5. LED結構

- ✧ 可見光發光二極體
- ✧ 白光發光二極體
- ✧ 通訊發光二極體
- ✧ 背光源發光二極體
- ✧ LED結構分析

5. LED結構

1.可見光發光二極體

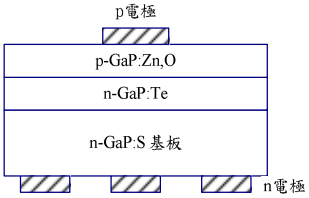
目前常見之可見光發光二極體大約可歸納為：(1)GaP/GaAsP系發光二 極體；(2)AlGaAs系發光二極體；(3)AlInGaP系發光二極體；和(4)GaN系發光二極體。下面將詳細介紹這幾種發光二極體。

❖ **GaP/GaAsP系發光二極體**

此系列之發光二極體有三種：GaP 680nm 紅光發光二極體，GaP 570nm 黃綠光發光二極體，和GaAsP 系發光二極體。

5. LED結構

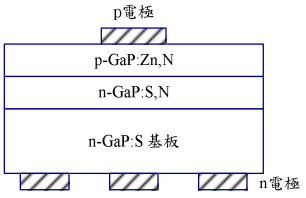
(a)680nm 紅光發光二極體



第1圖 GaP紅光發光二極體的橫截面圖。

5. LED結構

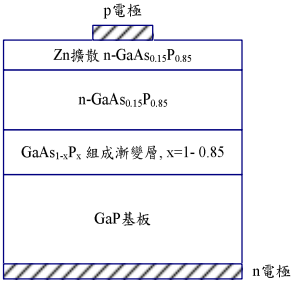
(b)570nm 黃綠光發光二極體



第2圖 GaP黃綠光發光二極體的橫截面圖。

5. LED結構

(c)GaAsP系發光二極體



第3圖 GaAsP黃光發光二極體的橫截面圖。

5. LED結構

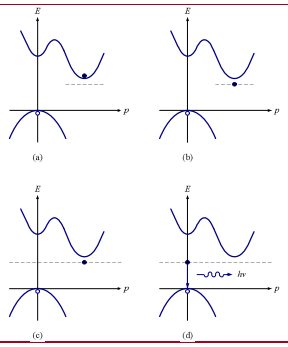
(d)等電子陷阱(isoelectronic trap)理論

本節之發光二極體所使用的GaP和$GaAs_{1-x}P_x$(x>0.45)半導體材料都是間接半導體，其發生輻射轉換的機率非常小。而發光的關鍵在於其所引入的雜質。GaP紅光發光二極體摻的是(Zn,O)，GaP黃綠光發光二極體和GaAsP 系發光二極體摻的是氮(N)原子，此二者稱為等電子中心或等電子陷阱。以$GaAs_{1-x}P_x$為例，當氮(N)原子被引入時，其會取代磷(P)原子的位置，並在能隙中形成一個雜質能階，如第4(a)圖所示。氮(N)原子的雜質能階可以捕捉電子，如第4(b)圖所示。因為氮(N)原子的陰電性比較強，所以被捕捉電子的運動空間較狹小。根據海森堡測不準原理(Heisenberg uncertainty principle)：

$$\Delta x \cdot \Delta p > \hbar \quad (1)$$

所以其動量值較大，如第4(c)圖所示。因此，部分的電子會和電洞具有相同的動量，與其複合而發光，如第4(d)圖所示。

5. LED結構



第4圖 具有等電子陷阱之間接半導體發光的過程。

5. LED結構

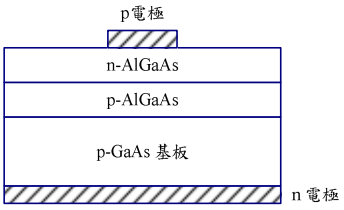
1.可見光發光二極體

- **AlGaAs系發光二極體**

此系列之發光二極體發光波長為660nm紅光，但是依結構可分為三種：單異質結構(single heterostructure, SH)，雙異質結構(double heterostructure, DH)，雙行雙異質結構(double line-double heterostructure, DDH)。其主要係以液相磊晶技術(Liquid-Phase Epitaxy, LPE)成長。

