

高亮度發光二極體

The Introduction of High Brightness Light Emitting Diodes (LEDs)

王仁水、蘇炎坤

J. S. Wang and Y. K. Su

國立成功大學電機工程研究所

Department of Electrical Engineering, National Cheng Kung University, Tainan,

(Received May 26, 2000; Accepted June 10, 2000)

摘要

近年來，高亮度二極體已成為市場主流，越來越多的公司從事於此項元件的研發。本文將對高亮度二極體的原理、常用的架構、及其應用作簡單的概述。

Abstract

Recently, high brightness light emitting diodes (LEDs) have played very important roles in the full color display and optical storage applications. In Taiwan more and more companies have made great investments in the up-stream, medium-stream and down-stream LED industries. In this paper, we will describe basic operation principles and various structures of LEDs. The application and market shares of LEDs in Taiwan are also reported.

一、前言

早在30多年前，發光二極體(LED)早已問世，但直到最近幾年由於有機金屬氣相磊晶沉積(Metal-Organic Chemical Vapor Deposition)技術之快速發展，使得高亮度磷化鋁銦鎵紅光及黃光和氮化銦鎵綠色等高亮度發光二極體(High-Brightness LED)得以誕生。如今，在台灣有多家的廠商從事於高亮度發光二極體磊晶

的生產，如國聯、晶元、全新、連亞、州磊等等。使得之前有一半以上磊晶片材料需仰賴進口的問題迎刃而解，更帶領台灣朝著發光二極體王國邁進。因此，筆者將針對高亮度發光二極體的原理、結構、及應用等簡介於後：

二、高亮度LED之發光原理

高亮度LED的發光原理基本上和LED的發光原理是相同的。兩者皆係藉著電子-電洞的



再結合(Recombination)所產生的，也就是由一種三(二)一五(六)族化合物所形成的P-N接面，在順向偏壓下達到一定值(V_f)時，N型區的電子注入P型，P型區的電洞注入N型，然後這些少數載子再和多數載子結合後發光。而PN接面所形成的能量差，即為在結合後所發出的光。圖一即為PN接面在熱平衡及受到一順向電壓時的能帶結構圖。

而和LED最大的差別即在於外部量子效率的改善。在探討如何改善之前，先讓我們瞭解何謂外部量子效率及內部量子效率。內部量子效率：當一個電子越過能障達到P型區時，其

可自由的移動然後和電洞復合產生光，此種復合稱為輻射復合，而非輻射復合時即電子陷入缺陷中，且所發出的能量不是光，而是熱能，因此，內部量子效率為發生輻射復合產生的光子和加電流越過能障電子的比。外部量子效率：即元件放出光子與產生光子的百分比，也就是光的抽取效率。一般的DH的LED其內部量子效率可達99%，但其外部量子效率則低到只有幾個百分比。而歸納其原因有二：

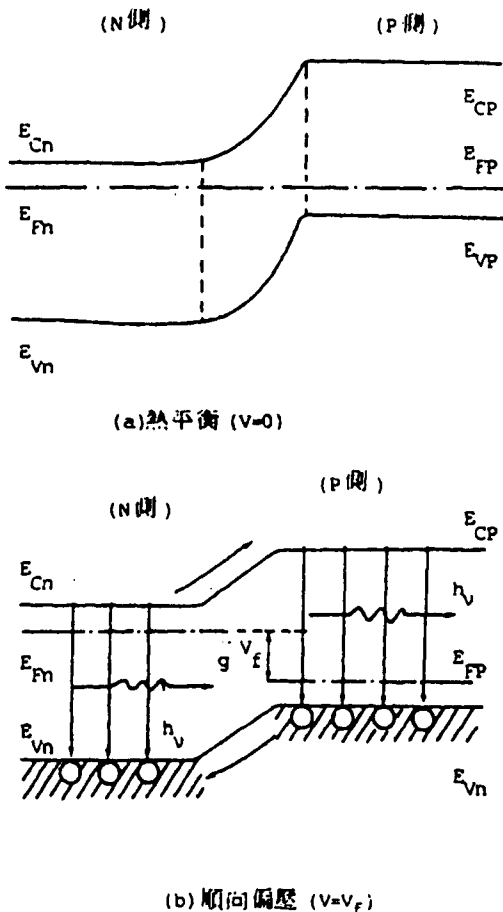
1. 電流分佈不當及光被本身材料吸收。

2. 當光自半導體射出自空氣時，因折射率的差異，導致光的耗損。也就是此兩種原因，造成一般LED和高亮度LED在亮度上明顯的區別。接下來我們將針對所面臨的問題，提出解決的辦法。

