



成功大學

光電科技導論(通識中心課程)

# Chapter 4

照亮未來

---發光二極體及固態照明



光電系

# 大綱

- 發光二極體原理及製作簡介

- 發光二極體(LED)發展趨勢

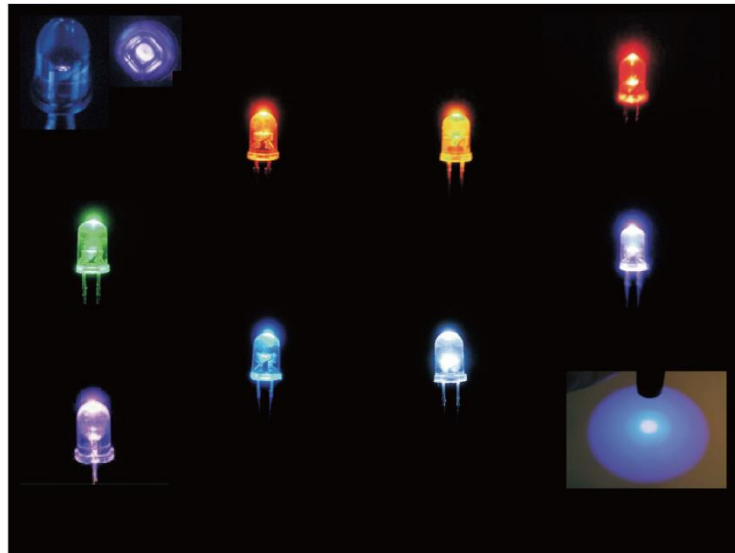
白光LED:如何產生白光

高亮度LED:如何提升亮度及散熱問題

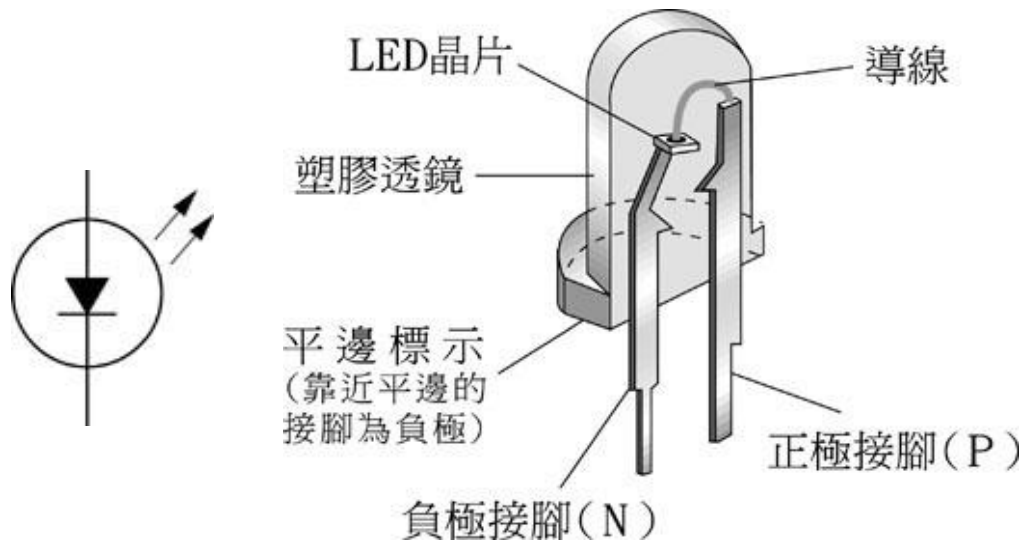
- 照明光源簡介



# 發光二極體 (Light Emitting Diode, LED)



(a)



(b)

圖(a)所示為一般常見作為標示用的發光二極體和電路符號。圖(b)顯示其內部的結構，包裹LED晶片的塑膠透鏡除了保護作用之外，也可增加光量的輸出。

# LED可應用領域

## 交通與車用（Traffic & Automotive）：

交通號誌、道路指示、號誌燈、腳燈、煞車燈、方向燈、汽車頭燈、車內閱讀燈、儀表板

## 消費性產品（Consumer Product）：

Mobile、LED NB、LED TV、數位相機、音響、家電產品、手電筒、玩具、背光模組

## 照明（Illumination）：

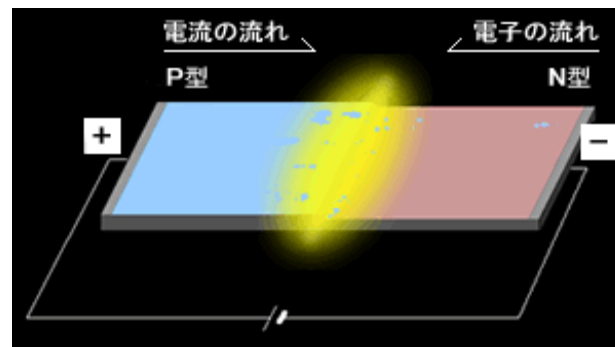
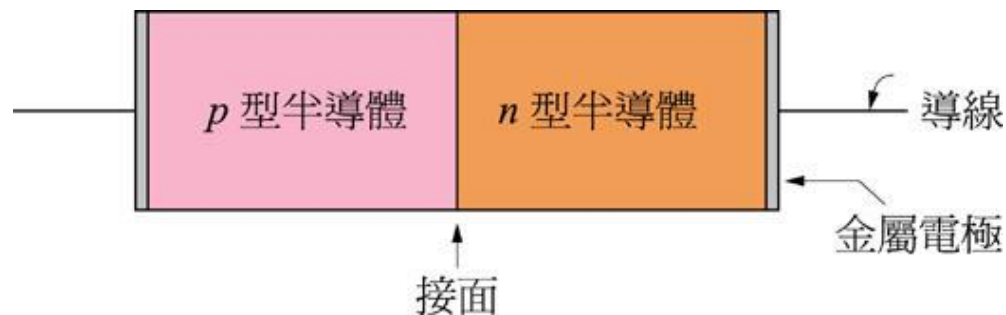
一般照明、輔助照明、情境照明、建築照明、商用照明、路燈照明、戶外大型看板、景觀照明

## 特殊應用（Others）：

植物燈、牙醫燈、美容燈、水族燈、冷凍燈、LED衣服、礦工頭燈



# LED發光機制：p-n接面二極體的結構

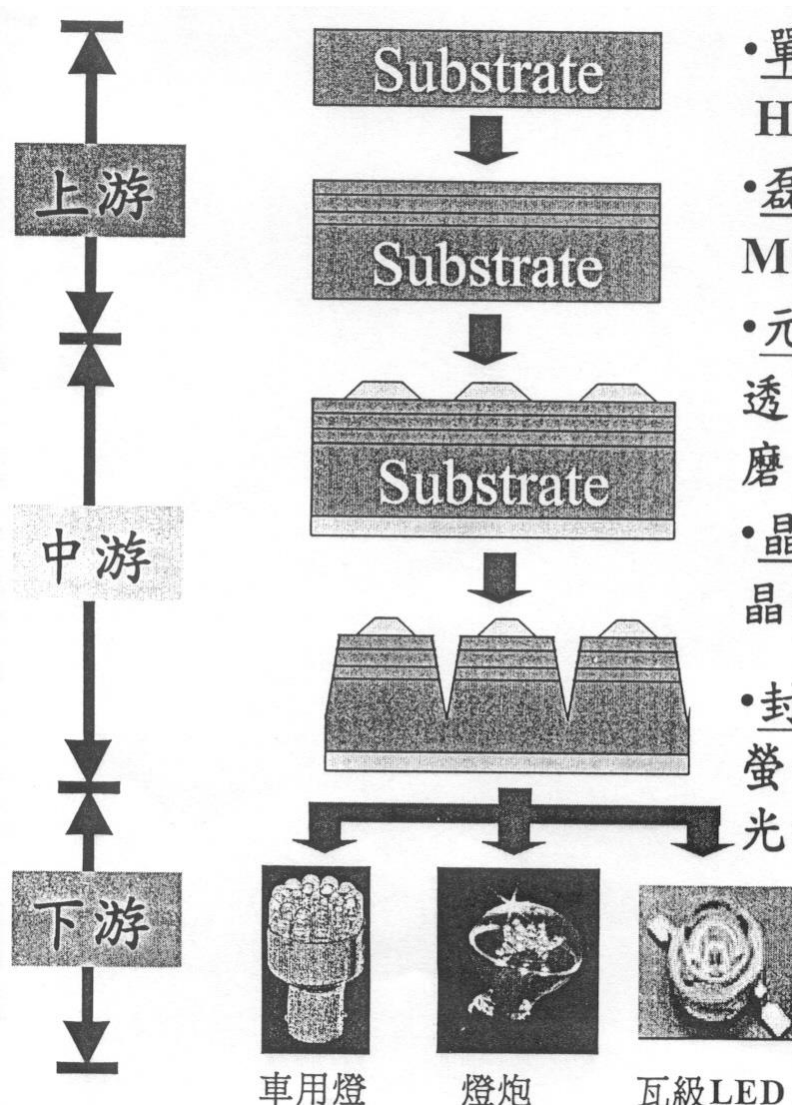


- 將一塊半導體晶體的一部分摻入雜質原子使成為n型半導體，其餘部分為p型半導體，就成為p-n接面二極體（p-n junction diode），簡稱二極體（diode）。
- 發光二極體順接時(P型接正極，N型接負極)，電子與電洞在接面處結合發光。

# 商品化LED材料及發光波長

材料/基板	磊晶製程	波長	光色
GaP/GaP	LPE	565~700	紅、黃、綠
GaAsP/GaP	VPE	630~650	紅、橙、黃
AlGaAs/GaAs	LPE	660	紅
ZnCdSe	MBE	565	綠
InGaAlP/GaAs InGaAlP/GaP InGaAlP/sapphire InGaAlP/Silicon	MOCVD	570~645	黃綠~紅
InGaN/sapphire InGaN/Silicon InGaN/SiC	MOCVD	430~525	藍、藍綠、綠、白(藍光+螢光粉)

# LED 製作流程



• 單晶基板製作: 生長

HVPE生長、Laser lift-off、研磨、拋光

• 磊晶生長:

MOVPE、MBE

• 元件製作:

透明導電膜、金屬電極、光罩、蝕刻、磨薄

• 晶粒製作:

晶粒切割(畫線、崩裂或雷射切割)

