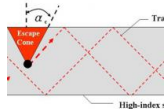


濕式蝕刻製程提高LED光萃取效率之產能與良率

By e.yuan

Created 2010/09/09 - 17:58



四, 2010/09/09 - 17:58 — e.yuan

技術

1、前言

近幾年來III族氮化物(III-Nitride)高亮度發光二極體(High Brightness Light Emission Diode; HB-LED)深獲廣大重視，目前廣泛應用於交通號誌、LCD背光源及各種照明使用上。基本上，GaN LED是以磊晶(Epitaxial)方式生長在藍寶石基板(Sapphire Substrate)上，由於磊晶GaN與底部藍寶石基板的晶格常數(Lattice Constant)及熱膨脹係數(Coefficient of Thermo Expansion; CTE)相差極大，所以會產生高密度線差排(Thread Dislocation)達 $10^8 \sim 10^{10} / \text{cm}^2$ ，此種高密度線差排則會限制了GaN LED的發光效率。

此外，在HB-LED結構中，除了主動層(Active Region)及其他層會吸收光之外，另外必須注意的就是半導體的高折射係數(High Refractive Index)，這將使得LED所產生的光受到侷限(Trapped Light)。以圖1來進行說明，從主動區所發射的光線在到達半導體與周圍空氣之界面時，如果光的入射角大於逃逸角錐(Escape Cone)之臨界角(Critical Angle; α_c)時，則會產生全內反射(Total Internal Reflection)；對於高折射係數之半導體而言，其臨界角都非常小，當折射係數為3.3時，其全內反射角則只有 17° ，所以大部份從主動區所發射的光線，將被侷限(Trapped)於半導體內部，這種被侷限的光有可能會被較厚的基板所吸收。此外，由於基板之電子與電洞對，會因基板品質不良或效率較低，導致有較大機率產生非輻射復回(Recombine Non-Radiatively)，進而降低LED效率。所以如何從半導體之主動區萃取光源，以進而增加光萃取效率(Light Extraction Efficiency)，乃成為各LED製造商最重要的努力目標。

目前有兩種方法可增加LED光之萃取效率：(1)第一種方法是在LED磊晶前，進行藍寶石基板的蝕刻圖形化(Pattern Sapphire Substrate; PSS)；(2)第二種方法是在LED磊晶後，進行藍寶石基板的側邊蝕刻(Sapphire Sidewall Etching; SSE)，以及基板背面粗糙化(Sapphire Backside Roughing; SBR)。本文將參考相關文獻[1~6]，探討如何利用高溫磷酸濕式化學蝕刻技術，來達到增加LED光萃取效率之目的。此外，針對LED生產線之高產能與高良率需求時，在製程系統設計製作上必須考慮到哪些因數，亦將進行詳細探討，以期達到增加LED光萃取效率之目的。

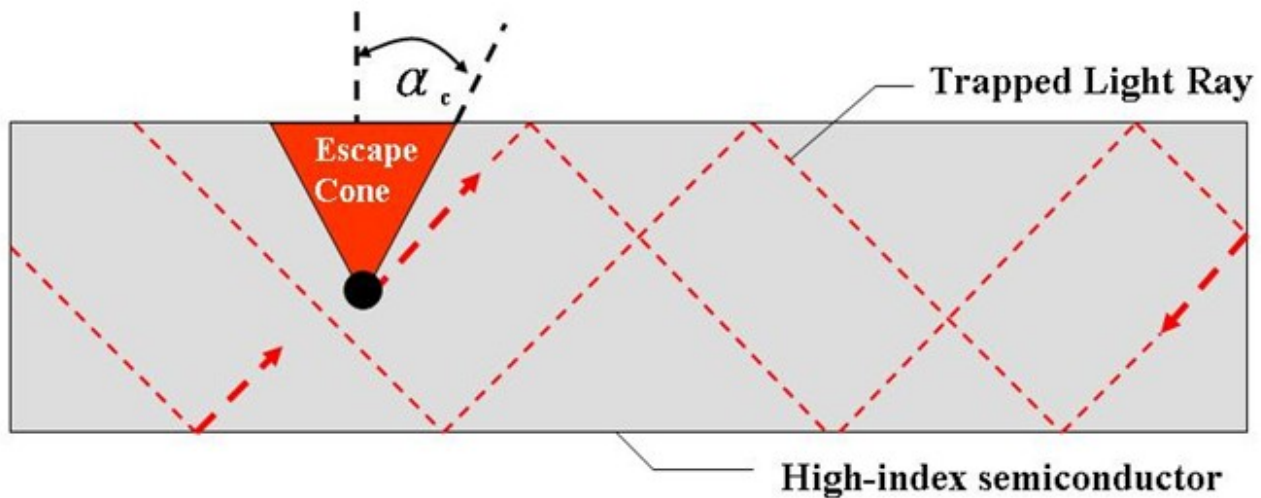


圖1、從主動區所發射的光線在到達半導體與周圍空氣之界面時，如果光的入射角大於臨界角(α_c)時，則會產生全內反射。

2、磊晶前藍寶石基板之蝕刻圖形化(PPS)製程

藍寶石基板蝕刻圖形化(PPS)可以有效增加光的萃取效率，因為藉由基板表面幾何圖形之變化，可以改變LED的散射機制，或將散射光導引至LED內部，進而由逃逸角錐中穿出。目前使用單步驟無光罩乾式蝕刻技術(Maskless Dry Etching)來加工藍寶石(Sapphire)基板，雖然可以改善內部量子效率(Internal Quantum Efficiency)和光萃取率(Light Extraction Efficiency)，然而由於藍寶石基板表面非常堅硬，乾式蝕刻會損傷藍寶石表面，使得線差排(Thread Dislocation)由基板逐漸延伸到頂端的GaN磊晶層，因而影響到LED之磊晶品質，所以一般都傾向使用濕式化學蝕刻方式。有關藍寶石基板之濕式化學蝕刻圖形化，以及LED之前段製程流程，說明如下：

