

LED 散熱

作者:陳詠升, 李仁凱
指導教授:邱裕中
南台科技大學 電子工程系

LIMA
夏普COB光源

羅子強
Sales Manager
S.Z. Mobile: 137-1457-2551
MSN: luoziqiang@hotmail.com
QQ: 107521149

利瑪電子(新加坡)有限公司
Add: 深圳市華強北電子科技大廈A座3908室
Tel: 0755-8836 5152 Fax: 0755-8836 4656
E-mail: lima@limaworld.com
Website: www.limaworld.com



一、前言

LED 產業是近年來被認為最有潛力的產業之一，主要原因是大家期待 LED 能夠進入照明市場，成為新照明光源，這會是最有希望的潛在市場。LED 體積小、效率高、反應時間快、產品壽命較其他光源長、不含對環境有害的汞，這些都是優點。但 LED 的主要缺點除了散熱還是一大問題(這會降低 LED 發光效率)外，亮度不均勻及成本遠高於其他光源，尤其是在一般照明應用上，也是 LED 急待解決的。

二、熱產生影響

熱源無法導出將影響LED發光效率。70%的LED會因為過高的接面溫度而故障，LED的產品生命週期、亮度、產品穩定度等都會隨接面溫度提高而衰竭。當LED熱源無法有效導出，將導致LED接面溫度(Junction Temperature)升高，隨之影響到的將是光的輸出效率衰減。如圖 1所示

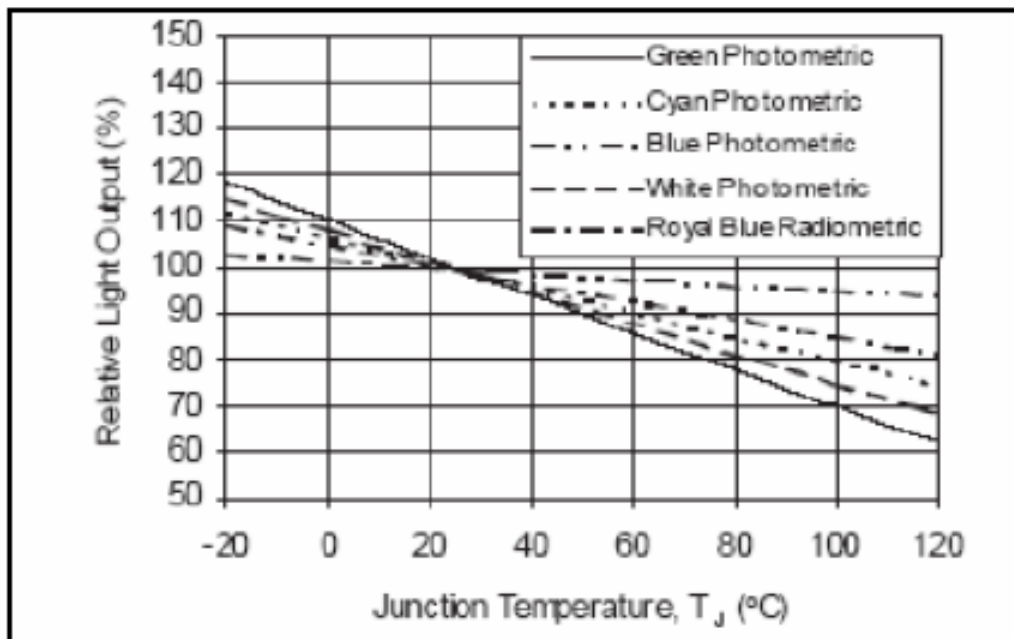


圖 1 接面溫度與發光效率之關係

隨著 LED 晶粒亮度的提升，單顆 LED 的功耗瓦數亦從 0.1W 提高至 1W、3W 及 5W 以上，那麼 LED 封裝模組的熱阻抗(Thermal Resistance)由 250 至 350K/W 大幅降低至現在的小於 5K/W 以下。由於這樣的技術發展，使得 LED 面臨到日益嚴苛的熱管理挑戰，LED 的熱較 IC 低，溫度升高時不僅會造成亮度下降，且溫度超過 100°C 時將加速元件的劣化，那麼 LED 元件本身的散熱技術就必需進一步改善以滿足高功率 LED 的散熱需求。

