

# 實驗二.光激螢光頻譜量測實驗

助教：卓真禾

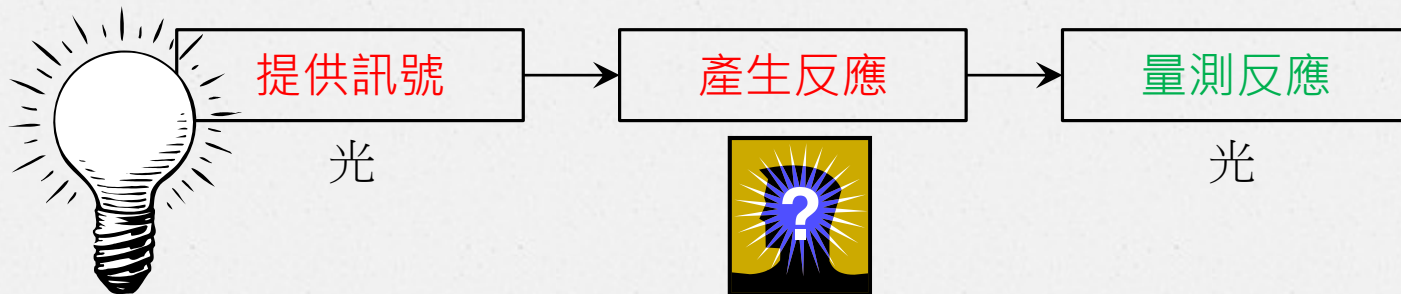
[r08941007@ntu.edu.tw](mailto:r08941007@ntu.edu.tw)

電二館 351A

2020/09/23

## 實驗目的

- 介紹一種量測材料特性的方法 → 光激螢光
- 方法: 光源激發(非直接接觸式)
- 光(輸入)激發螢光(輸出) → 材料特性
- 了解量測螢光與材料特性之關聯性

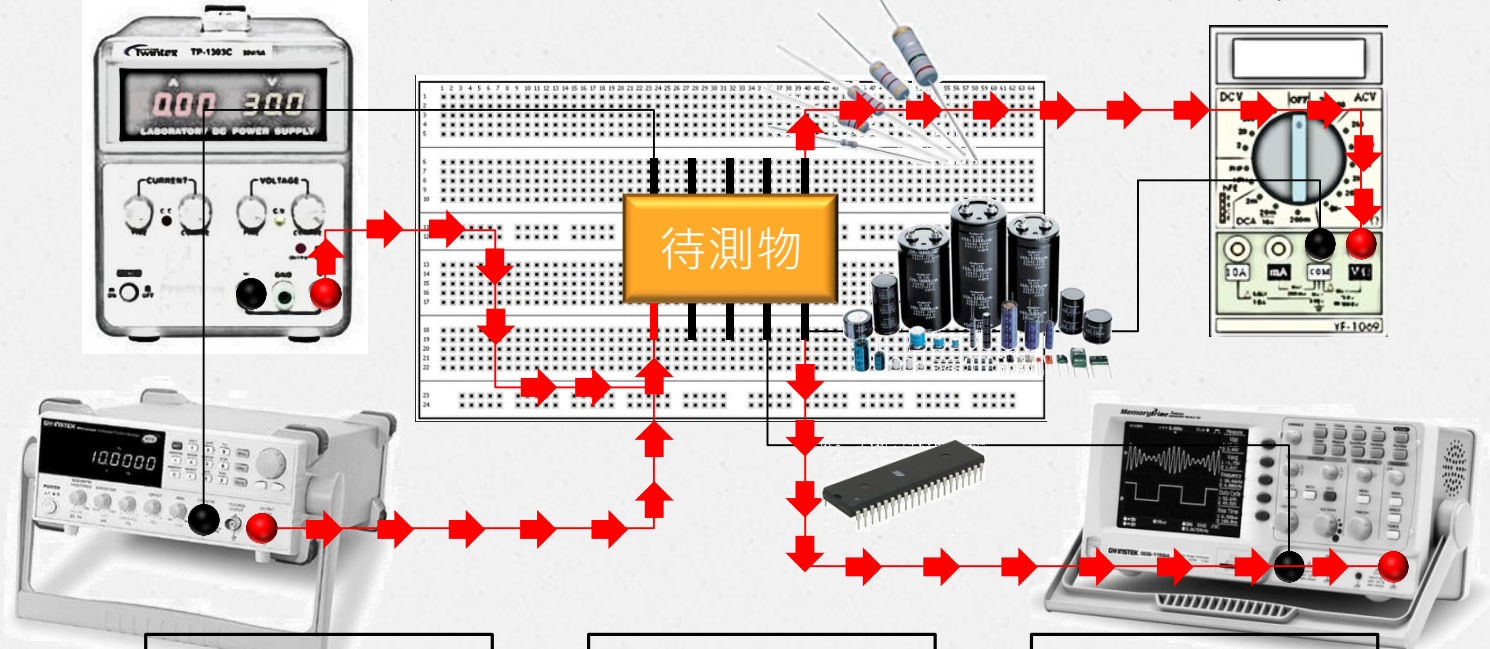




# 背景簡介

電源供應器/訊號產生器

三用電表/示波器



提供訊號

產生反應

量測反應

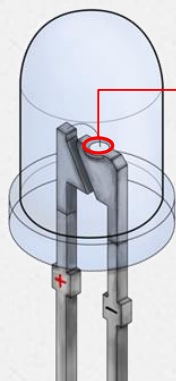
電壓, 電流  
弦波, 方波



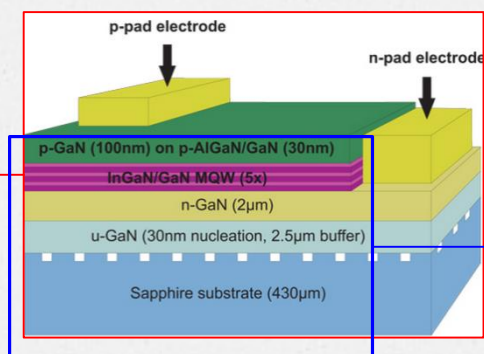
電壓, 電流  
弦波, 方波

# 背景簡介

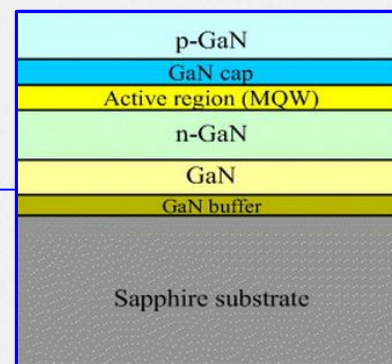
LED(封裝完成)



