

400奈米氮化銦鎵-氮化鎵與氮化銦鎵-氮化鋁鎵多重量子井發光二極體

張守進

國立成功大學電機資訊學院微電子工程研究所

changsj@mail.ncku.edu.tw

IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, VOL. 8, NO. 4, JULY/AUGUST 2002, pp. 744-748

Times Cited: 159

近年來，氮化鎵系列藍光/綠光發光二極體的研究有很大的進展，藍光/綠光發光二極體已被廣泛運用於全彩顯示器與高效能交通號誌燈。雖然藍光/綠光發光二極體已經商業化生產，但對於製作更短波長的發光二極體依舊極為困難，像是紫外光發光二極體。短波長發光二極體可應用在螢光化學感測、高效能光線火焰偵測器，以及可能的光儲存應用。傳統的氮基多重量子井發光二極體使用銦氮化鎵作為量子井層，用氮化鎵作為障壁層。為了達成短波長發光二極體，需要減少量子井層的銦含量來提高能障。然而，減少量子井層的銦含量將導致在位井與位障介面處有一微小不連續之能隙。因此，多重量子井主動層的井深將變小而載子侷限效應也將減少。因此，短波長銦氮化鎵-氮化鎵多重量子井發光二極體可能有嚴重的載子漏出。一個可能的解決方法是使用鋁氮化鎵或鋁銦氮化鎵取代氮化鎵作為障壁層。鋁銦氮化鎵此一四元化合物因允許獨立操控能隙及晶格常數因此能提供多一維的自由度，使用鋁銦氮化鎵此四元化合物作為能障層可以提供較佳的載子侷限及減小晶格不匹配。然而，成長高品質的鋁銦氮化鎵較鋁氮化鎵來得困難。因為鋁氮化鎵能隙較氮化鎵高，銦氮化鎵-鋁氮化鎵多重量子井與銦氮化鎵-氮化鎵相較將有較佳的載子侷限。此外，鋁氮化鎵晶格常數較氮化鎵小；銦氮化鎵晶格常數較氮化鎵大，因此我們可能藉由控制鋁氮化鎵與銦氮化鎵成分來達成氮化鎵上銦氮化鎵-鋁氮化鎵量子井的應力平衡。進一步，我們可以增加有效量子井臨界厚度來減少量子井主動區的應力釋放機率。在本研究中，吾人製作出銦氮化鎵-氮化鎵與銦氮化鎵-鋁氮化鎵發光二極體，並探討發光二極體的光特性與電特性。



本研究中，氮化銦鎵 - 氮化銦鎵多重量子井和氮化鎵 - 氮化鋁鎵多重量子井的發光二極體結構都是利用垂直低壓有機金屬氣相磊晶法成長於c-(0001) 面之2英寸藍寶石基板上。三甲基銦、三甲基鎵、三甲基鋁以及氨氣作為有機金屬源。圖1(a)為本研究所使用的氮化銦鎵-氮化鎵多重量子井結構。換句話說，InGa_{0.05}N-AlGa_{0.95}N多重量子井發光二極體的主動區域是由5對3奈米厚的In_{0.05}Ga_{0.95}N和12奈米厚的Al_{0.1}Ga_{0.9}N，如圖1(b)。為了鑑定氮化鋁鎵層的鋁組成，我們首先生長一層厚的氮化鋁鎵然後用XRD以確定其鋁組成。圖2為兩種具有不同能障層LED的XRD頻譜。圖3為AlGa_{0.1}N及Ga_{0.95}N緩衝層結構的MQW LED室溫PL頻譜。圖4為兩者不同種MQW LED的順向I-V及動態電阻特性，顯示出在20 mA 電流注入下LED的順向電壓，InGa_{0.05}N-AlGa_{0.95}N LED為3.28 V，InGa_{0.05}N-Ga_{0.95}N LED為3.22 V。圖5為室溫下兩種MQW LED於20 mA直流注入下的EL頻譜，可觀察到InGa_{0.05}N-AlGa_{0.95}N MQW LED與InGa_{0.05}N-Ga_{0.95}N MQW LED的EL峰值位置分別為395 nm及400 nm，亦可發現InGa_{0.05}N-AlGa_{0.95}N MQW LED的EL強度為InGa_{0.05}N-Ga_{0.95}N MQW LED的兩倍，對於具有AlGa_{0.1}N能障層的LED，此觀察結果可再次歸咎於較佳的載子侷限。如圖6所示，吾人可繪出In_{0.05}Ga_{0.95}N-Ga_{0.95}N MQW與In_{0.05}Ga_{0.95}N-Al_{0.1}Ga_{0.9}N MQW之能帶結構。換句話說，吾人可增加導帶非連續性由In_{0.05}Ga_{0.95}N-Ga_{0.95}N MQW $\Delta E_2 = 84.7$ meV至In_{0.05}Ga_{0.95}N-Al_{0.1}Ga_{0.9}N MQW $\Delta E_1 = 211.4$ meV之設計，進而獲得較大的EL強度。圖7為此兩種LED其電流的輸出功率函數，可發現當注入電流很小時，兩種LED輸出強度隨著注入電流呈線性上升，直到輸出功率開始飽和，達到最大值，然後隨著注入電流上升而下降。