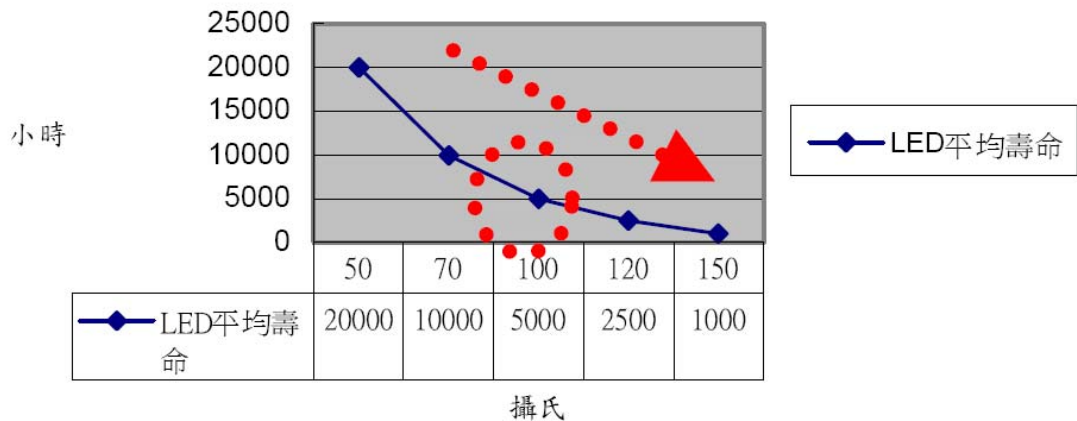


圖 2 LED 溫度與壽命關係圖

對接面溫度來說、溫度影響到了不只是效率或壽命等關係、接面溫度越高而無法排除、最後結果卻是影響到了 LED 其壽命、溫度越高其壽命衰減越快、所以在圖 2 中顯示出溫度控制的重要性。

三、改善方式

1. 晶片層級(Chip level)

為了解決熱的產生、熱處理 (Thermal Management) 沒有做好的話，LED 的亮度和壽命下降的會很快、所以必須利用改變結構的方式來將熱的問題解決、在 LED 的 PN Junction 中，光的效率越高，大部分光的取出效率只有 20~30%，其他部分都變成熱，熱如果無法適時的排出，就會發生光衰的問題，所以具體做法包括降低封裝的熱阻抗、改善晶片外形、採用小型晶粒、改用矽質封裝材料與陶瓷封裝材料，能使 LED 的使用壽命提高等改善方式。

使用在裸晶層面增加其散熱性，改變材質與幾何結構已然成為必要的手段，目前最常用的兩種方式分別為：(1) 替換基板材料；(2) 採覆晶(Flip-Chip)方式鑲嵌(mount)、如圖 4 所示。由於傳統式晶片皆以藍寶石(sapphire)作為基板，其藍寶石的熱傳導係數約只有 20W/mK，不易將磊晶層所產生的熱快速地排出、所使使用像 GaN 基板或具高熱傳導係數的銅合金與矽來取代藍寶石，進而提升散熱

能力。如採用覆晶的形式、雖然可以有效利用其覆晶方式來將熱導出、往往卻會因覆晶的方式造成 LED 在發光時形成光被晶片所遮蔽住，所以在改變其結構時、考慮的其他因素卻要好好考慮。

