

掃描式探針顯微術 (SPM) 於氮化鎵薄膜表面微 結構之電性研究

研究生：何志偉

指導教授：陳衛國 教授

國立交通大學電子物理研究所

中文摘要



在本論文中，我們針對n型氮化鎵表面的V型缺陷進行一系列電性行為的探討。實驗結果發現，隨著V型缺陷密度由 $4.1 \times 10^5 \text{cm}^{-2}$ 增加至 $1.03 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$ ，在氮化鎵表面蒸鍍鎳金屬所製成直徑為 $100 \mu\text{m}$ 的蕭基元件之所屬能障從 1.44eV 下降至 1.19eV ，而且在 -1V 的操作下反向偏壓漏電流從 10^{-10}A 急遽的攀升至 10^{-7}A ；為了瞭解V型缺陷對釐米尺寸 n-GaN 蕭基元件電流傳導機制之影響，我們進一步的利用導電原子力顯微鏡 (Conductive Atomic Force Microscopy, C-AFM)，特別針對單一個V型缺陷進行微觀電性之量測。我們發現到，在順偏 8V 時，V型缺陷側壁的電流值約為平坦區域的 10 倍以上，證明V型缺陷較平坦

處具有較佳的傳導性質；另外在V型缺陷與平坦處相交的邊界，以及六個側壁彼此相交的邊線均存在嚴重的反向偏壓漏電流，而其他區域則無明顯的電壓崩潰發生。上述V型缺陷電流-電壓之特性行為應可歸因於V型缺陷內部表面態密度的提高，產生缺陷增強穿隧電流（defect assisted tunneling current）效應，進而主導了整個V型缺陷正反偏壓之電流傳導機制。所以在此論文中，我們確立V型缺陷應是主導了整個蕭基元件的整流特性主要的電流傳導機制。



Studies of micro-structures on GaN surface by scanning probe measurement

Student: Chih-Wei Ho

Advisor: Prof. Wei-Kuo Chen

Institute of Electrophysics National Chiao-Tung
University



We have studied the electrical properties of n-GaN (Ni/GaN) Schottky diode covered with variety of densities of V-defects. The I-V characteristics of the diodes with 100 μ m diameter indicated that as the densities of V-defects on GaN films increased from $4.1 \times 10^5 \text{cm}^{-2}$ to $1.03 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$, the Schottky barrier height decreased from 1.44eV to 1.19eV and the reverse bias leakage current at -1V is increased sharply from 10^{-10}A to 10^{-7}A . Further studies on a single V-defect using conductive atomic force microscope (C-AFM) demonstrated that the value of forward current biased at 8V at V-defect side-walls appears to be one order higher than that of plain region, indicating that the conductivity mainly occurred at the side-walls of V-defect. Moreover, rather interesting I-V behavior was observed at reverse bias. Large reverse leakage current was observed on both the perimeter and crest-line of hexagonal V-defects, relatively few current leakage is observed on the facet of side-walls. Such I-V characteristics can be attributed to the appearance of large density of surface states in V-defects, which

reduced the Schottky barrier height and provided alternating current leakage path at reverse bias. We believe that the appearance of large density of V-defect in GaN film is the major factor responsible for the current transports in a large-area Schottky diodes made from n-type GaN film.



誌謝

這本論文的完成，首先要感謝的是陳衛國老師、李明知老師、周武清老師以及陳文雄老師這兩年來的指導，讓我獲益良多；尤其是陳衛國老師在研究方向上的指引以及論文寫作上的協助，讓我學習到許多做學問的方法以及表達能力上的增進。還要感謝歐震學長實驗樣品提供以及李寧學長、古慶順學長、柯文政學長、鍾浩銘學長、張富欽學長、陳京玉學長、院繼組學長在研究與實驗上的協助；特別是李寧學長在我 meeting 時與實驗遭遇困難時的討論與指導讓我得以順利通過難關，和大戶以及京玉在棒球運動上的切磋讓我得以重拾信心；以及從學長肇逸、宏澤、敦鈞、瑞銘、蔚宗、銘遜所得到許許多多的鼓勵與幫忙，同學國錫在實驗上以及研究上的提攜和一起分享實驗室中許多的酸甜苦辣，讓我得以加滿油重新出發；還有學弟妹信志、碧軒、承勳、逸文、佳進、鐘逸以及其他許許多多的朋友在生活上的照應，讓乏味的碩士生活因你們更多采多姿。