三、高亮度LED結構

1、電流分佈不當及光被本身材料吸收：

因一般LED，都是成長在N型GaAs基板上，且主要結構是雙異質結構(Double Heterojunction，又稱DH)其中在N型GaAs上分別成長P型Cladding Layer(披覆層)，活性層(Active Layer)及N型Cladding Layer。然後，在P型披覆層上，形成歐姆接觸(Ohmic Contact)。以AlGaInP紅光LED而言，因P-type AlGaInP其載子移動率非常低，約為 $10\text{cm}^2/\text{v}\cdot\text{sec}$ 且摻雜(Doping)不易提高，近似 10^{18}cm^{-3} 使得P-type的阻值相當高，造成電流擁擠(Current Crowding)在金屬下緣，當電流流到活性層產生光時，因此處所生的光，被金屬接觸所遮蓋而無法向上射出，因此，反射回來被基板吸收。因此為解決此項問題，便有以下三種架構產生。

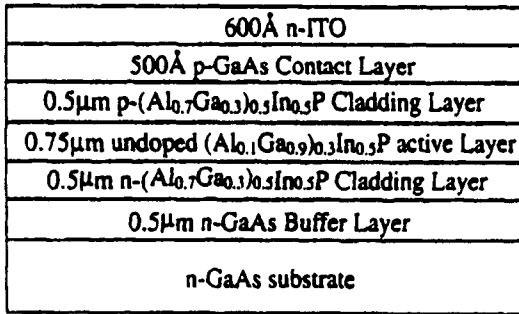


圖一 LED於熱平衡及加 V_f 電壓時之能帶結構圖

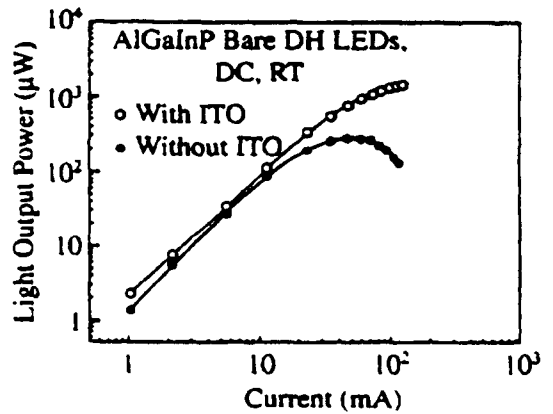
(1)、氧化錫錫(Indium Tin Oxide)

利用濺鍍(Sputtering)或蒸著(Evaporation)將

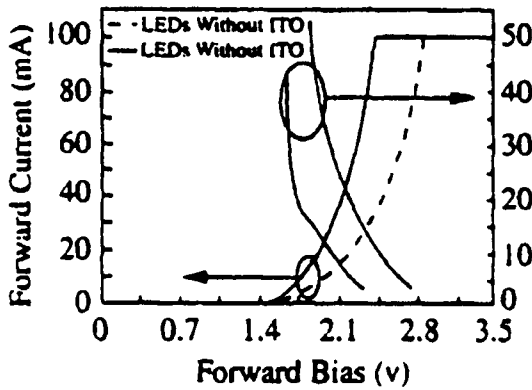




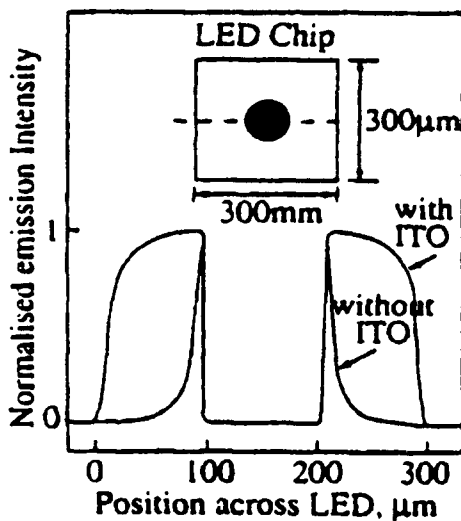
(a)