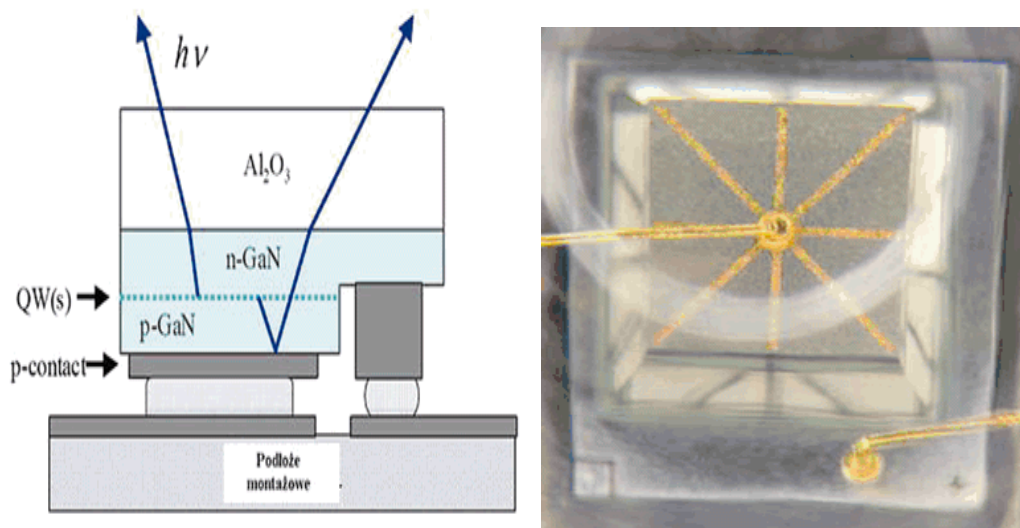


圖 3 覆晶結構，逐漸有業者利用覆晶的構造，來期望達到 50 lm/W 的發光效率，由於發光層很接近封裝的附近，發光層的光向外部散出時，因此電極不會被遮蔽。

另一種方式可以採用垂直電極方式製作 LED、由於上下兩端皆為電極、在散熱上具有優異的表現、不管在散熱或是發光方面都有較大的提升、如採用 GaN 基板做為材料、GaN 基板為導電材質、所以電極可以直接作於基板下方。此種方式雖然較好、但是在材料費用方面往往較藍寶石基板貴上許多、廠商因成本考量、一般來說還是屬於用藍寶石基板、而熱以其他像封裝或是其他形式來導出。

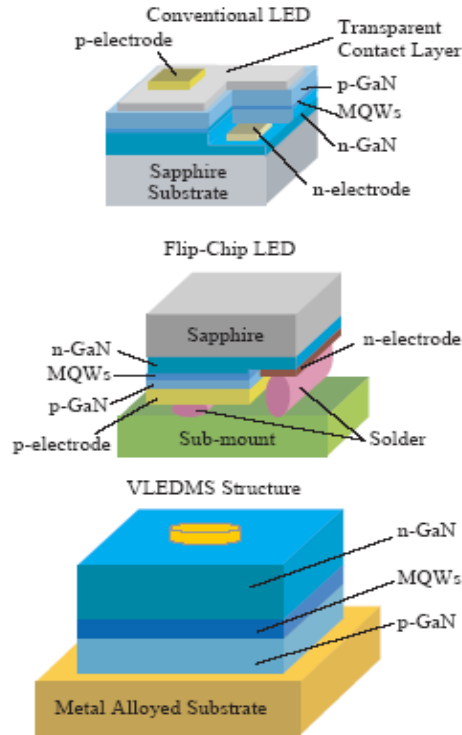


圖 4 傳統 LED、Filp-chip LED 與 VLED 的結構圖

2. 封裝層級(Package level)

近年來 LED 的亮度、功率皆積極提升，並開始用於背光與電子照明等應用後，LED 的封裝散熱問題已悄然浮現。過去過去用來作為封裝材料的環氧樹脂，耐熱性比較差，可能會出現的情況是，在 LED 晶片本身的壽命到達前，環氧樹脂就已經出現變色的情況、因為白光 LED 發光光譜中，也包含短波長光線，而環氧樹脂卻相當容易受白光 LED 中的短波長光線破壞。早期的砲彈型封裝方式的散熱路徑為，一部分熱源 往大氣方向散熱，如圖 5 所示。而其餘熱源僅能透過導線往基板散熱，有鑑於此，其封裝熱阻相當地大，達 250~350K/W。

