

# *In-situ* SiN Mask를 이용하여 성장한 GaN 박막의 물성적, 광학적 특성 연구

김덕규, 정종엽, 박춘배  
원광대학교 전기전자공학부

## A Study of Physical and Optical Properties of GaN grown using *In-situ* SiN Mask by MOCVD

Deok Kyu Kim, Jong Yub Jeong, Choon Bae Park  
Wonkwang Uni. Department of Electrical and Electronic Engineering

### Abstract

We have grown GaN layers with in-situ SiN mask by metal organic chemical vapor deposition (MOCVD) and study the physical properties of the GaN layer. We have also investigate the effect of the SiN mask on its optical property. By inserting a SiN mask, (102) the full width at half maximum (FWHM) decreased from 480 arcsec to 409 arcsec. The PL intensity of GaN with SiN mask improved 2 times to that without SiN mask. We have thus shown that the SiN mask improved significantly the physical and optical properties of the GaN layer.

**Key Words** : GaN, SiN mask, MOCVD, (102) FWHM, PL

### 1. 서 론

GaN 계 반도체가 light emitting diodes (LEDs), laser diodes (LDs), ultraviolet (UV) detector 그리고 전자소자 제조를 위한 소재로 각광을 받고있다.[1,2] 1986년 Amano 에 의한 2-step 성장 방법은 GaN 의 결정질을 향상 시켰으며 소자로서의 응용 가능성을 크게 하였다. 많은 연구자들은 GaN 와 Sapphire 기판사이의 격자불일치와 열팽창계수 차이에 의해 발생하는 threading dislocation (TD) 를 줄이기위해 eptaxial lateral overgrowth (ELO) [4], pendeo epitaxy (PE) [5], selective area growth (SAG) [6]와 같은 새로운 방법을 연구하였다. TD 를 감소시키는 것은 소자의 수명을 길게하고 소자 특성을 향상 시키기위해 꼭 필요하다. 그러나, ELO 기술은 복잡한 공정을 요구한다.

최근들어, SiN 마스크를 이용하는 성장 방법이

ELO 기술의 대안으로 연구되고있다[7-9]. Lahreche 등은[7] GaN 표면에 silane 처리를 하므로서 GaN 의 표면 에너지를 변화시켜 3D 성장모드를 유도하였다. Tanaka 등은[8] 비활성화제인 Si 처리를 통한 GaN 양자점과 전위중단현상을 보고하였다. Sakai 등은[9] Sapphire 위에 SiN 막을 바로 증착하고 얇은 SiN 막위에 nanometer 사이즈의 hole 이 있음을 발견하였다. 이들 연구자들은 SiN 막이 TD 밀도를  $10^9-10^{11}cm^{-2}$ 에서  $10^7-10^8cm^{-2}$ 로 감소시킨다고 결론지었다.

본 논문에서는 in-situ SiN 마스크를 이용하여 GaN 막을 성장시키고 atomic force microscopy (AFM), X-ray diffraction (XRD), XRD 측정, photoluminescence (PL) 측정을 통해 물리적, 광학적특성을 연구 하였다.

## 2. 실험

GaN 막은 metal organic chemical vapor deposition(MOCVD)에 의해 성장되었다. GaN 막은 TMGa와 NH<sub>3</sub>를 소스가스로 H<sub>2</sub>를 캐리어 가스로 사용하여 성장 압력 200-500torr, 성장온도 1060-1090℃에서 성장하였다. 처음에 sapphire 기판은 H<sub>2</sub> 분위기에서 1080℃로 annealing 되었다. 그리고 나서 LT GaN buffer 층을 530℃에서 성장시키고 HT GaN을 성장시키기 위해 1060℃로 온도를 올렸다. HT GaN을 약 1μm 정도 성장시킨 후 얇은 SiN 막을 SiH<sub>4</sub>와 NH<sub>3</sub> 소스가스와 H<sub>2</sub> 캐리어 가스를 이용하여 800℃, 500torr에서 증착하였다. 이때, SiH<sub>4</sub> 증착 시간을 45초, 1분, 5분으로 변화하였다. 그 후에 다시 HT GaN 이 AFM 관찰을 위해 6분(~200nm) 동안 재성장 시켰다. XRD와 PL 특성 관찰을 위한 완전한 GaN 막을 성장시키기 위해 GaN의 coalescence 는 암모니아 양을 증가시키고 압력을 감소시켜 30분에 달성 되도록 하였다. 그림 1에 SiN 마스크가 삽입된 GaN 성장에 따른 온도와 MO 소스 공급 추이가 나타나있고 표 1에 각 막의 성장 조건이 나타나있다.