最後也是最重要的要感謝我的父母與家人的鼓勵與協助，使我得以無後顧之憂的完成我的碩士學位，謝謝你們。

志偉 于新竹交大

2004 年 7 月

目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	iii
誌謝.....	v
目錄.....	vi
圖表目錄.....	viii
第一章 序論.....	1
第二章 理論背景.....	4
2-1 蕭基二極體電流傳導機制理論.....	4
2-2 原子力顯微鏡 (AFM) 量測原理.....	6
2-3 導電式原子力顯微鏡 (C-AFM) 量測原理.....	8
2-4 掃描電位顯微鏡 (SKM).....	10
第三章 樣品製備與實驗架構.....	12
3-1 樣本製備.....	12
3-2 實驗流程.....	12
3-3 分析儀器.....	13
第四章 結果與討論.....	15
4-1 V 型缺陷 (V-shape defect) 表面形貌分析.....	15

4-2	V 型缺陷密度對 I-V 量測的影響.....	17
4-3	單一 V 型缺陷的 I-V 特性與分析.....	19
4-3-1	順向偏壓於單一 V 型缺陷的表面電流分佈量測.....	20
4-3-2	反向偏壓於單一 V 型缺陷的表面電流分佈量測.....	22
4-3-3	奈米尺度定點蕭基金半接觸 I-V 特性量測.....	24
4-4	單一 V 型缺陷表面電位特性與分析.....	27
附錄一	30
第五章	結論.....	32
參考文獻	35



圖表目錄

【圖 2-1】順向偏壓下蕭基二極體的四種電流傳導機制.....	36
【圖 2-2】分別在 (a) 反向偏壓下與(b)順向偏壓下，電子利用場發射(FE)與熱場發射(TFE)穿隧過蕭基能障的管道.....	37
【圖 2-3】Padovani和Stratton於 1996 年研究Au-GaAs二極體之 E_0 值對溫度之實驗關係圖.....	38
【圖 2-4】導電原子力顯微鏡 (CAFM) 工作示意圖.....	39
【圖 2-5】(a)場發射機制示意圖 (b)Frenkel-Poole emission 機制示意圖.....	40
【圖 2-6】表面電位顯微鏡量測工作原理示意圖.....	41
【圖 4-1-1】氮化鎵表面原子力顯微鏡影像與 V 型缺陷之橫向剖面圖.....	42
【圖 4-1-2】V 型缺陷晶軸方向與晶面示意圖.....	43
【圖 4-2-1】改變不同成核層厚度之氮化鎵表面光學顯微鏡影像...	44
【圖 4-2-2】不同 V 行缺陷密度之 I-V 特性曲線與其蕭基能障之值..	45
【圖 4-2-3】(a)表面地貌影像-順偏 (b)順向偏壓 8V 之電流分佈 (c)表面地貌影像-反偏 (d)反向偏壓-8V 之地貌電流分佈.....	46
【圖 4-3-1】etching pits 之表面電流分佈影像.....	47

【圖 4-3-2】單一 V 型缺陷順向偏壓之表面電流分佈影像.....	48
【圖 4-3-3】不同掃描速度順向偏壓表面電流分佈影像（掃描速率約 1.2 條掃描線每秒）.....	49
【圖 4-3-4】N-face 與 Ga-face 能障高度分佈圖.....	50
【圖 4-3-5】單一 V 型缺陷反向偏壓之表面電流分佈影像.....	51
【圖 4-3-6】V 型缺陷接面示意圖.....	52
【圖 4-3-7】(a)一般探針(Pyramid type)裝置掃描傾角示意圖圖(b)V 型缺陷表面地貌影像(c)表面電流分佈圖.....	53
【圖 4-3-8】(a)鬚型探針(whisker type)裝置掃描角度示意圖(b)V 型缺陷表面地貌影像(c)表面電流分佈圖.....	54
【圖 4-3-9】單一 V 型缺陷電流電壓特性曲線.....	55
【圖 4-3-10】單一 V 型缺陷電流電壓特性曲線(場發射機制).....	56
【圖 4-4-1】半導體表面能態密度對表面能帶彎曲程度之影響示意圖 (a)較高的表面能態密度(b)較低的表面能態密度.....	57
【圖 4-4-2】導電探針與 GaN 樣品表面能階分佈圖.....	58
【圖 4-4-3】單一 V 型缺陷表面掃描電位顯微鏡影像圖.....	59
【圖 4-4-4】改變探針與樣品表面距離之表面電位分佈圖.....	60
【圖 4-4-5】改變探針與樣品距離之表面電位分佈圖.....	61
【圖 4-4-6】SKM 探針電場分佈示意圖.....	62

【圖 A1】 (a) 摻雜過程剖面示意圖 (b) p-n 接面區域示意圖 (c) 階
梯式載子濃度分佈示意圖..... 63

【圖 A2】 不同形式的 p-n 接面崩潰電壓比較(a)GaAs (b)GaP.... 64