(d)



(b)



(c)

圖二 (a) ITO/GaInP LED結構圖；(b)有無ITO時I-V及電阻比較；(c)有無ITO時光強度比較；(d)有無ITO時光輸出與電流之關係

ITO成長在P型基板上，成長一層透明的導電層，因為片電阻為4.5ohm/sq，且其透光層在紅黃波長，使之對於發光在此範圍時的光輸出具有良好的效果。圖二、即成長ITO的架構圖。由於ITO和AlGaInP之間不易產生電接觸，所以在這兩層間成長一層GaAs改善之，如圖二(a)。由圖二(b)如有ITO時，電阻減少。由圖二(c)可以很清楚的看出在ITO時增加了光輸出的範圍。而圖二(d)用數字表示有ITO無ITO時，其光輸出的結果。

(2)、窗口層(Window Layer)

利用MOCVD的方法，在P型披覆層(Cladding Layer)和金屬間成長一層導電性，且對於所放射出的光波長是透明不被吸收的薄膜。而此種材料，現今最常用的即為AlGaAs及GaP。

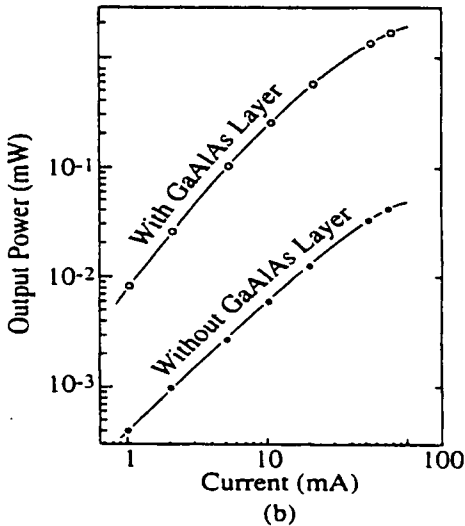
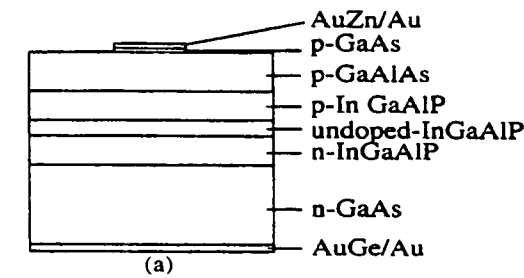
使用AlGaAs是因為AlGaAs的P型可以摻雜(Doping)很高的濃度，而得到高的移動率。因此，導電性佳，且當Al_xGa_{1-x}As當X>0.7



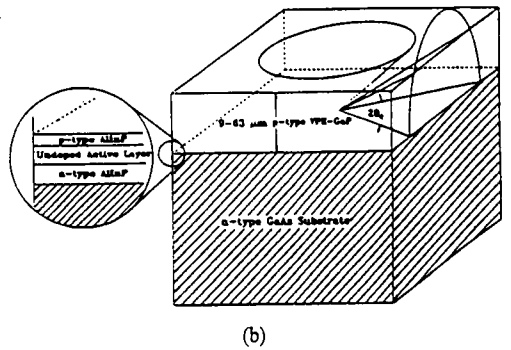
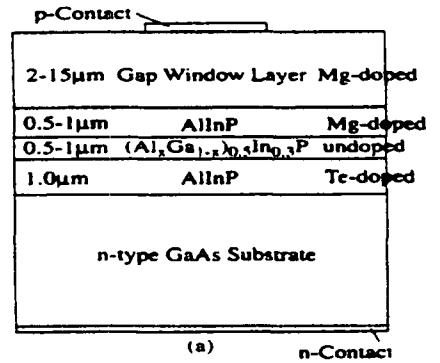
時，黃色及綠色可通過，所以對於黃綠色的LED, AlGaAs是一種不錯的選擇。

