

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

以分子束磊晶法成長氮化鎵系列材料(II)

計畫編號：NSC NSC 89-2215-E-002-038

執行期限：88/08/01 ~89/10/31

主持人：林浩雄 國立台灣大學電機工程學系

計劃參與人員：宋立偉 國立台灣大學電機工程學系

計劃參與人員：蔡政宏 國立台灣大學電機工程學系

一、中文摘要

本研究以射頻電漿輔助氣態源分子束磊晶法(RF plasma assisted GSMBE)在砷化鎵基板上成長立方晶系的氮化鎵磊晶層。首先探討低溫氮化鎵緩衝層成長條件對表面粗糙度及後續磊晶層成長品質的影響。我們利用反射高能電子束繞射法(RHEED)與原子作用力顯微鏡(Atomic Force Microscopy)監測緩衝層表面粗糙度，並使用X光繞射儀及光激螢光量測等方式分析磊晶層品質。在最佳的緩衝層成長條件下，氮化鎵磊晶層可達到立方晶系相純度大於95%，並有狹窄的X光繞射半寬。且於室溫下可量得甚強的光激螢光，可知於此磊晶程序下已可達相當品質的立方晶系氮化鎵磊晶層。

關鍵詞：立方晶系氮化鎵、射頻電漿輔助氣態源分子束磊晶、低溫氮化鎵緩衝層

Abstract

In this study, we report the effect of growth condition on the surface morphology of the initial buffer layer for cubic GaN grown by using RF plasma assisted molecular beam epitaxy. Buffer layers roughness was monitored by RHEED and Atomic Force Microscopy. X-ray diffraction

measurement and photoluminescence were used to investigate the film quality. The bulk cubic GaN film grown on the optimized initial buffer layer demonstrates high phase purity, narrow X-ray FWHM and strong cubic GaN related band to band emission.

Keywords: Cubic GaN, RF Plasma assisted GSMBE, buffer layer.

二、緣由與目的

在短波長藍綠光波段放光元件製作，高溫半導體元件，與高電壓主動元件等的需求下，高能隙半導體一直是人們研究發展的重點，其中氮化鎵一直是最受重視的半導體材料。

在晶格結構上，氮化鎵有兩種不同的晶格形態，分別是穩定態的烏采結構與亞穩態的閃鋅結構，其中烏采結構單位晶包是為六角柱型，目前所見關於氮化鎵之應用皆為此種晶格結構，亞穩態氮化鎵則如同一般傳統三五族半導體般為立方形的閃鋅結構，其晶格結構在相鄰原子間鍵結模式上此二種不同晶格並無差異，不同處是於再相鄰原子位置上的不同，因晶格結構

上較高的對稱性，閃鋅結構氮化鎵在理論預期上將有較烏采結構高的載子移動率 (mobility)，P 型雜質摻雜效率，以及容易進行鏡面劈製等優點[1-5]，可稍彌補氮化鎵材料不易達成 P 型摻雜與載子移動率偏低的缺憾。

材料能隙上的差異，閃鋅結構氮化鎵於室溫下能隙為 3.22 電子伏特，稍低於烏采結構氮化鎵的 3.39 電子伏特，較接近可見光波段範圍，在藍光發光二極體主動層- 氮化鎵三元化合物半導體中只需較低的鎵含量比例，可降低因磊晶層晶格不匹配所引起的問題。另外相較於烏采結構氮化鎵磊晶時所普遍使用的非導電性單晶氧化鋁基板，可選擇導電或半絕緣基板進行磊晶成長也是此閃鋅結構氮化鎵材料的優點。

因為閃鋅結構氮化鎵在材料性質上有著如此多的優點，所以即使目前在閃鋅結構氮化鎵磊晶層品質上仍遠劣於烏采結構氮化鎵，更未有商品上應用，此一亞穩態氮化鎵材料依然受到廣泛的注意與研究投入。

三、實驗與結果討論

在磊晶成長上，因為沒有晶格匹配的基板，目前磊晶皆為晶格鬆弛成長，常用基板大致有矽(Si)、碳化矽(SiC)、砷化鎵(GaAs)、磷化鎵(GaP)、等數種[2-6]，在本實驗室的研究中是以射頻電漿輔助氣態源

分子束磊晶法(RF plasma assisted GSMBE)在砷化鎵基板上成長立方晶系的氮化鎵磊晶層。

在緩衝層成長條件的探討上，共成長了四種不同條件的緩衝層，詳細成長條件列於表一，並利用反射高能量電子束繞射法 (RHEED) 與 緩 衝 層 (Atomic Force Microscopy) 監測緩衝層表面粗糙度。隨後並成長立方晶系的氮化鎵塊材於緩衝層上，以探討不同的緩衝層對塊材磊晶品質的影響。塊材成長條件列於表二。並使用 X 光繞射儀及光激螢光量測方式分析此塊材磊晶層品質。

