

製作與探討以HEMT結構及低溫AlGaIn中間穿插層為架構之氮化鎵MSM光檢測器

莊文魁^{1,*}、李凱璿¹、張品全²、張守進¹

¹ 國立成功大學電機系暨微電子所、微奈米科技研究中心、尖端光電中心

² 南榮技術學院電子系

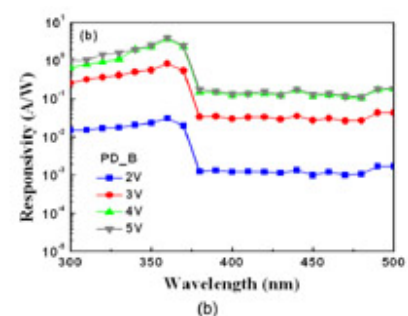
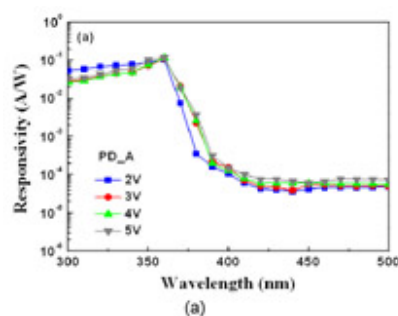
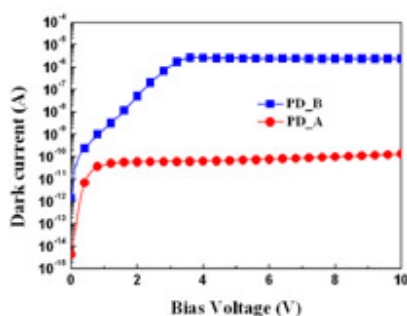
rwchuang@mail.ncku.edu.tw

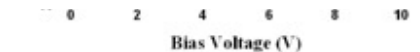
Journal of The Electrochemical Society, 2008, Vol. 155(12), H959-H963

AlGaIn/GaN高電子遷移率之電晶體(HEMT)為目前最常被探討的元件結構之一，而其應用主要在高功率及高頻電子元件方面。此AlGaIn/GaN異質結構元件的主要特色通常包括以二維電氣(2DEG)為機制之電流傳導與施加調變電場方向平行於異質界面之間。以高能障侷限通道間之高密度載子的特色所帶來的許多潛在的元件應用包括HEMT、光檢測器(PDs)，和其它具有特別特性的元件。加入一2DEG層於金屬 - 半導體 - 金屬(MSM)光檢測器(PDs)有兩項吸引人的特色。第一，與其它傳統的MSM PDs相比較，藉由調變HEMT元件內之電場可改善其元件的特性。第二，PD與HEMT兩者之間的元件製程是相容的，且兩者之間的磊晶結構可以同時在一次的長晶步驟中完成。可惜的是，由於氮化鎵與藍寶石基板之間的晶格不匹配，進而造成氮化鎵磊晶的品質因螺紋差排缺陷(threading dislocations或TDs)的存在而降低。因此，為了提昇AlGaIn/GaN異質界面的品質，其中一項解決之道是在成長最後的AlGaIn/GaN磊晶層之前，在兩層高溫成長GaN層之間穿插一層AlGaIn中間層。使用此成長方式可以有效地防止螺紋差排缺陷延伸至元件的主動區域，進而大大地提昇AlGaIn/GaN異質結構的品質。藉由穿插低溫層於兩層GaN高溫層之間以提昇磊晶品質的概念已經率先被Iwaya的團隊提出 [1]。此成長方式的效力主要取決於因影像力(image force)的影響，TDs會沿著在低溫層內的島狀結構而彎曲，進而以比較高的成長速率往側邊延伸成長。此彎曲的現象會促使島狀結構之間產生無缺陷的磊晶區域。本研究的重心是在於利用在兩層高溫的GaN層之間穿插一層低溫的AlGaIn中間層的觀念去成長及分析高品質AlGaIn/GaN的磊晶層。之後，我們再以此AlGaIn/GaN異質結構去製作及詳細地分析有無穿插低溫AlGaIn中間層最終對紫外線(UV) MSM光檢測器特性的影響層級。

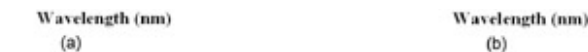


本文獻所牽涉到的氮化鎵樣品都是由有機化學氣相沉積法(MOCVD)的方式成長。(0001)方向之藍寶石為主要的成長基板。Trimethyl-aluminum (TMAl)、trimethyl-gallium (TMGa)與氨氣(NH₃)主要分別作為III族和V族的MO成長氣體。接著，此基板在通氨氣及1120°C高溫的密閉環境下進行熱回火，之後，置放基板的石墨底盤再降溫至600°C去成長30 nm厚之低溫GaN緩衝層。接下來則是成長1050°C高溫之GaN層於低溫GaN緩衝層之上。第一層的高溫GaN層的厚度控制在1.75 μm左右。接著在500°C下，再成長100 nm厚的低溫Al_{0.3}Ga_{0.7}N中間層，之後則再沉積第二層0.25 μm厚的高溫GaN層及20 nm厚的Al_{0.25}Ga_{0.75}N層(此磊晶結構在此定義為PD_A)。第一及第二高溫GaN層的成長條件是一樣的。為了與PD_A作比較，在沒有穿插低溫AlGaIn中間層的情況下，2 μm厚的高溫GaN層和20 nm厚的Al_{0.25}Ga_{0.75}N層則是直接成長於低溫的緩衝層之上(此磊晶結構在此定義為PD_B)。