SiN 증착 시간에 따른 GaN 표면 형상을 보기 위해 AFM 관찰을 하였다. 구조적특성과 광학적인 특성 측정을 위해 XRD 측정과 PL측정을 하였다.

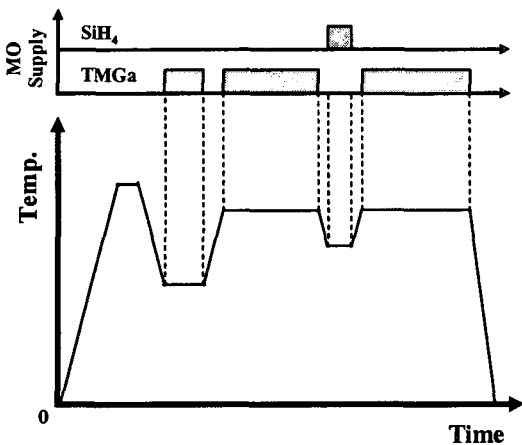


그림 1. SiN 마스크가 삽입된 GaN 성장에 따른 온도와 MO 소스 공급 변화.

Fig. 1. Schematic of Temperature and MO Source with growth of GaN with SiN mask.

## 3. 결과 및 고찰

그림 2은 SiN 마스크 증착 시간에 따른 GaN 표면형상의 AFM 이미지를 관찰한 것이다. SiN 증착 시간은 45초, 1분, 5분으로 변화를 주었다. 표면형상을 관찰하기위해, SiN 증착 후 GaN를 6분(~200nm) 성장 시켰다. 30초를 제외한 모든 증착 시간에서 GaN island 들이 관찰되었다.

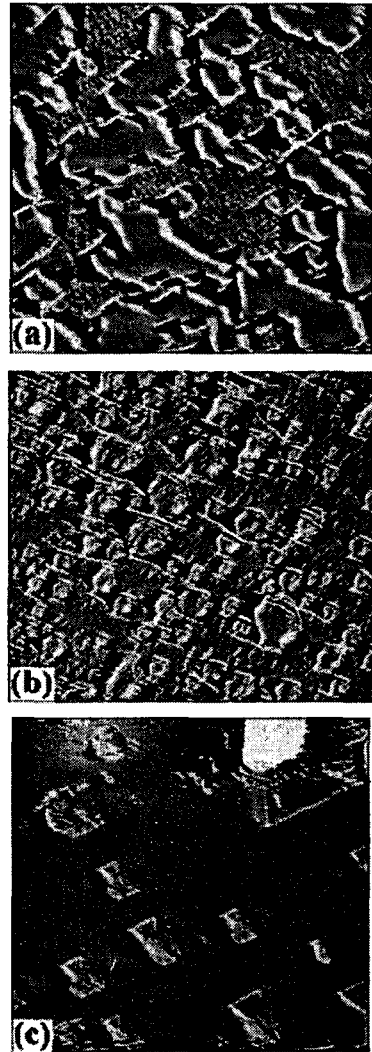
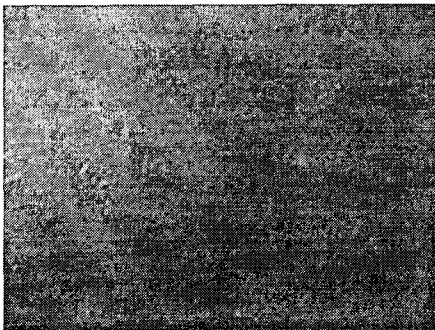


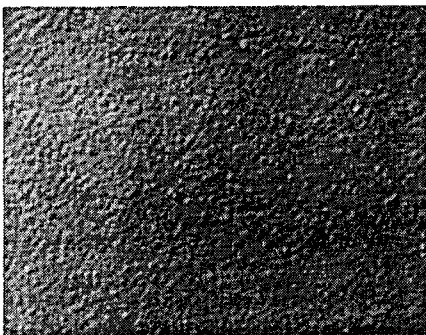
그림 2. SiN 증착 시간에 따른 GaN의 AFM 표면형상. (a) 45초, (b) 1분, (c) 5 분. (a)와 (b)의 스캔영역은 15.6×15.6μm<sup>2</sup>이고 (c)는 10×10μm<sup>2</sup>.