5. LED結構

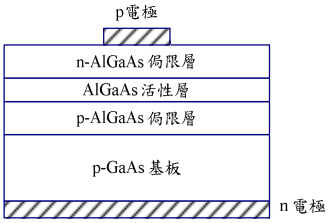
(a)單異質結構AlGaAs紅光發光二極體



第5圖 SH結構AlGaAs發光二極體的橫截面圖。

5. LED結構

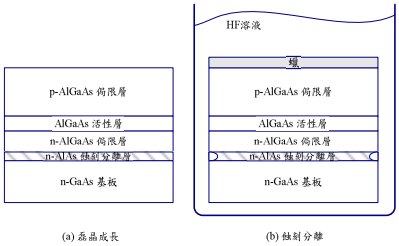
(b)雙異質結構AlGaAs紅光發光二極體



第6圖 DH結構AlGaAs發光二極體的橫截面圖。

5. LED結構

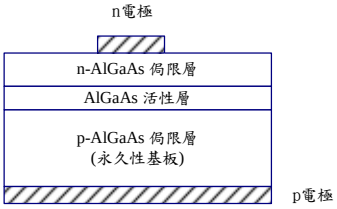
(c)雙行雙異質結構AlGaAs發光二極體



第7圖 DDH結構AlGaAs發光二極體的臨時性基板分離過程。

5. LED結構

(c)雙行雙異質結構AlGaAs發光二極體

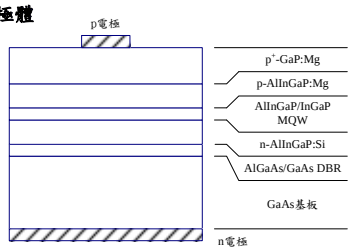


第8圖 DDH結構AlGaAs發光二極體的橫截面圖。

5. LED結構

1.可見光發光二極體

❖ **AlInGaP系發光二極體**

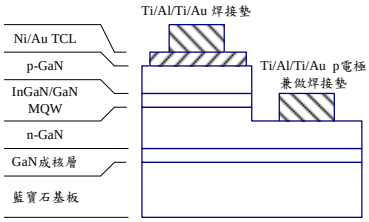


第9圖 AlInGaP發光二極體的橫截面圖。

5. LED結構

1.可見光發光二極體

❖ **GaN系發光二極體**



第10圖 GaN發光二極體的橫截面圖。

5. LED結構

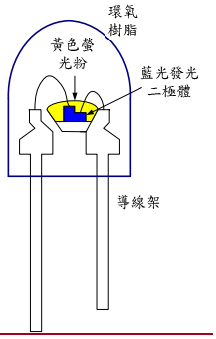
2.白光發光二極體

因為發光二極體是一種半導體元件，故壽命長；由電轉換為光的效率高，耗電量少；同時發光二極體元件是一種極小的發光源，所以可配合各種應用設備的小型化。和一般燈泡比較起來，發光二極體燈泡的壽命要高出50-100倍，二極體本身耗費的電量約是一般燈泡的1/3-1/5，由於白色發光二極體燈泡具有多項優點，可望在二十一世紀取代鎢絲燈和水銀燈，成為兼具省電和環保概念的新照明光源。

5. LED結構

❖ **藍光發光二極體/黃色螢光粉**

此種白光發光二極體係在封裝時，使用GaN藍光發光二極體當作激發光源，然後在GaN藍光發光二極體上覆蓋一層黃色螢光粉，最後再用環氧樹脂(epoxy)模塑成型，如第11圖所示。



第11圖 典型封裝的白光發光二極體。

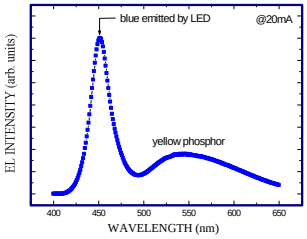
5. LED結構

2.白光發光二極體

❖ **藍光發光二極體/黃色螢光粉**

當材料粒子的尺寸縮小到奈米等級時，其物理和化學性質會發生改變，因此，奈米技術(nanotechnology, NT)被認為是二十一世紀最重要的技術之一，世界各國都非常重視。發光二極體則是下一世代照明技術當中，因耗電量低和壽命長等特性，而成為最被看好的照明光源，一般稱之為固態照明(solid state lighting, SSL)。如果將奈米技術應用在發光二極體上，是否可以大幅提升發光二極體的性能呢？傳統的商用白光發光二極體(light-emitting diode, LED)包含：當作激發光源之藍光LED，和黃色螢光粉，如第11圖所示，其中黃色螢光粉被藍光激發之後發出黃光，加上藍光混光之後形成白光，而光譜如第12圖所示。最常見的黃色螢光粉係由釔鋁石榴石(yttrium aluminum garnet, YAG)所製成的，其化學式為$Y_3Al_5O_{12}$。

5. LED結構



第12圖 傳統白光發光二極體的光譜。

5. LED結構

❖ **藍光發光二極體/黃色螢光粉**

為了獲得更高亮度的白光發光二極體，必須發展更高亮度的激發光源，或是具有更高發光轉換效率的螢光粉。本文將介紹奈米級螢光粉的相關發展。目前奈米級螢光粉的研究方向主要有兩種：量子點螢光粉和奈米螢光粉。下面將分別介紹。

(a)奈米效應

當材料尺寸縮小到奈米等級時，會發生一些有趣的現象：

5. LED結構

(a)奈米效應

當材料尺寸縮小到奈米等級時，會發生一些有趣的現象：

❑ **表面效應**

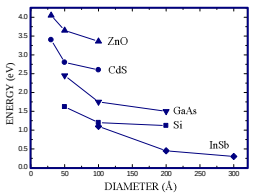
材料粒子縮小到奈米等級時，分佈於奈米粒子表面的原子數比例隨之增加，使得奈米粒子表面有較高的位能，而使奈米粒子具有很高的活性，這個現象就是所謂的奈米效應。例如，當導電的銅粒子縮小到某一奈米尺度時就不再導電；原本惰性的金，在奈米尺度下可以當作非常好的催化劑等。