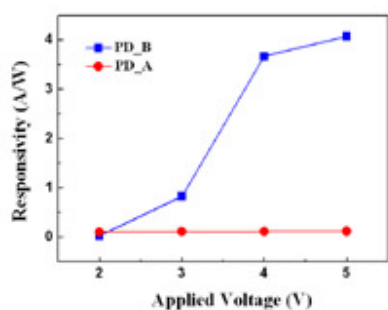


圖一 PD_A與PD_B這兩種光檢測器
的暗電流與施加偏壓之關係圖。

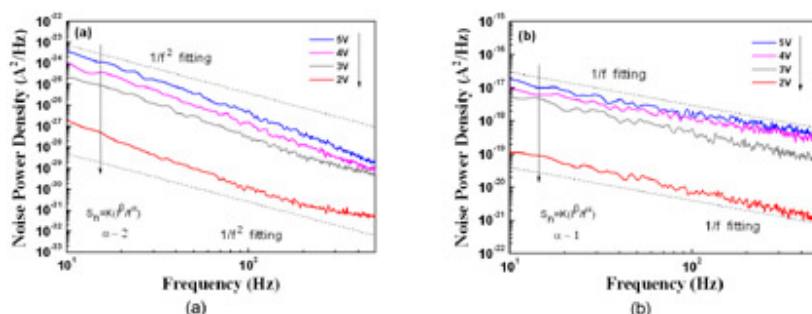


圖二 (a) PD_A與(b) PD_B之光響應的比較圖。

圖一為在室溫的條件下PD_A與PD_B在分別有及沒有穿插低溫AlGaIn/GaN之HEMT結構所製作出的元件之暗電流對偏壓的關係圖。此元件所產生的暗電流幅度主要受制於大部份的偏壓坐落於陰極之下的空乏區的原故。在此，我們定義 V_p 為在這特定的施加偏壓下，在陰極空乏區之下的通道區域內之2DEG已經被pinched off。圖二為此兩種元件的光響應對施加偏壓的關係圖。由此圖所知，兩種元件其光響應在氮化鎵的吸收能帶邊緣(大約在360 nm波長範圍)有一個很鮮明的cutoff。透過氬燈而其光源在包括360 nm波長入射光的照射，同時在室溫的條件之下，當偏壓從2V增加至5V的情況下，所量測到的PD_A之光響應的範圍大約在0.11至0.12 A/W左右，而PD_B的光響應則有比較大的跳動，其範圍大約在0.03至4.08 A/W左右。再者，如圖三所示，在360 nm波長範圍所量測到的光響應值，PD_A的光響應比較不受偏壓所左右，而PD_B的光響應在施加偏壓下則有非常顯著的增加。此外，在施加1 V以上的偏壓下，PD_B的光響應所增加的幅度則表現地相當不平常。此現象主要是取決於PD_B元件內有相當大的內部增益。

