

R. F. Sputter법으로 성장된 AlN 완충층이 GaN 박막결함에 미치는 영향

Effect of AlN Buffers by R. F. Sputter on Defects of GaN Thin Films

이민수^{1,a}
(Min-Su Yi^{1,a})

Abstract

The crystal structure of the GaN film on the AlN buffer layer grown by R. F. sputtering with different thickness has been studied using X-ray scattering and transmission electron microscopy(TEM). The interface roughness between the AlN buffer layer and the epitaxial GaN film, due to crossover from planar to island grains, produced edge dislocations. The strain, coming from lattice mismatch between the AlN buffer layer and the epitaxial GaN film, produced screw dislocations. The density of the edge and screw dislocation propagating from the interface between the GaN film and the AlN buffer layer affected the electric resistance of GaN film.

Key Words : AlN buffer layer, GaN film, R.F sputter, Dislocation, X-ray scattering

1. 서 론

최근 10년 동안 III-V족 물질은 단파장 발광다이오드에 쓰이는 물질로서 각광 받고 있다. 특히 GaN는 넓은 직접 band gap, 빠른 전자 이동속도, 고온에서의 안정성 등 여러 가지 우수한 물리적 특성으로 인하여 발광 다이오드 이외에도 고주파 소자, 고속 전기 소자 등에 이용 가능성이 연구되었다[1-3]. 사파이어 기판 위에 소자로서 적합한 양질의 GaN 박막을 성장시키기 위해서는 기판과 박막사이의 격자 불일치와 열팽창 계수의 차이를 줄여주는 완충층을 반드시 성장 시켜야 한다. 양질의 박막 성장에 최적화된 완충층에 관한 연구는 박막 성장 초기 연구에 많은 연구진들에 의해서 진행되었다[4-6].

본 연구에서는 R. F. sputter법으로 성장된 AlN

박막이 두께에 따라 격자 상수와 표면의 거칠기가 변화됨을 이용하였다. AlN 완충층과 GaN 박막사이의 격자 불일치도와 계면의 거칠기가 GaN 박막에 미치는 영향을 X-ray 산란 방법과 전자투과 현미경을 이용하여 박막의 결정성과 칼날 전위와 나선 전위의 밀도에 미치는 영향을 비교 분석하였다.

2. 실험 방법

완충층으로 사용되는 AlN 박막은 R. F. sputter법을 이용하여 기판 온도가 300 °C로 유지되는 사파이어(0001) 기판 위에 증착되었다. 타겟은 순수 알루미늄(99.999 %)을 이용하였으며, Carrier 기체로는 순수 질소를 이용하였다. 박막의 성장시 불순물에 의한 오염을 최소화하기 위하여 챔버내의 진공도를 3×10^{-6} Torr로 유지하였고, 증착시 챔버내 진공도는 5×10^{-3} Torr로 하였다. 증착시 R. F. 파워는 50 W로 고정하였다. AlN 완충층의 두께는 113, 218, 355 Å으로 성장하였다. AlN 완충층의 두께는 X-ray reflectivity 측정하여 데이터의 주기로서 확인하였다. 성장된 AlN 완충층을 Emcore

1. 국립상주대학교 신소재공학과
(경북 상주시 가장동 386)

a. Corresponding Author : msysi@sangju.ac.kr

접수일자 : 2004. 2. 16

1차 심사 : 2004. 3. 4

심사완료 : 2004. 3. 18

회사에서 만든 금속 유기물 화학 증착(MOCVD)법을 이용하여 기판을 1020 °C로 가열, 30분간 GaN 박막을 성장시켰다. 증착시 Trimethylgallium (TMGa)과 암모니아를 각각 106.4 $\mu\text{mol}/\text{min}$ 과 850 sccm씩 흘리면서 성장하였다.

증착 되어진 GaN 박막의 결정성을 측정하기 위하여 포항 방사광가속기의 5C2(K-JIST) 빔라인을 이용하여 X-선 산란을 실행하였다. 방사광 X-선의 에너지는 이중결정 단색화 장치(double crystal monochromator)의 실리콘(111)면을 이용하여 9 KeV로 고정하였다. TEM을 이용하여 증착이 완료된 박막안에 AlN 완충층이 파괴되지 않고 있음을 측정하였다. X-선 산란과 TEM을 이용하여 성장된 박막의 전위 밀도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

AlN 완충층의 두께에 따른 영향을 연구하기 위하여 R. F. sputter법을 이용하여 같은 조건 하에 시간을 달리하여 AlN 핵성층을 성장시켰다. 그림 1(a)-(c)는 X-선 reflectivity($q=4\pi\sin(2\theta/2)/\lambda$)을 낮은 각도에서 측정한 결과이다. AlN 완충층의 두께는 X-선 산란 강도의 주기의 간격($d=2\pi/\Delta q$)으로 계산한다. AlN 완충층은 113, 218, 355 Å의 두께로 성장하였다. 완충층의 표면 거칠기를 측정하기 위하여 Born 근사식을 이용하여 X-선 산란의 결과를 맞춘 결과를 실선으로 나타내었다. 완충층의 두께가 증가함에 따라 표면의 거칠기는 1.6, 3, 3.4 Å로 증가하였다. 이러한 표면 거칠기의 증가는 두께가 증가함에 따라 2D 모양의 결정립(Grain)들이 3D 모양인 섬의 형태로 바뀌기 때문에 나타나는 것이다[7].