- 首先利用黃光微影製程在藍寶石基板上製作出所需的圖案。
- 利用電漿輔助化學氣相沉積(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition; PE-CVD)系統在藍寶石基板上方沉積 SiO_2 ，進行光組去除後，即可形成間隔 $3\mu\text{m}$ 的陣列圖案。
- 利用 SiO_2 當作蝕刻遮罩層，在溫度 280°C 的高溫磷酸與硫酸混合液中蝕刻藍寶石基板，以形成圖案化結構。圖2為使用濕式化學蝕刻藍寶石基板(PSS)後之橫截面示意圖；圖3為光學顯微鏡照片。
- 使用MO-CVD生長GaN-LED於蝕刻圖案化之藍寶石基板C(0001)面上，GaN-LED結構由下而上，包括：GaN成核層、未摻雜的GaN層、矽摻雜的N-type GaN層、MQW層及P-type GaN層。
- 使用標準微影技術及乾式蝕刻來蝕刻部份的P-type GaN層，以露出N-type GaN層，進而定義發光區域及電極。
- 沉積ITO透明導電層，接著沉積Cr/Au金屬層，在 200°C 氮氣氣氛下進行合金化，以製作P電極與N電極。圖4為GaN LED之前段製程流程圖；圖5為經過化學濕式蝕刻圖案化藍寶石基板(PSS)，接著生長GaN磊晶層的LED結構圖。

