

ZnO Intermediate Layer가 GaN 박막의 PL 특성에 미치는 영향 연구

Study of the Effects of ZnO Intermediate Layer on Photoluminescence Properties of Magnetron Sputtering Grown GaN Thin Films

성웅제*, 이용일, 박천일, 최우범, 성만영

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

Abstract

GaN thin films on sapphire were grown by rf magnetron sputtering with ZnO buffer layer. The dependence of GaN film quality on ZnO buffer layer was investigated by X-ray diffraction(XRD). The improved film quality has been obtained by using thin ZnO buffer layer. Using Auger electron spectroscopy(AES), it was observed that the annealing process improved the GaN film quality. The surface roughness according to the annealing temperatures(700, 900, 1100°C) were investigated by AFM(atomic force microscopy) and it was confirmed that the crystallization was improved by increasing the annealing temperature. Photoluminescence at 8K shows a near-band-edge peak at 3.2eV with no deep level emission.

Key Words : GaN thin film, ZnO buffer layer, rf magnetron sputtering, X-ray diffraction, AES, AFM, PL

1. 서론

GaN는 청색과 UV 스펙트럼 영역에서 동작하는 광전자 소자(optoelectronic devices)에 응용 가능한 직접 천이형 wide bandgap 반도체이다. Si, GaAs, 그리고 그 합금을 이용한 전기 소자는 일상 생활에서 매우 광범위하게 사용되고 있지만 고온과 부식성의 환경에서는 정상적인 작동을 기대하기 어렵다. 그러나 GaN와 같은 III-V족 nitrides계 반도체를 이용하면 이러한 결점을 극복할 수 있고 항공 우주산업과 전력용 반도체 분야에 응용 가능하다[1]. 그러나 GaN를 성장시키기 위한 적절한 기판이 없다는 기술적인 문제가 GaN 연구에 장애물이 되었다. 현

재까지 가장 적합한 기판 물질로 사파이어가 널리 쓰여왔다. GaN 박막을 사파이어 기판 위에 직접 성장시킬 경우 기판과 GaN 사이의 큰 격자 부정합(약 14%)과 화학적 부동성(dissimilarity)과 같은 문제로 양질의 GaN 박막을 얻을 수 없다[2]. 이러한 문제는 버퍼층을 도입함으로써 해결할 수 있는데 그 중 대표적인 것으로 ZnO가 있다. ZnO는 GaN와 그 물리적인 성질이 매우 비슷하고 사파이어를 기판으로 할 경우 기판과의 격자 부정합이 2% 정도로 매우 작기 때문에 GaN를 성장시킴에 있어서 ZnO 버퍼층을 도입하면 사파이어 기판 위에 직접 증착하는 것보다 우수한 결정성을 가진 매끄러운 표면의 GaN 박막을 얻을 수 있다. GaN의 일반적인 성장 방법은 MOCVD(Metal Organic Chemical Vapor Deposition)와 MBE(Molecular Beam Epitaxy)이다. 이들 방법을 이용하면 증착속도는 빠르나 고온에서 증착이 이루어지는 단점이 있다. 간단하고도 쉽게 접할 수 있

* 고려대학교 전기공학과 반도체 및 CAD 연구실
(서울특별시 안암동 고려대학교,
Fax: 02-921-0544
E-mail : sungfly@unitel.co.kr)

는 rf 마그네트론 스퍼터링 방법으로 박막을 증착하면 저온에서 공정이 가능하기 때문에 표면 평활도가 우수한 조밀한 박막을 얻을 수 있다[3]. 본 연구에서는 rf 마그네트론 스퍼터링 방법으로 사파이어 기판 위에 ZnO 버퍼층과 GaN 박막을 증착하였으며 공정조건에 따른 GaN 박막의 특성 분석을 통해 양질의 GaN 박막이 형성되었음을 확인할 수 있었다.

