

利用有機金屬化學氣相沉積選擇性成長氮化鎵以有效降低錯位密度

張威¹, 劉培基¹, Biyun Jackson¹, 孫天舒², 黃士哲³, 徐曉秋³, 蘇炎坤⁴, 張守進^{3,*}, 李磊⁵, 李丁⁵, 王磊⁵, 胡曉東⁵, 謝亞宏¹

¹ 美國加州大學洛杉磯分校材料科學與工程學院

² 美國馬里蘭大學物理系

³ 國立成功大學尖端光電中心、電機工程學系與微電子工程研究所

⁴ 崑山科技大學電機工程學系

⁵ 中國北京大學物理學院人工微結構和介觀物理國家重點實驗室

changsj@mail.ncku.edu.tw

Journal of Applied Physics, Vol. 113, p. 144908, 2013

氮化鎵(GaN)和氮化三族金屬合金因為廣泛的可調能帶，使得這些材料對綠光轉紫外線發光二極體、雷射二極體和高功率高效能電晶體元件有高度的應用價值。因為缺乏本質GaN的基板，導致GaN在矽、藍寶石或碳化矽基板成長形成的異質結構為一基礎又關鍵的技術挑戰。然而由於約17%的晶格不匹配，造成在被定義圖形前的磊晶GaN層會產生 10^8 - 10^{10} cm⁻²的晶格錯位密度，這些高錯位密度極度限制了以GaN為基底的元件應用。在這篇研究裡我們使用了新型的蛇紋型通道光罩，利用此光罩只需一次長晶步驟所以可以有非常低的錯位密度 10^5 cm⁻²之GaN磊晶層。

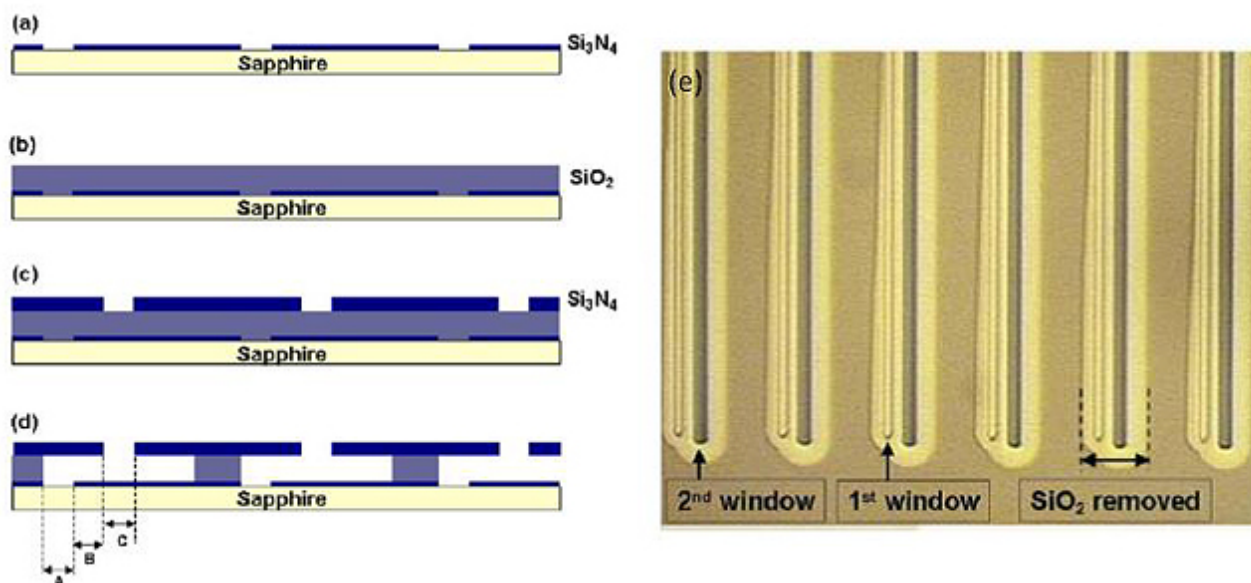


圖 1 (a)-(d) 蛇紋型通道光罩製程的截面流程圖。A、B 和 C 分別為第一道的圖形、通道長度、以及第二道圖形; (e) 蛇紋形通道在藍寶石基板上的俯瞰圖。