另外一種GaP，其P-Type亦可摻雜甚高的濃度，且對於黃紅色的光，其透性佳，因此對於紅光的LED可以選擇GaP作為窗口層。

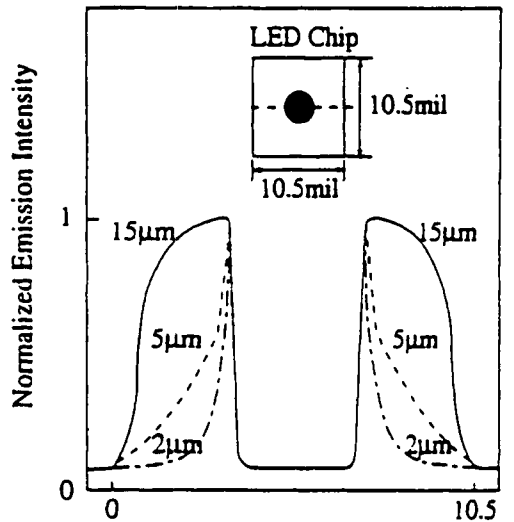
圖三可以是使用AlGaAs作為窗口層LED的架構。由圖三(b)知道有AlGaAs的其光輸出功率明顯的較沒有AlGaAs的來的大，約為40倍(當20mA時，有AlGaAs的為0.4mW，沒有AlGaAs約為0.01mW)。圖四(a)則是用GaP作為窗口層的結構圖，此為美商惠普(HP)的專利。圖四(b)，我們則可以清楚的瞭解光會由旁邊圓



圖三 (a)用p-AlGaAs作電流分佈層之AlGaInP發光二極體示意圖；(b)比較有無AlGaAs作窗口層之光輸出與電流之關係

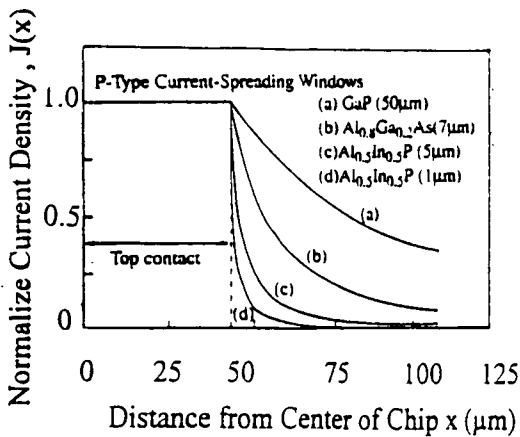


圖四 (a)用GaP作窗口材料以便電流分佈之AlGaInP發光二極體；(b)AlGaInP發光二極體簡單立體示意圖

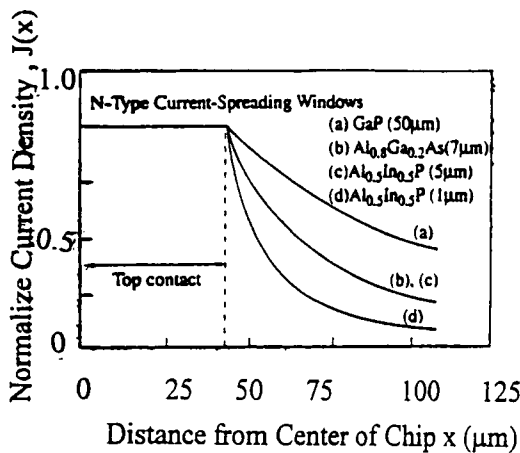


圖五 用不同厚度的GaP窗口層比較光之輸出強度

錐型的範圍射出，但只有光射出角在臨界角 (Critical Angle) θ 以內時才行。因此，成長較厚的GaP，會使得光的取出增加。而圖五，我們發現，越厚的GaP層，會使得光射出的範圍變大。當GaP為15 μm 時已有良好的光輸出情況。圖六、則對N型，P型的窗口層做比較。由圖六(a)得知，當Al_{0.5}In_{0.5}P時，其光輸出光侷限於金屬附近，當厚度增加時，從1 μm 至5 μm 可以看出，光輸出的情況有些許的改善。但是當加入GaP時，其光輸出的效果則明顯的改

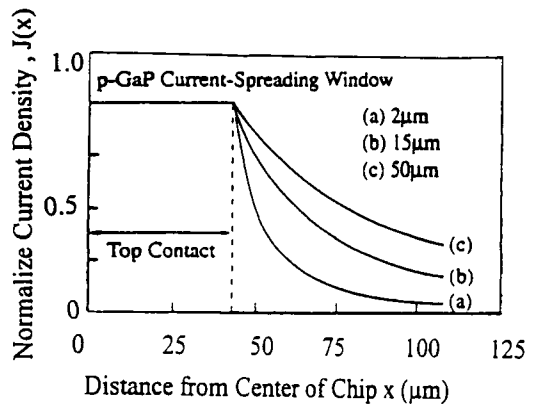


(a)



