

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

微結構之顯微電性量測(2/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2112-M-009-012-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立交通大學電子物理學系(所)

計畫主持人：陳衛國

共同主持人：陳文雄，李明知

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 6 月 1 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

微結構之顯微電性量測(2/3)

計劃編號: NSC-93-2112-M-009-012

執行期間: 93/8/1~94/7/31

主持人：陳衛國 交通大學電子物理系

一、中文摘要

在本期計畫中我們利用導電性原子力顯微系統(C-AFM)及微拉曼系統進行氮化鎵表面 V 型微結構的顯微電性及結構量測。我們發現無論是在平坦表面或是 V 型微結構區域，Fowler-Nordheim 場激發穿隧機制都可以解釋局域電流的行為。對於一個大小為 $2\mu\text{m}$ 左右的 V 型微結構，局域電流-電壓特性顯示在側壁、邊緣及稜線部分的起始電壓分別為 0.80、0.65 及 0.50V，遠比在平坦表面處 3.25V 為低。微拉曼光譜量測發現 V 型微結構區域內氮化鎵 $A_1(\text{LO})$ 模由 735cm^{-1} 藍移至 740cm^{-1} ，代表聲子與密度為 $8 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$ 的表面電子耦合。在 V 型微結構累積的電子代表較高的表面態密度，導致較低的穿隧能障高度。我們認為這是導致 V 型微結構具有較低起始電壓的主要原因。

二、英文摘要

GaN hexagonally-shaped inversed pyramid, hence V-defect, was studied comprehensively by using conductive atomic force microscopy (C-AFM) and micro-Raman spectroscopy. C-AFM results indicate that the localized current-voltage characteristics basically follow the Fowler-Nordheim carrier transport

mechanism, regardless of the measurement at area inside and outside of the V-defect. The corresponding turn-on voltages at flat region, and off-axis facet, hexagonal perimeter and crest line of V-defect are 3.25, 0.80, 0.65, and 0.50V, respectively. It is clearly that the turn-on voltages at V-defect region are considerably lower than that at flat region. Micro-Raman measurement further reveals that there exist sheet carrier concentration as high as $8 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$ accumulated on the surface inside the V-defect region, as evidenced from the observation of a blue-shift from 735 to 740cm^{-1} of $A_1(\text{LO})$ signal. Such a high accumulation of surface carrier concentration will certainly lower down the barrier height of GaN at V-defect, which we believed is the primary reason responses for the low turn-on voltage of I-V characteristics observed at V-defect region in our study.

三、緣由與目的

在上一期計畫中我們發現到對於氮化鎵(GaN)薄膜的V型微結構區域的側壁部分,和平坦表面相比具有較低的起始電壓,以及較高的表面態密度。為了更精確的描述這些特性,在這個計畫年度,我們利用Fowler-Nordheim場激發機制來描述電流傳導機制 除此之

外，微拉曼光譜則是顯示V型微結構的晶格特性，藉此了解表面態的來源。

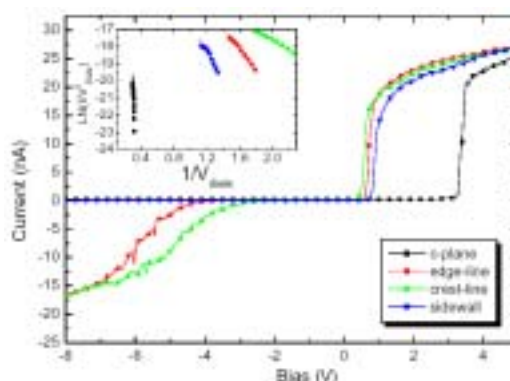
四、實驗步驟

本實驗採用低壓有機金屬化學氣相沉積系統(MOVPE)將氮化鎵薄膜成長在(0001)面之藍寶石(Al_2O_3)基板上。經由成長不同厚度的氮化鎵鋁(AlGaIn)低溫成核層，以調變與藍寶石基板間晶格不匹配產生之應力；之後將反應腔溫度升高至 1120 成長厚度約 2 微米的氮化鎵薄膜。我們可以藉此控制不同的V型微結構的密度以及大小。

我們利用 NT-MDT 公司生產的 Solver HV 原子力顯微鏡系統，在真空度約 10^{-6} torr 的環境下進行變溫顯微電性分析，藉此釐清局域電流的傳導機制。至於微拉曼光譜則是利用本實驗室自組的拉曼系統和聚焦透鏡，在波長 488nm 的氬離子雷射激發下進行。