當材料粒子變小，比表面積（表面積／體積）相對地增加，而比表面積增加會引發物質化學活性、光學、熱性質等的改變，這就是所謂奈米粒子的表面效應。

5. LED結構

❑ **量子尺寸效應**

發光二極體所發的光色跟其能隙有直接的關係，但是當半導體材料的尺寸縮小到數個奈米時，也是遵守這樣的關係嗎？1986年，哥倫比亞大學的Brus估算出幾種半導體原子團直徑與能隙的關係，如第8.12圖所示。而矽半導體也有類似的現象。此種當半導體材料的尺寸改變時，其能隙也會改變的現象稱為量子尺寸效應(quantum size effect, QSE)。

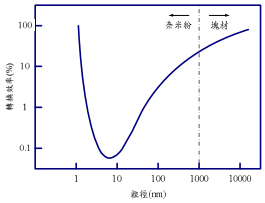


第13圖 量子尺寸效應。

5. LED結構

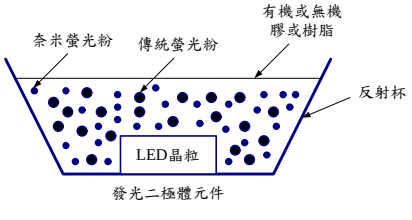
(b)奈米螢光粉

美國Nanocrystals Technology公司的Bhargava博士在1993年提出一種假設：當螢光粉的粒徑約小於7nm時，隨着粒徑的減小，其發光效率會急遽增加，如第14圖所示。此一假設引起全世界各國相關研究人員的注意而相繼投入奈米螢光粉的研究。另一方面，LumiLeds的研究人員發現：傳統螢光粉轉換發光二極體之效率的下降，係因螢光粉粉粒對一次光(發光二極體的光)和二次光(螢光粉的光)的散射，於是在2002年6月7日提出應用在發光二極體之奈米螢光粉(粒徑<<1μm)的專利，如第15圖所示。



第14圖 螢光粉的粒徑與轉換效率之關係圖。[Nanocrystals Technology公司]

5. LED結構

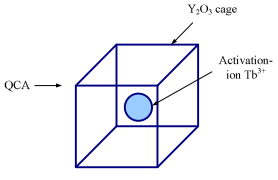


第15圖 使用奈米螢光粉的發光二極體。

5. LED結構

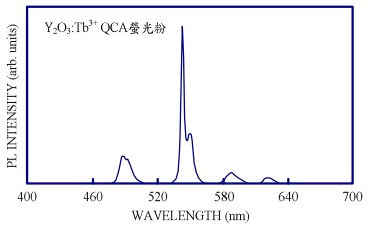
(c)量子點螢光粉

量子點螢光粉的粒徑約為2 ~ 10nm，這比奈米螢光粉的粒徑還要細。其具有：無史脫克(Stokes)藍位移效應，光吸收率高，和高溫下穩定等特性。目前有研究成果的大約有三種：量子侷限型原子(quantum confined atom, QCA) 螢光粉，ZnS系之半導體螢光粉，和Si半導體螢光粉。Nanocrystals Technology公司所提出的量子侷限型原子(quantum confined atom, QCA) 螢光粉，第16圖圖示 Y_2O_3:Tb^{3+} QCA螢光粉的結構，其螢光特性如第8.17圖所示，但是到目前為止似乎並未應用在發光二極體上。根據Nanocrystals Technology公司所發表的資料，目前QCA螢光粉的量子轉換效率約為70%；



第16圖 Y2O3:Tb3+ QCA螢光粉的結構。[Nanocrystals Technology公司]

5. LED結構

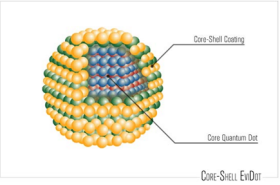


第17圖 Y_2O_3:Tb^{3+} QCA螢光粉的激發光譜。

5. LED結構

(c)量子點螢光粉

LumiLeds 公司和美國能源部(U. S. Department of Energy)所屬之Sandia National Laboratories 所共同開發的ZnS系量子點螢光粉，如第8.18圖所示。LumiLeds所使用的量子點螢光粉係由CdSe核心和ZnS外殼所構成的，如第18圖所示CdSe核心的尺寸可以決定量子點螢光粉的吸收和發光特性，而ZnS外殼可以將電子和電洞侷限在核心，而且可以電性和化學性鈍化量子點螢光粉的表面。根據美國能源部在2004年所發表的資料，量子點螢光粉的量子轉換效率約為76%，此結果稍優於QCA的量子轉換效率。

