

In-situ SiN Mask를 이용한 GaN 성장 및 특성 연구

김덕규, 정종엽, 박춘배

원광대학교 전기전자 및 정보공학부

Growth and Characteristic of GaN using *In-situ* SiN Mask by MOCVD

Deok Kyu Kim, Jong Yub Jeong, Choon Bae Park

Wonkwang Uni. Department of Electrical and Electronic & Information Engineering

Abstract

We have grown GaN layers with *in-situ* SiN mask by metal organic chemical vapor deposition (MOCVD) and study the characteristic of the GaN layer. We have changed the deposition time of SiN mask from 45s to 5min and obtain th optimum condition in 45s. The PL intensity of GaN with SiN mask improved 2 times to that without SiN mask and the carrier concentraion increased from $3.5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ to $1.8 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$. We have thus shown that the SiN mask improved significantly the optical properties of the GaN layer.

Key Words : GaN, SiN mask, MOCVD, PL

1. 서 론

GaN 계 반도체가 light emitting diodes (LEDs), laser diodes (LDs), ultraviolet (UV) detector 그리고 전자소자 제조를 위한 소재로 각광을 받고 있다 [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 줄이기 위해 epitaxial lateral overgrowth (ELO) [4], pendeo epitaxy (PE) [5], selective area growth (SAG) [6] 와 같은 새로운 방법을 연구하였다. TD를 감소시키는 것은 소자의 수명을 길게 하고 소자 특성을 향상 시키기 위해 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 함으로서 GaN의 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 $10^9-10^{11} \text{cm}^{-2}$ 에서 10^7-10^8cm^{-2} 로 감소시킨다고 결론지었다.

본 논문에서는 *in-situ* SiN 마스크를 이용하여 GaN 막을 성장시키고 광학현미경, Hall 측정, photoluminescence (PL) 측정을 통해 물성 연구를 하였다.

2. 실험

GaN 막은 metal organic chemical vapor deposition (MOCVD) 에 의해 성장되었다. GaN 막은 TMGa와 NH_3 를 소스가스로 H_2 를 캐리어 가스로사용하여 성장 압력 200-500torr, 성장온도 1060-1090°C에서 성장하였다. 처음에 sapphire 기판은 H_2 분위기에서 1080°C로 annealing 되었다. 그리고 나서 LT GaN buffer 층을 530°C에서 성장시키고 HT GaN을 성장시키기 위해 1060°C로 온

도를 올렸다. HT GaN을 약 1 μ m 정도 성장 시킨후 얇은 SiN막을 SiH₄와 NH₃ 소스가스와 H₂ 캐리어 가스를 이용하여 800 $^{\circ}$ C, 500torr에서 증착하였다. 이때, SiH₄ 증착 시간을 30초, 45초, 1분, 5분으로 변화하였다. 그 후에 다시 HT GaN 이 광학 현미경 관찰을 위해 6분(\sim 200nm) 동안 재성장 시켰다. 특성 관찰을 위한 완전한 GaN 막을 성장시키기 위해 GaN의 coalescence는 암모니아 양을 증가 시키고 압력을 감소시켜 30분에 달성되도록 하였다. 그림 1에 최종 구조가 나타나있고 표 1에 각 막의 성장 조건이 나타나있다.

SiN 증착 시간에 따른 GaN 표면 형상을 보기 위해 현미경 관찰을 하였다. 전기적인특성과 광학적인 특성 측정을 위해 Hall 측정과 PL측정을 하였다.

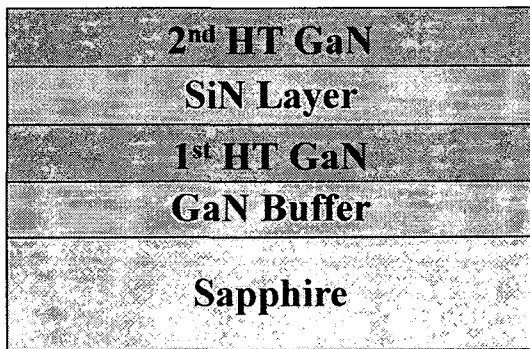


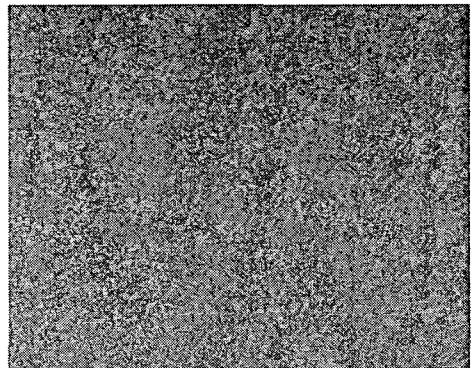
그림 1. SiN 마스크를 삽입한 GaN 구조.