• 封裝製作: 晶粒黏著打線、覆晶黏著、螢光粉塗佈、樹脂選用、高散熱設計、光學設計

• 測試: 光強度、效率、色溫、演色性

• 成品: Lamp、SMD、點矩陣型、集束型、燈板模組、

# 大綱

- 發光二極體原理及製作簡介

- 發光二極體(LED)發展趨勢

  - 白光LED:如何產生白光

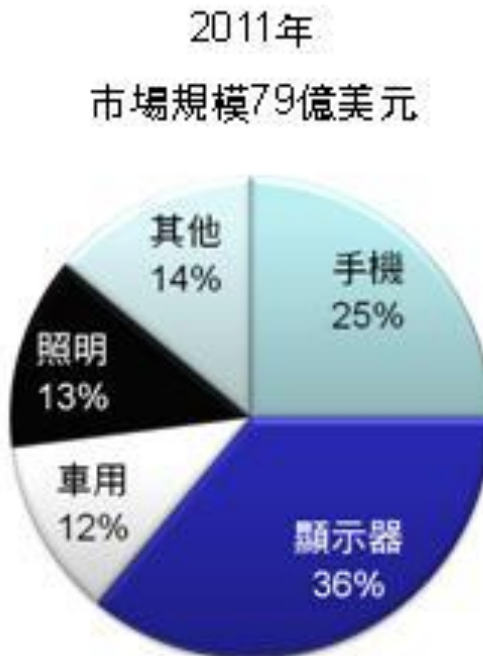
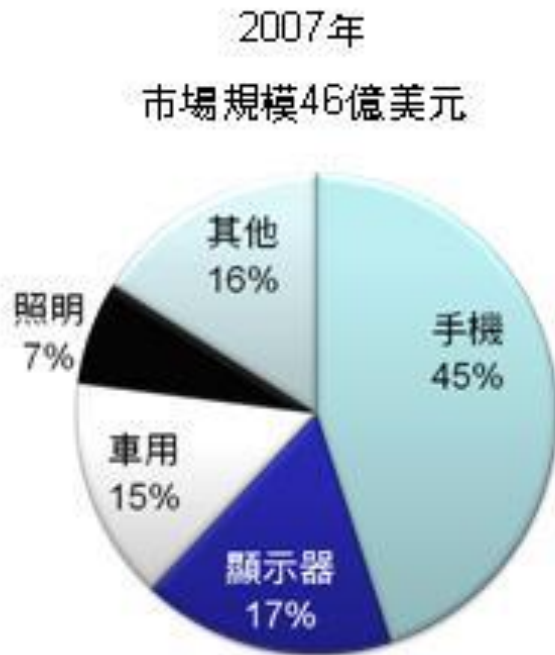
  - 高亮度LED:如何提升亮度及散熱問題

- 照明光源簡介



# 發光二極體發展趨勢

- 白光LED
- 高亮度LED

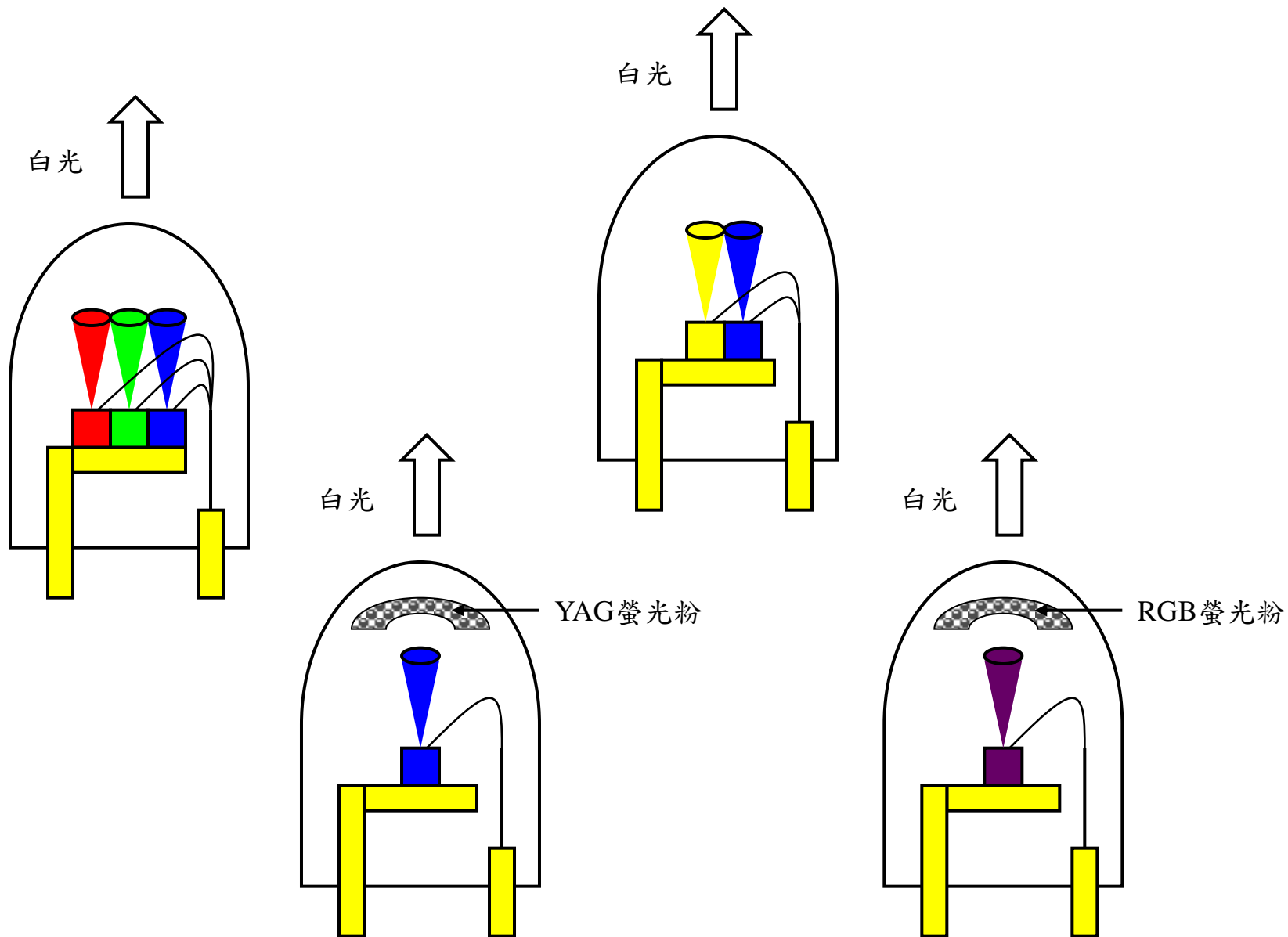


註：顯示器包括LED看板及NB、Monitor與TV等顯示器所用LED背光。

資料來源：DIGITIMES，2009/1

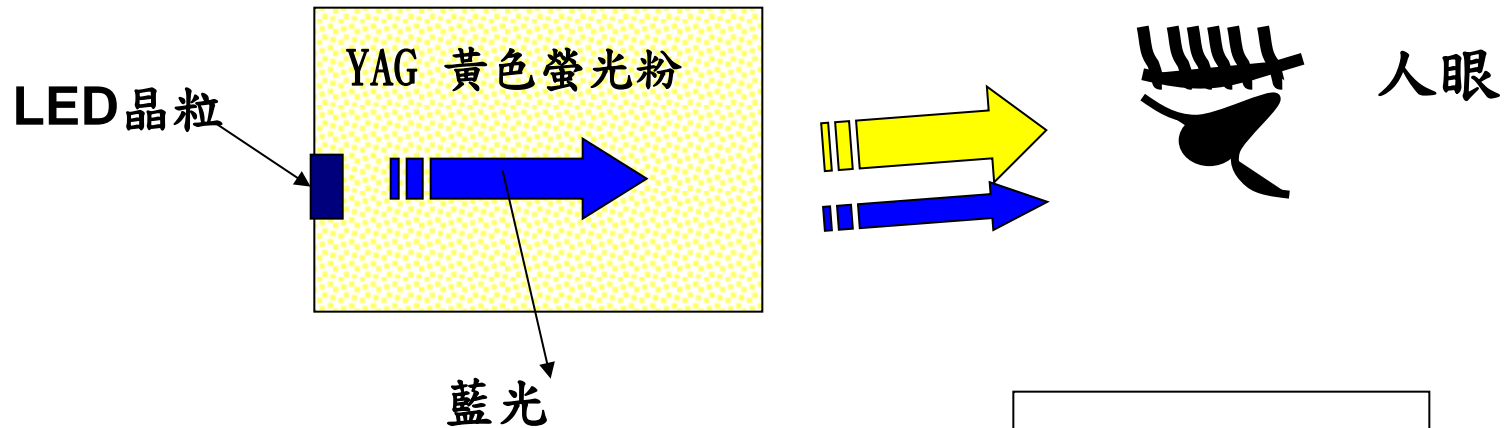
- LED顯示器背光應用及LED照明將是高亮度LED最具成長性項目

# 白光LED原理

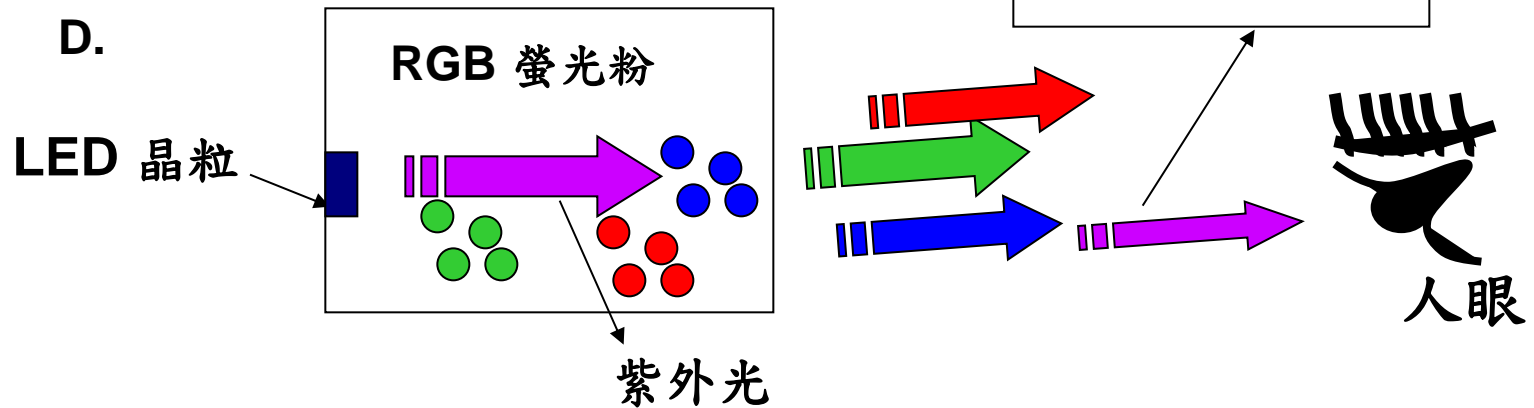


# 白光LED原理

C.



D.



# 白光LED比較表

種類	優點	缺點
R+G+B LED	發光效率較高 適用於照明與顯示器	三顆晶粒成本高且壽命不同 電子迴路設計複雜
Y+B LED	發光效率較低 適用於照明與顯示器	二顆晶粒成本高且壽命不同 電子迴路設計複雜
B LED+YAG	成本較低 電子迴路設計簡單	發光效率尚低
UV LED+螢光粉	螢光粉發光效率最高 電子迴路設計簡單	成本高 尚未普及

資料來源：光電科技工業協進會(PIDA)。

卡專利才是重點…….