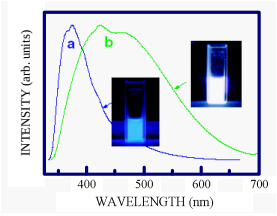


第18圖 CdSe核心-ZnS外殼量子點螢光粉的示意圖。[Evident Technologies公司]

5. LED結構

(c)量子點螢光粉

除了上述這兩類螢光粉之外，韓國西江大學(Sogang University)和韓國科學技術研究院(KIST)另闢蹊徑，研發出Si量子點螢光粉。Si奈米晶之能隙變化如第13圖所示。如圖所示，當Si晶體的尺寸小至奈米級後，電子會受到量子侷限效應的影響，不但能隙會變大，而且原本間接能隙的能帶結構也會變成直接能隙的能帶結構，使得原本不會發光的Si半導體，在變成量子點之後，就可發出單色光或白光。第19圖為以325nm-UV光照射兩種不同粒徑(曲線a:80nm, 曲線b:190nm)之Si量子點螢光粉的激發光譜。



第19圖 兩種不同粒徑之Si量子點螢光粉的激發光譜。

5. LED結構

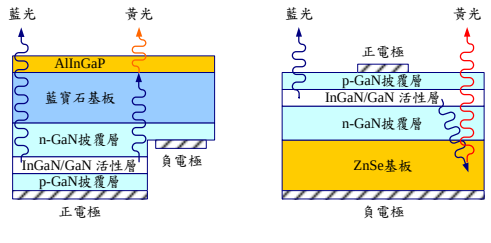
❖ **光子回收式白光發光二極體**

波士頓大學光子研究中心的E. Schubert研究團隊在1999年提出一種白光發光二極體組態。其係將GaN系藍光發光二極體磊晶片(採用藍寶石基板)和AlInGaP系黃光發光二極體(採用GaAs基板)，利用晶片貼合技術(wafer bonding)黏貼在一起，然後使用濕式蝕刻法移除GaAs基板，最後製作成示於第20(a)圖之元件。在元件操作時，AlInGaP活性層會吸收部分的藍光而發出黃光，經由光色混合之後，可以觀察到白光。

另一方面，日本的住友電工也提出一種白光發光二極體組態，其係採用ZnSe基板，然後利用MOCVD磊晶技術在ZnSe基板上成長GaN系發光二極體結構，最後製作成示於第20(b)圖之元件。在元件操作時，GaN系藍光發光二極體結構會發出藍光，而有部分的藍光會射入ZnSe基板，由於ZnSe基板呈現黃色，因此當較高能量的藍光射入時，ZnSe會吸收藍光而發出黃光，經由光色混合之後，也可以觀察到白光。

上述之AlInGaP和ZnSe都是吸收具有較高能量的光線而發出較低能量的光線之半導體材料，因此，可以將其稱之為半導體波長轉換體(semiconductor wavelength converter)，而採用半導體波長轉換體之白光發光二極體稱為光子回收式(photon recycling)白光發光二極體。

5. LED結構

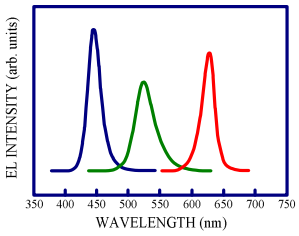


第20圖 採用半導體波長轉換體之光子回收式白光發光二極體。

5. LED結構

❖ **多晶片式白光發光二極體**

利用紅、綠、藍三種發光二極體，光譜圖如第21(a)圖所示，調整其各別亮度來達到白光，而為了或得白光，紅、綠、藍的亮度比3：6：1，或只利用紅、綠或藍黃兩顆LED調整其各別亮度來發出白光。但是，缺點是價格較貴，只能用在高附加價格的產品上，例如：LCD背光源模組。

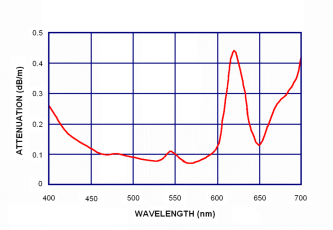


第21圖 RGB三色發光二極體的光譜。

5. LED結構

3.通訊發光二極體

用於通訊之發光二極體可分為兩種：(a)有線傳輸，即用於短距離之光纖通訊的共振腔發光二極體，(b)無線傳輸，即用於遙控或短距離資料傳輸的紅外線發光二極體。



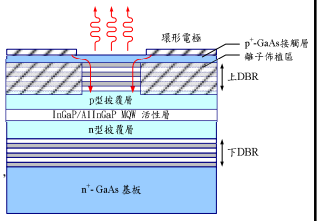
第23圖 典型PMMA光纖的衰減。

5. LED結構

❖ **共振腔發光二極體(resonate cavity light-emitting diodes, RCLEDs)**

❑ **650nm AlGaInP/GaAs RCLEDs**

使用AlInGaP材料系統之650nm RCLED已在1998年由K. Streubel研究團隊研製成功，其元件的橫截面示意圖如第24圖所示，元件係由AlInGaP/InGaP 多重量子井(Multiple-Quantum-Well, MQW)活性層和AlInGaP披覆層所組成的。DBR係由AlAs/AlGaAs層構成，DBR之AlGaAs層中的Al含量可以選擇適當。另一方面，RCLED具有環形的上接觸電極，使其有容易耦合至光纖之圖形光點。由於環形接觸電極的外圍區域使用離子佈植，而產生絕緣區，所以電流會經由環形接觸電極流進元件的中央。注意，離子佈植區係只位在p型區，而且不會延至進入活性層，因此可以避免在活性層中產生缺陷，而使元件退化。