사파이어 위에 성장시킨 AlN 완충층은 기판과 AlN 완충층 사이의 격자 불일치에 의해서 격자 상수가 변형된다. 그림 2는 격자 상수의 변형 정도를 측정하기 위해 X-선 산란의 Bragg reflection을 실시하여 얻은 격자 상수이다. 완충층에 수직인 방향의 격자 상수(Filled circle)는 실험을 통하여 측정하였으며, 수평인 방향의 격자 상수(Open circle)는 탄성이론에 의해서 계산하였다. 두께가 증가함에 따라 AlN 완충층의 격자상수가 물질이 가지는 고유의 값으로 변화함을 알 수 있다. 완충층의 두께가 증가함에 따라 GaN 박막과 완충층의 격자 상수의 차이는 6.9 %, 3.7 % 2.5 %로 감소하며, 완충층위에 성장되어진 GaN 박막의 격자 상수는

GaN bulk의 격자 상수와 비교하여 113 Å 완충층을 사용한 경우 0.2 %의 격자 상수 차이를 보이고, 218, 355 Å의 경우 격자 상수의 차이가 발생하지 않았다.

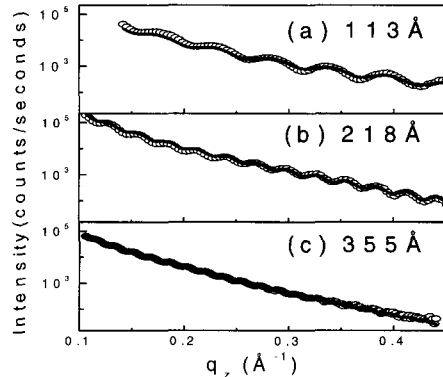


그림 1. X-선 reflectivity 결과. 실선은 Born 근사를 이용한 시뮬레이션 결과.

Fig. 1. X-ray reflectivity profiles. The solid lines are the results of fits using the born approximation to fit the reflectivity curve.

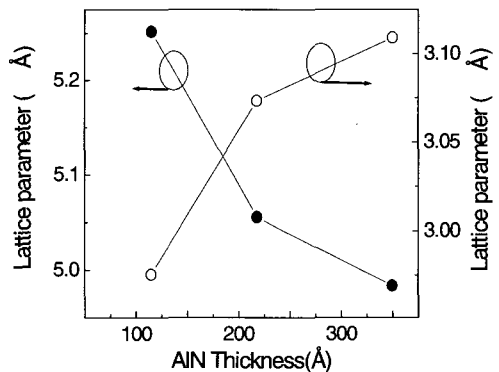


그림 2. X-선 산란법으로 측정된 AlN 완충층의 격자상수. In-plane 격자상수는 elastic 이론으로 계산.

Fig. 2. The lattice constant of AlN nucleation layer mastered by X-ray diffraction profiles. In-plane lattice constant was calculated from measured value using elastic theory.

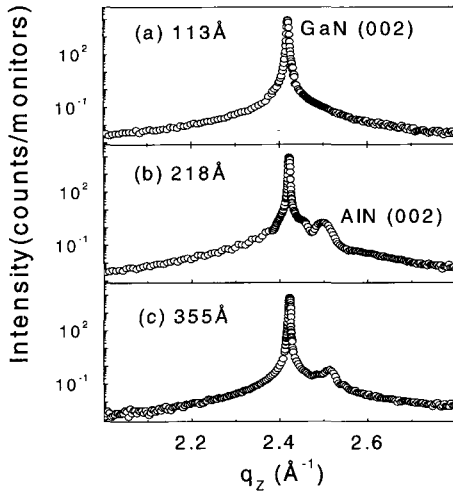


그림 3. 박막 수직방향으로 측정된 X-선 산란 결과.
 Fig. 3. (a)-(c) The powder diffraction profiles in the film normal directions measured on the epitaxial GaN films grown on AlN nucleation layers with 113, 218, and 355 Å thickness.

