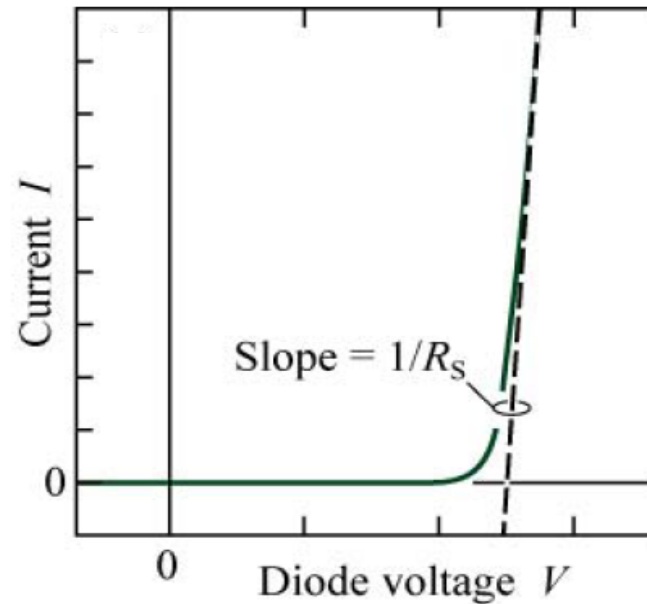
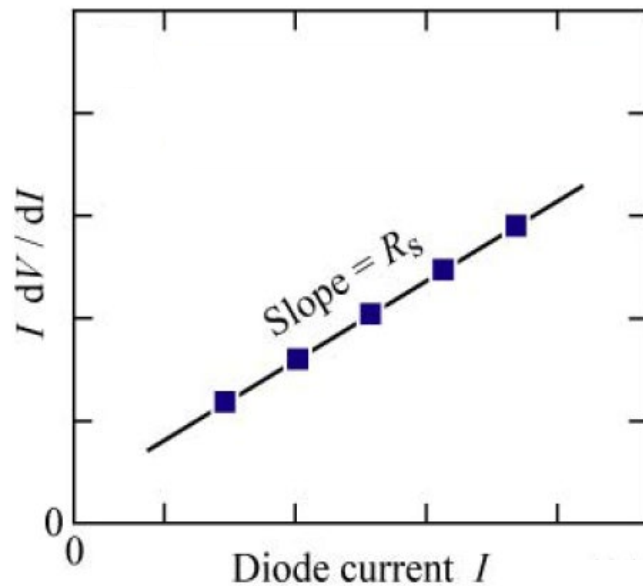
❖ Modified diode equation:

$$I = I_s \left(\exp \left(e(V - IR_s)/nKT \right) - 1 \right)$$

- R_s : series resistance
- n : ideality factor



串聯電阻(series resistance)



Q: Derive this equation by using modified diode equation

$$I \frac{dV}{dI} = R_s I + nKT/e$$

❖ $I + I_s \cong I$

❖ $R_s \cong \frac{dV}{dI}, @High \text{ current region}$

理想常數(Ideality factor, n)

•理想常數 n 代表了不同的電流傳輸機制：

❖ 當 $n=1$ 時，載子在p-n接面的傳輸機制為擴散電流(diffusion current)

$$I_D = I_0 \exp\left(\frac{eV_a}{kT}\right)$$

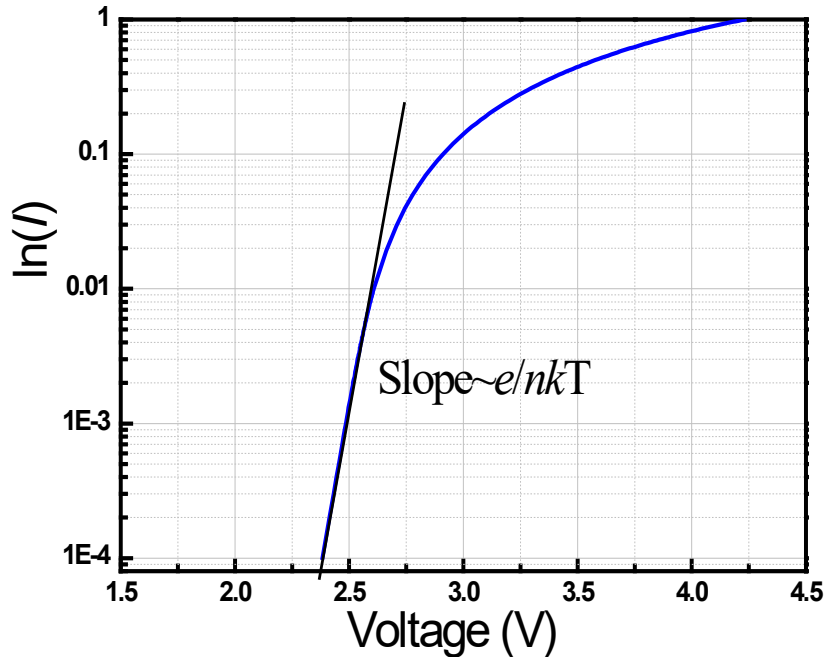
❖ 當 $n=2$ 時，載子的傳輸機制為空間電荷復合電流(space charge region recombination current)

