

逢甲大學學生報告 ePaper

報告題名：

高效率發光二極體之設計與研究

Design and Study of High Efficiency LEDs



作者：李奇璋、張仲甫、張國德、黃上育、吳政耀

系級：電子工程系四年乙班

學號：D9267410、D9267292、D9267275、D9267262、D9267010

開課老師：李景松 老師

課程名稱：化合物半導體元件

開課系所：電子工程系電子元件學程四

開課學年：九十五 學年度 第一 學期



摘要

最近，由於磊晶成長技術突破，可得到優良品質的結晶，因此發光亮度急速提升，已被用來生產高效率的發光二極體。雖然內部量子效率已可達 99% 以上，但外部量子效率還是很低，以藍光而言甚至不到 10%，電流分佈與光取出是提高外部量子效率重要技術。本專題將研究一些提高發光效率的新設計。

(一) 氮化鈦(TiN)擁有低片電阻、不錯的穿透率、折射率匹配、堅硬物理特性與穩定的化學特性，我們將氮化鈦鍍在磷化鋁銦 (AlGaInP) 發光二極體上當電流分佈層，增加二極體電流均勻分佈能力，以提高發光效率。

(二) 利用 p 型氮化鎵(GaN)活化時，有鎳金屬催化可降低回火溫度的特性，在 GaN 發光二極體 p 端電極下方不鍍鎳金屬當催化劑，而在二極體其他面積鍍上鎳金屬當催化劑，在相同溫度回火可產生不同電洞濃度，因而產生不同電阻率，在二極體 p 端電極下方因無鎳金屬當催化劑，此區電阻率比其他區域大，利用此觀念設計選擇性高電阻區(SHRR)在氮化鎵發光二極體電極下方當攔阻層，避免電流流向

這個區域，使電流流向有效發光區域，以提高發光亮度。

(三) 探討氧化膜保護機制與表面網狀結構設計。在氧化膜的保護效應方面，氮化鎵(GaN)加上氧化膜前後之 PL 頻譜強度比較。另一方面，將氧化膜表面蝕刻成表面網狀結構將可再次提升元件之光取出率。



關鍵字：氮化鈦、選擇性高電阻區、氧化膜、表面網狀結構

目錄

第一章 序論.....	9
1-1 概論.....	9
1-2 專題結構.....	14
第二章 LED 的理論背景.....	16
2-1 概述.....	16
2-1-1 介紹.....	16
2-1-2 高取出率結構.....	16
2-2 電流展開結構.....	17
2-2-1 AlGaInP LED 的電流展開結構.....	17
2-2-2 GaN LED 的電流展開結構.....	18
2-3 電流攔阻結構.....	19
2-3-1 AlGaInP LED 的電流攔阻結構.....	20
2-3-2 GaN-based LED 電流攔阻的結構.....	21
2-4 光的萃取.....	21
2-4-1 介紹.....	21
2-4-2 臨界角損失.....	22
2-4-3 Fresnel 損失.....	24
第三章 用 TiN 薄膜改善 AlGaInP LED 的光輸出.....	25

3-1 介紹.....	25
3-2 有無 TiN 薄膜的比較和討論.....	25
3-2-1 沉積環境選擇.....	25
3-2-2 TiN 薄膜的特性.....	27
3-2-3 LED 性能.....	30
3-3 總結.....	36
第四章 用選擇性高電阻區改善 GaN LED 的光輸出...38	
4-1 介紹.....	38
4-2 對於選擇性區域活化的背景理論.....	39
4-3 有無 SHRR 的比較和討論.....	41
4-3-1 Ni 活化對 p-GaN 電洞濃度和電阻係數的影響.....	41
4-3-2 LED 性能.....	43
4-4 總結.....	45
第五章 氧化膜與表面網狀結構.....	47
5-1 氧化膜.....	47
5-2 表面網狀結構.....	50
第六章 結論.....	53
參考文獻.....	55

圖錄

圖 1-1 LED 的性能發展和元件種類的演進圖.....	10
圖 1-2 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ 能隙和晶格常數函數關係圖...11	11
圖 1-3 氮化物 LED 晶格常數和能隙的關係圖.....	11
圖 1-4 LED 的發光效能和波長的關係圖.....	12
圖 2-1 普通的 AlGaInP LED 結構與電流流向路徑圖.....	18
圖 2-2 GaN LED 從 P 到 N 可能電流路徑的截面圖.....	19
圖 2-3 在接觸點之下的 AlInGaP LED 的電流攔阻結構與傳統 電流路徑圖.....	20
圖 2-4 有電流攔阻層的 GaN LED 結構圖.....	21
圖 2-5 在於 AlGaInP LED 的 Snell 定理.....	23
圖 3-1(a) 薄膜電阻率和氣體比率的關係圖.....	26
圖 3-1(b) 薄膜電阻率和基底溫度的關係圖.....	27
圖 3-2 TiN 薄膜片面電阻和厚度的關係圖.....	28
圖 3-3 TiN 薄膜的透射率和厚度的關係圖.....	29
圖 3-4 TiN 薄膜折射率和厚度的關係圖.....	29
圖 3-5 不同金屬接觸大小(a) $100\mu m * 100\mu m$ (b) $300\mu m * 300\mu m$ (c)全覆蓋.....	31
圖 3-5(d) 沒有 TiN 薄膜的(a)(b)(c)電流-電壓特性曲線	

圖.....	31
圖 3-5(e) 不同晶片大小(1mm * 1mm、3mm * 3mm)的 LED I-V 曲線圖.....	32
圖 3-6 LED 有和沒有氮化鈦的電流-電壓(I-V)特性曲線 圖.....	33
圖 3-7 在室溫時光輸出功率強度和直流電流的關係圖.....	34
圖 3-8 在 100mA 驅動電流時光輸出和晶片發光面積的關係 圖.....	35
圖 3-9 為 1x1mm LED 有和沒有 TiN 在不同的順偏電流的發光 型態圖.....	36
圖 4-1 有選擇性高電阻區的 GaN LED 截面圖.....	40
圖 4-2 LED 俯視圖(a)有 SHRR 區(b)沒有 SHRR 區.....	40
圖 4-3 有和無 Ni 催化的 p-GaN 其電洞濃度和回火溫度關係 圖.....	41
圖 4-4 有和無 Ni 催化的 p-GaN 其電阻係數和回火溫度關係 圖.....	42
圖 4-5 有和無 Ni 催化的 p-GaN 其光輸出強度和電流特性 圖.....	43
圖 4-6 在 20 mA 順偏電流下有和沒有 SHRR 的 GaN LED 發光	

型態圖(a)沒有 SHRR (b)有 SHRR.....	44
圖 4-7 在 20 mA 順偏電流下沒有 Ni/Au P 極金屬電極的 GaN LED 發光型態圖(a)沒有 SHRR (b)有 SHRR.....	45
圖 5-1 退火溫度對蒸鍍 SiO ₂ 後的 GaN PL 頻譜圖.....	47
圖 5-2 沉積 Si _x N _y 前後的 GaN PL 頻譜圖.....	48
圖 5-3 GaN 氧化 Ga ₂ O ₃ 前後的 PL 頻譜圖.....	49
圖 5-4 光子在半導體中隨機散射示意圖.....	50
圖 5-5 表面網狀結構應用於太陽能電池的結構圖.....	51
圖 5-6 微米尺寸孔洞設計的 LED 結構圖.....	52
圖 5-7 不同微米尺寸孔洞的 EL 頻譜圖.....	52

第一章 序論

1-1 概論

發光二極體(LED)科技已經發展 45 年了。在 1962 年，紅光 GaAsP 發光二極體(LED)第一次在商業上被提出，但是這些元件的體積和性能的水準相對於目前來說比較低。圖 1-1 是 LED 性能的發展和元件的種類。早在 1970 年，在 GaP 和 GaAsP 中加入氮的類似電子參雜方法提出後，不但提升了 LED 性能並且製作出除了紅光之外的綠光、橘光、黃光等 LED 元件[1]。高性能 AlGaAs 光電元件也早在 1980 年被提出，使用液像磊晶法(LPE)來製作，提高紅光元件的性能[2]。而 AlGaInP 光電元件在 1990 年使用有機金屬化學氣相沉積法(MOCVD)來製作，不但大幅改善在紅橘色和黃色光譜區的光電元件性能，在綠光元件上也有極大的發展潛力[3]。高效能藍光 LED 直到最近才逐漸發展成熟。在 1992 年，GaInN 光電元件被提出可以大幅改善藍光 LED 的性能。綠光氮化物元件也已經被提出，因此高性能 LED 可製作範圍已經橫跨全彩可見光譜。

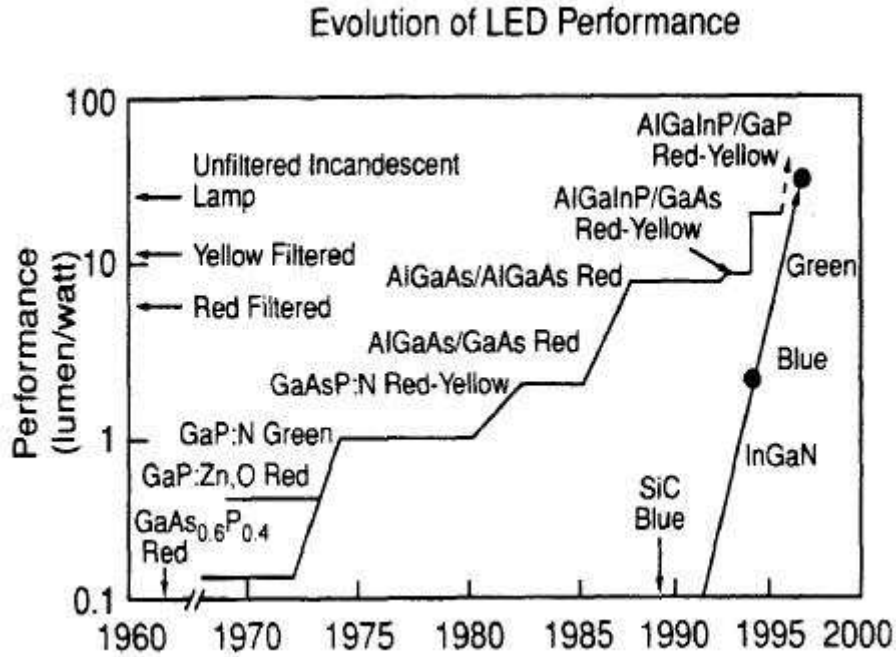


圖 1-1 LED 的性能發展和元件種類的演進圖

四元合金 AlGaInP 已經被廣泛的研究，因為 AlGaInP 是寬能隙的直接能隙材料，其發光波長介於紅綠之間而且與 GaAs 晶格匹配。圖 1-2 說明 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ 能隙和晶格常數函數的關係。對於短波長和高功率光電元件而言，GaN 和相關化合物等材料是非常吸引人的，因為它有寬能隙、高崩潰電壓和高電子飽和漂移速度等優點。圖 1-3 說明氮化物 LED 晶格常數和能隙的關係。

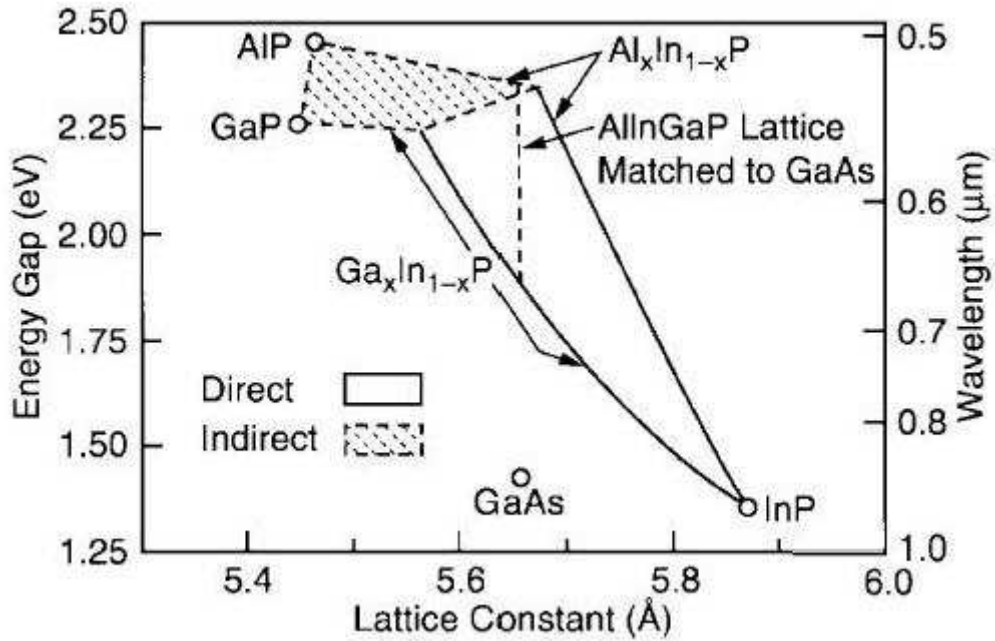


圖 1-2 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ 能隙和晶格常數函數的關係圖

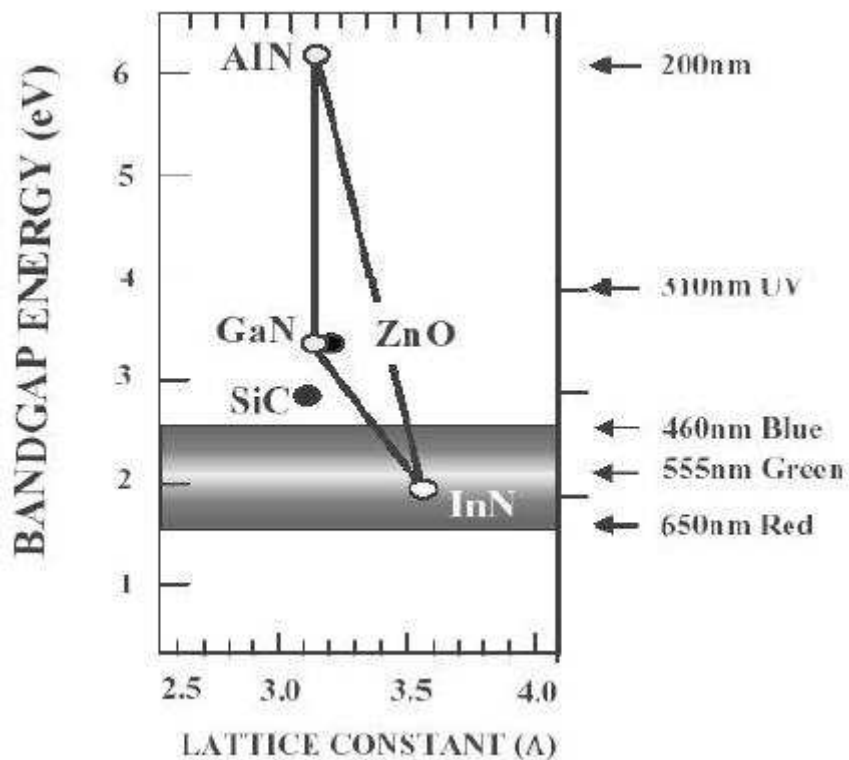


圖 1-3 氮化物 LED 晶格常數和能隙的關係圖

早期 GaAsP-GaAs 技術和 GaAsP-GaP 技術由於可用顏色不多且效能不高的緣故最初的應用只是在指示燈和數字或字母的顯示器。回顧過去幾十年，隨著磊晶技術成長和 LED 新材料的擴展迅速，使 LED 有更高效率和新顏色。新的 LED 材料技術帶來新的應用，例如跑馬燈和交通號誌等。在最近 AlGaInP 材料技術在黃橘和紅橘的顏色範圍內可達到 30lm/W 的發光效率。InGaN 材料技術也可用於綠光到藍光之間且達到發光效率範圍 3 到 15lm/W[4]。圖 1-4 說明 LED 的發光效能和波長的關係。藉由混合紅綠藍光 LED，可以製作出白光源。以目前來說，白光 LED 光輸出功率只能達到 1 瓦特。相信以後將可以達到 10 瓦特的高功率。