圖1為在藍寶石基板上使用蛇紋行通道光罩定義圖形的製程流程圖。如圖1(a)所示，首先使用低壓化學沉積法(LPCVD)使氮化矽(Si₃N₄)薄膜沉積在藍寶石基板，接著曝光微影與反應離子蝕刻定義出每間距為12 μm的圖形。接著在用LPCVD沉積二氧化矽(SiO₂)在第一道圖形上，如圖1(b)。之後使用LPCVD沉積Si₃N₄。傳統曝光微影再定義出第二層的圖形，圖形間距與圖1(a)的12 μm相同，但圖形有橫向的位移以產生蛇紋型通

道的橫截面。最後使用BOE等向蝕刻移除中間層的SiO₂至第一道Si₃N₄的圖形露出來為止，如圖1(d)所示。圖1(e)顯示光學顯微鏡下的平面圖形。

圖2(a)-2(e)顯示在穿透式電子顯微鏡 (transmission electron microscope, TEM) 下的截面圖。圖2(b)-2(e)為STEM下的截面放大圖，這些圖分別代表在圖2(a) 四個相對應的A、B、C、D蛇紋形通道下的錯位發展狀況。圖2(a)的通道長度比我們原本設計的圖形還要短是因為在一系列的製程上造成了不可避免的誤差。圖2(b)顯示在GaN與藍寶石基板界面上的錯位都被蛇紋形通道到有效地隔絕。這個方法有效地隔絕錯位，成為一個非常具有革命性地關鍵。圖2(c)與2(d)顯示被隔絕的錯位平行於GaN/藍寶石基板的界面，這類的錯位將不會對製程後的元件電性有所影響，即類似於SiGe的虛擬基板之原理。非螺紋錯位很明顯可以觀察到垂直於界面，如圖2(d)所示。此歸功於蛇紋型通道有效地過濾掉晶格錯位。圖2(e)顯示兩個相鄰的條紋的合併，如同我們預期，高密度的錯位已在前端聚集合併，此即為蛇紋型通道的亮點之一。圖2(f)顯示為了量測孔洞密度，經磷酸及硫酸的混合液體(H₃PO₄+H₂SO₄)在160°C 60分鐘下蝕刻後的掃描電子顯微鏡 (scanning electron microscope) 俯瞰圖，此處也可很明顯地觀察到經蝕刻後的孔洞密度已造成了變異，約為 $4 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}$ 。

