

## RF magnetron sputtering 방법에 의해 Si(100) 기판 위에 성장된 GaN 박막의 특성에 대한 연구

### Charaterization of GaN Films Grown on Si(100) by RF Magnetron Sputtering

이용일\*, 성웅제\*, 박천일\*, 최우범\*, 성만영\*

Yong-Il Lee, Woong-Je Sung, Chun-Il Park, Woo-Beom Choi, Man Young Sung

#### Abstract

In this paper, GaN films have been grown on SiO<sub>2</sub>/Si(100) substrates by RF magnetron sputtering. To obtain high quality GaN films, we used ZnO buffer layer and modified the process conditions. The characteristics of GaN films on RF power, substrate temperature and Ar/N<sub>2</sub> gas ratio have been investigated by Auger electron spectroscopy and X-ray diffraction analysis. At RF power 150W, substrate temperature 500 °C and Ar/N<sub>2</sub> =1:2 gas ratio, we could grow high quality GaN films. Through the atomic force microscope and photoluminescence analyses, it was observed that the crystallization of GaN films was improved with increasing annealing temperature and the optimal crystallization of GaN films was found at 1100 °C annealing temperature.

**Key Words** : GaN films, RF magnetron Sputtering, XRD Analysis, PL spectra, Crystallization

#### 1. 서론

III/V족 화합물인 GaN은 큰 직접 밴드 갭과 열전도성을 가지고 있기 때문에, 최근 들어 GaN의 청색광 LED 소자와 고전력 전기 소자로의 응용 가능성에 대한 관심이 높아지고 있다<sup>[1,2]</sup>. 특히 청색광을 내는 LED 소자의 제작은 광전자 소자 개발에 있어서 최대 관심이 되고 있다. 하지만 적절한 III족 nitride 단일 결정 기판의 부족으로 인해, GaN를 이용한 소자 개발을 위해서는 heteroepitaxy가 필수적이다<sup>[3,4]</sup>. 이중 열역학적으로 안정된 육방정계 GaN를 얻을 수 있는 사파이어 기판이 많이 사용되고 있으며 이미 사파이어 기판 위에 성장된 GaN를 통해 청색광을 내는 LED가 만들어지고 있는 실정이다. 하지만 사

파이어 기판의 고가에 따른 경제성 문제로 인해, 저가의 Si 기판을 이용한 청색광 LED 개발이 초점이 되고 있다<sup>[5]</sup>. 현재 가장 많이 사용되는 GaN 박막 증착 방법으로는 MOCVD(Metal Organic Chemical Vapor Deposition), MBE(Molecular Beam Epitaxy) 그리고 스퍼터링법이 있다<sup>[5]</sup>. 이들 각 증착법중, 스퍼터링법은 MOCVD와 MBE에 비해 저온 공정이 가능하고 대면적화 할 수 있어 실제 GaN 박막을 이용한 소자 양산에 보다 적합한 공정이라 사료된다.

본 논문에서는 RF magnetron 스퍼터링법에 의하여 SiO<sub>2</sub>/Si 기판 위에 c축으로 배향된 GaN 박막의 증착 조건 및 열처리 온도에 따른 GaN 박막의 특성 해석을 통해 최적 조건을 도출하였으며, 이로부터 저가 LED 소자로의 응용 가능성을 타진해 보았다.

\* 고려대학교 전기공학과 반도체 CAD 연구실  
서울 성북구 안암 5가 고려대학교  
Fax: 02-921-0544  
E-mail : semicad@korea.ac.kr

#### 2. 실험 방법 및 측정

본 실험에서는 SiO<sub>2</sub>/Si(100) 기판 위에 버퍼 층으

로 ZnO 박막을 성장시킨 후 GaN를 증착시켰다. ZnO 박막의 경우 여러 공정 조건으로 실험을 진행한 결과, RF power 70W, 기판온도 240 °C, 증착시간 30분, Ar/N<sub>2</sub> 가스비 1:2의 증착 조건이 GaN 박막 특성에 가장 좋은 영향을 미치는 것으로 조사되었다. GaN 박막 증착의 경우, 증착 조건에 따른 GaN 박막의 영향성을 알아보기 위해서 RF power와 기판온도, 증착 시간 그리고 Ar/N<sub>2</sub> 가스비를 각각 100W/250W, 300 °C/500 °C, 2시간/3시간, 2:1/1:2로 변화시켜 증착하였다. ZnO 박막과 GaN 박막에 대한 전반적인 증착 조건을 표 1과 2에 각각 나타내었다. ZnO와 GaN 타겟은 모두 순도 4N(99.99%) 4 inch 타겟을 이용하였다. 기판을 홀더에 장착하기전 표면의 유기물 형태의 불순물을 제거하기 위하여 아세톤, 알콜, 탈 이온수 순으로 초음파 세척기에서 각각 5분간 세척한 후 고순도의 질소 가스로 건조시켰다. 그리고 타겟 표면에 형성된 불순물과 초기 불안정한 상태의 플라즈마를 안정화시키기 위해 셔터를 닫은 상태에서 각각 10분씩 pre-sputtering을 하였다. 여기서 SiO<sub>2</sub>층은 Si 기판과 ZnO 박막의 흡착을 증진시키고 열처리에 따른 열적 안정성을 좋게 하며 1 μm의 두께로 열산화 방법으로 성장하였다. ZnO 버퍼

층은 SiO<sub>2</sub>와 GaN의 부정합률을 줄이기 위해 사용되었고 두께는 500 Å이다.

