

# LED 之作用原理及應用

公路人員訓練所南部訓練中心 黃新翔編撰

## 一、 前言

發光二極體(Light-Emitting Diode)簡稱 LED，自 1962 年問世以來，已有 40 多年的發展歷史，初期主要適用於室內之應用，如家電產品、儀器指示等，近年來由於材料科技之突飛猛進，不僅使 LED 之亮度提升，並且多彩化，價格降低，其應用領域也不斷擴展，直向一般照明市場邁進。

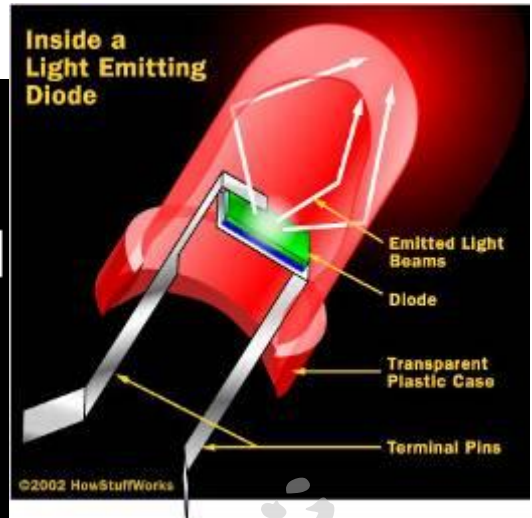
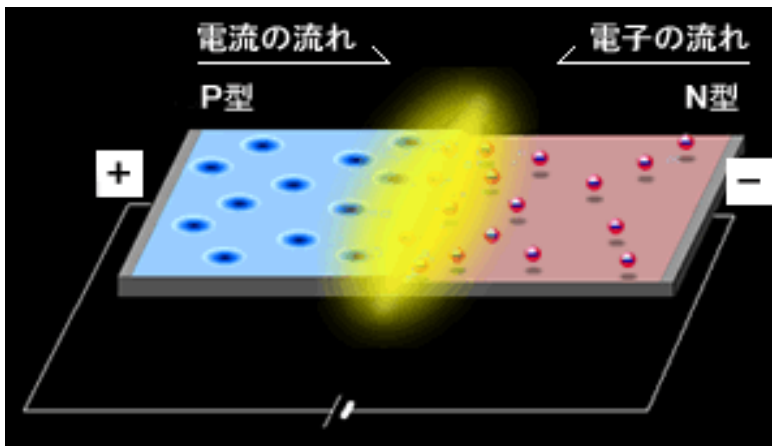
隨著近幾年半導體晶片技術的不斷改進及封裝技術的迅速提高，其光效從最初不到 1 lm/W，發展至今紅色、橙色為 100 lm/W 和綠色 50 lm/W，已大大超過了傳統的白熾燈。它不但能夠高效率地直接將電能轉化為光能，而且擁有最長達數萬小時~10 萬小時的使用壽命，同時具備不若傳統燈泡易碎，並能省電，同時擁有環保無汞、體積小、可應用在低溫環境、光源具方向性、造成光害少與色域豐富等優點。在不久的將來，LED 必定會取代大部分傳統之光源，成為 21 世紀新型綠色照明寵兒。



圖一 LED 燈

## 二、 LED 之作用原理

發光二極體是一種給它一些電壓，便會發出光亮的半導體，它的光產生方式是近乎日光燈和氣體放電式燈。LED 它無燈絲，所以不是藉由燈絲的加熱而發光；LED 是一種固態的半導體元件，它的光的產生，利用二極體內分離的二個載子（分別為負電的電子與正電的電洞）相互結合，一部份產生熱能，另一部份就產生光源，也就是我們所看到的 LED 光，如圖二。



圖二 LED 發光原理

LED 因其使用的材料不同，其內電子、電洞所佔的能量也有所不同，能量的高低差影響結合後光子的能量而產生不同波長的光，也就是不同顏色的光，如紅、橙、黃、綠、藍光或不可見光等。

因此，LED 主要分為可見光與不可見光，其中可見光 LED 產品，包括紅、黃及橘光等 LED 產品，應用面主要為背光源、汽車用等；不可見光 LED，包括 IrDA、VCSEL 及 LD 等，如表一。其中，一般亮度的 LED，目前應用於室內顯示、消費性電子產品及資訊產品指示燈、數字鐘等；高亮度 LED 應用範疇較為廣泛，包括戶外看板、交通號誌、汽車、背光源及電子產品。不可見光 LED 的應用則非常廣泛，舉凡家中的電器產品遙控器、自動門、電路保護裝置用之光耦合器、編碼器及數據連結器等，都有使用紅外光 LED。