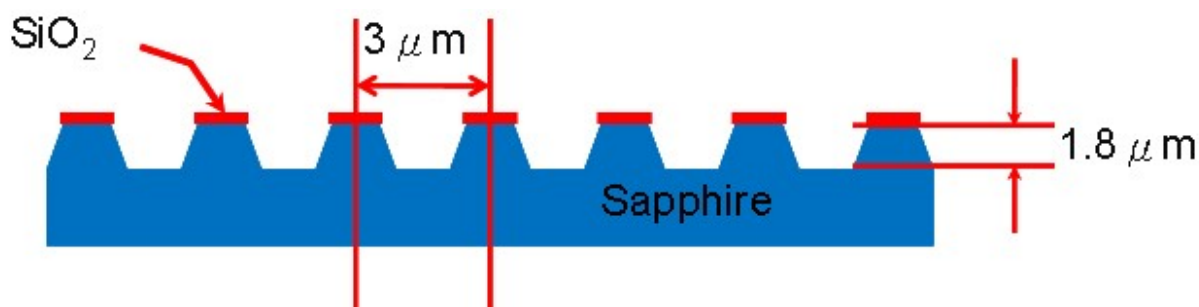


圖2、濕式化學蝕刻藍寶石基板後(PSS)之橫截面示意圖。

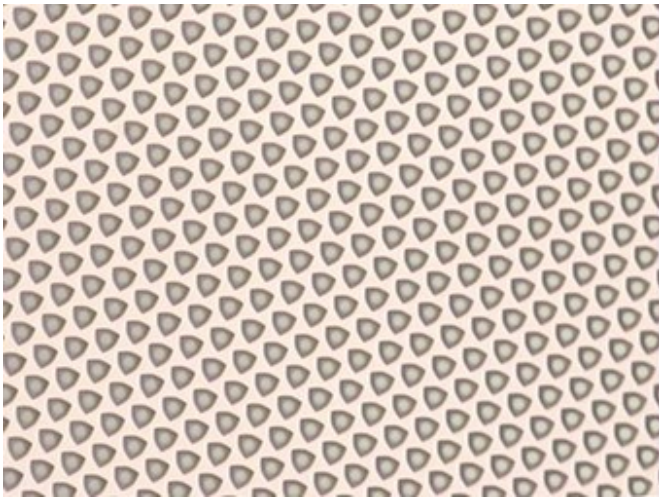


圖3、濕式化學蝕刻藍寶石基板後(PSS)之光學顯微鏡照片。

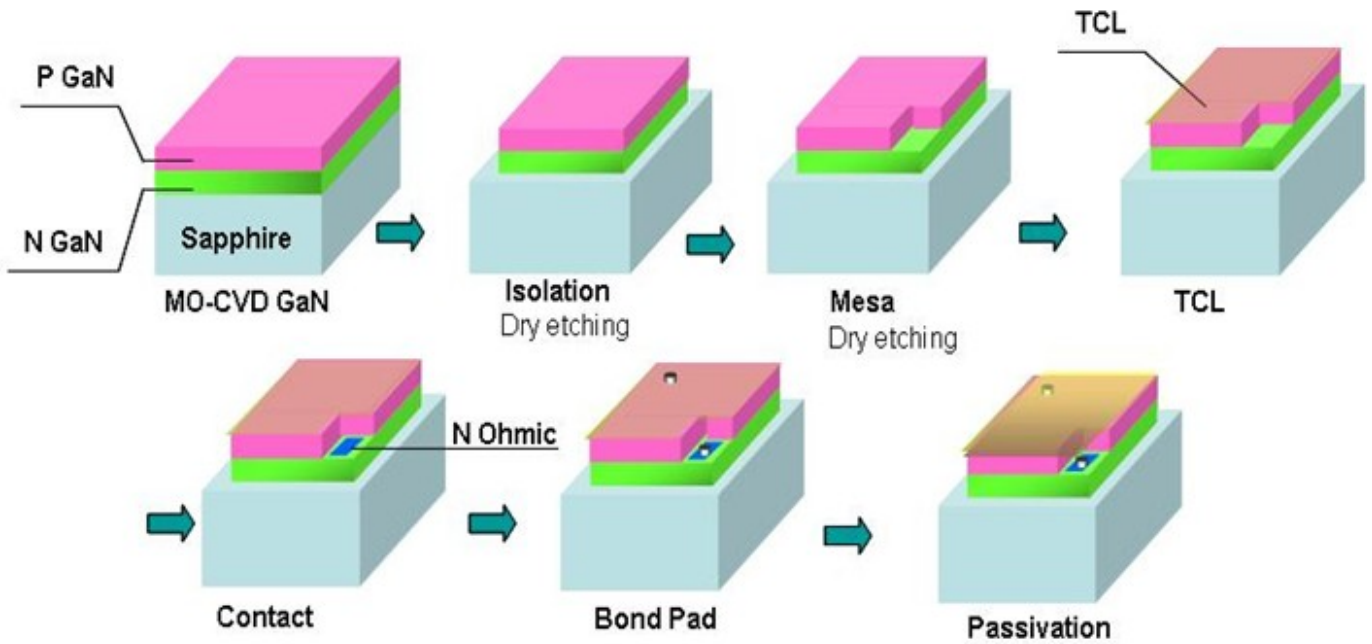


圖4、GaN LED前段製程流程圖[3, 4, 5]。

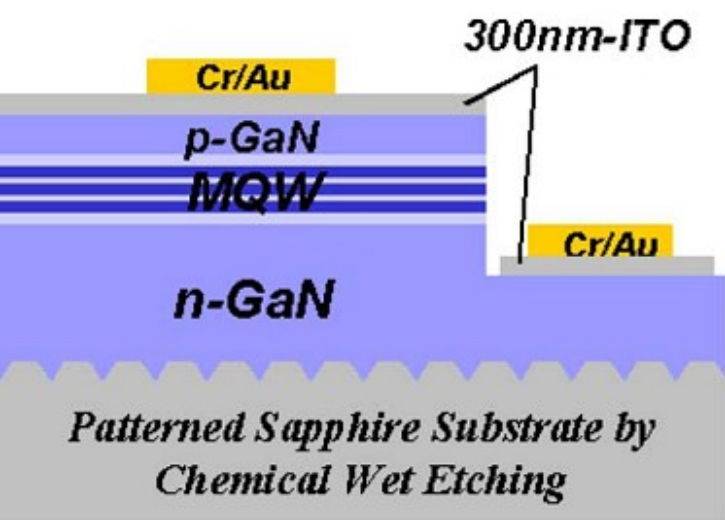


圖5、濕式蝕刻圖形化藍寶石基板後，接著生長Ga_N磊晶層的LED結構[2]。

如圖6所示，經濕式化學蝕刻圖形化之藍寶石基板，基於表面晶格特性，所以會被蝕刻出呈57°傾斜的{1-102}R面(R Plane)，此種傾斜R面可以大大地增加光的萃取效率。Lee等人利用濕式蝕刻圖形化藍寶石基板製作GaN LED並評估其效能，圖7為傳統LED和PPS LED的電流-輸出光功率曲線之關係圖，在20mA操作電壓下，傳統LED和PPS LED的輸出功率分別為7.8和9 mW，PPS LED的輸出功率為傳統LED的1.15~1.3倍。此外，在20mA操作電壓下，傳統LED和PPS LED的外部量子效率(External Quantum Efficiency)分別為14.2%和16.4%，PPS LED的外部量子效率也較傳統LED高1.15倍。因此PPS技術不只利用藍寶石基板的特殊幾何結構，將光導引至逃逸角錐(Escape Cone)進而發射出去，以增加LED的外部量子效率外，濕式蝕刻PPS結構也可降低Sapphire基板之差排缺陷密度，以進而提高GaN的磊晶品質[3, 4, 5]。

