

# LED照明光電技術發展現況

馬小康教授  
國立臺灣大會機械工程研究所

「台灣LED照明光電產業未來發展契機與瓶頸」座談會

97年12月11日(週四)

財團法人中技社8樓會議室  
(台北市敦化南路二段97號8樓)

Energy & Environment Lab  
NTU ME



# Outline

---

---

- 簡介
- LED原理
- LED產業結構
- LED應用
- LED優缺點
- 散熱問題探討



# 台灣，瘋狂發燒中

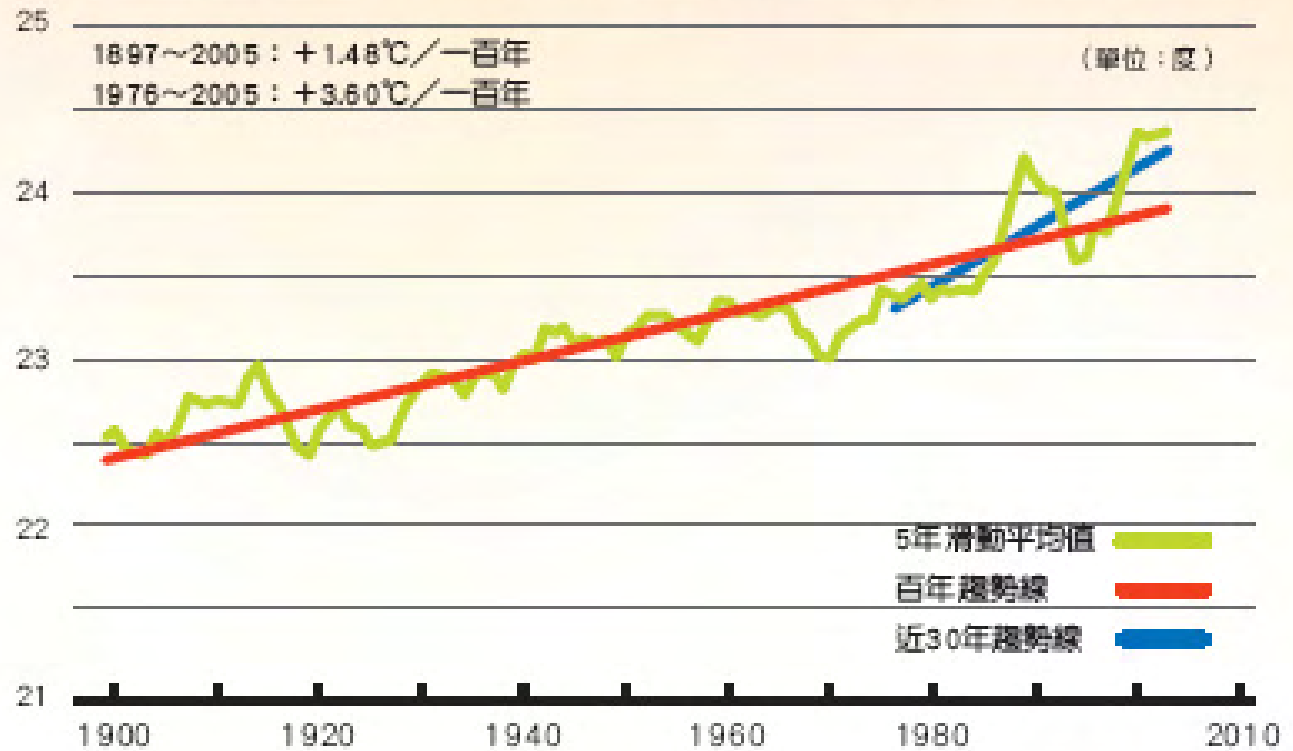


一個世紀以來，台灣暖化的速度，是全球平均的兩倍，平均溫度增加了一·三°C，比鄰近的日本、中國更高。台北市的夜間平均氣溫，甚至增加將近二°C。

## 4 台灣暖化愈來愈嚴重，速度是全球的2倍

### 台北百年溫度趨勢

台灣近一世紀平均增溫速度，是全球平均值的2倍；近三十年增溫速率愈來愈大，是百年趨勢的2~3倍



資料來源：中央氣象局

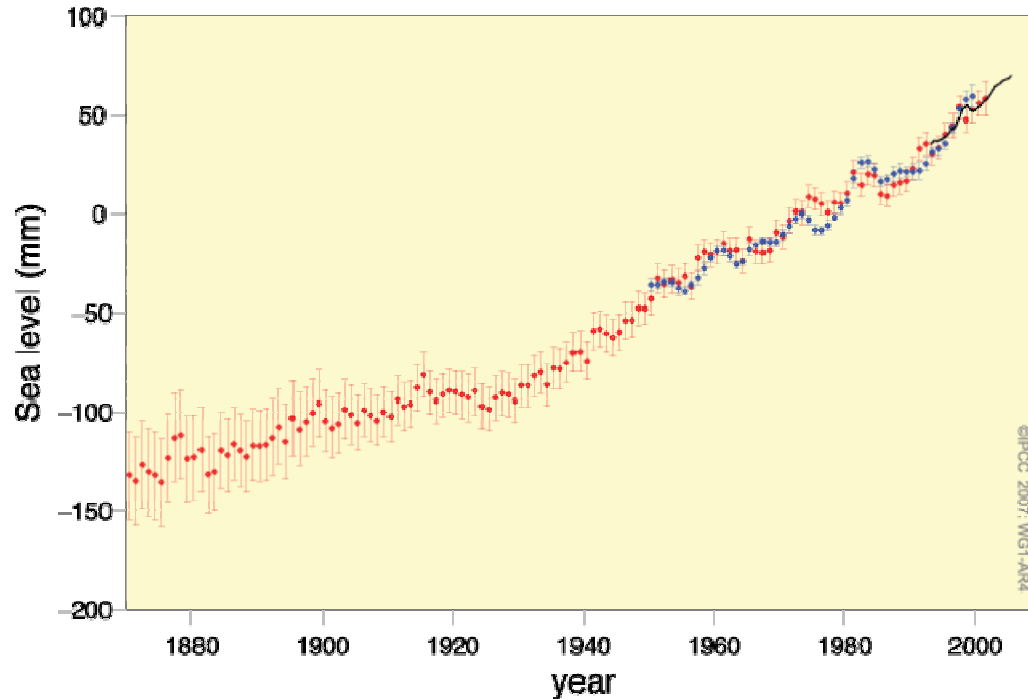


[天下雜誌]

National Taiwan University



# Sea Level Rising

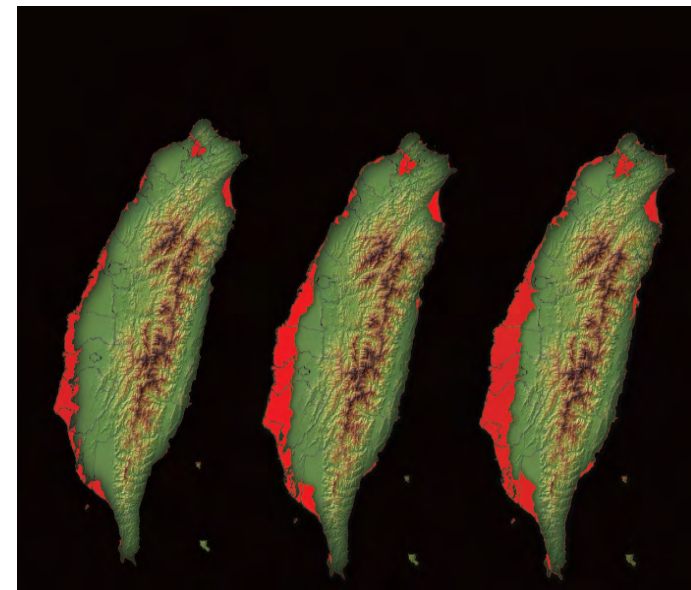


Global mean sea level has been rising at an average rate of 1.7 mm/year (plus or minus 0.5mm) over the past 100 years, which is significantly larger than the rate averaged over the last several thousand years.

[IPCC]

下為全球暖化帶動海水上升後，台灣本島逐漸「泡」在水裡的模擬空照圖。本世紀末，整個台南市將徹底淹沒，高雄市僅剩下「壽山島」，全台灣將近六百萬人淪為「水上難民」。

[天下雜誌]



淹水6  
公尺

淹水15  
公尺

淹水25  
公尺



# Climate Change



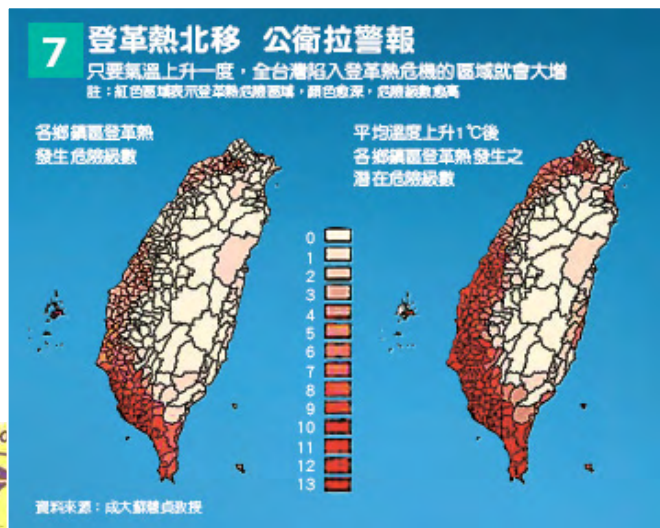
台灣近年氣候變異極大，不是水太多，就是水太少。這種一年水災、一年旱災的怪現象，可能會變成常態。

[天下雜誌]

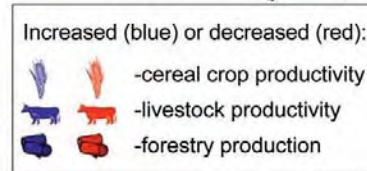
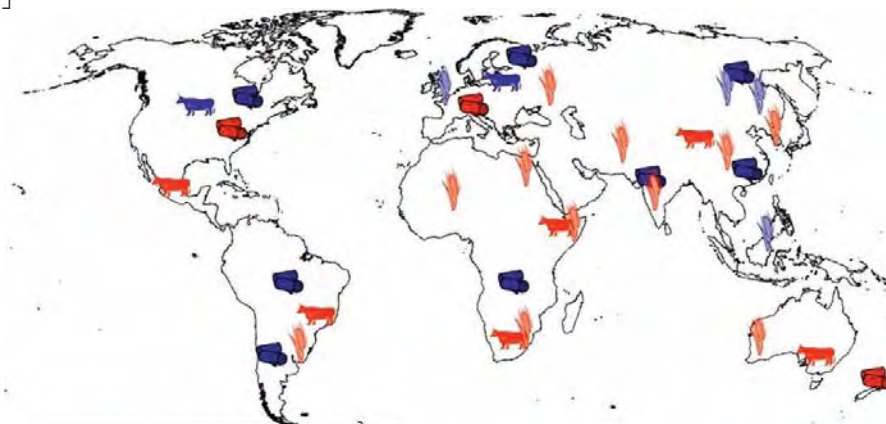


科學家預估，七十年之後，台灣三千公尺以上的高山，將有四個月完全不會有低於十八°C的水溫，對於只能存活在十七°C水溫的國寶魚櫻花鉤吻鮭而言，生存繁衍的希望渺茫。

[天下雜誌]



[天下雜誌]



氣候變遷對於農作的影響

[IPCC]

# 台灣的二氧化碳電力當量

## 96 年度電力排放係數

$$\frac{(\text{綜合電業GHG排放量}_{\text{扣除自用電量之GHG排放量}}) + \sum \text{民營電廠GHG排放量}_{\text{扣除自用電量之GHG排放量}} + \sum \text{汽電共生業GHG排放量}_{\text{扣除用及自用電量之GHG排放量}} - \text{線損之GHG排放量}}{\text{總銷售電量}}$$

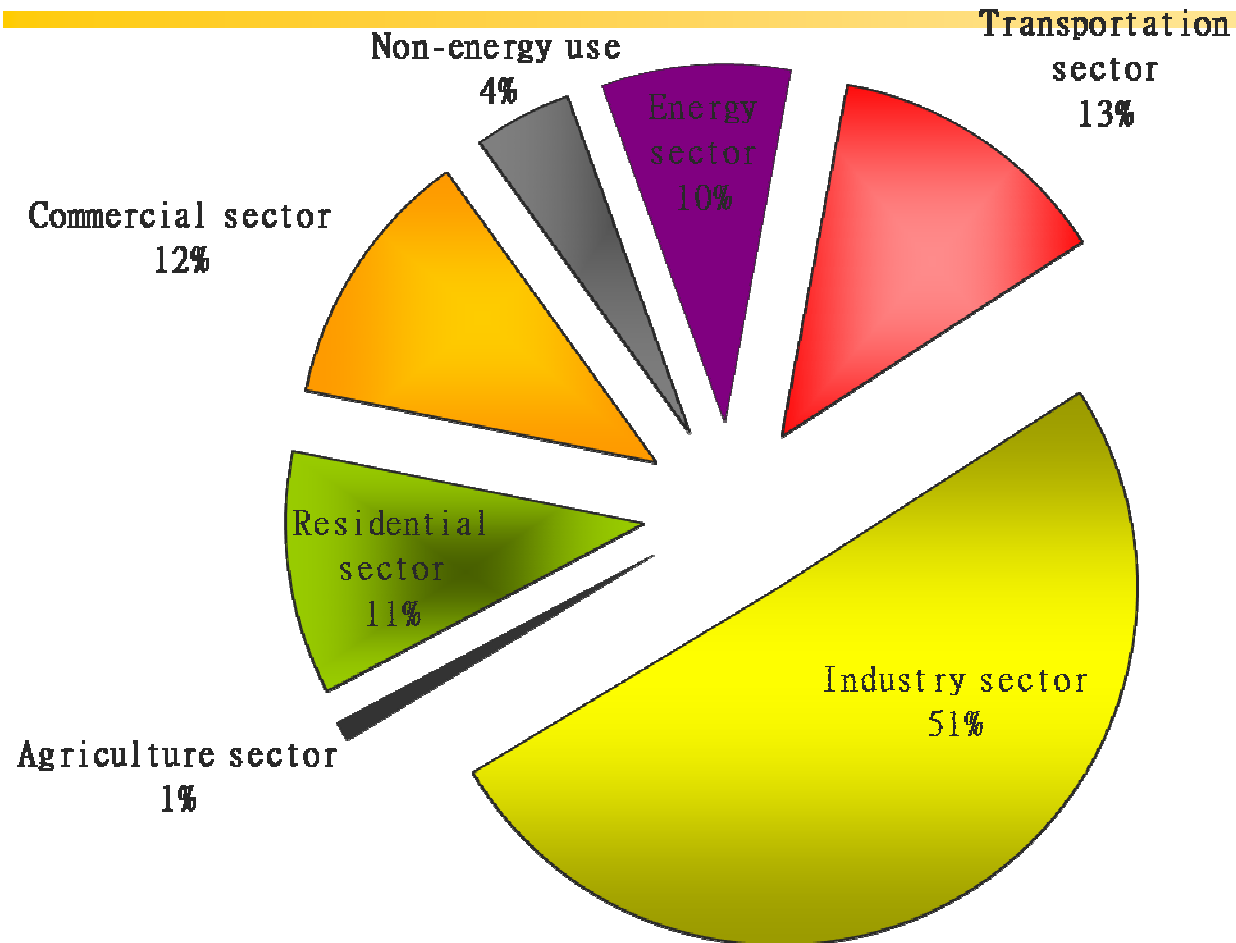
$$=0.637 \text{ 公斤 } CO_2e / \text{度}$$

說明：

- 1.適用範圍：於溫室氣體盤查或排放量化作業，計算所有因購買、使用電力(範疇二)所需間接承擔之溫室氣體排放量之各種用途均屬之。
- 2.本年度計算方式與排放係數未調整。
- 3.95 年排放係數為 0.638 公斤 $CO_2e$ /度，96 年排放係數較 95 年下降 0.15%，主要係因燃煤及燃油發電比重微幅降低致使發電燃料結構的改變。
- 4.我國電力排放係數計算將線損之 GHG 排放量予以扣除，考量本係數為提供能源部門以外之消費端使用，而線損為供應端之輸配電系統所產生，爰宜由供應端承擔，對消費端較公平合理。