(b)

圖六 比較不同材料及不同厚度之窗口電流分佈圖(a) p-型；(b) n-型 窗口材料



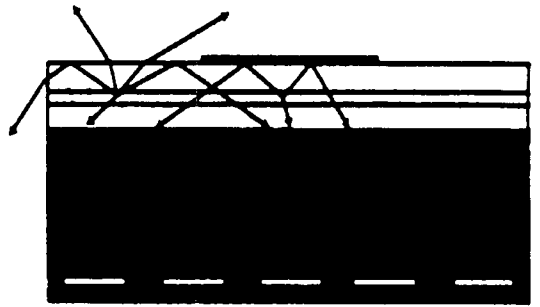
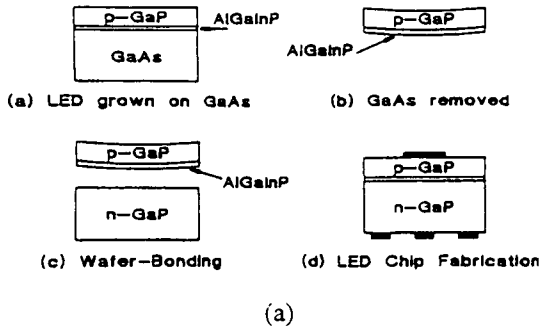
圖七 比較p-GaP不同厚度窗口材料之電流分佈圖

善。至於N型或P型之間，我們可以看出N型較P型有較好的光輸出響應，因為N型電子移動率較P型電子移動率來的高。圖七、則比較不同的GaP厚度對於光輸出的效果。從圖形，我們也可以得知較厚的GaP對於LED的光輸出是有所提昇。

(3)、透明基板(Transparent Substrate;簡稱TS)

一般的LED，是使用GaAs基板，而GaAs為有色光吸收材料，因此由活性層所發出來的光將會有一半被基板吸收。因此，若我們使用穿透光的基板，那麼將使的光輸出大為增加。圖八顯示出使用TS基板的製作過程。圖八(a)我們使用MOCVD將AlInP成長在GaAs基板上，然後以VPE法在上一層約5 μm 之GaP，GaP用來做電流及光取出之用，在將GaAs以化學腐蝕法去除，然後在將AlGaInP，在高溫和壓力下和8-10mil厚的N-GaP結合，當我們將AlGaInP和N-GaP結合時，若結晶相差90°的話，則其所呈現的電阻將增加，如圖八(b)所示。圖九及描述波長在604.1nm，室溫下，使用不同的基板，所呈現不同的光輸出值，比較(a)(b)這兩條曲線，得知使用TS基板其發光強度為使用

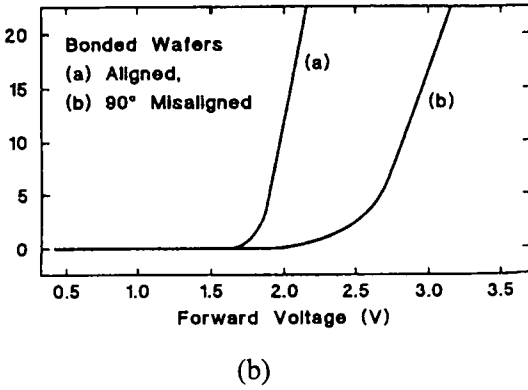
TS AlGaInP LED Chip Fabrication



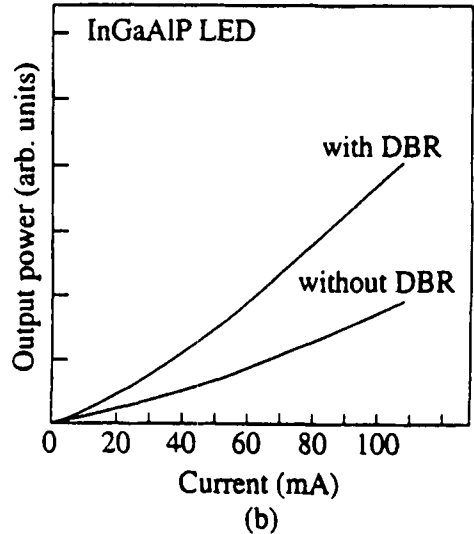
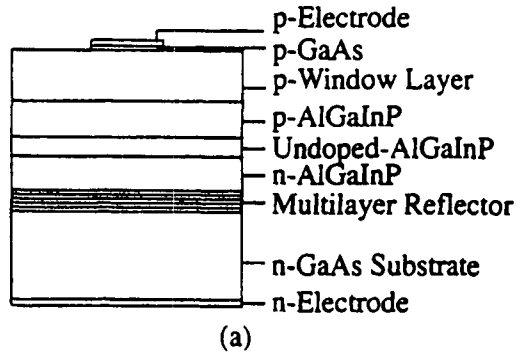
Absorbing Substrate (AS)

