行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

氮化鎵之奈米機械特性與其陰極螢光分析
研究成果報告(精簡版)

計 畫 類 別 ：個別型
計 畫 編 號 ：NSC 98-2221-E-009-069-
執 行 期 間 ：98 年 08 月 01 日至 99 年 07 月 31 日
執 行 單 位 ：國立交通大學機械工程學系（所）

計畫主持人：周長彬
共同主持人：吳文發
計畫參與人員：博士班研究生-兼任助理人員：林孟泓
博士班研究生-兼任助理人員：何柏青

報 告 附 件 ：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處 理 方 式 ：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 99 年 10 月 22 日

氮化鎵之奈米機械特性與其陰極螢光分析

The Study of Nanomechanical and Cathodoluminescence characteristics on the GaN Epitaxial Layers

計畫編號：NSC 98-2221-E-009-069
執行期限：98 年 8 月 1 日至 99 年 7 月 31 日

主持人：周長彬　交通大學機械系（所）
計畫參與人員：林孟泓、何柏青 交通大學機械所

一、中文摘要

氮化鎵磊晶薄膜之機械特性與陰極螢光特性，在元件整合製程中極為重要，其中應力破壞所引發的缺陷對於激發光效能之影響更是相當重要的一環。

在本研究中使用有機金屬化學氣相磊晶法在A軸$(11\bar{2}0)$與C軸向(0001)藍寶石基材上製備氮化鎵磊晶層，實驗中利用奈米壓痕量測系統配合接觸式剛性量測以及反覆負載破壞方法探討磊晶層之機械特性，並輔以原子力顯微鏡觀察氮化鎵磊晶層受到破壞前後之表面形貌，再輔以陰極螢光量測系統觀察受到應力破壞後所引發的激發光效能改變情形。在研究成果中，不同軸向之氮化鎵磊晶層受到破壞時，呈現出相異的彈塑性變形機制，奈米壓痕破壞區域之激發光特性亦受到磊晶層內部差排與缺陷影響。此研究成果提供不同軸向氮化鎵磊晶層之機械性質與激發光特性，對於未來在不同軸向氮化鎵磊晶發光元件開發上具有相當參考價值。

關鍵詞：氮化鎵、機械特性、陰極螢光、奈米壓痕

Abstract

Mechanical properties and cathodo-luminescence characteristics of gallium nitride (GaN) epilayers are great importance for the device integration processes, particular to withstand the mechanical forces applied with GaN epilayers. In this study, the GaN epilayers was deposited on A-axis $(11\bar{2}0)$ and C-axis (0001) sapphire substrate by using metal-organic chemical vapor deposition (MOCVD) method. The mechanical properties of different axis GaN epilayers were investigated by using nanoindentation technology with continuous stiffness measurement and repetition load method. The relative deformation effect and pressure-induced impairment were observed from atomic force microscopy (AFM) and cathodoluminescence (CL). The observation of load-displacement vs stress-strain curves concludes that basal slip is implicated in the deformation on the different axis GaN epilayers. It is indicated that the generation of individual dislocation and residual deformation of the GaN films are showed by CL mapping analysis.

Keywords: GaN、Mechanical Properties、Cathodoluminescence 、Nanoindenter

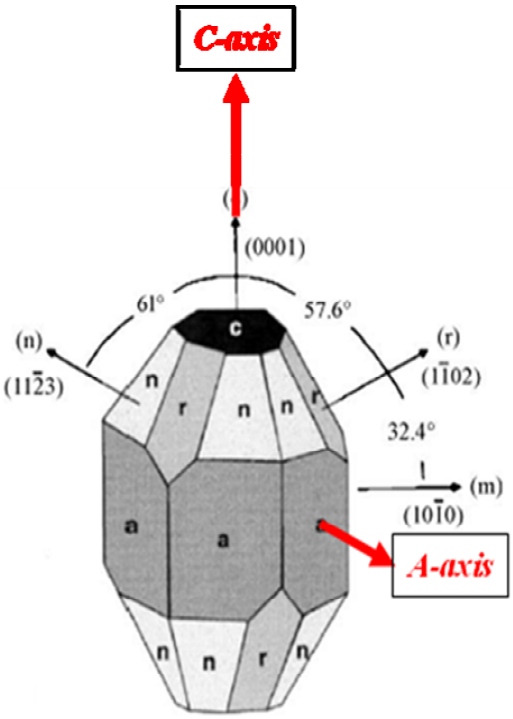
二、緣由與目的

1. 背景

近幾年發光半導體材料受到產學界積極的研究，並致力在元件化的技術上，使得發光二極體照明(Light Emitting Diode, LED)成為新一代照明技術，更低的啟動電壓、耗電量以及高亮度成為近年來發展最快的半導體科技之一。在各種發光半導體材料中以在藍寶石基材上沉積氮化鎵(GaN)磊晶層最為成熟，氮化鎵為III-V 族半導體化合物[1-2]，並可以藉由摻雜微量鋁(Al)或銦(In)改變其發光波長，波長範圍可包含可見光至紫外光波段，提高其元件化實用性，並且具有低啟動電壓之優點[3-4]。此外，在藍寶石基材(sapphire substrate)上沉積氮化鎵磊晶層，可以提供元件較高的機械性質，提升元件壽命並且易於封裝，因此氮化鎵受到產業界重視。另一方面，由於氮化鎵具有紫外光波段之短波長發光效能，因此近年來更受到開發成為雷射光之發光元件以及高功率LED元件等，在民生與國防科技元件中扮演重要的角色。