$$I_{rec} = \frac{eWn_i}{2\tau_0} \exp\left(\frac{eV_a}{2kT}\right)$$

對一般 p-n 接面的diode而言，因為其電流傳輸是由上述兩種機制組成，因此其理想常數 n 值會介於1~2之間。然而對具量子井結構的LED來說，其理想常數卻會出現大於2之情形，其原因目前仍有許多說法，包含了量子井中載子的穿隧電流及多個二極體串聯之等效模型等等。

$$I = I_D + I_{rec} = I_s \left[\exp\left(\frac{eV_a}{nkT}\right) - 1 \right]$$

理想常數(Ideality factor, n)



❖ 在低電流的區域,可將 R_S 忽略,因此 diode equation 可改寫為 :

$$I = I_S (e^{e(V - I \cdot R_S)/nkT} - 1)$$

$$\text{as } I \rightarrow 0$$

$$I = I_S (e^{eV/nkT} - 1)$$

$$\Rightarrow I / I_S \approx e^{eV/nkT}$$

$$\Rightarrow \ln(I / I_S) = \frac{e}{nkT} V$$

→ 由 $\ln(I) - V$ curve 的斜率可求得 n 值

實驗B:電激發光譜量測-實驗目標: 看頻譜會不會隨電流大小改變而變化

- 量測RGB→高亮度藍光LED的電激發光頻譜,並各繪出10組電流的頻譜圖(限定電流範圍)。
- 將RGB→高亮度藍光LED的頻譜積分並計算出發光效率,並繪出相對發光效率對電流的曲線(EQE-I curve)。
- 記錄不同電流下發光頻譜波峰的位置,並觀察RGB→高亮度藍光LED的波峰值隨注入電流增加時,是否有出現紅移(red shift)或是藍移(blue shift)的現象,並探討其原因。
- 電流範圍:
 - 0~10 mA(間距1 mA)