圖十 基板為吸收基板時，光取出之情況

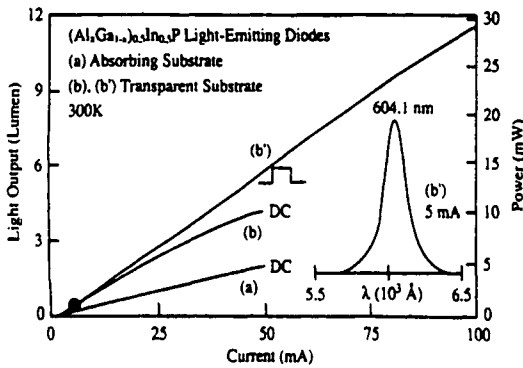
TS AlGaInP LEDs



圖八 (a)用晶片熔接法將透明基板接合之步驟；(b)接合時上下晶體結晶面在不同排列時I-V之比較



圖十一 (a)用布拉格反射鏡之AlGaInP發光二極體截面圖；(b)比較有無布拉格反射鏡之光輸出與電流之關係



圖九 室溫時在波長604.1nm比較不同情況時光輸出與電流之關係圖



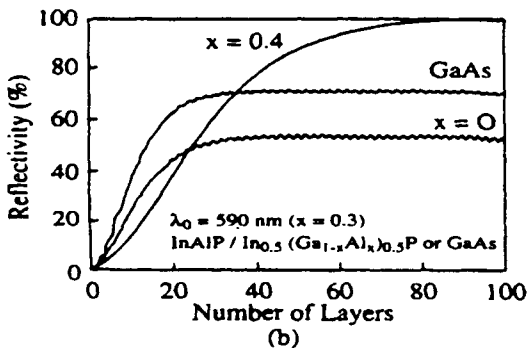
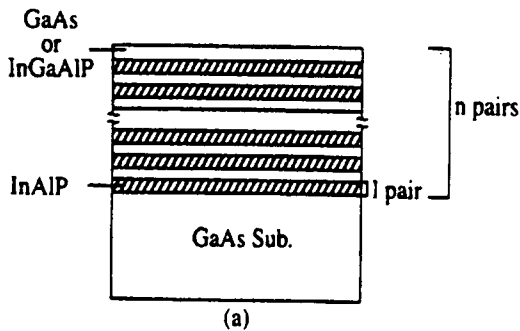
AS基板的2倍。

2、折射率差異，造成的光損耗

由圖十，我們可知當光自半導體($n_2=3.4$)進入空氣($n_1=1$)時，由司乃耳(Snell)定律 $\theta_c = \sin^{-1}(n_1/n_2) = 17.1^\circ$ 。因此，當光一旦大於 θ_c 時，將產生全反射，返回半導體被吸收，無法由表面透出。因此，為了解決此項問題，便有了DBR(Distributed Bragg Reflector)的產生，其簡介如下。

(1)、布拉格反射鏡(DBR)

一個最基本的DBR是重複著兩種材料構成，一種是 $\lambda/4$ 厚高折射率，另一種是 $\lambda/4$ 厚低折射率的材料。並把基本的DBR重複多次，以達到最大的反射率，使光產生反射進入空間中。圖十一即是日商東芝(Toshiba)公司的架構。