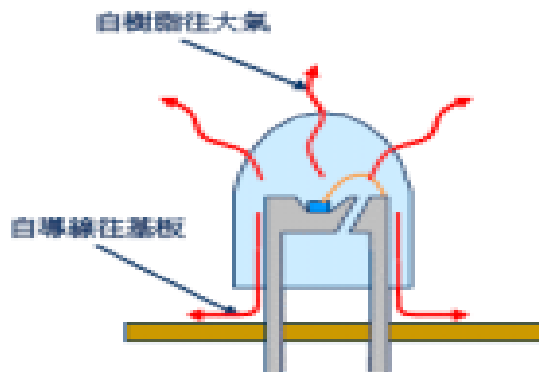


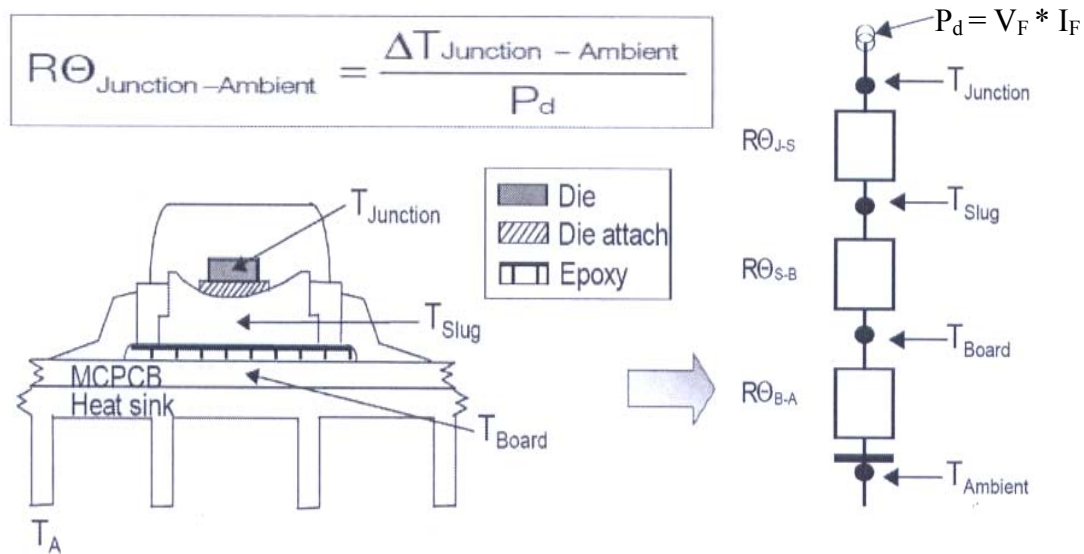
圖 5 砲彈型封裝

LED 本身有阻值、傳導係數，而 LED 的熱最高溫產生在接面處、因為電流擁擠現象所造成、當熱傳導係數越高、也就代表說 LED 本身散熱性較佳、熱阻就較低，反之熱傳導係數越低、LED 散熱性較差，熱阻就相對於高。生活中導電物質的電阻溫度係數有分(1)正電阻溫度係數：電阻值隨溫度上升而增大如銅、鐵、銀等金屬(2)負電阻溫度係數：電阻隨溫度上升而下降，如半導體。所以要控制好溫度、挑選好的導熱係數，把 LED 所產生的熱導出，不管是利用自然散熱、透過其他散熱機制散熱、選用導熱係數大的金屬材料等等、在未來因為高功率的 LED 會因為輸出 Power 提升、造成熱的問題也相繼提升，且要把 LED 熱完全導出將是一個重要的課題。