第24圖 650nm AlInGaP/InGaP RCLED的典型結構。

5. LED結構

4.背光源發光二極體

液晶顯示器(LCD)係一種本身不會發光的顯示器，所以需要光源，如陽光，日光燈和LED燈，才能看見其所顯示的內容。在照明用之氮化鎵系發光二極體光源的亮度尚未到達市場的要求之際，2002年彩色手機的流行使得氮化鎵系LED的應用大幅成長，甚至供不應求。也因此LCD面板廠開始考慮中大型尺寸之LCD螢幕，甚至LCD TV(液晶電視)的背光源是否可以採用LED燈。2004年11月，SONY首度推出使用LED燈當作光源的LCD TV – QUALIA 005。因此，正式宣告雙D(LED和LCD)產業結合。

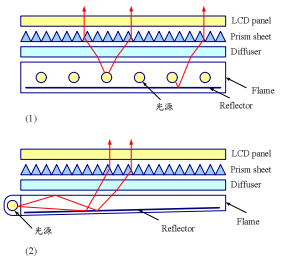
液晶顯示器的組成可分為顯示器面板、連接軟板(驅動IC)、背光模組(backlight module)與框架四大部分，其中背光模組中光源將是2006年產業界的發展重心，目前7吋以下的液晶面板大多係以LED取代傳統的冷陰極螢光燈管(CCFL)，而2006年將進行到7-10.4吋的液晶面板。

5. LED結構

4.背光源發光二極體

❖ **LCD的背光源**

背光模組由光源、導光板、光學膜片、塑膠框等主要組件組成，由於液晶面板不是主動元件，本身不會發光，因此背光模組的主要功能就是提供液晶面板光源，將光投射出使用者的方向，透過液晶面板將色彩及畫面呈現給使用者。第27圖圖示兩種背光模組的配置方式：(1)直下式和(2)側光式。



第27圖 LCD背光模組配置示意圖：(1)直下式和(2)側光式。

5. LED結構

❖ **LCD的背光源**

目前最常見的光源是冷陰極螢光燈管(Cold Cathode Fluorescent Lamp；CCFL)。冷陰極電管是先將螢光燈管管壁塗佈螢光粉，利用二次電子的放射撞擊汞蒸氣後發出紫外光，紫外光發射後撞擊到螢光燈的管壁，將紫外光轉換成為可見光。但是，環保議題將是CCFL的致命傷。根據「歐盟特定有害物質管制指令」的規定，雖然以目前CCFL的含汞量而言仍然可以使用，但是已經引爆無汞替代光源的強烈需求。

其次，另一種常用的光源是發光二極體(Light Emitting Diode)，發光二極體主要是應用在小尺寸的LCD面板光源，如手機、PDA、遊戲機、各類型儀表、車用型數位電視等輕薄短小的電子產品，LED主要是因為具有幾項重點特色：主動式發光源具有質量輕、體積小、製造成本低且兼具省電之低功率光電元件特性，因此現階段以LED背光源已廣泛的應用於各項產品。

5. LED結構

❖ **技術分析**

❑ **光色**

LCD面板所使用的白光LED燈有兩種：(1)藍光LED加黃色螢光粉和(2)RGB三色LED模組。藍光LED加黃色螢光粉之白光LED的結構非常簡單，而且發光效率很高，目前被當作小尺寸LCD的背光光源，缺點是紅色成份的強度較弱。

因此，大尺寸LCD的背光光源通常係採用RGB三色LED模組。此種LED模組的演色性很好(可達85%)。RGB三色LED模組有兩種：(1)紫外光LED加RGB三色螢光體粉和(2)單體RGB三色LED。前者由於紫外光LED的發光效率不佳，而且紫外光會使封裝樹脂與螢光粉劣化，所以尚處在實驗室研發階段。後者容易產生顏色不均勻的現象，因此這方面，就必須由增加光的路徑，改善背光結構，以達成充分混光的目標。此外，由於LED的光色會隨時間和溫度而有所改變，因此必須以色彩感測器或溫度感測器控制電流大小，以調整各色LED所需的光通量。