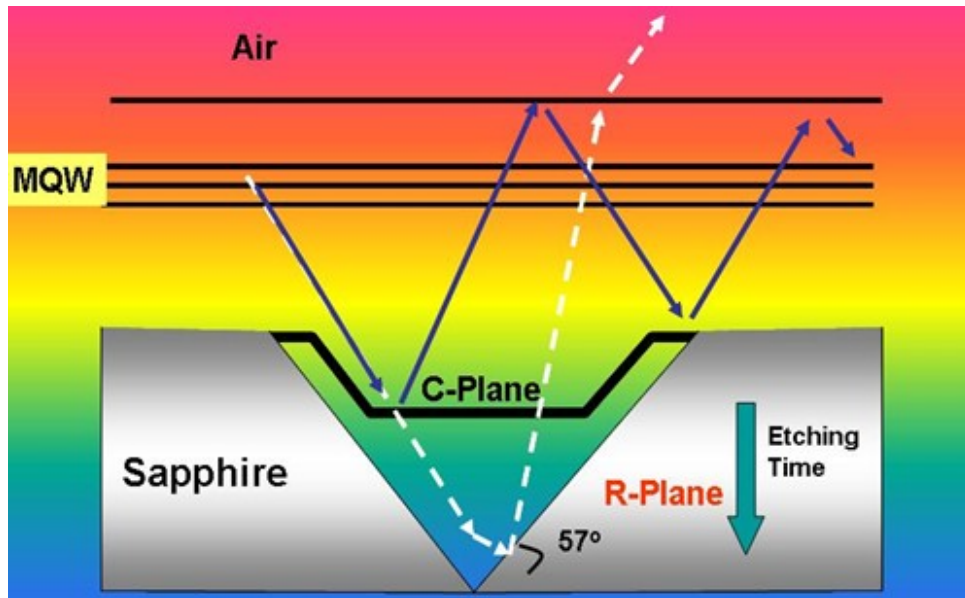


圖6、經濕式蝕刻圖形化藍寶石基板，其表面因晶格特性，會被蝕刻出成57°傾斜的{1-102}面(R Plane)，可以大大增加光的萃取效率[3]。

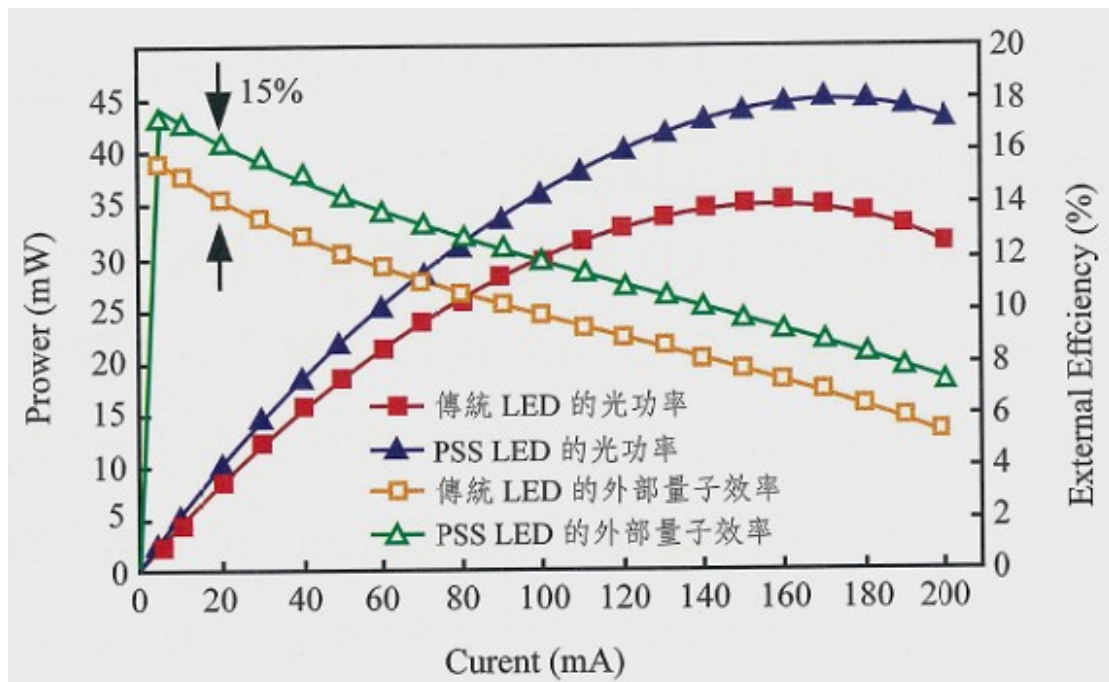


圖7、傳統的LED和PPS LED的電流-輸出光功率曲線之關係圖[3, 4]。

3、磊晶後藍寶石基板之蝕刻製程

元件形狀化之覆晶LED是使用高溫磷酸來蝕刻藍寶石基板的側邊(Sapphire Sidewall Etching; SSE)，並使基板背面粗糙化(Sapphire Backside Roughing; SBR)，以此雙重方式來達到增加光萃取效果，其詳細製程流程如圖8所示。首先在藍寶石基板上磊晶製作GaN之LED結構，再將藍寶石基板磨薄至200 μm 厚度，以利於後續晶粒切割之進行，接著分別在元件上下面鍍上二氧化矽(SiO_2)當作蝕刻保護層，使用黃光微影製程來定義藍寶石基板被蝕刻的開口位置。接著將已設計圖案化之藍寶石基板浸入高溫300°C的磷酸與硫酸的混合液中，進行藍寶石基板之側邊蝕刻，接著去除二氧化矽保護層。後續進行透明導電膜(ITO)與金屬電極(Electrode)製作，並用覆晶(Flip Chip)設備將晶粒黏著於矽基板上，製作完成之元件剖面，如圖9所示[4, 6]。