Fig. 2. 6-minute AFM images of GaN for (a) 45s, (b) 1min and (c) 5 min SiN masks. The scan area of images (a) and (b) is 15.6×15.6μm<sup>2</sup> and image (c) is 10×10μm<sup>2</sup>.

45초 경우에(그림 2. (a)), GaN island들이 형성되었고 이웃 island 들과 coalescence가 진행되고 있음을 알 수 있다. SiN 마스크에 대한 GaN island 들의 면적비는 대략 44.5% 이었다. GaN island 들의 coalescence 때문에 GaN island 의 밀도는 계산할 수 없었다. 1분인 경우에(그림 2. (b)), 대부분의 GaN island 들이 독립적으로 형성되어 있고 SiN 마스크에 대한 GaN island 들의 면적비는 대략 36% 이었고 GaN island 의 밀도는 대략  $5 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$  이었다. 5분인 경우에 (그림 2. (c)), GaN island 의 밀도는 앞의 두 경우에 비해 크게 감소하였다. SiN 마스크에 대한 GaN island 들의 면적비는 대략 35% 이었고  $2 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$  이었다. 30 초인 경우에도 실험을 진행하였으나 GaN 표면이 6 분에 거의 coalescence 가 이루어져 있고 약간의 pitch 들이 GaN 표면에서 관찰되었다. 위 경우에 30초는 충분한 SiN 마스크를 생성하기에 부족한 시간으로 판단된다.



(a) SiN 마스크 삽입하지 않은 샘플



(b) SiN 마스크 삽입 샘플

그림 3. SiN 마스크 삽입하지 않은 샘플과 삽입 샘플의 형상. (배율  $\times 50$ )

Fig. 3. The Morphology of GaN with or without SiN Mask.

45초 이상의 증착 샘플에서 30분 안에 GaN island 들이 coalescence 되도록 만들기 위해  $\text{NH}_3$  양, 성장 온도와 압력을 조절하였다. 그러나, 온도를 증가 시키면 GaN 표면에 많은 hillock 들이 발생 하였다. 따라서, 압력과  $\text{NH}_3$  양을 변화하여 30 분안에 coalescence 가 이루어지도록 하였다. 45초인 경우에 30분안에 coalescence 가 이루어 졌지만 1분 이상에서는 coalescence 가 진행 되고 있었다. 이 현상은 GaN island의 밀도에 기인한다.

SiN 마스크 위에 재성장한 GaN 막의 특성을 관찰하기 위해 45초 증착 샘플 위에  $1 \mu\text{m}$  정도의 GaN 막을 재성장 하고 XRD 특성과 PL 특성을 관찰하였다.

그림 3은 SiN 마스크를 삽입하지 않은 샘플(a)과 삽입한 샘플(b)의 광학 현미경 표면 사진이다. 두 샘플 모두 평탄한 표면을 얻었지만 SiN 마스크를 삽입한 샘플에서는 육각형의 결정을 발견할수 있었다. 이 현상은 SiN 마스크에 위에 자란 GaN 가 3D 성장 모드에서 2D 성장모드로 전환되는 시점에서 나타나는 현상으로 판단된다.

그림 4는 SiN 마스크 삽입하지 않은 샘플과 삽입한 샘플의 XRD 특성을 나타낸다. SiN 마스크를 삽입하지 않은 샘플의 (102) FWHM 은 480arcsec 이었고 삽입한 샘플의 (102) FWHM은 409 arcsec 이었다. 이 결과는 SiN 마스크를 삽입한 샘플이 그렇지 아니한 샘플보다 광학적으로 우수함을 나타낸다.

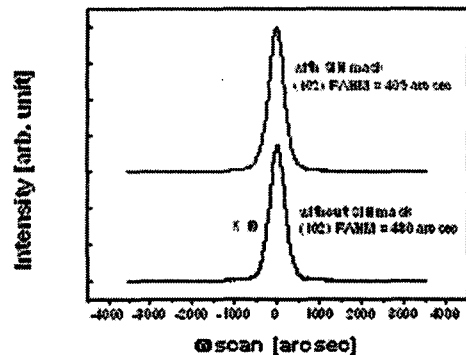


그림 4. SiN 마스크 삽입하지 않은 샘플과 삽입 샘플의 XRD 특성

Fig. 4. (102) FWHM of GaN layer with or without SiN mask for 45s deposition time.