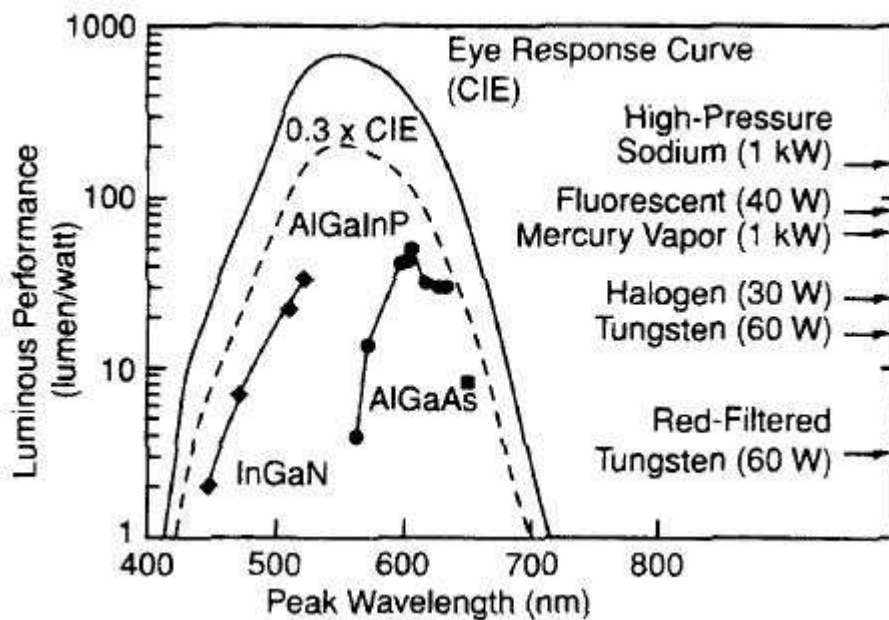


圖 1-4 LED 的發光效能和波長的關係圖

雖然在實驗室中高亮度 LED 已經產生很多年，而且商業上的貿易也不斷持續著。然而對於需要高亮度的照明設備而言，LED 的光輸出仍然低於傳統光源，還是需要更進一步改善 LED 的光輸出效率。如何去有效的改善外部量子效率是一個很好的研究主題。事實上，現今的磊晶技術已經非常成熟了。可以簡單的達到 90% 的內部量子效率，如果使用品質好的晶片甚至可以到達 99%。相較於外部量子效率卻始終只有低效能。即使是著名的日亞 LED 製作公司所提出的光電期刊報告，在藍光和綠光 LED 也只能達到 10% 的外部量子效率。如果我們想要用白光 LED 去取代傳統的光源，光輸出效率將是一個巨大的挑戰。固態光源 LED 的缺點就是低光輸出效率。所以本專題內容就是增加外部量子效率去改善光輸出效率。我們將試著去改善光輸出效率藉由使用一些製程機制，包括在 AlGaInP LED 上沉積電流展開層使電流均勻注入，在 GaN LED 的 P 端電極下加入選擇性高電阻區 (SHRR) 當作電流阻礙層使電流均勻散佈，還有利用氧化膜與表面網狀結構去減少反射損失和增加光取出率進而提升外部量子效率等三種方法。

1-2 專題結構

第一章 序論

說明選擇此题目的研究動機還有本專題的架構。

第二章 LED 的理論背景

對於高效能的 AlGaInP 和 GaN LED 元件產品和發展的主題描述。尤其是提高光輸出效能的 LED 結構將被討論，包括電流展開層、電流攔阻層和視窗層。我們將回顧這些造成高亮度黃橘紅和綠藍光的 AlGaInP 和 GaN LED 技術。

第三章 用 TiN 薄膜改善 AlGaInP LED 的光輸出

我們將用低電阻和高透明度的 TiN 薄膜層沉積在 AlGaInP LED 上去改善 LED 表面的光取出率，並且比較有無 TiN 展開層的差別。在高電流注入時，TiN 薄膜層可以大面積地展開電流且改善發光區域的散佈範圍。因此，電流聚集效應減少，光輸出功率增加。藉由原理和實驗顯示，透明傳導 TiN 薄膜可以低成本又簡單地當作電流展開層，對於改善 AlGaInP LED 整體的可靠性和效率都有很大的幫助。

第四章 用選擇性高電阻區改善 GaN LED 的光輸出

在普通 GaN LED 中的 P 端金屬電極之下加入選擇性高電阻區來增加光輸出是這章的重點。在傳統的設計裡，光如果產生在不透明的 P 端金屬電極之下通常被金屬吸收或反射造成光損失。在選擇性高電阻區的設計裡，P 端金屬電極下的區域藉由製程刻意產生高電阻，減少電流經過並且減少金屬接觸下的光產生。量測金屬接觸下的電流，發現原本流經選擇性高電阻區的電流平均散佈在元件其他有用的發光區域，導致光輸出功率和發光效率有效的增加。

第五章 氧化膜和表面網狀結構

外部量子效率中光取出率的影響十分重要，也是造成外部量子效率和內部量子效率相距甚大的一個因素，主因在於半導體的折射率遠大於空氣，造成臨界角過小使得僅有少部分的光能過穿透出來。利用氧化膜可以減少反射損失，而表面網狀結構可以改變反射面的角度進而增加光取出率，是相當有用的一樣技術。

第六章 結論

對於本專題的結論和心得。

第二章 LED 的理論背景

2-1 概述

2-1-1 介紹

AlGaInP 已經被廣泛地研究，因為 AlGaInP 的波長範圍是介於紅光和綠光之間的直接能隙轉換金屬，而且它的晶格是與 GaAs 相互匹配的。GaN 和相關的化合物，因其寬能隙、較大的崩潰電場和高電子飽和漂移速率對於短波長與高功率的光電元件是很有吸引力的。在個別項目，高亮度白光 LED 的照明普及是有很大的影響力。LED 的光輸出仍然是較低的，相對於常見的高電流照明設備系統的光源。我們現在應該專注於研究如何製造高亮度的 LED，使得新的大眾化的照明設備實現。而這章節重新探討一個重點，高性能 AlGaInP 和 GaN LED 元件的發展。討論特殊的 LED 結構增強光輸出性能，包含電流展開層、電流攔阻層與窗口層。

2-1-2 高取出率結構

從 LED 活動層輸出的光功率是不一致的，因為在 LED 中光子是由任一方向被射出的。由於半導體的高折射率，如果入射的角度過大的話，光入射在半導體和空氣的介面處是完全的反射。使得輸出功率只有從活動層中射出的幾個百分比。外部量子效率 η_{ext} 是被定義為輸出

光子的數量與輸入電子的數量之比值，LED 也常計算其數值[5][6]。

任何 LED 的外部量子效率不只被內部量子效率(電子或電洞對光子的機率換算)所決定，也被光子由活動層射出時從高折射係數化合物半導體材料進入到周圍低折射係數材料時的穿透量所決定。內部量子效率是量測藉由在 LED 的活動層內部注入電子而產生的部分光子。外部量子效率 η_{ext} 等於內部量子效率 η_{int} 乘上取出率 η_{opt} ：

$$\eta_{\text{ext}} = \eta_{\text{int}} * \eta_{\text{opt}} \quad (2-1)$$

低的光輸出效率是固態 LED 的短處，所以增加外部量子效率以改善光輸出效率是未來的趨勢。

2-2 電流展開結構

2-2-1 AlGaInP LED的電流展開結構

一個常見的 AlGaInP LED 晶片是立方型的，有著一個環形的接觸點在晶片中央的頂端，還有一個樣本或薄板金屬在其最底部。當 LED 操作時電流提供了一個流動，從晶片頂部接觸點至 P 型層與底下發生光產生的接面。然而 P 型的 AlGaInP 層其阻抗是太高了，來自接觸點的電流將不會明顯的展開，而將侷限在金屬接觸之下。LED 晶片內部在接觸點之下光的產生是被限制和吸收的。對於高亮度的應用，頂端

接觸點的陰影是必須縮到最小的。最直接靠近縮小的接觸點陰影是成長在一個高傳導穿透率的窗口，接著在之上成長侷限層，如圖 2-1。

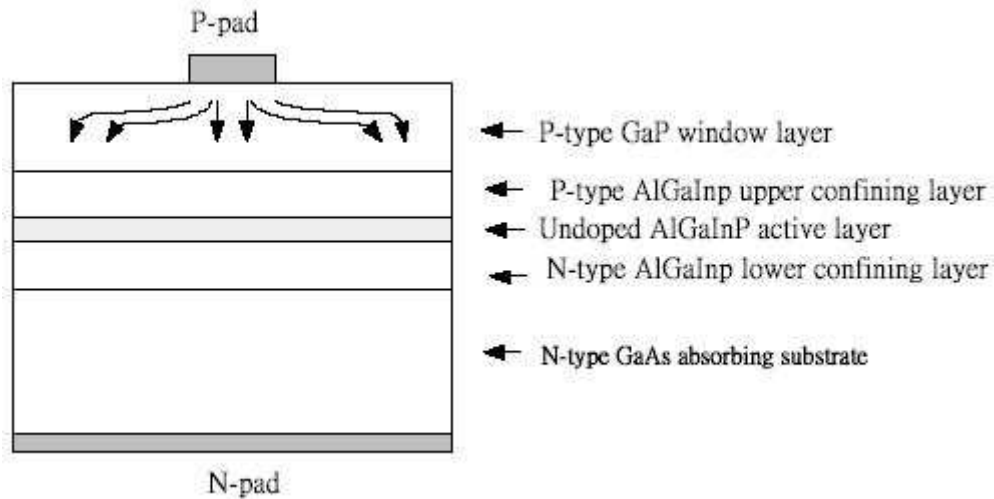


圖2-1 普通的AlGaInP LED結構與電流流向路徑圖

AlGaAs 和 GaP 兩種材料已經被成功的利用在 AlGaInP LED 的窗口層上。近來，在 AlGaInP LED 另外的改善電流展開層取代技術是應用於一個透明的傳導層，例如氧化銦錫(ITO)用在 LED 的頂部結構 [8][9]。這是與電流展開層有相似的觀念，而不是生長一個磊晶的窗口層。一個傳導的 ITO 薄膜是藉由電子束蒸鍍機或噴射濺鍍系統沉積在 LED 的頂端。

2-2-2 GaN LED的電流展開結構

由 GaN 作為基礎的 LED 成長在深藍色的絕緣基板上，它是必須使用一個橫向的載子注入型二極體。儘管如此，運用一個橫向注入型在

於裝置操作的期間產生一個不均勻的電流展開的問題。而一個均勻的電流展開於 TCL 是必須完成的，如此可藉由透明導電層(TCL)來避免電流聚集和減少光子的吸收，而在 p-GaN 的頂端設計一個電流展開層是必須是做一些取捨。我們可以找到一個從 p-pad 到 n-pad 的需要通過垂直且橫向的透明接觸層電流。圖 2-2 顯示 LED 結構的截面圖，圖中顯示從 p 到 n-pad 的可能電流路徑。

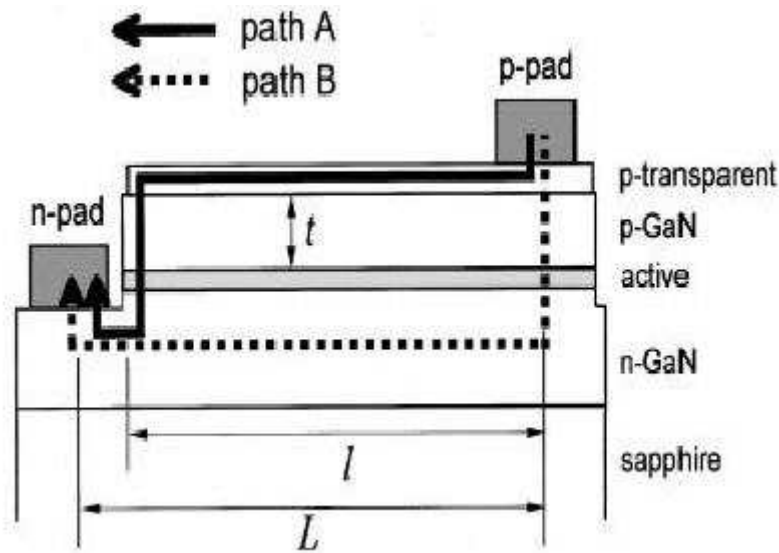


圖2-2 GaN LED從P到N可能電流路徑的截面圖

2-3 電流攔阻結構

因為 LED 晶片結構組成是由一個金屬接觸部分覆蓋於表面的元件，AlGaInP-或 GaN-based LED 其中一個問題是必須遭遇到光子位於光射出的路徑上被金屬接觸吸收。光子的產生來自 P-pad 電極之下的活動層，是可能被吸收或反射回晶片。反射回去的光子也將有被吸收

的可能，這是對光輸出效率沒有幫助的。然而有數個技術能藉由避免注入電流直接流經 P-pad 電極之下與流經元件外部的接觸範圍，以減少接觸遮蔽的問題。減少光在接觸之下產生，電流攔阻是其中之一改良外部效率的方法。