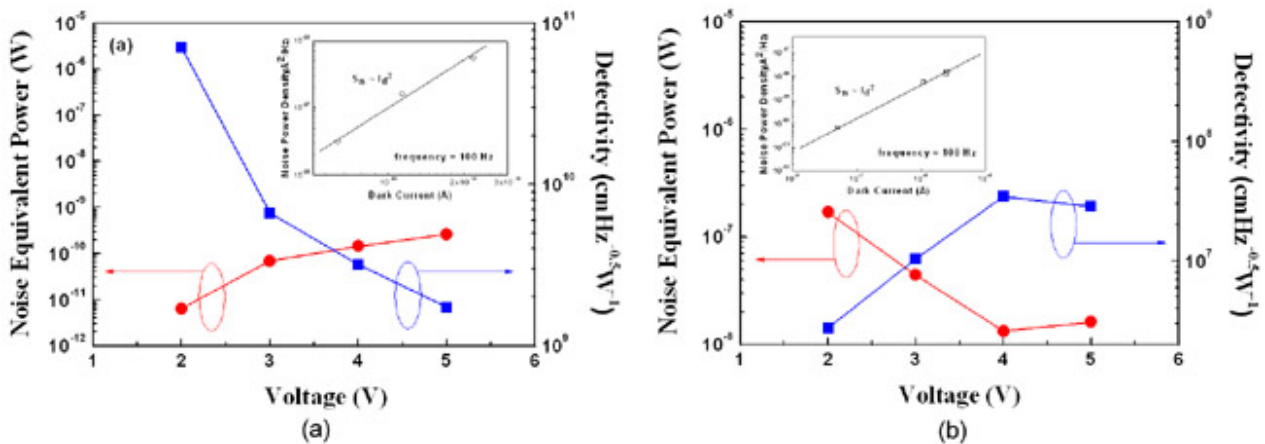


圖三 PD_A與PD_B在不同施加偏壓
的情況下其360 nm波長的光響應之
對照圖。



圖四 (a) PD_A與(b) PD_B的雜訊功率頻譜之對照圖。

圖四(a)和(b)為PD_A與PD_B在不同偏壓下所量測到的雜訊功率頻譜圖。如圖四所示，在所設定的量測頻率範圍內，PD_A與PD_B所得到的 α 值分別接近於2和1左右。此結果顯示PD_A的雜訊主要可歸納於 $1/f$ 雜訊之類，而PD_B的雜訊可歸納於 $1/f^2$ 雜訊之類。圖五(a)和(b)的內插圖為此兩種元件的雜訊功率密度在100 Hz頻率下，對不同暗電流之關係圖。結果顯示，PD_A與PD_B的 β 值大約在2左右。得到 α 和 β 值之後，再加上圖四的數據，PD_A與PD_B的K值則可由 $S_n(f) = K(I\beta/f^\alpha)$ 所計畫出來；其值分別為 1.16×10^{-7} 和 2.09×10^{-7} ，而在此式子中的 I 代表暗電流， f 為頻率， K 為一常數，至於 α 和 β 則是fitting參數。如圖五(a)所示，雜訊同等功率(NEP)會隨著偏壓的提昇而增加，而標準化探測能力(D^*)則會隨著偏壓的提昇而下降，此結果主要是因為隨著施加偏壓的增加，PD_A的光響應的遞增幅度相較於總雜訊電流功率的遞增幅度，則顯得相當程度的慢。此結果顯示PD_A的NEP與 D^* 值主要是受制於總雜訊電流功率幅度的影響。再者，如圖五(b)所示，與PD_A的結果相比較，PD_B則顯示相反的趨勢；亦即是隨著偏壓的提昇，NEP降低而 D^* 則增加。如圖五所示，PD_B之超大幅度的光響應，此不平常的現象主要是取決於內部增益，而此內部增益主要是元件內所產生的無益雜訊所造成，至於此無益雜訊則是元件內的界面缺陷所造成。PD_B則因為無穿插入低溫的AlGaIn中間層，隨著偏壓的增加，其內部所衍生的界面缺陷會直接造成不平凡的超大光響應現象的產生。因此，在合理範圍內PD_B的NEP與 D^* 值主要是受制於其光響應值的跳動。在施加5 V偏壓下，PD_A的NEP和 D^* 的量測值分別為 2.65×10^{-10} W和 1.74×10^9 cmHz $^{0.5}$ W $^{-1}$ 。而在同樣的施加偏壓下，PD_B的NEP和 D^* 的量測值則分別為 1.62×10^{-8} W及 2.85×10^7 cmHz $^{0.5}$ W $^{-1}$ 。在比較之下，PD_A的探測能力(D^*)是比以AlGaIn為基礎的MSM或Schottky能障光檢測器的性能優越許多[2-3]。前述之結果顯示，在光檢測器的多層緩衝結構之中穿插入低溫的AlGaIn中間層確實有助於降低元件雜訊及提昇元件的探測能力。



圖五 (a) PD_A與(b) PD_B的雜訊同等功率(NEP)與標準化探測能力(D^*)之對照圖。內插圖為在100 Hz的頻率的量測情況下其對應的雜訊功率密度之關係圖。

我們在此作一個總結，我們成功地完成製作與分析以AlGaIn/GaN HEMT結構並同時穿插低溫AlGaIn中間層於緩衝層之間為基礎的UV MSM之光檢測器。這些特別的MSM光檢測器與HEMT元件都屬於平面元件，因此彼此間在製程上具有高相容度(只需要一次的磊晶成長步驟去完成與以HEMT為基礎的電路之間的單晶整合動作)。後續的量測結果顯示，與傳統的光檢測器相比，新的磊晶結構對於降低暗電流並同時提昇電晶體閘極的控制力具有相當大的幫助。對於有穿插低溫AlGaIn中間層的光檢測器，我們的量測結果顯示，在施加5 V偏壓的情況下，對應於360 nm波長的光響應值及UV/可見光rejection比例值分別為0.12 A/W和 10^3 。最後，在同樣的施加偏壓下，前述之光檢測器的NEP和 D^* 的量測值分別為 2.65×10^{-10} W及 1.74×10^9 $\text{cmHz}^{0.5}\text{W}^{-1}$ 。

References

- [1] M. Iwaya, T. Takeuchi, S. Yamaguchi, C. Wetzel, H. Amano, and I. Akasaki, Jpn. J. Appl. Phys. **37**, L 316 (1998).
- [2] D. Walker, X. Zhang, A. Saxler, P. Kung, J. Xu, and M. Razeghi, Appl. Phys. Lett. **70**, 949 (1997).
- [3] E. Monroy, F. Calle, E. Muñoz, F. Omnès, P. Gibart, and J. A. Muñoz, Appl. Phys. Lett. **73**, 2146 (1998).