2. 실험

Rf 마그네트론 스퍼터링 장치를 이용하여 사파이어 기판 위에 ZnO 버퍼층과 GaN 박막을 성장시켰다. 사파이어 기판을 홀더에 장착하기 전 표면의 유기불순물을 제거하기 위해 T.C.E, 아세톤, 메탄올, 탈이온수에서 각각 5분씩 초음파 세척하고 고순도 질소 가스로 건조시켰다. 기판을 장착한 후 챔버내 불순물을 최대한 제거하기 위해 로터리 및 확산 펌프로 3×10^{-5} Torr 정도의 압력을 유지시킨 후 아르곤, 산소, 질소 등의 가스 비율을 변화시키면서 증착시 압력을 6×10^{-3} Torr 정도로 유지했다. 기판과 타겟간의 거리는 8cm로 고정시키고 기판 온도는 ZnO, GaN 증착시 각각 240℃, 500℃를 유지시켰다. 스퍼터링 전 타겟 표면의 불순물이 기판에 영향을 주는 것을 막고 플라즈마를 안정화시키기 위하여 shutter를 닫아 타겟과 기판을 분리시킨 후 10분간 pre-sputtering하였다. 얇은 ZnO 버퍼층을 얻기 위해 ZnO 증착시의 rf power는 70W로 유지하였으며, 400nm 정도의 GaN 박막 증착을 위해 GaN 증착시에는 150W의 power로 스퍼터링하였다. ZnO 버퍼층과 GaN 박막의 증착 조건을 표 1에 나타내었다. 증착후에 X-ray diffraction(XRD) 분석을 통해서 ZnO 버퍼층의 필요성을 알아보고 AES(Auger electron spectroscopy)와 AFM(Atomic force microscopy) 그리고 PL(Photoluminescence) 분석을 통하여 GaN 박막의 결정성을 분석해 보았다.

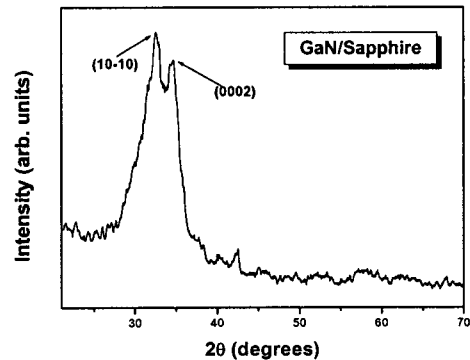
	ZnO	GaN
Target	4" 4N	4" 4N
Substrate temperature	240℃	500℃
Target-Sub distance	8cm	8cm
Rf power	70W	150W
Gas ratio	Ar:O ₂ =1:1	Ar:N ₂ =1:2
Initial pressure	3×10^{-5} Torr	3×10^{-5} Torr
Working pressure	6×10^{-3} Torr	6×10^{-3} Torr

표 1 - ZnO 버퍼층과 GaN 박막의 증착 조건

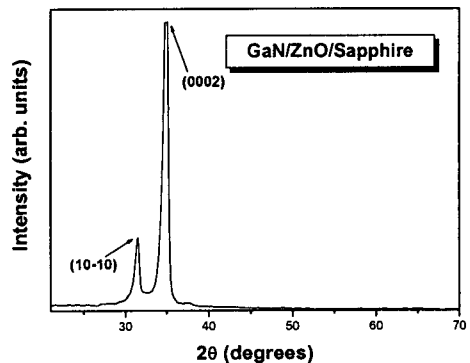
3. 결과 및 토의

3.1 ZnO 버퍼층의 영향

GaN 박막을 사파이어 기판 위에 성장시킴에 있어서 ZnO 버퍼층의 필요성을 알아보기 위하여 XRD를 사용했다. 그림 1에서 다결정 육방정계 GaN(10-10), (0002)면의 XRD 회절 peak를 관찰할 수 있는데, 그림 1(b)에서 GaN (0002)면에 의한 FWHM이 0.78°로 ZnO 버퍼층 없이 성장된 GaN 박막에 비해 7배 정도 작은 값을 가지며 GaN(0002)면의 회절 peak가 다른 peak에 비해 매우 두드러진 것을 보아 ZnO 버퍼층을 도입함으로써 우수한 결정성을 가진 육방정계 GaN가 형성되었음을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 1. GaN 박막의 XRD 패턴

(a) 사파이어 기판 위에 직접 성장시킨 GaN 박막

(b) ZnO 버퍼층을 둔 GaN 박막

ZnO 버퍼층을 도입하여 우수한 결정성을 갖는 GaN 박막을 얻기 위한 주요한 성장 파라미터중 하나는 버퍼층의 두께 변화이다. 일반적으로 ZnO 버퍼층은 얇게 성장시키는데 이는 버퍼층이 두꺼우면 표면 거칠기가 커져 그 위에 GaN 박막을 올릴 경우 갈라지거나 벗겨지기 때문이다[4]. 그림 2에서 30nm 두께의 얇은 ZnO 버퍼층과 400nm 두께의 두꺼운 ZnO 버퍼층의 AFM 이미지를 나타내었다. 얇은 ZnO 버퍼층과 두꺼운 ZnO 버퍼층의 rms 표면 거칠기는 각각 11.4Å와 74.3Å로 얇은 버퍼층의 표면이 훨씬 부드러운 평활도를 가짐을 알 수 있다. 실제로 두 버퍼층에 GaN 박막을 올린 결과 두꺼운 ZnO 버퍼층을 사용한 GaN 박막은 부분적으로 또는 완전히 벗겨짐을 확인할 수 있었다.