증착 조건에 따른 GaN 박막 조성 변화와 깊이에 따른 profile은 AES(Auger Electron Spectroscopy) 분석을 통해 살펴보고, XRD(X-Ray Diffraction) 분석을 통해 성장된 GaN 박막의 결정성을 확인할 수 있었다. 또한 AFM(Atomic Force Microscope) 분석을 통해 열처리 온도 변화에 따른 GaN 박막의 표면 거칠기와 결정의 크기 변화를 알아보았다. 마지막으로 열처리 온도 변화에 대한 GaN 박막의 상온 PL(Photoluminescence) 스펙트럼 분석을 통해 성장된 GaN 박막의 결정성의 변화를 확인하고 이를 통해 우수한 결정성을 가진 GaN 박막을 증착시킬 수 있는 최적 조건을 도출하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 증착 조건에 따른 GaN 박막의 특성 변화

그림 1은 AES 분석을 통해 증착변수에 따른 GaN 박막 조성 변화를 나타낸 것이다. 시편 1의 경우는 RF power 100W, 기판온도 300 °C, Ar/N<sub>2</sub> 가스비 2:1의 증착 조건에서 GaN 박막이 성장되었으며, 시편 2는 RF power 150W, 기판온도 500 °C, Ar/N<sub>2</sub> 가스비 1:2로 GaN 박막을 증착시켰다. 그림 2는 시편 1과 2에 대해 GaN 박막의 깊이에 따른 조성 변화를 조사한 AES depth profile을 보여주고 있다. 시편 2는 시편 1에 비해 O의 농도가 줄고 N과 Ga의 농도가 상대적으로 많이 증가한 것을 관찰할 수가 있는데, 이것은 기판온도의 상승으로 인해 챔버내에 있던 잔여 수분이 증발해 O의 농도가 감소하여 Ga의 농도가 증가하였으며, N<sub>2</sub> 가스 유량의 증가로 N의 농도가 증가한 것으로 사료된다. 이를 통해 RF power 150W, 기판온도 500 °C, Ar/N<sub>2</sub> 가스비 1:2로 성장시킨 GaN 박막이 보다 좋은 조성비를 가지고 성장되었음을 확인할 수 있었다. 또한 시편 2의 증착 조건으로 성장시킨 GaN 박막이 기판에 대해 수직인 c축의 결정 방향으로 배향하고 있는지를 확인하기 위하여 XRD 회절 분석을 사용하였다. 그림 3은 위의 조건으로 성장시킨 GaN 박막에 대한 XRD spectra를 보여주고 있다. GaN 박막의 결정성은 XRD 분석 결과에서 알 수 있듯이 기판에 수직인 GaN(0002) 회절피크가 2θ=34.53에서 관찰되고 있다. 이를 통해서 우리는 RF power 150W, 기판온도 500 °C, Ar/N<sub>2</sub> 가스비 1:2의 증착 조건으로 GaN 박막을 증착시켰을 때 기판으로부터 c축으로 배향된 GaN 박막을 성장시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

표 1. ZnO 박막 증착 조건

Deposition Parameters	Condition
RF Power	70W
Substrate Temperature	240 °C
Deposition Time	16 A/min
Ar/O <sub>2</sub> Gas Ratio	1:1
Base Pressure	3×10 <sup>-3</sup> torr
Working Pressure	6×10 <sup>-3</sup> torr

표 2. GaN 박막 증착 조건

Deposition Parameters	Condition
RF Power	100W, 250W
Substrate Temperature	300 °C, 500 °C
Deposition Time	25 A/min
Ar/N <sub>2</sub> Gas Ratio	2:1, 1:2
Base Pressure	3×10 <sup>-3</sup> torr
Working Pressure	6×10 <sup>-3</sup> torr