藍寶石晶體為六方最密堆積(Hexagonal)之晶體結構，晶體結構如圖一所示，目前產業界皆在 C 軸向製作氮化鎵磊晶層，其原因在於在 C 軸向製作可以提升藍寶石基材之材料利用率，另一方面製作出來的磊晶層品質良好，因此在 C 軸向製作氮化鎵磊晶層為目前製造主流技術。然而，隨著製作磊晶層技術的提升，產學界逐漸開始轉向在 A 軸向$(11\bar{2}0)$製作氮化鎵磊晶層，因為在 A 軸向製作氮化鎵磊晶層其晶格不匹配性(lattice mismatch)為2%，遠低於氮化鎵在 C 軸向藍寶石上之13.9%之晶格不匹配性，晶格不匹配性將造成穿越差排(threading dislocation)使得發光性能受到影響[5-6]，因此在 A 軸向所成長之氮化鎵元件之光電轉換效能高於在 C 軸向所成長。然而目前對於 A 軸向所成長之氮化鎵磊晶層之基礎物理研究尚嫌不足，因此近年來許多學者針對此題目做更多研究與探討，期望未來能以此軸向之氮化鎵磊晶層作為元件化之製程。在發光二極體光電元件的製作過程中，封裝以及碰撞對於元件所造成的傷害往往會造成元件光電轉換效能的降低，甚至於使得元件失效，因此近年來產學界運用奈米壓痕技術(Nanoindentaton technology)探討各種不同的薄膜與奈米材料之奈米機械特性，奈米壓痕技術使用奈米鑽石探針對於薄膜表面進行微細壓痕測試，藉由系統所計算得到之負載-位移曲線(load-displacement curve)，進一步取得薄膜的機械特性，取代以往以大範圍破壞所得到之機械特性，更準確得知薄膜之機械性質，更為學術界近年來所重視的物性分析之一。

在半導體的封裝與運送過程中，難免會受到輕微的撞擊，即使是微小的力量也會影響到元件的發光效率，近年來應用奈米壓痕量測技術探討奈米結構之機械性質檢測，其中奈米壓痕在於檢視奈米尺度材料的機械物理特性，例如硬度(Hardness)、楊氏模數(Modulus)，對於微結構的機械性質分析帶來可靠的分析方法。



圖一 藍寶石基材之晶體結構[6]。

2. 目的

本研究使用奈米壓痕系統檢測不同軸向氮化鎵薄膜結構的機械性質，分析在不同負載力與不同負載方式下之氮化鎵薄膜微結構破壞之情形，同時運用原子力顯微(Atomic Force Microscopy，AFM)觀察所破壞的表面，並運用陰極螢光(Cathodo-luminescence，CL)量測激發光特性，探討氮化鎵結構機械性質與彈塑性變形機制以及受到壓縮破壞後激發光特性，將是本研究計畫的目的與重點。

3. 實驗設計

本實驗選用藍寶石(Sapphire)作為基材，運用有機金屬化學氣相磊晶法(MOCVD)，分別在C軸(0001)與A軸$(11\bar{2}0)$沉積厚度2μm高品質的氮化鎵薄膜。對於不同軸向氮化鎵磊晶層之機械特性量測研究分為兩部分：首先運用奈米壓痕系統(Nano Indenter XP instrument, MTS Cooperation, Nano Instruments Innovation Center, TN, USA)配合接觸式剛性量測(CSM)測試，在穿透深度200nm下探討不同軸向氮化鎵磊晶層之彈塑性變形機制；其後配合力量控制方法(Force Control)，對氮化鎵磊晶層做多次反覆負載壓痕(multi-repetition load)測試。量測中針對同一壓痕作反覆負載破壞，負載力為50 mN，負載速率為每秒 2.5 mN，持壓時間為30秒，並對同一壓痕區做1、3、6、9次反覆壓痕負載破壞，探討磊晶層受到多次負載破壞下之機械特性。並使用原子力顯微鏡(AFM)以及陰極螢光系統量測(CL)分別探討受到奈米壓痕探針破壞前之表面形貌以及激發光特性。其中奈米壓痕系統使用單一晶體鑽石(Berkovich)壓痕探針做測試，壓痕探針尖端半徑約20nm，最大直徑不超過50nm，系統自動記錄負載-深度曲線，負載-深度曲線為最小擺動在75Hz以下所疊加完成。

