

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(1/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2112-M-009-028-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立交通大學電子物理學系

計畫主持人：陳衛國

共同主持人：李明知，陳文雄

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 5 月 31 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(1/3)

計畫編號: NSC-92-2212-M-009-028

執行期間: 92/8/1~93/7/31

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原子力顯微鏡進行氮化鎵表面 V 型微結構的顯微電性量測。對於單一個 V 型微結構，我們發現在測壁部分和平坦表面相比，具有較低的表面電位，以及高一個數量級的表面態密度。我們也發現到 V 型微結構呈現整流的電流-電壓特性，和平坦表面相比具有較低的起始電壓。除此之外，在側壁之間的稜線卻具有較大的反向電流。我們認為這是導致元件結構反向漏電流的原因。

二、英文摘要

In this study, conductive atomic force microscopy was used for investigating microscopic electric properties about V-shaped structure at GaN surface. Using surface potential measurement, an order higher of surface state density was observed at sidewalls of V-structure than at flat surface. Localized current mapping also showed rectified current-voltage characteristics inside a single V-structure, which contains lower turn-on voltage than flat region. In addition, we also observed high reverse bias current was observed at crest lines of V-shaped structure while is believed to response for large reverse leakage current in macro-scale device.

三、緣由與目的

在前幾年的研究當中，我們成功地利用空間解析度達到微米等級的顯微螢光光譜(micro-PL)，對於氮化鋁鎵(AlGaIn)表面一個直徑約數微米大小的六角丘型微結構(hillock)以及倒金字塔狀的V型微結構(V-defect)進行變溫光譜的研究。我們發現，在微結構之內的光譜出現一個新的譜峰，其波長大約較近能帶邊緣(near band emission)譜峰長約20nm[1]。值得一提的是，這個譜峰從未在平坦處被發現，而且發光強度甚至較平坦處近邊緣輻射來的強。我們認為較強的發光效率可能另這些微結構成功地應用在未來的發光元件之上。但是截自目前為止，對於這些微結構的基礎電性研究仍然相當缺乏，因此我們在這三年當中將建立一套顯微電性量測技術，以其對這些微結構的光電物理特性進行完整的研究。

在這一期計畫執行期間，我們以有機金屬氣相沉積磊晶技術(MOVPE)成長氮化鎵薄膜，並且成功地控制表面V型微結構的密度。為了對這些微結構進行顯微電性量測，我們利用原子力顯微鏡(AFM)設備搭配導電型的探針掃描局域表面電位及電流的分布，並且解析出V型微結構對於表面態密度的關係以及對於大範圍元件結構的影響。

四、實驗步驟

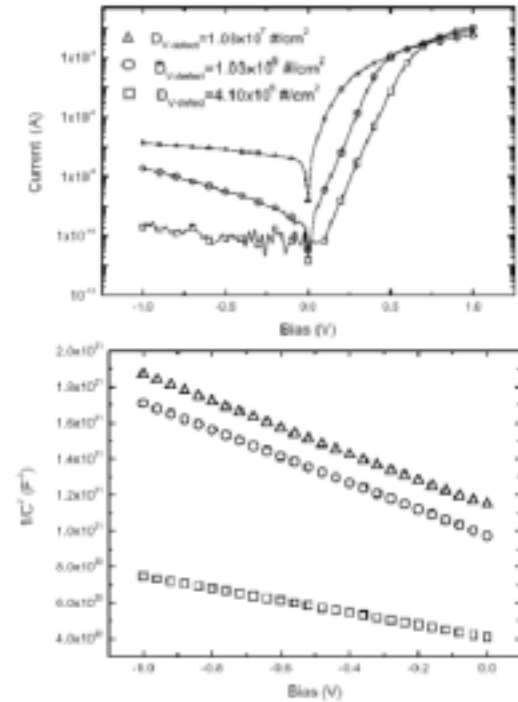
本實驗採用低壓有機金屬化學氣相沉積系統(MOVPE)成長所需之薄膜，首先將兩吋(0001)面之 Sapphire 基板放入反應腔後，升高反應腔溫度至 1120°C，通入氫氣下先進行十分鐘的熱處理，再將低成長溫度至 750°C 成長不同厚度的氮化鎵鋁緩衝層，以降低氮化鋁鎵與 Sapphire 間晶格不匹配產生之應力。在成長緩衝層後，將反應腔溫度升高至 1120°C，通入 TMAI、TMGa 及 NH₃ 反應氣體，成長厚度約 2 μm 的氮化鎵薄膜。