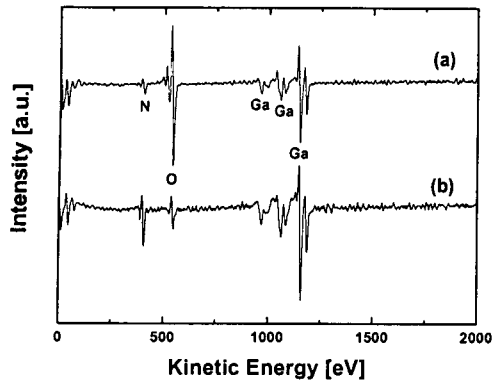


그림 1. 증착 조건에 따른 GaN 박막 조성의 변화 : (a) 시편 1(RF power 100W, 기판온도 300 °C, Ar/N<sub>2</sub> 가스비 2:1), (b) 시편 2(RF power 150W, 기판 온도 500 °C, Ar/N<sub>2</sub> 가스비 1:2)

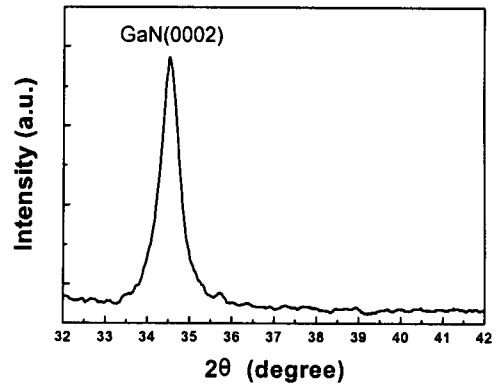
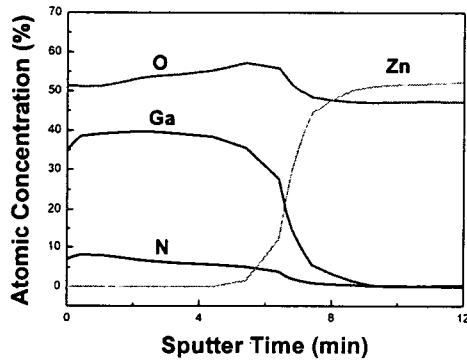


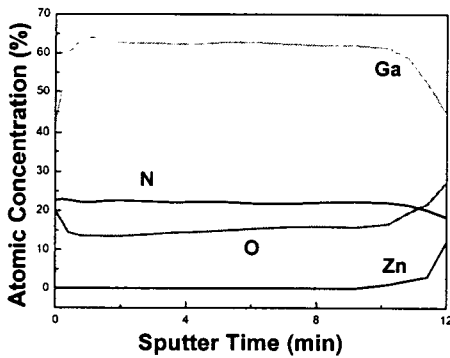
그림 3. RF power 150W, 기판온도 500 °C, Ar/N<sub>2</sub> 가스비 1:2로 성장시킨 GaN 박막의 XRD spectra

### 3.2 열처리 온도 변화에 따른 GaN 박막의 특성 변화

열처리 온도 변화에 따른 GaN 박막의 결정 크기의 변화와 표면 거칠기를 알아보기 위해 700 °C, 900 °C, 1100 °C에서 각각 3시간씩 N<sub>2</sub> 분위기에서 열처리를 된 시편에 대한 AFM 분석을 시행하였다. 그림 4는 열처리 온도 변화에 따른 GaN 박막의 표면의 AFM 형상을 보여주고 있으며, 그림 5는 AFM 분석을 통해 조사된 온도 변화에 따른 표면 거칠기



(a)



(b)

그림 2. GaN 박막의 깊이에 따른 AES profile의 변화 : (a) 시편 1, (b) 시편 2

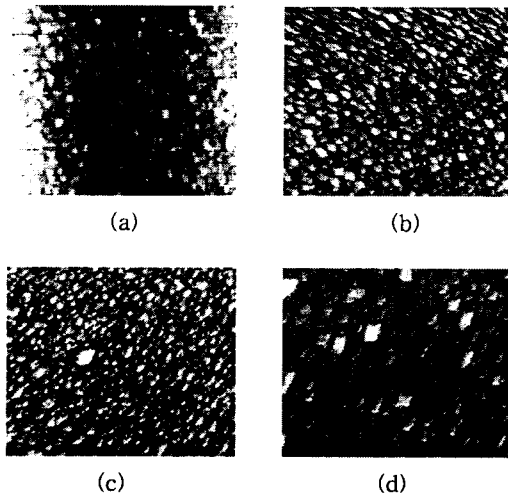


그림 4. 열처리 온도 변화에 따른 GaN 박막 표면의 AFM 형상 : (a) as-deposited, (b) 700 °C 열처리, (c) 900 °C 열처리, (d) 1100 °C 열처리