# Energy Consumption in Taiwan



- 工業用電佔電力消耗最大宗

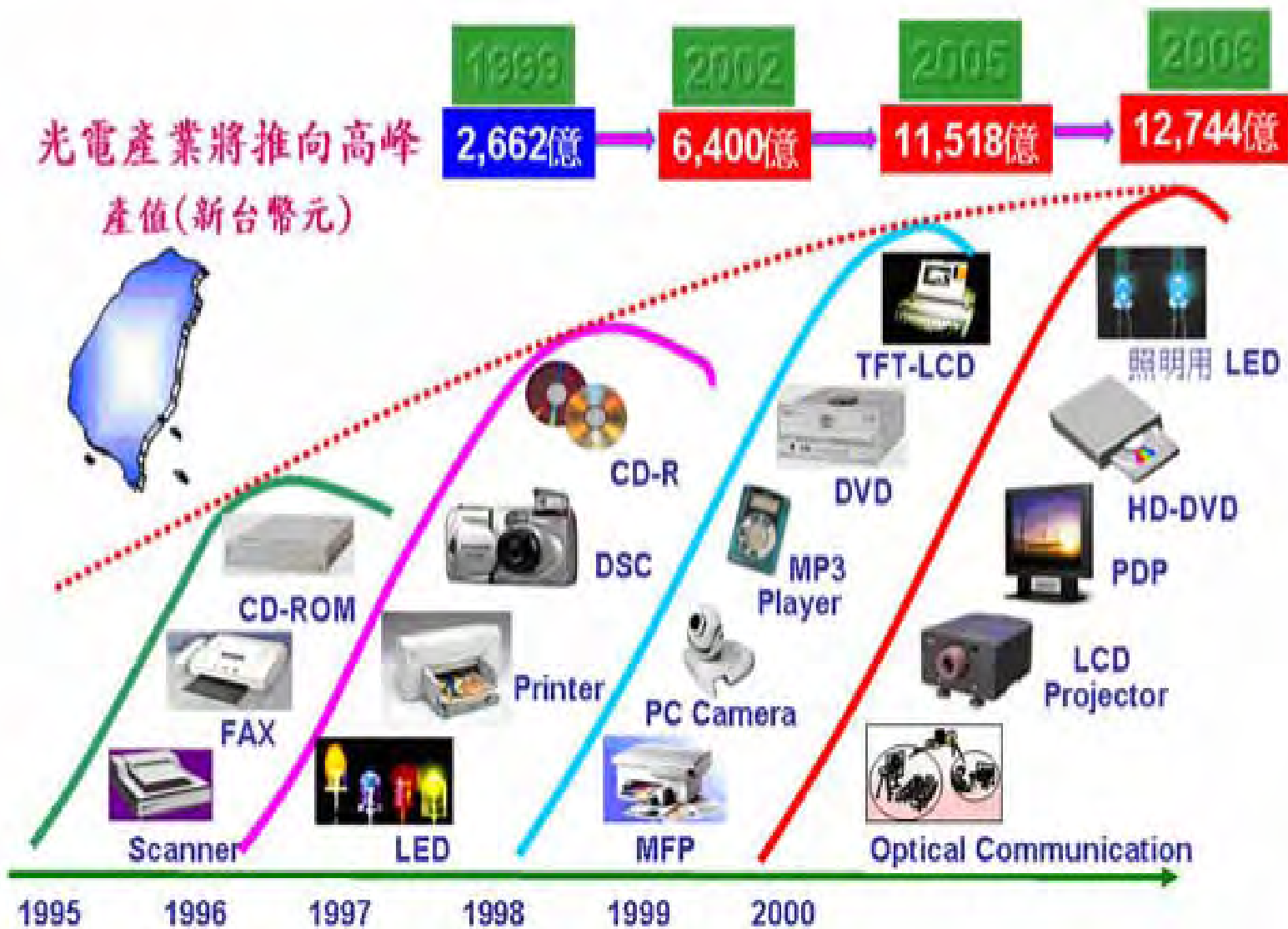
- 住宅用電與服務業用電所佔比例正在上升中



Energy Consumption (2007)  
[台灣經濟部能源局]



光電產業將推向高峰  
產值(新台幣元)





# 全球近五年光電產業產值

2003~2007年全球光電產業主要產品產值概覽

單位：百萬美元；%

領域	產品 / 年份	2003	2004	2005	2006	2007	2003-2007平均成長率 (%)	2007年產值比例
光電平面顯示器	TN/STN-LCD	5,347	5,745	5,574	5,093	4,567	-4	1.71%
	TFT-LCD	32,980	48,362	55,693	66,012	71,596	21	26.83%
	LED顯示幕	699	730	760	787	814	4	0.31%
	PDP	2,822	4,334	6,150	8,610	11,830	43	4.43%
	VFD	598	602	607	611	615	1	0.23%
	OLED	220	483	484	579	704	34	0.26%
	Microdisplay	1,480	2,116	2,937	3,587	3,911	28	1.47%
	小計	44,146	62,371	72,205	85,280	94,037	21	35.24%
光電半導體元件	LED、LD、CCD、CIS、CMOS、SC	13,802	17,350	20,818	25,174	30,417	22	11.40%
光輸出裝置	掃描器、條碼掃描器、雷射印表機、傳真機、影印機、數位相機	39,732	41,321	42,995	44,410	44,894	3	16.83%
光學儲存	光碟機(消費性、資訊用、可錄型、預錄型)	47,558	46,526	48,153	49,625	50,669	2	18.99%
光通訊	光纖、光纜、元件、設備類	22,399	25,408	27,129	29,340	32,160	9	12.05%
其他	精密光電元件、雷射器	8,691	10,096	11,861	13,418	14,639	14	5.49%
總計		176,328	203,072	223,160	247,246	266,816	11	100.00%

《PIDA光電科技工業協進會調查報告》



# LED產值



2006年LED產值約為61億美元。而我國2006年LED產值預估約為14億美元，約占全球產值的23%。

	2008	2009	2012
全球	70億美元	74億美元	137億美元
台灣	18.45億美元 (609億新台幣)	19.8億美元 (654億新台幣)	33.3億美元 (1100億新台幣)

Source :IEK，科技政策研究與資訊中心—科技產業資訊室  
整理，2008年11月



# Develop green energy industry

including energy conserving industries and renewable energy industries, to move towards a clean energy economy

	Estimated Production Value (2015) (billion NTD)
Solar photovoltaic	430
Wind	100
Bio-fuel	20
LED	540
ESCO	2.13

[台灣經濟部能源局]

- LED被預估為2015年產值最高的綠色產業，甚至超越太陽能。



---

---

# LED 簡介



# 簡介LED

- LED，發光二極體(Light Emitting Diode)的簡稱，也被稱作發光二極管。
- 是一種半導體元件。初時多用作為指示燈、顯示板等；隨著白光發光二極體的出現，也被用作照明。它是21世紀的新型光源，具有效率高，壽命長，不易破損。



# 簡介LED

---

---

- 1955年，美國無線電公司（Radio Corporation of America）的魯賓·布朗石泰（Rubin Braunstein）生首次發現了砷化鎵(GaAs)及其他半導體合金的紅外放射作用。
- 1962年，通用電氣公司的尼克·何倫亞克（Nick Holonyak Jr.）開發出第一種實際應用的可見光發光二極體。



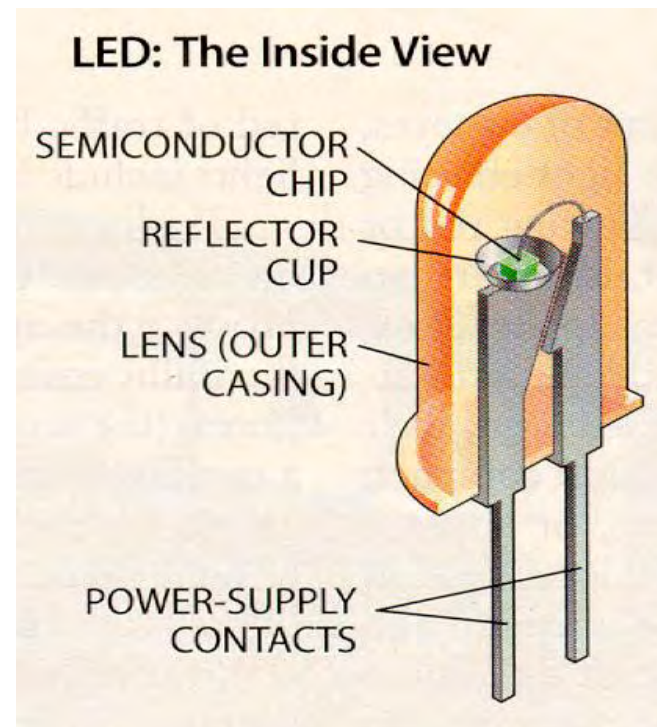
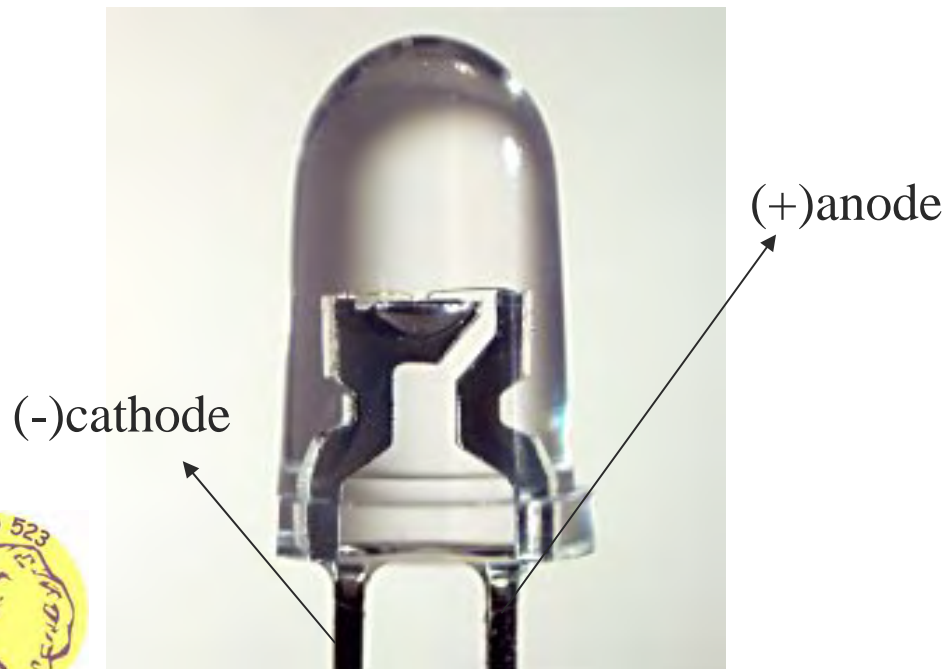
# 簡介LED

- 1993年，當時在日本日亞化工（Nichia Corporation）工作的中村修二（Shuji Nakamura）發明了基於寬禁帶半導體材料氮化鎵（GaN）和銦氮化鎵（InGaN）的具有商業應用價值的藍光LED。



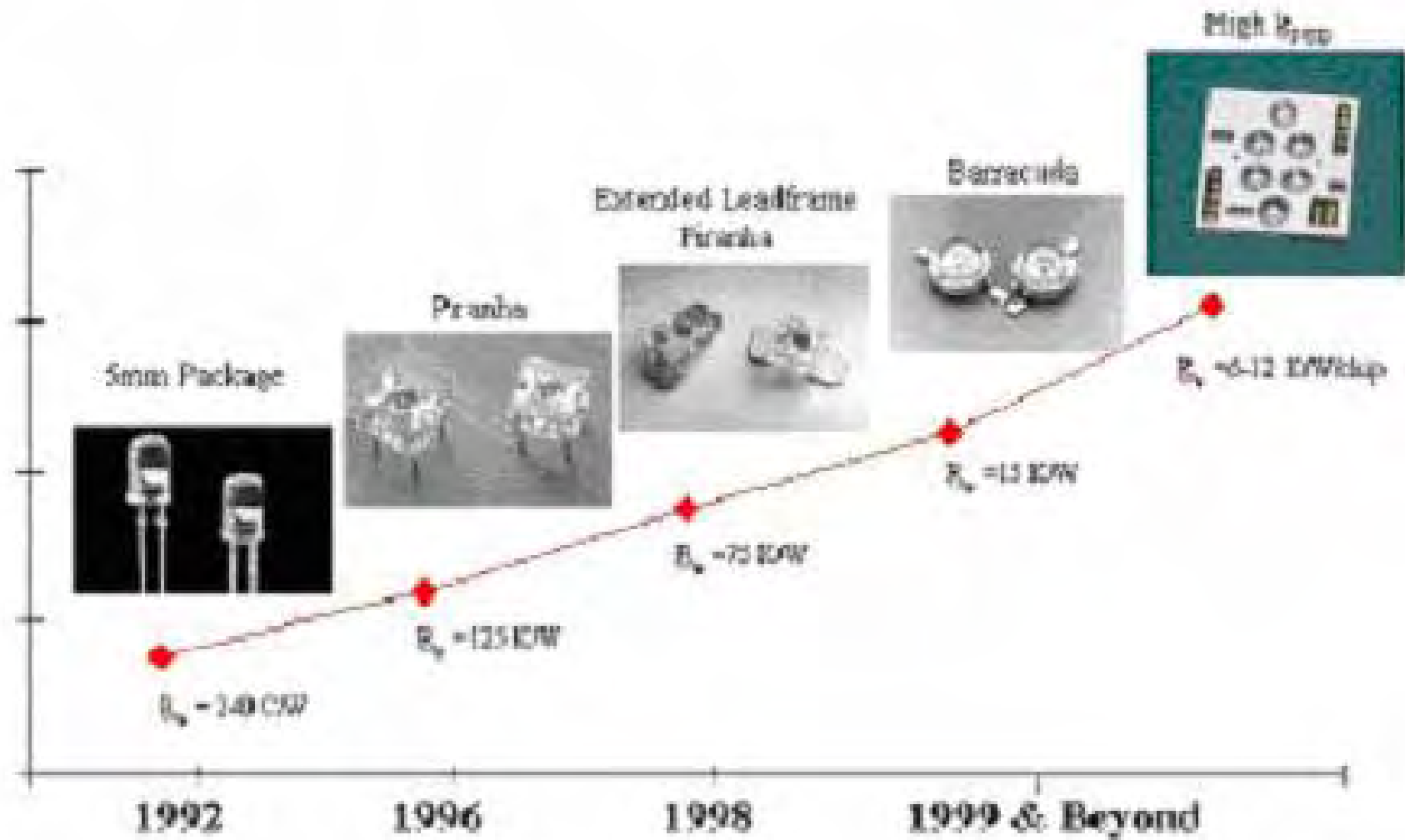
# 簡介LED

- 1996年由Nichia Corporation開發出製作白光LED的方法，在藍光LED(near-UV,波長 450 nm 至 470 nm)上覆蓋一層淡黃色螢光粉塗層，並從開始用在生產白光LED上。