我們首先利用被倍率為 5000 倍的光學顯微鏡觀察 V 型微結構在不同樣品之上的密度。在顯微電性分析方面，則是使用 NT-MDT 公司生產的 Solver P47H 原子力顯微鏡系統，搭配表面蒸鍍 10nm 厚的 AFM 探針進行電性量測。我們利用輕敲式掃描模式(tapping mode)，藉由探針振幅大小反推出探針尖端和表面之間所受到的靜電力，進而得到局域的表面電位值。另外利用接觸式掃描模式(contact mode)，在導電探針上外加偏壓，我們可以從電流放大器得到局域電流的分布。

五、結果與討論

對於調變低溫緩衝層的成長厚度，我們可以成功地製備具有不同密度 V 型微結構的氮化鎵薄膜。經由光學顯微鏡，可以訂出 V 型微結構的密度分別為 4.1×10^5 、 1.0×10^6 以及 1.0×10^7 cm⁻²。我們同時利用掃描電子顯微鏡(SEM)觀察一個單一個 V 型微結構，發現 V 型微結構邊緣呈現對稱的六角形，大小大約在數百奈米左右，六個側壁我們認為可能是氮化鎵的 {10 $\bar{1}$ 1} 面[2]。在這三片不同密度的氮化鎵樣品上製備大面積蕭斯基二極體，我們可以從電流-電壓(current-voltage)以及電容-電壓(capacitance-voltage)關

係得到 V 型微結構密度對薄膜電性的影響，如圖一所示。我們發現到當增加 V 型微結構密度時，蕭斯基二極體具有較大的反向偏壓漏電流(leakage current)以及較低的金屬-半導體能障高度(schottky barrier height)。

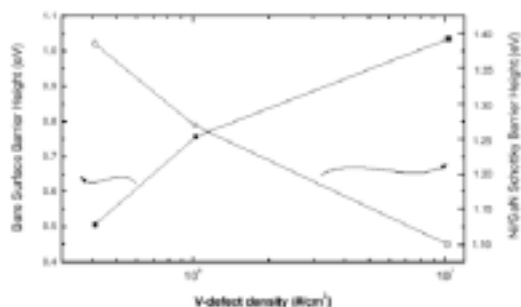


圖一 不同密度 V 型微結構氮化鎵薄膜的大面積電性量測

依據傳統對於半導體表面能帶結構的關係，對於同樣的金屬-半導體接面，增加 V 型微結構為何會產生不同的能障高度是個相當奇特的現象。我們認為由於這些樣品的塊材濃度以及載子遷移率都相當接近，因此有可能是因為 V 型微結構的生成造成表面能帶的扭曲，以致於影響能障高度。

近年來已有許多研究群利用 X 光電子能譜(XPS)發現在氮化鎵裸露表面上，由於電子被表面能態所吸附，因此形成能帶彎曲的現象[3]。但是因為空間解析度較低，仍無法對於表面次微米級的微結構進行能帶彎曲的測量。為了解決這樣的問題，我們利用原子力顯微鏡所具備的高空間解析能力，從探針的受力情況得到奈米等級的局域表面電位分布。

當導電探針接近樣品表面時，由於氮化鎵和 Pt 探針的功函數不同，針尖與表面之間所形成的電容便形成了針尖所受的靜電力。當我們對探針外加適當的直流偏壓以補償功函數的差異後，可以消除探針的受力。從功函數，外加偏壓大小以及與真空能階之間的關係，可以很容易的得到局域半導體能帶彎曲程度。這種在尚未蒸鍍金屬之前的能帶彎曲量，我們稱之為裸露表面能障高(bare surface barrier height)。



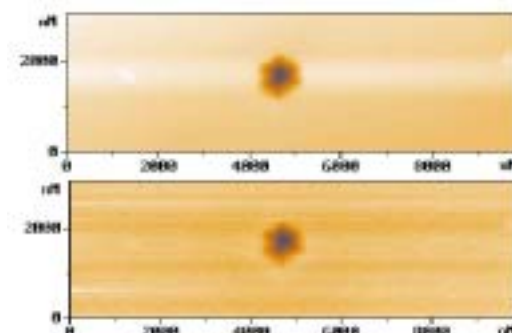
圖二 不同 V 型微結構氮化鎵薄膜中 (0001)面之表面電位量側

如圖二所示，我們首先發現當樣品表面 V 型微結構密度增加時，就算是位於平坦處(0001-面)的位置，裸露表面能障高度也隨著 V 型微結構的密度而增加，相反的，金屬-半導體接面的蕭特基能障高度卻隨之降低。我們認為表面能態密度較大的區域，電子將被束縛在深層的表面能態當中，因此為了達到熱平衡，在尚未有金屬蒸鍍之前，半導體表面便會形成一個空乏區以平衡電中性，並且導致能態的向上彎曲。經由修正過後的 Cowley-Sze 模型[4]:

$$\Phi_{BN} = \gamma(\Phi_M - \chi_S) + (1 - \gamma)\Phi_{BSBH}$$

當中我們可以從金屬-半導體界面蕭特基能障高度(Φ_{BN})以及裸露能障高度(Φ_{BSBH})的關係定性地得到表面能態密度。我們發現，雖然尚未得知原因，但是我們可以確定當 V 型微結構密度由 10^5 增加到 10^7 時，氮化鎵樣品表面平坦處的表面能態密度同時從 1.8×10^{12} 增加到 $3.7 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 。