LED 分類		應用範圍
可見光 波長 450~780nm	一般	家電、資訊等產品的指示光源、室內顯示
	高亮度	大型看板 交通號誌、手機背光源、室內顯示
不可見光 波長 850~1550nm	短波長紅外光 850~950nm	紅外線無線通訊, IrDA 模組、遙控器
	長波長紅外光 1300~1550nm	光通訊用光源(短距離光纖)

表一 LED 產品用途分類表

### 三、 LED 燈的顏色如何決定

由於隨著 LED 的製造材料、所添加的金屬元素不同，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，以波長在 470 發藍光，530 發綠光，570 發黃光，630 發紅光。

全球第一顆 LED 採用的材料是砷(As) 化鎵(Ga)，工作電壓為 1.424V，其發出的光線為紅外光譜。之後，業界發展出以磷(P)化鎵(Ga)作為 LED 的材料，工作電壓為 2.261V，發出的光為綠光。業界早期就透過這 2 種型態 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，發展出常見的紅光 LED、黃光 LED、橙光 LED 等等，這 3 大類 LED 因為使用了鎵、砷、磷 3 種元素，故被稱為 3 元素 LED，而藍光 LED、綠光 LED 與紅外光 LED 則被稱為 2 元素 LED。業界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。



圖三 各燈色之 LED

### 四、 白光 LED 特點及應用領域

傳統照明燈具的問題，如白熾燈泡雖便宜但有發光效率低、高耗電、壽命短、易碎等缺點。而日光燈雖很省電但其廢棄物有汞污染、易碎等問題。相對而言，符合節能環保安全的白光 LED，是封裝在塑膠透鏡內的，比使用玻璃的燈泡或日光燈更堅固。而有時這些外層封裝會被上色，但這只是為了裝飾或增加對比度，實質上並不能改變發光二極體發光的顏色，其特性如表二。

特點	說明	應用領域
點滅速度快，混光機能強，單色性佳	白熾燈泡約 0.2 秒，螢光燈需數秒，LED 只要 0.02 秒。	煞車燈、全彩顯示、號誌、舞台燈
體積小	LED 發光晶片極為細小，可以點線面搭配組合使用，且可以隨意與建築物結構作彈性結合。	建築照明、面發光照明設備
光指向性強	一般日光燈或鹵素燈需具有特殊設計之反光板才能達到光的指向效果，LED 有極高指向性。	重點照明、階梯燈、導引燈、警示燈
功率微小化	單顆 LED 消耗功率通常 <1W，發熱與功率成正比，此可免用於高熱的場合。	櫥窗照明、博物館照明
無熱輻射光	紅外線會有熱效果，LED 照明屬冷光源。	醫學照明、食品照明
低電壓/直流電驅動	LED 為半導體元件產品，可在低電壓與直流電下操作。	手電筒、顯微鏡照明、手機背光源
耐震動、無汞污染	環保光源	汽車

表二 LED之特性

### 1、LED之應用優點

#### (1) 降低維護成本

由於 LED 的耐機械衝擊及震動能力強，且工作時間長達 10 萬小時，可以大幅的降低汽車燈組的維修成本。

#### (2) 增加反應時間

LED 的反應速度只需 100 微秒比一般燈泡快了 100~300 毫秒，在警示之用途上增加人民反應時間。

#### (3) 節省能源

LED 流過之電流僅 mA，驅動之電壓也只有 2V 左右，相較傳統車用燈泡所消耗之電量來的少。

#### (4) 節省空間

LED 的體積小、發熱量低，可以使汽車燈組的厚度縮小，對於增加汽車可用空間有極大的幫助。

#### (5) 提高能見度

在最近的溫室效應議題上，保護地球環境，也是白光 LED 照明的目標。由於省電的白光 LED 可減少發電廠原油的使用量，其在發電過程中所產生的 CO<sub>2</sub> 排放量也大幅減少，對溫室效應的防止與地球環境綠化大有貢獻。因此，根據國外的預估資料，使用白光 LED 照明技術將可使全球每年減少 25 億噸 CO<sub>2</sub> 排放量，美國每年將可減少 7.55 億噸 CO<sub>2</sub> 排放量，日本則每年減少 1~2 座發電廠及 10 億公升以上的原油發電使用量。尖端光電科技的白光 LED 每年可創造 150 億美元的市場，可大幅減少 CO<sub>2</sub> 排放，符合國際潮流，有利經濟永續經營。