# LED封裝技術演進



---

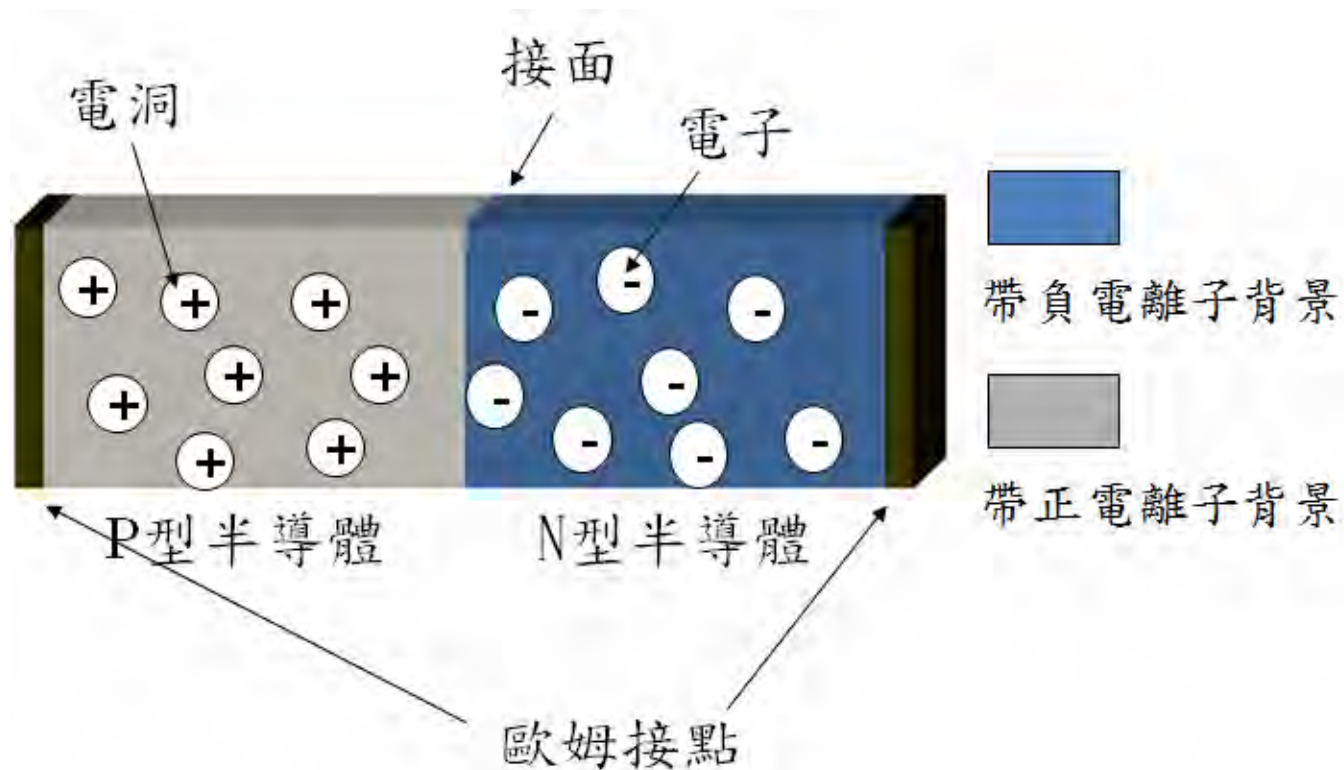
---

# LED原理



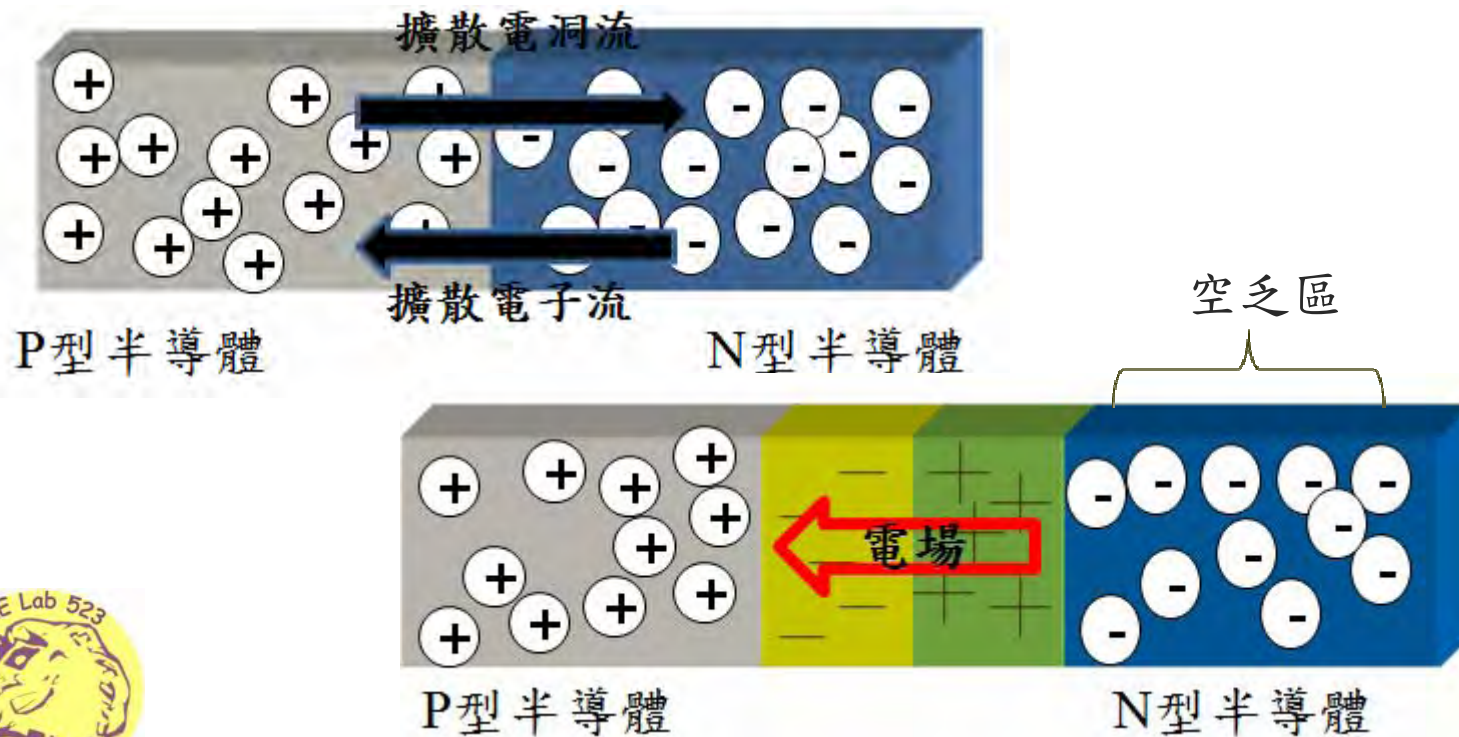
# LED發光原理

- 發光二極體，是一種以p、n介面組成的發光元件。其p、n型半導體大多由3A+5A，或2A+6A族元素組成形成。



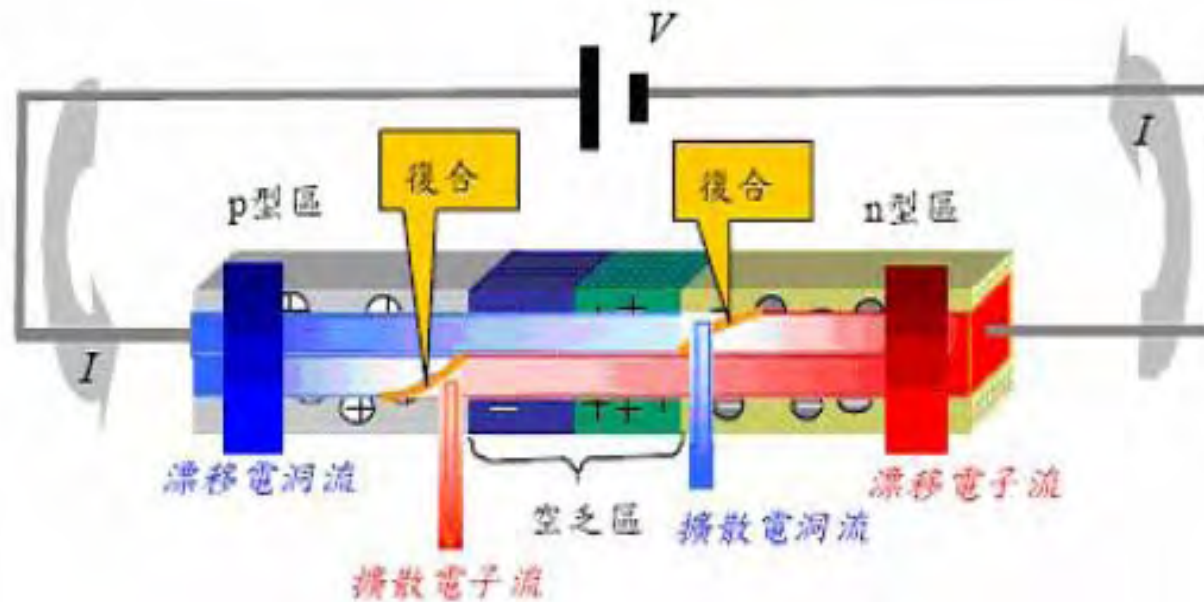
# LED發光原理

- 濃度分佈不均導致電洞往n型半導體方擴散；反之，電子則往p型半導體方向擴散，形成兩帶電的半導體，和中央的空乏區。



# LED發光原理

- 外接順向偏壓，當電壓大於內建電場所產生的電壓，則可驅動電路，達成通路。



# LED發光原理

---

---

- 外加順向偏壓可使得電子和電洞可以通過空乏區，分別進入到p型和n型區跟另一種載體產生復合。
- 復合過程又分為兩種，一種是發光式(radiative)，一種是非發光式(non-radiative)，兩種復合過程是並存的。
- LED即是利用發光式的過程，此過程中會將能量以光和熱的形式釋出。



# LED發光顏色

---

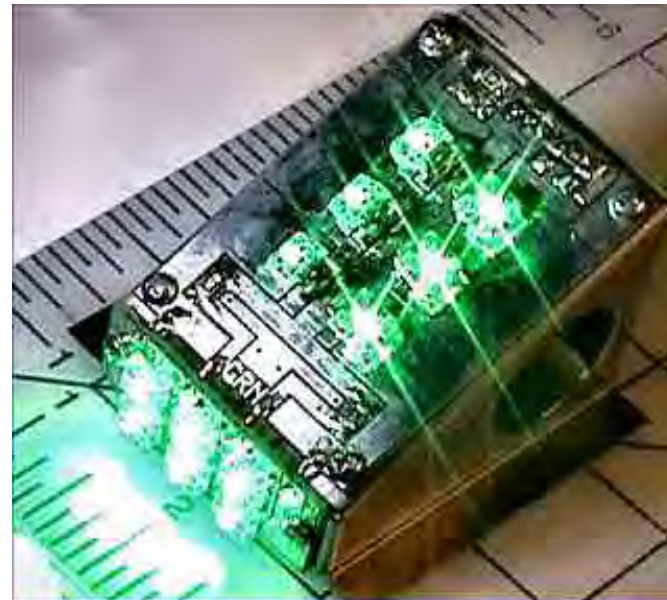
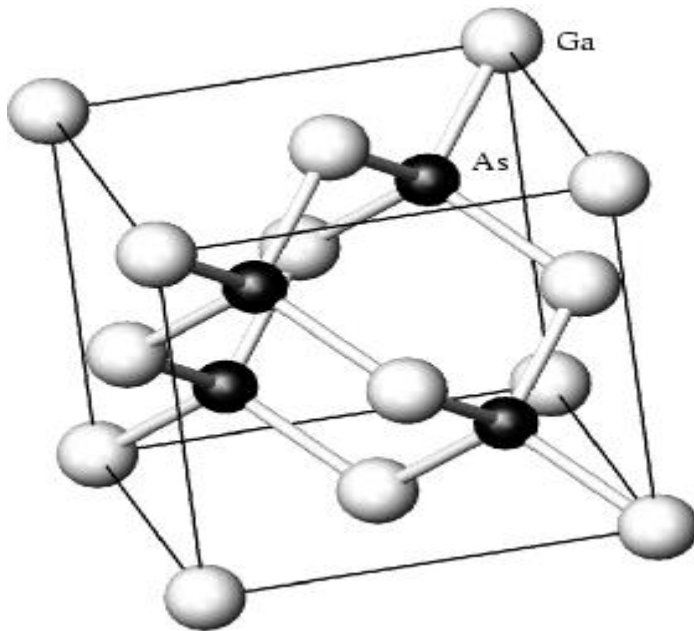
---