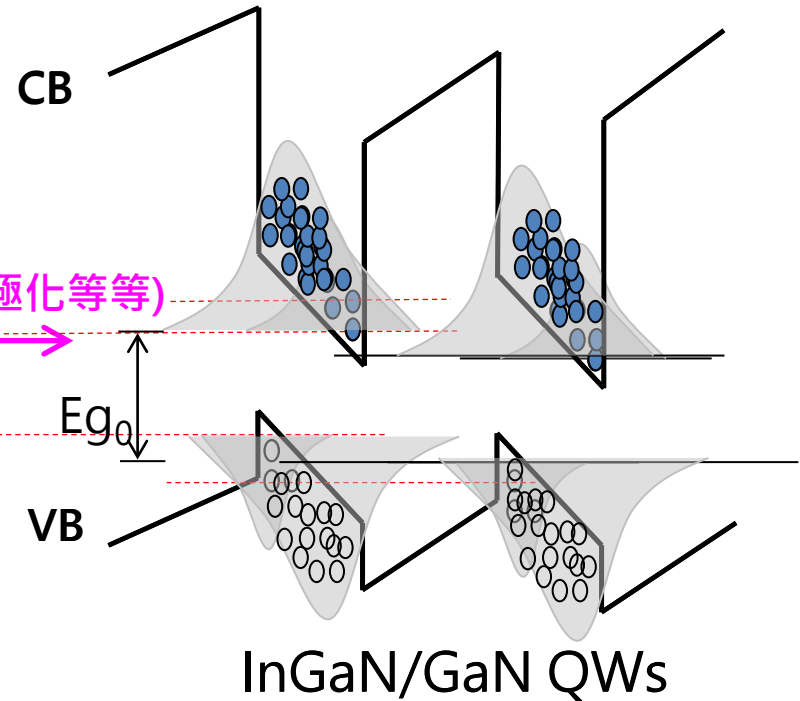
造成藍移(blue shift)的因素

壓電效應使極化電場能帶偏移
→ 等效能隙下降

提高注入電流

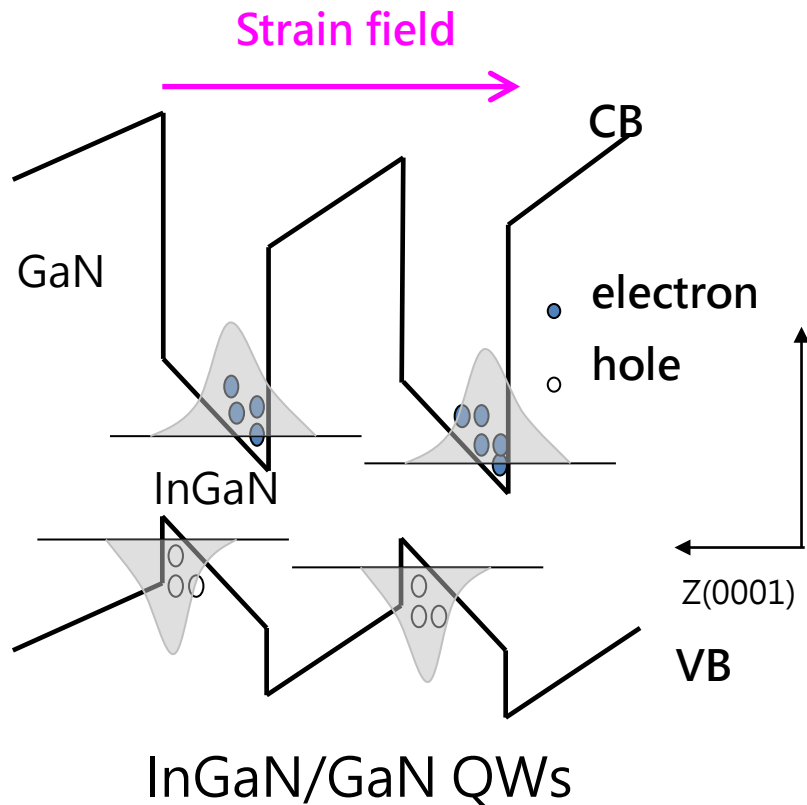
in field
(材料, 晶格大小, 極化等等)

effect



造成藍移(blue shift)的因素

-Quantum-confined Stark effect:



-由於材料本身的自發性極化 (spontaneous polarization) 及不同材料間晶格大小不同造成應力所產生的壓電性極化 (piezoelectric polarization)，兩者在量子井的區域**形成極化電場**，使得能階的形狀產生傾斜，而讓電子與電洞在空間中分離。**此現象會造成電子電洞復合率的降低以及等效能階的降低**。此現象只發生在極化強度高的材料上。

-當注入的載子(電流)增加時，可屏蔽掉內部的極化電場，而降低 Quantum-confined Stark effect 的現象，使等效能階增加，因此產生藍移的現象。