圖十二 (a)布拉格反射鏡之結構；(b)反射率與層數之關係

構。由圖十一(b)比較有無DBR的結果，我們可以很清楚的看出，有了DBR可以增加光的輸出。而圖十二是表示DBR層數和反射率之間的關係圖。圖十二(a)是DBR反射鏡之組成圖，其所使用的DBR為AlInP/In_{0.5}(Ga_{1-x}Al_x)_{0.5}P及InP/GaAs的混合。由圖十二(b)可以明顯的看出其反射率隨著層數的增加而增加。但隨著DBR的層數及複雜性的不同，那麼價格與性能亦是不同。所以，成本與性能之間是需做考量的。圖十三可看出DBR，可使全反射回來的光，再度反射至表面射出。

以上即為了光輸出的增加，而想出來的幾種常用的架構。

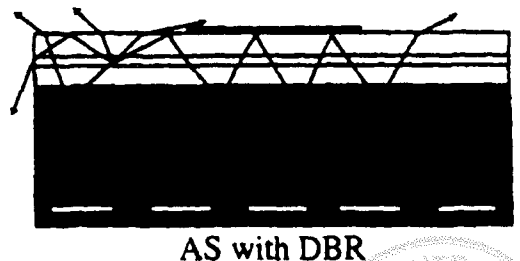
圖十四為市售LED的架構，其中美商惠普(HP)採用P-GaP窗口層，以增加光的輸出；日商東芝(Toshiba)，則使用P-AlGaAs作為窗口層，並加上電流堵塞的架構；UEC為台灣國聯光電公司，其高亮度磊晶市場為全球第一佔38%；OES為台灣晶元公司，其用ITO作為電流分佈及透光層，並加入了DBR的架構。

四、應用

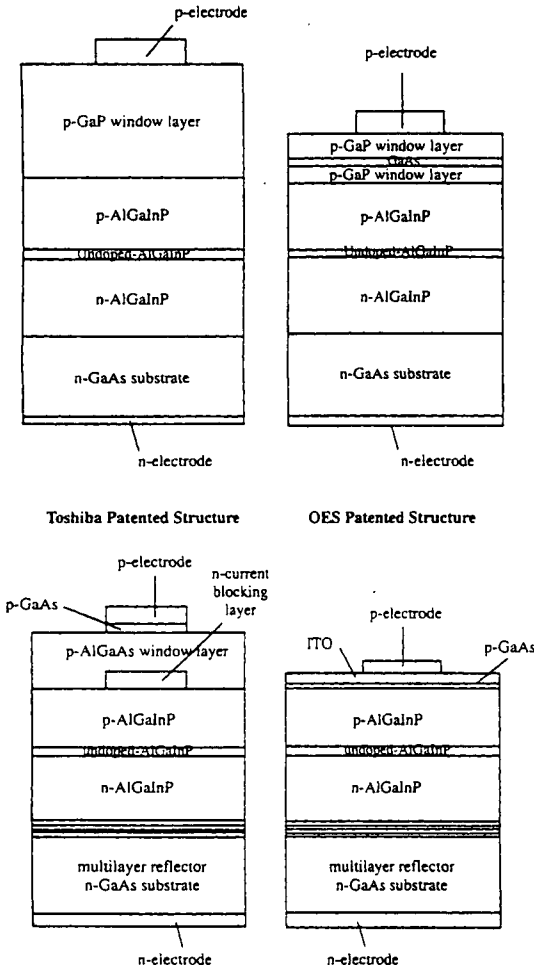
高亮度LED如今廣泛應用於大型戶外顯示器螢幕，交通號誌燈及汽車警示燈等等用途。以下將簡略其應用情況。

1、交通號誌燈

由表一我們得知高亮度的紅色、黃色、



圖十三 吸收基板加上DBR時光取出之情況



圖十四 各種商用產品的結構

綠色等高亮度二極體，其較一般紅綠燈使用的白熾燈，在能源消耗、電費消耗上皆來得低，但價格偏高，因此如何利用光學設計來減少發光二極體的使用數量，但仍能達到規定亮度的要求將是未來發展的課題。

最早裝置高亮度LED的都市是美國加州，因其使用效果良好，最近幾年，美國各地也紛紛效法，如費城或聖地牙哥整個城市的紅色號誌燈皆使用發光二極體。相同的情況，亦發生在日本的名古屋、仙臺、廣島等地。在台灣，新竹科學園區及台南科學園區亦有裝設。在竹科使用兩年多來，除了號誌燈被卡車損壞外，並無故障情形發生，證明了高亮度LED其壽命長，信賴性佳，想必在不久的未來在交通號誌燈的市場是一個主流。