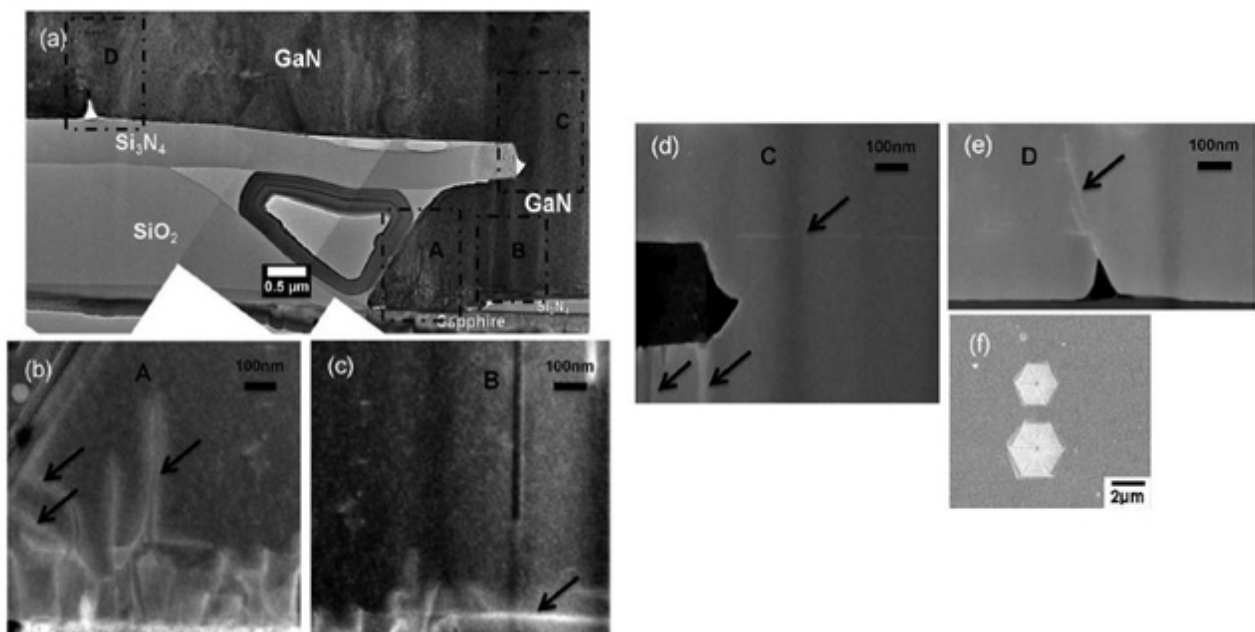


圖 2 (a) TEM下蛇紋型通道光罩製程的GaN藍寶石基板的截面圖，以及 (b)-(e) 暗場STEM下4個區域A、B、C、D。(f) 液體在160°C 60分鐘下蝕刻後的SEM俯瞰圖。

總結，藉由研發出之創新的蛇紋形光罩結構，並透過優化成長條件使我們能達到極低的錯位密度的GaN薄膜。此外，蛇紋型光罩結構並不需要為了產生低缺陷密度的GaN薄膜而使用任何額外的再生製程，利用此光罩結構成長出來的GaN薄膜運用在高效能氮化三族金屬的元件的製備上，將會有非常不可忽視的影響力及重要性。

Reference

1. S. Nakamura, T. Mukai, and M. Senoh, Appl. Phys. Lett. 64, 1687 (1994).
2. E. F. Schubert and J. K. Kim, Science 308, 1274 (2005).
3. S. Nakamura, N. Iwasa, M. Senoh, S. Nagahama, T. Yamada, and T. Mukai, Jpn. J. Appl. Phys., Part 2 34, L1332 (1995).
4. T. C. Lu, S. W. Chen, T. T. Wu, P. M. Tu, C. K. Chen, C. H. Chen, Z. Y. Li, H. C. Kuo, and S. C. Wang,

- Appl. Phys. Lett. 97, 071114 (2010).
5. U. K. Mishra, P. Parikh, and Y.-F. Wu, Proc. IEEE 90, 1022 (2002).
 6. S. Nakamura, M. Senoh, S. Nagahama, N. Iwasa, T. Yamada, T. Matsushita, H. Kiyoku, Y. Sugimoto, T. Kozaki, H. Umemoto, M. Sano, and K. Chocho, Appl. Phys. Lett. 72, 211 (1998).
 7. M. Furitsch, A. Avramescu, C. Eichler, K. Engl, A. Leber, A. Miler, C. Rumbolz, G. Brüderl, U. Strauß, A. Lell, and V. HEarle, Phys. Status Solidi A 203, 1797 (2006).
 8. N. G. Weimann, L. F. Eastman, D. Dharanipal, H. M. Ng, and T. D. Moustakas, J. Appl. Phys. 83, 3656 (1998).
 9. K. Hiramatsu, S. Itoh, H. Amano, and I. Akasaki, J. Cryst. Growth 115, 628 (1991).
 10. Y. H. Xie, E. A. Fitzgerald, and P. J. Silverman, Mater. Sci. Eng. B 30, 201 (1995).

Copyright 2015 National Cheng Kung University