- 隨著LED的製造材料不同，產生出來的光子擁有的能量也不同，故業界透過製造材料來控制LED發光的波長，進而產生擁有不同光譜與顏色的各種LED。



# LED發光顏色

- 第一顆LED採用的材料是砷化鎵(GaAs)，工作電壓為1.424V，其發出的光線為紅外光譜。
- 之後以磷化鎵(GaP)作為LED的材料，工作電壓為2.261V，發出的光為綠光。





# LED發光顏色

---

---

- 早期就透過上述2種(GaP、GaAs)型態LED所需的材料，調配出從紅外線到綠色光範圍內所有波長的LED產品，ex. 紅、黃、橙LED。
- 後來發展出採用混合鋁(Al)、鈣(Ca)、銦(In)和氮(N)共4種元素的4元素LED，就能夠發出所有可見光範圍與部份紫外線光譜的光線。



# LED發光顏色

- 白光LED製作方式，常見的有兩大類。其一為摻螢光粉塗層；另一則用磊晶層的方式。
  1. 白光LED製作，於藍光LED上覆蓋一層淡黃色螢光粉塗層(鈾的釷-鋁-鎳( $Ce^{3+}:YAG$ )晶體磨成粉末後混和黏合劑)，產生黃光，搭配原有藍光，讓視覺看到白色光線。
  2. 新的做法是在硒化鋅( $ZnSe$ )基板上生長硒化鋅的磊晶層。通電時其活躍地帶會發出藍光而基板會發黃光，混合起來便是白色光。



# LED發光顏色

半導體原料	化學式	形成顏色
鋁砷化鎵	AlGaAs	紅色及紅外線
鋁磷化鎵	AlGaP	綠色
磷化銦鎵鋁	AlGaInP	高亮度的橘紅色，橙色，黃色，黃綠色
磷砷化鎵	GaAsP	紅色，橘紅色，黃色
磷化鎵	GaP	紅色，黃色，綠色
氮化鎵	GaN	綠色，翠綠色，藍色
銦氮化鎵	InGaN	近紫外線，藍綠色，藍色
碳化矽(用作襯底)	SiC	藍色
矽(用作襯底)	Si	藍色
藍寶石(用作襯底)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	藍色
硒化鋅	ZnSe	藍色
鑽石	C	紫外線
氮化鋁	AlN	波長為遠至近的紫外線



# LED發光強度

- 一般討論發光亮度，有3種照度單位表示，分別是勒克司(Lux)、光量單位流明(Lumen；lm)、發光強度單位燭光(Candle power；CD)
  - 1 CD表示完全輻射的物體，在白金凝固點溫度下，每六十分之一平方公分面積的發光強度。適合用在主動發光燈具領域，如白熱燈泡。
  - 1 lm表示1 CD光照射在距離為1公分，面積為1平方公分平面上的光量。適合用在反射燈具與穿透燈具領域，如投影機。
  - 1 Lux表示指1 Lm光量均勻分佈在1平方公尺面積上的照度。適合用在攝影領域。



# LED發光強度

---

---

- 一般而言，單一LED的發光強度以CD(Candle power)為單位，並配上視角參數，而LED的發光強度從個位數mCD到5,000mCD不等。
- 廠商在標示LED單一產品時，其發光強度規格是說LED在20mA電流下點亮時，最佳視角上和中心位置上發光強度最大點的發光強度。



---

---

# LED產業結構



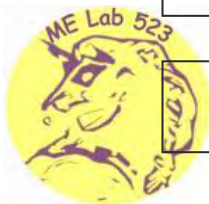
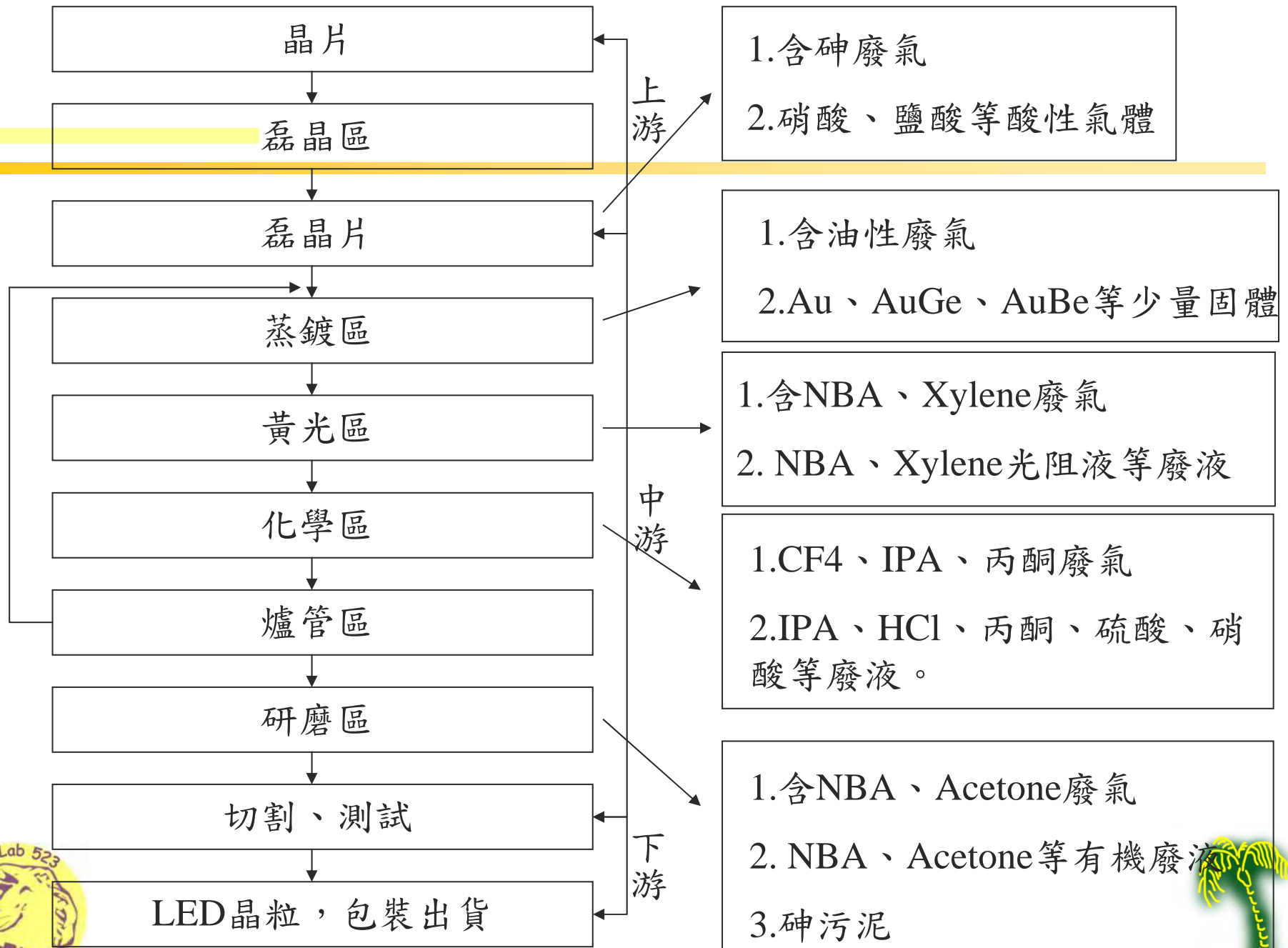
# LED的產業結構

---

---

- LED產業鏈特性，和半導體製程類似，分成上、中、下游。
  - 上游：晶圓製作、磊晶成長(晶元光電、鼎元等)。
  - 中游：擴散製程、金屬蒸鍍、晶粒製作。(璨圓、泰谷等)。
  - 下游：產品封裝、看板組裝(宏齊、華興、立碁等)。
- LED製造過程除了切片以外，大部份製程均會產生空氣污染物







---

---

# LED應用



# LED應用

---

---

- 自1993年日本日亞公司(Nichia)成功開發出高亮度藍光LED，接著於1996白光LED開發，到爾後全彩化的LED研發及產品上市，拓展了其用途與應用。
- 其應用包括了汽機車、通訊產品、資訊方面、交通號誌、照明、背光光源、觸控感應、生醫相關及生物產業等。



# LED應用

---

---

- LED已被應用於許多植物光生理領域的研究或植物栽培上。
  - 藻類培養生物反應器(Lee and Palsson, 1994)
  - 葉綠素生合成(Tripathy and Brown, 1995)
  - 光型態發生(Hoenecke et al., 1992)
  - 光合作用(Tennessen et al., 1994; Tennessen et al., 1995)研究。
- 已被應用的栽培作物有萵苣、胡椒、胡瓜、小麥、菠菜、虎頭蘭、草莓、馬鈴薯、蝴蝶蘭、白鶴芋、藻類。

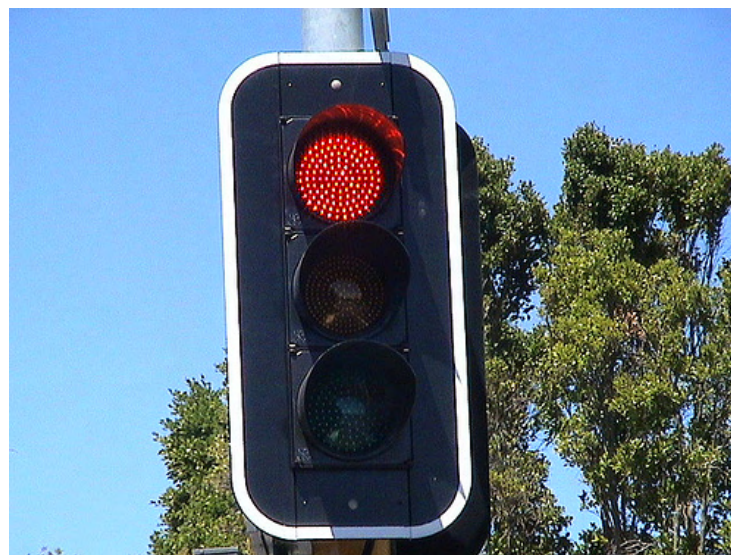


# LED應用

---

---

- 被用於各式嵌入式系統的訊息指示器，像是公車前方的顯示板、夜間指示燈、店家招牌。



# LED應用

- 被用於各式汽機車燈具以及夜間裝飾用的配置。



# LED應用

- LED白光用來做照明功能，像是LED路燈、手電筒等。



# LED應用

- 傳送數碼訊息，像是遙控器的紅外線、光纖通訊等。
- 也利用在位移探測訊息，如光學滑鼠。

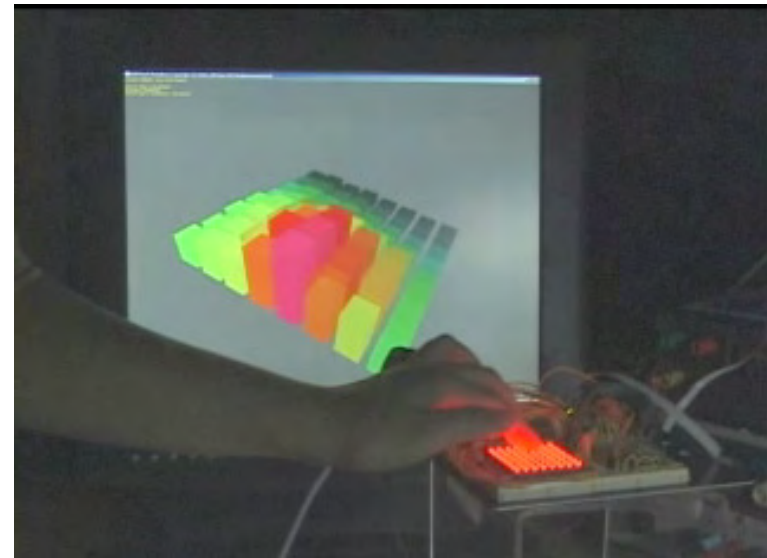


# LED應用

---

---

- 利用LED作為觸控面板的觸控感測(touch sensing)





# LED應用

---

---

- 背光光源，像是手機或是液晶螢幕的背光源應用。



# LED應用

---

---

- 無重力下組織癒合研究
  - 威斯康辛大學的一組研究人員就使用LED為光源來治療受傷的人類細胞，發現生長復原的速度是正常細胞的5倍之多(Whelan, 2001)。
- 柔光回春治療(low intensity photo rejuvenation)
  - 應用高亮度LED為光源的脈衝光進行美容手術，而脈衝光的光源包括了低功率雷射與高亮度LED。



---

---

# LED優缺點



# LED的優劣勢

---

---

## ■ 優點

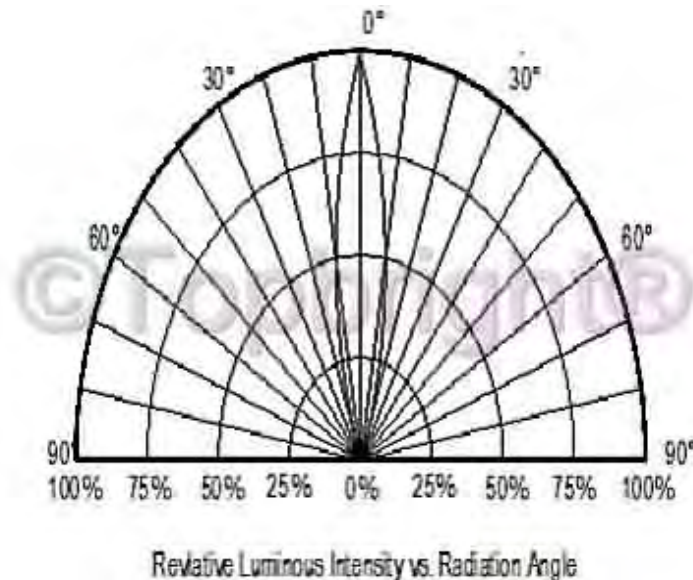
1. 發光效率高、反應時間快
2. 使用壽命長
3. 耗電量少
4. 環保無汞
5. 體積小
6. 可應用在低溫環境
7. 光源具方向性
8. 造成光害少



# LED的優劣勢

## ■ 缺點

1. 散熱問題，散熱不佳會大幅縮短壽命。
2. 初期成本較高。
3. 因光源屬於方向性，燈具設計需考量光學特性。
4. 單一點光源，需考量面光源或是立體光源設計。