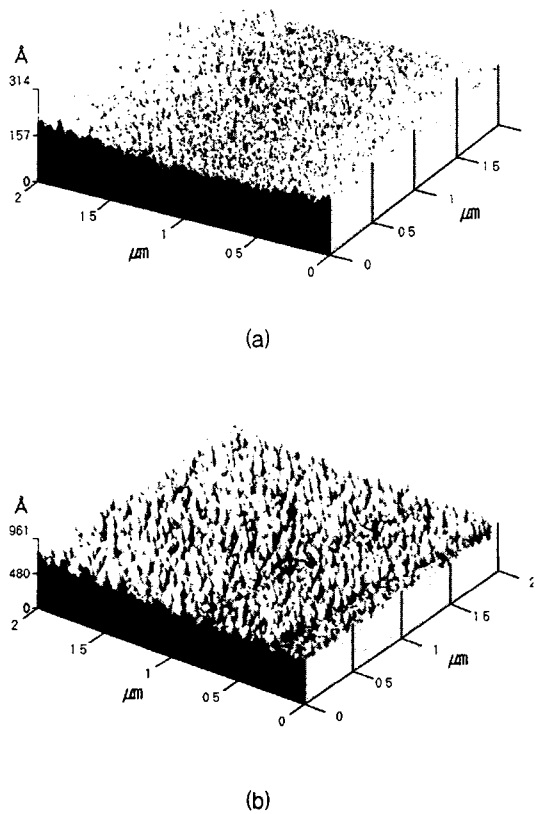


그림 2. ZnO 버퍼층의 AFM 이미지
 (a) 30nm 두께의 얇은 ZnO 버퍼층
 (b) 400nm 두께의 두꺼운 ZnO 버퍼층

3.2 GaN 박막의 성장과 열처리 효과

GaN 박막을 성장시킴에 있어서 Ar:N₂ 가스비와 기판온도는 주요한 파라미터로 작용한다. Ar에 대한 N₂ 가스의 비율을 작게 하면 증착속도는 빠르지만 화학량론적(stoichiometric)인 박막을 얻을 수 없고 기판온도를 낮게 하면 챔버내 상당량의 O₂의 영향을 무시할 수 없으며 결국 O₂가 GaN 박막에 흡착되어 질소의 빈자리 혹은 격자간에 자리잡게 된다. Ar:N₂=1:2, 기판온도 500°C에서 GaN 박막을 증착한 결과 Ga:N:O=36:4:60으로 비화학량론적인 박막이 형성되었음을 확인하고 화학량론적인 GaN 박막을 얻기 위하여 증착조건을 최적화하려 하였다. Ar:N₂=1:2, 기판온도 500°C에서 성장시킨 GaN 박막의 AES depth profile을 그림 3에 나타내었고 Ga:N:O=50:18:32로 비교적 화학량론적인 박막이 형성되었음을 확인할 수 있다.