# 全球大廠藍、白光LED發展概況

廠商	技術與產品發展概況
日亞	主要競爭優勢是擁有 InGaN 藍光及綠光 LED 專利；2001 年白光 LED 月產能 9900 萬顆。原以手機為重心，成長趨緩、獲利下滑，近期注重白光高階，以專利威嚇競爭對手，低階產品由光磊代工。
Lumileds	主力產品為 InGaAlP 四元高亮度 LED；2001 年白光 LED 月產量 300 萬顆。近期股東 Philips 購入 Agilent 之 47% 股份權積切入大尺寸 LED 背光源，近期對晶電興訟。
Cree	主力產品為藍綠光高亮度 LED 材料、組件；首先發展 SiC 基板。近期以手機為重心，與國內磊晶廠直接競爭。
豐田合成	主力產品專注在 InGaN 的生產，但 InGaN 價格下滑影響獲利，暫緩擴產計畫，將擴大委外代工(元砷、華上)；白光與東芝合作。
歐司朗	歐洲最大高亮度 LED 廠商；市場以汽車應用為主，將白光封裝授權給台韓廠商，近來與 Avago 交互授權，切入 LED 背光模組。

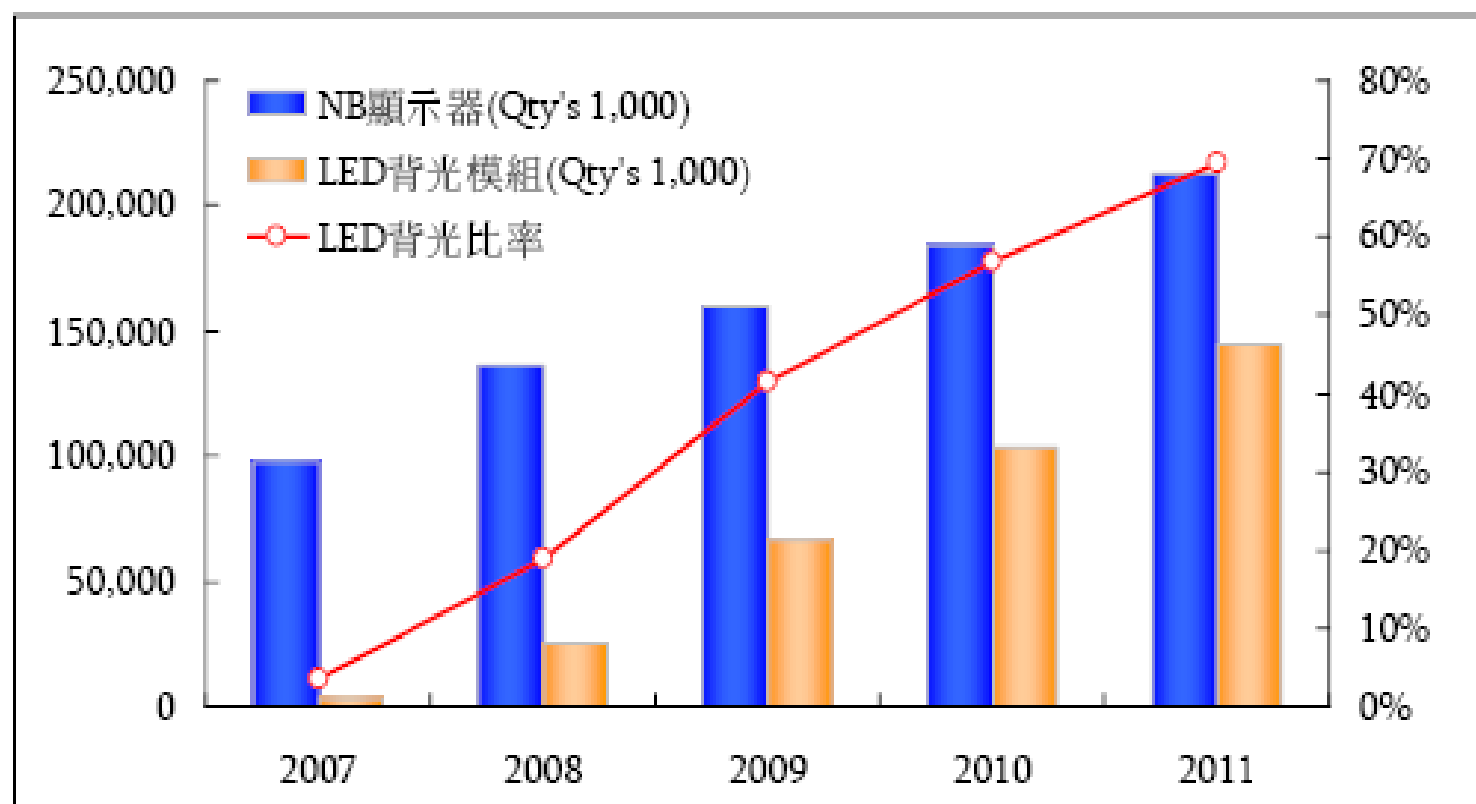


# NB背光源



- LED應用在NB背光模組上，有顯著產品價值
- LED背光模組技術與成本問題，在2008年均有顯著改善
  - 台商推出低成本技術，配合白光LED價格下滑，使得LED背光模組與CCFL背光模組價差僅有20%。
  - 估計2011年LED與冷陰極管(CCFL)背光模組價格可望相同(LED價格年降幅30~50%，CCFL價格年降幅8~10%)
- 2008年市場滲透率可達15~18%

- 2009年LED背光市場滲透率達41%
  - 台商低成本方案普及率是市場成長關鍵
- 日系廠商主導市場，「專利」是我國發展瓶頸
- 未來朝向更亮及RGB白光產品發展



# 大綱

- 發光二極體原理及製作簡介

- 發光二極體(LED)發展趨勢

  - 白光LED:如何產生白光

  - 高亮度LED:如何提升亮度及散熱問題

- 照明光源簡介



根據工研院調查顯示，2012年全球照明市場規模將達到1178億美元，其中LED照明燈具市場占52.9億美元，未來10年內LED在整體照明市場的滲透率更將達到80%，LED應用將為人類照明歷史改寫新頁。

# Quantum Efficiency

## (量子發光效率問題)

### 1. 更好發光 (P,N電極) 半導體材料及結構

Internal Quantum Efficiency (電子 + 電洞 = 產生光子)

Red Light (AlInGaP): 100%

Green Light (AlInGaP): 40-50%

Blue Light (AlInGaP): 60-80%

### 2. Light Extraction Efficiency (光取出效率)

取光效率是指LED內部產生光子，在經過元件本身吸收、折射、反射後  
實際上在元件外部可量測到光子數目

External Quantum Efficiency

= Internal Quantum Efficiency  $\times$  Light Extraction Efficiency

Commercial : <10% (大約5%)

Best (visible): 55%

# 1. 雙異質結構 (Double heterostructure)

- 目前所有的 LED 結構都使用雙異質結構，其結構基本上包含主動區和兩層的侷限層。使中間發光層的能隙，小於兩旁束縛層的能隙高度。使得電子及電洞容易受侷限而復合發光。