LED(裸晶)



LED(磊晶完成)





## 補充:光激發螢光量測的原理、架構及應用

- 非接觸、非破壞性的方式

- 應用:

1. 量測能隙
2. 檢測雜質能階與缺陷
3. 複合機制
4. 材料的純度

# 大綱

- 光激發螢光之基本原理
  - 能隙((Energy))Band Gap)
- 發光頻譜對應之材料資訊
  - 缺陷能階
  - 直接與間接能隙
    - 多元化合物半導體之能隙
    - AlGaInP 多重量子井
    - 量子井能隙結構

# 大綱

- 光激發螢光之基本原理
  - 能隙((Energy))Band Gap)
- 發光頻譜對應之材料資訊
  - 缺陷能階
  - 直接與間接能隙
  - 多元化合物半導體之能隙
  - AlGaInP 多重量子井
  - 量子井能隙結構



## 能隙((Energy))Band Gap

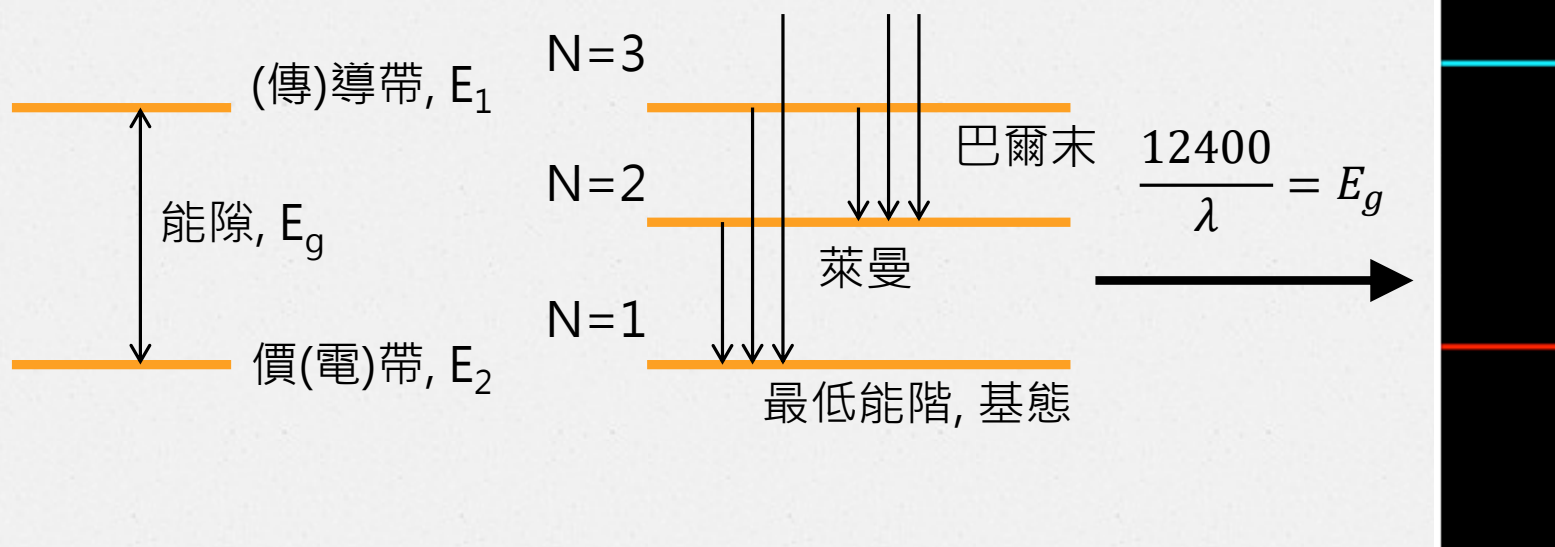
$$E(eV) = \frac{12400}{\lambda(\text{\AA})}$$

