

製作於電化學蝕刻 n^- -氮化鎵模板上之氮化鎵發光二極體

賴韋志¹, 顏政雄¹, 李臻淄¹, 楊亞諭¹, 陳錫恩¹, 張守進^{2,*}, 李書光³

¹ 台灣國立成功大學光電系

² 台灣國立成功大學電機工程學系與微電子工程研究所, 尖端光電中心, 研究總中心, 能學與科技策略研究中心

³ 中國石油大學理學院

IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 25, No. 15, pp. 1531 - 1534, Aug. 2013

使

用三族氮化物材料製作發光二極體(LED)、雷射二極體與高效能電子元件已成為現今的焦點。因為在藍光、綠光及紫外線除具有高度商業實用性, 氮化鎵(GaN)發光二極體在節能潛力大幅超越了白熾燈泡和螢光燈[1]-[4]。提升GaN LED的輸出效率的主要方法即為內部量子效能(internal quantum efficiency, IQE)和光提取效能(light extraction efficiency, LEE)。為了改善IQE和LEE, 各種研究發法被提出, 例如抑制在氮化鎵(InGaN)的量子井活化區抑制電荷分離[5]-[7]、表面粗糙化和藍寶石基板圖案化、以及奈米圖案化藍寶石基板, 減少藍寶石基板上生長GaN層的錯位密度。在這篇研究裡, 我們研究出各種陽極氧化電壓和這些多孔 n^- -型GaN基板於GaN LED裡製造多孔 n^- -型GaN模板的形成。我們也將討論在GaN LED的電學和光學性能在多孔 n^- -GaN基板上製作的效果。

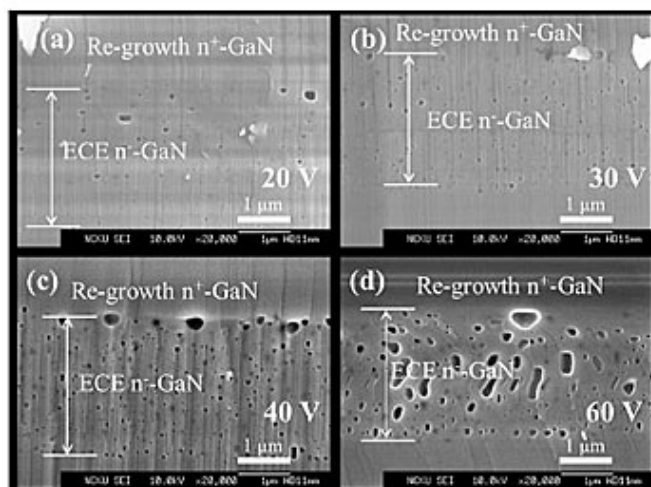


圖 1圖1(a)、1(b)、1(c)、和1(d)顯示SEM下LED的 n^- -GaN基板施加(a) 20、(b) 30、(c) 40、和(d) 60 V之截面圖。

圖1(a)、1(b)、1(c)、和1(d)顯示SEM下LED的 n^- -GaN基板, 分別施加(a) 20、(b) 30、(c) 40、和(d) 60 V之截面圖。當磊晶 n^+ -GaN層因為通入 NH_3 及 H_2 , 長晶時的高溫將使得在 n^- -GaN層裡的孔洞會重新塑形。而這些橢圓或小切面的孔洞源於a)當製程升溫時造成孔洞蝕刻現象, b) GaN的解離造成孔洞, c)孔洞和孔洞的結合。因此原本的水平/樹狀分布的孔洞被劃分成橢圓或小切面的空隙, 如圖1(a)-1(d)所示。在成長範圍相對15-150 nm, 30-180 nm, 35-330 nm, 與 45-520 nm 的完整LED結構後, ECE n^- -GaN將被施加20 V, 30 V, 40 V, 60 V以重塑橢圓的孔洞。

發光二極體成長在ECE 奈米多孔 n^- -GaN基板上施加20、30、40、和60 V的電壓, 並分別被命名為LED II、III、VI及 V。為了做出客觀地研究比較, 無奈米多孔 n^- -GaN 基板的傳統LED(例如 LED I)也將被拿來探討比較。光輸出功率以及外部量子效率(external quantum efficiency, EQE)是和輸入電流呈現一函數關係,

如圖二所示。全部的ECE 奈米多孔 n^- -GaN 模板LED(LED II 至 V)之電流則都高於傳統的LED I。20 mA之輸出功率從LED I的8.7 mW增加至LED II的12.15 mW、增加至LED III的12.34 mW和增加至LED IV的12.97 mW，而增加至LED V的輸出功率則落在9.92 mW。而各LED相對應知EQE則分別是15.3%、21.6%、22.1%、23.4%與17.9%。圖三顯示LED I至V的遠場光譜圖，可以明顯地看出在接近垂直的方向($-30^\circ \leq \theta \leq 30^\circ$)LED II至IV達到更高的光發射密度。