그림 3은 GaN 박막을 MOCVD법으로 성장시킨 후에 측정된 X-선 산란 결과이다. 양질의 GaN 박막을 성장시키기 위하여 1020 °C의 고온의 성장 조건을 유지하였지만, 218과 355 Å의 AlN 완충층은 파괴됨이 없이 잘 보존되고 있음을 명백히 보여준다. 113 Å 두께의 AlN 완충층의 경우 GaN 박막의 Bragg peak의 위치와 겹치어 잘 보이고 있지 않지만, TEM 결과로 고온에서도 사라지지 않고 존재함을 알 수 있었다. 그림 3에 나타난 Bragg peak의 위치를 가지고 GaN 박막의 격자 상수($d=2\pi/q$)를 측정할 수 있다. 113 Å의 두께를 가지는 AlN 완충층 위에 성장된 GaN 박막이 수평 방향의 격자 상수가 두꺼운 완충층의 두께를 가진 박막보다 작게 나타났다. 탄성변형에 의해서 박막의 수직 방향의 격자 상수는 크게 나타난다.

Bragg peak 위치에서 Rocking의 반치폭(FWHM)은 박막의 결정성뿐만 아니라 전위(dislocation)의 밀도를 나타내는 중요한 척도로 이용된다. 칼날 전위의 경우 Burgers vector가 수평 방향으로 존재하기 때문에 (h, k, l) 면에서 h, 나 k가 0이 아닌 면 반치폭에만 영향을 준다. (0002) Bragg peak 위치에서 측정된 θ -rocking의 반치폭의 경우 순수 칼날 전위에 전혀 무관하며, (10-12) 위치에서 나

은 반치폭은 칼날 전위의 밀도에 영향을 받는다. 나선 전위(Screw dislocation)의 경우 박막의 수직 방향으로 응력을 주게 됨으로, 오직 (0002) Bragg peak의 반치폭의 값에 영향을 주게 된다[8]. 그림 4에 GaN 박막의 결정성을 측정하기 위해서 (0002), (10-12) Bragg 위치에서 θ (θ -rocking)와 시편을 회전(Azimuth)시켜서 반치폭을 측정할 결과를 도표로 표시하였다(10-12). Bragg peak 위치의 θ -rocking의 반치폭이 증가한다는 것은 GaN 박막 내부에 칼날 전위의 밀도가 AlN 완충층의 두께가 증가함에 따라 증가함을 알 수 있다. AlN 완충층의 표면, 즉 AlN 완충층과 GaN 박막 사이의 계면의 거칠기가 증가하면 칼날 전위의 밀도가 증가함을 예측할 수 있다. 또한 계면의 거칠기의 증가는 결정립계의 회전 분포도를 증가시킴을 Azimuth scan의 반치폭의 증가로서 알 수 있다. 칼날전위와 결정립계의 회전 분포도와는 달리 (0002) Bragg peak에서의 반치폭은 오히려 AlN 완충층의 두께가 증가함에 따라 감소함을 알 수 있다. 즉 AlN 완충층과 GaN 박막사이의 격자 불일치도가 113 Å의 두께의 경우 작은 값이지만 -0.2 % 차이가 나기 때문에 나선 전위의 밀도가 증가하고 AlN 완충층의 두께가 증가함에 따라 AlN 완충층의 격자 상수가 GaN 박막의 격자 상수와 격자 불일치도가 감소함으로서 나타나는 결과이다. 218 Å의 두께를 가진 시편이 가장 작은 나선 전위 밀도를 가지는 이유는 AlN 완충층과 GaN 박막의 계면의 거칠기가 지속적으로 증가하기 때문에 격자 불일치도가 완전히 소멸된 후에 계면의 거칠기의 영향을 받는다.

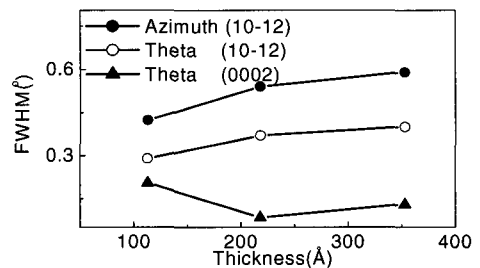


그림 4. (0002) 와 (10-12) Bragg 위치에서의 반치폭 결과.
 Fig. 4. The full width half maximum values of x-ray rocking curve at (0002) and (10-12).

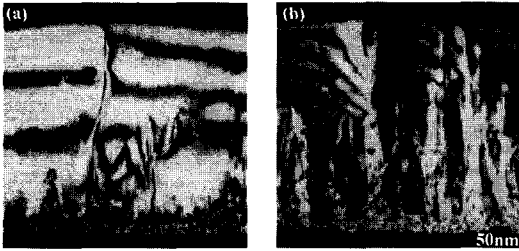


그림 5. AlN 완충층위에 성장된 GaN 박막의 TEM 사진.