五、結果與討論

圖一為氮化鎵表面一個尺寸 $2\mu\text{m} \times 2\mu\text{m}$ V型微結構的局域電流-電壓(current-voltage)特性譜圖，可以很清楚地發現到在V型微結構內，側壁部分的順向起始電壓約在 0.80V，而邊緣和稜線更降低至 0.65 及 0.50V，遠比在平坦表面處 3.25V 為低。而在反向偏壓情形下，在V型微結構的稜線及邊緣處，當反向偏壓大於-2 及-4V 時反向漏電流比其他區域來大兩個數量級以上。上個計劃年度我們認為這可能是由於V型微結構區域內的表面態密度較平坦處高所致，在這個計劃年度，我們將更深入的定量討論電流經由V型微結構的傳導機制以及表面態密度的來源。



圖一 V型微結構的室溫局域電流-電壓特性

從圖一的插圖我們發現無論在V型微結構區域或是平坦處， $\ln(I/V^2)$ 對 $1/V$ 的特性圖都呈現線性關係，代表經由AFM探針傳輸的電流，無論是否有微結構存在，都遵守Fowler-Nordheim穿隧電流機制，在以下的討論當中我們將定量地計算不同區域的斜率變化。

由於氮化鎵表面很容易形成一層厚度約 2 奈米左右的自發氧化層(native oxide)，金屬探針在接觸式模式(contact mode)時和氮化鎵的界面可以視作一個金屬-氧化層-半導體(MOS)界面。當外加偏壓落在氧化層時，能帶形狀因電場作用而降低等效氧化層厚度，造成Fowler-Nordheim穿隧電流[1]。如公式(1)所示：

$$I \propto A \frac{V^2}{\Phi^2 d^2} \exp\left[-\frac{d}{V} \Phi^{2/3}\right], \quad (1)$$

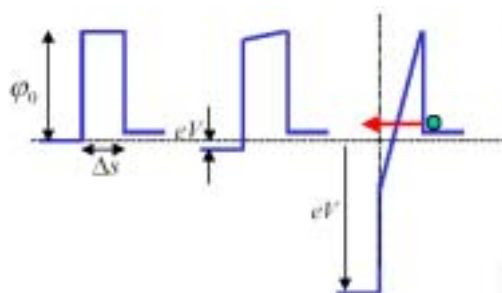
其中 Φ 代表能障高度而 d 代表氧化層厚度。

我們將 $\ln(I/V^2)$ 對 $1/V$ 關係的斜率代入公式(1)，假設自發氧化層的厚度為 3 奈米，我們可以計算出不同位置的能障高度：

	平坦	側壁	邊緣	稜線
能障高	3.2	0.6	0.5	0.3

在平坦表面區域的能障高度為 3.2 電子伏特，符合氮化物氧化層(Al_2O_3)和氮化鎵的電子親和力差值[2]，如圖

二的能帶圖所示。當開始外加順向偏壓時能障高度降低，進而增加穿隧電流；但當外加偏壓大於能障高度時，整個方形能障被扭曲成三角形，氧化層等效厚度降低，穿隧機率因而大幅度上升，此時電流傳導機制遵守公式(1)所示，由 Fowler-Nordheim 激發所主導。

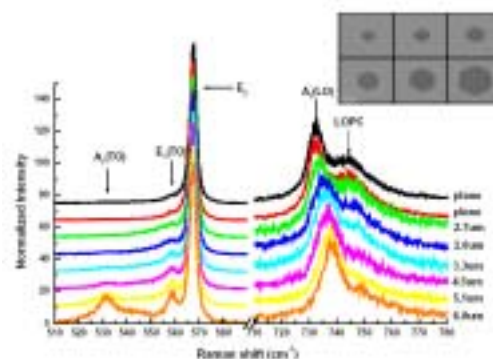


圖二 Fowler-Nordheim 激發電流示意圖

至於在 V 型微結構區域，由圖一我們發現當起始電壓(turn-on voltage)降低至 1V 以下， $\ln(I/V^2)$ 對 $1/V$ 的斜率也隨之降低接近兩個數量級。由公式(1)可以發現在 V 型微結構內電流傳導仍然遵守 Fowler-Nordheim 機制，能障高度則是降低至 0.3-0.6 電子伏特。由以上的實驗結果顯示，我們利用局域電流-電壓特性可以定量地量測出微結構內的能障高度，和上個計畫年度相比較，在 V 型微結構區域內，有可能是因為表面態密度增加，導致穿隧能障高度降低。為了解釋為何在 V 型微結構區域較高的表面態密度，我們另外進行不同大小的 V 型微結構的微拉曼光譜量測(micro-Raman spectra)，以計算表面態密度。