표 1. GaN 와 SiN 성장 조건.

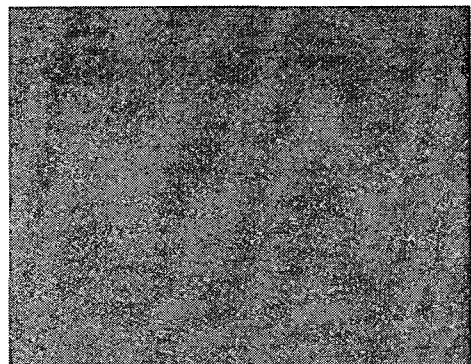
| | 1st GaN | SiN | 2nd GaN |
|-----------------------------------|---------|-----|---------|
| 압력(torr) | 500 | 500 | 200 |
| 온도($^{\circ}$ C) | 1045 | 800 | 1060 |
| TMGa (μ mol/min) | 444 | | 444 |
| SiH ₄ (μ mol/min) | | 16 | |
| NH ₃ (ℓ) | 25 | 2.5 | 30 |

3. 결과 및 고찰

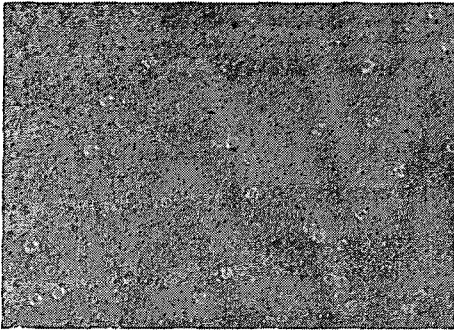
그림 2은 광학 현미경으로 SiN 마스크 증착 시간에 따른 GaN 표면형상을 관찰한 것이다. SiN 증착 시간은 30초, 45초, 1분, 5분으로 변화를 주었다. 표면형상을 관찰하기위해, SiN 증착 후 GaN를 6분(\sim 200nm) 성장 시켰다. 30초를 제외한 모든 증착 시간에서 GaN island 들이 관찰되었다. 45초 경우에(그림 2. (a)), GaN island들이 형성되었고 이웃 island 들과 합체가 진행 되고 있음을 알 수 있다. SiN 마스크에 대한 GaN island 들의 면적비는 대략 44.5% 였다. 1분인 경우에(그림 2. (b)), 대부분의 GaN island 들이 독립적으로 형성 되어 있고 SiN 마스크에 대한 GaN island 들의 면적비는 대략 36%였다. 5분인 경우에 (그림 2. (c)), GaN island 의 밀도는 앞의 두 경우에 비해 크게 감소하였다. SiN 마스크에 대한 GaN island 들의 면적비는 대략 35% 였다. 30초인 경우에는(그림 2. (d)), GaN 표면이 6분에 거의 coalescence가 이루어져 있고 약간의 pitch들이 GaN 표면에 있음을 알 수 있다. 위 경우에 30초는 충분한 SiN 마스크를 생성하기에 부족한 시간으로 판단된다.



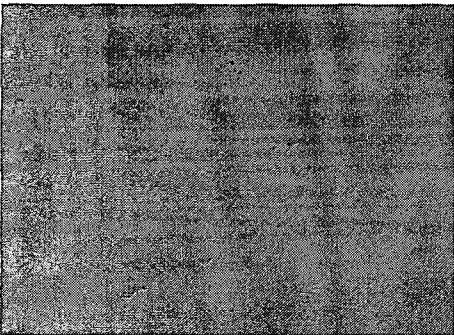
(a) 45초



(b) 1분



(c) 5분



(d) 30초

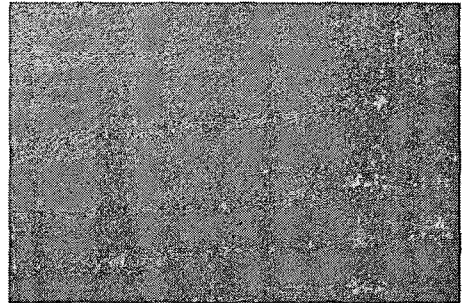
그림 2. SiN 증착 시간에 따른 GaN 표면 형상. (SiN 마스크 위에 GaN 6분 성장, 배율 $\times 1000$)