5. LED結構

❑ 點燈技術

LED在直流操作和交流操作時亮度不同，在直流操作時亮度較亮，但消耗功率較大且產生的熱也多，而交流操作時亮度較暗，但消耗功率較少且產生的熱也少。另一方面，LED的光色(發光波長)也會因溫度(外在或內在因素)和注入電流的不同而產生非線性變化。因此，點燈電路設計也是LED背光模組的另一個關鍵因素，例如設計因LED非線性的變化所影響的亮度控制和白平衡調校。如果使用藍光LED加黃色螢光粉的白光LED燈，點燈技術相對簡單。但是，如果使用單體RGB三色LED燈時，三顆LED晶粒的特性不同，所以對外在環境的對應變化也不一樣。

例如，2005年5月，三菱電機在2005年顯示資訊學會(SID 2005)發表了一款以6色LED搭配雙色彩色濾光片的LCD，其中背光源係利用兩組3色LED搭配而成，其波長分別為第一組的410nm（藍）、540nm（綠）、615nm（紅），及第二組的430nm（藍）、510nm（綠）、625nm（紅），在每一個框架中，LED係採用子場順序方式點亮。

5. LED結構

為了解決上述的缺點，SONY採用脈衝寬度調變(pulse width modulated, PWM)技術。另外，因為LED本身特性的關係，縱使點燈電路設計的相當優異，但是由於長時間的發光下，溫度、長時間使用所帶來的白平衡變化，也是很難預期的，例如在低溫點燈時畫面可能會稍偏紅色，經過一段時間後，才會轉回白色等等，都是因為LED特性所造成的變化。另一方面，為了對LED的光色進行監控，則需要增加光色感測器，以監控亮度及白平衡。

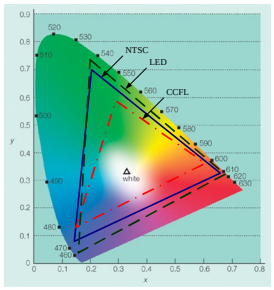
❑ 色域(NTSC)

1953年，美國國家電視標準委員會(NTSC)根據美國照明協會(CIE)的1931年版色度座標圖，訂定彩色電視的色域(或以NTSC直接稱之)。如第28圖所示之實線範圍，在CIE的1931年版色度座標圖中，由紅色座標(0.67, 0.33)，綠色座標(0.21, 0.71)，和藍色座標(0.14, 0.08)所圍之區域稱為色域，而白色座標為(0.31, 0.316)。

5. LED結構

因此，使LCD 面板(或電視)的色域接近NTSC，也就成了LCD廠商努力的 目標。由於需要背光源，所以採用何種背光源也就最直接地影響LCD的色彩表現能力。

傳統上，幾乎所有大尺寸的LCD都採用冷陰極管（CCFL）作為背光光源，冷陰極管的色溫約為4800K，由於先天的條件，目前CCFL僅能達到65～75% NTSC所規範的色域表現，如第28圖所示之點虛線範圍。事實上，在2005年已經有相當多公司發表以3色LED作為LCD的背光源，甚至號稱可以超越NTSC色域。



第28圖 NTSC所定義的色域和LED模組所產生的色域。

5. LED結構

SONY的QUALIA 005係採用美國Lumileds Lighting公司的Lumileds LuxeonTM LEDs，其色域範圍可達105%NTSC，如第28圖所示之虛線範圍，而其色度座標則表列於表1。利用RGB三色LED表現出的色域超過CCFL的150%。但是，因為LCD面板的亮度最低大多約為 300 nit，若以10%的穿透光計算，約需要使用80顆LED燈，所以需要解決LED燈所演衍生的散熱問題。

表1 Lumileds RGB-LED的色度座標

色度座標	x	y
R	0.6824	0.3152
G	0.1991	0.7209
B	0.1566	0.0237

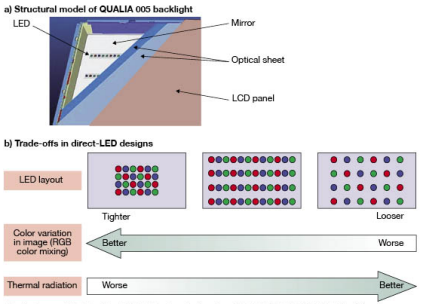
5. LED結構

❖ 散熱

由於， LED的熱效應會影響亮度與光色(色度)，所以散熱問題是一個相當重要的課題。 散熱最直接的方法就是使用風扇，目前已有一些解決方案來達到散熱的效果，例如，SONY是利用風扇、導熱管與散熱片（heat sink），把導熱管做橫向排列，並且將大型散熱片放在模組背面兩側， 利用這樣的設計，可以將導熱管傳送出來的熱，分散到兩側裝有風扇的散熱片進行散熱。但是因為隨著面板尺寸的擴大，使用的風扇數量也會隨之增加，如此一來，數量龐大風扇會又產生噪音的問題。因此，問題又回到LED。