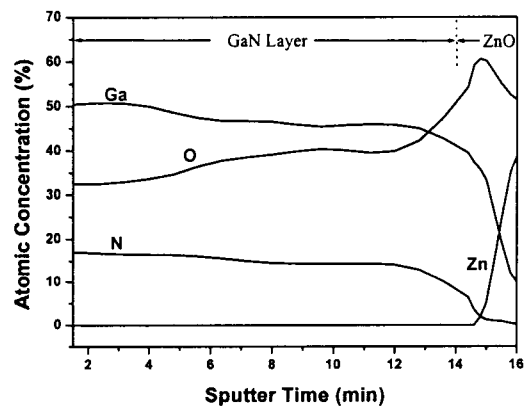


그림 3. As-deposited GaN 박막의 AES profile

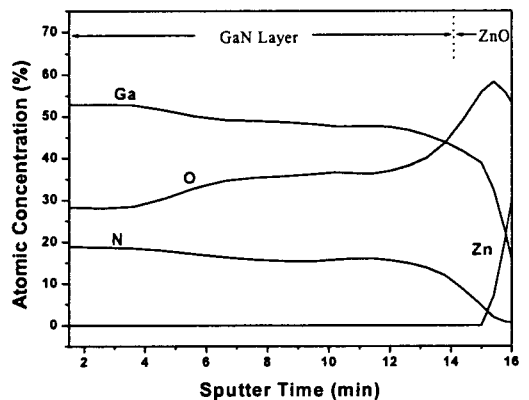


그림 4. 700°C 열처리 후의 GaN 박막의 AES profile

그림 4는 성장된 GaN 박막을 700°C, N₂분위기에서 3시간동안 열처리한 후의 AES depth profile을 나타낸다. 열처리 후에 O비율이 감소하고 N비율이 증가했음을 알 수 있는데 이는 열처리 과정을 통하여 격자간 산소가 방출되고 질소의 빈자리를 새로운 N₂ 원자가 채워주기 때문이다. 또한 깊이에 따라 산소비가 커지는 것은 ZnO 버퍼층의 O가 GaN쪽으로 확산되었기 때문일 것으로 사료된다. 스퍼터링은 고에너지를 가진 입자가 타겟으로부터 기판에 증착되는 과정이므로 열처리를 통하여 박막을 구조적으로 안정화시켜야 한다. 열처리 온도에 따른 GaN 박막의 결정화 여부를 알아보기 위하여 GaN 박막을 700, 900, 1100°C에서 열처리하였다. 이에 따른 AFM 이미지를 그림 5에 제시하였고 열처리 온도를 높일수록 GaN 박막의 결정화가 두드러짐을 확인할 수 있다. 그림 6에서 1100°C에서 열처리한 GaN 박막의 저온(8K) PL 스펙트럼을 보여주었고 3.2eV 정도의 near-band-edge peak를 관찰할 수 있다.

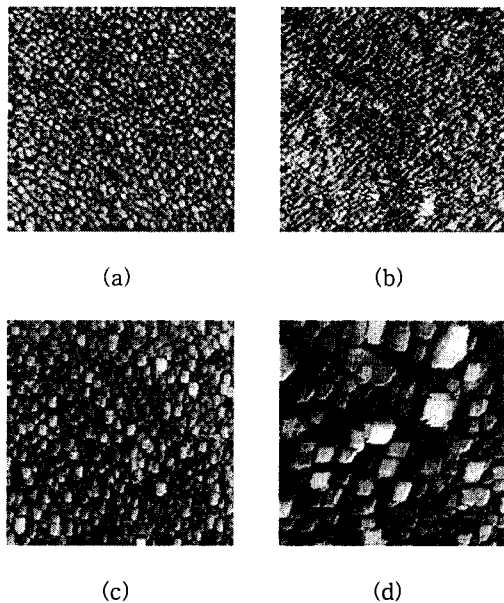


그림 5. 열처리 온도에 따른 AFM 이미지
 (a) As-deposited (b) 700°C
 (c) 900°C (d) 1100°C

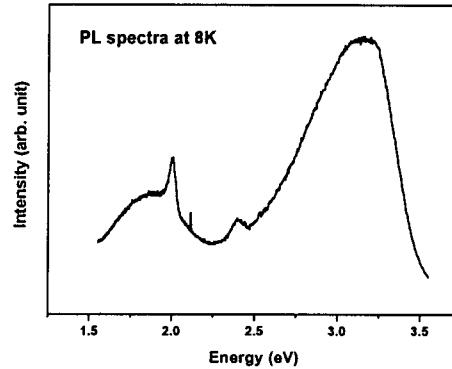


그림 6. GaN 박막의 PL spectrum

4. 결론

Rf 마그네트론 스퍼터링 방법으로 사파이어 기판 위에 GaN 박막을 성장시켰다. XRD 분석을 통해 육방정계 GaN(0002)면의 성장을 확인하였으며 ZnO 버퍼층을 도입함으로써 사파이어 기판 위에 직접 성장시키는 것보다 결정성이 우수한 GaN 박막을 얻을 수 있는 것으로 조사되었다. AES 분석으로 화학량론적인 박막 형성을 위한 열처리의 필요성을 확인한 후 AFM 분석으로 열처리 온도가 높을수록 양질의 GaN 박막형성이 가능함을 알 수 있었다. PL 분석을 통해 3.2eV 정도의 near-band-edge peak이 관찰된 것으로 미루어 rf 마그네트론 스퍼터링 방법으로 광학적 성질이 우수한 GaN 박막을 성장시킬 수 있음을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] S. N. Mohammad, "Emerging Gallium Nitride Based Device", Proceedings of the IEEE, pp1305-1355, vol. 83, No. 10, October 1995
- [2] Jacques I. Pankove, "Gallium Nitride(GaN) I", Semiconductors and Semimetals vol 50
- [3] Nahlah Elkashef, "Sputter deposition of gallium nitride films using a GaAs target", Thin Solid Films, pp9-12, 1998
- [4] T. F. Huang, "Growth and Effects of Single-Crystalline ZnO Buffer Layer on GaN Epitaxy", 1998 IEEE, pp11-14.