

## 應用在塑膠光纖之覆晶 LED 之改良與設計

王春清 施維恩 楊文然  
國立彰化師範大學電機工程研究所  
ccwang@cc.ncue.edu.tw

### 論文摘要

由於近年來的網際網路快速發展，導致網路速度需求越來越大。在本文中我們針對短程的塑膠光纖通訊系統提出一種改良式覆晶發光二極體(Light Emitting Diode, LED)的光電轉換架構，而目前，濕式非等向性蝕刻技術(Wet anisotropic etching)[1-2]已經廣泛的應用在製造光學裝置，所以在整體封裝的設計將以濕式非等向性蝕刻技術以及矽封裝技術來完成硬體封裝架構。本文設計概念是以克普勒的內部全反射定理(Total Internal Reflection, TIR)特性為基礎加以改良覆晶 LED，以達更高的光耦合效率。模擬實驗發現在錐形鏡面中填入折射率為 1.51 的矽膠且錐形鏡面成上仰 55 度能得到最好的光耦合效率。在 LED 與塑膠光纖距離 0.3mm 到 3mm 間的光耦合平均效率中，相較於傳統 LED 為 24.3%、覆晶 LED 為 36.9%，而本文提出的改良式覆晶 LED 更高達 50.6%。在塑膠光纖的應用上，效率的提升將有助於提高信號接收的準確性。

關鍵詞：塑膠光纖、覆晶 LED、非等向性蝕刻、矽封裝、內部全反射定理。

### Abstract

Due to the rapid development of internet technology, the higher data rate becomes more important in the network system. In this paper, we propose a modification flip chip LED (Light Emitting Diode) structure for the communication system of the short distance plastic optical fiber. Generally, the wet anisotropic etching techniques are applied to the manufactory of optics device, and most of the designs are employed with anisotropic etching and silicon-packaging techniques. The proposed design is based on the total internal reflection of the optical characteristics for modifying flip chip LED in order to reach higher more coupling efficiency. Simulation results show that the coupling efficiency can be improved on the average of approximately 50.6% by filling up the silicon with a refractive index of 1.51 and adjusting the upward angle between LED and taper mirror at 55 degrees.

Keywords : plastic optical fiber(POF), flip chip LED, anisotropic etching, silicon submount, total internal reflection(TIR).

### 前言

近年來，由於網際網路的快速發展，為了傳送圖形、聲音等多媒體訊息，資料量變得非常龐大，

面對此資料傳輸頻寬與速度之需求，光纖網路勢在必行。在目前的光纖網路架構中，相對於低損耗的玻璃光纖的價格過於昂貴，塑膠光纖(Plastic optical fiber, POF)因為具有低成本、不易折斷、安全性高、鋪設容易和維護方便等優點，且本身具有柔軟性、耐熱性和耐濕性，所以普遍的應用在短程的光纖網路。

目前全球塑膠光纖通訊市場產值在 1995 年時約為一億美元，2000 年時約為三億五千萬美元，2006 年則將達七億三千萬美元，十年內有七倍的成長。國內某電信業者更預計在五年內花費 500 億將全國所有銅纜線全部替換成光纖骨幹，使網路頻寬達到 1G。未來提供給消費者的頻寬服務將達目前 ADSL 的十倍之多。

有鑒於此，在未來塑膠光纖將有無限的商機。目前市面上使用於光纖傳輸的光源大致上可分為 LED 及雷射二極體，表 1 為 LED 與雷射二極體的比較表，由表中可以發現在未來短程網路，例如區域網路、家用網路等，使用塑膠光纖的可能性很大，因此，較便宜的發光二極體將在短程網路中掀起另一波商業高峰。

表 1. LED 與雷射比較表

光源	LED	雷射
頻寬	200 MHz/公里	3 ~ 5 GHz/公里
衰減	10 ~ 50 dB/公里	0.2 ~ 2 dB/公里
價格	較便宜	較貴

LED[3]具有發光效率高、使用壽命長、反應速度快等多項優點，近年來更是大量的應用在交通標誌、戶外看板及通訊器材上。因此，如何進行整體發光二極體結構的光學設計以配合材料特性來提高元件的發光效率為目前熱門的研究方向，例如將晶粒內部結構設計成具反射功能的結構以提升 LED 的發光效率。