2-3-1 AlGaInP LED的電流攔阻結構

一個供選擇的晶片結構是利用在外部成長厚的視窗層來減少頂部接觸遮蔽與改良電流展開。這個晶片結構包含了相反載子類型的電流攔阻層，進入到元件接觸點下方的結構中，如圖 2-3。這個電流攔阻層允許電流注入從頂部的接觸點展開穿越窗口層，但防止電流直接從 DH 範圍在吸收的接觸點之下(縮小遮蔽處由不透明的接觸)。

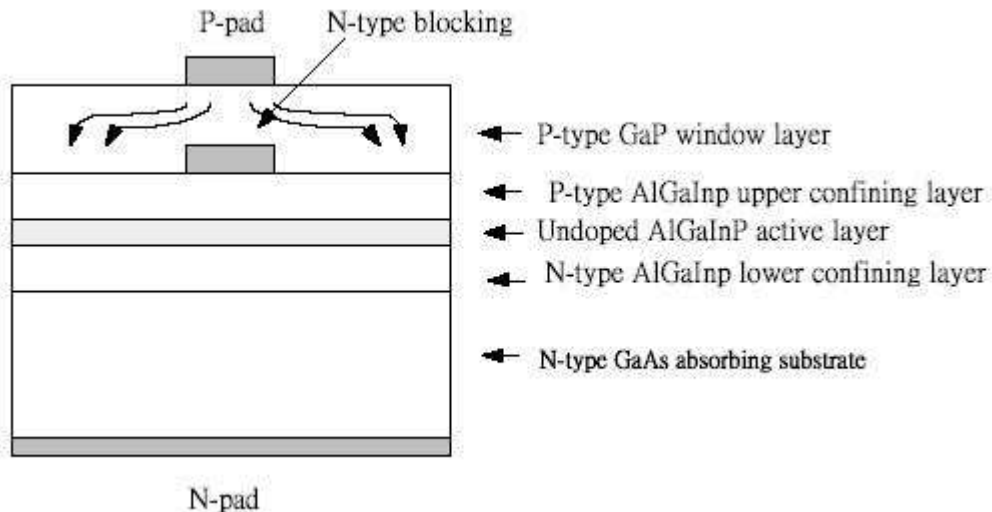


圖2-3 在接觸點之下的Al InGaP LED的電流攔阻結構與傳統電流路徑

圖

2-3-2 GaN-based LED電流攔阻的結構

在 GaN-based LED 的領域中，C. Huh 以及其他人士提議 SiO₂ 電流攔阻層改良光輸出效率[10]。他們在 p-pad 電極的下方插入了一個 SiO₂-CBL，在厚的 p-pad 電極去減少光的吸收與影響注入電流的展開，如圖 2-4。有著一個 SiO₂-CBL InGaN/GaN MQW LED 晶片在 20mA 時光輸出功率改良 62%，藉由與平常的 InGaN/GaN MQW LED 晶片去做比較。因此我們在 p-pad 電極之下設計一個新奇的選擇高阻抗範圍 (SHRR)，當 GaN based LED 的一個攔阻層使電流均勻地展開[11][12]。

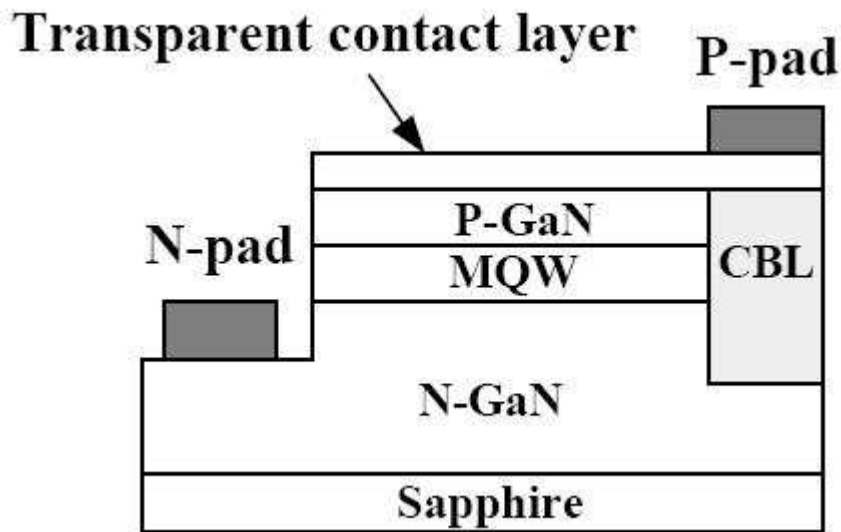


圖2-4 有電流攔阻層的GaN LED結構圖

2-4 光的萃取

2-4-1 介紹

發光二極體在主動區邊界兩端使用高能隙材料做多重量子井結構，將

會使光的萃取更有效率。所有發光二極體元件的外部量子效率不僅取決於內部量子效率(將電子和電洞轉換為光子的可能性)也包含光子從活動層射出的可能性，要避免從高折射係數的化合物半導體物質進入低折射係數的週遭物質。內部量子效率是測量部分的光子藉由將電子注入到發光二極體活動層所產生的光。 η_A 為發光二極體內部所產生的光經過再吸收的遺失效率，而 η_F 和 η_C 為裝置內部全反射所導致的。 η_{opt} 光取出效率等於 η_A 乘以 η_F 乘以 η_C ：

$$\eta_{opt} = \eta_A \eta_F \eta_C \quad (2-2)$$

η_A ：吸收效率 η_F ：Fresnel 遺失效率 η_C ：臨界遺失效率

2-4-2 臨界角損失

臨界角損失起因於光子從發光二極體入射到空氣時入射角大於臨界角，由 Snell 定理可知：

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \rightarrow \theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (2-3)$$

θ_1 與 θ_2 分別為入射波與反射波和法線的夾角，當反射角 θ_2 等於90度時， θ_1 稱為臨界角 θ_c 。對於AlGaInP發光二極體而言，GaP的折射率 $n=3.4$ ，臨界角 $\theta_c=17$ 度。光從AlGaInP發光二極體到達表面，因角度大於17度而全反射回裝置內。因此，只有當 θ 小於 $2\theta_c=34$ 度時，才可以讓光從AlGaInP發光二極體入射到空氣中，如圖2-5。

AlGaInP 發光二極體入射到空氣的臨界角效率因子為：

$$\eta_c = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 = \left(\frac{1}{3.4}\right)^2 = 0.0865 \quad (2-4)$$

對 GaN LED 發光二極體而言，GaN 的折射率 $n=2.4$ ，臨界角 $\theta_c=24.6$ 度。光從 GaN 到達表面，因角度大於 24.6 度而全反射回裝置內。因此，只有當 θ 小於 $2\theta_c=49.2$ 度時，才可以讓光從以 GaN 為基底的發光二極體入射到空氣中。以 GaN 為基底的發光二極體入射到空氣的臨界角效率因子為：

$$\eta_c = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 = \left(\frac{1}{2.4}\right)^2 = 0.174 \quad (2-5)$$

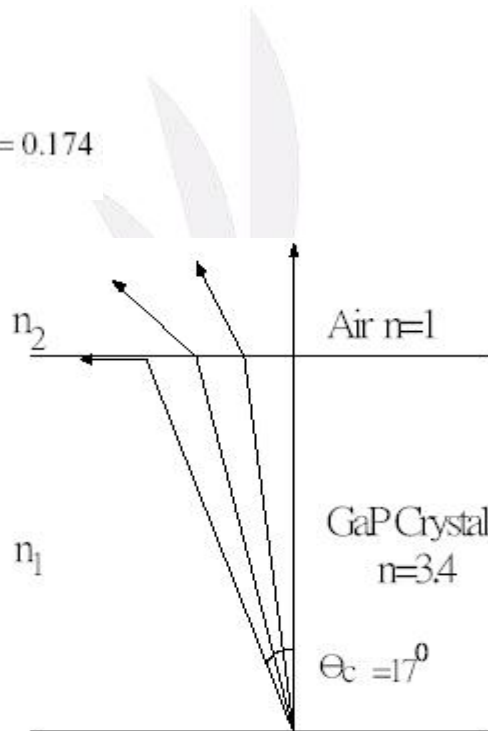


圖 2-5 在於 AlGaInP LED 的 Snell 定理

2-4-3 Fresnel 損失

當光從折射率為 n_1 的物質穿越折射率為 n_2 的物質，一部分的光將從物質界面處反射回去，這種造成光的損失的現象稱之為 Fresnel 損失，其反射係數為：

$$R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 \quad (2-6)$$

界面的穿透係數為：

$$T = 1 - R = 1 - \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 = \left(\frac{4n_2n_1}{n_2^2 + 2n_2n_1 + n_1^2} \right) \quad (2-7)$$

Fresnel 損失的效率因子 η_F 為：

$$\eta_F = \frac{4}{2 + \frac{n_2}{n_1} + \frac{n_1}{n_2}} \quad (2-8)$$

對 GaN 發光二極體而言，Fresnel 損失發生於光從 GaN 入射到空氣時。

第三章 用 TiN 薄膜改善 AlGaInP LED 的光輸出

3-1 介紹

近年來, 四元合金 AlGaInP 廣泛地被使用在可見光的 LED, 因為 AlGaInP 是寬能隙直接轉換材料且波長區域位於綠光和紅光之間, 與 GaAs 晶格匹配[7][9][13][14][15]。為了提升 LED 到最大光取出, 在頂部合併寬能隙材料與有適合的厚度和導電係數的材料以便從不透明的頂部金屬接觸展開電流是必要的。

氮化鈦(TiN)是一種常用但很難氣相沉積的薄膜, 主要應用在精確且高性能的金屬零件。幸運地, 當製程中薄膜厚度比可見光波長薄很多時, 通常不透明的氮化鈦等效於透明。Kiuchi et al. 報告 TiN 薄膜透射率在 20nm 大約 80%[16]。對於 TiN 的可看透明度(作為薄膜)、高導電率和高導熱率等優點, 建議的用途為電流展開層。

3-2 有無 TiN 薄膜的比較和討論

3-2-1 沉積環境選擇

在這個部分, 我們將描述氮化鈦薄膜的特性和選擇氮化鈦的沉積環境。TiN 薄膜厚度和折射率由固定的波長 ellipsometer ULVAC

ESM-1($\lambda=632.8\text{nm}$)測量。我們選擇沉積環境的理想參數藉由氮化鈦效能和沉積時間、氣體比率、基底溫度和 RF 功率的關係。

圖 3-1 說明電阻率($\mu\Omega\text{-cm}$)與氣體比率和基底溫度的關係。依照圖 3-1(a)，結果是顯著的，電阻率增加隨著 N_2 氣體的增加，意味著氣體比率(Ar/N_2)減少，最小的電阻率是在比率 10/2 時，因為進一步增加 N_2 導致過度氮化的氮化鈦有高電阻率，這篇專題選擇氣體混合比例 $\text{Ar}:\text{N}_2=4:1$ 的情況，作為沉積環境參數。圖 3-1(b)說明薄膜電阻率和基底溫度的關係。電阻率大幅下降從 $350\mu\Omega\text{-cm}$ 到 $280\mu\Omega\text{-cm}$ 在 RF 功率 150W 時，因為 TiN 薄膜結構從非晶變成奈米晶格。電阻率是越來越少隨著 RF 功率從 50W 到 150W 由於 TiN 薄膜密度增加。

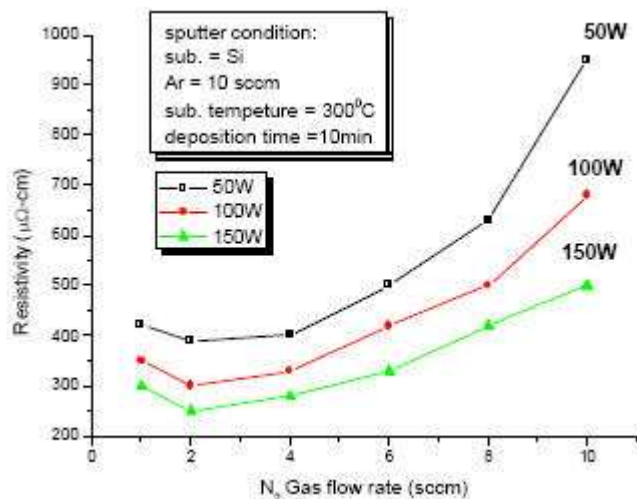


圖 3-1(a) 薄膜電阻率和氣體比率的關係圖

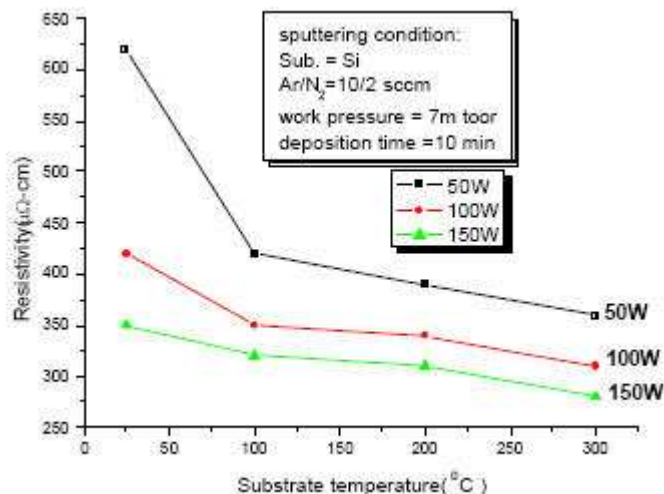


圖 3-1(b) 薄膜電阻率和基底溫度的關係圖

總結以上談論，我們選取適當的製程參數沉積 TiN 薄膜至 LED 表面，用 RF 功率 100W、操作壓力 5m~7m torr、Ar 氣流 10sccm、氣體混合比例 Ar : N₂ = 4 : 1 和排除基底溫度的影響。我們將討論 TiN 薄膜電阻率、透明度和折射率對 TiN 薄膜厚度的關係。

3-2-2 TiN 薄膜的特性

TiN 薄膜作為電流展開層應該有低片面電阻和高透明度。由於晶格成長剛開始時，最初的表面是顆粒狀和粗糙的，使它難獲得非常稀薄、連續的薄膜。當成長的過程持續進行，晶格擴展且變成連續的薄膜。這連續的薄膜產生更好的傳導性，但透明度減退隨著薄膜厚度增加。所以 TiN 薄膜厚度是一個重要因素，其透明度和傳導性的好壞必須要做取捨。