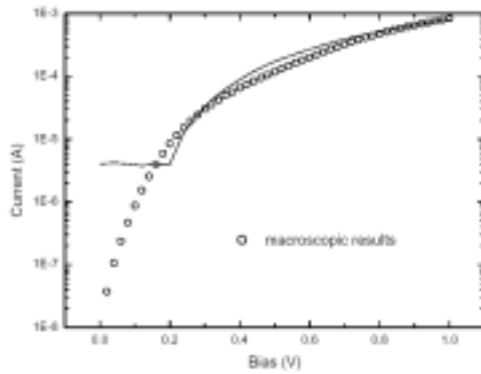
微拉曼光譜如圖三所示，當 V 型微結構的大小由 $2.7\mu\text{m}$ 增加至 $6.0\mu\text{m}$ 時並不會產生 E_2 模的波數位移，代表沒有應力累積或是釋放。相反的我們卻觀察到 $A_1(\text{LO})$ 模在微結構域內有藍位移的現象，這是由於表面光學聲子以及聲子(phonon)和電子的耦合效應，在平坦表面拉曼位移波數大約在 734cm^{-1} ，而在 V 型微結構區域內隨著

尺寸大小增加，逐漸增加至 740cm^{-1} 。利用聲子與電子耦合的關係，我們計算出在 V 型微結構內的電子密度在 $6.0\mu\text{m}$ 的 V 型微結構達到 $8 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$ 。我們相信這是因為 V 型微結構內的表面態密度較平坦處高，因此容易引起電子聚集 [3]，以致於能障高度降低，較容易在低偏壓時形成穿隧電流。



圖三 不同尺寸 V 型微結構的維拉曼光譜分析

在上個年度我們已經發現當大面積蕭基元件結構具有密度 10^7cm^{-2} 的 V 型微結構時，電流遠比密度低於 10^5cm^{-2} 的元件為大。相較於顯微電流電壓結果，這是因為在 V 型微結構區域內起始電壓遠較平坦表面低，因此在低順向偏壓($<1\text{V}$)時，流經過 V 型微結構的電子將較平坦處大至少三個數量級以上。當我們考慮 V 型微結構密度以及大小計算 V 型微結構的總面積，可以得到當增加 V 型微結構的密度到其總面積無法忽略的程度時，將能夠主導整個元件的巨觀電流。圖五呈現當 V 型微結構大小約 $300\text{-}400\text{nm}$ ，密度大約在 $1.5 \times 10^7\text{cm}^{-2}$ 時，對於一個接觸半徑為 $50\mu\text{m}$ 的蕭基元件而言，順向電流幾乎都由 V 型微結構所提供綜合磊晶過程中對於 V 型微結構的控制以及顯微電性量測的結果，對於日後元件結構如何降低發光元件起始電壓以及抑制反向漏電流，將會有極大的助益。



圖四 V 型微結構密度 10^7cm^{-2} 時對巨觀電流的貢獻

六、結論

在本期計畫中我們延續上期的結果，進行氮化鎵表面 V 型微結構的顯微電性及結構量測。對於一個大小為 $2\mu\text{m}$ 左右的 V 型微結構，局域電流-電壓特性顯示在側壁部分的順向起始電壓約在 1.0V ，而邊緣和稜線更降低至 0.6 及 0.8V ，遠比在平坦表面處 3.0V 為低。利用 Fowler-Nordheim 場激發穿隧機制擬合，我們發現在微結構區域的穿隧能障較平坦處為低，有可能是因為表面態密度增加所致。利用微拉曼光譜量測發現到的 $A_1(\text{LO})$ 及 LOPC 模藍移，我們證明在 V 型微結構區域的確具有較高的表面態密度。此外，由於 V 型微結構具有較低的起始電壓，在較低順向偏壓時具有較平坦處高約 1000 倍以上的電流，因此當密度大於 $1.5 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$ 時其總電流值遠大於平坦表面，並完全主導巨觀元件的順向電流，這個結果對於日後元件結構的製備，例如發光元件起始電壓的控制有極大的幫助。

七、參考資料

- [1] M. Lenzlinger, and E. H. Snow, J. Appl. Phys. **40**:278 1969
- [2] H. Asahi, *et al.*, Thin Solid Film, **464**:128 2004
- [3] N. G. Weimann, *et al.*, J. Appl. Phys. **83**:3656 1998