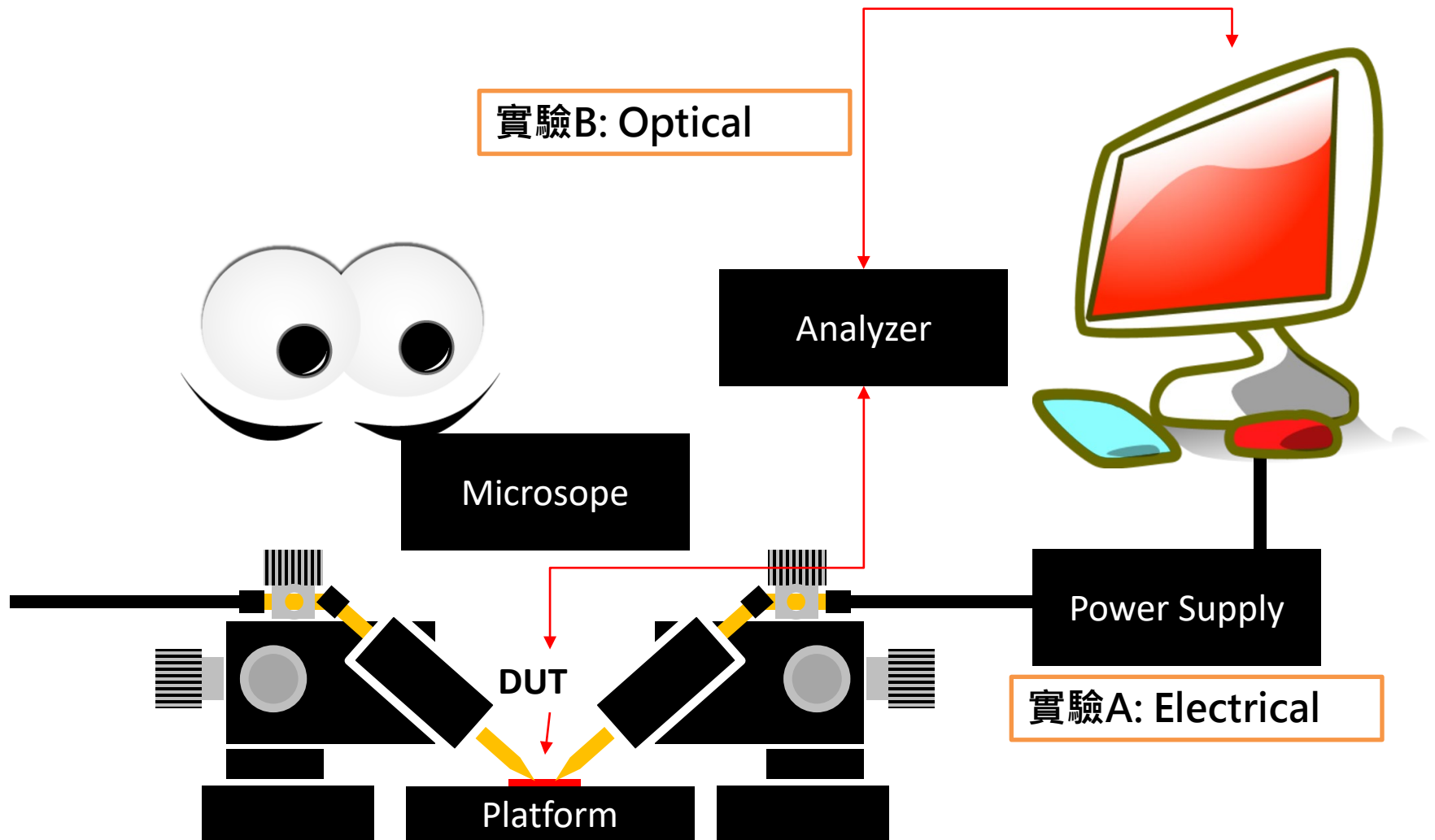
造成紅移(blue shift)的因素

- ❖ Increase of temperature (T) will decrease the bandgap of semiconductor :

$$E_g = E_g|_{T=0K} - \frac{\alpha T^2}{T + \beta} \quad (\text{Varshni formula})$$

- 當注入電流增加時，同時增加了輸入的功率，因而造成LED發光區域溫度的上升，由Varshni formula 可知溫度上升會使半導體材料的bandgap減小，因此其載子復合放出光子的波長便會產生紅移的現象

實驗架構圖



效率

- ❑ Injection efficiency, 注入效率
- ❑ Internal Quantum Efficiency (IQE), 內部量子效率
- ❑ Extraction Efficiency (EE), 萃取效率(光可以穿過元件的效率)
- ❑ External Quantum Efficiency (EQE), 外部量子效率

$$EQE = IQE \times EE$$

Q : Find out the definitions of efficiencies mentioned above.

預報

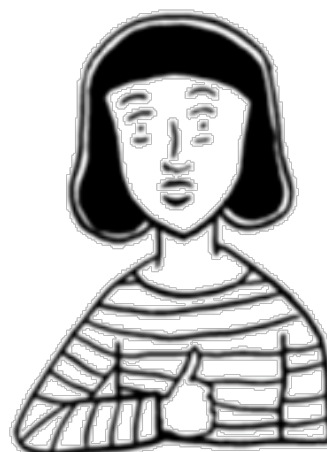
- 實驗目的
- 實驗架構
- 實驗步驟
- 預報問題

預報問題

- ❑ RGB LED 可用哪些材料系統製作
- ❑ 以[GaN-based LED](#)為例，試描述LED晶粒的基本結構
- ❑ [推導 page 22之式子](#)
- ❑ [描述 page 30 各種efficiency 之定義](#)
- ❑ 試查詢白光LED之製作方法(兩個就好)

實驗A:I-V 特性量測-實驗目標

- 繪出RGB→高亮度藍光LED的 I - V curves
- 記錄RGB→高亮度藍光LED開始導通的電壓，並與其材料的band gap比較，是否與預估值相近
- 由量測的曲線來估計RGB→高亮度藍光LED的串聯電阻 R_s 與理想值 ideality factor, n
- 助教會提供一組Chip藍光LED的數據做為比較
- 三組電流範圍：
 - 0~10 mA → 細分為三等份



我最喜歡做研究了。

實驗B:電激發光譜量測-實驗目標: 看頻譜會不會隨電流大小改變而變化

- 量測RGB→高亮度藍光LED的電激發光頻譜,並各繪出10組電流的頻譜圖(限定電流範圍)。
- 將RGB→高亮度藍光LED的頻譜積分並計算出發光效率,並繪出相對發光效率對電流的曲線(EQE-I curve)。
- 記錄不同電流下發光頻譜波峰的位置,並觀察RGB→高亮度藍光LED的波峰值隨注入電流增加時,是否有出現紅移(red shift)或是藍移(blue shift)的現象,並探討其原因。
- 電流範圍:
 - 0~10 mA(間距1 mA)

Any questions ?