圖 3-2 說明 TiN 薄膜片面電阻和厚度的關係。24nm 的 TiN 薄膜片面電阻比其它厚度高，在片面電阻的最初的急劇減退隨著 TiN 厚度的增加，據推測應此時開始形成連續的薄膜。

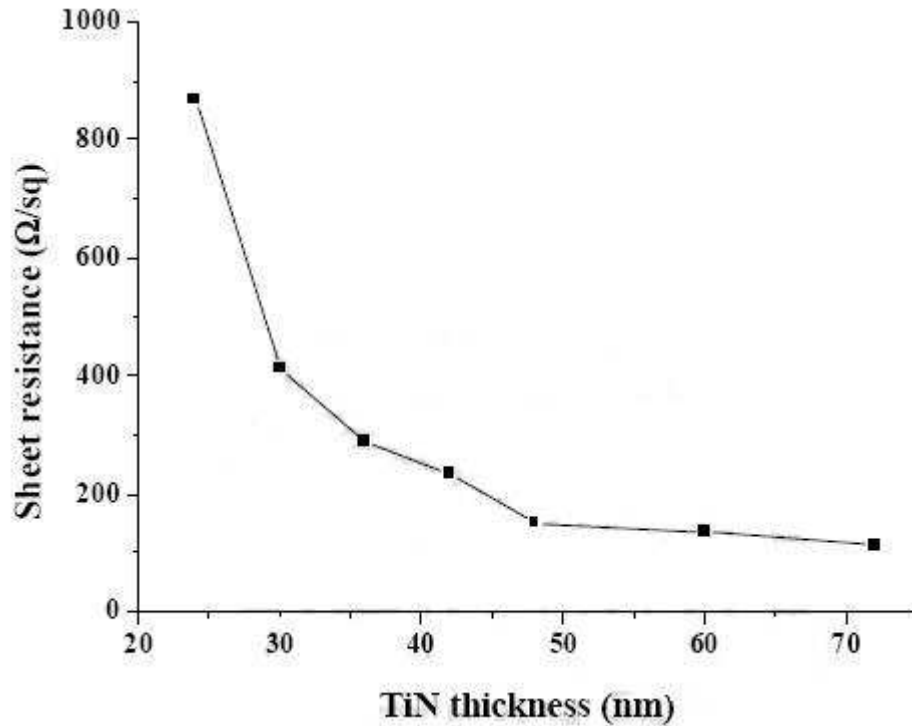


圖 3-2 TiN 薄膜片面電阻和厚度的關係圖

圖 3-3 顯示 TiN 薄膜的透射率和厚度的關係在一個光波長 600nm 情況下。TiN 透射率線性地減少隨著 TiN 薄膜厚度增加。圖 3-4 顯示 TiN 薄膜折射率和厚度的關係。圖中可看出折射率增加隨著 TiN 厚度增加。

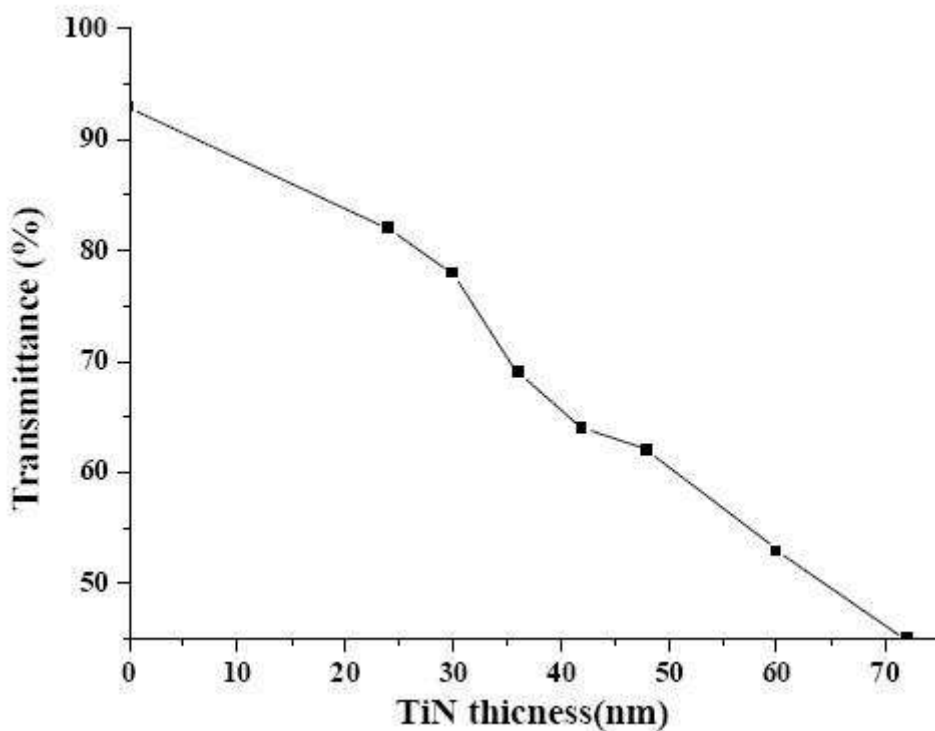


圖 3-3 TiN 薄膜的透射率和厚度的關係圖

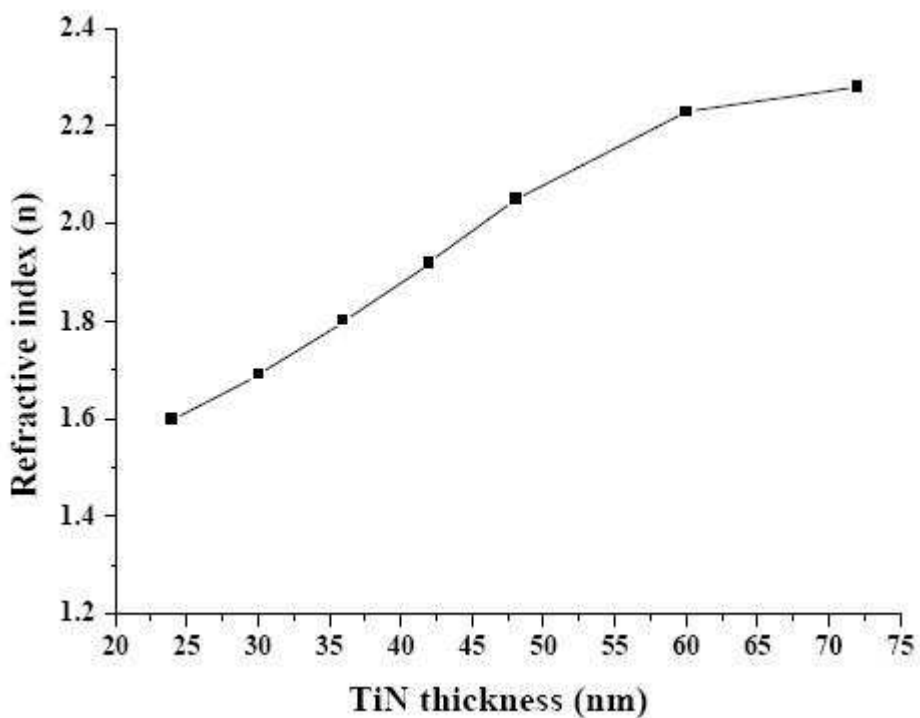


圖 3-4 TiN 薄膜折射率和厚度的關係圖

TiN 電流展開層有二個重要作用。第一是展開電流的能力，幫助分散輸入電流在活動層，因此擴展發光面積和改進元件效率。第二是改進折射率匹配在半導體和空氣的接口，因此增加元件的光取出。TiN 薄膜如果當作電流展開應該要有低片面電阻、高透射率和更好的折射率匹配在半導體和空氣接口。48nm TiN 薄膜有片面電阻 $150 \Omega/\text{sq}$ 、電阻率 $750 \mu \Omega\text{-cm}$ 、大約 60%透明度和折射率 n 大約 2。所以，48nm TiN 薄膜是我們最理想的選擇並且這些參數用於 LED 製程中製作電流展開層。

3-2-3 LED 性能

這個部份我們將討論電流-電壓(I-V)和光輸出-電流(L-I)的特性將。藉由元件放光型態比較 LED 電流展開的和聚集效應隨著有和沒有 TiN 薄膜。

為了證明電流展開的重要性，我們製造標準 AlGaInP LED 用不同晶片大小和金屬接觸大小。圖 3-5 顯示用不同晶片大小和金屬接觸大小的標準 AlGaInP LED 結構和電流-電壓特性曲線。圖 3-5(d)顯示圖 3-5(a)、(b)和(c)結構中沒有 TiN 薄膜 AlGaInP LED 的電流-電壓特性曲線。我們發現導通電壓隨著金屬接觸大小的增加而降低，因為更

大的金屬接觸面積可以展開注入電流。根據這個結果，我們能確定在 P 端電流展開的重要性。圖 3-5(e)顯示二塊不同晶片大小(1mm * 1mm, 3mm * 3mm)的 LED I-V 曲線，但有同樣金屬接觸大小(300 μm * 300 μm)。我們發現越小的元件需要越大的導通電壓。

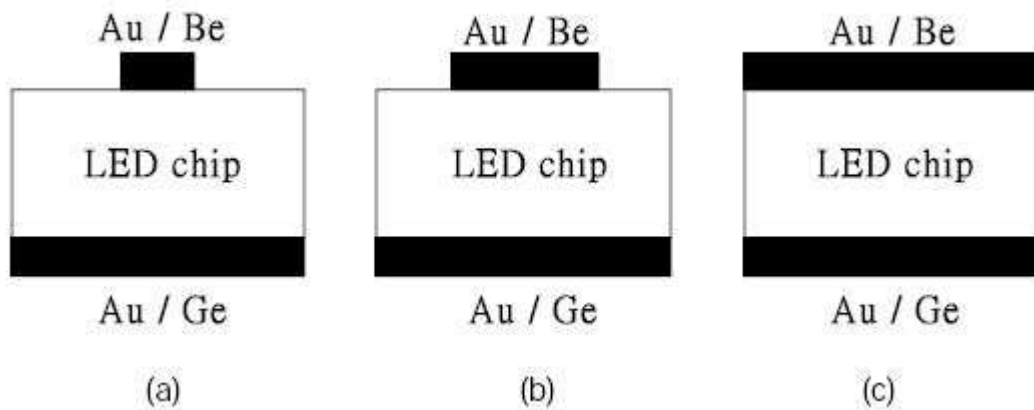


圖 3-5 不同金屬接觸大小(a)100 μm * 100 μm (b)300 μm * 300 μm (c)全覆蓋

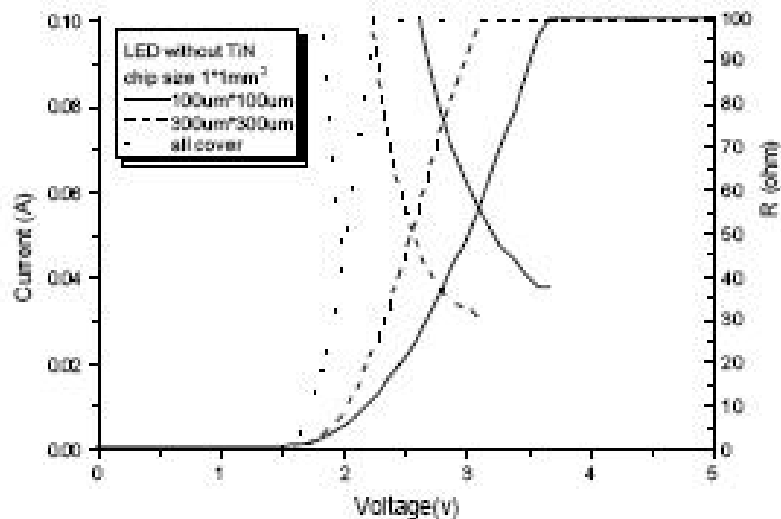


圖 3-5(d) 沒有 TiN 薄膜的(a)(b)(c)電流-電壓特性曲線圖

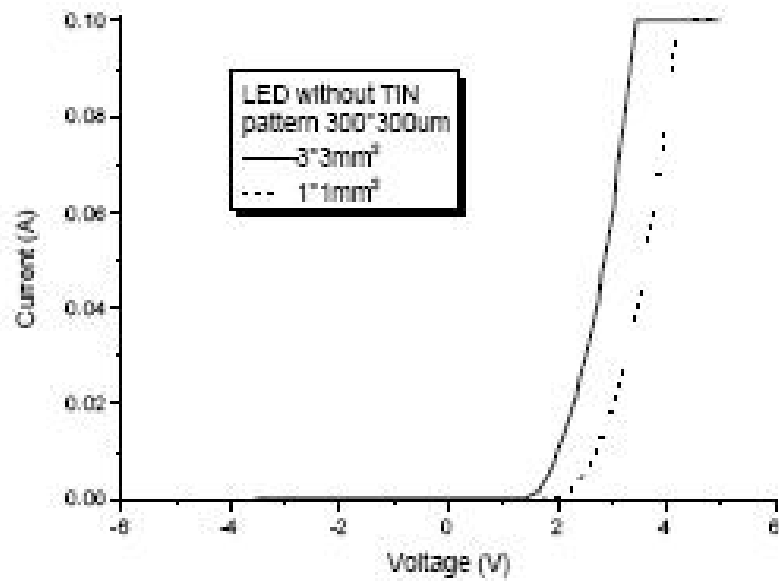


圖 3-5(e) 不同晶片大小(1mm * 1mm、3mm * 3mm)的 LED I-V 曲線圖

圖 3-6 顯示 LED 有和沒有氮化鈦在順偏時的電流-電壓(I-V)特性曲線。圖中 LED 晶片尺寸 1mm * 1mm 且有 300 μ m * 300 μ m 方形的金屬接觸。有 TiN 薄膜的元件在 20mA 時順偏電壓為 2.15V，沒有 TiN 薄膜的元件為 2.2V。由於從 p 邊電極注入電流在 TiN 電流展開層，等效串接電阻減少，造成較低的順偏電壓。降低串接電阻是很重要的，因為可以降低焦耳熱效應，因此增加 LED 的功率效率。