$$\lambda(\text{\AA}) = \frac{12400}{E(eV)}$$

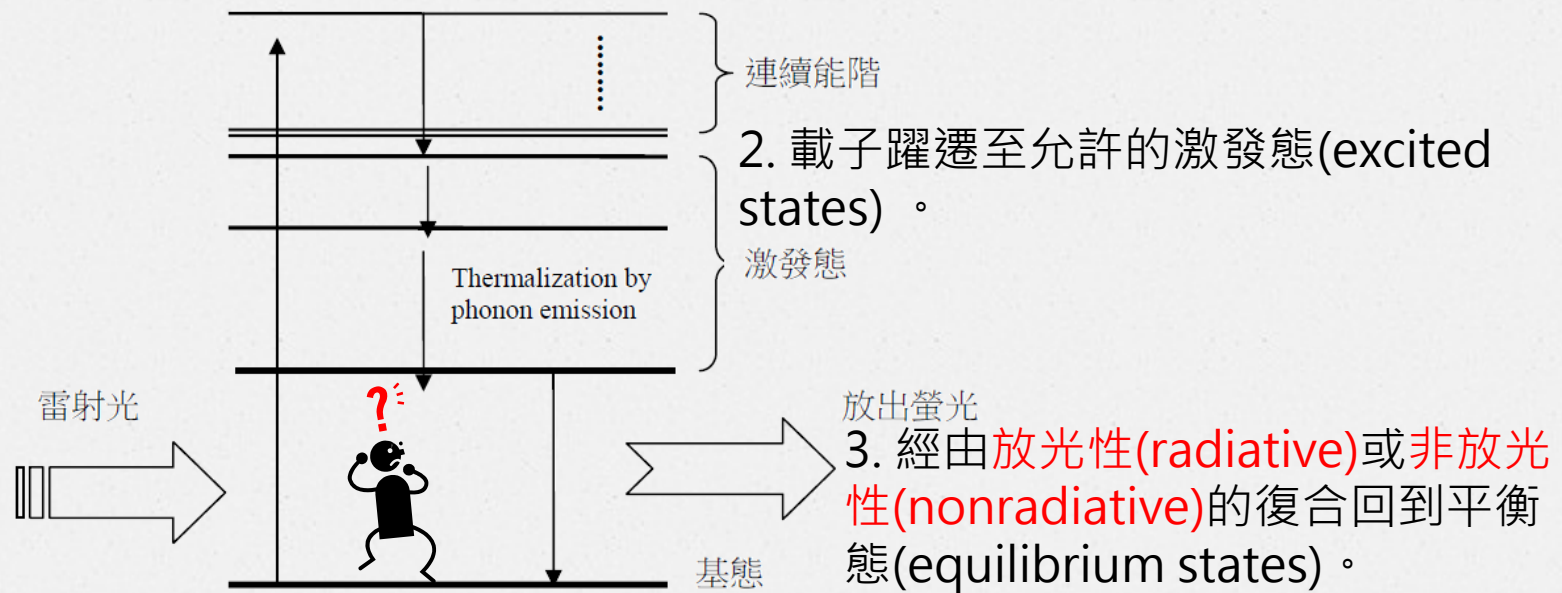


# 能隙((Energy))Band Gap

o (傳)導帶跟價(電)中間的空隙



# 光激發螢光之原理



1. 雷射光源打入樣品，能量被其吸收並且提供載子(carrier)作為躍遷的能量。

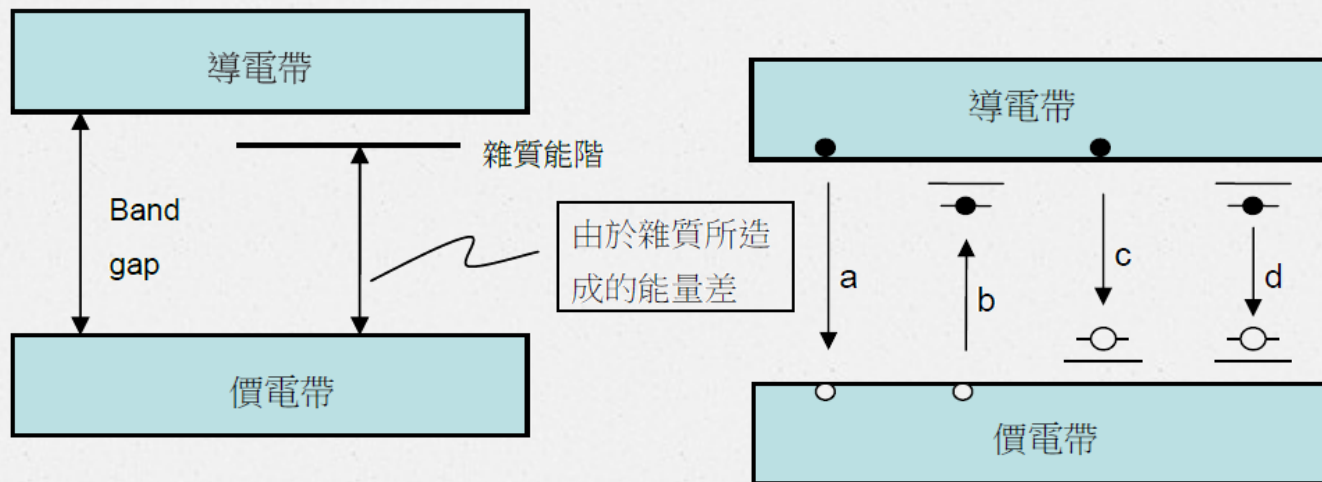
$$h\omega_{\text{laser}} = h\omega_{\text{PL}} + h\omega_{\text{phonon}}$$



# 大綱

- 光激發螢光之基本原理
  - 能隙((Energy))Band Gap)
- 發光頻譜對應之材料資訊
  - 缺陷能階
  - 多元化合物半導體之能隙
  - 直接與間接能隙
  - AlGaInP 多重量子井
  - 量子井能隙結構

# 缺陷能階



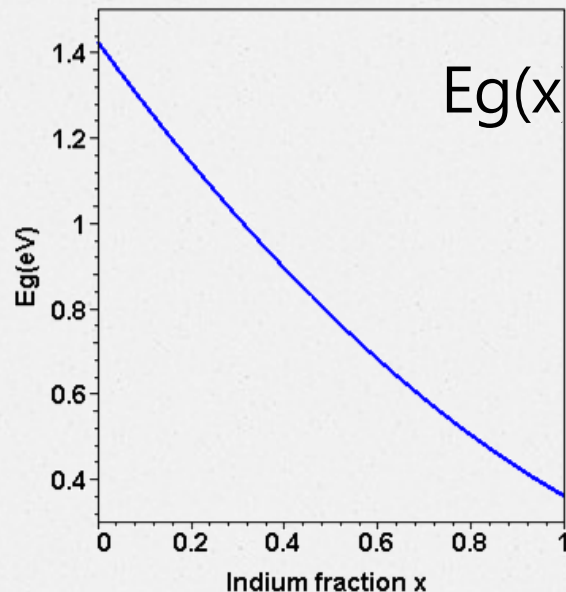
- (a) 電子電洞結合
- (b) 施體(donor)的缺陷能帶 (defect-level)
- (c) 受體(acceptor)的缺陷能帶
- (d) 施體受體對



# 多元化合物半導體之能隙

能隙工程Bandgap engineering:

Bandgap of  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$



$$E_g(x) = x * E_{g_{\text{InAs}}} + (1 - x) * E_{g_{\text{GaAs}}} + b * x(1 - x)$$