現有的新型 LED 的設計採用了覆晶式(flip-chip)的結構[4-5]，藉由覆晶結合子基板來改善晶片的散熱特性，以降低熱阻並提高晶粒的光耦合效率。本文主要針對覆晶式 LED 加以改良，以增加與塑膠光纖間的光耦合效率。

有關於本文提出的設計與架構方面，將在第二部份作詳細說明；在第三部份則針對模擬結果圖解釋；最後第四部份，將針對本文模擬結果做結論。

## 設計與架構

本文架構針對覆晶 LED 在光耦合效率中受限於距離的缺點加以改良，在覆晶 LED 中加上玻璃透鏡以提高光耦合效率。圖 1 為本文所提出之改良式覆晶 LED 之外形架構側視圖，圖 2 則針對各個部位的尺寸大小加以標示。

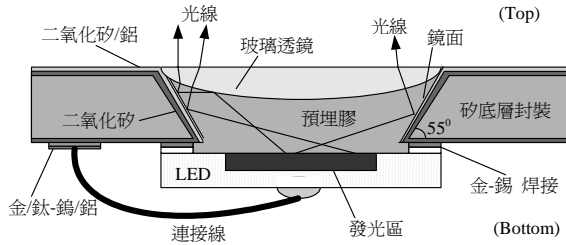


圖 1. 改良式覆晶 LED 架構圖

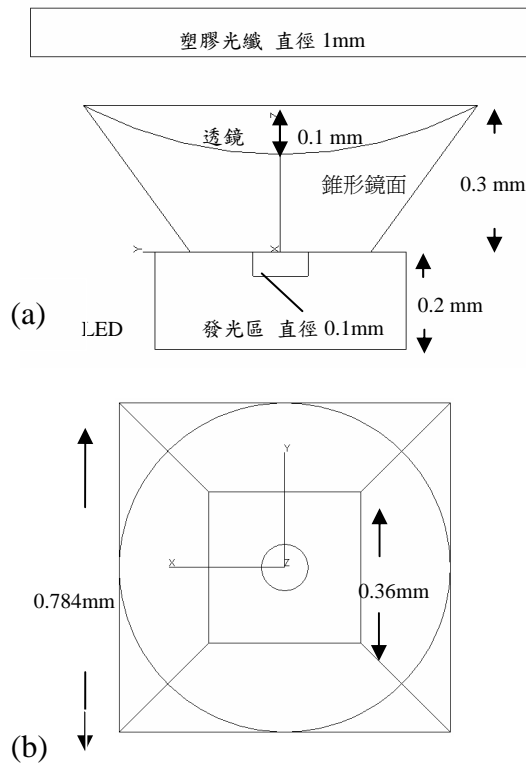


圖 2. 改良式覆晶 LED 尺寸：  
(a) 側視圖、(b) 上視圖

其中錐形鏡面的部份是一個三層材質(二氧化矽/鋁/二氧化矽)的結構，形成如同凹陷形的牆壁面。在錐形鏡面凹陷處，利用填入折射率為 1.51 的矽膠，再加上玻璃透鏡(BK7)，來提高 LED 的光耦合效率。透過方程式(1)及方程式(2)可以算出折射角及臨界角，當角度大於臨界角時將產生內部全反射，此種光源大多角度過大無法形成光耦合，而內部全反射的光源勢必會在一次的入射在錐形鏡面壁上，藉著鏡面再反射出去，且此時的反射角度會比原來光源角度小，有助於將原本發散的光源藉由內部全反射來增加光耦合的機會。至於沒大於臨界角的光源，也能藉由玻璃透鏡形成兩次的折射而使折