## 五、 影響 LED 照明光源壽命因素

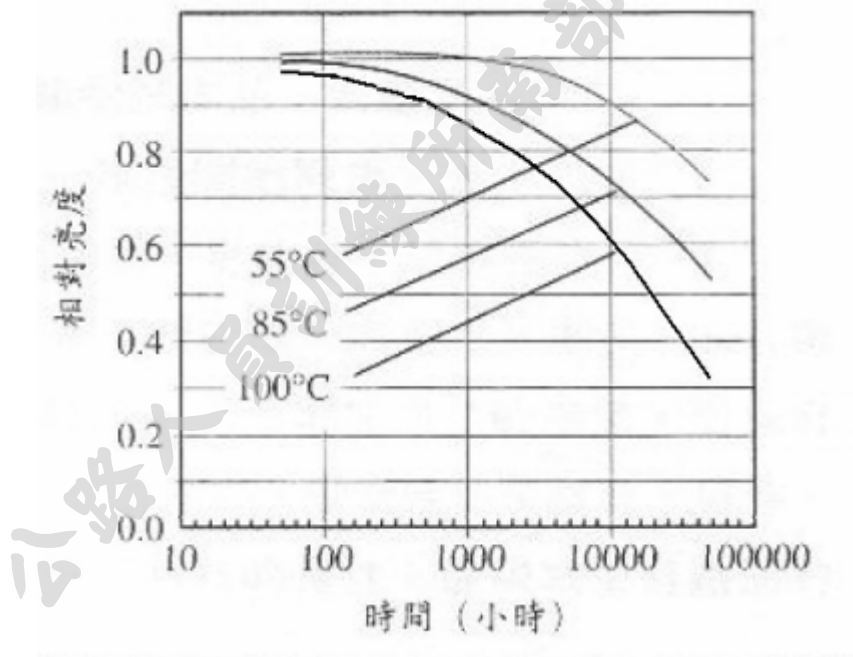
影響 LED 照明光源壽命主要因素可歸納為以下數種，包括溫度因素、電流因素、封裝材料因素、靜電因素、周邊零組件因素等，分別說明如下。

### 1、溫度因素

LED 是一種半導體發光體，當驅動電流通過時，有二種主要之轉換效應：部分轉換成光，部分轉換成熱。在定額功率下如果光轉換效率大，那麼，熱轉換效率小；反之，光轉換效率小，熱轉換效率就大。傳統白熾燈泡溫度越高，光效越大，而 LED 正好相反，當外界環境溫度升高後，晶片之溫度便相對提高。

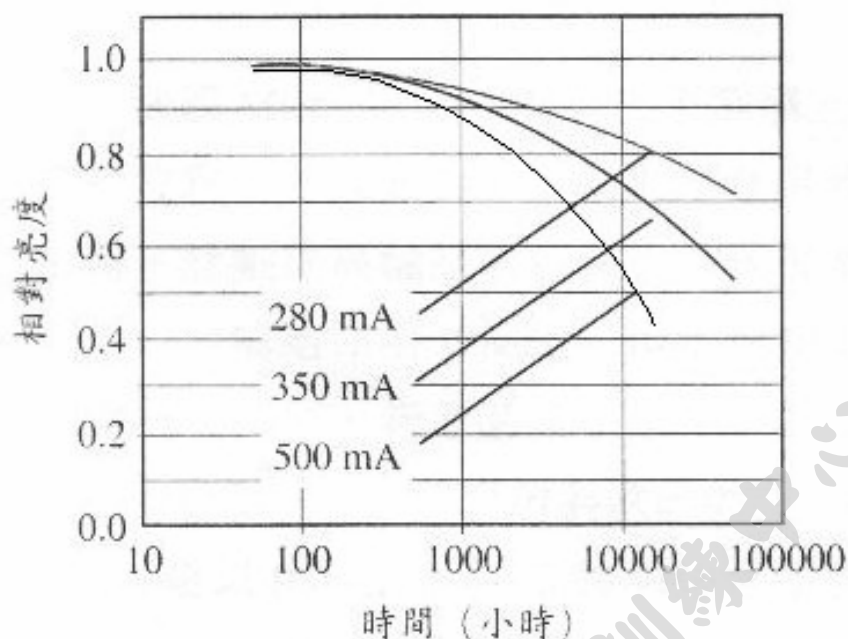
如圖四所示為 LED 散熱片溫度分別在不同溫度下對壽命之影響，由圖中可以知道，當環境溫度升高時，相對亮度就會減小，尤其是在 10000 小時，三顆 LED 的相對亮度差異非常大，尤其是在 100°C 下的 LED 相對亮度由趨近於 1.0，下降至 0.6，降幅達到 0.4；而在 55°C 之 LED 降幅最小，大概在 0.1 左右。