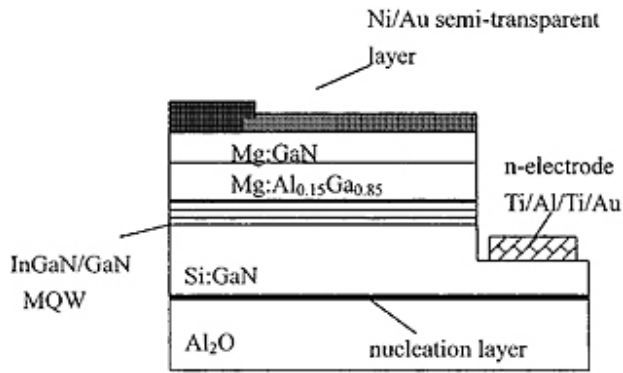


Fig. 1.(a) InGaN-GaN多重量子井LED。

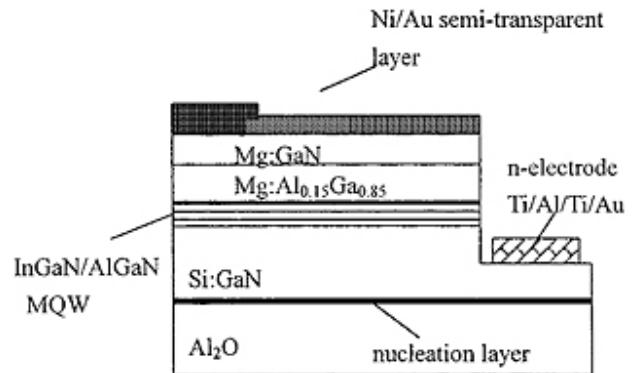


Fig. 1.(b) InGaN-AlGaN多重量子井LED之元件結構圖。

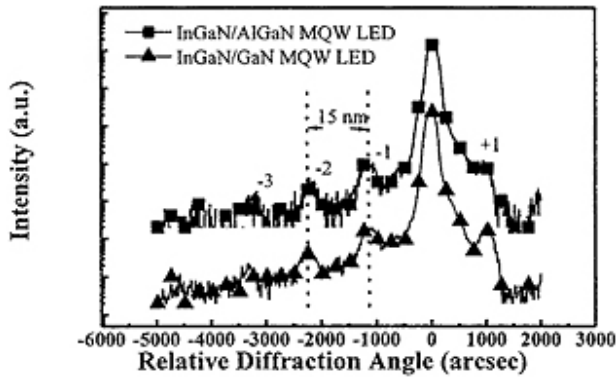


Fig. 2.兩種LED於不同阻障層下之XRD頻譜。

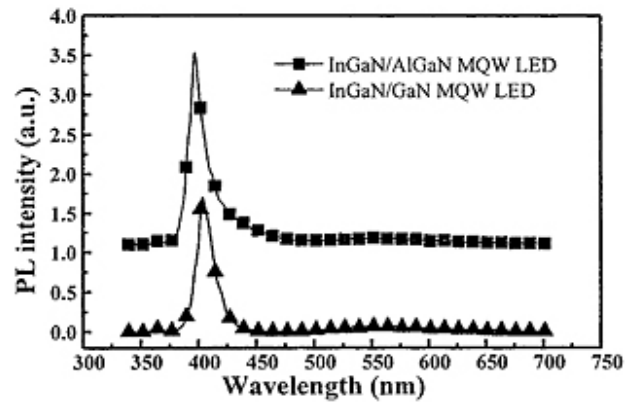


Fig. 3.兩種LED分別使用AlGaN與GaN阻障層之常溫PL頻譜。