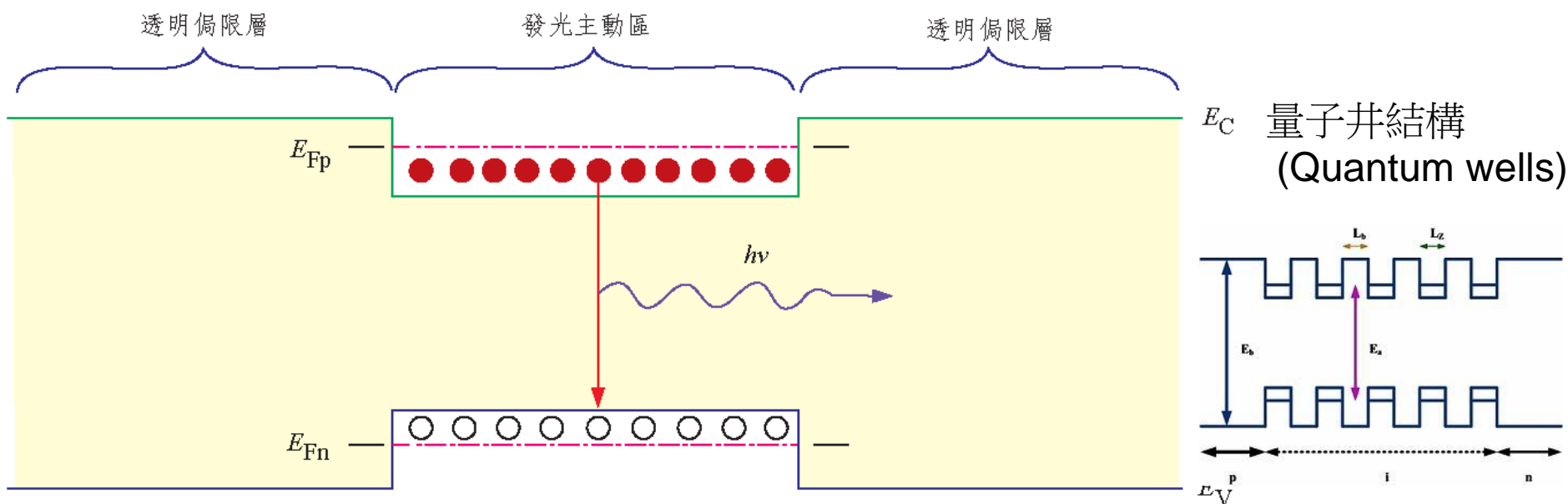


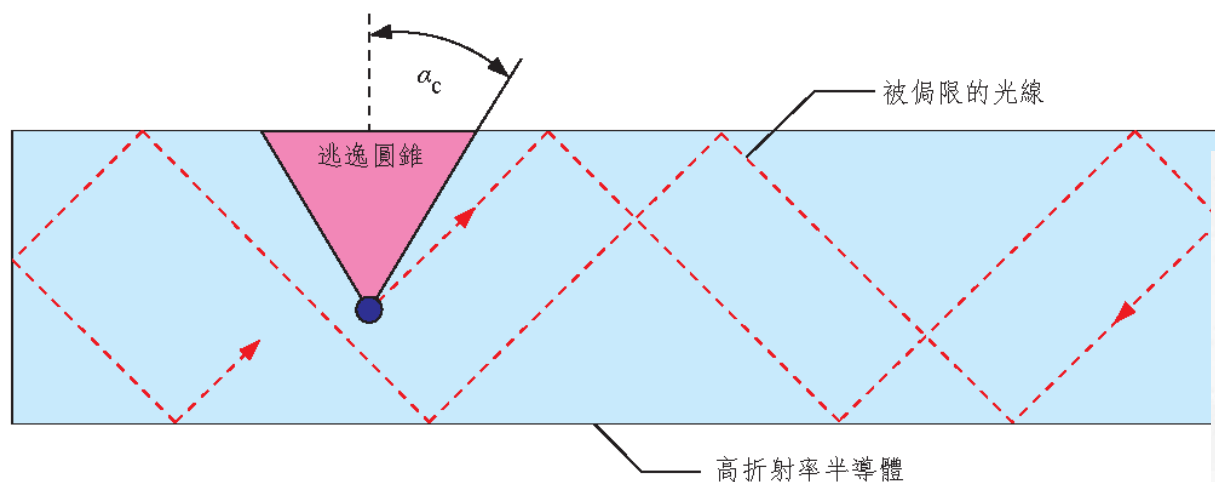
圖 4.14 雙異質結構光傳輸侷限區域。



# 提升光取出效率結構設計

## 2-1 改變 LED 晶粒的外形

- 對於高效能的 LED，在結構中除了主動層以外其他層的吸收外，半導體材料的高折射係數，會導致 LED 產生受限的光 (trapped light)。



Snell's law

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Total Reflection

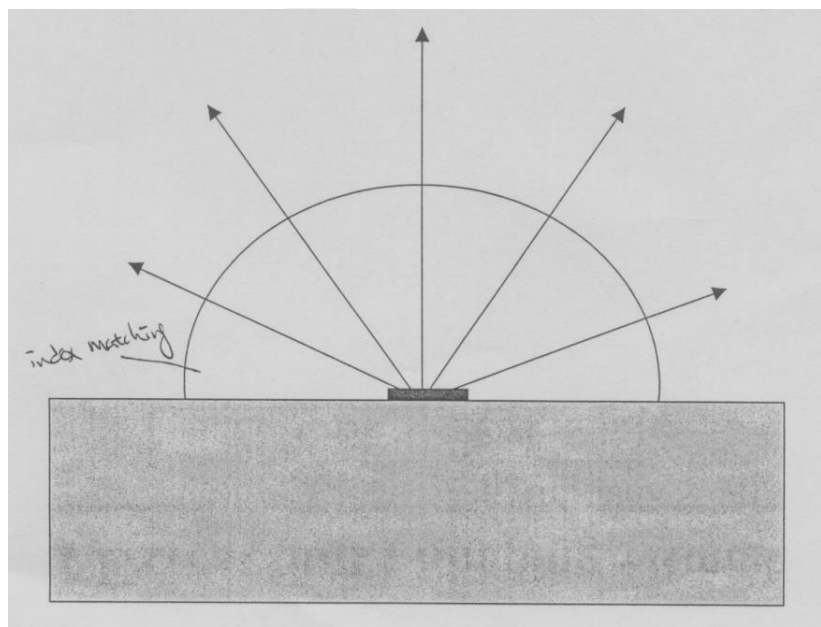
$$\theta_c = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1}$$

Example :  $n_1=3, n_2=1, \theta_c = 19.47^\circ$

圖 4.18 在長方體形半導體中無法逃逸的被侷限光之光線路徑及逃逸圓錐之意示圖。

1960 年代。當時提出最理想的 LED 外形為圓球形，  
另外也有人提出圓錐狀的 LED。

(a)



(b)

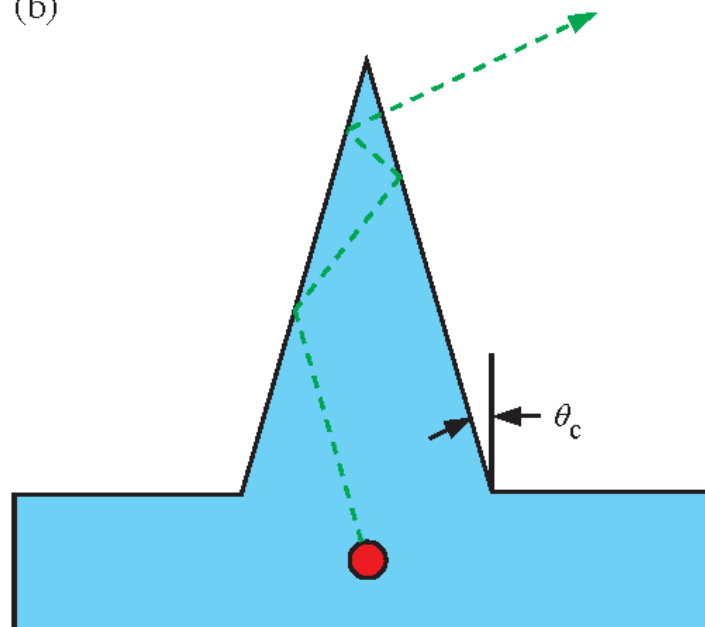


圖 4.19 不同幾何形狀的理想萃取效率 LED 圖說。(a) 中央點區域發光球面 LED。(b) 圓錐形 LED

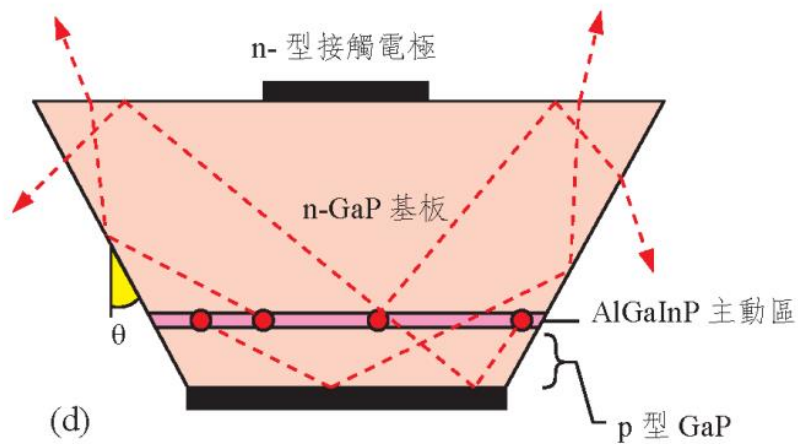
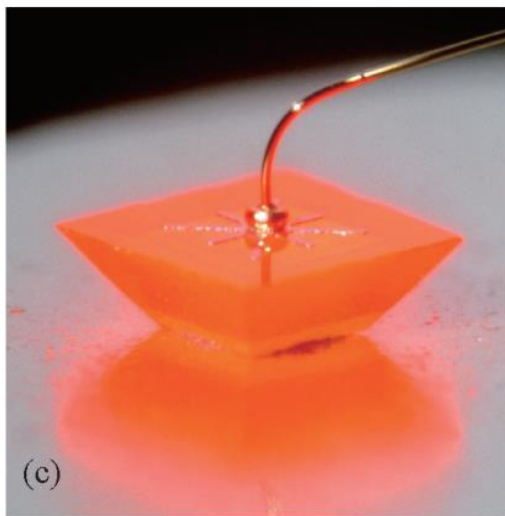
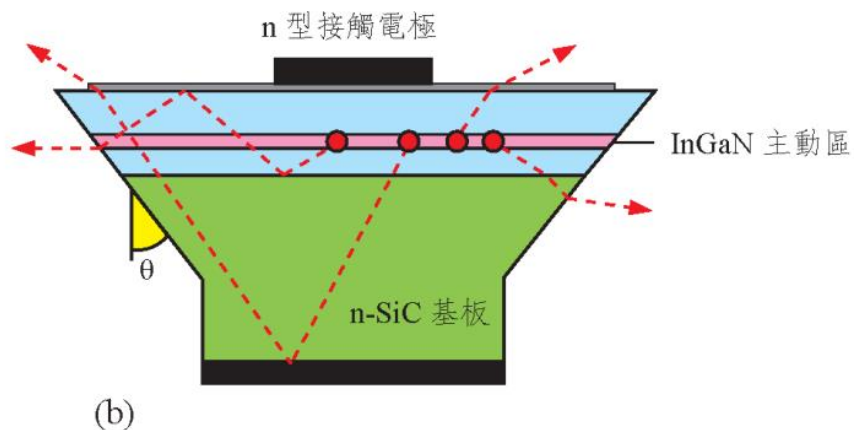
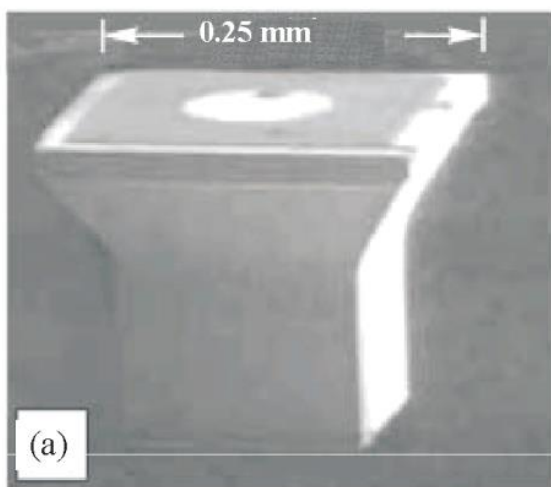


圖 4.21 不同晶粒形狀的 LED(a) 藍光 InGaN/SiC LED，商業名稱為 Aton，和其 (b) 增強光萃取之光線追跡示意圖。(c) 截頭倒金字塔形 (TIP) AlGaInP/GaP LED，和其 (d) 增強光萃取之光線示意圖。(Osram, 2001; Krames 等人, 1999)

## 2.2 半導體表面粗化 (Textured)

將元件的內部及外部的幾何形狀粗化，破壞光線在元件內部的全反射，提升元件的出光效率。

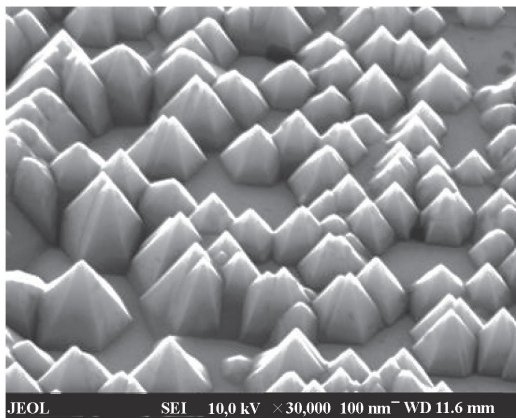
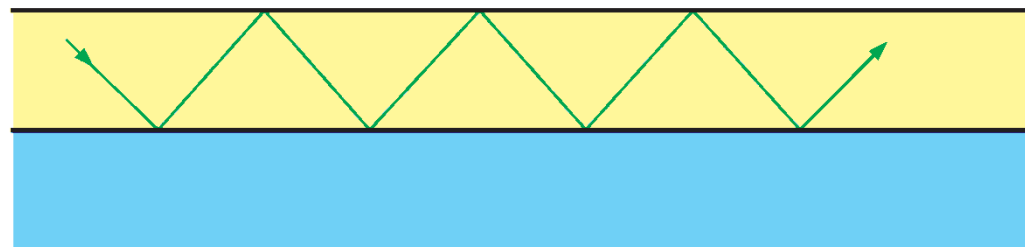
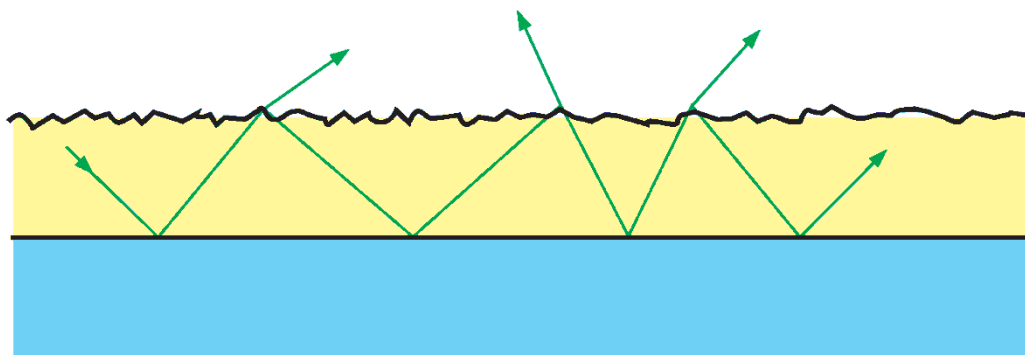