當環境溫度升高後，使 LED 內電阻減小，而內電阻減小會使工作電流升高超過其額定工作電流後，會使 LED 光源的顏色失真，然後壽命會縮短，甚至燒毀。



圖四 溫度與亮度比較圖

## 2、驅動電流因素



圖五 電流與亮度比較圖

如圖五所示為輸以不同電流對LED壽命之影響，由圖中可得知，當電流輸入超過額定電流時，如輸入500mA，在10000小時，該顆LED之相對亮度由原本1.0，下降至0.5左右，降幅達到0.5；而輸入280mA之LED，在10000小時，由1.0下降至0.8左右，降幅0.2。

## 3、封裝材料因素

典型之高功率LED封裝結構重點是，LED晶片直接黏著在金屬片上，以提供主要散熱路徑，而LED晶片與外殼間之縫隙則是充填抗壓性及抗候性優良之有機樹脂。封裝材料所造成之元件壽命降低之主要原因為：

### (1)冷熱過載

LED封裝元件過高之周圍溫度或過高之自身發熱(過大之正向電流或過大之熱阻抗所導致)，都會導致內部溫度急遽升高。由於封裝之個別元件材料都各自擁有不同之熱膨脹係數，因此，當內部溫度超過最大額定值或發生週期性之熱變化時，便極有可能導致LED失效。另一方面，冷熱過載最常見之失效模式是金絲脫落或斷裂，雖然金絲脫落或斷裂是LED之正常老化機制之一，但過大之溫度變化會加快失效之速度。冷熱過載亦有可能使LED支架和封膠之間出現分層現象。分層現象常使光輸出發生永久性衰減。所以，對高功率LED而言，封裝材料之篩選實為一個相當重要之課題。

### (2)使用場所不當

LED產品應用於室外場所時，需保證具有防水、防潮、抗UV密封結構，使用場所不當必然會影響LED之壽命。

#### 4、靜電因素

靜電對晶片之破壞不僅出現在電子元件之製程中，在組裝、運輸等過程也都會產生破壞性，故需做好防靜電措施。

#### 5、周邊零組件因素

高功率 LED 應用成品之主要結構分為二部份：LED 模組及驅動模組。LED 封裝元件額定使用壽命通常高達 50000 至 100000 小時，但是 50000 至 100000 小時是指在匹配良好之驅動條件下顯現出之可靠度規格。目前市面上 LED 驅動模組種類繁多，只有經過長期可靠度測試才能確認應用成品是否為最佳搭配。

### 六、散熱之改進方式

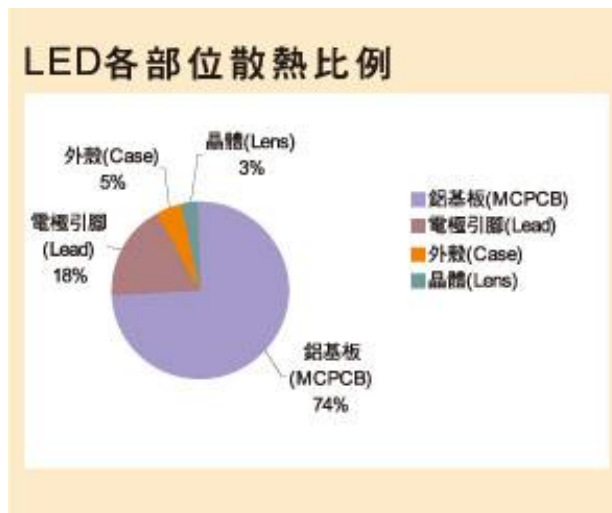
熱的傳遞可分為熱傳導、對流及輻射 3 種方式。熱傳導是指在固體介質中，熱流由高溫處傳遞至低溫處的現象。不同的介質有不同的傳熱效果，一般來說，金屬與陶瓷材料具有較佳的導熱能力。此外，物體截面積之大小，也關係到熱的傳導。

熱對流是物體在流體介質中，熱量被較冷的流體帶走而達到熱傳遞的行為。高溫物體靜置在空氣中、冷卻水內或以風扇降溫，都屬於熱對流的傳遞。較低的流體溫度、較高的流體流速及較大的接觸面積，都有助於熱對流的效果。基本上，增加散熱面積、使用較佳熱傳導的材料及搭配風扇，都是目前解決發光二極體散熱問題常用的方法。