光強和角度關係圖



---

---

# 散熱問題探討



# LED 散熱問題

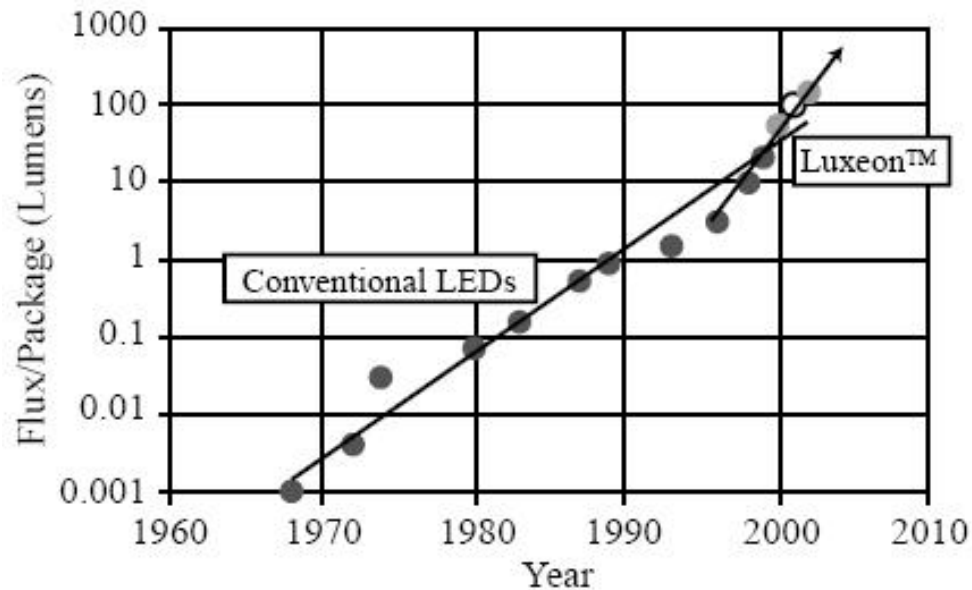
---

---

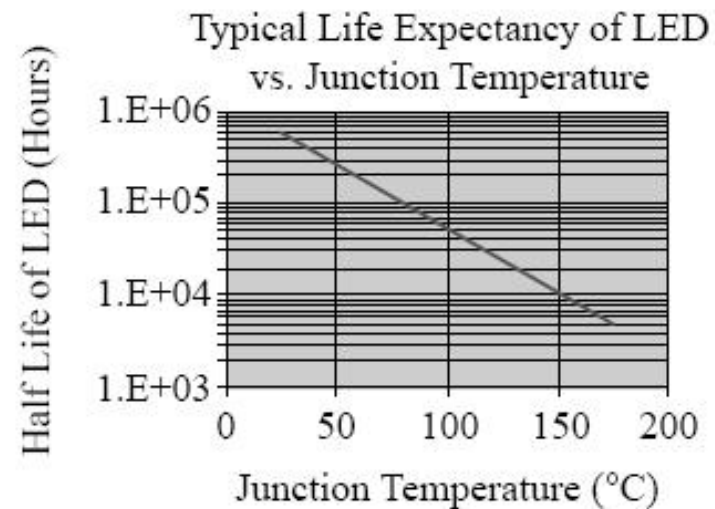
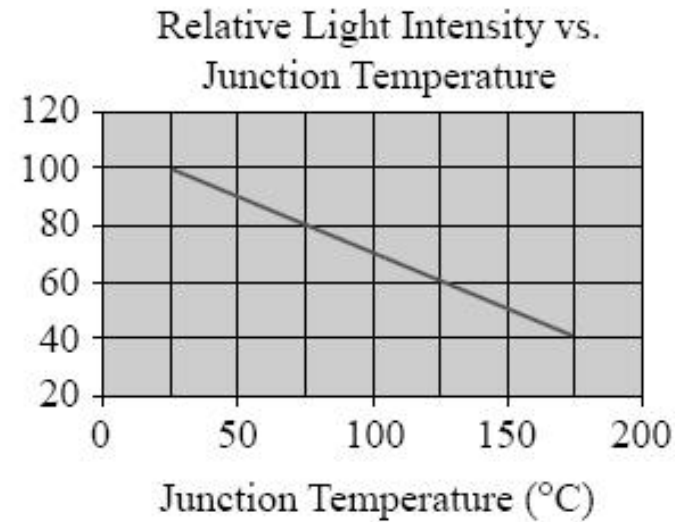
1. LED 晶片最高容許溫度為 $120^{\circ}\text{C}$
2. 僅能以自然對流散熱
3. 散熱模組之造型設計需滿足簡單性及可靠性
4. 散熱模組之體積與重量限制



# 溫度對LED之影響



Flux Per Package has Doubled Every 24 Months for 30+ Years  
 High-power Chip & Packaging Technology has Introduced an Inflection Point

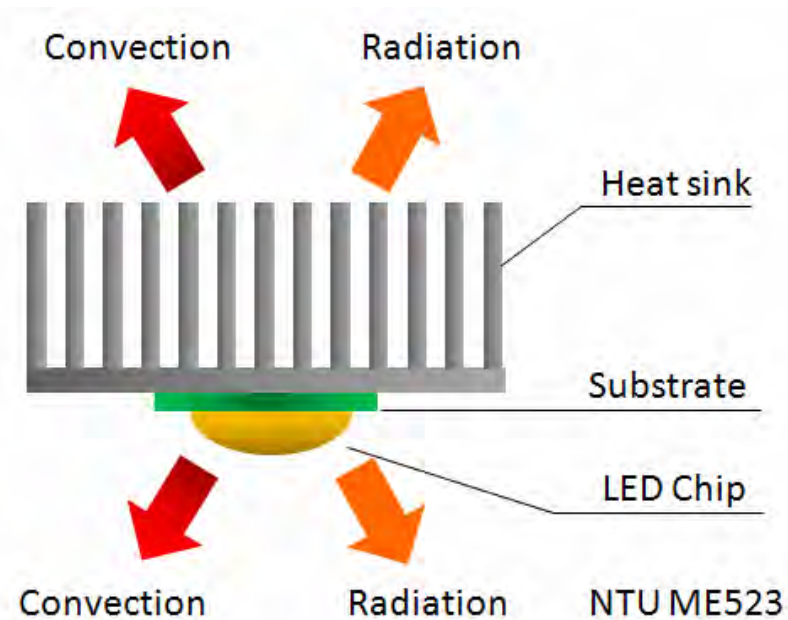


[From : Lumileds]





- LED使用時，電流由LED內部p-n接合處接通後，而產生光源，以目前LED的製造與封裝技術而言，光轉換效率約可達到20%，剩餘的80%則轉換成熱，而這些熱量再藉由熱傳導、熱對流與熱輻射的方式傳遞到外界。



# LED之工作溫度極限

---

Parameter	Maximum
-----------	---------

---

LED Junction Temperature	120
--------------------------	-----

---

Aluminum-Core PCB Temperature	105
-------------------------------	-----

---

Storage/Operating Temperature:

Luxeon Products without optics (Star, Star/C)	-40 to 105
--	------------

Luxeon Products with optics (Star/O, Line, Ring)	-40 to 75
---	-----------

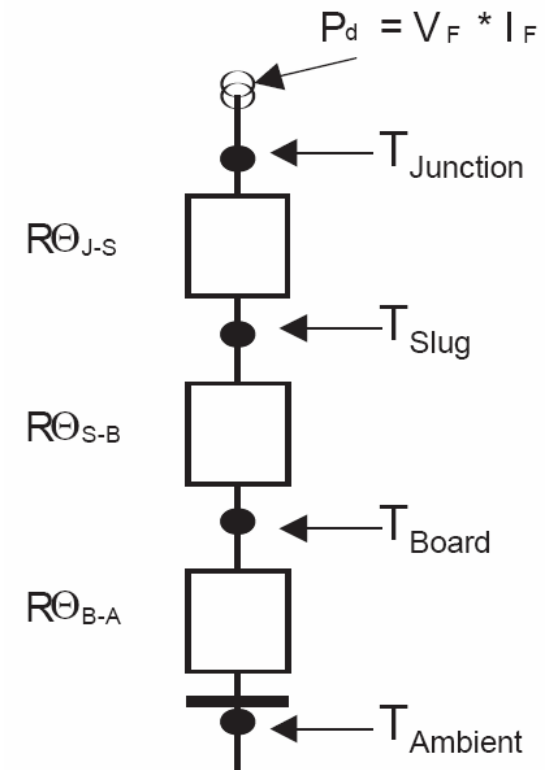
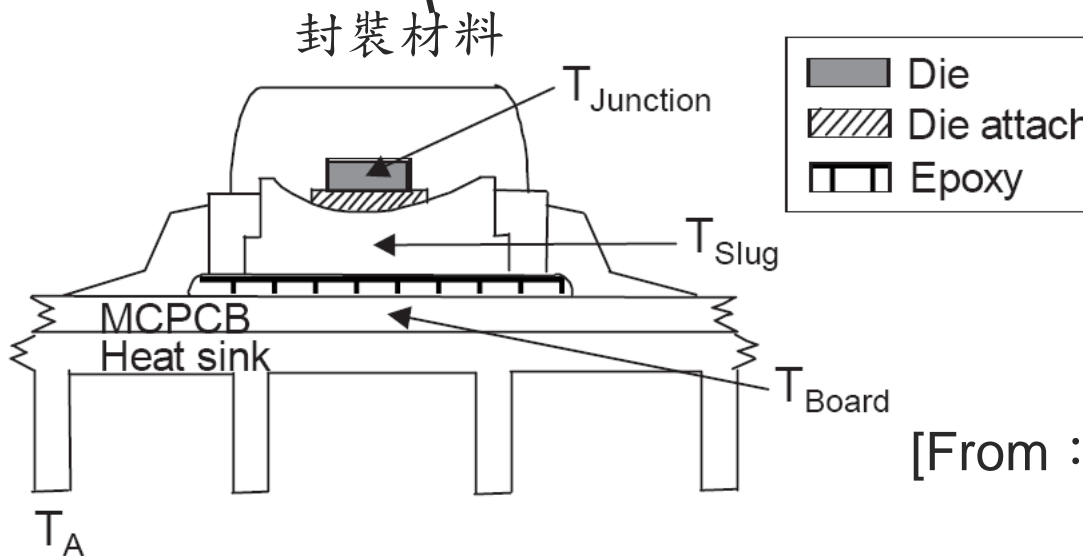
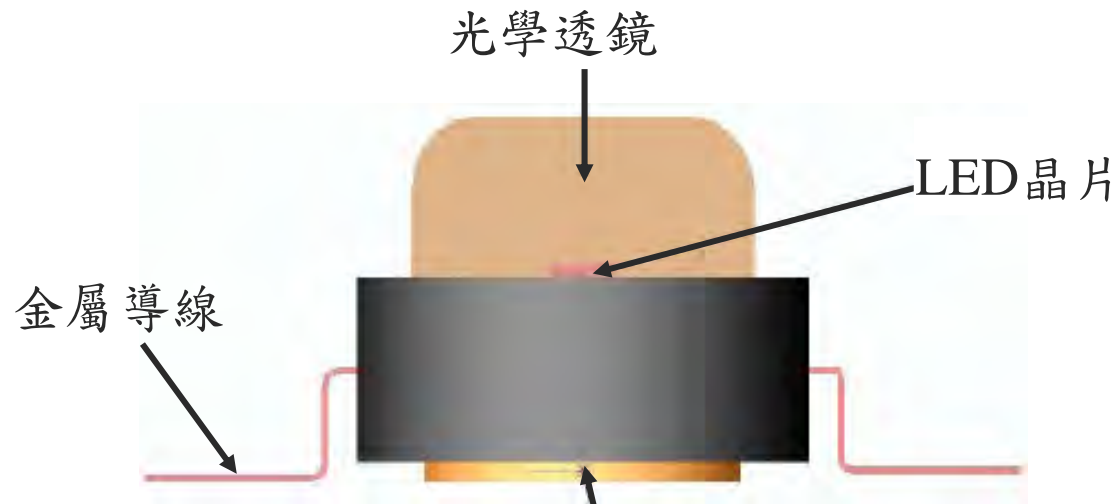
---



[From : Lumileds]

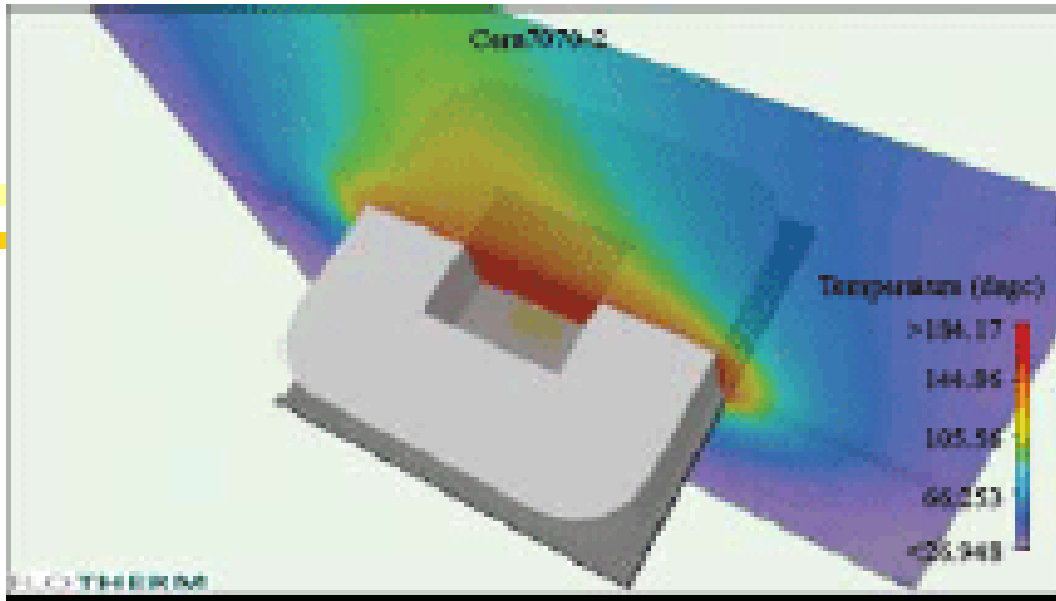


# LED之熱阻分析

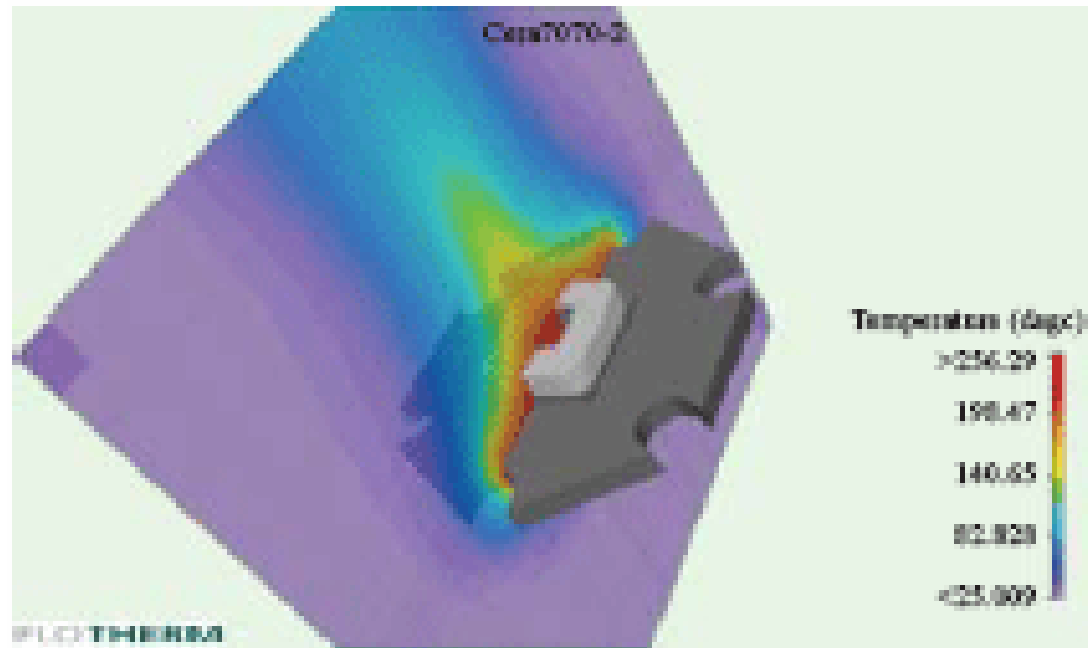


[From : Lumileds]