降低熱阻的途徑有下列幾種方式：

1. 降低晶片的熱阻，降低本身所產生的熱。
2. 最佳化熱通道
 - (1) 通道結構，長度(L)越短越好，面積(S)越大越好來消除熱傳導上的瓶頸。
 - (2) 通道材料的導熱係數 λ 越大越好。
 - (3) 改良封裝製程。
3. 強化導/散熱功能。
4. 選用導/散熱性能更高的材料。
5. 良好的二次散熱機構。
6. 降低環境溫度。
7. 控制額定輸入功率
8. 減少 LED 與第二次散熱機構之間的熱阻。

計算熱阻的公式為下所示：



$R\Theta_{\text{junction-Ambient}} = R\Theta_{\text{junction-Slug}} + R\Theta_{\text{Board-Ambient}}$: 熱阻為全部接面溫度差相加。

$\Delta T = T_{\text{junction}} - T_{\text{Ambient}} (\text{°C})$: 總接面溫度。

$P_d = \text{Power dissipated (W)}$: 消耗功率。

$P_d = \text{Forward current (If)} * \text{Forward voltage (Vf)}$: 總消耗功率由順偏時的電流電壓相乘。流經所有接面所消耗的功率(接面、降溫片、基板、環境相加)。

T_{junction} : 接面。

T_{Slug} : 降溫片。

T_{Board} : 基板。

T_{Ambient} : 環境。

MCPCB : 高導熱係數鋁基板。

Heat sink : 散熱片。

Die : 晶粒。

Die attach : 晶粒附著點(使用銀膠)。

Epoxy : 環氧樹脂。

過去 LED 業者為了獲利充分的白光 LED 光束，曾經開發大尺寸 LED 晶片藉此方式達成預期目標，不過實際上白光 LED 的施加電力持續超過 1W 以上時光束反而會下降，發光效率則相對降低 20~30%，換句話說白光 LED 的亮度如果要比傳統 LED 大數倍，消費電力特性希望超越螢光燈的話，就必需先克服四大課題，包括，抑制溫升、確保使用壽命、改善發光效率，以及發光特性均等化。

有關溫升問題具體方法是降低封裝的熱阻抗；維持 LED 的使用壽命具體方法，是改善晶片外形、採用小型晶片；改善 LED 的發光效率具體方法是改善晶片結構、採用小型晶片；至於發光特性均勻化具體方法是 LED 的改善封裝方法，而這些方法已經陸續被開發中。有關 LED 的發光效率，改善晶片結構與封裝結構，都可以達到與低功率白光 LED 相同水準，主要原因是電流密度提高 2 倍以上時，不但不容易從大型晶片取出光線，結果反而會造成發光效率不如低功率白光 LED 的窘境，如果改善晶片的電極構造，理論上就可以解決上述取光問題。

SMD 型(平板型封裝)封裝方式的散熱型式與砲彈型封裝截然不同，主要是藉由與基板貼合一起的塑膠底板來導熱，如所圖 6 示利用增加散熱面積的方式來大幅降低其熱阻值。然而，SMD 型封裝方式雖可將熱阻值降低至 75K/W，但仍無法符合高功率 LED 的要求。