Where  $b$  is called bowing parameter

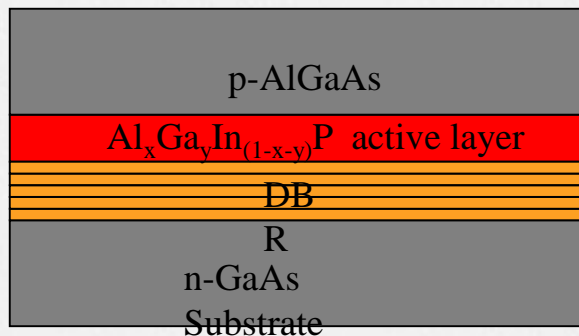
bowing parameter: 彎曲係數, 非線性調整



# AlGaInP 多重量子井 (multi-quantum well, MQW) LED

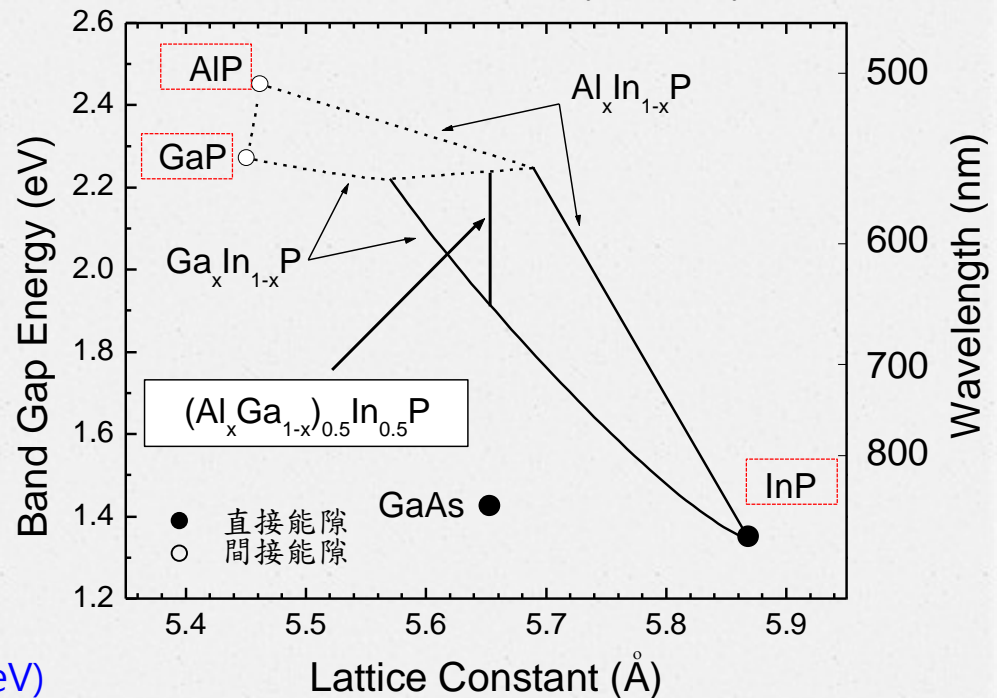
Quaternary alloy of AlP, GaP and InP  $\rightarrow$   $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{(1-x-y)}\text{P}$

Structure of AlGaInP-based LED



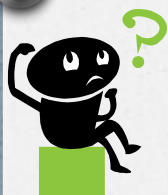
Active layer: 主動層(發光層)

For  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  alloy,  
 $E_g(x) \sim 1.899 + 0.543x + 0.12x^2$  (eV)



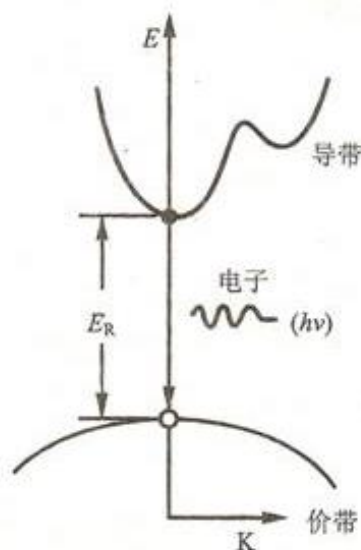
Q1(預報):  $E_g(x)$ ? Direct or indirect bandgap?





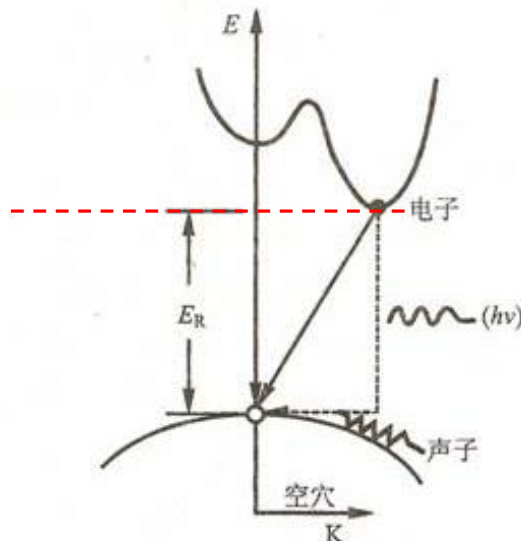
# 直接與間接能隙 direct & indirect bandgap

## E-K 關係圖



(a) 直接帶隙

Direct bandgap



(b) 間接帶隙

Indirect bandgap

載子躍遷必須滿足:

- (1) 能量守恆( $E$ )
- (2) 動量守恆( $P=\hbar k$ )

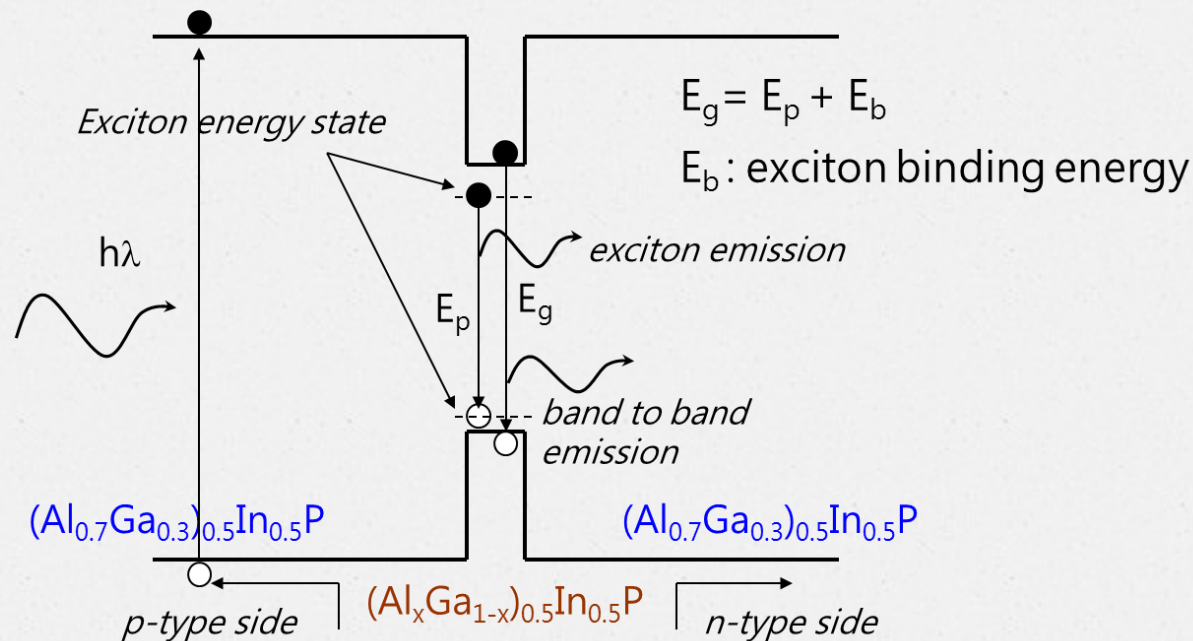
聲子(phonon):

晶體原子間振盪能量的量子化，即熱能。

Q2(預報):發光效率?