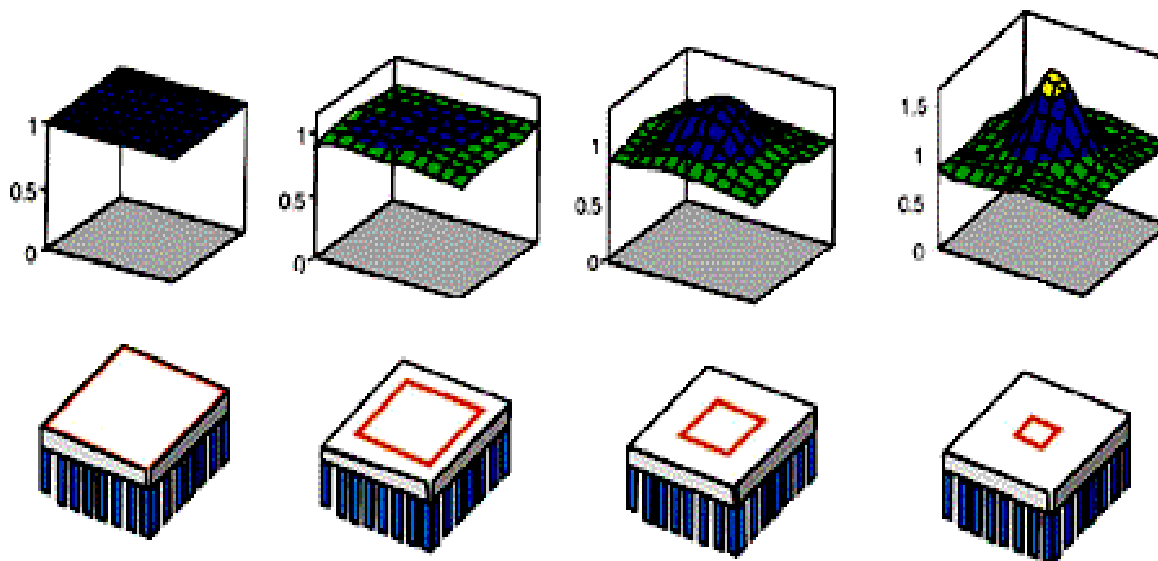
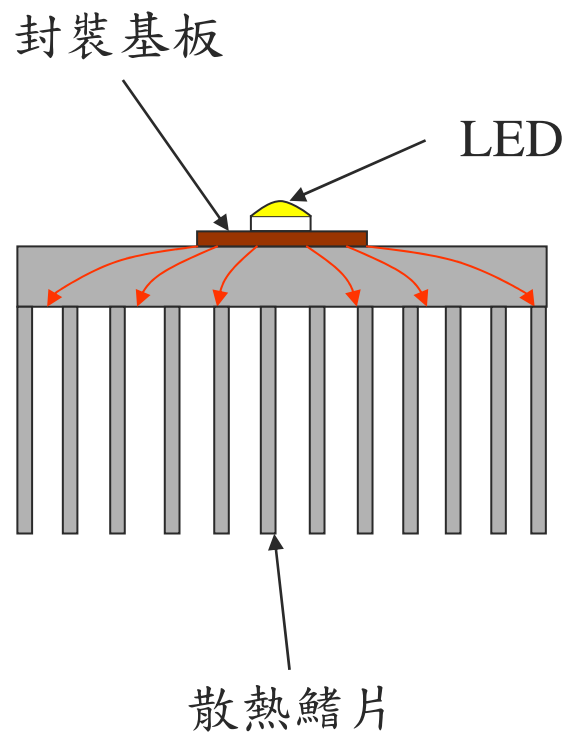
Input Power (W)	$T_j$ (°C)
0.01	29.9
0.05	61.994
0.1	85.162
0.15	106.59
0.2	126.96
0.25	146.6
0.3	165.64
0.35	184.17
0.4	202.23



Input Power (W)	$T_j$ (°C)
0.3	107.96
0.35	119.66
1.0	163.69
2.0	256.29

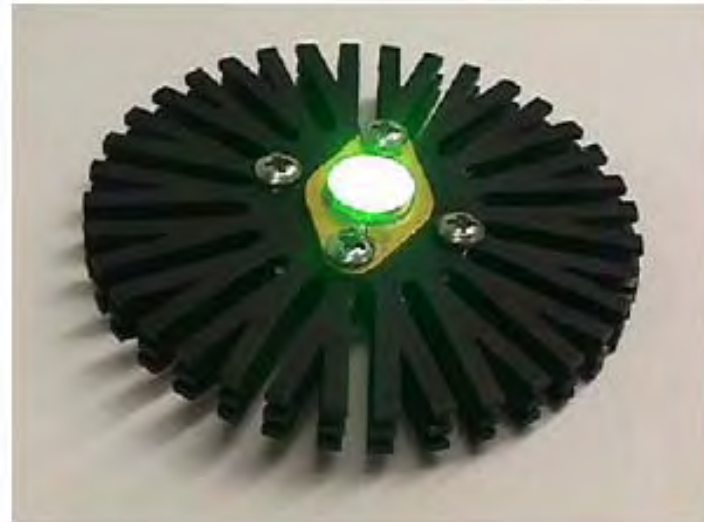
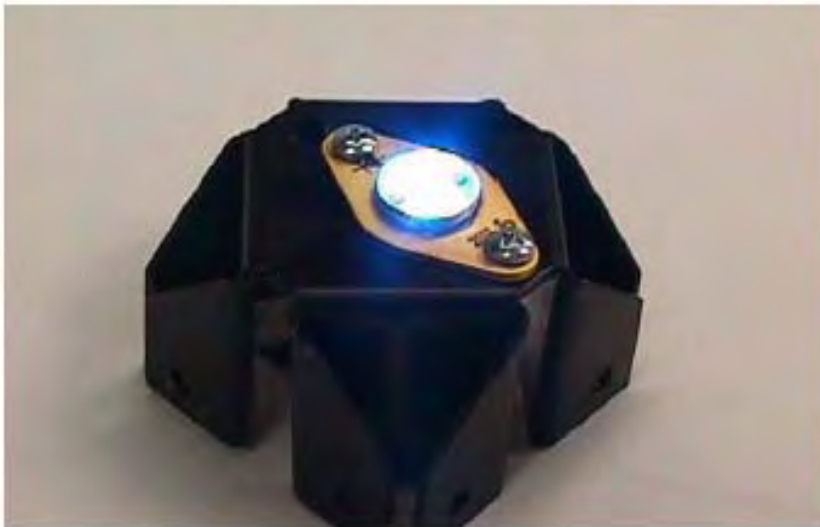
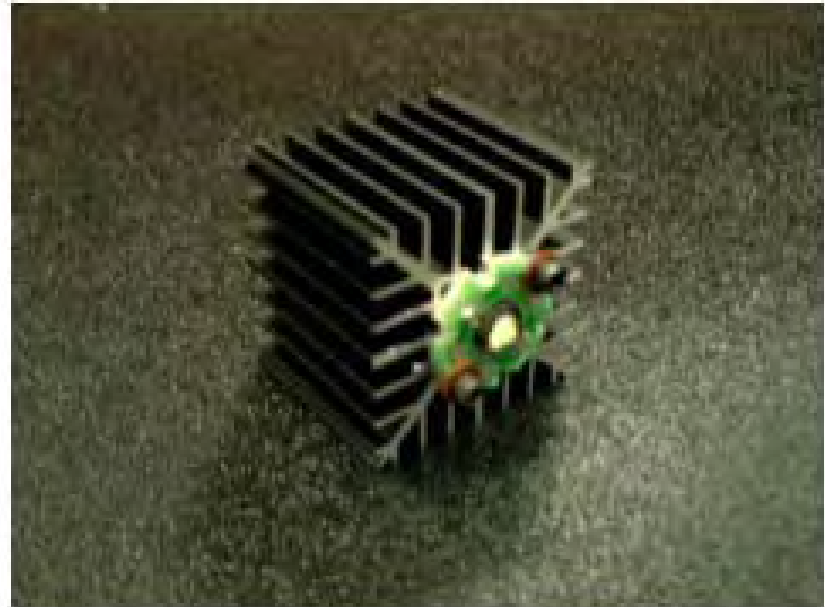
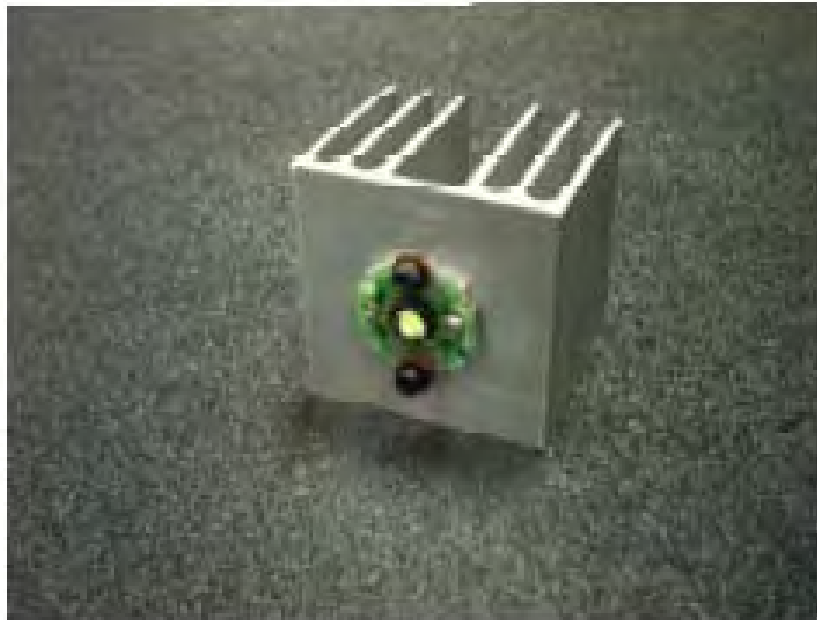