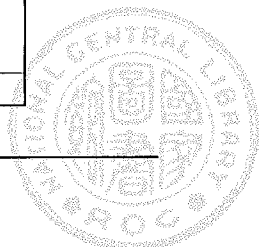
2、戶外顯示幕

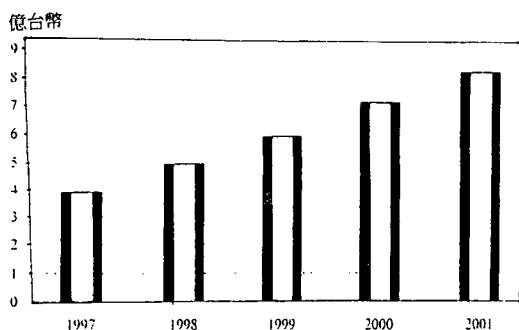
戶外顯示幕亦是使用LED最廣泛的商品。由圖十五、十六可知98年台灣產值已為22億台幣、市場值約為6億。在日後仍有相當大的發展空間而其發展方面可歸納以下幾點：

- (1) LED顯示幕未來發展類似CRT電視的演進，所以在材料、硬體、軟體三方面均為改進發展方向。

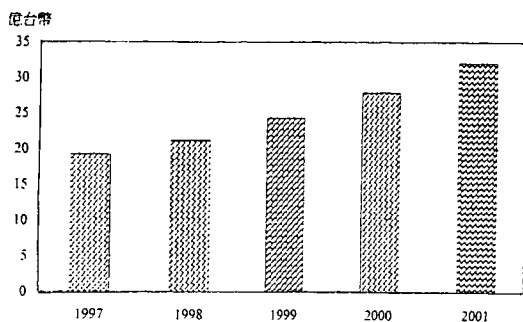
表一 各類號誌燈的成本比較

	白織鎢絲燈泡 號誌燈	紅色發光二極體 號誌燈	黃色發光二極體 號誌燈	綠織鎢絲燈泡 號誌燈
使用數目	1	300	300	300
價格	US.2.5	US.120	US.150	US.250
消耗功率	150瓦	20瓦	20瓦	20瓦
每年使用時數	5256 (紅燈)			
假設紅燈亮的時間占60%	438 (黃燈)	5256小時	438小時	3066小時
黃燈占5%，綠燈占35%	3066 (綠燈)			
能源消耗 (KWh/year)	788 (紅燈) 66 (黃燈) 460 (綠燈)	105	8.75	61.3
每年電費 (US.0.1/KWh)	US78.8 (紅燈) US.6.6 (黃燈) US.46 (綠燈)	US.10.5	US.0.875	US.6.13
還本期	—	1.7年	14.6年	5.9年





圖十五 台灣LED顯示器產值



圖十六 台灣LED顯示器產值

- (2) LED顯示幕均為Custom Design產品，所以各家公司的軟硬體設計為競爭要素，但是台灣在LED顯示幕的軟體設計能力上應加強，使得產品性能及色彩表現更加提高。
- (3) 品質與口碑是拓展LED顯示幕的主要因素，因為維修費用是該產品後序重要的問題，好的品質所呈現的廣告效

果，會是延續市場的關鍵。

五、結語

本文針對高亮度發光二極體其較一般LED之不同處，提出其各種架構，並對商品化的應用亦簡略的做了概述。由LED的磊晶設備商德國AIXTON表示，今年光是台灣進口的磊晶機台，即高達60台。可見的，台灣的發光市場，會是蓬勃發展的。

參考文獻

1. D. A. Vanderwater et al., J. Crystal Growth 174, 213(1997).
2. F. A. Kish et al., Appl Phys Lett., 64, 2839(1994).
3. G. E. Hofler et al., Appl Phys Lett., 69, 803(1996).
4. Y. A. Aliyu et al., Electron Lett., 31, 1691(1995).
5. J. F. Linetal., Electron Letter., 30, 1793(1994).
6. K. H. Hung et al., Appl Phys Lett., 61, 1045(1992).
7. 蘇炎坤，“發光二極體之原理種類與應用光訊”。
8. 史光國，“高亮度AlGaInP發光二極體(上)(下)”工業材料148期、149期。
9. 史光國，“高效率發光二極體”工業材料153期。
10. 陳澤澎，“發光二極體交通號誌燈”工業材料138期。