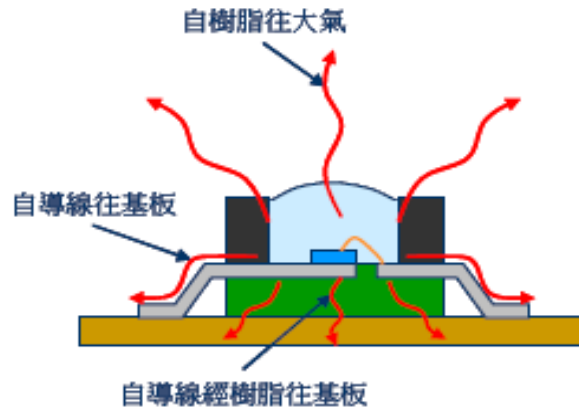


圖 6 SMD 封裝

發光二極體封裝的熱阻來源，最主要來至於封裝支架傳熱至空氣的熱阻抗 ($R_{\theta p-a}$)，其所佔的貢獻比例最大，因熱較不易在無強制對流下藉由熱對流 (convection) 從封裝支架傳至空氣中，因此常導致熱源無法順利地排出至周遭環境而累積於二極體封裝內。為了降低封裝支架至空氣間的熱阻抗，一般在封裝設計上皆會採取增加支架或整體封裝的表面積，以增快熱傳速度而達到降低熱阻之目的。

3. 電路板層級(Heat spreading level)

傳統的 LED 功率並不大，散熱問題也相對地不嚴重，因此，只要運用一般電子用的銅箔印刷電路板即足以應付，隨著高功率 LED 盛行，此板已不足應付散熱需求，因此，專業散熱材料製造商發展出內具金屬核心的印刷電路板，所謂的 MetalCorePCB，其技術核心在於將印刷電路板貼附在一金屬板上以改善其傳熱路徑，如圖 7 所示，運用底部的鋁或銅等熱傳導性較佳的金屬來加速散熱。

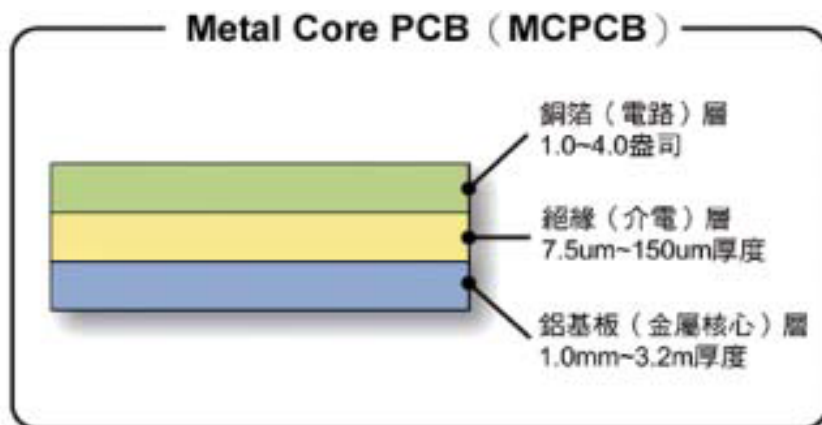


圖 7 高導熱係數鋁基板(MCPCB)

高導熱係數的鋁散熱基板及可繞式基板，以軟板取代過去的氧化鋁的硬板，可使背光模組的發光效能更佳，發揮高性能的散熱特性，製程成本也具優勢。

4. 散熱模組層級(Thermal module level)

LED 的散熱組件與 CPU 散熱相似，都是由散熱鰭片、熱管及熱介面材料所組成。不同之處，在於 LED 的散熱只能憑藉空氣自然對流來傳遞熱量。有鑑於此，有此一限制存在，不得不思考如何減短熱傳導路徑以達成降低界面溫度之目的。

關於 LED 封裝基板散熱設計，目前大致可以分成，LED 晶片至封裝體的熱傳導、及封裝體至外部的熱傳達兩大部分。使用高熱傳導材時，封裝內部的溫差會變小，此時熱流不會呈局部性集中，LED 晶片整體產生的熱流，呈放射狀流至封裝內部各角落，所以利用高熱傳導材料，可提高內部的熱擴散性。就熱傳導的改善來說，幾乎是完全仰賴材料提升來解決問題。多數人均認為，隨 LED 晶片大型化、大電流化、高功率化發展，會加速金屬封裝取代傳統樹脂封裝方式。

