

以高功函數的金屬鈰研製氧化鋅金半金光檢測器

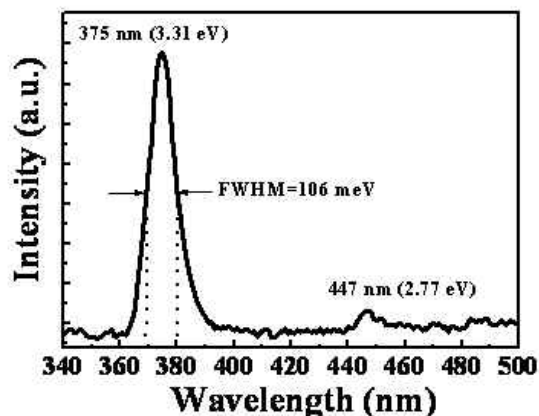
張守進*、楊勝州

國立成功大學微電子工程研究所

changsj@mail.ncku.edu.tw

ACTA MATERIALIA ; 2007 JAN ; 55 (1): 329-333

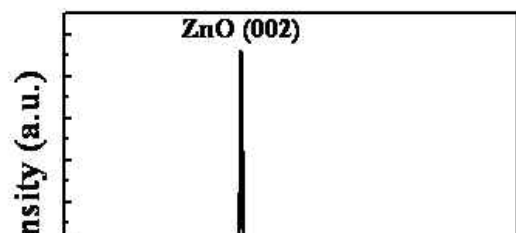
氧化鋅(ZnO)是近年來相當熱門的半導體材料，屬於直接能隙，在室溫下能隙值約為3.37 eV，其晶格結構與傳統的三、五族氮化鎵材料類似，皆屬六方晶系結構。與氮化鎵材料相比，氧化鋅材料的優勢是具有較大的激子束縛能(exciton binding energy)，約為60 meV，氮化鎵則約只有24 meV，因此在室溫下氧化鋅材料具有較高的激子放射效率，在短波長的發光二極體、雷射二極體及光檢測器上極具發展潛力。此外，在成長溫度方面，氮化鎵系列材料一般使用有機金屬化學氣相沉積儀(metalorganic chemical vapor deposition ; MOCVD)來量產，其所需的成長溫度高達10000C以上，使得磊晶的基板受到侷限，而氧化鋅的成長溫度較低一般約在6000C左右成長，所以可以選擇熔點比較低的基板，譬如：塑膠基板、玻璃基板等來成長，這樣不僅大大的降低了量產所需花費的成本，也具備發展可撓性元件的未來性。基於以上這幾種要素，近年來有眾多的研究團體都投入研究這種氧化鋅材料，也出現了豐富的研究成果。



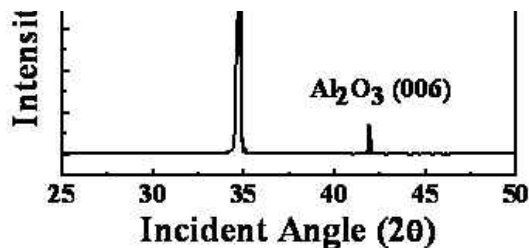
圖一、室溫下的氧化鋅薄膜發光頻譜圖

短波長的光檢測器應用範圍相當廣泛，舉凡在太空中針對可見光到紫外光的偵測、臭氧層的監控以及火焰的探測等都有不錯的績效。本研究主要將氧化鋅材料應用於光檢測器上，而光檢測器的種類繁多，一般常見的有：蕭基形式的光檢測器(Schottky-type photodiode)、金半金光檢測器(metal-semiconductor-metal)、p-n 接面以及 p-i-n 接面光檢測器等。其中金半金光檢測器是利用蒸鍍指插狀的金屬電極在半導體的表面形成蕭基接觸，也就是由兩個背對背的蕭基二極體所構成。此種元件具備的優點，包括：1.屬於平面型的結構，所以製程簡易、2.高操作速度、3.低寄生電容、4.較大的頻寬、5.較低的雜訊表現、6.易與場效晶體整合成光電積體電路等，由於具備眾多的優點，所以極具研究價值。若要進一步的提升金半金光檢測器的表現，則勢必要從金屬電極來著手，亦即使用高功函數的金屬來增加金半界面的蕭基能障以降低暗電流和提高崩潰電壓進而提升光暗電流比與光響應值。