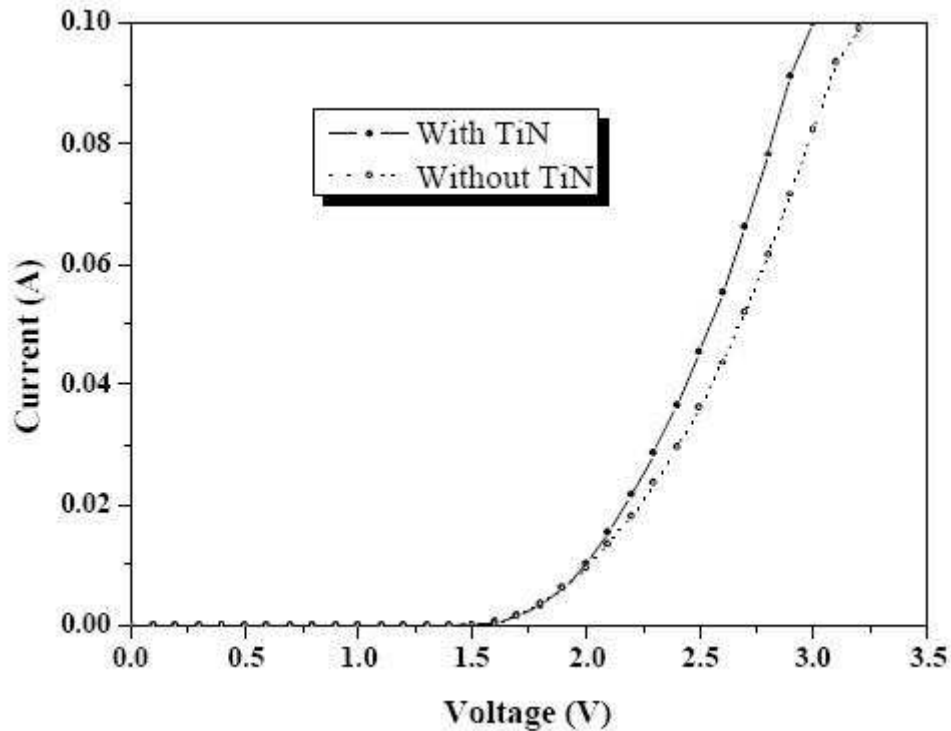


圖 3-6 LED 有和沒有氮化鈦的電流-電壓(I-V)特性曲線圖

圖 3-7 顯示在室溫時光輸出功率強度(LOP)和直流電流的關係圖。有和沒有氮化鈦的元件在低注入電流時，光輸出功率都呈線性增加。當注入電流達到 60mA 以上，沒有氮化鈦的元件光輸出功率開始飽和，但有氮化鈦的元件光輸出功率持續線性增加。在更高的注入電流，沒有氮化鈦的 LED 產生電流聚集藉由注入電流被限制於金屬接觸區域的下面或附近，造成焦耳熱能增加。隨著接面溫度增加，內部量子效率降低，因為發光復合係數減少和活動層被注入的載子過量。所以，無 TiN 元件顯示在高電流飽和的(L-I)特性是由於接面過熱和復合中心飽和。而 TiN 薄膜可以展開電流在更大元件面積之上。此外，

TiN層更高的導熱率改善功率集中的問題。因此，有TiN元件的L-I特性顯示沒有飽和是由於接面溫度降低和保留高發光復合率。

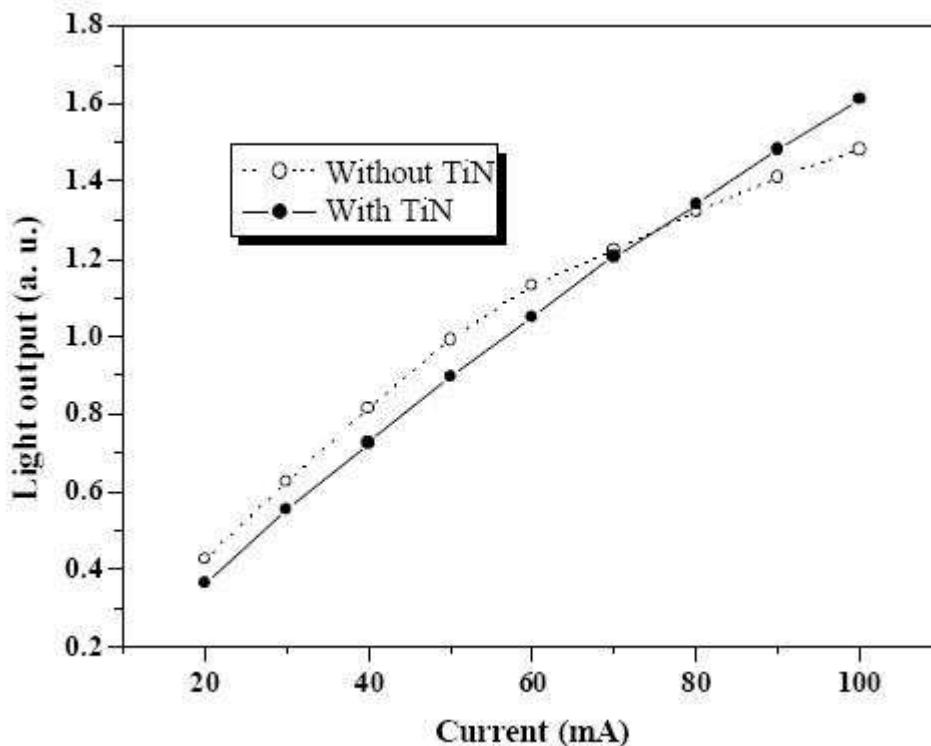


圖 3-7 在室溫時光輸出功率強度和直流電流的關係圖

為了進一步評估 TiN 展開層效率，我們測試有更大的晶片的元件但只有同樣金屬接觸面積。這個測試裡晶片面積是 1mm x 1mm、1.5mm x 1.5mm 和 2mm x 2mm。圖 3-8 說明在 100mA 驅動電流時，光輸出和晶片發光面積的關係。圖中可清楚地看出光輸出增加隨著晶片面積增加。比較 1x1mm 和 2x2mm 元件在面積上增加四倍，沒有氮化鈦光輸出增加 4%左右，有氮化鈦光輸出增加大約 20%。這是因為沒有氮化鈦的元件電流聚集在金屬接觸的附近限制了光輸出。但是，有氮化鈦的元

件展開電流使活動層有更大的比例被運用於光放射。

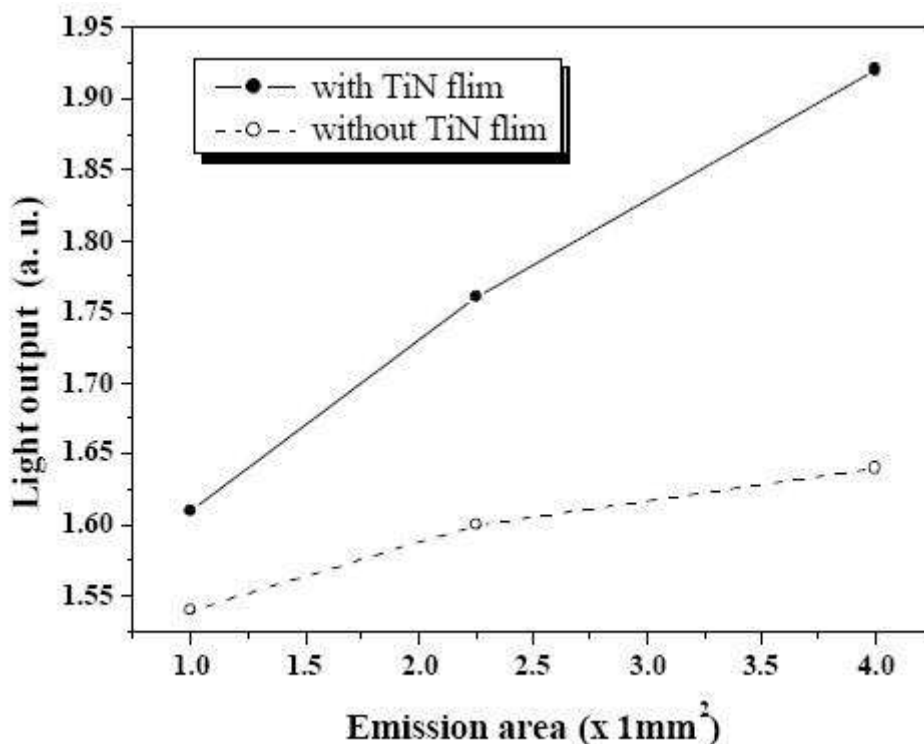
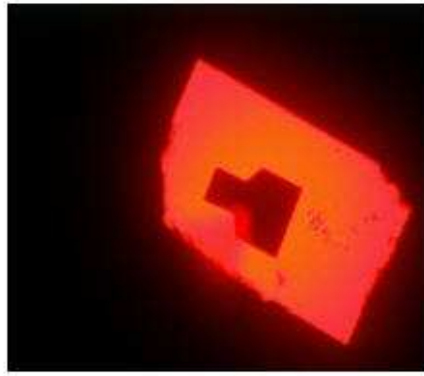


圖 3-8 在 100mA 驅動電流時光輸出和晶片發光面積的關係圖

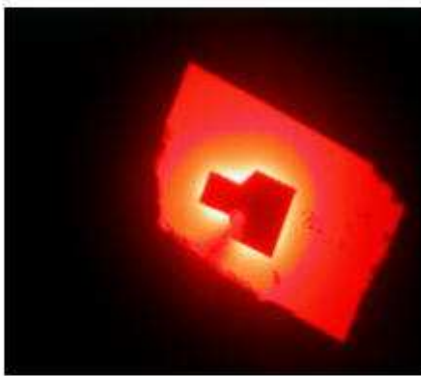
圖 3-9 顯示為 1x1mm LED 有和沒有 TiN 在不同的順偏電流的發光型態。圖 3-9(a)和(b)顯示在 20mA 順偏電流時有和沒有 TiN 的發光型態，但是在低注入電流時，兩張圖的差距是不明顯的。圖 3-9(c)和(d)顯示在 100mA 順偏電流時有和沒有 TiN 的發光型態。清楚地，LED 沒有氮化鈦(圖 3-9(c))產生電流聚集和不均勻的注入電流。一個有效的設計會減少電流密度在任一點。光放射的改善被證實在圖 3-9(d)，TiN 改善注入電流的分配。



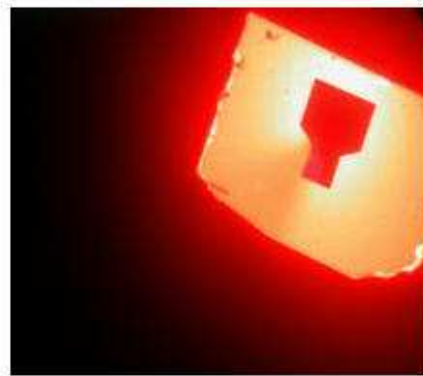
(a) apply $I = 20\text{mA}$ without TiN



(b) apply $I = 20\text{mA}$ with TiN



(c) apply $I = 100\text{mA}$ without TiN



(d) apply $I = 100\text{mA}$ with TiN

圖 3-9 為 1x1mm LED 有和沒有 TiN 在不同的順偏電流的發光型態圖

3-3 總結

在這章裡，AlGaInP LED 將氮化鈦有效的當作電流展開層(CSL)。稀薄的氮化鈦薄膜有低片面電阻和高透明度，改進 LED 表面的光取出。在高注入電流時，TiN 薄膜展開電流在更大的元件面積之上和改善發光區域的分佈。因此，電流聚集效應降低且光輸出功率增加。結果證實，氮化鈦是一個有效的選擇對於低成本的 LED 結構有很大的潛力。低片面電阻、優秀透明度和折射率匹配的氮化鈦，使它被使用作

為適當的接觸材料，能使表面發光 LED 有均勻的電流散佈和最大值的
光取出。因此，TiN 薄膜被證實作為 AlGaInP LED 的電流展開層是可
行的且效果很好。



第四章 用選擇性高電阻區改善 GaN LEDs 光輸出率

4-1 介紹

最近十年，對於 GaN 元件的製造已在晶格品質和載子控制達到很多改善。由於 GaN 以及相關化合物它們的寬能帶、大的崩潰電場、高電子注入漂移速度這些特性對短波長且高功率光學元件是很有吸引力的，使得很多設備已經投入商業製造。尤其我們有濃厚興趣將高亮度白光 LED 使用在一般照明。儘管如此，LED 光輸出率仍然是低於傳統的照明設備，所以必須更進一步改善 LED 光輸出。

由於有隔絕特性的藍寶石基底，一般需求 GaN LED 是由 n 和 p 型兩種電極構成相同面的附生層。在 P 型金屬極頂端做一個平面架構是由一層薄到等效透明的金屬層和一層厚的金屬層做金屬線結合，因此在 P 極金屬電極下的厚金屬發生量子吸收導致光損失是不可避免的。加上 GaN LED 側面結構牽涉到電流聚集在 P 極金屬極產生出更多問題，像是電流聚集會造成光產生率下降，且降低 LED 的可靠性。因此，去增加 GaN LED 較有效的光取出率是很需要的。最近，Huh et al. 報導以 SiO₂ 電流區塊層的 InGaN/GaN MQW LED 相較於傳統的結構能更可觀地增加光取出率[10]。在這專題中，我們運用 Ni 催化劑製造出高電阻區域去修改注入電流分佈就能增加光輸出率和發光效率。

在本章，我們運用不同電阻係數修改電流量，並且描述 GaN LED 位在 P 極金屬電極之下沒有 Ni 選擇性高電阻區域(SHRR)特性。結果表示，有 SHRR 的 LED 晶片其光輸出率比傳統結構的 LED 晶片有著很顯著的增加。

4-2 對於選擇性區域活化的背景理論

最近，相較於傳統結構 InGaN/GaN MQW LED 晶片，Huh et al. 報導以 SiO₂ 作為電流阻斷層的 InGaN/GaN MQW LED 晶片其光輸出率能可觀地提高[10]，造成在 20mA 下有一個 CBL InGaN/GaN MQW LED 的光輸出率比傳統結構增加了 62%。在 P 金屬之下的區域需要電漿乾刻蝕以及複雜的再成長過程。在這份專題，我們使用了一個新穎的方法：選擇性的區域活化作用，改進 GaN LED 的光強度，設計的方塊圖顯示在圖 4-1，SHRR 位於 p-GaN 層的 P 極金屬電極之下。有 SHRR 的 GaN LED 元件在不透明的 P 極電極之下使用標準曝光模式製造出來。為了改進光強度所以藉由不透明 P 極電極之下的量子井來避免注入電流的流動，如此我們定義了 SHRR 作為攔阻層。我們在 P 極電極之下製造電洞濃度低於四周的 p 型 GaN。而且，在 P 極電極之下電阻係數高於四周的 p-GaN 因此去修改注入電流的分佈以增加光輸出強度和發光效率。所以，我們可以定義在 P 電極之下有更低的電洞濃度和更高的電阻係數的區域作為攔阻層，如圖顯示 4-2，白色環狀物在這