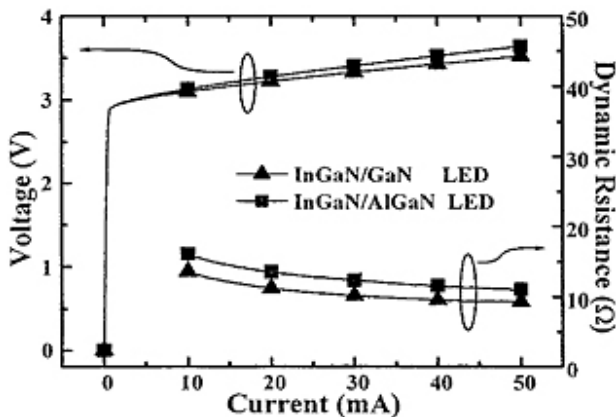


Fig. 4.兩種LED之順偏電流-電壓曲線與動態電阻特性。

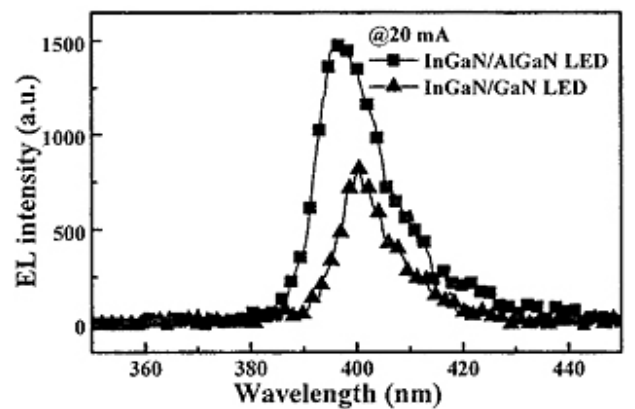


Fig. 5.兩種LED於20 mA注入電流下之常溫EL頻譜。

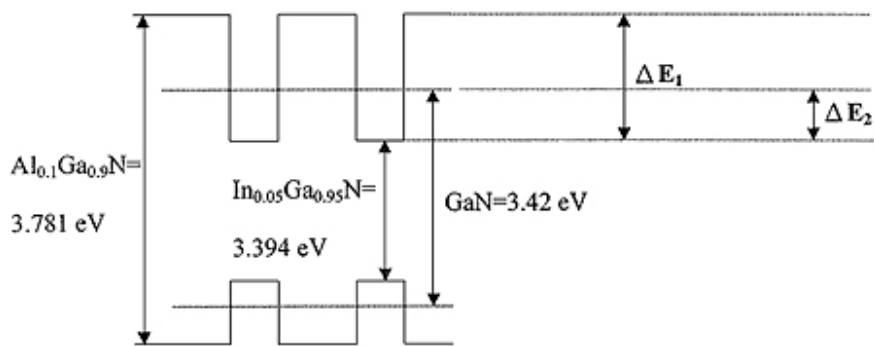


Fig. 6. In_{0.05}Ga_{0.95}N-GaN與In_{0.05}Ga_{0.95}N-Al_{0.1}Ga_{0.9}N多重量子井結構之能帶圖。