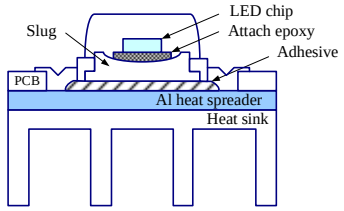
從最近這兩年所發表的專利來看，解決的方向有二：改變模組機構的設計和晶粒與構裝支架，如此才能達到低溫且亮度高的LED燈。第29圖係SONY QUALIA 005的散熱機構。第30圖係SONY QUALIA 005所採用的Lumileds高功率LED之散熱設計。

5. LED結構



第29圖 SONY QUALIA 005的散熱機構設計。[Nikkei Electronics]

5. LED結構



第30圖 Lumileds的Luxeon高功率LED之散熱設計。

5. LED結構

5.LED結構分析

由上可知，發光二極體的種類繁多，故將上述的各種發光二極體之特徵整理成下表：

光色	基板	發光層	結構	磊晶方式	發光波長 (nm)	裸晶亮度 (mcd)(典型值)
紅外線	GaAs	AlGaAs	DH	LPE	880, 940	---
紅光	GaP	GaP	HS	VPE+擴散	700	0.6
紅光	GaP	GaAsP	HS	LPE	650	15
紅光	GaAs	AlGaAs	SH	LPE	660	20
紅光	GaAs	AlGaAs	DH	LPE	660	50
紅光	AlGaAs	AlGaAs	DDH	VPE+擴散	660	70

5. LED結構

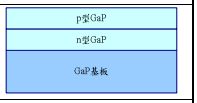
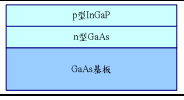
橘紅光	GaP	GaAsP	HS	VPE+擴散	630	15
橘紅光	GaAs	AlInGaP	MQW	MOCVD	625	150
黃光	GaP	GaAsP	HS	VPE+擴散	590	15
黃光	GaAs	AlInGaP	MQW	MOCVD	590	100
黃綠光	GaP	GaP	HS	LPE	570	14
綠光	sapphire	InGaN	MQW	MOCVD	525	300
藍光	sapphire	InGaN	MQW	MOCVD	470	100
白光	sapphire	InGaN+黃色螢光粉		MOCVD	470+580雙峰	50流明/瓦

5. LED結構

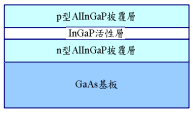
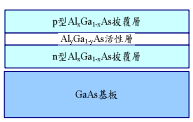
5.LED結構分析

❖ 基本結構

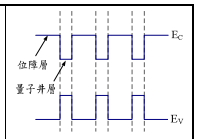
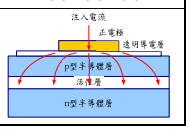
上面有提到各種發光二極體的結構和名詞，為了方便，整理如下：

結構名稱	說明	圖解
同質結構(homostructure, HS)	發光區的兩側為相同的半導體材料。	
單異質結構(single heterostructure, SH)	發光區的兩側為不同的半導體材料。	

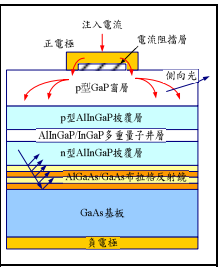
5. LED結構

雙異質結構(double heterostructure, DH)	發光結構為一種三明治結構，其中具有較小能隙的活性層被夾在上下具有較大能隙的披覆層之間。	
雙行雙異質結構(double line double heterostructure, DDH)	結構和雙異質結構大致相同，除了要將基板移除之外。	

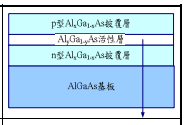
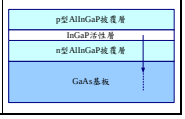
5. LED結構

多重量子井結構(multiple-quantum-well, MQW)	雙異質結構中的活性層係由較大能隙的位障層和較小能隙的量子井層所堆疊形成的。	
透明導電層(transparent conductive layer)	為了改善注入電流的分散，使擴增發光面積。	

5. LED結構

電流阻擋層(current blocking layer)	因為電極不透光，若使電流不流過其下方的發光區，則可以增加其他發光區的電流密度。	
窗層(window layer)	可以分散注入電流及增加側向光。	
布拉格反射鏡(Brag distributed reflector, DBR)	可以將射向基板的光線反射向發光面。	

5. LED結構

透明基板型(transparent substrate type, TS type) 發光二極體	基板的能隙大於活性層的能隙，即射向基板的光線不會被基板吸收。	
吸光基板型(absorption substrate type, AS type) 發光二極體	基板的能隙小於活性層的能隙，即射向基板的光線會被基板吸收。	

5. LED結構

5.發光二極體的結構

- ❖ **高等結構**
- ❑ **覆晶型發光二極體 (Flip-Chip LEDs, FC LEDs)**

傳統的氮化鎵系發光二極體之外觀如第31(a)圖所示。其主要的缺點有三：

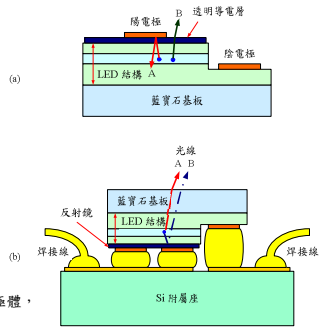
(1) 陽電極焊接墊之面積約佔整個發光面積的20%，因其不透光，所以會有部分的光線無法自發光二極體的正面射出，如光線A；