LED 各部位熱流量所佔比例，其中以鋁基板(MCPCB)和電極引腳(Lead)所佔熱流比例最大，由於 LED 接面溫度較其他光源溫度低許多，故熱能無法以輻射模式與光一同射出去，所以 LED 有大約 90%之多餘熱以熱傳導方式向外擴散，在高電流強度作用下，LED 晶片接面溫度升高，需要有良好的 LED 封裝及模組設計，來提供 LED 適當熱傳導途徑，以降低接面溫度。150W 的 LED 燈具若使用傳統自然散熱方式，藉由燈具表面面積接觸空氣散熱，每瓦熱阻值達  $0.5\sim 1.16^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ，溫度將升達  $60\sim 139^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ，再加上室外可能  $40^{\circ}\text{C}$  環境溫度，很容易故障燒毀；且燈具散熱鰭片裸露在外且為了增加散熱表面積燈具本身的體積與重量將非常龐大，很容易累積沙塵阻斷散熱途徑進而喪失散熱效能。LED 燈具必須要能夠在戶外環境，達到克服波長飄移、光衰變化、沙塵侵襲、水氣虹吸現象，以及符合工安與法規的訴求。

散熱設計通常有 5 個控制變因，分別為 LED 間距、介電層厚度、電路層厚度、錫厚度以及環境溫度。通常 LED 間距為五個控制因子中，影響較大之控制因子。然而，LED 間距因混光及光均勻度之光學設計需求，並無法任意改變。除了利用 LED 封裝及 LED 模組設計，使接面溫度降低，LED 壽命及可靠度上升以外，提高 LED 對接面溫度抵抗力也是一種方法，但於製程之後想改善 LED 之散熱情況，仍須考慮其散熱模組之設計。





圖六 LED 各部位散熱比例

散熱基板依材料可分為 3 大類，印刷電路板，金屬散熱基板，以及價格較高的陶瓷基板。由於傳統的印刷電路板熱傳導係數低，且僅能利用各電路板之間的通孔來作有限度地改善散熱，已經逐漸在高功率 LED 的散熱市場中消失。

由於金屬基板與陶瓷基板具有較大的熱傳導係數（鋁、銅、氧化鋁和氮化鋁的熱傳導係數分別約為 170、380、20~40 和 220 W/mK），再加上量產良率的提升，因此成為目前高功率 LED 散熱基板的兩大主流。此外，由於金屬基板具加工性、不易碎、價格低廉等優勢，發展上更具潛力。

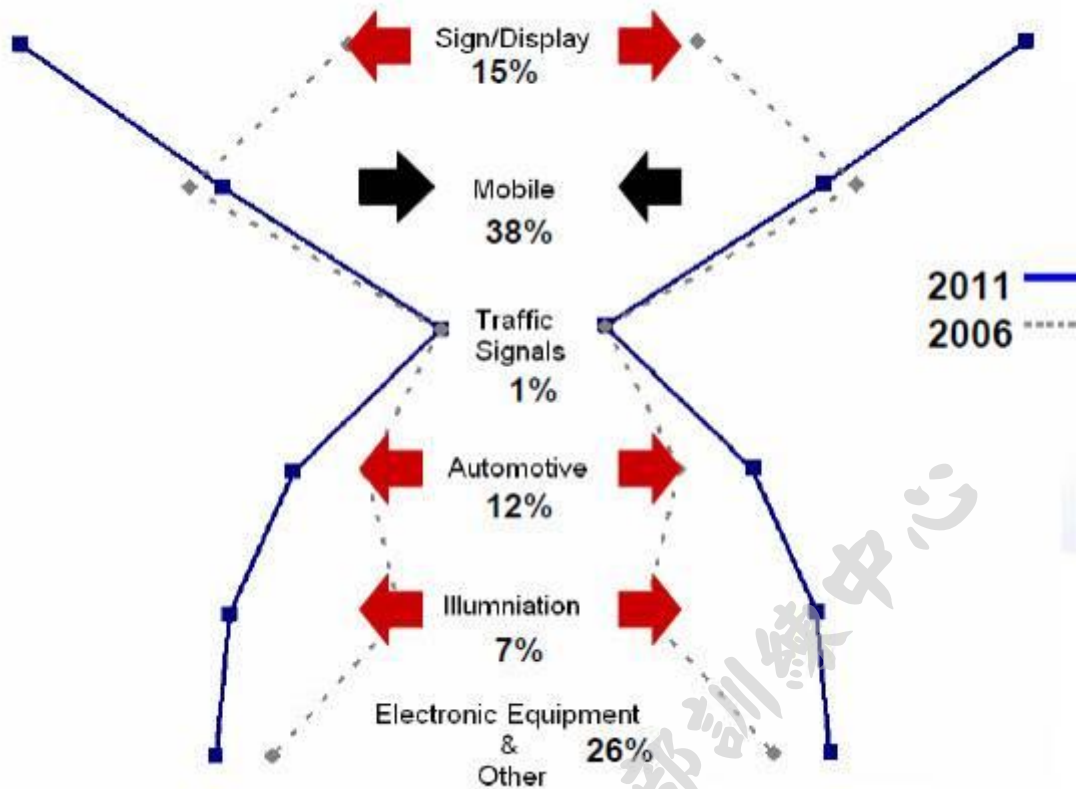
LED 散熱基板主要採用金屬基板及陶瓷基板兩類強化散熱。金屬基板以鋁 (Al) 及銅 (Cu) 為材料，可分為「金屬基材 (metal base)」、「金屬蕊 (metal core)」。金屬基板製程尚需多一道絕緣層處理，目前全球主要散熱絕緣膠廠商以美商及日商為主。