個區域的上部中心將成為 SHRR 區域。比較 GaN LED 以 SiO₂ 攔阻在 P 極電極之下，我們以 SHRR 可以更便宜且容易實施的這樣一個新設計來改進光產生。

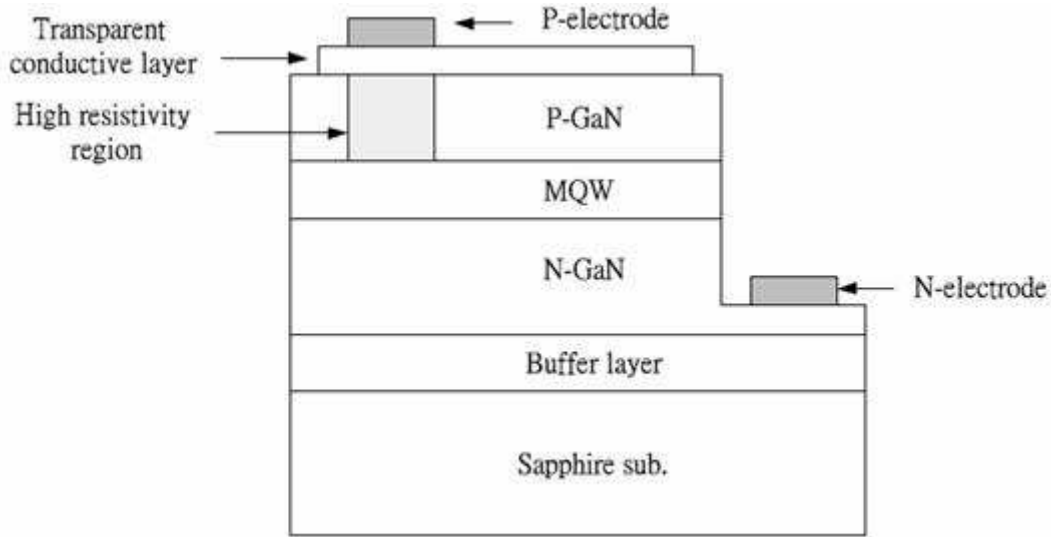


圖 4-1 有選擇性高電阻區的 GaN LED 截面圖

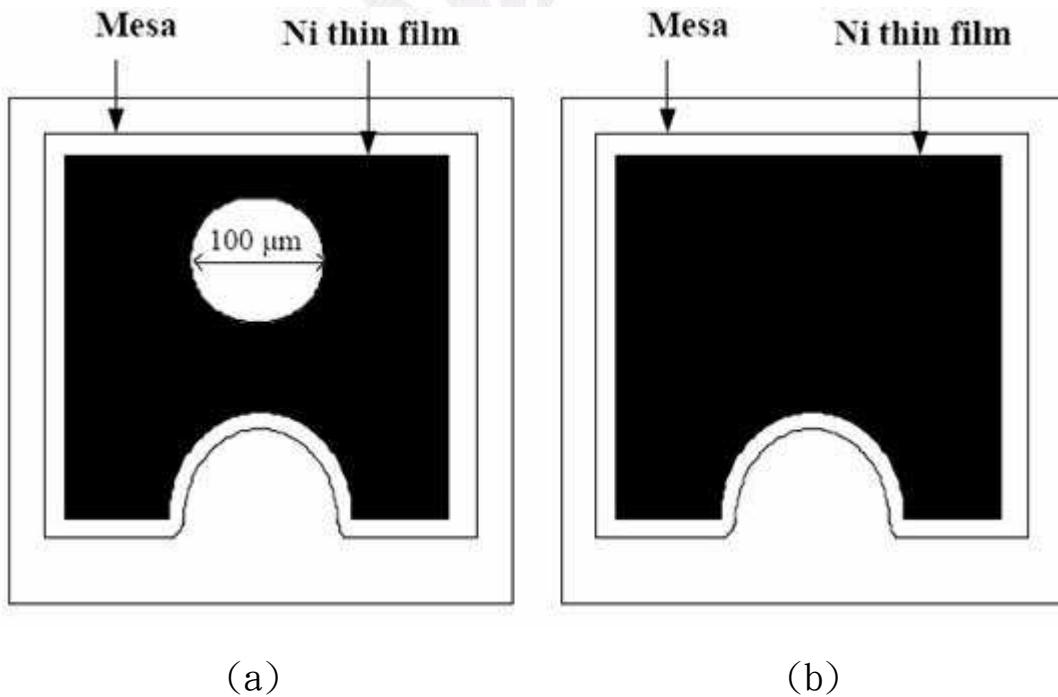


圖 4-2 LED 俯視圖(a)有 SHRR 區(b)沒有 SHRR 區

4-3 有無 SHRR 的比較和討論

4-3-1 Ni 活化對 p-GaN 電洞濃度和電阻係數的影響

在這個部分，我們將集中於活化作用的溫度、電洞濃度還有 Ni 薄膜對於 Mg 摻雜入 GaN 的相關影響。如圖 4-3 顯示電洞濃度相對於高溫的函數為 p-GaN 有和沒有 Ni 催化的活化作用。沒有 Ni 催化的樣本，p 型摻雜電洞濃度在回火 600°C 以上時，可以逐漸恢復到本來的濃度。有 Ni 催化的樣本，電洞濃度在 500°C 就開始恢復了。因此 p-GaN 有和沒有 Ni 催化的電洞濃度之間最大區別是在 600°C，在此溫度之下有 Ni 催化的電洞濃度比沒有 Ni 催化的樣本高出許多。

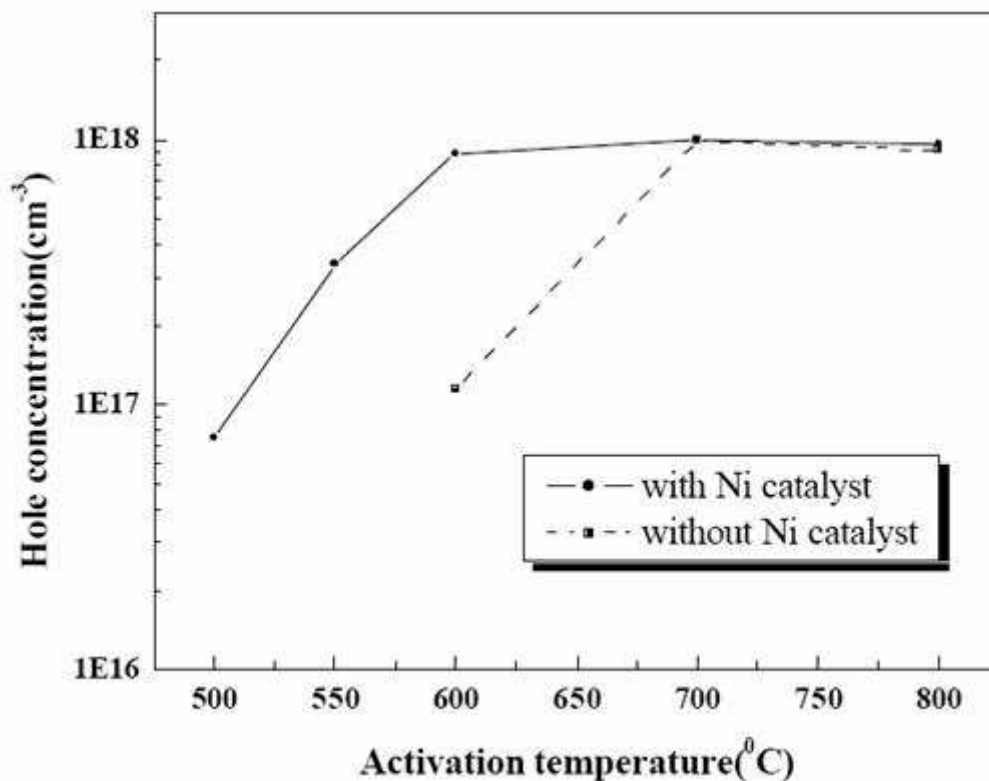


圖 4-3 有和無 Ni 催化的 p-GaN 其電洞濃度和回火溫度關係圖

圖 4-4 顯示 p-GaN 電阻係數有和沒有 Ni 催化的活化作用相對於高溫的函數。在 600°C 高溫，有 Ni 樣本達到極小的阻抗 1.7Ω-cm，但沒有 Ni 的樣本得到 11.7Ωcm，有 Ni 的阻抗比沒有 Ni 小了七倍，阻抗的減少是由於 Ni 薄膜的催化影響。對於這項研究，選擇 600°C 高溫是因為有 Ni 的 p-GaN 在這個溫度近似地有最高的電洞濃度、最低的阻抗，相較於沒有 Ni 的 p-GaN 有最大的阻抗。

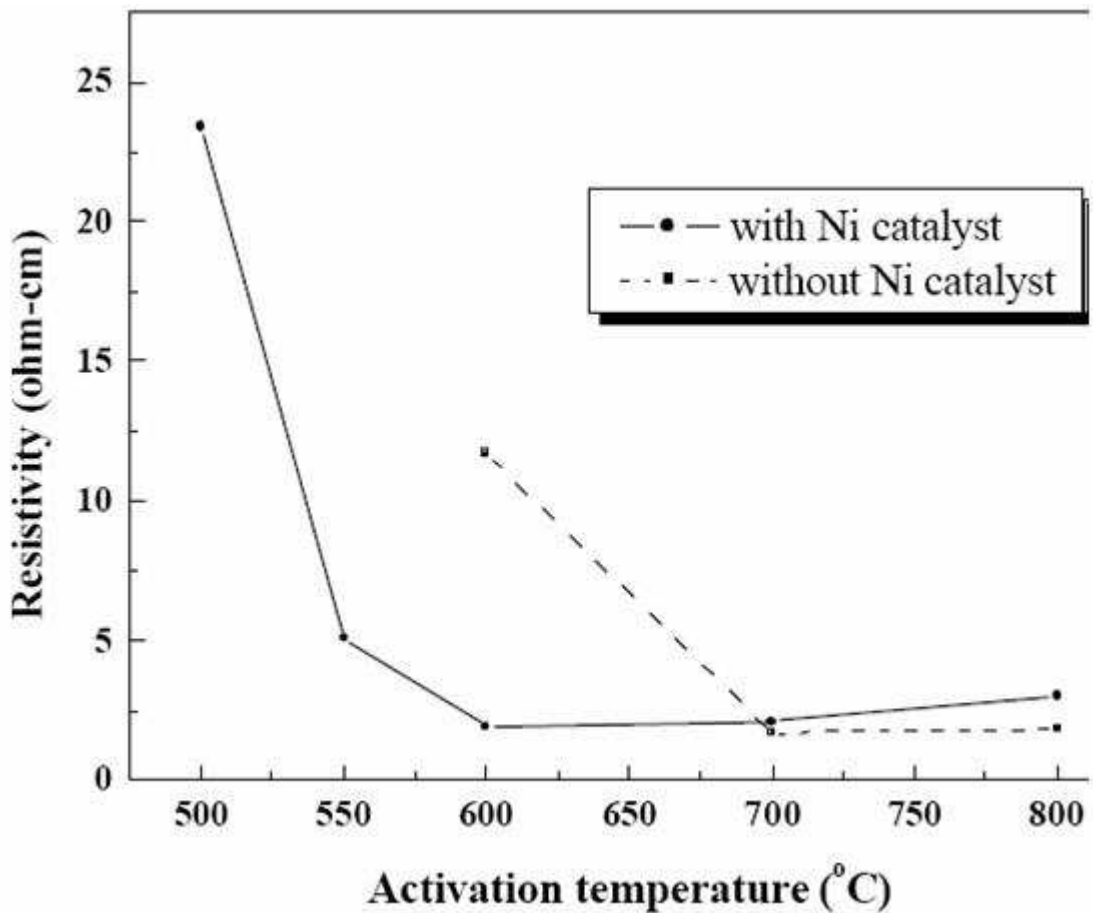


圖 4-4 有和無 Ni 催化的 p-GaN 其電阻係數和回火溫度關係圖

4-3-2 LED 性能

圖 4-5 展示製造出來的 $350\ \mu\text{m}\times 350\ \mu\text{m}$ 晶片在有和沒有 SHRR 下所測量的光輸出強度，兩個都有正常 Ni/Au P 極接觸電極。從封裝的 LED 晶片頂邊量測光輸出強度，如圖所示，在 20 mA 下有 SHRR 的光輸出比沒有 SHRR 高出 15%。有 SHRR GaN 的 LED 發光強度增加可以歸因於額外的注入電流流入多重量子井加上有選擇性的高電阻區域扮演電流攔阻層以及 P 極電極減少對光的吸收。

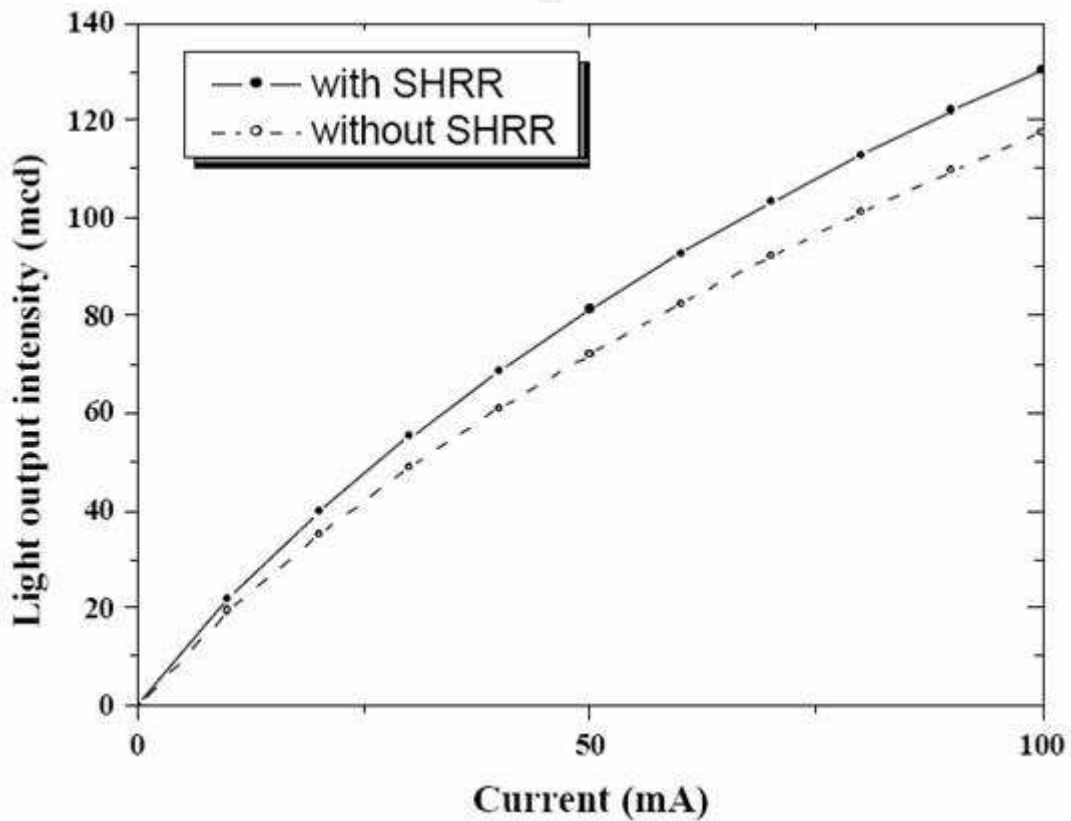


圖 4-5 有和無 Ni 催化的 p-GaN 其光輸出強度和電流特性圖

圖 4-6 顯示在 20 mA 順偏電流下有和沒有 SHRR 元件發光型態。清楚地，沒有 SHRR 的 LED 遭受電流聚集的影響，因此在 p 金屬、n 金屬和其餘 p-GaN 之間是較不明亮的，如圖 4-8(a)。然而，有 SHRR 的元件均勻分配注入電流去增加光輸出功率和發光效率，並且放光型態是較均勻的，如圖 4.8(b)。