藍寶石的蝕刻速率與磷酸和硫酸的比例，以及蝕刻液溫度有關，由於蝕刻結果取決於其晶格結構，蝕刻會沿著藍寶石的晶格面進行，至於藍寶石基板的背面，因為其原本是一個粗糙面，所以無法在其表面鍍上一層均勻的二氧化矽保護層，在進行蝕刻時，覆蓋二氧化矽較薄區域的藍寶石基板則會先被蝕刻，進而形成粗糙化的表面。在發光性能表現上，有製作元件形狀化之覆晶LED比傳統覆晶發光二極體的流明度增加了62%；在功率的表現上，於20mA的注入電流下，有形狀化的LED輸出光功率為14.2 mW，比傳統覆晶結構LED的9.3 mW，增加了52%，如圖10所示[4, 6]。

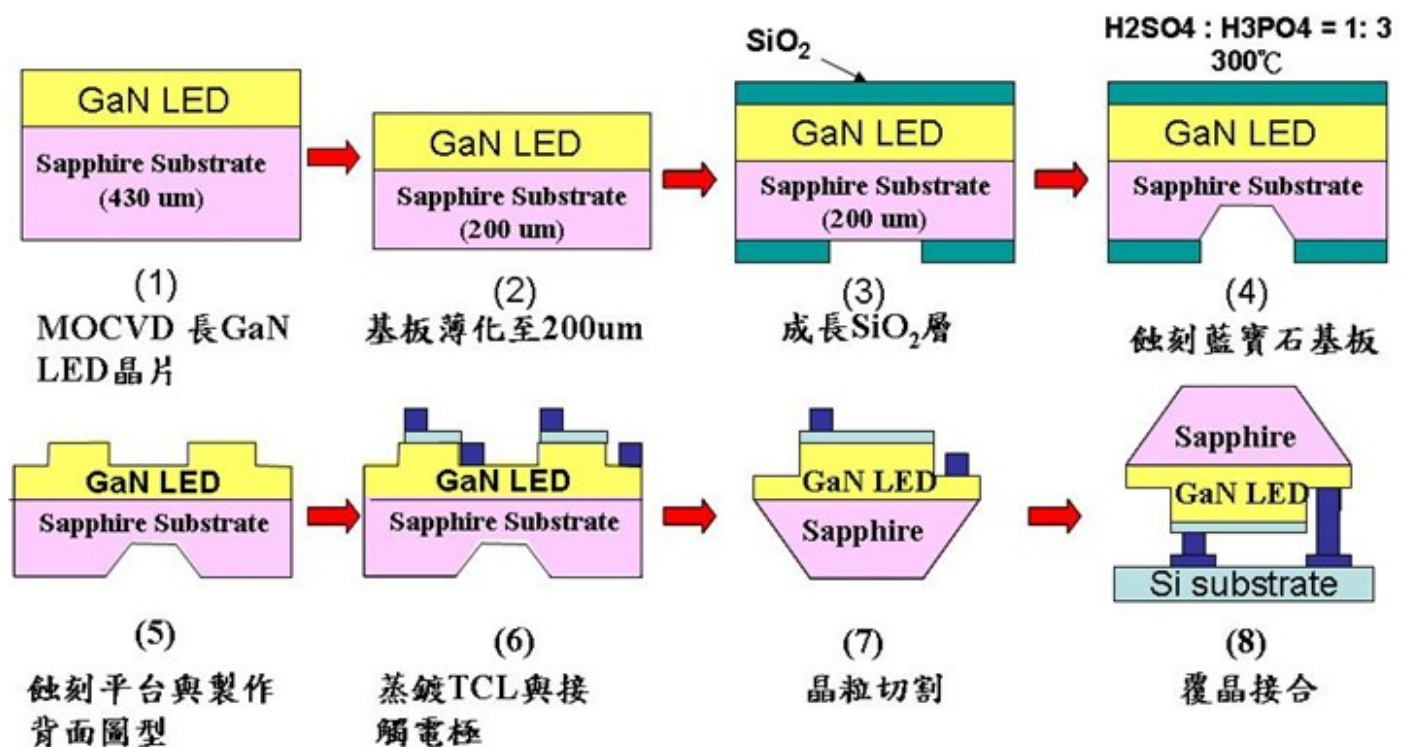


圖8、元件形狀化之覆晶LED製程流程圖[6]。

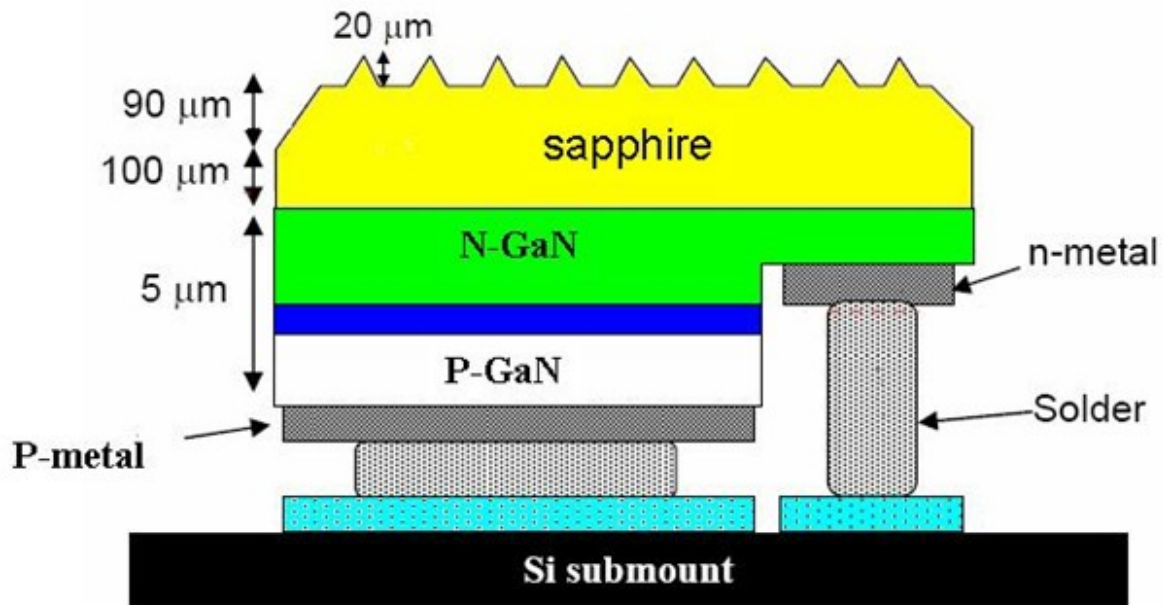
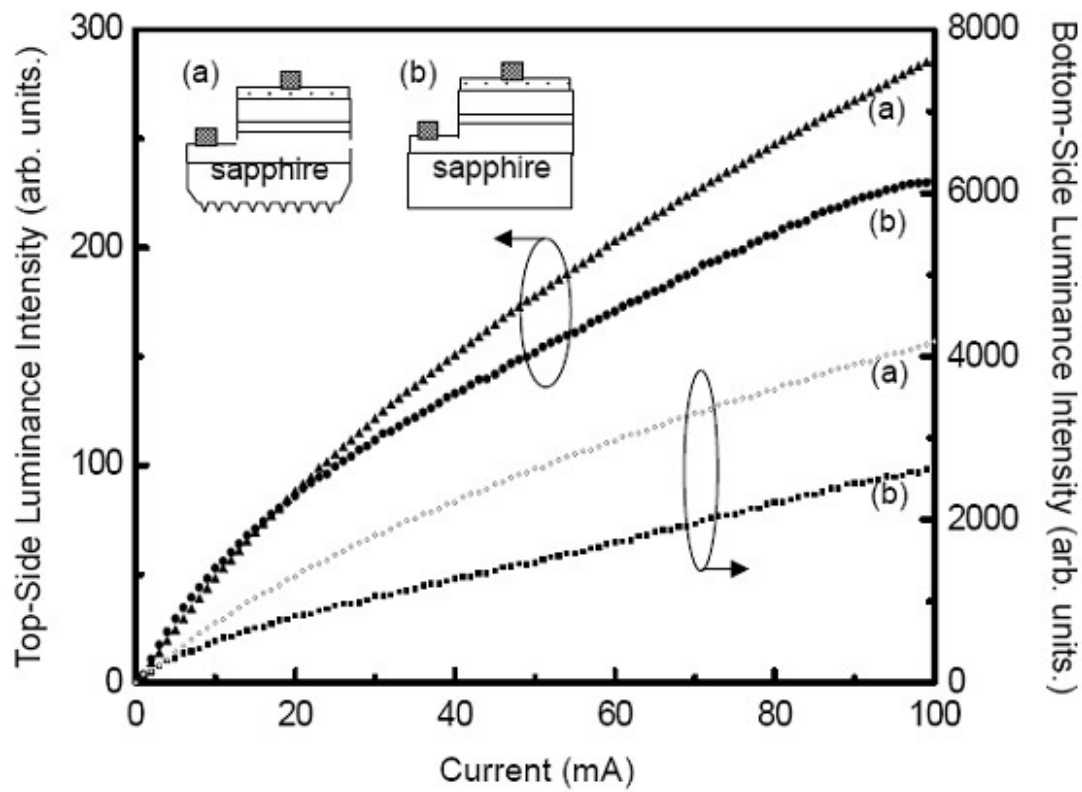
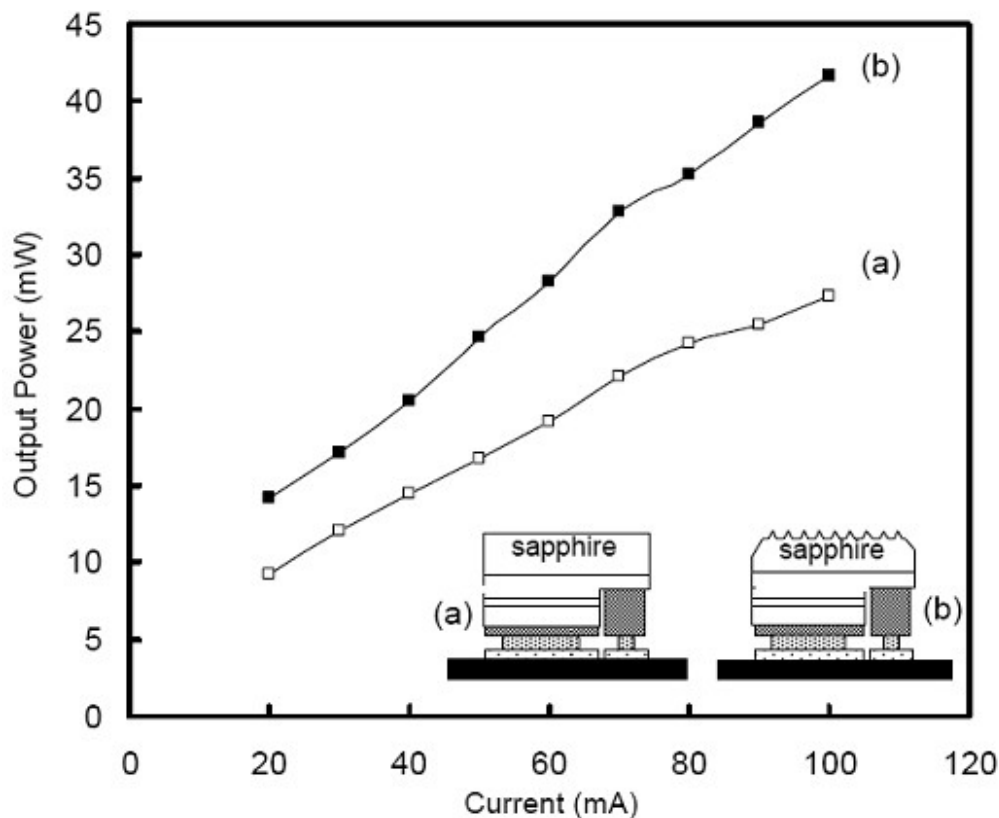