另一類是採用氮化鋁 (Aluminium nitride, AlN)、碳化矽 (SiC)、氧化鈹 (BeO) 等絕緣材料為主的陶瓷基板，由於本身材料就已經絕緣，因此不需要有絕緣層的處理。此外，陶瓷基板所能承受的崩潰電壓，擊穿電壓 (Break-down voltage) 也較高；此外，其熱膨脹係數匹配性佳，可減少熱應力及熱變形產生也是優點，可以說相當適合 LED 應用，目前確實已經有相當多 LED 產品採用，尤其以高功率 LED 封裝體搭配陶瓷板居多，但目前價格仍貴，約為金屬基板的 2~3 倍，因此要大規模普及，還有待降低相關成本。

## 七、LED 的應用範圍

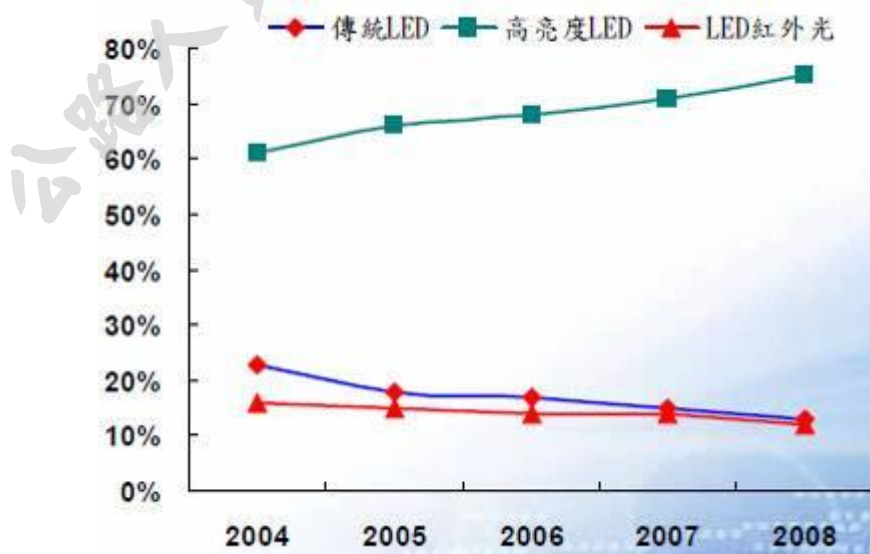
目前廠商產品布局以差異化較低的 LED 型燈泡、LED 燈條以及路燈等開始投入，或以小規模區域市場為目標的室內照明燈具為主。2011 年在 LED 中大尺寸背光源及 LED 照明市場成長帶動下，除了背光模組以及照明二大應用外，LED 的應用其實仍相當多元，而最近應用在廣告看板的大型 LED 螢幕，還有應用在液晶螢幕的背光源也越來越受到矚目，再來就是建築照明、室內照明、商用照明或是 3C 電子產品等等，LED 的應用面日趨廣泛。





圖七 全球 LED 應用領域

從 2007 年起 LED 照明將可逐步代現有白熾燈，2011 年起逐步取代螢光燈。歐盟自 2007 年起逐步淘汰白熾燈泡，澳洲宣示從 2010 年起全面禁用白熾燈泡，故 LED 市場前景十分值得期待。未來 5 年市場應用應以 LED 看板或顯示的背光源、車用與一般照明為市場發展主力。