三、結果與討論

3.1 氮化鎵磊晶層之彈塑性變形機制探討

圖二顯示C軸向(a)與A軸向(b)之氮化鎵磊晶結構在穿透深度 200nm 下之負載-深度曲線圖。由圖二中可知氮化鎵磊晶層受到負載破壞時，在負載過程中氮化鎵磊晶產生許多裂斷(pop-in)，裂斷產生的原因在於當奈米壓痕探針下壓接觸氮化鎵磊晶層過程中，對磊晶層產生壓縮破壞的行為，由於磊晶層內部的缺陷(defect)以及差排(dislocation)滑移使得負載-深度曲線中產生斷點，此現象則稱為裂斷，在磊晶層內部所產生之大量差排則使得磊晶層產生永久形變。

由圖二(a)與(b)中之插圖得知硬度與深度變化曲線圖，C 軸向與 A 軸向之氮化鎵磊晶層受到負載破壞時，硬度值在一開始都呈現急遽上升的情形，此現象除了奈米壓痕之表面效應造成外，主要原因為奈米壓痕探針為突破材料之彈性限，因此硬度急遽上升，而 C 軸向氮化鎵磊晶層上升至約 35 GPa 後則開始下降至一穩定值，而 A 軸向氮化鎵磊晶層上升至約 50 GPa 才開始下降至一穩定值，其原因在於 C 軸向與 A 軸向之氮化鎵磊晶層具有不同的晶格滑移方向，C 軸向磊晶層主要晶格滑移方向為水平於基材面，A 軸向磊晶層主要晶格滑移方向則垂直於基材面，使得硬度上升最大值有所不同。表一則為不同軸向氮化鎵磊晶層之硬度與楊式模數。由表可知，A 軸向與 C 軸向之氮化鎵磊晶層硬度與分別為 15.9 ± 0.8 以及 18.1 ± 0.3 GPa，楊式模數則分別為 394.6 ± 12 以及 395.2 ± 11.9 GPa，與研究文獻相比較 C 軸向氮化鎵磊晶層之硬度相當接近，而 A 軸向氮化鎵磊晶層之硬度則低於 C 軸向[13-14]。因此為更一步探討不同軸向氮化鎵磊晶層之彈塑性變形機制，在穿透深度為 30 nm 下分析不

同軸向氮化鎵磊晶層之彈性與彈塑性變形分界點。

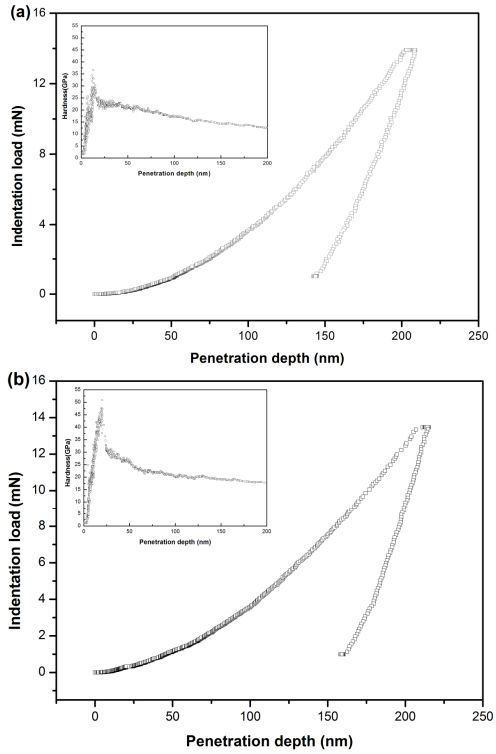
圖三為 C 軸向(a)(b)與 A 軸向(c)(d)之氮化鎵磊晶層分別在穿透深度為 15 nm 與 40 nm 下之負載-深度曲線圖。由圖三(a)(c)可知，在穿透深度為 15 nm 下 C 軸向與 A 軸向之氮化鎵磊晶層負載與卸負載曲線完全重疊，則呈現完全彈性變形行為；當穿越深度在 40 nm 情況時(圖三(b)(d))，負載與卸負載曲線不重疊並且出現裂斷(pop-in)的情形，氮化鎵磊晶層則呈現彈塑性變形行為。C 軸向氮化鎵磊晶層出現第一次裂斷點約在 20 nm 深度處，而 A 軸向氮化鎵磊晶層則出現在約 15 nm 深度處，出現裂斷後則開始呈現塑性破壞情形，不同軸向之氮化鎵磊晶層由於具有相異的差排滑動機制，因此彈塑性變形機制有所不同[9, 13]。