本研究嘗試選用一種新的金屬鈰(Pd)來當作光檢測器的電極，此種金屬導電性佳且功函數極高約為 5.12 eV，同時具備優良的熱與化學穩定性，早先也曾被應用在氮化鎵材料上，然而在氧化鋅系列的文獻上，卻還沒有相關的報導，因此引發了我們的研究動機。



本次實驗所使用的氧化鋅樣品是利用Omni Vac型號的分子束磊晶系統在(0001)面的藍寶石基板上所成長，在成長的過程中腔體的壓力保持在約 $1 \cdot 10^{-10}$ Torr。成長完成的樣品經由霍爾量測得知其載子濃度在室溫下約為 $1.71 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 。圖一為在室溫下經由光激螢光法系統所得到的氧化鋅薄膜發光頻譜，由圖中可以得知

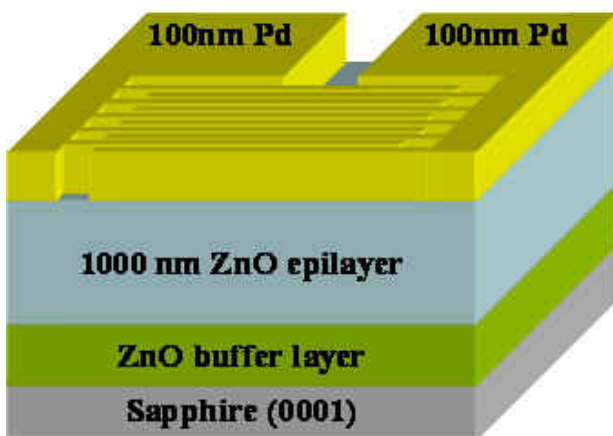


圖二、氧化鋅薄膜之X光繞射頻譜圖

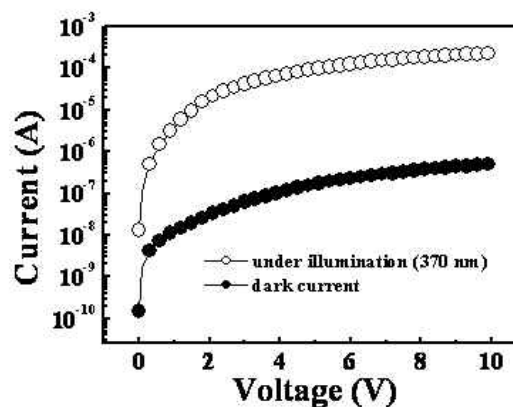
氧化鋅的發光波長約在375 nm，其半高寬(full-width-half-maximum)約只有106 meV。圖二為氧化鋅薄膜之X光繞射頻譜圖，在入射角(2θ)約為 41.9° 的位置可以發現由(006)面的藍寶石基板所造成峰值；此外，我們也觀察到在入射角(2θ)約為 34.3° 的角度有一個更強的峰值，經過與X光的繞射頻譜資料庫分析對照之後，得知它是由(002)面的氧化鋅所造成的峰值，其半高寬約為0.18°。綜合以上的結果得知：我們的氧化鋅磊晶薄膜是延著c軸方向成長且具有極佳的薄膜品質。

膜是延著c軸方向成長且具有極佳的薄膜品質。

在金半光光檢測器元件的製程方面：依循著標準的黃光曝光微影與蝕刻製程並配合使用電子束蒸鍍的方式來鍍上厚度為100 nm的金屬電極鈹，整個氧化鋅金半光光檢測器的元件結構圖如圖三所示。