## 量子井能隙結構-激子



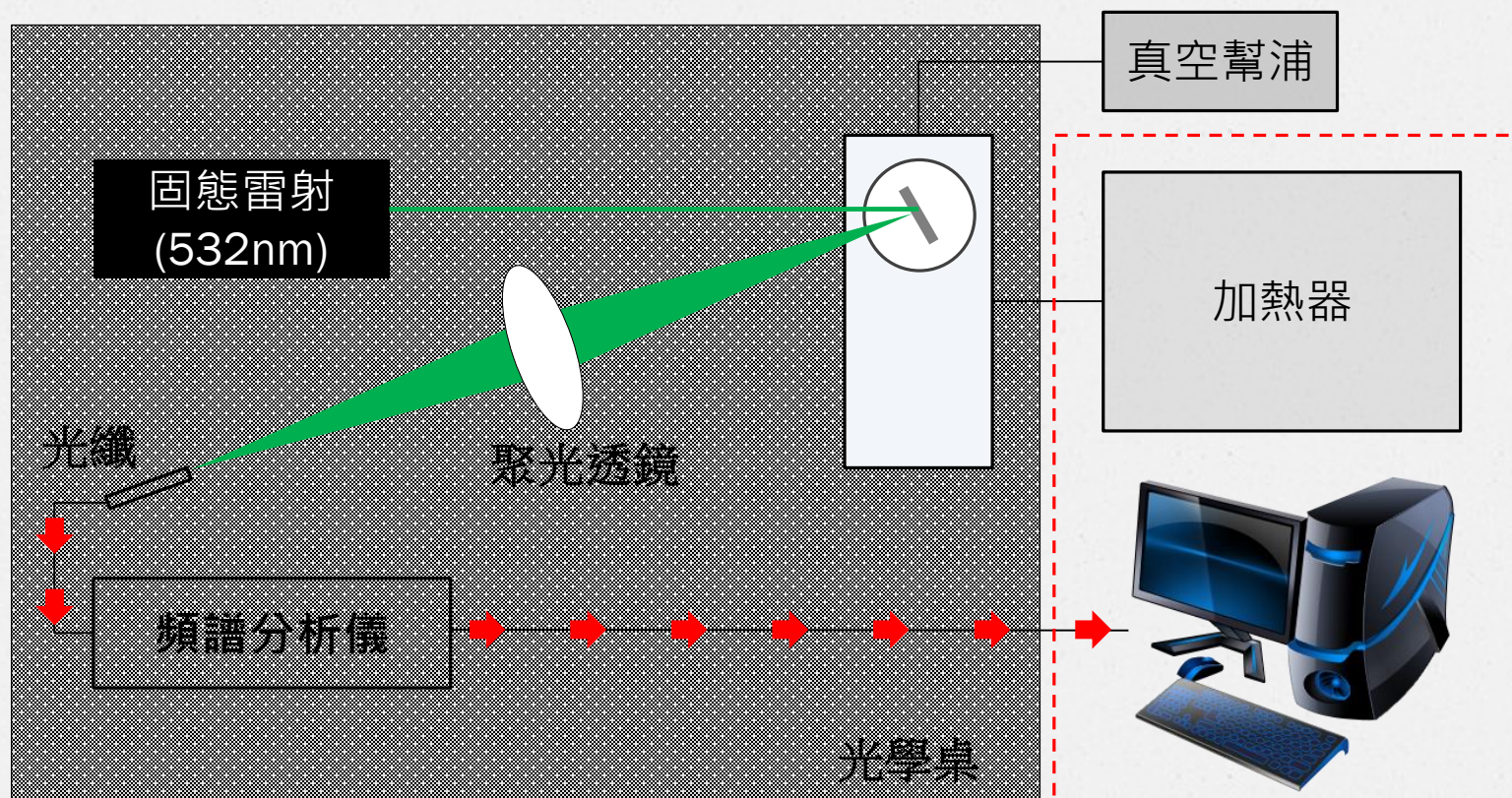
Three major mechanisms to ionize excitons:

1. Thermal energy
2. Electrical field
3. Strong scattering due to high carrier density

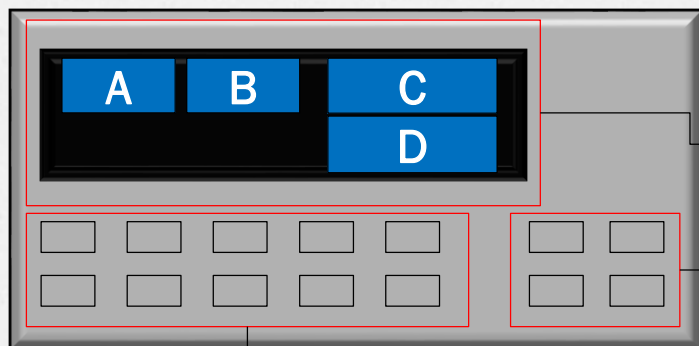
Q3(預報): Exciton : 激子?