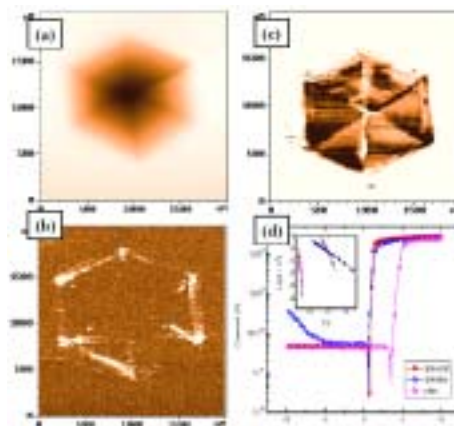
除此之外，我們也同時得到對於 V 型微結構本身的表面電位分布。對於一個大小在 1 微米左右的 V 型微結構，表面形貌和表面電位分布的同步量側結果如圖三所示。



圖三 對於單一個 V 型微結構的表面形貌與電位分布

在單一個 V 型微結構當中，我們可以很明顯地觀察到，接近倒金字塔型中心的表面電位比平坦處的來的低，代表在 V 型微結構擁有較高的裸露表面能障以及表面能態密度。除此之外，在島金字塔的三條對角稜線的區域，和單純的六個側壁晶面相比我們也發現到具有較高的裸露表面能障，對此我們認為有可能是因為表面吸附雜質原子或是表面斷鍵(dangling bond)在兩個側壁經面相交位置較單一晶面本身來的大的原因。

除了表面電位的空間解析，我們也利用接觸式掃描模式進行對於一個 V 型微結構的局域電流研究，如圖四所示。



圖四 V 型微結構的局域電流分布

圖四(a)為一個典型的 V 型微結構，(b)(c)分別是對於這一個微結構做同步的反向偏壓及順向偏壓局域電流掃描。我們發現到在探針一表面為順向偏壓時，V 型微結構內的電流分不遠較平坦處為大，而且幾乎所有晶面都呈現這個趨勢。反之，再反向偏壓的情況之下，卻只有晶面與晶面相交處的稜線具有更大的反向漏電流。圖四(d)是對於平坦處，V 型微結構單一側壁以及稜線位置的局域電流－電壓譜圖(current-voltage spectroscopy)，可以很清楚地發現到在 V 型為結構的稜線部分具有極大的漏電流，我們認為這是造成如圖一所示，增加 V 型微結構密度會造成大面積元件反向漏電流的原因。除此之外，利用原子力顯微鏡探針，也可以從局域電流電壓譜圖得到金屬－半導體蕭特機能障高度，從圖四(d)我們發現 V 型微結構隻內的蕭特基能障高度較平坦處為低，而稜線的部分又較單一斜面更低，這個結果和之前圖三所得到的表面電位分部是相當吻合的。

六、結論

利用之前本實驗室所得到的顯微微光譜，以及本期計畫所使用的顯微電性量測，我們發現對於氮化鎵表面倒金字塔型的 V 型微結構具有相當獨特的光電特性。局域表面電位研究顯示出，V 型微結構中側壁部分和(0001)內在裸露表面具有較高的能帶彎曲，經由 Cowley-Sze 關係式發現此處的表面態密度較平坦處大約一個數量級。除此之外，側壁部分電流－電壓關係成整流特性，並且比平坦處擁有較小的起始電壓。但是我們也同時發現，在倒金字塔結構的對角稜線位置，反而具有較其餘位置高一個數量級以上的反向偏壓漏電流。由顯微電性量測的結果，我們認為控制氮化鎵表面 V 型微結構的密度將直接影響元件的電性。依照大面積蕭特基二極體的電性量測，我們發現到增

加 V 型微結構密度會導致較低的起始電壓，以及較高的反向漏電流。

在接下來的計畫執行期間，我們將利用變溫顯微電性量測對於這些微結構進行更進一步的物理特性研究，並探討如何應用在氮化物元件製備之上。

七、參考資料

- [1] H. -Y. Huang *et al.* J. Appl. Phys. **95**, 2172 (2004)
- [2] Z. Liliental-Weber *et al.* Phys. Rev. Lett. **79**, 2835 (1997)
- [3] C. I. Wu *et al.* J. Vac. Sci. Tech. B **16**, 2218 (1998)
- [4] V. M. Bermudez, J. Appl. Phys. **86**, 1170 (1999)
- [5] S. J. O'Shea *et al.* J. Vac. Sci. Tech. B **13**, 1945 (1995)