圖9、具形狀化之覆晶LED結構示意圖[6]。



(a) 電流發光強度圖



(b) 電流輸出功率圖

圖10、有無形狀化之覆晶LED的(a)電流發光強度與(b)電流輸出功率比較圖[6]。

此外，針對晶粒後段製程，在雷射切割晶片後之殘留物問題，也可應用高溫磷酸蝕刻技術來解決此問題，因為使用雷射切割LED晶片後，會將基材燒出一道痕跡，因此在晶片邊緣會流下焦黑的切割痕跡，這種切割殘留物會影響LED亮度達5~10%，如圖11所示為雷射切割LED晶片後之SEM照片。對於現今HB-LED對於亮度錙銖必較之情形，亦有業界於雷射切割後，接著使用高溫磷酸來進行藍寶石基板的側邊蝕刻(Sapphire Sidewall Etching; SSE)，以去除雷射切割後的焦黑殘留物，進而增進HB-LED的發光效率。

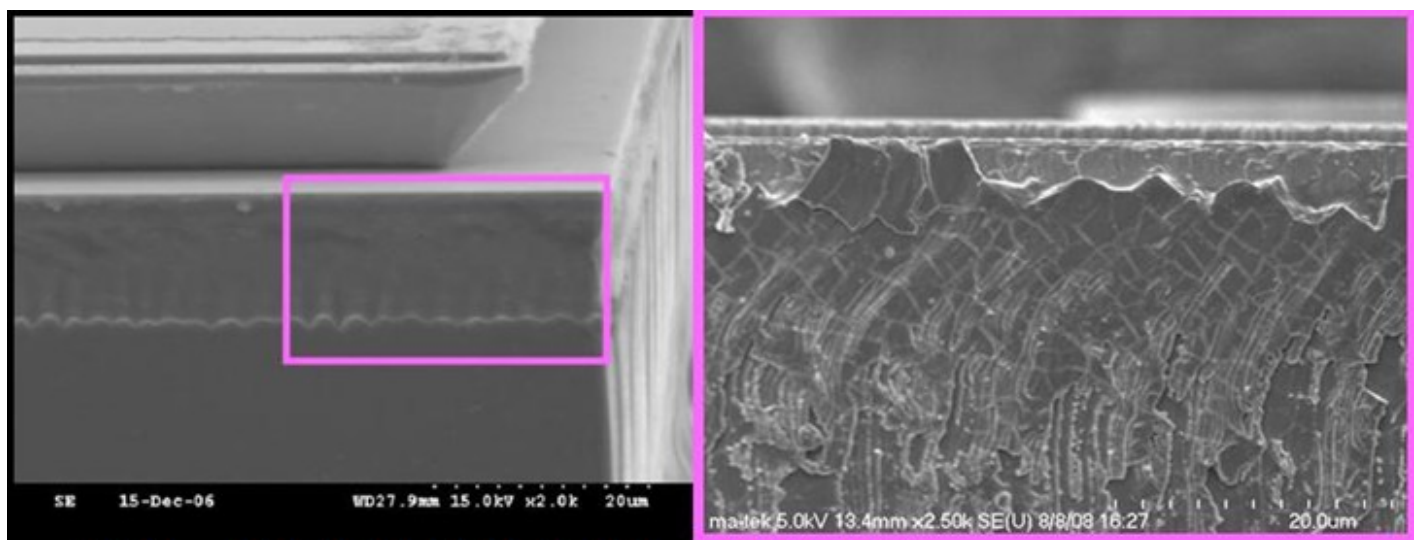


圖11、雷射切割LED晶片後之SEM照片。

4、高溫磷酸濕式蝕刻製程設備在製作上，必須考慮的設計項目

圖12為弘塑科技(Grand Plastic Technology Corporation; GPTC)所製作之全自動化高溫磷酸濕式蝕刻製程設備，由於磷酸濕式蝕刻製程設備是在280~300℃高溫下進行，所以必須考慮加熱方式，昇降溫度之速率控制，因應石英槽體之熱應力分析所設計的槽體機械結構，化學蝕刻液補充系統的補充精確度及設備自動化必須能夠兼顧人員安全與環保設計等。系統在製作上有七大設計關鍵，分別詳述如下：

- I. 安全性設計：符合SEMI-S2, 200認證，人員與上下貨區域作分離，可確保操作人員之工作安全，以及將反應廢氣充分抽離，維持空氣之高潔淨度。
- II. 高產能設計：一次可上貨達200片晶圓，產能為一般設備的2.75倍。
- III. 多槽體設計：具備多組磷酸槽，當1組磷酸槽作製程蝕刻時，另外1組磷酸槽可同步進行化學品更換與加熱，如此可防止因等待化學品更換或加熱所造成的時間浪費。
- IV. 加熱與溫度控制：在石英槽體外圍鍍上一層薄膜加熱層，此種加熱方式可以使得溫度均勻分佈於整個槽體，防止因溫度梯度所造成晶片的局部熱應力，以及蝕刻速率之變異，目前高溫磷酸濕式化學蝕刻藍寶石基板的厚度可精確控制在 $1.9 \pm 0.1 \mu\text{m}$ ，蝕刻速率為每秒 $27.5 \pm 0.5 \text{ A}$ 。
- V. 昇降溫度之速率控制：具備晶圓蝕刻前之預先加熱，以及蝕刻候之冷卻設計，可避免晶圓因急速昇降溫度所產生的熱衝擊破片。
- VI. 化學品供應系統：化學液之補充體積的精確度要高。
- VII. 晶圓自動傳送系統：晶圓傳送可保證連續順利傳送達400 Runs，以確保製造上之良率。



圖12、弘塑科技設計製作之高溫磷酸濕式蝕刻自動化量產設備。

5、 結論

本文已針對藍寶石基板之高溫磷酸濕式蝕刻製程，以及其製程設備在設計製作上必須考慮哪些因素，進行詳細探討。由於LED之藍寶石基板化學濕式蝕刻製程，可藉由基板表面幾何圖形之變化，來改變LED的散射機制，或將散射光導引至LED內部，進而由逃逸角錐中穿出，所以成為增加LED光萃取效率的有效技術。目前LED業界特別考慮到如何降低成本與增進產能，並且又要合乎環保與工業安全等需求，可以預見地具備操作自動化與製程標準化之系統設備，將成為未來LED生產線量產之競爭主力。

6、 作者：