# 實驗架構



# 加熱器



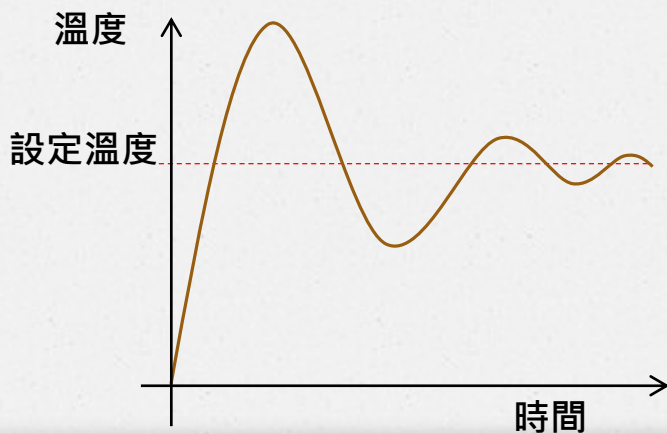
數字鍵

狀態顯示:

- A. 溫度A
- B. 溫度B
- C. 加熱器調整(off, low, mid high)
- D. 加熱器功率(auto)

功能鍵:

加熱功率(Heater)High/Mid/Low/Off



操作心得:

- A. 設定溫度略低於目標溫度
- B. 當溫度接近時,調整加熱功率
- C. 來回震盪至穩定

## 預報(每人一份)

- 組別、系級、學號、姓名
- 實驗名稱
- 實驗目的
- 實驗架構
- 實驗步驟
- 預報問題



實驗 預報			
組別	系級	學號	姓名
實驗名稱			
實驗目的			
實驗架構			
實驗步驟			
預報問題			
Q1. 試解釋直接能隙與間接能隙之間的差異對發光效率之影響為何? What physical significance or consequence does the direct or indirect <u>bandgap</u> have (i.e., in terms of the light emission efficiency)? Explain!			
A1:			



## 預報問題(2019-03正版):

- o Q1. 試解釋直接能隙與間接能隙之間的差異對發光效率之影響為何?  
What physical significance or consequence does the direct or indirect bandgap have (i.e., in terms of the light emission efficiency) ? Explain !
- o Q2. 求出下列不同成分比例之四元化合物半導體之能隙,並指出其為直接能隙材料或間接能隙材料

Determine  $E_g$  for the different compositions of the AlGaInP alloy. Indicate if it is a direct band gap or an indirect band gap.

<u>Composition</u>	<u><math>E_g</math></u>	<u>Direct or Indirect</u>
1. $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$	_____	_____
2. $(\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$	_____	_____

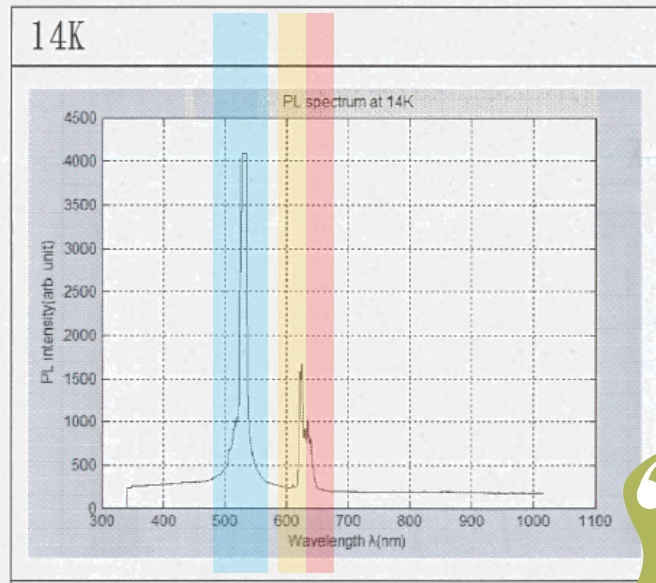
- o Q3. 請描述激子之形成原因以及何種機制會減少激子之形成?  
Please describe the formation of exciton and what external mechanisms may eliminate it.

## 結報(一組一份)

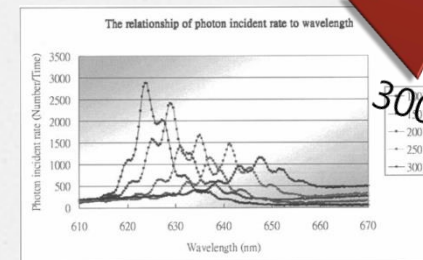
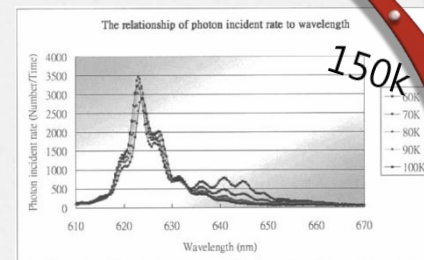
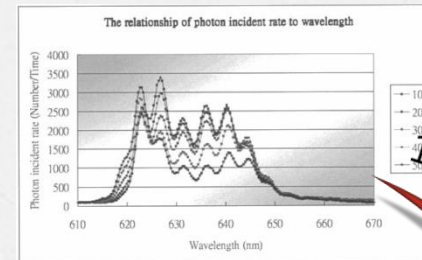
- 分析觀察到的**發光波段**並解釋其**發光機制**
  - 判讀實驗數據
  - Ex: 波段範圍550~570 nm ⇔ 激子輻射
- LED樣品發**光頻譜隨溫度**的變化
  - 繪製圖表(圖一張)
- 估計LED樣品的內部量子效率
  - 討論溫度對內部量子效率之影響(圖一張)



# 光激螢光頻譜分析



光源?  
雜訊?  
激子?  
螢光?



14K

150K

30k

270K

300K



## 結報

- 分析觀察到的發光波段並解釋其發光機制
  - 判讀實驗數據
  - Ex: 波段範圍550~570 nm  $\leftrightarrow$  激子輻射
- LED樣品發光頻譜隨溫度的變化
  - 繪製圖表(圖一張)
- 估計LED樣品的內部量子效率
  - 討論**溫度對內部量子效率**之影響(圖一張)

# 內部量子效率

## Internal Quantum Efficiency (IQE)

載子複合機制包含

- (1) 放光性複合(光子)
- (2) 非放光性複合(熱)

$$\text{IQE} = \frac{\text{放光性複合}}{\text{放光性複合} + \text{非放光性複合}} = \frac{\text{受到激發後可以放光之載子數}}{\text{受到激發後跑到激發能階上之載子數}}$$

$$\text{室溫下估計之IQE大小} = \frac{\text{室溫下量測到之放光性複合光子數}}{\text{低溫下量測到之放光性複合光子數}}$$



**Q<sub>Bonus</sub>**: 假設低溫下量測到之IQE為100% WHY?<sup>24</sup>

## 結報

- LED樣品發光頻譜隨溫度的變化
  - 繪製圖表
  - 分析觀察到的發光波段並解釋其發光機制(最低溫條件)
    - 判讀實驗數據
  - 估計LED樣品的內部量子效率
- 討論溫度對內部量子效率之影響
- 假設低溫下量測到之IQE為100% WHY?