# LED之擴散熱阻

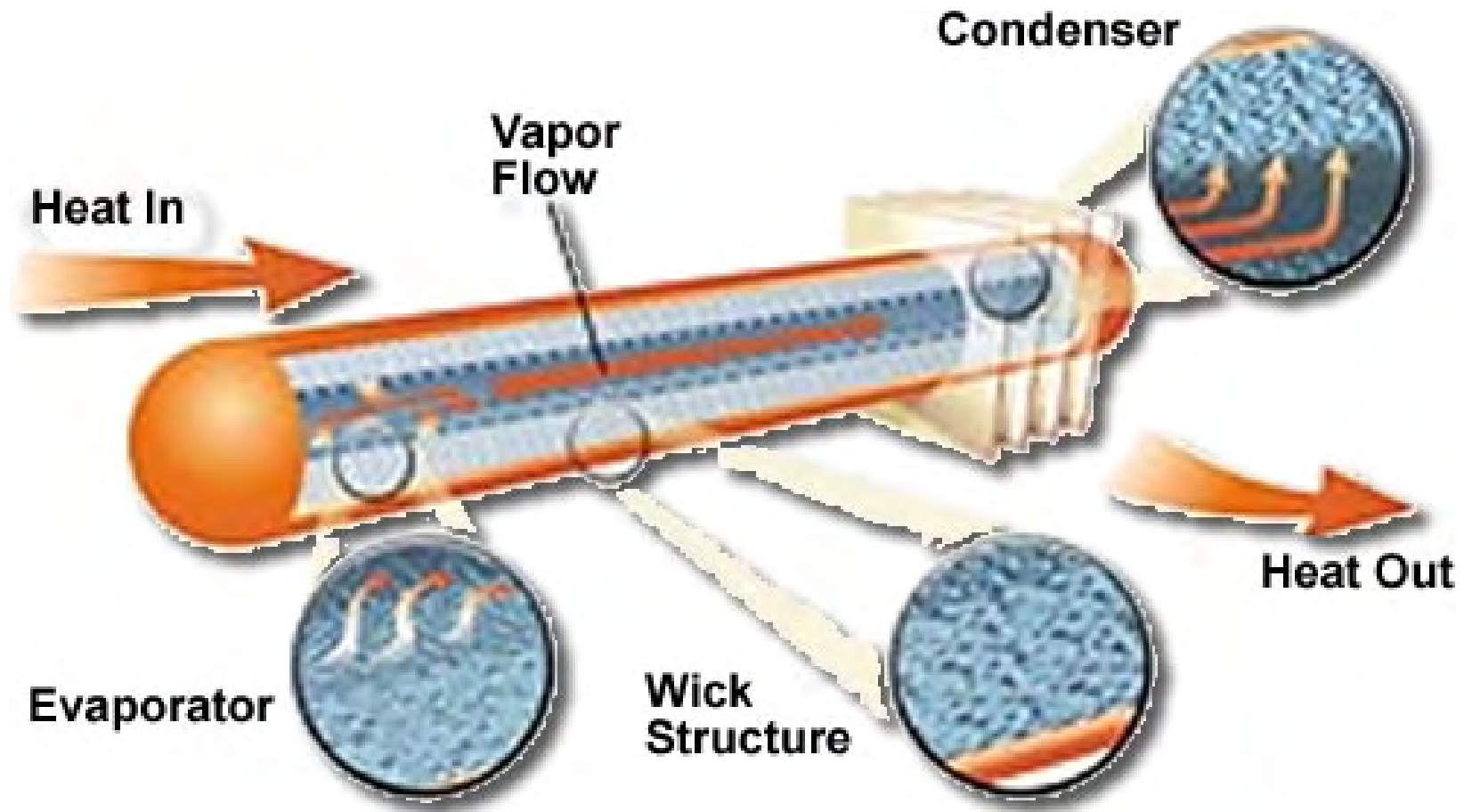


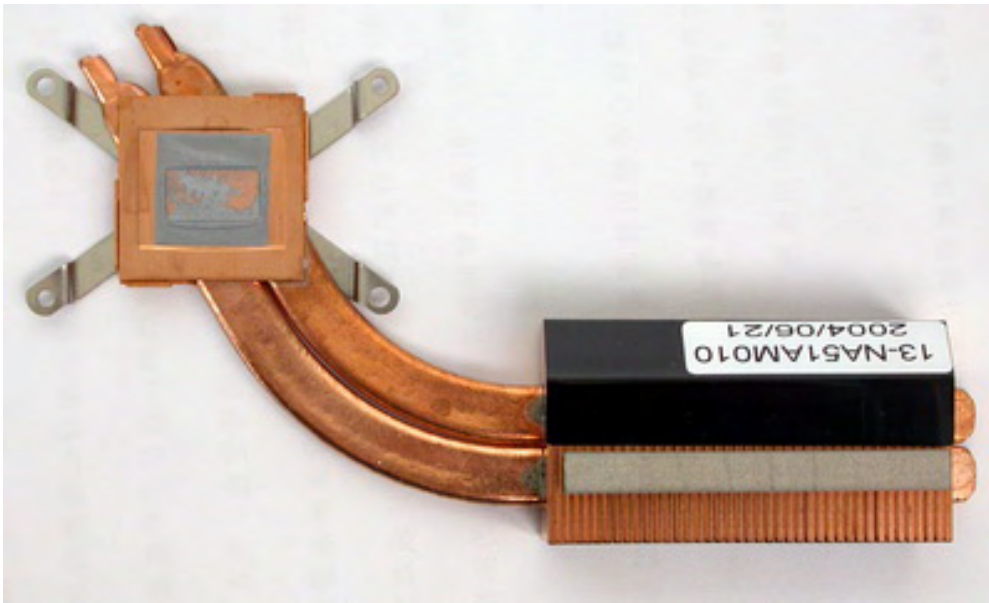
熱源大小對於熱沉溫度分佈的關係示意圖



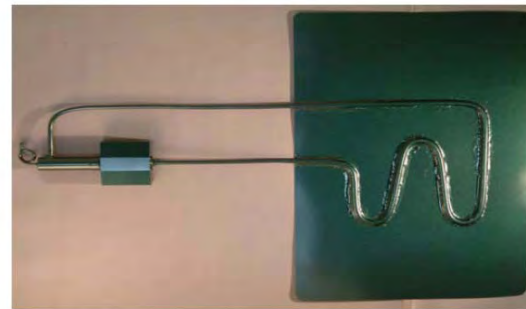
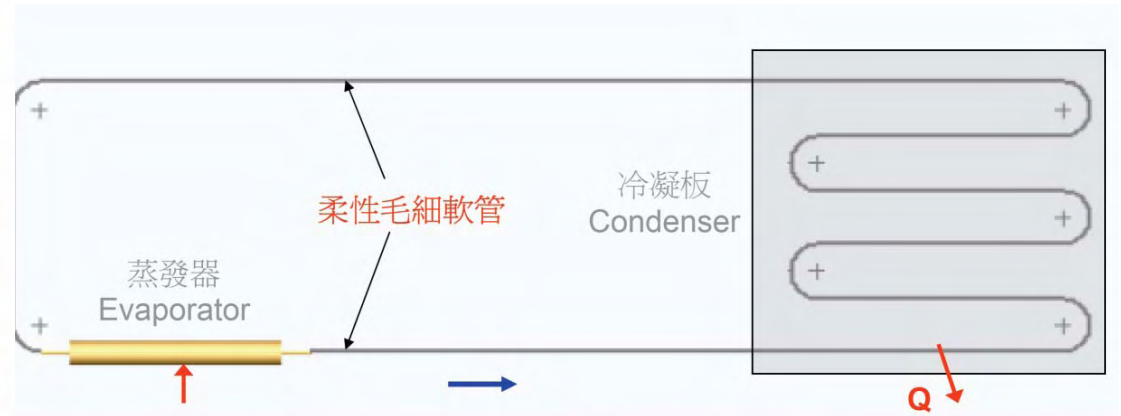


# LED 散熱技術-熱管(Heat Pipe)







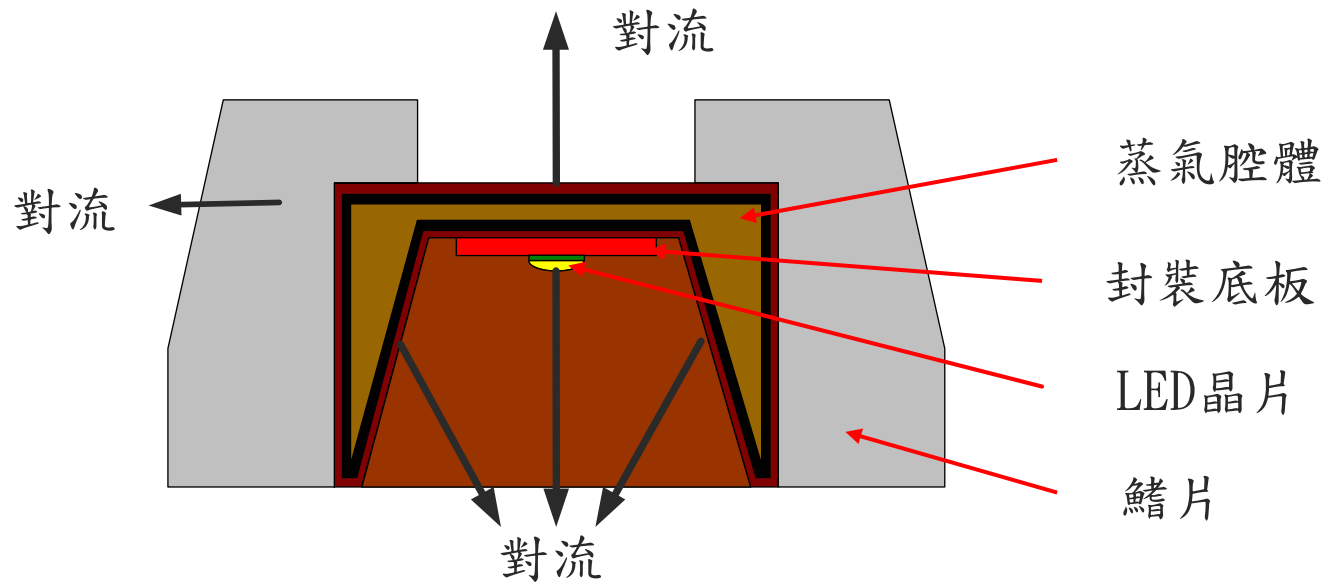
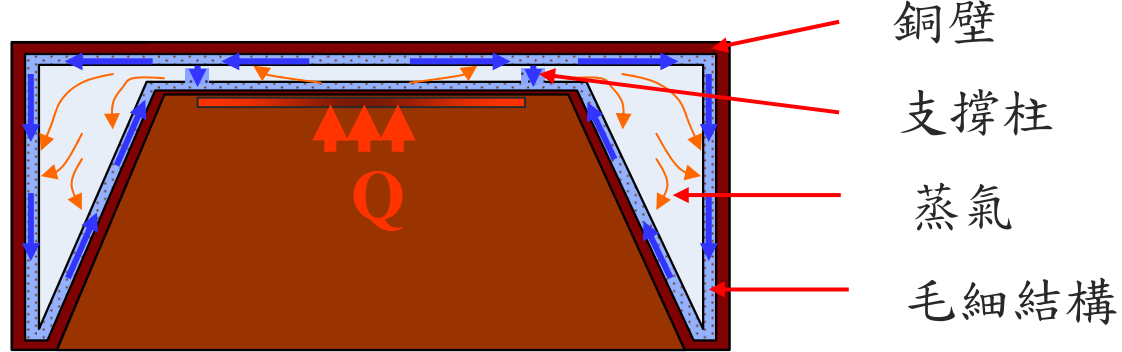


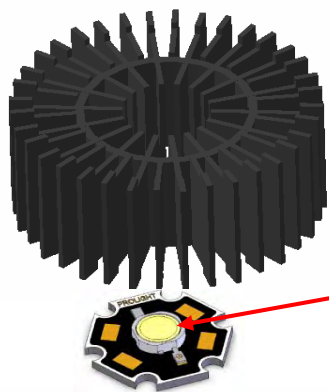
\*B. J. Huang, "LED Lighting technology and application of solar lighting", New Energy Center, Department of Mechanical Engineering, National Taiwan University, (2005).



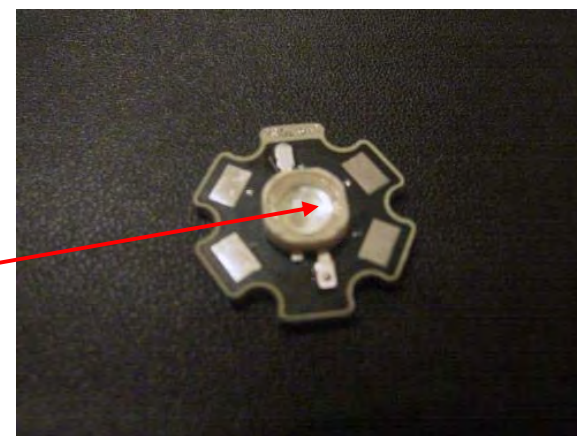
# LED 散熱技術-蒸氣腔體(Vapor Chamber)

## 蒸氣腔體散熱模組

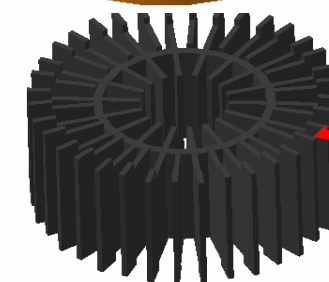




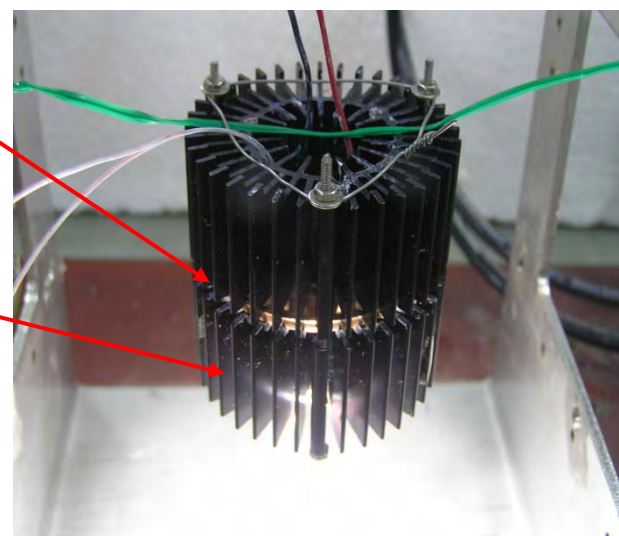
LED晶片

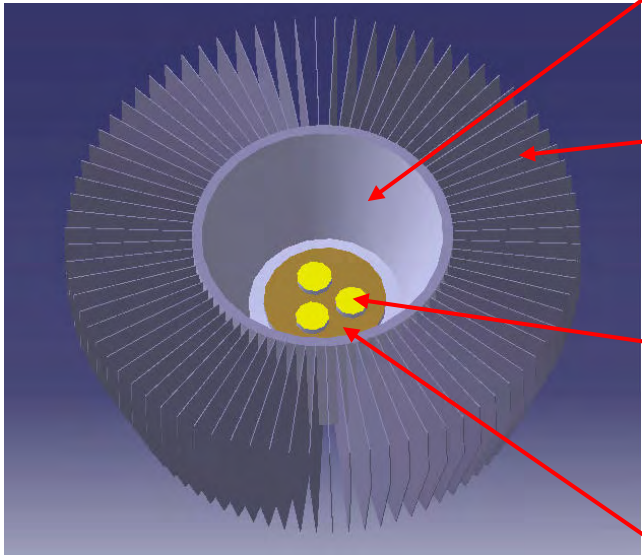


蒸氣腔體



鰭片



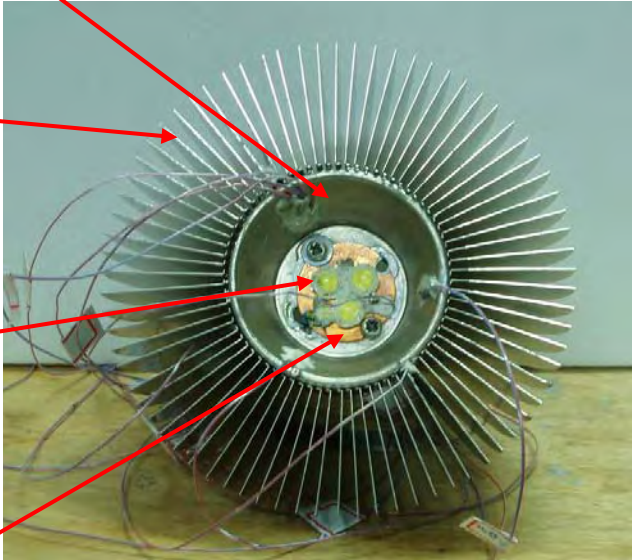


蒸氣腔體

鰭片

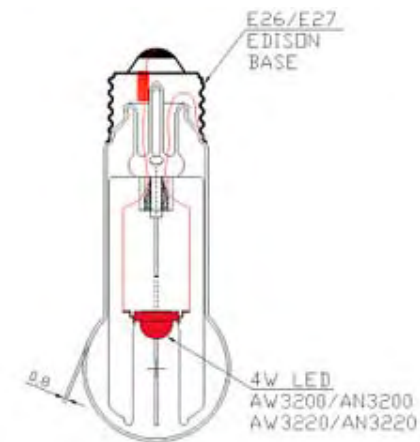
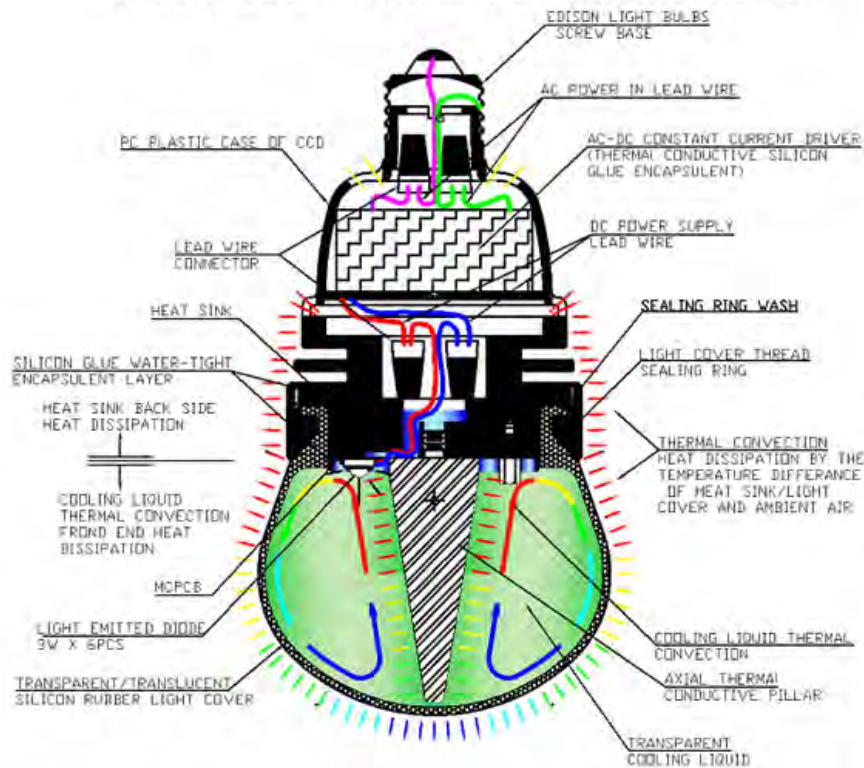
LED晶片