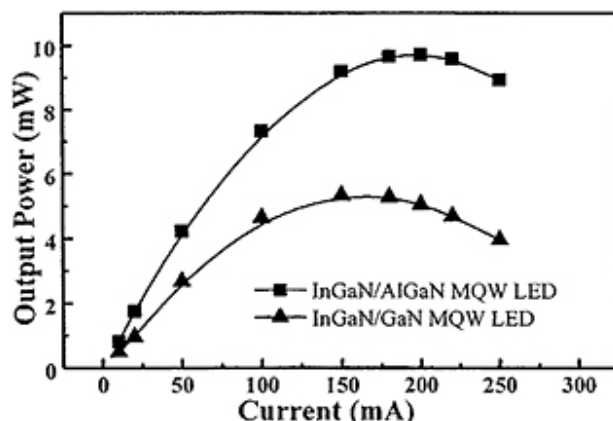


Fig. 7. 兩種LED於不同注入電流之下之輸出功率。

結論, 吾人以OMVPE成長400-nm $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ -GaN MQW LED及 $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ - $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ MQW LED結構。以 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 作為能障材料不會劣化磊晶層的晶體品質。20 mA的注入電流之下所顯示的EL強度, InGaN-AlGaN MQW LED為InGaN-GaN MQW LED之兩倍, 且於較大的注入電流之情況下, 具有較大的最大輸出功率及最大輸出強度, 此說明AlGaN能障層能提供一個較佳的載子侷限效應並有效降低漏電流。

References

1. T. Mukai, M. Yamada, and S. Nakamura, "Characteristics of InGaN-based UV/blue/green/amber/red light-emitting diodes," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 38, no. 7A, pp. 3976–3981, July 1999.
2. T. Nishida, H. Saito, and K. Kobayashi, "Efficient and high power AlGaN-based ultraviolet light-emitting diode grown on bulk GaN," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 79, no. 6, pp. 711–712, Aug. 2001.
3. , "Milliwatt p[er]ation of AlGaN-based single quantum well lightemitting diode in the ultraviolet region," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 78, no. 25, pp. 3927–3928, June 2001.
4. T. Mukai and S. Nakamura, "Ultraviolet InGaN and GaN single quantum well structure light-emitting diodes grown on epitaxially laterally overgrown GaN substrates," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 38, no. 10, pp. 5735–5739, Oct. 1999.
5. J. Han, M. H. Crawford, R. J. Shul, J. J. Figiel, L. Zhang, Y. K. Song, H. Zhou, and A. V. Nurmikko, "AlGaN/GaN quantum well ultraviolet light-emitting diodes," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 73, no. 12, pp. 1688–1690, Sept. 1998.
6. K. Tadatomo, H. Okagawa, Y. Ohuchi, T. Tsunekawa, Y. Imada, M. Kato, and T. Taguchi, "High output power InGaN ultraviolet light emitting diodes fabricated on patterned substrates using metalorganic vapor phase epitaxy," *Jpn. J. Appl. Phys. Lett.*, vol. 40, no. 6B, pp. L583–L585, June 2001.
7. W. C. Lai, S. J. Chang, M. Yokoyama, J. K. Sheu, and J. F. Chen, "InGaN/AlInGaN light emitting diodes," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 13, pp. 559–561, June 2001.
8. C. H. Chen, Y. K. Su, S. J. Chang, G. C. Chi, J. K. Sheu, J. F. Chen, C. H. Liu, and U. H. Liaw, "High brightness green light emitting diode with charge asymmetric resonance tunneling structure," *IEEE Electron. Dev. Lett.*, vol. 23, pp. 130–132, Mar. 2002.
9. C. H. Ko, S. J. Chang, Y. K. Su, W. H. Lan, J. F. Chen, T. M. Kuan, Y. C. Huang, C. I. Chiang, J. Webb, and W. J. Lin, "On the carrier concentration and Hall mobility in GaN epitaxial layers," *Jpn. J. Appl. Phys. Lett.*, vol. 41, no. 3A, pp. L226–L228, Mar. 2002.