射角變小，於是光源將更加的往塑膠光纖的核心方向集中，避免大量的光往四面發散，造成光耦合效率降低。

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (1)$$

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

方程式(1)為 Snell's law 的折射定理，其中  $n_1, n_2$  分別為介質 1、2 之折射率， $\theta_1, \theta_2$  分別為介質 1、2 之光線與法線之夾角。方程式(2)為克普勒的內部全反射定理， $\theta_c$  表示二介質間的領界角，當入射角大於臨界角時，將產生內部全反射的情形。LED 跟錐形鏡面底部的封裝，將以金-錫(厚度  $1.1\mu\text{m}$ )加以焊接，LED 的發光區面對著錐形鏡面凹陷處發散光源。至於正、負電極也是為一個三層材質(金  $0.6\mu\text{m}$  /鈦-鎢  $0.2\mu\text{m}$  /鋁  $0.5\mu\text{m}$ )的架構，被設計在錐形鏡面的底部，負極的部份將以連接線的形式連接到 LED 的底部。

圖 2(a)為模擬時所使用的尺寸規格圖。以核心直徑為 1mm 的塑膠光纖作為光線萃取的面積，與改良式覆晶 LED 開口距離為 0.1mm，錐形鏡面的深度為 0.3mm，於開口內置放一個厚度為 0.1mm 的玻璃透鏡。至於 LED 的部份，表面面積為  $0.25\text{mm}^2$  即邊長長度為 0.5mm，厚度為 0.2mm，發光區為直徑 0.1mm，LED 中心波長為 650nm 是使用了在塑膠光纖中的典型波長。

圖 2(b)中指出錐形鏡面上視的尺寸，其中鏡面凹陷處為邊長長度 0.36mm，向上延伸 0.3mm，向上作角度 55 度的延伸，故可求得錐型鏡面開口處之邊長長度為 0.784mm。玻璃透鏡則是以曲率半徑為 0.818mm、厚度為 0.1mm、直徑與錐形鏡面邊長同為 0.784mm 製作而成。

## 實驗模擬結果

本文主要在模擬探討傳統式 LED、覆晶 LED 和改良式覆晶 LED 與塑膠光纖之光耦合效率。以下模擬結果圖，是以 LED 與塑膠光纖距離 0.4mm 為實驗模擬，故實驗數據差距並不大，不過一但距離拉長，便可清楚發現其效果優劣。

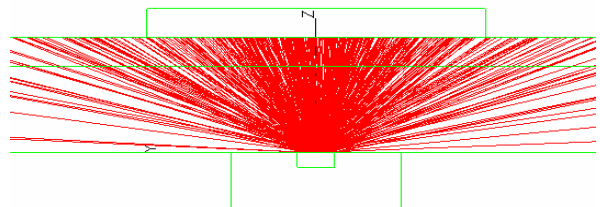


圖 3. 傳統 LED 光追跡圖

圖 4 為傳統 LED 光追跡圖，由圖中的左右二側可以明顯看出大量的非耦合光源溢出，由此可知傳統 LED 的光耦合效率並不高，由圖 5.光照圖可看出光耦合效率大約在 64.8%。