由以上結果可知，在不同晶面上所製作之氮化鎵磊晶層具有不同的機械特性，A 軸氮化鎵磊晶層之硬度低於 C 軸氮化鎵磊晶層，並且較早產生彈塑性變形，其原因為垂直於基材的晶格滑移系統較無法抵抗奈米壓痕探針對於基材所產生的壓縮破壞。

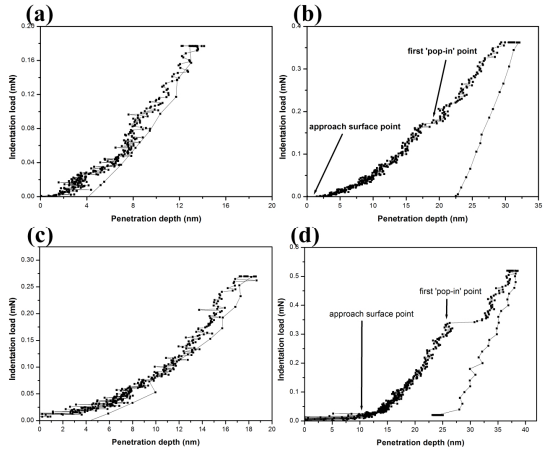
表一、不同軸向氮化鎵磊晶層之硬度與楊式模數。

	Average Hradness (GPa)	Average Modulus (GPa)
A-plane GaN*	15.9 ± 0.8	394.6 ± 12
C-plane GaN*	18.1 ± 0.3	395.2 ± 11.9
C-plane GaN [13]	19 ± 1	286 ± 25
C-plane GaN [14]	22.5	

*This study.



圖二、C 軸向(a)與 A 軸向(b)之氮化鎵磊晶結構在穿透深度 200nm 下之負載-深度曲線圖以及硬度-深度曲線圖。



圖三、C 軸向(a)(b)與 A 軸向(c)(d)之氮化鎵磊晶層分別在穿透深度為 20nm 與 40nm 下之負載-深度曲線圖。

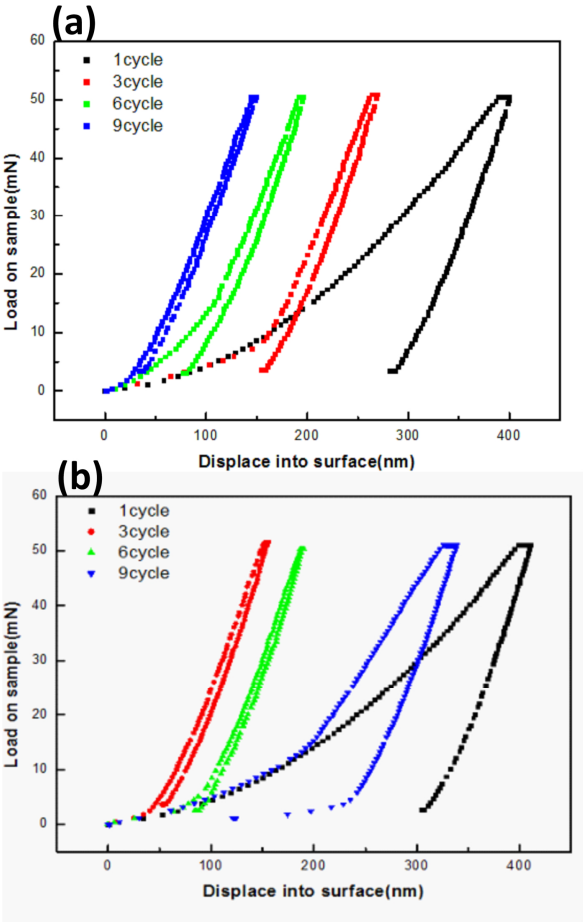
3.2 氮化鎵磊晶層之反覆負載破壞探討

圖四(a)顯示C軸向氮化鎵在反覆負載破壞後之負載卸負載曲線。由曲線可知，在反覆負載過程中隨著負載次數從一次增加至三次、六次與九次，奈米壓痕探針穿透深度由386 nm逐漸減少至258 nm、189 nm與142 nm，此外隨著反覆負載次數的增加，C軸氮化鎵磊晶層變形機制由彈塑性變形逐漸變成彈性變形。其原因在於在反覆負載破壞過程中負載造成壓縮破壞，在壓縮破壞時氮化鎵磊晶層內部產生大量差排(dislocation)，隨著在同一點破壞區域負載次數的增加，差排累積量逐漸增加，因此在三次反覆負載時，氮化鎵塑性變形深度至157 nm即開始產生彈性變形(負載卸負載曲線逐漸重合)，在六次反覆負載下，塑性變形量越來越少，最後在九次反覆負載下，氮化鎵已經呈現趨近彈性變形。由此可知，在反覆壓縮破壞過程中，差排在磊晶層內部大量累積，使得破壞區域產生加工硬化(work hardening)的情形，造成表面硬度增加，因此使得在同樣負載力下氮化鎵表面呈現彈性變形。