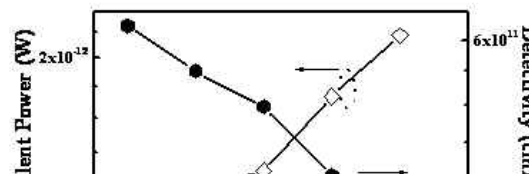
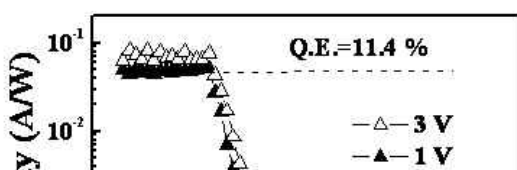
圖三、氧化鋅金半光光檢測器之元件結構圖。

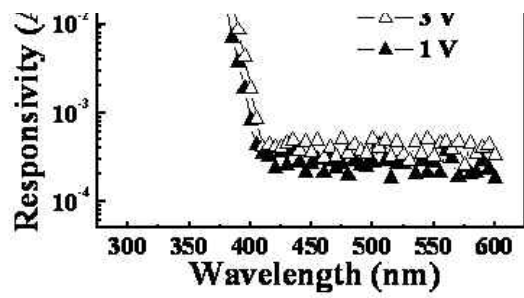


圖四、氧化鋅金半光光檢測器在非照光與照光下(370 nm)的電流-電壓關係圖。

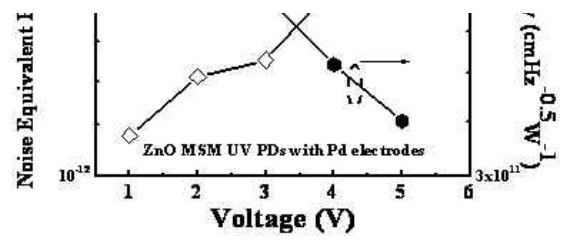
接著進行我們元件特性的量測:圖四為氧化鋅金半光光檢測器非照光與照光下(370 nm)的電流-電壓關係圖。由圖中可以得知，當電壓操作在1伏特下時，光電流與暗電流的值分別為 3.83×10^{-6} A以及 1.19×10^{-8} A，其光暗電流比約322，差了約兩個數量級，顯示出我們的元件具有不錯的操作特性。圖五為在不同的入射光波長下，所得到的光響應頻譜圖，由圖中我們可以發現，當入射光波長小於氧化鋅的能隙時，其光響應呈現一固定值且當入射光波長大於370 nm時，其光響應值急遽下降。在外加偏壓為1伏特及入射光波長為370 nm下時，可以得到最大的光響應值約為0.051 A/W，其所對應到的量子效率為11.4%。最後再經由雜訊的頻譜分析與計算可以得到雜訊等效功率(Noise Equivalent Power)以及光檢測率(Detectivity)對電壓關係圖，如圖六所示。當頻寬在100 Hz下且電壓為1伏特時，其雜訊等效功率與光檢測率的值分別為 1.13×10^{-12} W 以及 6.25×10^{11} cmHz^{0.5}W⁻¹，此數量級表現略優與傳統氮化鎵系列的光檢測器。另外從圖六中也可發現到隨著電壓的增加，雜訊等效功率呈現增加的趨勢，而光檢測率則隨著電壓的增加而減少，這是因為當外加的偏壓增加時，雜訊增加的幅度比光響應值增加的幅度來的大所導致。

本研究，我們藉由使用鈹金屬來研製氧化鋅金半光光檢測器，經由量測的結果發現此元件具有不錯的操作特性，對於短波長光檢測器未來的發展頗具意義。





圖五、氧化鋅金半金光檢測器之光響應頻譜圖。



圖六、雜訊等效功率以及光檢測率對電壓關係圖。

Copyright 2009 National Cheng Kung University