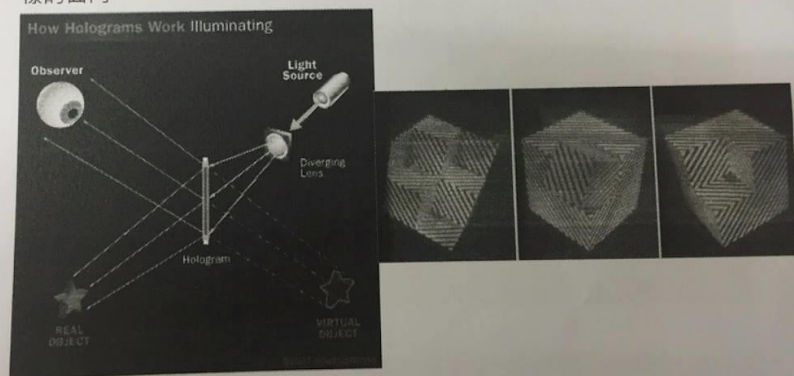


## 提醒

- **實驗地點：電機一館四樓-光電實驗室**
- 做實驗不要遲到
- 預報與結報請遵照格式
  - 一定要寫組別(沒寫或寫錯遇缺不補成績)
  - 預報內容相近無所謂,但不接受用印預報當作實驗前遲到的理由
  - 結報內容相近直接給C(C means Copy給P也不好算...),相近的意思如下面對照:

### 3. 描述一般相片與干涉方法得出之全像片,觀看上之差異:

全像片的影像,其實是以重建光照射紀錄的干涉條紋時,繞射出原來的物體光。我們將紀錄時的參考光也作為重建時的重建光,即使物體離開紀錄時擺放的位置,我們還是可以看到物體清楚的成像在原來的位置。因為全像片完整地紀錄了物體的三維資訊,所以我們看到的物體影像就是三維的影像。真正的三維影像,其最大特點是,左右移動觀看全像片時,將會看到物體不一樣的面向。

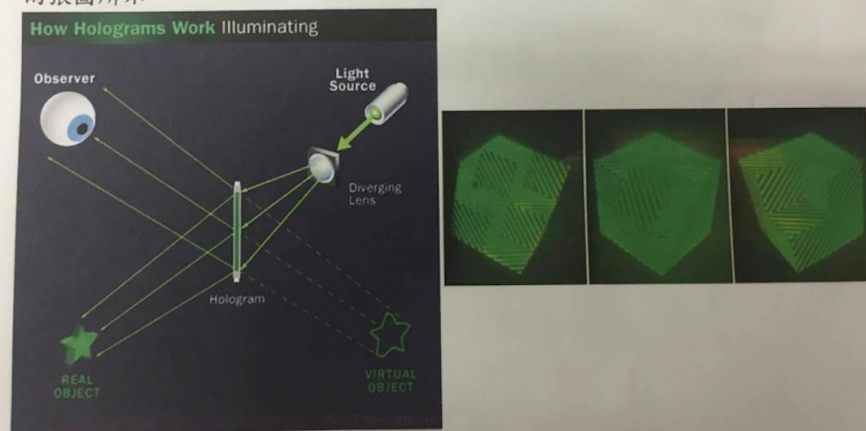


### 4. 影片中,湯川教授所展示的全像術是特效還是真的全相片???

可以考慮提高藥劑濃度來提高成功機率。

### 一般相片與干涉方法得出之全像片,觀看上之差異:

全像片的影像是以重建光照射紀錄的干涉條紋時,繞射出原來的物光。我們將紀錄時的參考光也作為重建時的重建光,即使物體離開紀錄時擺放的位置,我們還是可以看到物體清楚的成像在原來的位置。因為全像片完整地紀錄了物體的三維資訊,所以我們看到的物體影像就是三維的影像。真正的三維影像,其最大特點是左右移動觀看全像片時,將會看到物體不一樣的面向,如下兩張圖所示。





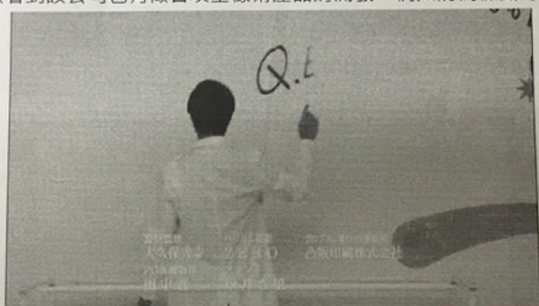
從科學的角度來看：

從這次實驗的過程中，我們認識到了光是小物件的拍攝就得仰賴多項儀器的巧妙校正才能實現，因此一般來說要拍攝等身全像片是不太可能的。然而，就理論上而言，如果具備所需的材料和儀器，這應當是可以實現的，但是做或不做，“to do or not to do”這就要從其他面向去分析了。



從已知的事實來看：

在影片最後有看到負責全像片製作的公司是凸版印刷株式會社。在該公司的網站上可以看到該公司也有做各項全像術產品的開發，例如防偽標籤等。



此外，影片的最後面還有說東京大學物理研究所的極限コヒーレント光科学研究

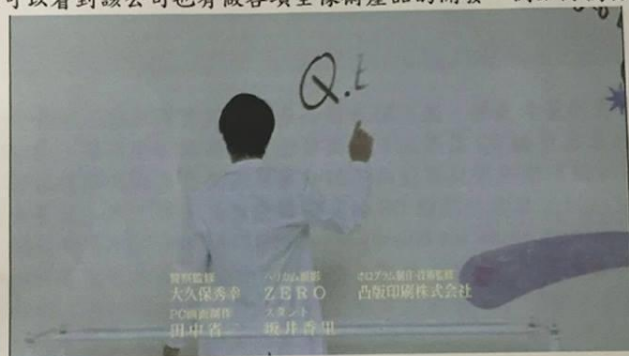
前導影片中，湯川教授所展示的全像術是特效還是真的全相片???