圖 4.25 GaN 在 KOH 中以光電化學蝕刻 30 分鐘後之表面圖。



(a) 平滑表面（無粗糙化的表面）



(b) 粗糙化的表面

圖 4.23 LED 結構中的波導結構示意圖。



## 2.3 圖形化藍寶石基板（patterned sapphire substrate, PSS）

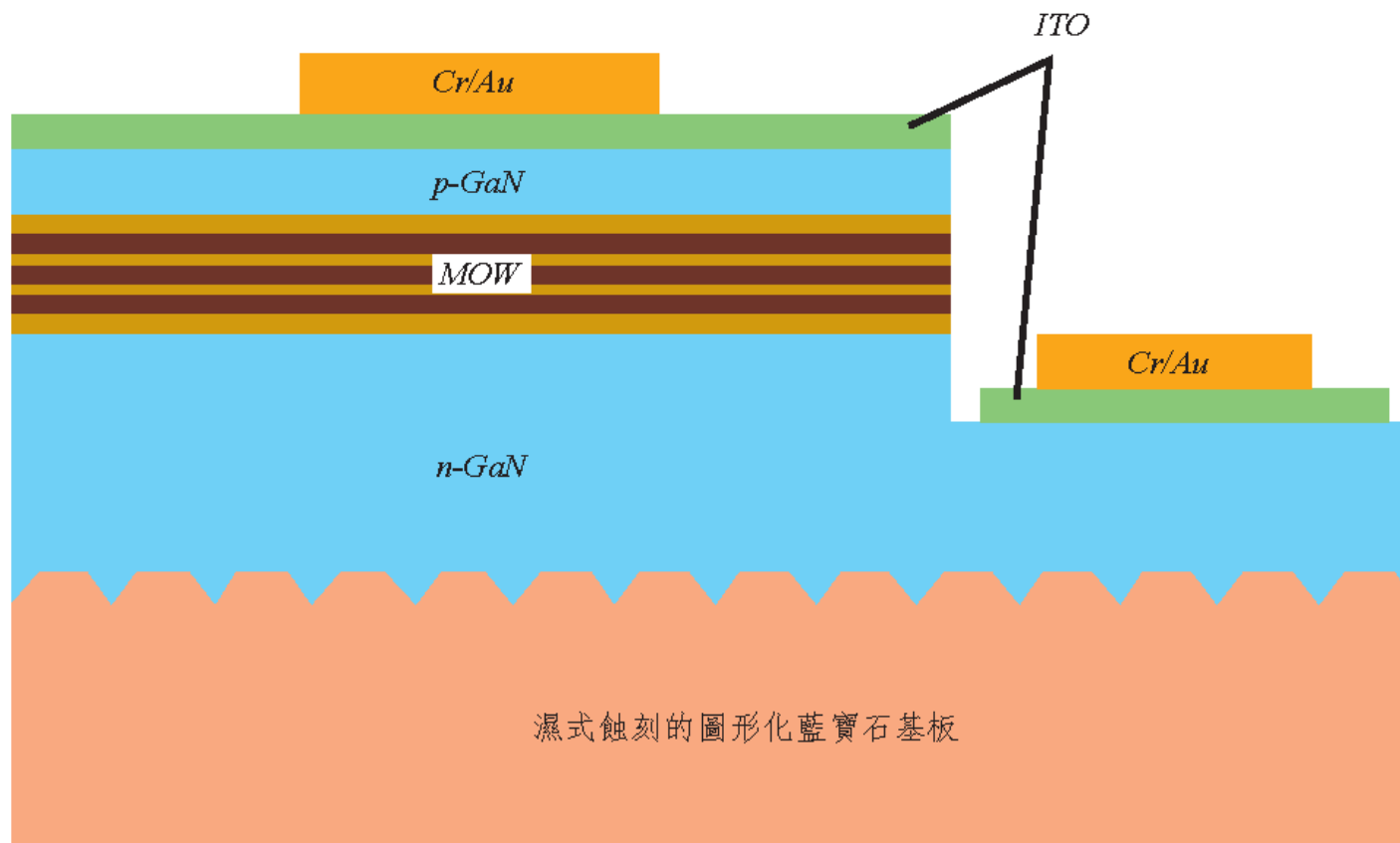


圖 4.51 濕式蝕刻圖形化藍寶石基板的元件結構剖面示意圖。

## 2.4 透明基板的技術(晶片貼合)

發光二極體晶粒先在高溫環境下施加壓力，並將透明的GaP基板粘貼上去後，再將會吸光的GaAs基板除去，如此便可提高二至三倍的光萃取率。

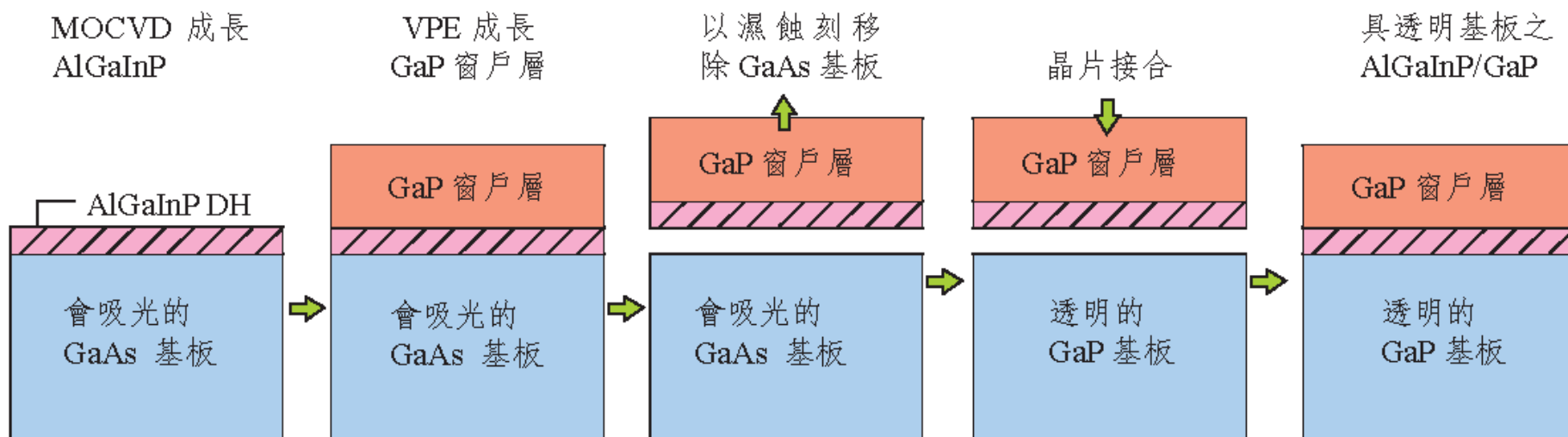
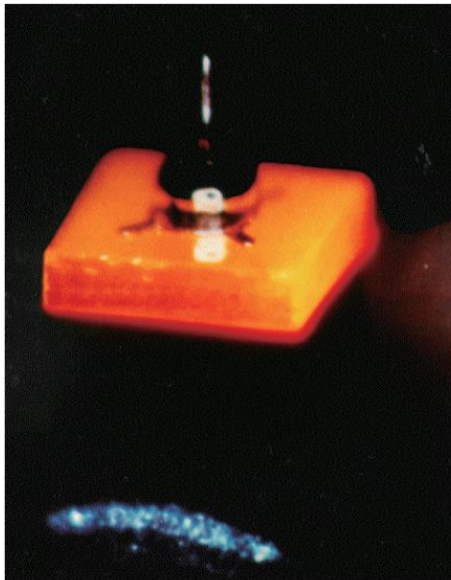


圖 4.15 透明基板 AlGaInP/GaP LED 的晶片接合製程示意圖 (Kish 等人, 1994)

- 圖是發光波長範圍相同的 AlGaInP/GaP 透明基板 LED 和 AlGaInP/GaAs 吸收基板 LED 的照片，由圖中可明顯看出吸收基板 LED 的基板部分因為吸收主動區發出的光而呈現較暗的顏色；而透明基板 LED 則可讓主動區發出的光穿透基板射出。

(a) AS LED



(b) TS LED

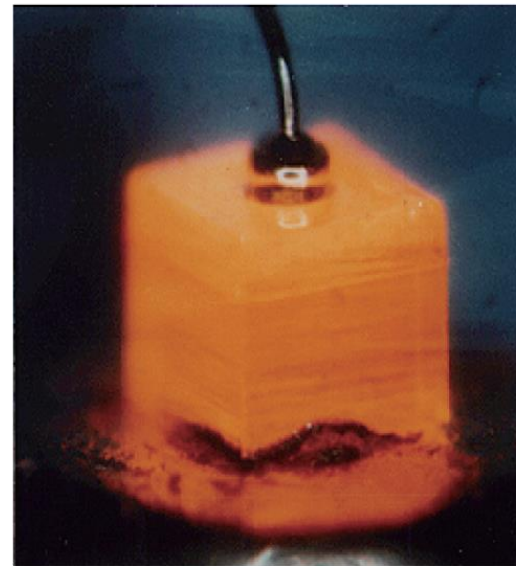


圖 4.17 (a) 包含 GaP window layer 與 GaAs 吸收基板之 AlGaInP LED。(b) 包含 GaP window layer 與 GaP 透明基板 (TS) 之 AlGaInP LED，其結構是以晶片接合方式形成。(Kish 和 Fletcher, 1997)