그림 5는 SiN 마스크 삽입하지 않은 샘플과 삽입한 샘플의 XRD 특성을 나타낸다. SiN 마스크를 삽입한 샘플에서 PL 강도가 삽입하지 않은 샘플보다 2배이상 높았다. 이 현상은 SiN 마스크가 GaN 와 Sapphire 사이에서 생기는 TD 의 진행을 막음으로서 상위 표면에서의 TD 밀도를 감소 시키기 때문이다. 즉, TD는 non-radiative center 로서 작용함을 알수있다[10]. 그리고 PL FWHM을 보면 SiN 마스크를 삽입함으로써 4.5nm에서 6.3nm 으로 증가하였는데 이는 완전한 2D 성장 모드에서 성장이 이루어지지 않아서 발생 하는 것으로 판단된다.

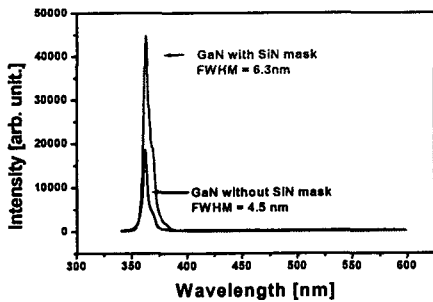


그림 5. SiN 마스크 삽입하지 않은 샘플과 삽입한 샘플의 PL 특성.

Fig. 5. The PL property of GaN with or without SiN mask.

#### 4. 결론

*in-situ* SiN Mask를 이용하여 GaN 박막을 MOCVD 방법으로 성장하고 그 박막의 특성을 연구하였다. SiN 박막을 성장시간을 45초부터 5분까지 변화하였으며 45초에서 최적의 성장 조건을 얻었다. SiN 마스크를 삽입하므로 (102) FWHM을 480arcsec에서 409 arcsec로 감소 시켰다. SiN 마스크 삽입한 샘플의 PL특성도 강도가 2배 정도 향상 되었다. SiN 박막이 GaN의 광학적 특성을 향상시켜 고휘도 LED 제작에 응용가능하다.

#### 참고 문헌

[1] S. Nakamura, G. Fasol, "The Blue Laser Diode GaN Based Light Emitters and Lasers", Springer, Berlin, 1997.  
 [2] M. S. Shur, "GaN based transistors for hi

gh power applications", Solid-State Electron. Vol. 42 p. 2131, 1998.

[3] H. Amano, N. Sawaki, I. Akasaki, Y. Totoda, "Metalorganic vapor phase epitaxial growth of a high quality GaN film using an AlN buffer layer", Appl. Phys. Lett. Vol. 48, p. 353, 1986.  
 [4] A. Ushi, H. Sunakawa, A. Sakai, A. Yamaguchi, "Thick GaN Epitaxial Growth with Low Dislocation Density by Hydride Vapor Phase Epitaxy", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 36, p. L899, 1997.  
 [5] R. F. Davis, T. Gehrke, K. J. Linthicum, T. S. Zhelva, E. A. Preble, P. Rajagopal, C. A. Zorman, M. Mehregany, "Pseudo-epitaxial growth of thin films of gallium nitride and related materials and their characterization", J. Crystal Growth, Vol. 225, p. 134, 2001.  
 [6] Y. Kawaguchi, Y. Honda, H. Matsushima, M. Yamacuchi, K. Hiramatsu, N. Sawaki, "Selective Area Growth of GaN on Si substrate Using SiO<sub>2</sub> Mask by Metalorganic Vapor Phase Epitaxy", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 37, p. L966, 1998.  
 [7] H. Lahreche, P. Vennegues, B. Beaumont, P. Gibart, "Growth of high-quality GaN by low-pressure metal-organic vapour phase epitaxy (LP-MOVPE) from 3D islands and lateral overgrowth", J. Crystal Growth, Vol. 205, p. 245, 1999.  
 [8] S. Tanaka, M. Takeuchi, Y. Aoyagi, "Anti-Surfactant in III-Nitride Epitaxy", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 39, p. L831, 2002.  
 [9] S. Sakai, T. Wang, Y. Morishima, Y. Naoi, "A new method of reducing dislocation density in GaN layer grown on sapphire substrate by MOVPE", J. Crystal Growth Vol. 221, p. 334, 2000.  
 [10] S. J. Rosner, E. C. Carr, M. J. Ludowise, G. Girolami, H. I. Erikson, "Correlation of cathodoluminescence inhomogeneity with microstructural defects in epitaxial GaN grown by metalorganic chemical-vapor deposition", Appl. Phys. Lett. Vol. 70, p. 420, 1997.