從科學的角度來看：

從這次實驗的過程中，我們認識到了光是小物件的拍攝就得仰賴多項儀器的巧妙校正才能實現，因此一般來說要拍攝等身全像片是不太可能的。然而，就理論上而言，如果具備所需的材料和儀器，這應當是可以實現的，但是做或不做，“to do or not to do”這就要從其他面向去分析了。

從已知的事實來看：

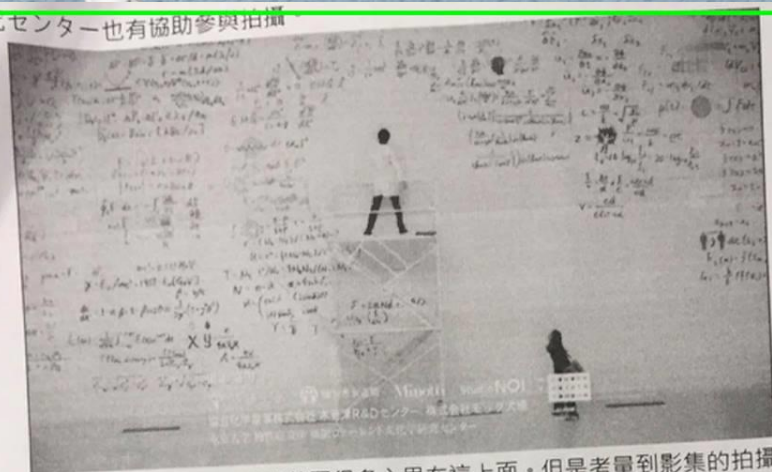
在影片最後有看到負責全像片製作的公司是凸版印刷株式會社。在該公司的網站上可以看到該公司也有做各項全像術產品的開發，例如防偽標籤等。



此外，影片的最後面還有說東京大學物理研究所的極限コヒーレント光科学研究センター也有協助參與拍攝。



究センター也有協助參與拍攝

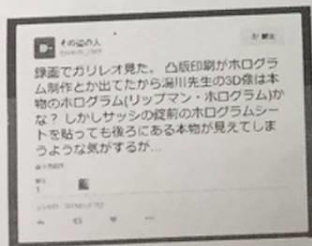


可以看得出來劇組確實花了很多心思在這上面。但是考量到影集的拍攝成本以及報酬率，我認為湯川學教授的等身全像圖是靠CG後製出來的，而上述那些合作對象應該只是負責提供專業知識，為影集提供科學理論的依據。

不過我覺得犯人作案用的全像片應該是有真的做出來，畢竟那成本相對小很多，應該也可以給劇組留作紀念。

從社群媒體的角度來看：

如果劇組真得大費周章、大手筆地將演員的等身全像片做出來，網路上應該可以搜尋的到相關的宣傳新聞。反之，我只有找到一些影迷的臆測，例如：



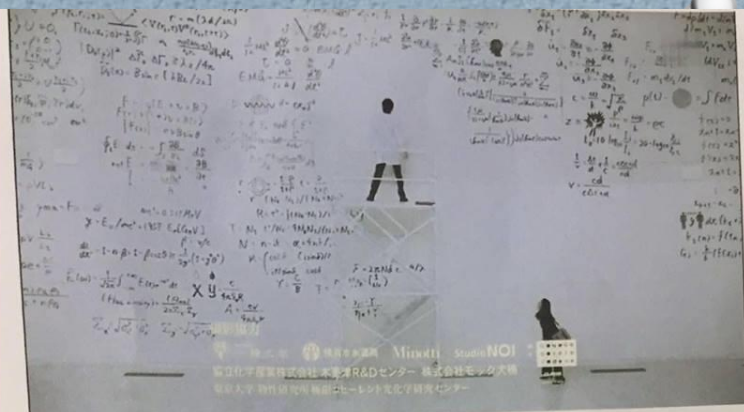
この実験費用はいつも警察へ請求されているのですが、実はコレ、裏設定で想定費用が計算されているのです。

その中で想定費用が最も高額だったのが第6話「密着 -とじる-」の等身大ホログラム実験。

想定金額はなんと**150万円**。

実際に本物のホログラムを使用する場合、上記の費用に加えて、海外で半年の製作期間がかかるという事で、泣く泣く断念。ドラマではCG合成したホログラムを使用したそうです。

因此，我認為該劇組應當是沒有做出等身全像圖才對，不然為了符合經濟效益，他們勢必得大勢宣傳才能回收該集的拍攝成本。



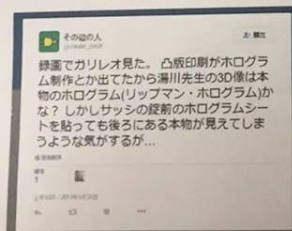
可以看得出來劇組確實花了很多心思在這上面。但是考量到影集的拍攝成本以及報酬率，湯川學教授的等身全像圖很可能是靠CG後製出來的，而上述那些合作對象應該只是負責提供專業知識，為影集提供科學理論的依據。

若是預算高一些，亦有機會使用較新的3D投影技術來達到和全像片相近的效果，例如前幾年的Michael Jackson: The Immortal World Tour以及近日才再度登台的初音演唱會皆是使用相似的技術。即便3D投影技術沒有辦法達到和全像片一樣的三維影像效果，其在技術上相對容易達成，同時若是加上後製團隊的調教，觀眾視覺上並不會看出這樣的瑕疵。

但最後犯人作案用的全像片應該是有真的做出來，畢竟成本相對小很多，亦可以給劇組留作紀念。

從社群媒體的角度來看：

如果劇組真得大費周章、大手筆地將演員的等身全像片做出來，網路上應該可以搜尋的到相關的宣傳新聞。反之，我只有找到一些影迷的臆測，例如：



この実験費用はいつも警察へ請求されているのですが、実はコレ、裏設定で想定費用が計算されているのです。

その中で想定費用が最も高額だったのが第6話「密着 -とじる-」の等身大ホログラム実験。

想定金額はなんと**150万円**。

実際に本物のホログラムを使用する場合、上記の費用に加えて、海外で半年の製作期間がかかるという事で、泣く泣く断念。ドラマではCG合成したホログラムを使用したそうです。

因此，我認為該劇組應當是沒有做出等身全像圖才對，不然為了符合經濟效益，他們勢必得大勢宣傳才能回收該集的拍攝成本。

**END!!**