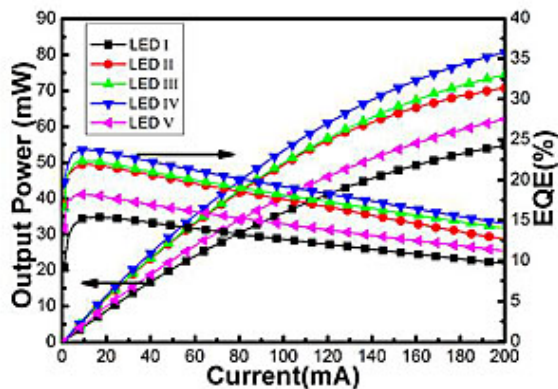


圖 2 對所有LED樣本量測的光輸出功率及外部量子效率(external quantum efficiency (EQE))

- well blue and green light-emitting diodes,” IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron., vol. 8, no. 2, pp. 278–283, Mar./Apr. 2002.
- S. J. Chang, et al., “400-nm InGaN-GaN and InGaN-AlGaIn multiquantum well light-emitting diodes,” IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron., vol. 8, no. 4, pp. 744–748, Jul./Aug. 2002.
 - Y. Narukawa, J. Narita, T. Sakamoto, K. Deguchi, T. Yamada, and T. Muka, “Ultra-high efficiency white light emitting diodes,” Jpn. J. Appl. Phys., vol. 45, pp. L1084–L1086, Oct. 2006.
 - D. F. Feezell, J. S. Speck, S. P. DenBaars, and S. Nakamura, “Semipolar $(20\overline{2})\overline{1}\overline{1}$ InGaIn/GaN light-emitting diodes for high-efficiency solid-state lighting,” J. Display Technol., vol. 9, no. 4, pp. 190–198, Apr. 2013.
 - H. Zhao, G. Liu, J. Zhang, J. D. Poplawsky, V. Dierolf, and N. Tansu, “Approaches for high internal quantum efficiency green InGaIn lightemitting diodes with large overlap quantum wells,” Opt. Express, vol. 19, pp. A991–A1007, Jul. 2011.
 - J. Zhang, and N. Tansu, “Optical gain and laser characteristics of InGaIn quantum wells on ternary InGaIn substrates,” IEEE Photon. J., vol. 5, no. 2, pp. 1–12, Apr. 2013.
 - S. J. Chang, et al., “Nitride-based LEDs with 800 °C grown p-AlInGaInGaIn double-cap layers,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 16, no. 6, pp. 1447–1449, Jun. 2004.
 - Y. J. Lee, T. C. Lu, H. C. Kuo, and S. C. Wang, “High brightness GaNbased light-emitting diodes,” J. Display Technol., vol. 3, pp. 118–125, Jun. 2007.
 - M. Yamada, et al., “InGaIn-based near-ultraviolet and blue-light-emitting diodes with high external quantum efficiency using a patterned sapphire substrate and a mesh electrode,” Jpn. J. Appl. Phys., vol. 41, pp. L1431–L1433, Dec. 2002.
 - D. S. Wu, et al., “Enhanced output power of near-ultraviolet InGaInGaIn LEDs grown on patterned sapphire substrates,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 17, no. 2, pp. 288–290, Feb. 2005.

總結我們展示出用電化學的方式蝕刻 n^- -GaIn基板形成嵌入式重塑橢圓孔洞的GaIn LED。光輸出功率在 n^- -GaIn基板上以40 V之電化學蝕刻後在20mA下，輸出功率能高於傳統LED 50%。

Reference

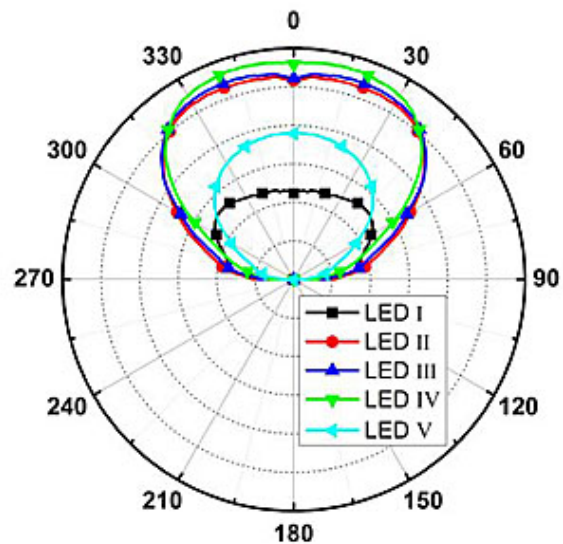


圖 3 圖三顯示第一型至第五型的遠場光譜圖