Fig. 5. Cross section TEM image of GaN films grown on thick AlN nucleation layers:(a) dark field cross section, $g=(0002)$ (b) dark field cross section, $g=(10-10)$.

그림 5는 355 Å 두께의 AlN 완충층위에 성장된 GaN 박막의 TEM 사진이다. TEM 측정시 X-선 산란과 마찬가지로 g 값에 따라 보여지는 전위 종류가 다르게 나타난다. $g=(0002)$ 의 경우 나선 전위만 나타나게 되며, $g=(10-10)$ 의 경우 칼날 전위의 밀도만 나타나게 된다. 355 Å 두께의 AlN 완충층 위에 성장된 GaN 박막은 X-선 산란의 결과와 마찬가지로 TEM 사진의 결과에서도 칼날 전위의 밀도가 나선 전위의 밀도 보다 높다.

칼날 전위와 나선 전위의 밀도는 박막의 전기적 성질에 많은 영향을 미치게 된다. GaN 박막의 경우 나선 전위는 전자가 움직일 수 있는 통로를 제공하며 칼날 전위의 경우 compensating acceptor 역할을 하여 박막을 부도체로 만드는 역할을 한다 [9,10]. GaN 박막의 저항을 측정하기 위하여 TLM(Transmission line method) 방법을 이용하여 저항을 측정한 결과 113 Å 두께의 AlN 완충층을 이용한 GaN 박막은 GaN 완충층을 이용한 GaN 박막의 저항과 비슷한 12.5 k Ω /sq으로 측정되었다. 218 Å, 355 Å 두께의 AlN 완충층 위에 성장한 GaN 박막의 저항은 6.1 M Ω /sq, 250 M Ω /sq으로 비약적으로 증가하였다.

4. 결론

본 논문에서는 GaN 박막에 있어서 완충층의 표면의 거칠기와 격자 상수의 변화 따른 GaN 박막

의 결정성에 관하여 연구한 결과는 다음과 같다.

- 1) AlN 완충층의 표면 즉 AlN 완충층과 GaN 박막 사이의 계면의 거칠기가 증가하면 GaN 박막내의 칼날 전위의 밀도가 증가한다.
- 2) AlN 완충층과 GaN 박막의 격자 불일치도가 증가하면 나선 전위의 밀도가 증가한다.
- 3) AlN 완충층의 두께가 증가함에 따라 칼날 전위의 밀도 증가와 나선 전위의 밀도 감소로 인하여 GaN 박막의 전기적 저항도는 증가한다.

감사의 글

GaN 박막의 제조에 도움을 준 삼성전기 김동준과 TEM 측정에 도움을 준 삼성 중기원의 최철종에게 감사를 드립니다.

참고 문헌

- [1] S. Nakamura, "The roles of structural imperfections in ingan-based blue light-emitting diodes and laser diodes", Science, Vol. 281, p. 956, 1998.
- [2] H. Morkoc, "III-Nitride semiconductor growth by MBE", Journal of materials science, Vol. 12, p. 677, 2001.
- [3] S. J. Pearton, J. C. Zolper, R. J. Shul, and F. Ren, "GaN: Processing, defects, and devices", J. Appl. Phys., Vol. 86, No. 1, p. 1, 1989.
- [4] H. Amano, T. Asahi, and I. Akasaki, "Stimulated emission near ultraviolet at room temperature from a gan film grown on sapphire by movpe using an aln buffer layer" Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 29, p. L205, 1990.
- [5] S. Nakamura, M. Takashi, and S. Masayuki, "High-Power GaN P-N Junction Blue-Light-Emitting Diodes", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 30, p. L1998, 1991.
- [6] M. S. Yi and D. Y. Noh, "Strain relaxation of GaN nucleation layers during rapid thermal annealing", Appl. Phys. Lett., Vol. 78, No. 17, p. 2443, 2001.

- [7] H. C. Kang, S. H. Seo, and D. Y. Noh, "X-ray scattering study on the structural evolution of AlN/Sapphire(0001) films during RF sputter growth", *J. Mater. Res.*, Vol. 16, No. 6, p. 1814, 2001.
- [8] B. Heying, X. H. Wu, S. Keller, Y. Li, D. Kapolnek, B. P. Keller, S. P. DenBaars, and J. S. Speck, "Role of threading dislocation structure on the x-ray diffraction peak widths in epitaxial GaN films", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 68, No. 5, p. 643, 1996.
- [9] E. G. Brazel, M. A. Chin, and V. Narayanamurti, "Direct observation of localized high current densities in GaN films", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 74, No. 16, p. 2367, 1999.
- [10] John E. Northrup, "Screw dislocations in GaN: The Ga-filled core model", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 78, No. 16, p. 2288, 2001.