在圖一中所示為四種緩衝層的原子作用力顯微鏡影像，由圖一(a)、(b) 比較中可見在相同磊晶溫度下，高成長速率樣品 c1047 表面較樣品 c1048 粗糙。由圖一(b)、(c)、(d) 相同磊晶速率樣品比較中，高溫成長的樣品 c1048 亦是表面最平整者，且 c1049、c1050 成長時反射高能量電子束繞射圖譜呈環狀，顯示磊晶層晶格已是呈多晶型態，因多晶型態緩衝層將導致高密度的缺陷，並不適用於磊晶成長，故只以樣品 c1047、c1048 的緩衝層成長條件繼續塊材磊晶品質的影響。

圖二中為兩塊材樣品 926、c964 的 X 光繞射圖譜，圖中位於 31.47 度的繞射峰是為砷化鎵基板(002)面的繞射，位於 40 度的繞射峰為對應立方晶系氮化鎵磊晶層的(002)面繞射訊號，由此繞射峰位置可得

晶格常數為 4.5 奈米，與文獻上結果相符 [3][7]。兩樣品氮化鎵繞射峰半寬相近，皆為 19 arcmin.，品質與目前已知的最好結果相當[6]。在立方晶系氮化鎵磊晶層最重要的磊晶缺陷為烏采晶相氮化鎵的摻入，為量測樣品中烏采晶相氮化鎵的含量，我們以 X 光偏軸繞射的方式量測烏采晶相氮化鎵(10-11)面的繞射[1]，所得結果如圖三，其中位於 37 度的繞射峰是即為烏采晶相氮化鎵(10-11)面的繞射，由此量測結果可清楚發現，成長於較粗糙緩衝層上的氮化鎵樣品 c926，其對應的 X 光繞射峰強度較高且半寬較窄，顯示有較高的烏采晶相氮化鎵摻入，這表示平坦的緩衝層結構有助於防止烏采晶相氮化鎵的形成。

圖四中為兩塊材樣品的低溫光激螢光量測結果，在樣品 c926 螢光頻譜中可見有烏采晶相氮化鎵相關的放光存在 [2][5]，但在樣品 c964 中只見立方晶系氮化鎵相關放光存在未有烏采結構氮化鎵訊號，代表磊晶層為高純度的閃鋅晶格結構，顯示樣品 c926 中有較高的烏采晶相氮化鎵摻入，結果與 X 光繞射結果相符。

圖五為樣品 c964 的室溫光激螢光量測結果，室溫下可得放光波長於 379 奈米的能帶間躍遷放光，證明此樣品已達相當品質。

四、總結與結果自評

在本研究中我們探討了緩衝層成長

條件對表面粗糙度及後續磊晶成長的影響，在最佳化的緩衝層成長條件下，本實驗室已成功的在砷化鎵基板上，以緩衝層磊晶技術成長出高純度的閃鋅結構氮化鎵磊晶層，並有良好的光學特性，在此一新材料系統的研究上已得初步成果。

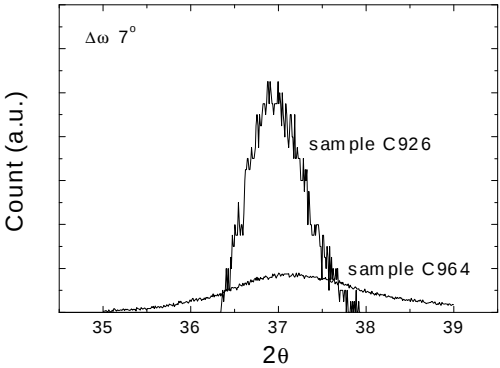
參考文獻

- [1] A. Nagayama, R. Katayama, N. Nakadan, K. Miwa, H. Yaguchi, J. Wu, K. Onabe, and Y. Shiraki, "Substrate Misorientation Dependence of the Hexagonal Phase Inclusion in Cubic GaN Films Grown by Metalorganic Vapor Phase Epitaxy", Phys. Stat. Sol. (a) vol. 176, pp. 513, 1999.
- [2] B. Duadin, G. Feuillet, J. Hubner, Y. Samson, F. Widmann, A. Philippe, C. Bru-Chevallier, G. Guillot, E. Bustarret, G. Bentoumi, and A. Deneuve, "How to grow cubic GaN with low hexagonal phase content on (001)SiC by molecular beam epitaxy", J. Appl. Phys. vol. 84, pp. 2295, 1998.
- [3] R. Kimura, Y. Gotoh, T. Nagai, Y. Uchida, T. Matsuzawa, K. Takahashi, and C. G. Schulz, "A study of initial growth mechanism of c-GaN on GaAs(100) by molecular beam epitaxy", Journal of Crystal Growth, vol. 189/190, pp. 406, 1998.
- [4] H. Chen, H. F. Liu, Z. Q. Li, S. Liu, Q. Huang, J. M. Zhou, and Y. Q. Wang, "A new initial growth method for pure cubic GaN on GaAs(001)", Journal of Crystal Growth, vol. 201/202, pp. 336, 1999.
- [5] D. Xu, H. Yang, J. B. Li, D. G. Zhao, S. F. Li, S. M. Zhuang, and R. H. Wu, "Optical characterization of high-purity cubic GaN grown on GaAs (001) substrate by metalorganic chemical vapor deposition", Appl. Phys. Lett. Vol.

