



氧化鋅透明導電膜之 原子層沉積製程 與設備技術

ALD Process and Equipment
for the Growth of Transparent Conductive Zinc Oxide Films

嚴國藝 邱建華 李俊緯
林沛鈺 龔志榮

國立中興大學
物理學系

王慶鈞 黃振榮 梁沐旺
吳慶輝 羅展興

工研院機械所
先進機械技術組

關鍵詞(Keyword)

- 原子層沉積 Atomic Layer Deposition, ALD
- 透明導電層 Transparent Conductive Layer, TCL
- 氧化鋅 zinc oxide, ZnO

摘要(Abstract)

本論文探討原子層沉積法製備銦、鎵摻雜之氧化鋅薄應用在氮化銦鎵發光二極體透明導電層對元件特性之影響。退火後之摻雜鎵之氧化鋅薄膜在發光波段 450 奈米之穿透率約為 95.8%，其電阻率約為 $4.6 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ 。而覆蓋退火後之鎵摻雜氧化鋅薄膜之氮化銦鎵發光二極體，在順向電流 20 mA 下，其導通電壓約為 3.5 V，而發光效

率增加 27.5%。退火後之銦摻雜氧化鋅薄膜電阻率約為 $6 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ 。而以銦摻雜氧化鋅薄膜為透明導電層之發光二極體元件，退火後，在順向電流 20 mA 下測量其電壓為 3.26 V，發光效率增加 12.5%。

Ga and In-doped ZnO films were prepared by atomic layer deposition (ALD), and were employed to serve as the transparent conductive layers (TCLs) in the InGaN-based light-emitting diodes (LEDs). It was found that the ALD-grown Ga and In-doped ZnO films exhibited a low resistivity at mid $10^{-4} \Omega\text{-cm}$ and high optical transparency ($\sim 90\%$ at 450 nm) after they were properly annealed. InGaN-based LEDs having annealed In or Ga-doped ZnO TCL were found to show increased light extraction of 12.5 ~ 27.5% under a forward current of 20 mA with forward voltages of 3.26 ~ 3.5 V.



1. 前言

近年來，節能減碳與綠能環保的大力提倡下，高耗能或具污染性的光源逐漸被淘汰，發光二極體(light-emitting diodes, LEDs)因環保無汞、體積小、耗能低及色域豐富等優勢，已被廣泛地應用在平面顯示器、交通號誌、面板背光源及固態照明等裝置上[1]。而目前固態照明多以氮化鎵(InGaN-based)發光二極體激發螢光粉(phosphor)混合色光以發射出白色光[2]，因此氮化鎵發光二極體發光效率的持續提升，是影響固態照明發展上一個重要關鍵。氮化鎵發光二極體受限於 p-型氮化鎵(p-type GaN, p-GaN)的電洞(hole)濃度無法有效提升，導致 p-型氮化鎵電阻率過高，電流擴散不易，影響氮化鎵發光二極體的發光效率。而目前應用透明導電層(transparent conductive layer, TCL)於氮化鎵發光二極體上已可有效使電流均勻擴散，增加發光面積，降低電流侷限，增加發光二極體的發光效率。此外氧化鋅(zinc oxide, ZnO)為寬能隙(wide band gap)半導體於可見光波段可穿透，且具備可低溫成膜及化學穩定性高等優點，使氧化鋅成為近年來被廣泛研究的透明導電氧化物(transparent conductive oxide, TCO)。

2. 透明導電層在氮化鎵發光二極體上應用之發展

氮化鎵發光二極體受限於 p-型氮化鎵電洞濃度無法有效提升，須藉由透明導電層幫助電流

擴散，以增加發光效率。傳統以鎳/金(Ni/Au)金屬薄膜做為 p-型氮化鎵上之歐姆接觸透明導電層，然而 Ni/Au 金屬薄膜在可見光範圍下穿透率不高(~70%) [3-4]，光萃取率(light extraction efficiency)的減少進而降低外部量子效率(external quantum efficiency)。為了有效提高光萃取率，在可見光範圍下擁有高穿透率及良好導電率的透明導電氧化物開始被研究。目前氧化鎵錫已廣泛地被使用在發光二極體上做為透明導電層[5-7]。然而鎵在自然界中屬於稀有元素，含量短少，價格昂貴，且其應用在發光二極體上於高溫下操作熱穩定差[8]，因此人們開始尋求替代的材料。氧化鋅為寬能隙半導體(3.37 eV)，在可見光範圍下有高穿透率，且經過適當摻雜之氧化鋅具有低電阻率，而鋅在自然界中資源豐富，價格相對氧化鎵錫便宜，且氧化鋅本身亦無毒性，在高溫下熱穩定性佳[9]等優點，因此近年來氧化鋅透明導電薄膜應用於氮化鎵發光二極體上開始被研究。

3. 實驗方法

本研究採用原子層沉積法成長厚度為 250 nm 鎵、鎵摻雜氧化鋅透明導電薄膜於氮化鎵發光二極體晶片上，鋅原子的氣體源由二乙基鋅(diethylzinc; DEZn)提供，鎵、鎵原子的氣體源分別由三乙基鎵(trimethylindium; TMIIn)與三乙基鎵(triethylgallium; TEGa)提供，而氧原子的氣體源則採用高純度氧化亞氮(nitrous oxide; N₂O)。鎵、鎵摻雜氧化鋅薄膜生長以本質氧化鋅於 300 °C 下自限式視窗之流量為基礎 [10]，再分別加入三甲

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】350期・101年5月號

每期220元・一年12期2200元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

訂書專線：03-591-9342

傳真訂購：03-582-2011

機械工業雜誌官方網站：www.automan.tw