圖八 全球 LED 歷年產品型態



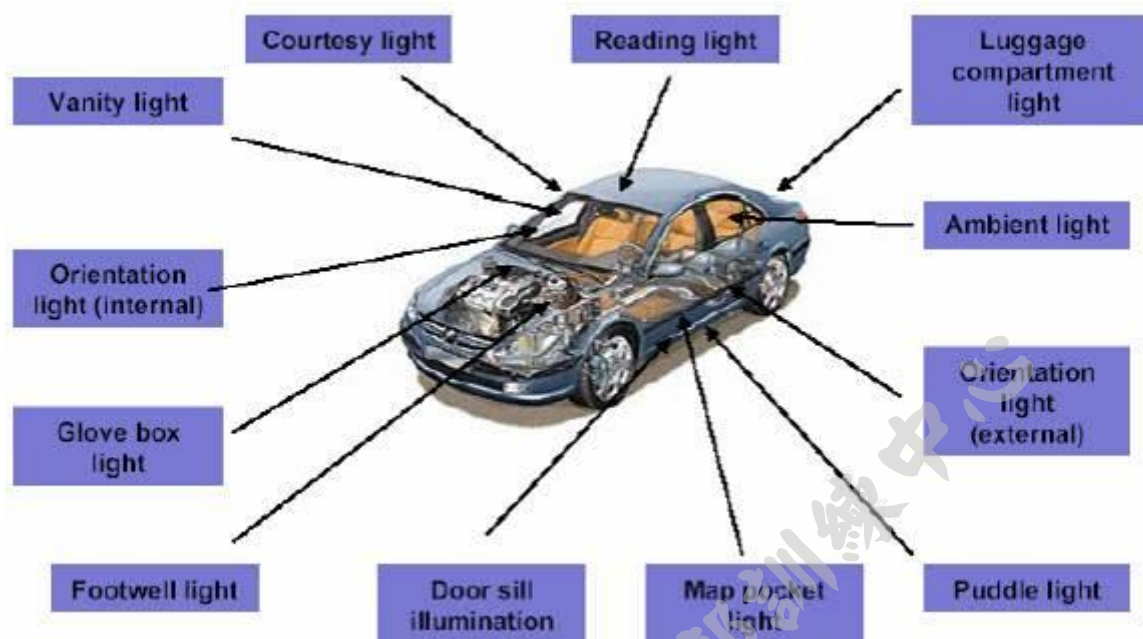
圖九 LED 商品



圖十 LED 應用於路燈照明

紅外線通常被用於傳感器和車用通訊設備，可見光LED則分為“顯示”和“照明”兩種應用，在顯示功能上LED取代燈泡的應用，在汽車前端照明部份的應用，如轉向照明燈、日間照明系統、霧燈、頭燈等都是眾家車廠競爭激烈的新興領域。LED已經廣泛的應用於車內的相關照明或指示用光源，從車內的儀表

板燈、車頂燈、化妝燈、迎賓燈等，到車外的尾燈、前後轉向燈、倒車燈、第三剎車燈等都可見 LED 的相關應用。



圖十一 汽車 LED 之應用

近幾年各車廠開始研發 LED 頭燈以取代傳統鹵素燈泡甚至 HID 頭燈，當然，有車廠已經克服 LED 散熱問題而將 LED 頭燈搭載至量產車型上，在 2007 年 4 月的紐約車展上，全球出現了第一款首度搭載 LED 近光燈的量產車—Lexus LS600hL，正式開啟頭燈 LED 化的時代，並且迅速普及到 RX450h 與日前最新上市的 CT200h，而且車廠還將其 LED 頭燈列為豐田 Prius 油電車配備之一，堪稱是擁有最多 LED 頭燈車型的車廠。



圖十二 Lexus LS600hL

在 2007 年 8 月問世的奧迪 R8 超跑，不論近光燈或遠光燈都採用 LED，該



頭燈擁有 54 顆 LED，其中有 24 顆白光 LED 組成的日照行車燈、8 顆超高亮度黃光 LED 所構成的方向指示燈、近光燈與遠光燈等，雖然在當時只是車用選配而已，但是這樣的一項技術已是車用 LED 頭燈跨時代的代表作。



圖十三 Audi—R8

原廠亦表示，LED 頭燈與 HID 頭燈，較傳統鹵素頭燈省電達到四倍，預計至 2018 年車廠的 LED 技術使用，將達到鹵素頭燈的八倍之多。此外，LED 燈組幾乎沒有使用期限，亮燈的反應速度也較傳統白熾燈泡快 10 倍以上。

LED 頭燈到今天的普及程度其實還很低，多僅限於高級品牌的高檔全新車款。但是各車廠則將 LED 設計成日照行車燈之模組，歐盟預計將從 2011 年五月起，將日照行車燈列為車款的強制加裝配備。在此之前，包括義大利、丹麥、芬蘭、愛沙尼亞與瑞典等國家，更早已強制規定需在白天開頭燈駕駛，這會讓傳統車款消耗約 200 瓦的電力。但是，僅須消耗 15 瓦電力的 LED 日照行燈搭載於車輛上，使其發電部份的平均二氧化碳排放量達到 4g/km，發電部份的平均油耗也只有 0.002km/L，有效降低碳排放量及廢氣排放。