## ■ 2.5 金屬反射層

阻擋發光被基板再吸收及高反射率光。

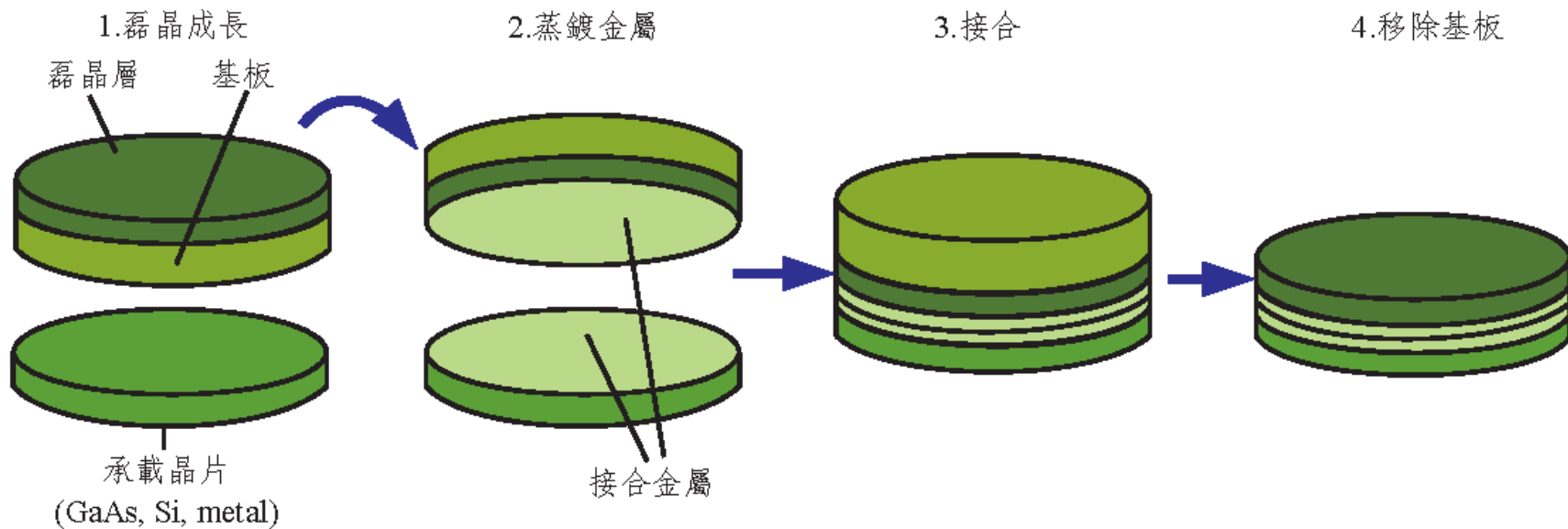
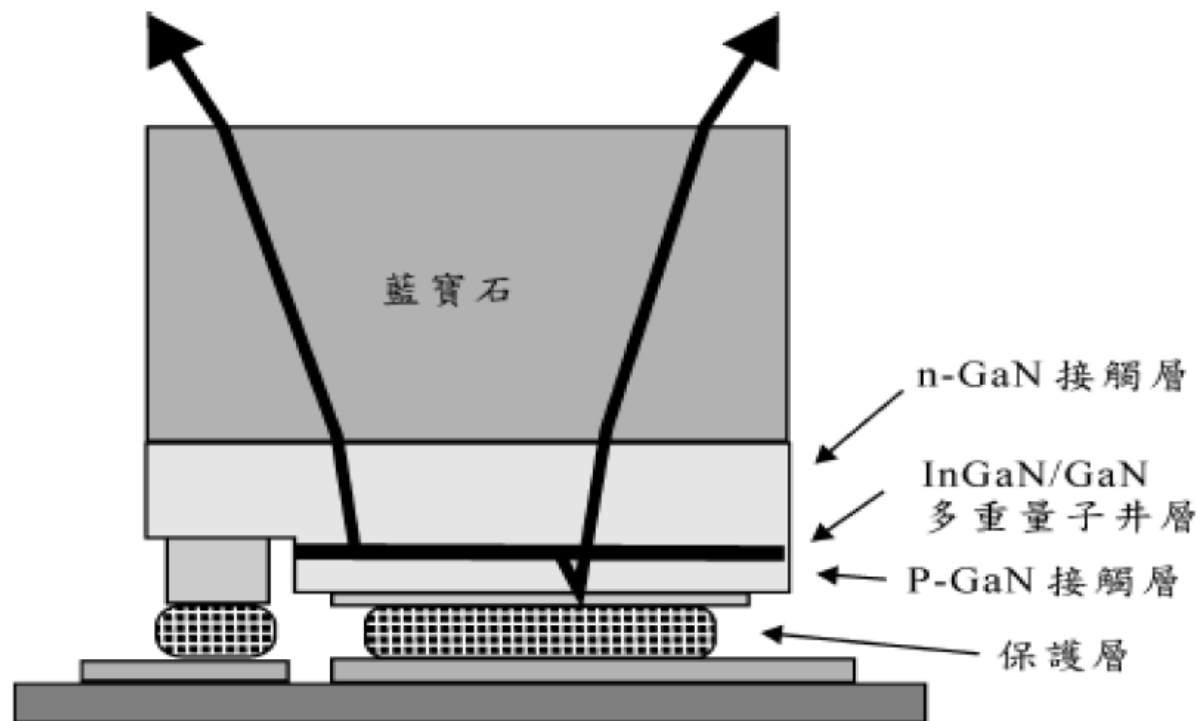


圖 4.40 利用金屬—金屬黏合的紅光薄膜 LED 製程技術之流程示意圖。

## 2.6 覆晶封裝(Flip Chip) for 透明基板

將傳統的元件反置，並在P型電極上方製作反射率較高的反射層，藉以將原先從元件上方發出的光線從元件其他的發光角度導出，再由藍寶石基板端緣取光，這樣的方法因為降低了在電極側的光損耗，可得到接近於傳統封裝方式兩倍左右的光量輸出。