許明哲 (David Hsu)：弘塑科技公司(Grand Plastic Technology Corporation; GPTC)計劃主持人，畢業於成功大學材料所。E-mail: david_hsu@gptc.com.tw。
連絡地址：新竹縣新竹工業區大同路13號 TEL:+886-3-597-2353

Company Website: <http://www.gptc.com.tw> [1]

詹印豐(Jesse Chan)：弘塑科技公司總經理，從臺灣工業技術學院電子系獲得學士學位，並在美國密蘇里州立大學哥倫比亞校區獲得MSEE。

顏錫鴻(Clyde Yen)：弘塑科技公司副總經理，半導體設備與材料之市場行銷規劃多年經驗。

顏榮偉(Steven Yen)：弘塑科技公司產品經理。

余智林(Frank Yu)：弘塑科技公司專案經理。

7、參考文獻：

1. E. F. Schubert, Light-Emitting Diodes, Cambridge, U. K. : Cambridge University Press, 2003.
2. A. Zukauskas, M. S. Shur, and R. Gaska, Introduction to Solid-State Light. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience, 2002.
3. Lee et al, High Brightness GaN-Based Light Emitting Diodes, Journal of display technology, vol 3, No. 2, June 2007.
4. 郭浩中、賴芳儀、郭守義，LED原理與應用，Page 177~180, 五南出版公司。
5. E. Fred Schubert, Light-Emitting Diodes, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York, Cambridge University Press, ISBN-13 978-0-521-86538-8, page 121-221, 2006.
6. Shao-Hua Huang, Ray Hua Horng, Kuo Sheng Wen, Yi Feng Lin, Kuo Wei Yen, and Dong Sing Wu, "Improved light extraction of nitride-based flip-chip light-emitting diodes via sapphire shaping and texturing," IEEE Photonics Technol. Lett., 18, 2623 (2006).

相關關鍵字：廠商投稿 [2] 弘塑科技 [3]

廠商投稿 弘塑科技

Source URL: http://www.ledinside.com.tw/Grand_Plastic_Technology_20100909

Links:

[1] <http://www.gptc.com.tw>

[2] <http://www.ledinside.com.tw/taxonomy/term/3444>

[3] <http://www.ledinside.com.tw/taxonomy/term/3859>