圖四(b)顯示A軸向氮化鎵在反覆負載破壞後之負載卸負載曲線。由曲線可知，在反覆負載過程中隨著負載次數從一次增加至三次與六次與，奈米壓痕探針穿透深度由396 nm逐漸減少至187 nm以及151 nm，然而在九次反覆負載下，穿透深度又增加至338 nm。隨著負載次數的增加，A軸氮化鎵磊晶層變形機制由彈塑性變形變成彈性變形，最後又回到彈塑性變形。其原因在於在多次反覆負載下，A軸氮化鎵磊晶層產生加工硬化的現象，因此使得在三次與六次反覆負載下呈現彈性變形的情形。然而在九次反覆負載下則又再度呈現彈塑性變形，其原因在於磊晶層內部差排受到多次負載後累積到一極限值，並且在受到負載時往晶格滑移面崩裂(crack)，因此在九次反覆負載後磊晶層再度呈現彈塑性變形機制[8-9]。

另一方面，由A軸與C軸向負載卸負載曲線中可以得知，在施予負載的過程曲線產生相當多裂斷(pop-in)，其原因是在於磊晶層內部產生大量差排(dislocation)而造成負載曲線在記錄過程中產生裂斷，更可以進一步證明在多次反覆負載下，每一次負載皆在磊晶層內部產生更多的差排，當差排累積至一定量時則使磊晶層呈現加工硬化的現象，而加工硬化效應則造成材料破壞區硬度與楊式模數的提升，彈性限上升，因此使得磊晶層呈現彈性變形[10]。

綜合圖四(a)(b)分別針對C軸與A軸氮化鎵磊晶層對於反覆負載破壞之機械特性，由於氮化鎵磊晶層為在藍寶石基材上以有機金屬化學氣相磊晶法製備，磊晶層之晶體結構與下方基材晶體結構為一致，因此在C軸藍寶石所成長之氮化鎵磊晶層之晶格滑動方向為水平於基材，在A軸藍寶石所成之氮化鎵磊晶層之晶格滑動方向則為垂直於基材，晶格滑動面的差異造成在反覆破壞過程中所呈現之彈塑性變形機制的相異，水平的晶格滑動面容易將差排累積在磊晶層中，因此造成C軸氮化鎵受到反覆壓縮破壞過程中將差排累積在表層中，而在A軸氮化鎵磊晶層中垂直的晶格滑動面則無法將差排大量累積在表層，因此在九次反覆負載下造成突破彈性變形極限再次呈現彈塑性變形[11]。



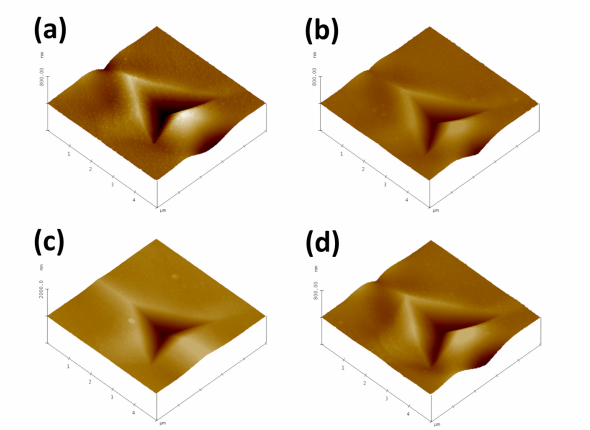
圖四顯示(a)C 軸向與(b)A 軸向氮化鎵在反覆負載破壞後之負載卸負載曲線。

3.3 氮化鎵磊晶層之表面形貌與陰極螢光特性探討

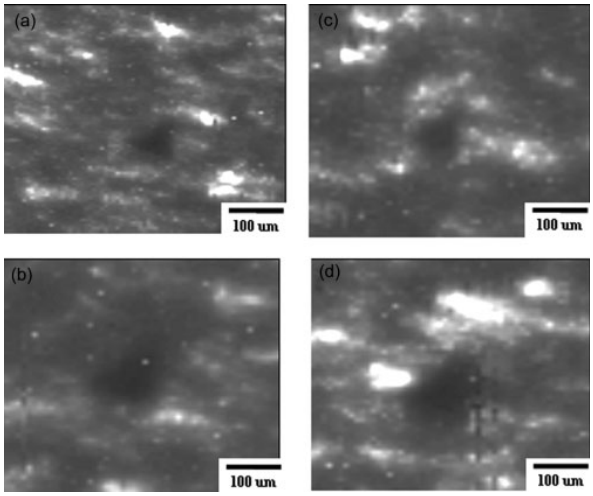
圖五分別顯示 A 軸氮化鎵磊晶層受到 1、3、6 與 9 次反覆負載破壞後原子力顯微鏡之表面形貌。由圖可知，當氮化鎵磊晶層受到反覆負載破壞時，負載破壞皆在相同區域，並且對該區域造成塑性破壞，隨的反覆負載次數的增加，在奈米壓痕破壞區周圍區域產生壟起區域(pile-up)，此區域的產生原因在於奈米壓痕探針對磊晶層表面產生壓縮破壞的過程中，使磊晶層周圍材料產生差排滑動(dislocation slip)與局部裂斷(partial crack)的情形，因此造成壟起的情形。