就目前金屬高散熱基板材料而言，可分成硬質與可撓曲兩種基板，結構上，硬質基板屬於傳統金屬材料，金屬 LED 封裝基板採鋁與銅等材料，絕緣層部分，大多採充填高熱傳導性無機填充物，擁有高熱傳導性、加工性、電磁波遮蔽性、耐熱衝擊性等金屬特性，厚度方面通常大於 1 mm，大多都廣泛應用在 LED 燈具模組，與照明模組等，技術上是與鋁質基板具相同高熱傳導能力，在高散熱要求下，相當有能力擔任高功率 LED 封裝材料。

隨著 LED 材料不斷地進步，亮度、功耗量及熱量亦隨之提高，尤其是大幅提高的熱量需要儘速地排除掉，否則將會降低其發光效率及加速 LED 元件的劣化，因此 LED 熱管理變得相當重要。一般高功率 LED 單晶粒的封裝模組中的散熱片使用，整體封裝模組的結構包括光學透鏡、LED 晶粒、透明封裝樹脂、螢光、電極導線及散熱片等，其通常作法是以焊料或散熱膏將 LED 晶粒黏貼在散熱片上，經由散熱片來降低封裝模組的熱阻抗，這亦是市場上用最廣為採用的 LED 封裝模組。

由於 LED 在產品應用上通常將 LED 模組焊在一散熱基板上成一背光條與陣列形或圓形排列成一照明光源。不過，對於攜帶型投影機、車用頭燈及照明用燈源，在特定的面積下所需要的流明量遠超過一千流明，因此需要多晶粒 LED 封裝模組與 COB 封裝方式才能滿足其需求，同時其散熱基板亦為扮演整體 LED 模組散熱最關鍵的角色。

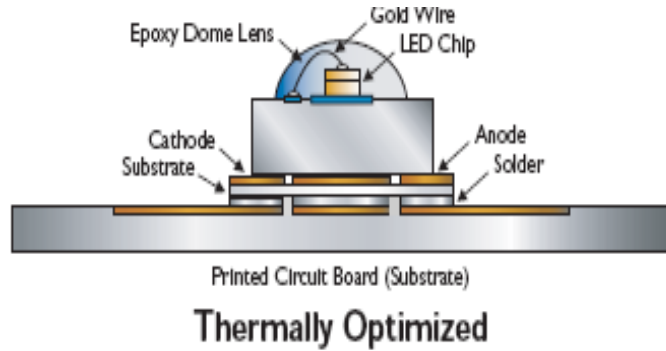


圖 8 LED 導線封裝

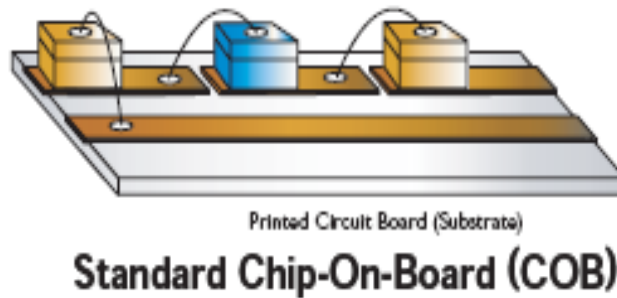


圖 9 LED COB 封裝


種類	特性	開發廠商
硬式印刷電路板 (PCB,FR4) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 以FR4為材料，可製作單層或多層設計。 2. 熱傳導率約0.36W/mk。 3. 技術成熟，成本低，適用於大尺寸面板。 4. 熱性能較差，僅適用於低功率LED。 	CITIZEN Lumileds 松下電工 佳德(5355) 銳圖(6108)

表 1 硬式電路板特性表

四、LED 散熱片之設計

LED 封裝模組的散熱片的薄板與厚板之放熱性比較，由此可見，厚的散熱片較能有效地且大量地散熱。但是，若其散熱基板無法適時把來自散熱片大量的熱傳導出去，那麼將會影響 LED 模組的發光效率及造成元件的損壞，需要搭配能兼顧迅速散熱及結構強度的散熱基板，才能夠讓 LED 模組正常運作。一旦提高 LED 輸入功率，則需減少 LED 模組之熱阻抗、改善散效率，其具體作法為