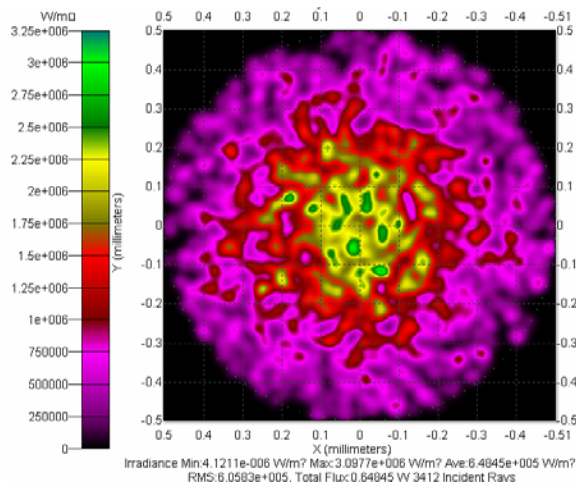


圖 4. 傳統 LED 光照圖

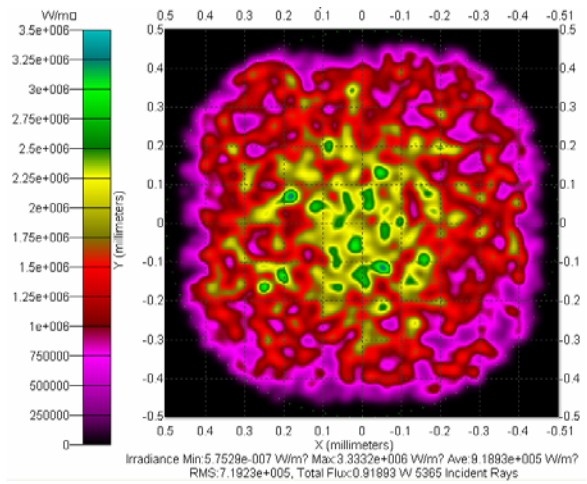


圖 6. 覆晶 LED 光照圖

在本論文中，以光纖據距離光源為 0.4mm 作為模擬，圖 5(a) 為在錐形鏡面中填入矽膠(1.51)的覆晶 LED 光追跡圖，圖中雖然光耦合的情形不錯，但是由於光源是由四面八方射出，導致 36.8 度和 38.7 度角的光源無法順利跟光纖耦合，造成效率上的損失，而此種效應會隨著光纖和光源間的距離加大，損失也跟著變大。圖 5(a)中圓圈處為光源在射出錐形鏡面時所產生的反射作用，此反射作用能有助於光耦合效應，增加光耦合的機會。因此我們利用此原理發展出改良式覆晶 LED，由圖 5(b)可看出反射光源的部分大量增加，因此光耦合的機會也比覆晶 LED 來得大。

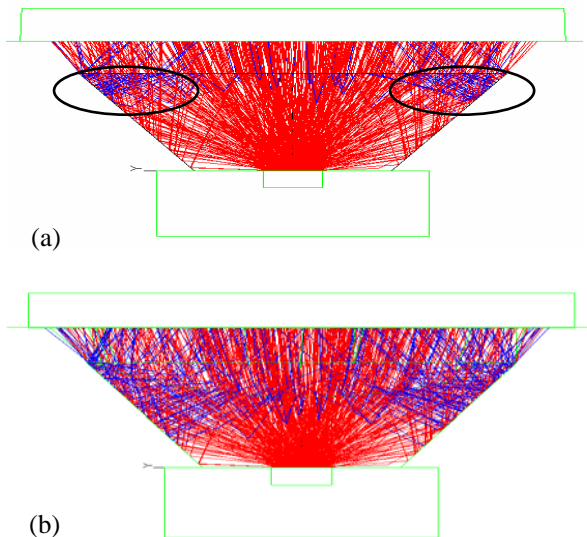


圖 5. 光追跡圖(a)覆晶 LED (b)改良式覆晶 LED

比起傳統式 LED，由於受到錐形鏡面的影響，圖 6 的光照圖形狀比較近似於方形。而圖 7 改良式覆晶 LED，更受到玻璃透鏡的影響，在光照圖的上下左右呈現較為空洞的情形，而這也表示了玻璃透鏡確實對本實驗數據有相當程度的成效，也使原本入射在四周的光更加往中間方向靠近，於是整體光耦合效率也就提昇了。