# 大綱

- 發光二極體原理及製作簡介

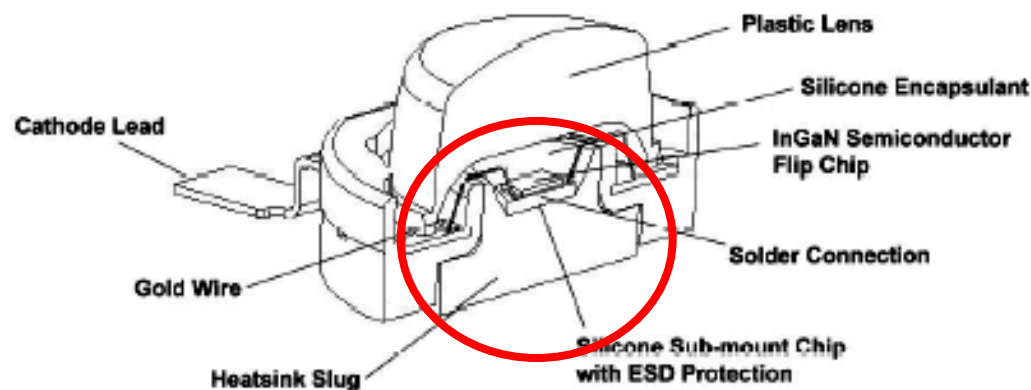
- 發光二極體(LED)發展趨勢

白光LED:如何產生白光

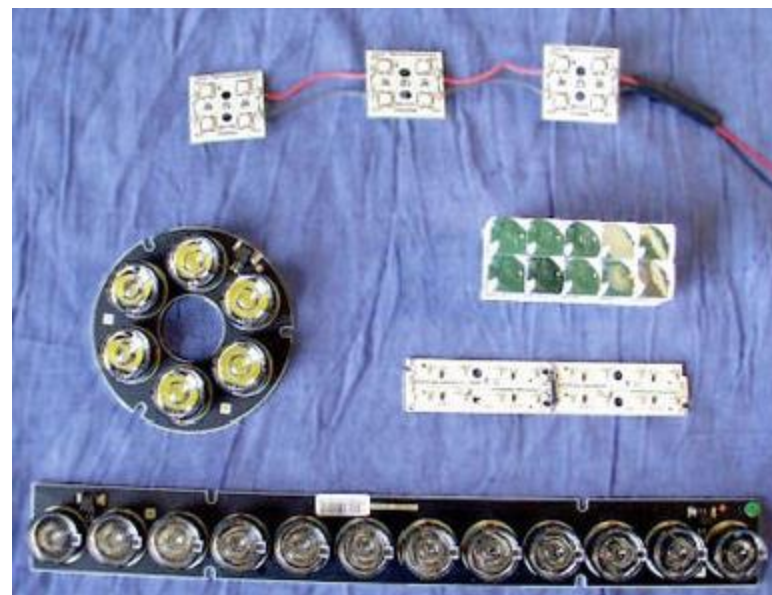
高亮度LED:如何提升亮度及散熱問題

- 照明光源簡介

# LED封裝與散熱設計考量

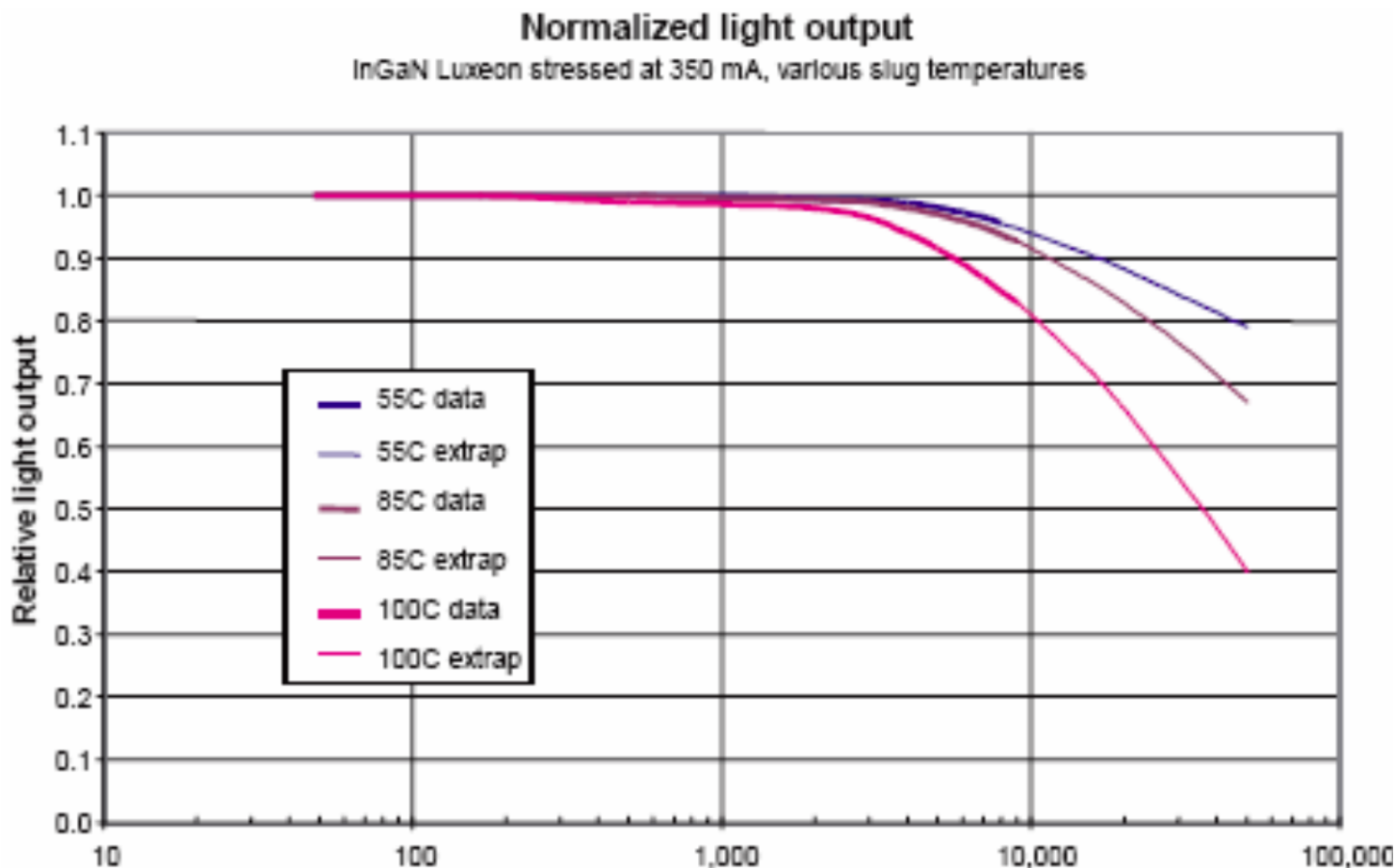


Chip後方之散熱塊



與鋁基板合併設計之LED燈組

# 長時間高溫操作對於LED光衰的影響

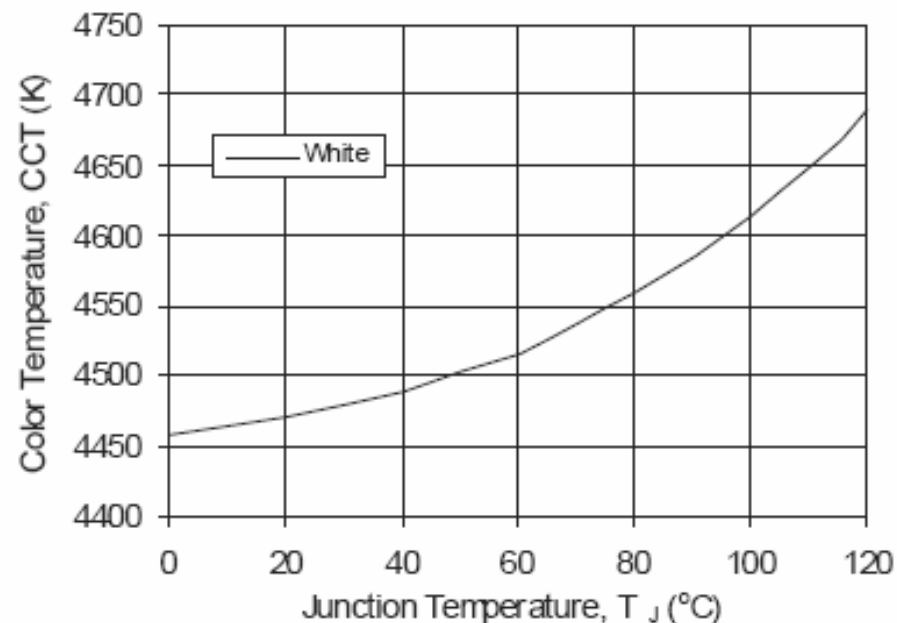


小時

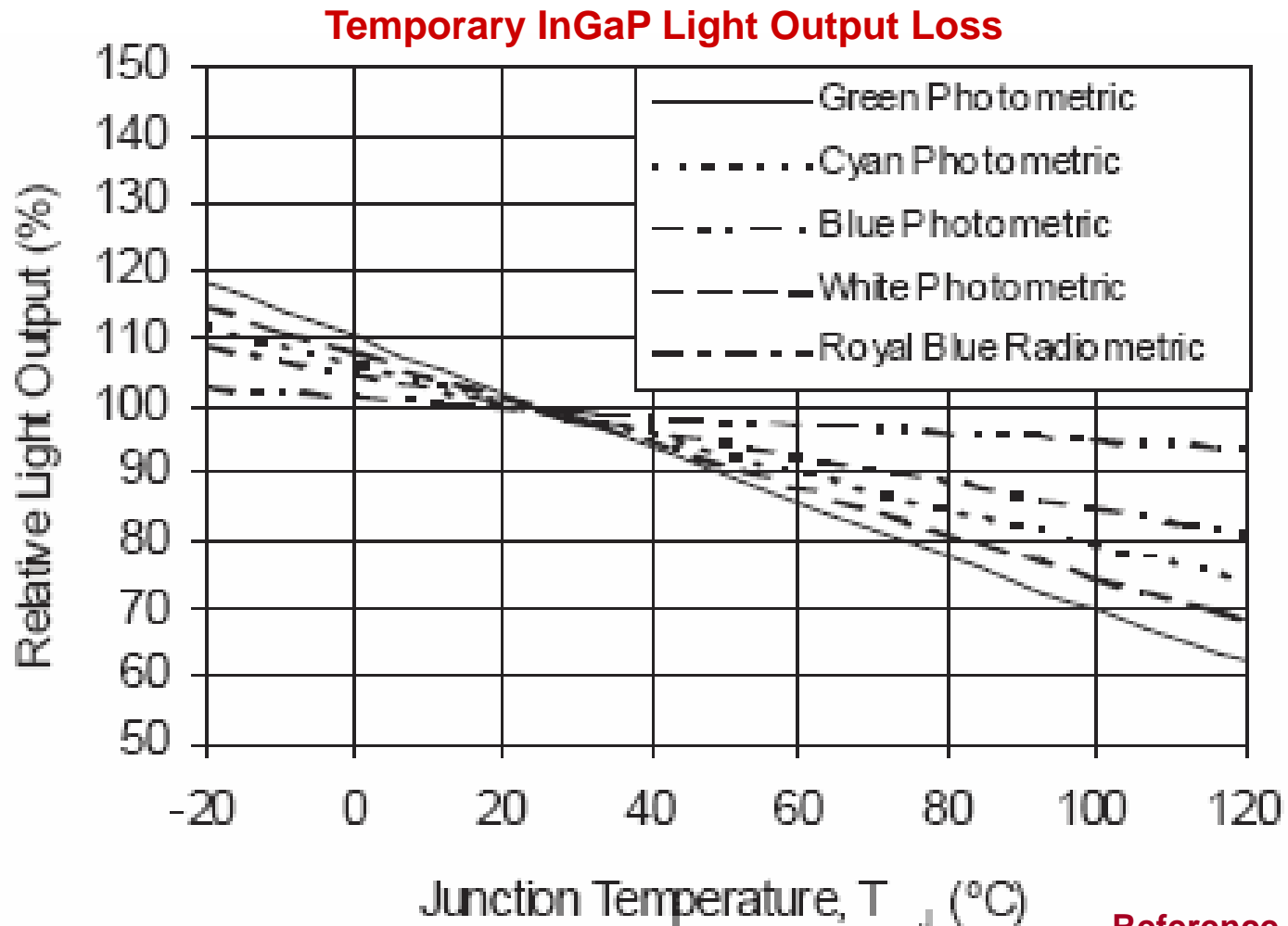


# 溫度改變所產生的波長變化

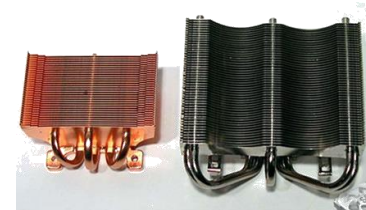
Color	$\frac{\Delta\lambda_{\text{Dominant}}}{\Delta T_J}$	$\frac{\Delta\lambda_{\text{Peak}}}{\Delta T_J}$	Units
Red	+0.03	+0.13	nm/°C
Red-Orange	+0.06	+0.13	nm/°C
Amber	+0.09	+0.13	nm/°C
Green	+0.04	+0.05	nm/°C
Cyan	+0.04	+0.05	nm/°C
Blue	+0.04	+0.05	nm/°C
Royal Blue	+0.04	+0.05	nm/°C



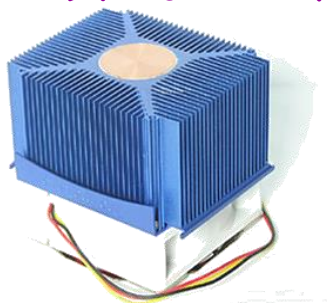
# 發光強度與操作溫度間的變化



# 電子散熱技術之導入



- 以附加散熱鰭片提高與外界空氣之對流傳熱效應
- 以熱管傳熱方式作為高導熱性材料，傳熱至鰭片端
- 在鰭片端周圍，外加風扇，提升對流熱傳係數而達較高散熱量之要求
- 透過液冷系統將廢熱藉由液體將廢熱傳遞至散熱器，續透過對流與外界進行熱交換



# 大綱

- 發光二極體原理及製作簡介

- 發光二極體(LED)發展趨勢

  - 白光LED:如何產生白光

  - 高亮度LED:如何提升亮度及散熱問題

- 照明光源簡介

# 照明光源之演進

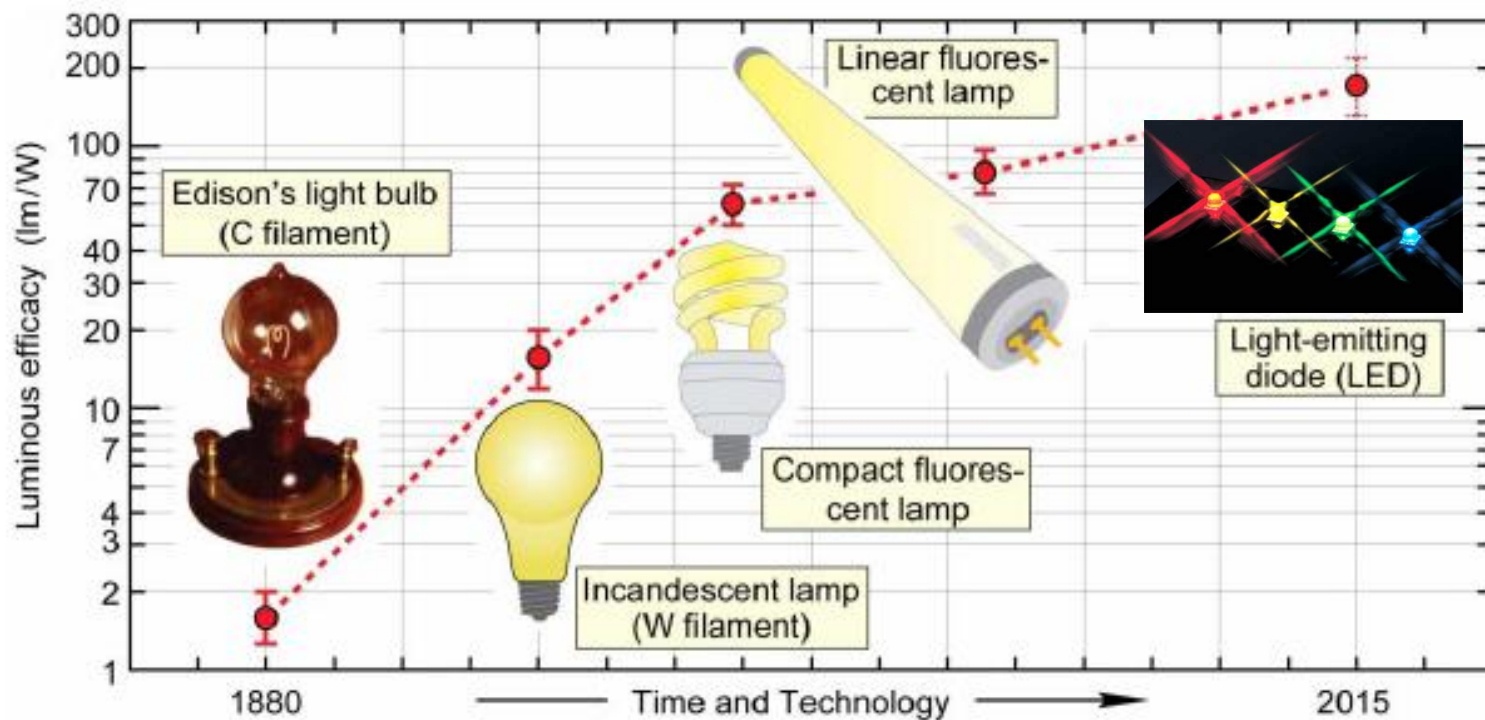
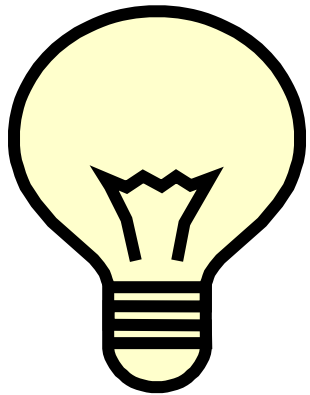


Fig. 1. Comparison of the luminous efficacy (source efficacy) of conventional lighting technologies with the potential of light-emitting diode technology.