圖六分別顯示 A 軸氮化鎵磊晶層受到 1、3、6 與 9 次反覆負載破壞後在 550 nm 波長之表面陰極螢光圖譜(Cathodo-luminescence mapping)。如圖所示，奈米壓痕探針在氮化鎵磊晶層產生應力影響區(stress field)，在此區域中氮化鎵磊晶層受到電子激發所產生的激發光被大量增生的差排所吸收，因此在圖譜中呈現不發光的現象，並且隨著負載次數的增加使得不發光區域越來越大，其原因在於多次的反覆負載使得應力場面積越來越大，雖然在原子力顯微鏡下所殘留的壓痕破壞區並未隨著負載次數的增加而變大，然而差排仍然在磊晶層中移動並擴散。在九次反覆負載下，陰極螢光圖譜周圍產生斷裂線(crack line)的現象，其原因在於九次的反覆負載使得氮化鎵磊晶層再度呈現塑性變形行為，因此在材料內部高密度的差排再次得到能量產生滑移[7]，這些差排的滑移使得材料內部發生糾結(kink)，這些糾結更向外擴散使得在應力影響區周圍呈現斷裂線的現象[12]。

綜合以上結果，A 軸氮化鎵磊晶層在受到反覆負載破壞下，材料由彈塑性變形變為彈性變形行為，最後又再度變成彈塑性變形行為，更造成對於內部差排的累積與移動，進一步使得磊晶層之激發光特性產生變化，因此反覆的壓縮破壞更容易使得氮化鎵磊晶層產生破壞以及影響其激發光特性。



圖五、分別顯示 A 軸氮化鎵磊晶層受到 1、3、6 與 9 次反覆負載破壞後原子力顯微鏡之表面形貌。



圖六、分別顯示 A 軸氮化鎵磊晶層受到 1、3、6 與 9 次反覆負載破壞後在 550 nm 波長之表面陰極螢光圖譜(Cathodoluminescence mapping)。

四、計畫成果自評

1. 本研究成功在 C 軸向與 A 軸向藍寶石基材上製作出氮化鎵磊晶層，並針對 C 軸向與 A 軸向氮化鎵磊晶層之機械特性作一系列深入探討，研究不同軸向氮化鎵磊晶層之彈性限，並建立相關奈米壓痕實驗流程。
2. 研究實驗中進一步使用反覆負載破壞方法，分析不同軸向氮化鎵磊晶層之彈塑性變形行為，比較不同軸向氮化鎵磊晶層其內部差排滑動與擴散機制。更進一步運用原子力顯微鏡觀察受到反覆壓縮破壞之氮化鎵磊晶層表面形貌破壞情形，其後使用陰極螢光圖譜技術探討差排滑動與局部裂斷對於激發光特性之影響。
3. 藉由本計畫所產出之研究成果目前共發表六篇國外期刊論文以及十九篇國內研討會論文，以下列出所發表的國外期刊:

1. Nanoscale Research Letters

Meng-Hung Lin, Hua-Chiang Wen, Yeau-Ren Jeng, **Chang-Pin Chou**, “Nanoscratch Characterization of GaN Epilayers on c- and a-Axis Sapphire Substrates”, Nanoscale Research Letters, 2010(SCI)(Published).

2. Surface and Interface Analysis

Meng-Hung Lin, Hua-Chiang Wen, Shyh-Chi Wu, Wen-Fa Wu, **Chang-Pin Chou**, “Effect of Repetition Nanoindentation of GaN Epilayers on a-axis Sapphire Substrates” , Surface and Interface Analysis, 2010(SCI)(Published).

3. Applied Surface Science

Meng-Hung Lin, Hua-Chiang Wen, Chih-Yung Huang, Yeau-Ren Jeng, Wei-Hung Yau, Wen-Fa Wu, **Chang-Pin Chou**, “Nanoindentation characterization of GaN epilayers on A-plane sapphire substrates”, Applied Surface Science 256 (2010) 3464-3467.

4. Microelectronic Reliability

Bo-Ching He, Chun-Hu Cheng, Hua-Chiang Wen, Yi-Shao Lai, Ping-Feng Yang, Meng-Hung Lin, Wu-Ching Chou, Wen-Fa Wu, **Chang-Pin Chou**, “Evaluation of the nanoindentation behaviors of SiGe epitaxial layer on Si substrate”, Microelectronic Reliability, 50 (2010) 63-69.