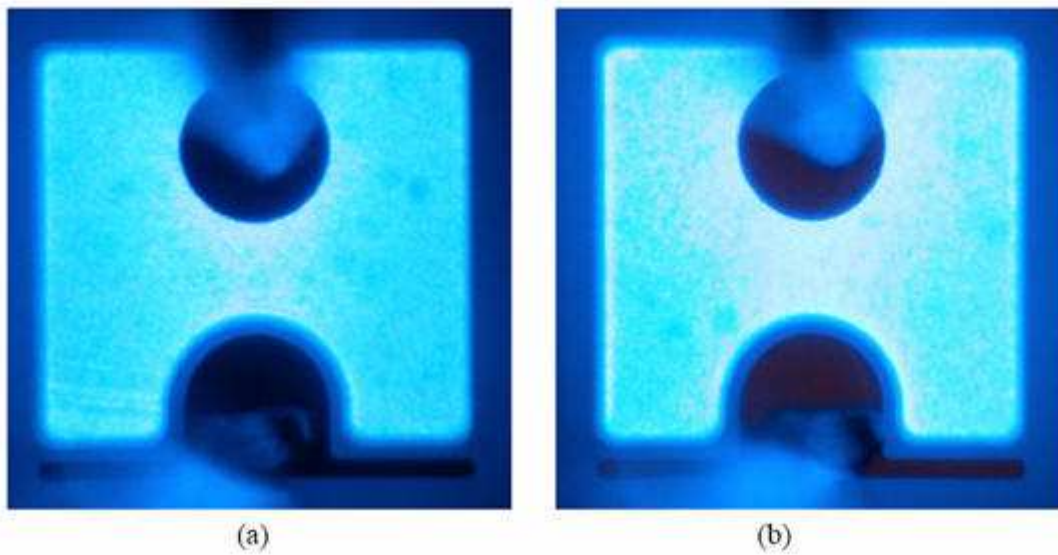


圖 4-6 在 20 mA 順偏電流下有和沒有 SHRR 的 GaN LED 發光型態圖

(a)沒有 SHRR (b)有 SHRR

圖 4-7 顯示在 20 mA 下沒有 Ni/Au(15/25 nm)的 P 極金屬電極順偏電流發光相片。圖 4-7(a)是在 20 mA 順偏電流(電流密度 $J=22 \text{ A/cm}^2$)下沒有 SHRR 的發光型態。如圖所見，LED 發光型態是均勻的，但是實際上的元件都有 Ni/Au P 極接觸電極作為一個不透明的區域。產生在 P 極金屬電極下的光引起反射回到元件或由電極吸收，導致大多數

的光都會消失。圖 4-7(b)顯示 SHRR 區域比 LED 的其餘區域黑暗，因為更高的阻抗減少電流流經 SHRR 範圍。有 SHRR 和沒有 SHRR 的元件總電流是相同的，但電流通過有 SHRR 元件的 P 極之下區域是比較小的，如此電流通過 P 極附近區域是較大的。因此，有 SHRR LED 的電流被引導通過更有用的區域，增加所注入電流的效率和光輸出功率。

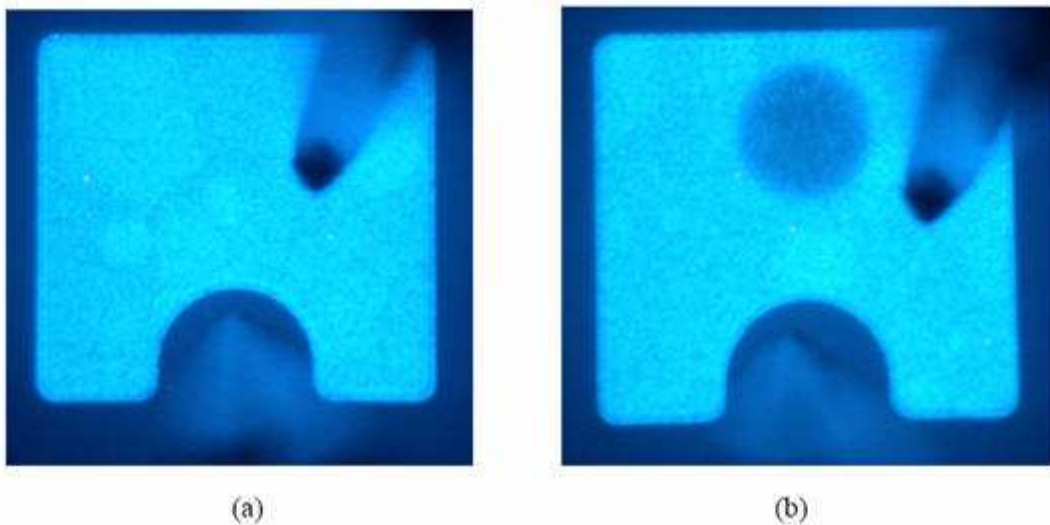


圖 4-7 在 20 mA 順偏電流下沒有 Ni/Au P 極金屬電極的 GaN LED 發光型態圖(a)沒有 SHRR (b)有 SHRR

4-4 總結

GaN LEDs 光輸出強度增加約 15%已經可以由便宜且容易實施的新設計達到了。這改善由有選擇性的區域活化作用創造一個在正常 GaN LED 的 P 極金屬電極之下的高電阻區域。在傳統設計，不透明的 P 極電極接觸之下產生的光會被吸收並且反射，所以設計通過有選擇性的

區域活化作用，使得 P 極接觸之下有選擇性地給予更高的電阻，因而減少注入電流、光的產生和損失。通常穿過有選擇性的高電阻區域的電流改為被分佈在元件可看見並且有用的區域，這導致光輸出率和元件效率大幅增加。

而且，由於減少正常電阻區域，注入電流密度增加 13% 造成光輸出強度改善 15%。我們必須在這裡提及有選擇性區域活化作用的這項技術顯著地提高了光輸出強度，相較於小型 LED 晶片和高功率的 LED 晶片(大尺寸晶片)，有選擇性高電阻區域在小型 LED 晶片改善效果較好，因為 SHRR 在總發光面積所佔比值較大。另外一個好處，在 P 電極之下減少電流聚集，形成良好的電流散佈。GaN LED 實行 SHRR 的費用根本上算是一筆不起眼的費用操作，所以 SHRR 對當代 LED 產業似乎相當有價值。

第五章 氧化膜與表面網狀結構

5-1 氧化膜

為了使光電元件在操作時有更好的穩定性，一般都會在元件表面加上某種介電層，除了加以保護之外，希望它對於光取出有一定的幫助，在此節我們將以 GaN 為例，比較 SiO₂、Si_xN_y 和 Ga₂O₃ 這三種不同介電係數的材料對於 GaN 的影響。

新加坡大學曾經研究過 SiO₂ 中氧原子對於 GaN 的影響[17]。文獻中指出，用化學氣相沉積後，SiO₂ 和 GaN 相互作用，導致氧原子和氧離子擴散進入 GaN 中佔據氮離子的位置成為施體雜質中心及非發光復合中心，造成 PL 強度嚴重衰減，但是經由快速退火處理可以恢復且改善 GaN 的 PL 頻譜。圖 5-1 說明不同退火溫度對蒸鍍 SiO₂ 後的 GaN PL 頻譜所造成的影響。

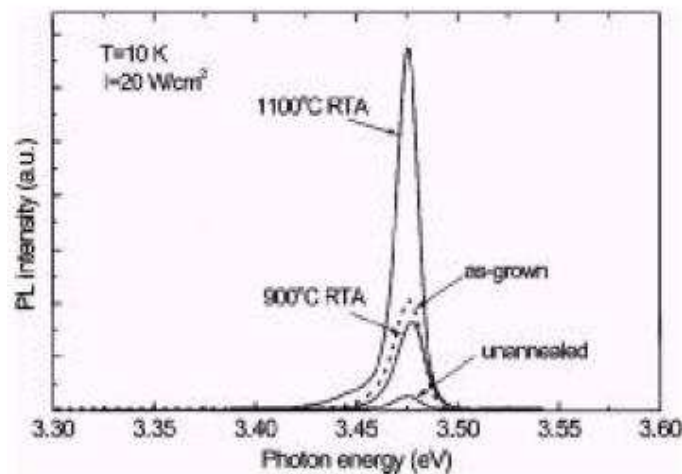


圖 5-1 退火溫度對蒸鍍 SiO₂ 後的 GaN PL 頻譜圖

由圖中可以發現，蒸鍍 SiO₂ 在 GaN 上所得到的 PL 強度遠比 GaN 先前所量測的 PL 強度來得小，然而在經過溫度 900°C 以上退火後，PL 強度就開始恢復到沉積 SiO₂ 之前的強度，尤其在退火到 1100°C 後，PL 頻譜更大幅超越 GaN 本身的強度。由此可證明高溫退火製程的確有助於改善 GaN PL 頻譜的表現。此外，在此文獻中也嘗試在 GaN 上蒸鍍 Si_xN_y 介電材料以作為對照。圖 5-2 說明沉積 Si_xN_y 前後的 GaN PL 頻譜的變化。圖中 PL 頻譜上並無法看出 Si_xN_y 對 GaN 材料有何顯著的幫助。圖 5-3 說明 GaN 氧化 Ga₂O₃ 前後所量測之 PL 頻譜。由圖中比較氧化前後的 PL 的強度，可明顯看出 Ga₂O₃ 在發光頻譜上具有正面的幫助。

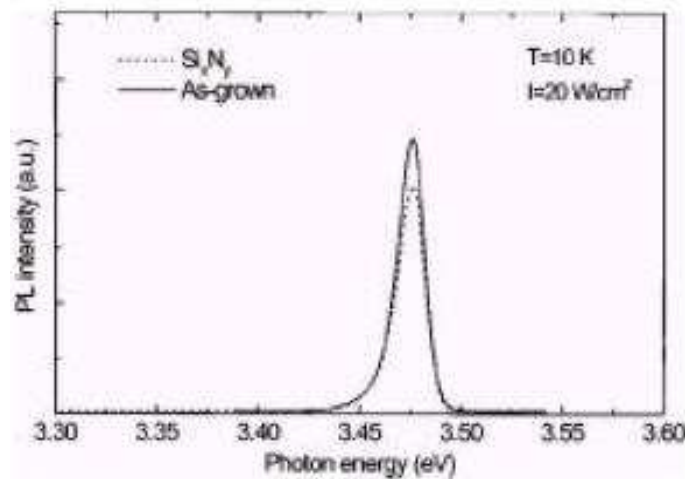


圖 5-2 沉積 Si_xN_y 前後的 GaN PL 頻譜圖

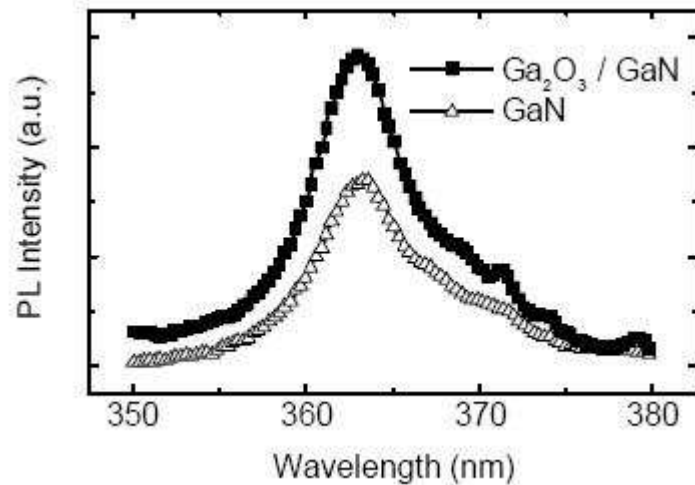


圖 5-3 GaN 氧化 Ga_2O_3 前後的 PL 頻譜圖

之所以會有圖 5-3 的結果，是由於氧化膜造成之抗反射層及表面保護兩種機制所造成的綜合效果。其一是由於 GaN ($n=2.3$) 與空氣 ($n=1.0$) 間的折射係數相差甚大，超過臨界角 ($\theta_c \sim 25^\circ$) 的光將會被全反射，因此只有少部分的光能穿透至空氣中。而氧化鎵的介入將有助於臨界角的增加，使得更多的光能夠從 GaN 中發散出來，進而造成 PL 頻譜上的增強。其二是由於原本 GaN 的表面態位會捕捉部分光激發所產生之自由電子或電洞，因而減少 GaN 帶間躍遷中有效作用之電子電洞數目，於是 PL 的強度便受到衰減。而當 GaN 長上一層氧化物後，因氧化鎵的介入使得 GaN 的表面態位已被氧化鎵所填滿，而增加了 GaN 中電子和電洞在能帶間躍遷的結合速率，促使 PL 強度的增強，這個機制也就是所謂的表面保護。