LEDinside指出，各國紛紛實施禁用白熾燈泡政策，2012年為大多數國家禁用白熾燈泡的最後期限，在各國節能政策帶動下，加上LED照明成本漸低，有助激勵節能商機，也將為LED照明帶來龐大商機。

# 白熾鎢絲燈 (Incandescent Lamp) 及鹵素燈 (Halogen lamp) 工作原理

發光效率  
在10%左右



- 白熾燈是由發光用的金屬鎢絲、與外界電源相通的電極，尾部的密封部分組成。一般將燈泡裡面抽成真空或充入其它惰性氣體，利用鎢的熔點高的特點，將其製造成絲狀，通入電流後，鎢絲便發光，並有一部分電能轉化為熱能。
- 鹵素燈是白熾燈的一種但在燈泡中填入碘或溴等鹵素氣體。
- 2012年開始停產禁用白熾燈。

# 螢光燈工作原理



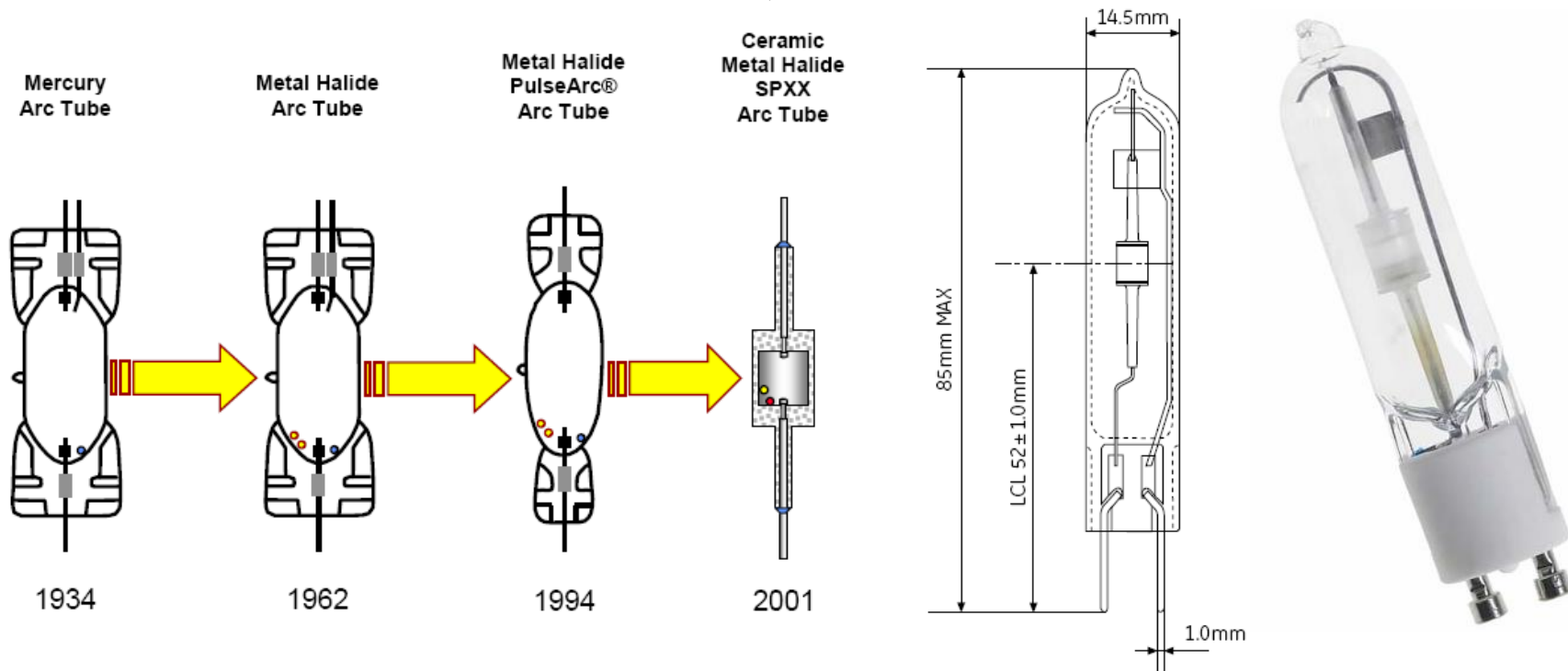
- 螢光燈是玻殼內表面塗有螢光粉的汞蒸汽放電燈，汞原子藉由氣體放電的過程釋放出紫外光（主要波長為 254nm），消耗的電能約 60% 轉換為紫外光。其他的能量則轉換為熱能。藉由燈管內表面的螢光物質吸收紫外光後釋放出可見光。
- 低成本，低維修費用，可直接取代普通白熾燈，具有光效長，壽命長，省電經濟的特點。

發光效率在20%左右



# 高強度氣體放電燈 High-Intensity Discharge (HID)

- 高強度氣體放電燈是經由置於耐高溫燈管（弧光管）內的電弧放電器發光。
- 包含水銀燈、高壓鈉燈、複金屬燈、陶瓷複金屬燈等





# 發光二極體 Light Emitting Diode (LED)

## 特性

- 壽命長(~50000hr)
- 體積小
- 可取代白熾燈



## 用10元 發一年光

換盞燈·愛地球—585白熾燈汰換計畫

2012年以前，台灣經濟部能源局將逐步落實全面禁用白熾燈，汰換為節能燈泡，以5年時間，每年可省下約8億度電，減少近50萬公噸二氧化碳排放，預期相當於1,342座大安森林公園二氧化碳吸納量，或相當於造林2,784萬顆樹的效益，省電、省錢全民一起來。



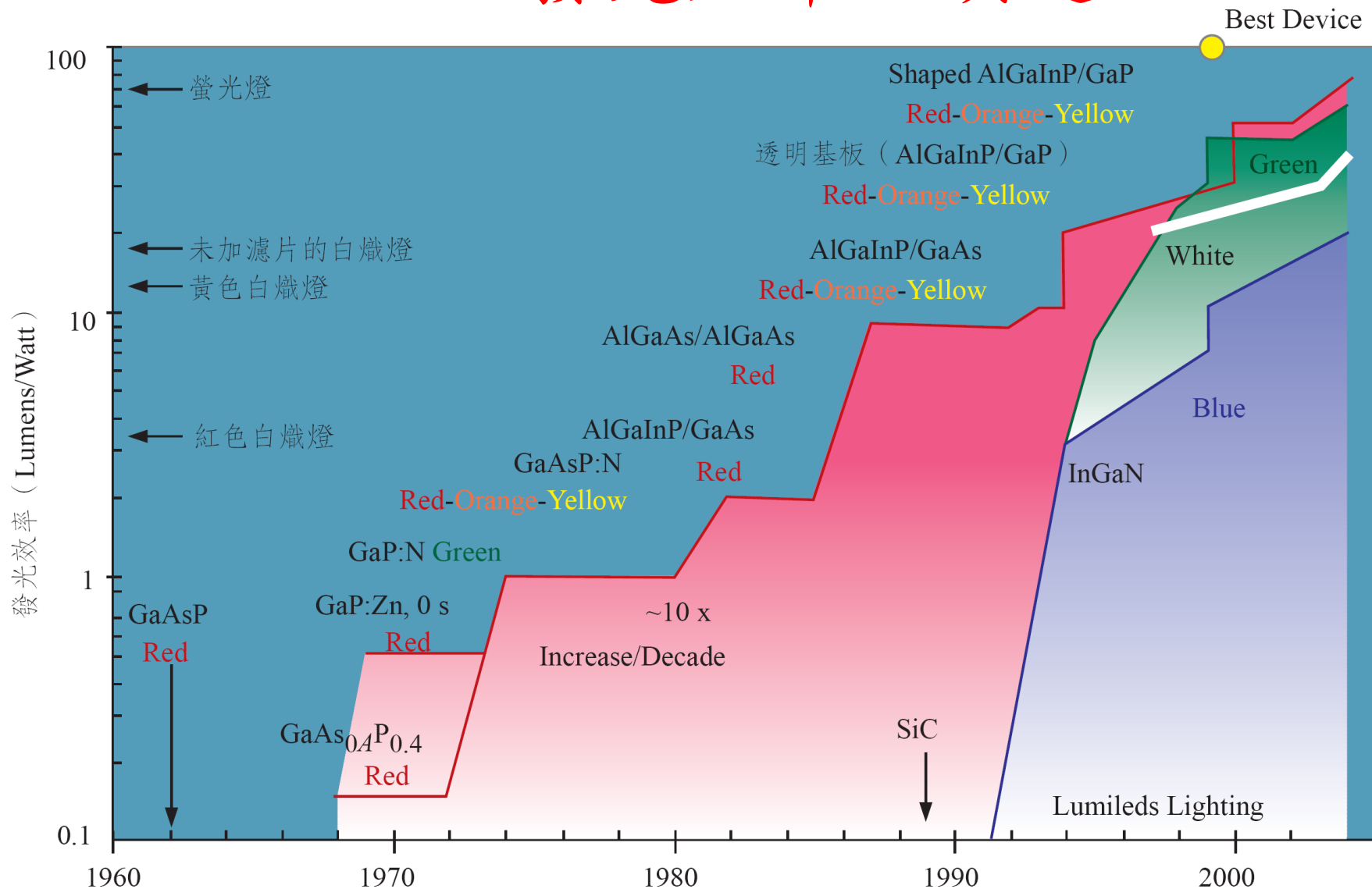
### 產品特色：

- 本產品符合歐盟環保規定，節約能源使用安全有保障。
- 低耗電量，僅約 0.5 W，壽命長達50,000小時
- 壽命長、超省電，永續免更換，省電又省錢。
- 低溫照明，長時間點亮，不發熱。
- 美術燈具、檯燈、小夜燈、神桌燈、蓮花燈..等適用。

### 注意事項：

- 本產品外罩使用玻璃材質，請小心使用，避免破損。
- 本產品不適用於附有調光及感應器功能之產品使用。
- 長時間使用，因溫差效應，玻璃內壁會產生溼氣水滴，並不會影響壽命及效能，請安心使用。
- 卸下舊燈泡時，請確認燈泡溫度已降低，以免燙傷。
- 換裝前確認電源已關閉，以免發生危險。

# LED發光效率之演進



# 半導體固態照明的未來課題

- 改善電轉換發光之效率
- 提高發光二極體出光效率
- 修正發光光學品質
- 降低製作成本

