

以十二對氮化鎂-氮化鎵緩衝層製作氮化鎵系列蕭特基光檢測器

張守進^{1,*}、李凱璿¹、張品全²、王嚴慶¹、余佳霖¹、郭政煌³、吳三連⁴

¹國立成功大學電機資訊學院微電子工程研究所、微奈米中心、尖端光電科技中心

²崑山科技大學電機工程學系

³中央大學光電工程系所

⁴正修科技大學電子工程學系

changs@mail.ncku.edu.tw

Journal of Quantum electronics, 44(10) 916-921 (2008)

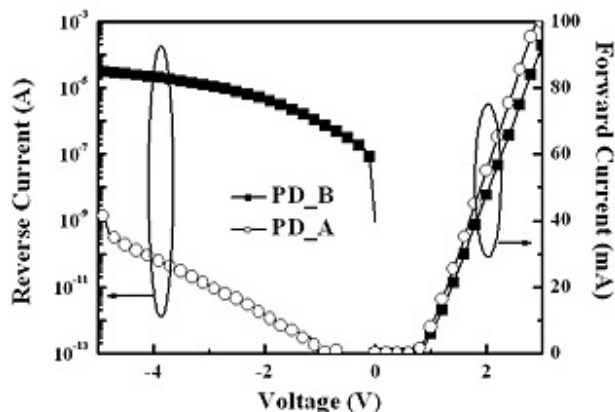
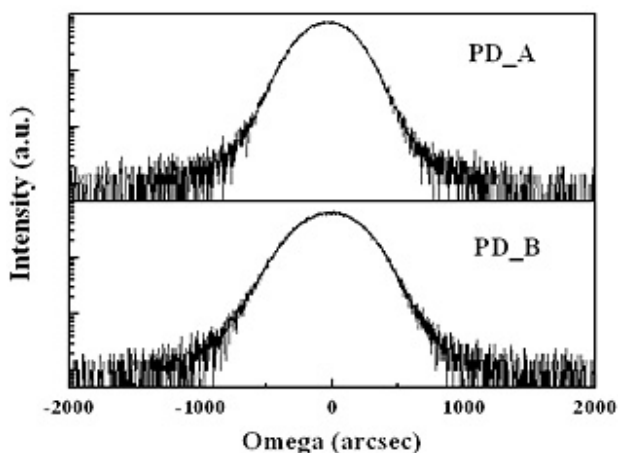
蕭特基二極體為製作氮化物系列高電子移動率電晶體與紫外光檢測器之關鍵元件。然而，由於氮化鎵磊晶層與藍寶石基板之間的晶格不匹配與過大的熱膨脹係數差異，導致磊晶薄膜的材料品質低落，而有高密度的差排缺陷產生，從而造成過大的元件漏電流 [1]。因此，吾人採用十二對氮化鎂-氮化鎵緩衝層的方式改善此一問題，進而製作高性能氮化鎵系列蕭特基光檢測器。

本實驗中之樣品皆以金屬有機化學汽相沉積系統成長於c軸藍寶石基板上。首先以低溫成長十二對氮化鎂-氮化鎵緩衝層(稱為樣品A)及傳統低溫氮化鎵緩衝層(稱為樣品B)，接著成長4 μm 厚之矽摻雜氮化鎵磊晶層與0.3 μm 厚之無摻雜氮化鎵主動層。使用此樣品，吾人進一步製作光檢測器元件。以沉積鈦/鋁(15 nm/100 nm)作為歐姆接觸並置於爐管中，通氮氣於600 $^{\circ}\text{C}$ 之環境下回火8分鐘。接著沉積鎳/金(40 nm/100 nm)作為蕭特基接觸。圓型蕭特基接觸的直徑為400 μm 。



圖一為樣品之非對稱面XRD曲線分析。可以發現樣品A與樣品B的半高寬分別為439 與 509 arcsec。樣品A具有較窄的非對稱面半高寬，顯示使用十二對氮化鎂-氮化鎵做為成長緩衝層能有效提升磊晶品質。

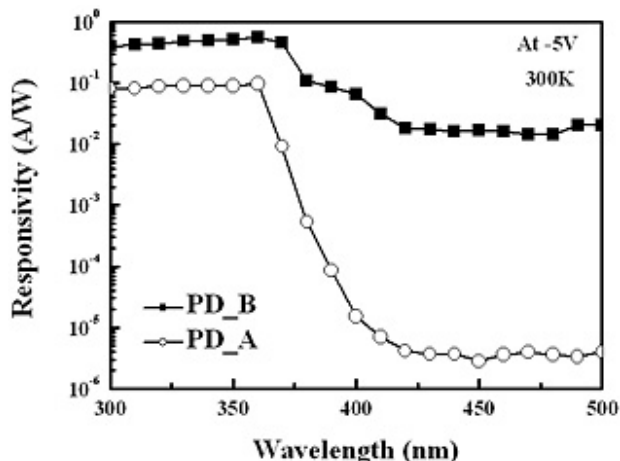
圖二為室溫下元件之電流-電壓曲線。逆向偏壓下，吾人發現樣品A中所測得的元件漏電流比樣品B降低了六個數量級，這可以歸因於使用十二對氮化鎂-氮化鎵緩衝層能有效抑制氮化鎵薄膜中差排缺陷的產生。順向偏壓下，吾人計算蕭特基二極體之熱離子發射位障，得到樣品A與樣品B分別為1.44 與 1.04 eV，並可萃取出理想因子分別為1.28 與 2.03。這些結果顯示使用十二對氮化鎂-氮化鎵做為緩衝層能製作出更接近理想二極體之元件。