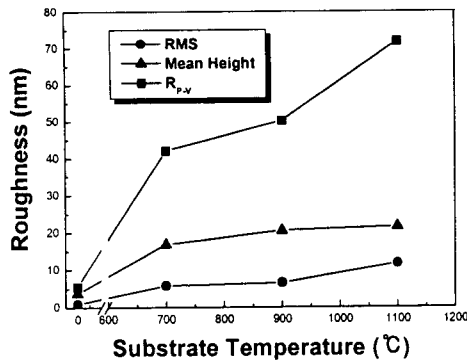


그림 5. 열처리 온도 변화에 따른 GaN 박막의 표면 거칠기 변화

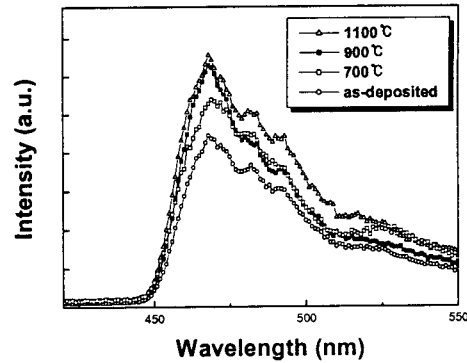


그림 6. 열처리 온도 변화에 따른 GaN 박막의 PL 특성 : (a) as-deposited, (b) 700 °C 열처리, (c) 900 °C 열처리, (d) 1100 °C 열처리

변화를 종합적으로 나타내고 있다. 그림 4에서 알 수 있듯이 열처리 온도가 증가할수록 GaN 박막 결정의 크기가 점점 커지고 있으며 열처리 온도 1100 °C에서 GaN 박막 결정의 크기가 가장 크게 되었다. 이는 열처리 과정을 통해 GaN 박막의 결정립 크기(grain size)가 커지게 되어 결국 GaN 박막의 결정성(crystallization)이 우수해진 것으로 사료된다. 그림 5를 살펴보면 열처리 온도가 증가할수록 결정립 크기 증가에 따른 표면 거칠기가 증가하고 있음을 알 수 있다. 이것은 열처리 온도가 증가할수록 GaN 박막의 결정이 커지게 되어 결정의 평균 높이와 peak-to-valley가 역시 증가하게 되고, 이로 인해 표면 거칠기가 증가한 것으로 사료된다. 그림 6은 열처리 온도 변화에 따른 GaN 박막의 PL spectra를 보여주고 있다. 열처리 온도가 증가할수록 GaN 박막의 PL 피크가 더 커지고 FWHM이 작아지는 것을 확인할 수 있는데, 이를 통해서 열처리 온도의 증가로 인해 GaN 박막의 결정성이 더 우수해졌다는 사실을 보여주는 것으로 AFM 분석 결과와도 일치한다.<sup>[6]</sup> 결국 1100 °C에서 열처리한 GaN 박막이 가장 우수한 결정성을 가짐을 확인할 수 있다.

#### 4. 결론

본 실험에서는 RF magnetron sputtering법에 의해서 SiO<sub>2</sub>/Si 기판 위에 우수한 결정성을 가진 GaN 박막을 증착하기 위해 증착 조건과 열처리 온도를 변화시켜가며 최적 조건을 도출하였다. AES와 XRD 분석을 통해 RF power 150W, 기판온도 500 °C, 증착시간 3시간, Ar/N<sub>2</sub> 가스비 1:2 조건에서 양질의 결

정성을 가진 GaN 박막이 성장되었음을 확인할 수가 있었다. 또한 AFM과 PL 분석을 통해 1100 °C에서 열처리를 할 경우, GaN 박막의 결정성이 가장 우수해짐을 알 수 있었다. 이로써 상술한 조건에서 증착, 열처리한 GaN 박막은 사파이어 기판과 비교해 상대적으로 값이 싼 실리콘 기판을 이용한 저가 LED 소자 제작에 응용될 수 있는 것으로 사료된다.

#### 참고 문헌

- [1] S. Nakamura, G. Fasol, *The Blue Laser Diode-GaN based Light Emitters and Lasers*, Springer, Heidelberg, 1997.
- [2] S. Nakamura, M. Senoh, S.I. Nagahama, N. Iwasa, T. Yamada, T. Matsushita, H. Kiyoku, Y. Sugimoto, T. Kozaki, H. Umemoto, M. Sano, K. ChoCho. *Appl. Phys. Lett.* 72 (1998) 2014.
- [3] H. Liu, A.C. Vrenkel, J.G. Kim, R.M. Park, *J. Appl. Phys.* 74 (1993) 6124.
- [4] M.J. Paisley, Z. Sitar, J.B. Posthill, R.F. Davis, *J. Vac. Sci. Technol. A* 7 (1989) 701.
- [5] S. Guha, N.A. Bojarczuk, *Electronics Lett.* 6th(1997) Vol. 33 No. 23
- [6] J. Aranovich, A. Armano and R. Bube, *J. Vac. Sci. Technol.*, 16. 994, 1979.
- [7] W. Kim, O. Aktas, A. Salvador, A. Botchkarev, B. Sverdlov, S. N. Mohammad, H. Morkoc. *Solid-State Electronics* Vol. 41. No. 2. pp. 169-175, 1997