(2) 透明導電層的透光率，若其係由薄金屬層構成，則透光率約為70%，若其係由金屬氧化物層構成，則透光率約為95%。由薄金屬層所構成之透明導電層透光性不好，而由金屬氧化物層所構成之透明導電層，其與發光二極體之半導體的接觸電阻較高，而且熱穩定性不好。

(3) 發光二極體本身所產生的熱，會隨操作電流(或輸入功率)的增加而增加，但是因為藍寶石基板的熱傳導性不佳(18W/m-K)，所以無法很快地將在發光區所產生的熱排到環境當中。

5. LED結構

因此，基於以上三種原因，目前有幾家公司，如美國Lumileds，已開發出可以在1-5W功率下工作之高功率發光二極體，如第31(b)圖所示。



第31圖 (a) 傳統的氮化鎵系發光二極體，(b)覆晶型氮化鎵系發光二極體。

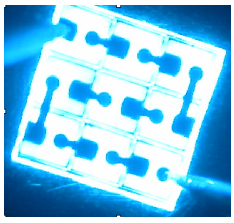
5. LED結構

- ❖ **串聯式發光二極體**

因為發光二極體的面積愈大，由於電流擴散較差和電流密度較小，所以發光效率愈差。因此若將許多個小面積的發光二極體串聯(或並聯)起來，可以得到發光效率較佳的發光二極體。第32圖為3x3串聯式發光二極體。

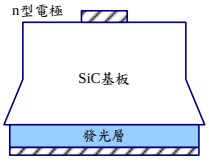
- ❖ **斜截倒金字塔式 (truncated inverted pyramid, TIP)發光二極體**

TIP AlInGaP發光二極體之優點，如上一章的說明。2005年CREE公司也推出TIP式覆晶型GaN發光二極體(名稱為XBright)，如第33(a)圖所示。其輸出光功率可達15mW(波長為470nm)，發光時的情形如第33(b)圖所示(2mA操作)。



第32圖為3x3串聯式發光二極體。

5. LED結構



(a)



(b)

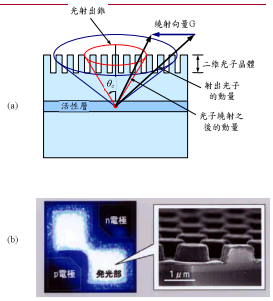
第33圖 CREE公司的XBright LED。

5. LED結構

❖ **光子晶體(photonic crystal, PhC)發光二極體**

1987年，美國UCLA的Yablonovitch和普林斯頓大學的S. John 不約而同地提出電磁波在具有其波長尺度下週期性排列的介電質之中，其行為有如電子在晶體之中一般，由能帶控制，該具有波長尺度之週期性排列的介電質稱為光子晶體(photonic crystal)，或光子能隙材料(photonic bandgap materials)。

光子從發光二極體射出時，因受限於臨界角的問題而無法具有較佳的外部量子效率，如第34(a)圖所示。2004年，日本松下電器推出具有光子晶體之發光二極體，利用光子晶體對入射光的繞射，可以增加光子從發光二極體射出時的臨界角。



第34圖 (a)射出角度改善的示意圖，(b)松下電器之光子晶體發光二極體。

5. LED結構

如第34(a)圖所示，當光子從發光二極體射出時，因受到光子晶體繞射的影響，而改變其原有的動量，使得可以以大於臨界角的角度射出。其中繞射向量可由下式決定：

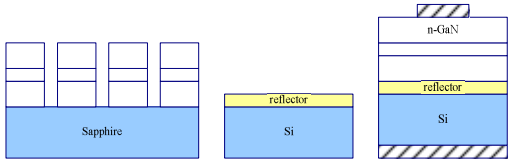
$$G = \frac{2\pi}{a} \quad (6)$$

其中a係光子晶體的晶格常數。例如，第34(b)圖右側之圓柱或凹槽之間的間距。松下電器之光子晶體發光二極體的發光情形如第34(b)圖所示。其亮度可以提升約50%。

5. LED結構

❖ **晶片貼合式發光二極體**

由於藍寶石基板係電性絕緣體，而且導熱性也不佳，所以最好可以將它移除，而改用導電、導熱都不錯的矽基板或金屬基板，如銅基板。例如，如第35圖的左圖所示，韓國三星先在磊晶片上方界定出各個晶粒的區域。同時，另外製備上方沉積反射層之Si基板，如第35圖的中圖所示。將兩片晶片面對面貼合，然後再用雷射剝離技術移除藍寶石基板，最後製作成如第35圖的右圖所示之結構。



第35圖 GaN發光二極體之晶片貼合過程。