76, pp. 3025, 2000.

[6] Z. Q. Li, H. Chen, H. F. Liu, L. Wan, S. Liu, Q. Huang, J. M. Zhou, “MBE growth and X-ray study of high-quality cubic-GaN on GaAs(001)”, Journal of Crystal Growth, vol. 208, pp. 786, 2000.

[7] H. Yamane, M. Shimada, and F. J. DiSalvo, “Growth of zinc-blend-type structure GaN from a Na-Ga melt” Mate. Lett. vol. 42, pp. 66, 2000.



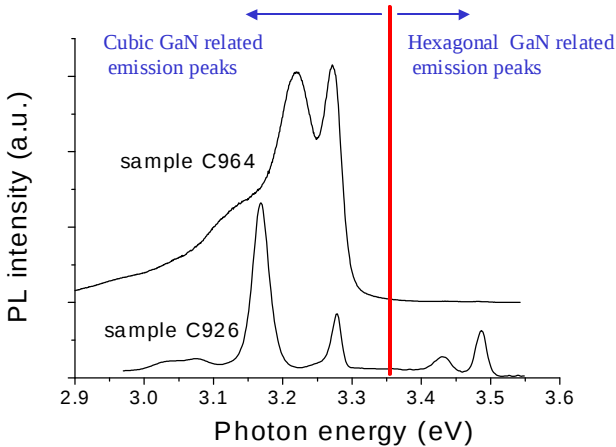
圖三 塊材樣品 926、c964 的 X 光偏軸繞射圖譜

表一 緩衝層成長條件

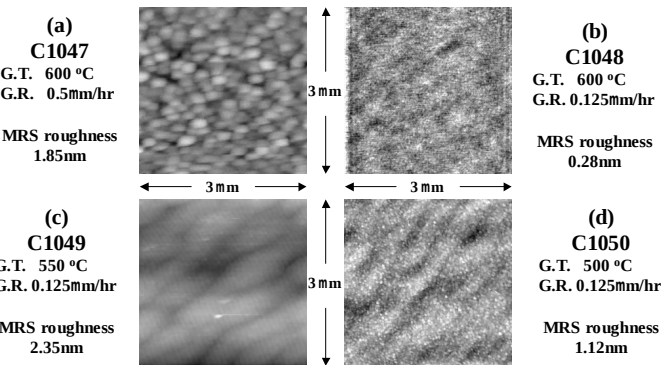
No.	Growth temp. (°C)	Growth rate (μ m/hr)	Thickness (nm)	MRS surface roughness (nm)
C1047	600	0.5	20	1.85
C1048	600	0.125	20	0.28
C1049	550	0.125	20	2.35
C1050	500	0.125	20	1.12

表二 塊材成長條件

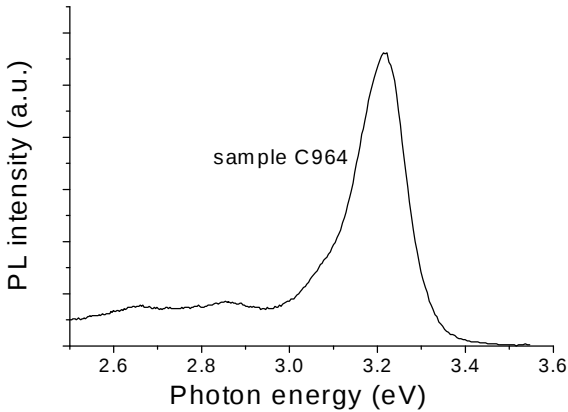
No.	buffer layer Growth temp. (°C)	buffer layer Growth rate (μ m/hr)	buffer later Thickness (nm)	epitaxy film Growth temp. (°C)	epitaxy film thickness (μ m)
C926	600	0.5	20	720	1
C964	600	0.125	20	720	1



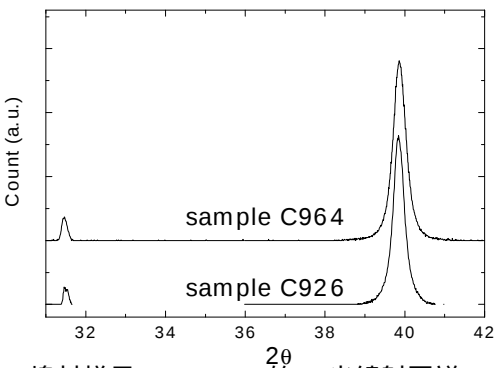
圖四樣品 926、c964 的低溫光激螢光量測圖譜



圖一 緩衝層原子作用力顯微鏡影像



圖五 樣品 c964 的室溫光激螢光量測圖譜



圖二 塊材樣品 926、c964 的 X 光繞射圖譜