降低LED晶粒到封裝模組的熱阻抗、降低封裝模組至散熱基板如 PCB 基板的熱阻抗、提高晶粒的散熱順暢性。面積越大、接觸空氣面積越大，散熱速度也就越快、較不容易因為電子壅擠、造成溫度在某一區域造成溫度過高、導致原件損毀或燒毀，可以設計出下圖利用較大的散熱片、迅速將熱從LED內部傳導到外界散熱，散熱設計的好、不僅可以讓元件壽命提升、也不會因為長時間使用元件而使色溫或效率降低。

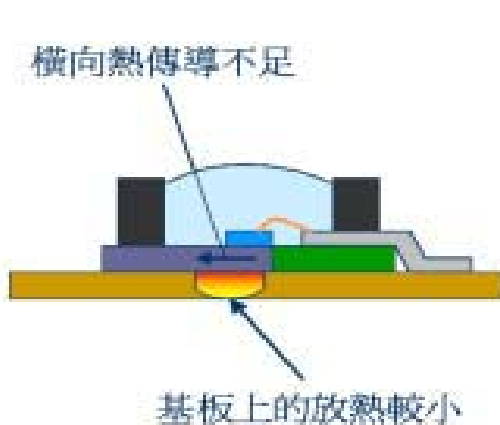


圖 10 設計較單薄的散熱片

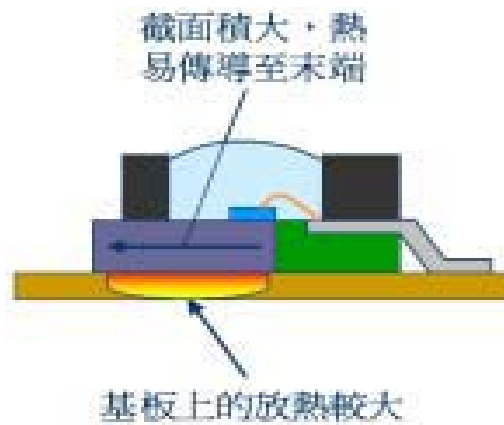


圖 11 設計較厚實的散熱片

五、LED散熱基板型態概況

種類	LED適用種類	成本
硬式印刷電路板 (PCB,FR4)	散熱較差良率低，低功率、大尺寸	低
高導熱係數鋁基板 (MCPCB)	散熱較佳技術成熟，高功率、大尺寸	中
陶瓷基板	技術不成熟良率低，高功率、小尺寸	高
陶瓷基板 (氧化鋁)	技術不成熟良率低，高功率、小尺寸	高
鋁鎂合金	技術不成熟良率低，高功率、小尺寸	高
軟式印刷電路板	技術不成熟良率低，高功率、大尺寸	高
直接銅接合基板 (DBC)	技術不成熟良率低，高功率、小尺寸	超高
金屬基複合材料	技術不成熟良率低，高功率、大尺寸	超高

表 2 散熱基板型態概況

六、 參考資料

1. <http://www.digitimes.com.tw/n/article.asp?id=5953933BA0989DDA482570C30040B424>，封裝技術與材料推動 LED 發光效能。
2. <http://www.led-shop.com.tw/page44.htm>，Luxeon LED 介紹。
3. <http://www.materialsnet.com.tw/DocView.aspx?id=6871>，高功率 LED 熱管理技術與量測。
4. http://tech.digitimes.com.tw/ShowNews.aspx?zCatId=A2N&zNotesDocId=0000061726_B7Y0Y285MA1FE2G7PHCC1，高功率 LED 熱效應推動封裝基板革命。
5. http://tech.digitimes.com.tw/ShowNews.aspx?zCatId=A2N&zNotesDocId=0000078202_A6I9VL1R8918PZE1V2H9A，高功率 LED 基板未來展望。
6. http://www.osc.com.tw/study1/monthly/9611/9611_LED.pdf，LED 散熱基板發展趨勢。