5. Microelectronic Reliability

Bo-Ching He, Hua-Chiang Wen, Meng-Hung Lin, Yi-Shao Lai, Wen-Fa Wu, **Chang-Pin Chou**, "Effect of annealing treatment and nanomechanical properties for multilayer $Si_{0.8}Ge_{0.2}$-Si films", Microelectronic Reliability, 50 (2010) 851-856.

6. Applied Surface Science

Bo-Ching He, Hua-Chiang Wen, Wen-Fa Wu, **Chang-Pin Chou**, "Effect of strain relaxationof oxidation-treated SiGe epitaxial thin films and its nanomechanical characteristics", Applied Surface Science, 256 (2010) 3299-3302.

五、參考文獻

[1] Simmons, J.H., and Potter, K.S., Optical Materials, San Diego Academic Press, 2000.

[2] Morkoc, H., Strite, S., Gao, G.B., Lin, M.E., Sverdlov, B., and Burns, M., "Large-band-gap SiC, III-V nitride, and II-VI ZnSe-based semiconductor device technologies," Journal of Applied Physics, Vol. 76, pp.1363-1398, 1994.

[3] Nagatomo, T., Kuboyama, T., Minamino, H., and Omoto, O., "Properties of Ga1-xInxN Films Prepared by MOVPE," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 28, pp.1334–1336, 1989.

[4] Yoshimoto, N., Matsuoka, T., Sasaki, T., and Katsui, A., "Photoluminescence of InGaN films grown at high temperature by metalorganic vapor phase epitaxy," Applied Physics Letters, Vol. 59, pp. 2251-2253, 1991.

[5] Selvaraj, S.L., and Egawa T., "Demonstration of AlGaN/GaN High Electron Mobility Transistors on a-Plane (1120) Sapphire," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 47, pp.3332-3335, 2008.

[6] Liu, L., and Edgar, J.H., "Substrates for gallium nitride epitaxy, " Materials Science and Engineering Reports, Vol. 37, pp. 61-127, 2002.

[7] Meng-Hung Lin, Hua-Chiang Wen, Shyh-Chi Wu, Wen-Fa Wu, Chang-Pin Chou, "Effect of Repetition Nanoindentation of GaN Epilayers on a-axis Sapphire Substrates" , Surface and Interface Analysis, 2010(SCI)(Published).

[8] Navamathavan, R., Moon, Y.T., Kim, G.S., Lee, T.G., Hahn, J.H., and Park, S.J., "'Pop-in' phenomenon during nanoindentation in epitaxial GaN thin films on c-plane sapphire substrates, " Materials Chemistry and Physics, Vol. 99, pp.410-413, 2006.

[9] Lin, M.H., Wen, H.C., Huang, C.Y., Jeng, Y.R., Yau, W.H., Wu, W.F., and Chou, C.P., "Nanoindentation characterization of GaN epilayers on A-plane sapphire Substrates," Applied Surface Science, Vol. 256, pp. 3464-3467, 2010.

[10] Jian, S.R., "Mechanical Deformation Induced in Si and GaN Under Berkovich Nanoindentation," Nanoscale Research Letters, Vol. 3, pp.6-13, 2008.

[11] Lin M.H., Wen H.C., Jeng Y.R., and ChouC.P.,"Nanoscratch Characterization of GaN Epilayers on c- and a-Axis Sapphire Substrates, " Nanoscale Research Letters, published.

[12] Sandip Basu, Michel W. Barsoum, Adrian D. Williams and T. D. Moustakas, "Spherical nanoindentation and deformation mechanisms in freestanding GaN films," Journal of Applied Physics, Vol. 101, pp.083522-083529, 2007.

[13] C.H. Tsai, S.R. Jian, J.Y. Juang, "Berkovich nanoindentation and deformation mechanisms in GaN thin films," Applied Surface Science, Vol. 254, pp.1997-2002, 2008.

[14] J.E. Bradby, S.O. Kucheyev, J.S. Williams, J.W. Leung, M.V. Swain, P. Munroe, G. Li, M.R. Phillips, "Indentation-induced damage in GaN epilayers," Applied Physics Letters, Vol. 80, pp. 383-385, 2002.