5-2 表面網狀結構

對於如何克服臨界角過小，導致發光效率不高的問題，在一般的作法上皆採用一種擁有較高折射係數之材料，將其做成類似半球狀的圓頂加至元件上面，使得較多的光能藉由這層材料耦合出去。考慮以下式子[18]：Output coupling efficiency $\sim n_1^2/4n_s^2$ ，其中 n_1 為材料的折射係數， n_s 為半導體的折射係數。由上式中可以看出，隨著 n_1 的增加將有助於光的耦合效應，值得注意的是，若沒有此一高折射係數材料的介入，則僅有 4% 的光能穿透（假設 n_s 為氮化鎵），因此 LED 光取出效率之貧乏，是目前急需解決的問題。為了使得發光效率能夠大幅地提昇，如何有效增加光穿透的機率便成為其中關鍵性的技術。圖 5-4 是光子在半導體中隨機散射之示意圖，其中(a)為表面平整之情形(b)為表面粗化之情形，比較後得知表面經過粗化後的結果將使得光子穿透至外界的機會大增。

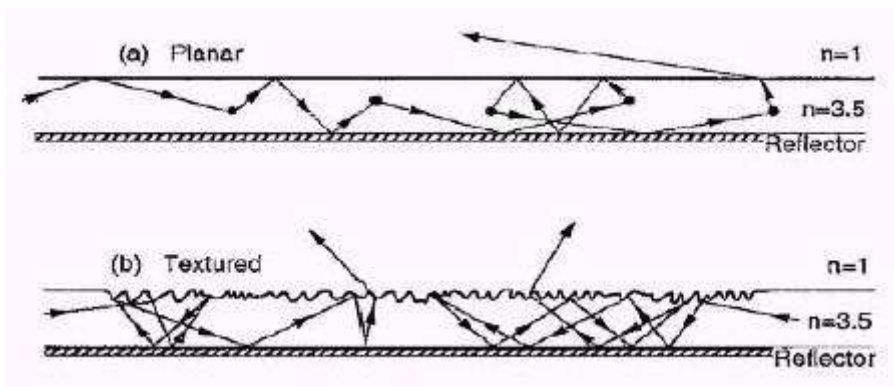


圖 5-4 光子在半導體中隨機散射示意圖

表面網狀結構設計最早被應用於光檢測器上，利用一種自然微影的技術，在半導體表面施以網狀結構，其尺徑最佳大小應與反應波長相當，以增加光線折射進入半導體中。然而在實際半導體製程的技術上，網狀結構開孔直徑大約為 $3\mu\text{m}$ ，將此技術應用於太陽能電池上將可提昇發光效率達 19.8%[19]。圖 5-5 是表面網狀結構應用於太陽能電池的結構圖。此外，文獻中也指出，若將孔徑縮小至 $0.3\mu\text{m}$ ，則應用於 GaAs/AlGaAs LED 上更可將外部發光效率提昇至 40%[20]。

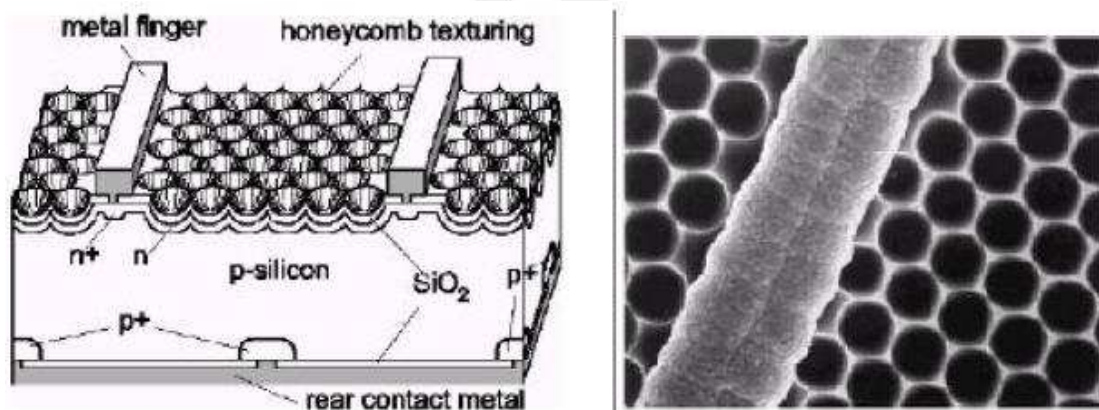


圖 5-5 表面網狀結構應用於太陽能電池的結構圖

堪薩斯大學研究團隊曾將此表面網狀結構應用於 InGaN-GaN LED 上[21]。圖 5-6 是此 LED 的結構圖。這種方法是將 P 極金屬層鋪上一層透明電極 (Ni/Au)，並利用 plasma dry etching 的方式在上面做出微米尺寸的孔洞 ($d\sim 10\mu\text{m}$)，應用此一技術將可提昇其發光效率達 60%，而其 EL 頻譜可看出這些孔洞對光取出的幫助。圖 5-7

說明不同微米尺寸的孔洞對 EL 頻譜的影響。

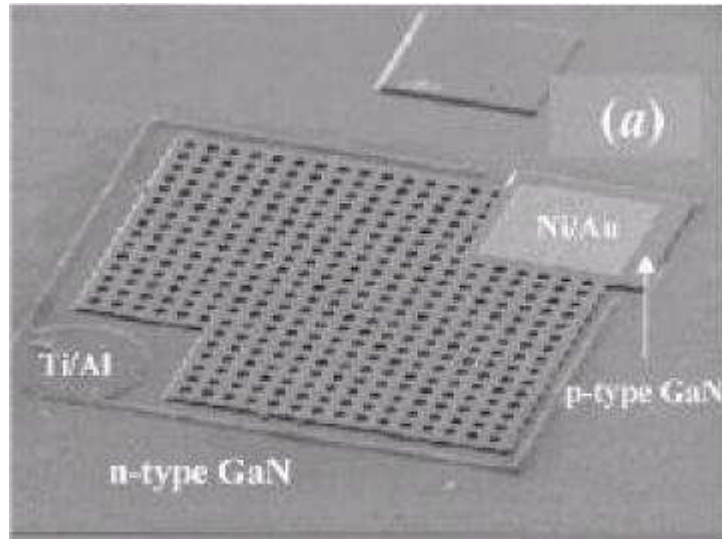


圖 5-6 微米尺寸孔洞設計的 LED 結構圖

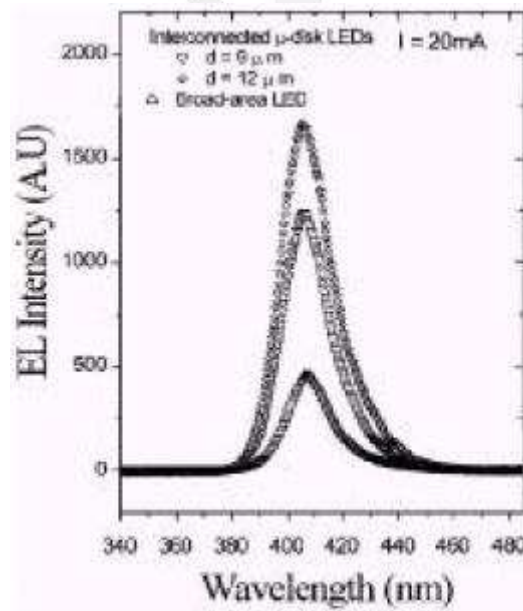


圖 5-7 不同微米尺寸孔洞的 EL 頻譜圖

至此，總結本章重點，選擇適當的氧化膜以及採用表面網狀結構之設計，將對於 LED 外部量子效率的提升有相當程度的貢獻，相信是將來光電元件製程中不可或缺的技术之一。

第六章 結論

在這篇專題裡，我們以三種方式來增加發光效率，對於 AlGaIn LED 用 TiN 層來展開電流，而對於 GaN LED 使用選擇性高電阻區的結構，至於氧化膜上的表面網狀結構則是比較物理性的製程方式，這些方法對於改善效率都有不錯的貢獻。

將低電阻和高透明度的 TiN 層沉積在 AlGaInP LED 上用來改善 LED 表面的光取出率。當注入電流達到 60mA 時，沒有 TiN 層的 AlGaInP LED 光輸出功率開始飽和，但是如果有 TiN 層光輸出功率還可以持續線性增加。電流達到 100mA 時的光輸出功率，有 TiN 層的 LED 比沒有 TiN 層的 LED 高 9%。這些數據可以證明 AlGaInP LED 上的 TiN 薄膜接觸層可以大面積地展開 LED 注入電流，並且在高注入電流時改善發光分佈區域。因此減少了電流聚集效應，而且有效地改善元件光輸出。有低電阻、良好透明度、折射率匹配、物理結構堅硬和化學性質穩定的 TiN 對於表面發光的 LED 是很好的金屬接觸材料，它可以使電流均勻散佈和達到光取出最大值。此外 TiN 也可以應用在 GaN LED 因為 TiN 和 GaN 的功函數匹配。因此，TiN 薄膜當 LED 的電流展開層是很合適的。

選擇性高電阻區被創造在普通 GaN LED 的 P 端金屬電極下面是一項新技術。藉由這種低成本又容易完成的新設計可以增加 GaN LED 光輸出功率接近 15%。在傳統的設計裡，如果光產生在不透明的 P 端金屬接觸下，通常被吸收或反射造成光損失。但是選擇性高電阻區的設計，使 P 端金屬接觸下的區域有更高的電阻，因此減少了注入電流、光產生和光損失。原本流經選擇性高電阻區的電流平均散佈在元件其他有用的發光區域。這個結果有效的增加光輸出功率和元件效率。此外還可以降低電極下的電流聚集，延長元件的壽命和增加可靠性。

表面網狀結構是除了在 LED 表面加上氧化膜之外，再次提升光取出的方法。選擇折射率匹配的氧化膜，可以大幅減少反射損失。若是在氧化膜表面再用網狀結構，使入射光不侷限於某個角度，更能提升穿透機率。外部量子效率也能藉由此結構有效的提升，是相當不錯的物理結構設計。

參考文獻

- [1] H. Rupperecht, J. M. Woodall, and G. D. Petit, “ Efficient visible electroluminescence at 300 K from Ga_{1-x}Al_xAs p-n junctions grown by liquid-phase epitaxy, ” *Appl. Phys. Lett.* Vol. 11, pp. 81-83, 1967.
- [2] J. Nishizawa, and K. Suto, “ Minority-carrier lifetime measurements of efficient GaAlAs p-n heterojunctions, ” *J. Appl. Phys.* Vol. 43, p. 3484, 1977.
- [3] H. Sugawara, M. Ishikawa, and G. Hatakoshi, “ High-efficiency InGaAlP/GaAs visible light-emitting diodes, ” *Appl. Phys. Lett.* Vol. 58, p. 1010, 1991.
- [4] G. B. Stringfellow, and M. George Craford, “ High brightness light emitting diodes ”, Vol. 48, *Semiconductors and Semimetals*. New York: Academic, 1997.
- [5] M. Fukuda, “Optical semiconductor devices, ” Wily Interscience Publication, 1999.
- [6] E. F. Schubert, “Light-emitting diodes, ” Cambridge University Press, 2003.
- [7] D. A. Vanderwater, I. H. Tan, G. E. Höfler, D. C. Defever, and F. A. Kish, “High-Brightness AlGaInP light emitting diodes”, *Pro. of IEEE*, Vol. 85, 1752-1764, 1997.
- [8] Y. H. Aliyu, D. V. Morgan, H. Thomas and S. W. Bland, “AlGaInP LEDs using reactive thermally evaporated transparent conducting indium tin oxide (ITO), ” *Electron Lett.* Vol. 31, pp 1691-1692, 1995.
- [9] M. C. Wu, J. F. Lin, M. J. Jou, C. M. Chang, and B. J. Lee, ” High reliability of AlGaInP LEDs with efficiency transparent contacts for spatially uniform light emission, ” *IEEE Electron Device Letter*, Vol. 11, pp 482-485, 1995.

- [10] C. Huh, J. M. Lee, D. J. Kim, and S. J. Park, "Improvement in light-output efficiency of InGaN/GaN multiple-quantum well light-emitting diodes by current blocking layer," *J. Appl. Phys.*, Vol. 92, pp 2248-2250, 2002.
- [11] Y. H. Chen, M. P. Houg, and Y. H. wang, "Improvement in light-output intensity of GaN-based LED device by selective area activation," Thesis of E.E., NCKU, Tainan, Taiwan, 2003.
- [12] Y. T. Lu, M. P. Houg, and Y. H. wang, "Improvement in light output efficiency of InGaN/GaN blue LED by current blocking layer and surface passivation layer," Thesis of E.E., NCKU, Tainan, Taiwan, 2003.
- [13] D. V. Mogan, Y. H. Aliyu, R. W. Bunch, S. Barren, and T. Boss, "Electrical and optical properties of high performance MOCVD grown $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})\text{In}_{0.5}\text{P}$ visible LEDs," *Electron. Lett.*, Vol. 22, pp.1991-1992, 1993.
- [14] F. A. Kish, F. M. steranka, D. C. Defevere, D. A. Vanderwater, K. G. Park, C. P. Kuo, T. D. Osentowski, M. J. peanasky, J. G. Yu, R. M. fletcher, D. A. steigerwald, and M. G. Craford, "Very High-efficiency Semiconductor Wafer-bonded Transparent-substrate $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}/\text{GaP}$ Light-emitting Diodes," *Appl. Phys. Lett.* Vol. 64, pp. 2839-2841, 1994.
- [15] J. F. Lin, M. C. Wu, M. J. Jou, C. M. Chang, and B. J. Lee, "High Reliability operation of indium tin oxide AlGaInP orange light-emitting diodes," *Electron Lett.*, Vol. 30, pp.1793-1794, 1994.
- [16] M. Kiuchi and A. Chayahara, "Titanium nitride for transparent conductors," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 64, pp.1048-1049, 1994.
- [17] X. C. Wang, S. J. Xu, S. J. Chua, K. Li, X. H. Zhang, Z. H. Zhang, K. B. Chong, and X. Zhang, *Appl. Phys. Lett.*, **74**, 818, 1999.
- [18] I. Schnitzer, E. Yablonoitch, C. Caneau, T. J. Gmitter, and A. Scherer, *Appl. Phys. Lett.*, **63**, 2174, 1993.

- [19] Jianhua Zhao, Aihua Wang, Martain A. Green, and Francesca Ferrazza, *Appl. Phys. Lett.*, **73**, 1991, 1998.
- [20] Reiner Windisch, Barun Dutta, Maarten Kuijk, Alexander Knobloch, et al., *IEEE Trans. Electron. Dev.*, **47**, 1492, 2000.
- [21] S. X. Jin, J. Li, J. Y. Lin, and H. X. Jiang, *Appl. Phys. Lett.*, **77**, 3236, 2000.