車輛中心在 2004 年結合產、學、研各界的專業人士，成立先進車燈系統(ALS)研發聯盟，進行有關車燈電控與感知系統、塑膠材質與製程技術，以及光學設計分析、視野人因研究等項目的研發，以結合更多車燈研發資源。針對外界增加 LED 數量來提高照明亮度，卻無法達到 LED 特有之省電及耐久訴求，車輛中心表示：LED 應用於汽車前方照明是最大的挑戰，即是如何在充分保有 LED 低耗電的前提下，研發出符合光型設計標準、經濟又環保安全的 LED 車燈。因此在車燈應用時，如何透過高效率的散熱技術，讓 LED 車燈能順利運作，成為設計關鍵。

目前車輛中心正針對車燈產品驗證進行標準制訂工作，未來車輛中心將繼續扮演「支援國內業者研究開發」角色，積極整合台灣 LED 上中下游產業、燈廠與車廠，帶動汽車 LED 頭燈發展，全力協助業者將成熟之概念設計予以商品化，期望能協助廠商與國外車廠接軌，掌握市場先機。

## 八、 結論

未來在照明市場上將是高流明輸出的商業等級 LED 照明系統，這是因為家用 LED 照明對於大多數消費者來說仍是昂貴許多，在長期使用效益、節能環保訴求與租稅減免優惠的帶動下，商業空間照明採用 LED 的比例會大幅增加，特別是停車場照明、辦公室照明、工廠照明、倉庫照明等區域。LED 照明可取代傳統鹵素燈、白熾燈泡以外，也已經在某些領域可取代 CCFL(Cold Cathode Fluorescent Lamp，冷陰極燈管)、螢光燈。我們希望可以將它的用電量大大的降低，用最少的電發出大量的光量，諸如高效能 LED、OLED(Organic Light-Emitting Diode，有機發光二極體)；未來的發展端看各國政府積極應用 LED 於公共事業的速度，可望加速 LED 價格的下滑，屆時可提高消費者採購的意願。

## 九、 參考文獻

1. google圖庫 <[www.google.com.tw](http://www.google.com.tw)>
2. LED-shop <<http://www.led-shop.com.tw/page38.htm>>
3. 陳政揚，LED汽車頭燈造型意象與未來發展之探討，華梵大學工業設計研究所，2006碩士論文。
4. LEDinside <<http://www.ledinside.com/tw/node/779>>  
<[http://www.ledinside.com.tw/what\\_is\\_led](http://www.ledinside.com.tw/what_is_led)>
5. 羅清岳整理，ARTC財團法人車輛研究測試中心，2006年7月。  
<<http://www.artc.org.tw/>>。
6. 工業材料雜誌，231期，2006年3月，取自:<<http://www.materialsnet.com.tw>>。
7. 林志勳，高亮度LED市場趨勢，工業技術研究院，2008年10月22日。
8. 維基百科 <<http://zh.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:%E9%A6%96%E9%A1%B5>>。
9. 科技商情，LED燈具散熱問題分析，高功率LED散熱技術與發展趨勢  
<[http://www.digitimes.com.tw/tw/dt/n/shwnws.asp?cnlid=13&cat=20&id=0000167813\\_2QN72IGG2X6SKI22MUEB9&ct=1&PACKAGEID=3233](http://www.digitimes.com.tw/tw/dt/n/shwnws.asp?cnlid=13&cat=20&id=0000167813_2QN72IGG2X6SKI22MUEB9&ct=1&PACKAGEID=3233)>  
<[http://www.digitimes.com.tw/tw/dt/n/shwnws.asp?cnlid=13&packageid=3233&id=0000167775\\_W25884HV6AJP5R6DRII0D](http://www.digitimes.com.tw/tw/dt/n/shwnws.asp?cnlid=13&packageid=3233&id=0000167775_W25884HV6AJP5R6DRII0D)>。
10. 李豫華，科學發展，435期，2009年3月，18~21頁。
11. 林志勳，全球LED市場及台灣LED產業發展趨勢，能源報導，2011年5月。
12. MSN汽車話題 <[http://auto.msn.com.tw/topic\\_content.aspx?sn=1104140008](http://auto.msn.com.tw/topic_content.aspx?sn=1104140008)>。
13. 奇摩汽車新聞  
<[http://tw.autos.yahoo.com/auto\\_information\\_article2/url/d/a/080318/7/1vp5.html](http://tw.autos.yahoo.com/auto_information_article2/url/d/a/080318/7/1vp5.html)>  
<[http://tw.autos.yahoo.com/auto\\_information\\_article2/url/d/a/090115/4/2glw.html](http://tw.autos.yahoo.com/auto_information_article2/url/d/a/090115/4/2glw.html)>。
14. 林志勳，LED市場及應用發展，工業技術研究院，2007年5月。