封裝底板



# 冷卻液散熱

HIGH POWER E27 LED 3Wx6PCS BULBS  
WHITE/BLUE/GREEN DETAIL DRAWING



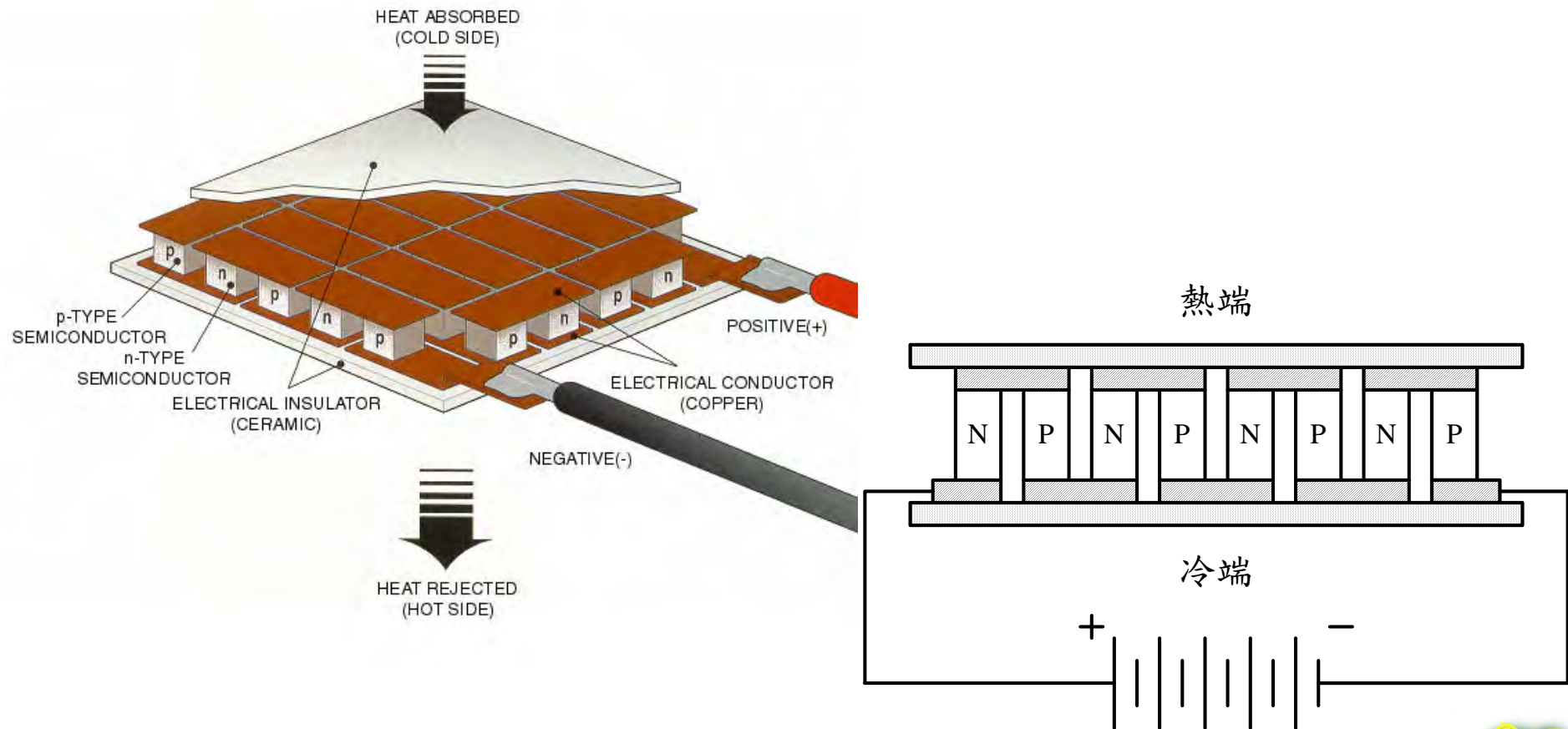
LED燈泡泡體空間裝填冷卻液,作為LED的散熱冷卻及擴大LED的出光角度



[液光固態照明有限公司]



# LED 散熱技術 – 熱電製冷(Thermoelectric Cooling)



# 可動式鰭片特性

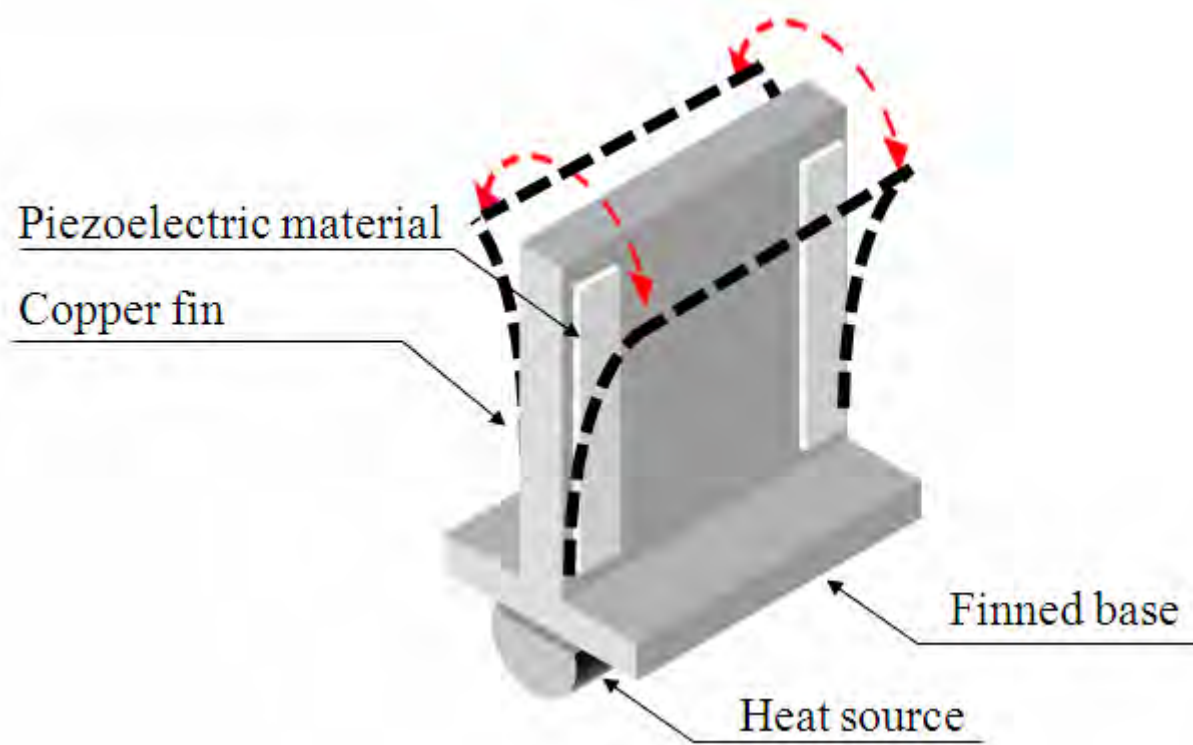


Fig. Vibrating fin



# LED產業發展瓶頸

---

---

- LED路燈市場2008年即將起飛，可望成為第1波打響LED照明應用的先驅，不過路燈規範未明，將侷限LED路燈普及應用，工研院規劃LED路燈照明規範草案擬訂12項量測標準，其中發光效率及配光特性仍是多數廠商的技術瓶頸，而已通過工研院量測的業者仍不到5家。

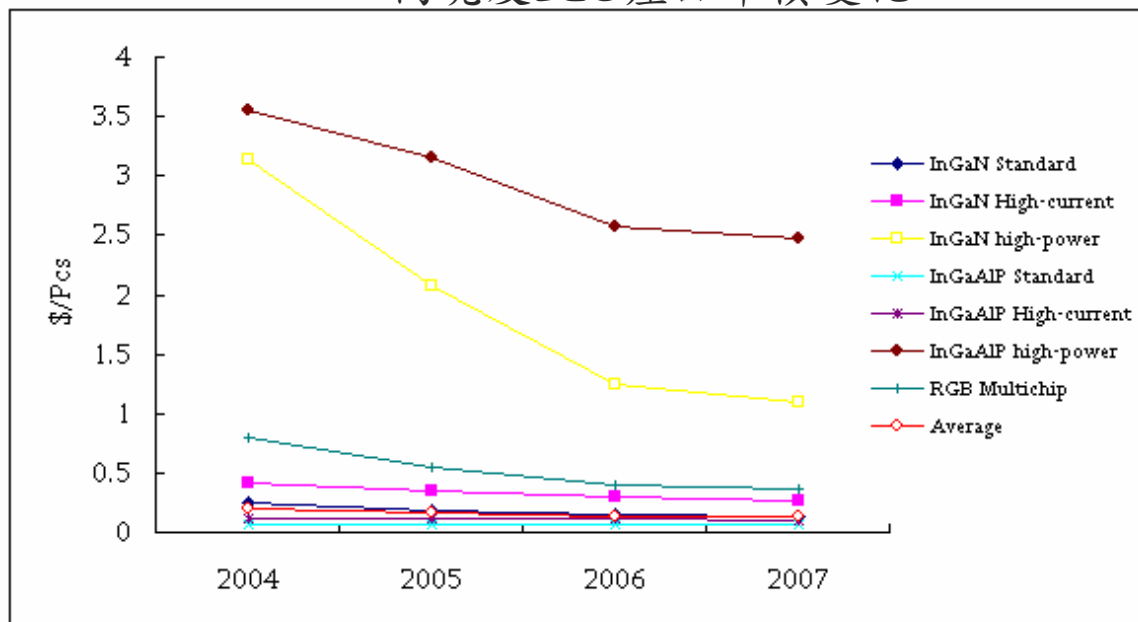
另外，傳統路燈平均間隔約30公尺，但工研院發現，LED照度範圍容易產生死角，導致大陸採用LED路燈的試驗道路易出現照度不均的狀況，對使用者造成安全疑慮，儘管已有廠商著手改善設計，不過通過量測標準的業者仍然屈指可數。





# LED產業發展瓶頸-毛利率普遍下滑

## 2007高亮度LED產品單價變化



資料來源:工研院

- 雖然產品技術特性大幅成長，但為了擴大應用市場，產品單價卻維持不變，相對的代表產品平均售價下跌。
- 高亮度LED被視為未來明星產業，吸引許多廠商爭相進入此市場發展。特別是台灣、中國大陸與南韓等亞洲新興國家，為了取得成本競爭優勢，爭相擴充產能來達到經濟規模，以至於市場供需失序，加速產品單價下滑。

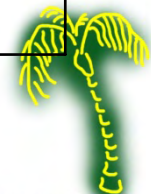


# LED產業發展瓶頸與解決方案

	發展瓶頸	解決方案
技術面	LED亮度及壽命待提升	MOCVD機台 大晶粒製程 Flip Chip 封裝材料 光學設計 散熱
	LED照明專利申請不如國外	UV LED專利 高必v封率專利 照明專利
市場面	價格競爭激烈 上市公司業績壓力	發展高價值產品
	海外市場集中度高	分散韓國及中國大陸市場 發展差異化產品
政策面	技術研發補助僧多粥少	重視研發 產學研合作 策略聯盟
	推動獎勵措施不如預期	配合綠建築推廣，試辦國內示範應用 配合產業界技術Road map訂定租稅減免適用規格
	燈具標準尚待制訂	密切關注國外CIE動向 起草符合國際標準



資料來源:PIDA



# 政府的相應措施

- 經濟部已於2001年完成制定行車管制號誌、車道管制號誌、行人專用號誌等一系列LED標準規範，並委託工研院針對LED光源模組之功能、特性制訂可靠度測試標準，協助各縣市政府對LED交通號誌進行嚴格檢測的把關，節能效益可達85%。
- 2007年12月，台灣政府首先宣佈全台的「照明節能推動方案」，目標是短期內以省電燈泡全面取代白熾燈泡，長期規劃以節能效果更佳的LED燈取代傳統照明。中央、地方等公家機構，一律在2008年底全面汰換白熾燈，並輔導飯店、旅館、住家、農業、市場等，執行自發性換裝省電燈泡，預估在LED燈普及後，台灣的照明用電可大幅減少4成，約107億度電，省下的用電支出高達新台幣267.5億元。
- 台灣依據能源管理法，訂定「照明光源最低能源效率基準」，在2012年後，禁止白熾燈等低效率光源的生產銷售，以強制性手段禁止百貨、旅館等特定能源用戶使用白熾燈等低效率光源。



# 政府的相應措施



資料來源:經濟部工業局



# 政府的相應措施

---

---

- 經濟部整合國內上中下游LED照明業者在2007/6正式成立「LED照明標準及品質研發聯盟」。該聯盟將連結經濟部推動約1.7億元規模的業界科專「LED照明標準與品質研發應用整合計畫」，整合LED產業與照明產業之技術，研發國內第一套完整的LED照明量測標準，以提升產業競爭力。

經濟部技術處於2008年11月發表之草案

- 1.發光二極體系統光學量測標準草案
- 2.LED元件之環境試驗法及耐久性試驗法標準草案
- 3.發光二極體投光燈具驗證標準草案
- 4.LED晶粒光學與電性量測標準草案

<http://doit.moea.gov.tw/index.asp>(經濟部技術處)



---

---

**Thanks for your attention!**