國科會補助專題研究計畫項下出席國際學術會議心得報告

日期：99 年 10 月 15 日

計畫編號	NSC 98-2221-E-009 -069		
計畫名稱	氮化鎵之奈米機械特性與其陰極螢光分析		
出國人員姓名	陳雄章	服務機構及職稱	交通大學機械系博士生
會議時間	2010 年 7 月 6 日至 2010 年 7 月 9 日	會議地點	澳洲柏斯
會議名稱	(中文)2010 年第五屆亞太換能器及奈微米工程研討會 (英文)The 5th Asia-Pacific Conference on Transducers and Micro-Nano Technology		
發表論文題目	Output Force Characterization of Scratch Drive Actuators with Flexible Joints		

一、參加會議經過

此次會議在澳洲柏斯的 University Western Australia 舉行，由當地搭 Shuttle bus 至會場約需 15 分鐘車程。

主要與會者來自亞太各地，根據會議統計總投稿數 750 篇論文中，其中約 140 篇為口頭報告論文(Oral)；約 100 篇為海報論文(Poster)；淘汰率約 68%。本實驗室在此會議共發表一篇口頭報告論文。詳細與會經過如下：

2010.7.7

會議參與人員註冊和接待茶會。會議正式開始，開場第一受邀演講者為Janusz Bryzek，演講題目：Changing the World with MEMS。之後的 Invited Talk為SENSORS and ACTUAORS主編 Paddy French 演講題為"Biomimetics: learning from nature to make better transducers"，說明生醫換能器由自然界找點子的實例，相當精彩。

2010.7.8

第二受邀演講者為Nico De Rooji，演講題目：” MEMS for Biological Systems”。說明生醫微機電系統的最新發展。之後的 Invited Talk為Nick Harris，演講題為"Thickfilm Piezoelectric Vibration Harvesting – A HUMS Application"，說明厚膜壓電微能源收集器的原理及應用，相當有前景的研究。大會還安排了豐盛美食的晚宴。

2010.7.9

會議早上邀請 Tanya Monro 發表"Micro and nano-structured optical fibres for next generation chemical and biological sensors" 說明新一代化學生醫感測器的微奈米結構光纖系統的進展。

此天早上本實驗室博士生陳雄章的論文發表(Oral)：Output Force Enhancement of Scratch Drive Actuator in Low-Voltage Region by Using Flexible Joint。發表完後的發問踴躍，且和亞太的學者共同討論切磋。Session 主席還特地邀請投稿 Sensors and Actuators.

二、與會心得

藉由參與此次 APCOT 會議，了解目前亞太各國發展微機電、奈米科技及生醫微系統領域的主流。因應了會議名稱，研究的尺度改為微米和奈米共進；在應用領域上，則拓展至生醫及能源微系統，研究奈米尺度的因子對於元件、材料本性造成的影響。

奈微米機電技術除了學術研究外，還須在產業界能有所應用。此次 APCOT 研討會，集合世界領先的最新研究成果，並提亞太各地學者和研究人員交換研究心得的平台。其內容涵蓋微機電、奈米、生醫技術、換能器及能源系統，從學術研究至應用面，相當豐富而多元。

由於周長彬教授另有要公，本次會議由本人代表口頭發表。感謝國科會補助，讓本人能順利參與此次會議，相信藉由此次國際會議的參與，對學生了解國際上奈微米機電的發展狀況及未來研發方向的整合，具有重要的助益。

三、攜回資料名稱及內容

1. APCOT 2010 —TECHNICAL DIGEST

型態：紙本

數量：1 本

內容：會議行程表、各參與者論文摘要、注意事項

無研發成果推廣資料

98 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：周長彬	計畫編號：98-2221-E-009-069-
計畫名稱：氮化鎵之奈米機械特性與其陰極螢光分析	

成果項目			量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）
			實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數(含實際已達成數)	本計畫實際貢獻百分比		
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	19	19	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	2	2	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	6	6	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%	章/本	
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)	無

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科教處計畫加填項目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與（閱聽）人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

■達成目標

□未達成目標（請說明，以 100 字為限）

□實驗失敗

□因故實驗中斷

□其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文：■已發表 □未發表之文稿 □撰寫中 □無

專利：□已獲得 □申請中 ■無

技轉：□已技轉 □洽談中 ■無

其他：（以 100 字為限）

本研究計畫共發表六篇國外期刊(SCI)論文，以及在國內會議論文至目前中亦有 19 篇相關論文投稿。

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

本研究成功在 C 軸向與 A 軸向藍寶石基材上製作出氮化鎵磊晶層，並針對 C 軸向與 A 軸向氮化鎵磊晶層之機械特性作一系列深入探討，研究不同軸向氮化鎵磊晶層之彈性限，並建立相關奈米壓痕實驗流程。研究實驗中進一步使用反覆負載破壞方法，分析不同軸向氮化鎵磊晶層之彈塑性變形行為，比較不同軸向氮化鎵磊晶層其內部差排滑動與擴散機制。更進一步運用原子力顯微鏡觀察受到反覆壓縮破壞之氮化鎵磊晶層表面形貌破壞情形，其後使用陰極螢光圖譜技術探討差排滑動與局部裂斷對於激發光特性之影響，研究成果將可幫助瞭解不同軸向氮化鎵磊晶層之機械特性與陰極螢光特性，尤其對於 A 軸向氮化鎵磊晶層元件化之製程整合有相當幫助。藉由本計畫所產出之研究成果目前共發表六篇國外期刊論文以及十九篇國內研討會論文，並皆獲得接受