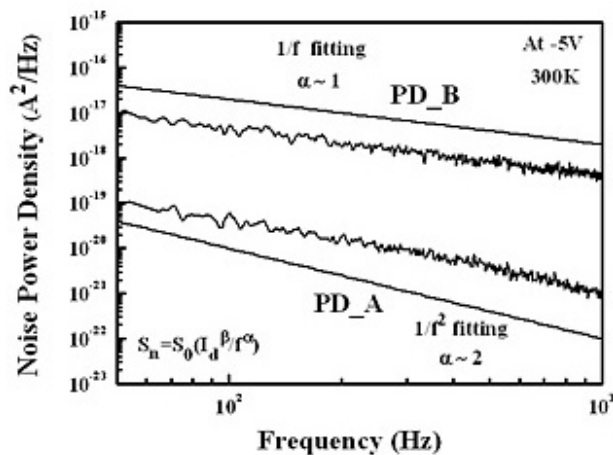
圖一 樣品之非對稱面XRD曲線分析

圖二 室溫下元件之電流-電壓曲線

圖三為元件之光響應頻譜圖。於-5V偏壓下，入射波長360 nm的光，由圖顯示樣品A與樣品B之響應度分別為0.097 與 0.551 A/W，等效換算成外部量子效率分別為33.47% 與190.12%。值得注意的是，於-5V偏壓下樣品B對應之外部量子效率不合理地超過物理極限100%。這顯示樣品B中有光電導增益的產生 [2]。此處我們定義光檢測器之紫外光對可見光拒斥比為波長360 nm與500 nm之響應度之比例。由此定義可計算出兩樣品之紫外光對可見光拒斥比，發現於-5V偏壓下，樣品A的紫外光對可見光拒斥比高於樣品B約三個數量級。



圖三 室溫下元件之光響應頻譜圖



圖四 元件之低頻雜訊功率頻譜

圖四為元件之低頻雜訊功率頻譜圖。吾人以Hooge方程式 [3]為模型來解釋元件的雜訊行為：

$$S_n(f) = S_0 \frac{I_d^\beta}{f^\alpha} \quad (1)$$

其中 I_d 為元件暗電流， f 為量測頻率， $S_n(f)$ 為雜訊功率密度， S_0 為常數， α and β 為兩個逼近參數。根據低頻雜訊頻譜圖，吾人發現樣品A中為 $1/f^2$ 雜訊而樣品B中為 $1/f$ 雜訊主導雜訊行為。在此，吾人假設於頻率1 Hz以下， $S_n(f) = S_n(1 \text{ Hz})$ 。則可以由下列兩項公式計算出雜訊等效功率與元件歸一化檢測率：

$$NEP = \frac{\sqrt{\langle i_n \rangle^2}}{R} \quad (2)$$

$$D^* = \frac{\sqrt{A} \sqrt{B}}{NEP} \quad (3)$$

其中 R 為響應度， A 為元件面積， B 為元件操作頻寬。吾人給定元件面積為 $2.12 \times 10^5 \mu\text{m}^2$ ，偏壓-5V，操作頻寬1 kHz，則可計算出樣品A的雜訊等效功率與元件歸一化檢測率分別為 $1.5 \times 10^7 \text{ cmHz}^{0.5} \text{W}^{-1}$ 與 $9.73 \times 10^{-8} \text{ W}$ ，而樣品B的雜訊等效功率與元件歸一化檢測率分別為 $8.22 \times 10^6 \text{ cmHz}^{0.5} \text{W}^{-1}$ 與 $1.77 \times 10^{-7} \text{ W}$ ，由此可知，使用十二對氮化鎂-氮化鎵做為緩衝層亦可達到低雜訊準位與高元件檢測率。

總結來說，我們成功地以十二對氮化鎂-氮化鎵緩衝層製作出高性能之氮化鎵系列蕭特基光檢測器，並以之與傳統使用低溫氮化鎵緩衝層之元件做比較。使用十二對氮化鎂-氮化鎵做為緩衝層能有效降低差排缺陷密度，提升磊晶薄膜之材料品質，並可進一步製作出低雜訊準位與高檢測率之光檢測元件。

參考文獻

- [1] V. Narayanan, K. Lorenz, W. Kim, and S. Mahajan, "Origins of threading dislocations in GaN epitaxial layers grown on sapphire by metalorganic chemical vapor deposition," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 78, No. 11, pp. 1544-1546, 2001.
- [2] O. Katz, V. Garber, B. Meyler, G. Bahir and J. Salzman, "Gain mechanism in GaN Schottky ultraviolet detectors", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 79, No. 10, pp. 1417-1419, 2001.
- [3] E. Monroy, F. Calle, E. Munoz, F. Omnes, P. Gibart, and J. A. Munoz, "Al_xGa_{1-x}N:Si Schottky barrier photodiodes with fast response and high detectivity", *Electron. Lett.*, Vol. 36, No. 18, pp. 1581-1583, 2000.

Copyright 2010 National Cheng Kung University