45초 이상의 증착 샘플에서 30분안에 GaN island 들이 coalescence 되도록 만들기 위해 NH_3 양, 성장 온도와 압력을 조절하였다. 그러나, 온도를 증가 시키면 GaN 표면에 많은 hillock 들이 발생 하였다. 따라서, 압력과 NH_3 양을 변화하여 30분안에 coalescence 가 이루어지도록 하였다. 45초인 경우에 30분안에 coalescence가 이루어 졌지만 1분 이상에서는 coalescence가 진행 되고 있었다. 이 현상은 GaN island의 밀도에 기인한다.

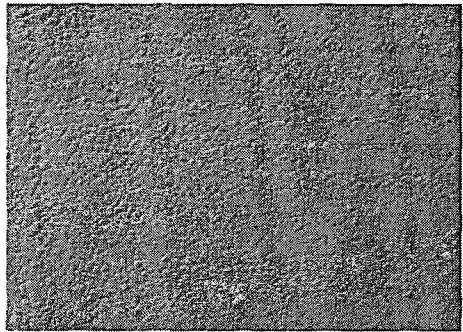
SiN 마스크 위에 재성장한 GaN 막의 특성을 관찰하기위해 45초 증착 샘플 위에 $1\mu\text{m}$ 정도의 GaN 막을 재성장 하고 PL 특성과 Hall 특성을 관찰하였다.

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.



(a) SiN 마스크 삽입하지 않은 샘플



(b) SiN 마스크 삽입 샘플

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

그림 4는 SiN 마스크 삽입하지 않은 샘플과 삽입 한 샘플의 PL 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 막음 으로서 상위 표면에서의 TD 밀도를 감소시키기 때문이다. 즉, TD는 non-radiative center로서 작용함을 알수있다[10]. 그리고 PL FWHM을 보면 SiN 마스크가 삽입하지 않은 샘플은 4.5nm 이고 SiN 마스크가 삽입된 샘플은 6.3nm를 보였다. SiN 마스크 삽입 샘플에서의 FWHM 증가는 완전한 2D 성장 모드에서 성장이 이루어지지 않아서 발생 하는 것으로 판단된다. SiN 증착 이후 GaN 성장방법을 최적화 시키면 FWHM을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

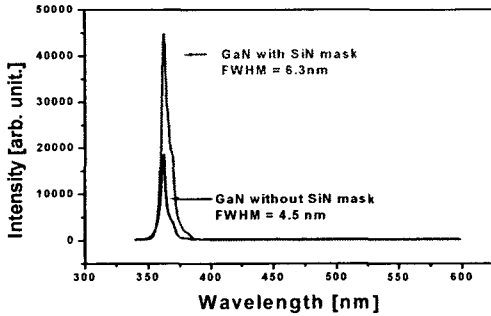


그림 4. SiN 마스크 삽입하지 않은 샘플과 삽입 샘플의 PL 특성.

Hall 측정 결과 SiN 마스크를 삽입하지 않은 샘플의 이동도와 전자 농도는 $270 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, $3.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 이었고 삽입한 샘플에서는 $201 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, $1.8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 이었다. SiN 삽입한 샘플에서 전자 농도의 증가는 불순물들에 혼합에 의한 것이다.

4. 결론

in-situ SiN Mask를 이용하여 GaN 박막을 MOCVD 방법으로 성장하고 그 박막의 특성을 연구하였다. SiN 박막을 성장시간을 30초부터 5분까지 변화하였으며 45초에서 최적의 성장 조건을 얻었다. SiN 박막을 삽입한 GaN 박막의 PL특성은 강도가 2배 정도 향상 되었고 전자 농도는 $3.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 에서 $1.8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 로 증가 하였다. SiN 박막이 GaN의 광학적 특성을 향상 시켜 고휘도 LED 제작에 응용가능하다.

감사의 글

이 논문은 2004년도 원광대학교의 교비 지원에 의해서 수행됨.

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 high 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, "Pendeo-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 SiO₂ Mask by Metalorganic Vapor Phase Epitaxy", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 37, p. L966, 1998.
 [7] H. Lahreche, P. Venngues, 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.