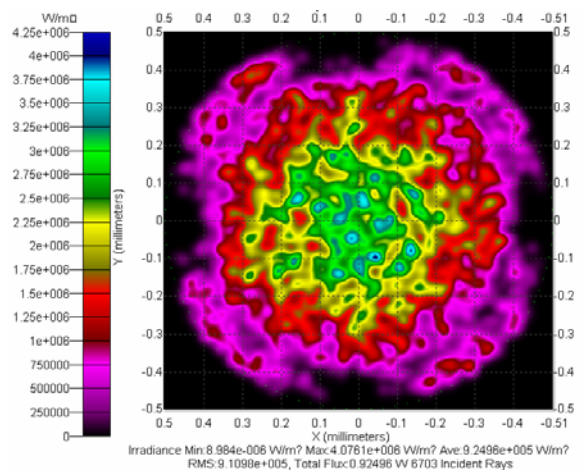


圖 7. 改良式覆晶 LED 光照圖

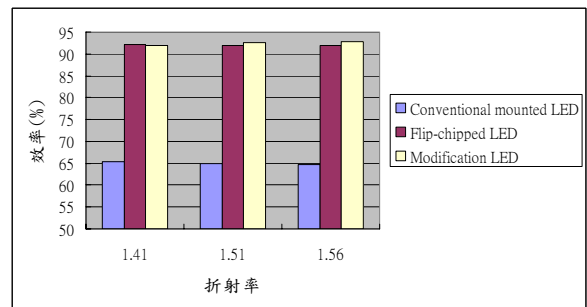


圖 8. 模擬結果比較圖

本文實驗是以光學模擬軟體 "TracePro" 加以驗證，其中預埋膠的部分以三種不同折射率 (1.41/1.51/1.56) 的材料做為錐形鏡面凹陷處的填充物(矽膠/矽膠/環氧化物)，圖 8 中，隨著折射率的增加，效率也成正比增加，不過在環氧化物(1.56)的模擬中發現不穩定的情形，也就是溫度過高，故改以矽膠(1.51)為最終模擬結果。



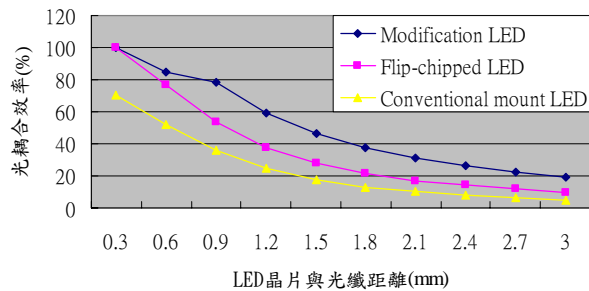


圖 9. 光耦合效率與光源距離圖

由圖 9 發現，三種不同結構的 LED，不管在多遠的距離，改良式覆晶 LED 的光耦合情形都遠勝於其它二種 LED，由此可知改良式覆晶 LED 並不會因為距離的變化而導致光耦合效率暴跌，在距離 0.3mm 到 3mm 間的光耦合平均效率高達 50.6%。尤其在距離 0.9mm 時，光耦合效率更勝覆晶 LED 達 25% 之多。

### 結論

本文提出一種改良式覆晶發光二極體的架構，以濕式非等向性蝕刻技術以及矽封裝技術來完成光電轉換設計架構。再以克普勒的內部全反射定理(TIR)特性為基礎，加上玻璃透鏡使原本發散的光源能藉由透鏡來增加內部全反射的情形發生，進而達到更高的光耦合效率。

模擬結果，在錐形鏡面凹陷處中填入折射率為 1.51 的矽膠且錐形鏡面上仰 55 度角為最終模擬實驗結果，在 LED 與塑膠光纖距離 0.3mm 到 3mm 間的光耦合平均效率達到 50.6%，遠勝覆晶 LED 的 36.9% 及傳統 LED 的 24.3%。

### 致謝

本研究是由國科會所贊助，計畫編號：NSC 95-2622-E-018-005-CC3。

### 參考文獻

- [1] Abeyasinghe, D.C.; Ranatunga, V.; Balagopal, A.; Haichuan Mu; Kuntao Ye; Klotzkin, D., "A novel technique for high-strength direct fiber-to-Si submount attachment using field-assisted anodic bonding for optoelectronics packaging," *Photonics Technology Letters, IEEE*, Vol. 16, No. 9, Sept. 2004, 2150 – 2152.
- [2] H. Seidel, L. Csepregi, A. Heuberger, and H. Baumgartel, "Anisotropic Etching of Crystalline Silicon in Alkaline Solutions," *Journal of The Electrochemical Society*, No. 11, Nov. 1990, 3612-3626.
- [3] Steigerwald, D.A.; Bhat, J.C.; Collins, D.; Fletcher, R.M.; Holcomb, M.O.; Ludowise, M.J.; Martin, P.S.; Rudaz, S.L., "Illumination with solid state lighting technology," *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, Vol. 8, No. 2, March-April 2002, 310 – 320.
- [4] Yorishige Ishii, Toshihisa Matsuo, Hideaki Fujita,

"Micromachined Silicon Submount for Optical Communication Devices," *Japanese Journal of Applied Physics*, Tokyo, Japan, 2006, 9088-9093.

- [5] P. P. Maaskant, M. Akhter, N. Cordero, D. P. Casey, J. F. Rohan, B. J. Roycroft, B. M. Corbett, "LED flip-chip assembly with electroplated AuSn alloy," *physica status solidi*, Vol. 2, No. 7, May 2005, 2907-2911.