

Si(111) 기판을 이용한 crack-free GaN 박막 성장과 PL특성

김덕규, 김호걸, 송민종*, 박춘배

원광대학교 전기전자 및 정보공학부, 광주보건대학 의공과*

A Study of Growth and Properties of GaN films on Si(111) by MOCVD

Deok-KYu Kim, Hu-Jie Jin, Min-Jong Song, Choon-Bae Park

Wonkwang Univ. School of Electrical Electronic and Information Engineering, Kwangju Health College.*

Abstract : The characteristics of GaN epitaxial layers grown on silicon (111) substrates by metalorganic vapor phase epitaxy have been investigated. The only control of AlN thickness was found to decrease the stress sufficiently for avoiding crack formation in an overgrown thick (2.6 μ m) GaN layer. X-ray diffraction and photoluminescence measurements are used to determine the effect of AlN thickness on the strain in the subsequent GaN layers. Strong band edge photoluminescence of GaN on Si(111) was observed with a full width at half maximum of the bound exciton line as low as 17meV at 13K.

Key Words : Stress, Crack, Si(111), AlN buffer

1. 서론

최근에, Si 기판을 이용한 GaN의 성장방법이 많은 주목을 받고있다. Si 기판을 이용함으로써 얻을 수 있는 잇점은 저저격화, 대용량화, 그리고 좋은 열 및 전기적 전도성을 들수있다. 이러한 많은 잇점에도 불구하고 Si 기판이 GaN 성장에 사용되지 않는 이유는 GaN 박막의 균열(crack) 생성 때문이다. GaN와 Si 기판사이의 큰 격자상수 불일치와 열팽창계수의 차이가 임계 두께 초과할 때 GaN의 균열을 발생시킨다. 많은 연구자들은 Si 기판에서 완충(buffer)층으로 저온(LT) GaN를 사용하기 어렵기 때문에 AlN[1], 3C-SiC[2], AlAs[3], 그리고 HfN[4]의 완충층을 사용하여 고품질, 무균열 GaN를 얻기위해 노력하였다. 여러 완충층들 중에서 많은 연구자들은 높은 온도에서 안정한 AlN 완충층을 사용하여 고품질의 GaN 박막을 얻었다. Watanabe [1]는 얇은 AlN 단결정이 Si 기판 위에서 GaN 단결정을 성장하는데 효과적인 완충층임을 보고하였다. Rehder [5]는 Si 기판위에 유기기상성장법(MOVPE)으로 성장한 AlN의 물리적 구조가 온도와 V/III비에 민감함을 보고하였다. 그러나 많이 사용되는 물질임에도 AlN 완충층에 대한 연구가 소수에 그치고 있다.

따라서, 본연구에서는 유기화학기상증착법(MOCVD)을 이용하여 AlN 완충층 두께에 따라 Si(111) 기판위에 GaN 박막의 결정성의 변화를 확인하고 균열밀도의 변화를 연구하였다.

2. 실험

GaN 박막은 유기화학기상증착장비(Veeco사, D180GaN)를 이용하여 성장 되었다. GaN 성장을 위해 (111) 방향 Si(n형, 0.001 $\Omega \cdot$ cm)기판을 이용하였다. AlN와 GaN성장은 TMAI와 TMGa를 이용하여 1070 $^{\circ}$ C, 76Torr와 1045 $^{\circ}$ C, 200Torr에서 각각 성장 하였다. AlN 완충층을 대략 35nm, 65nm, 그리고 80nm로 성장한후 1045 $^{\circ}$ C에서 약 2.6 μ m GaN

박막을 성장 하였다.

AlN 두께에 따른 GaN의 균열밀도는 normalски 현미경(x50)에 의해 관찰 되었다. 성장된 박막의 구조를 관찰하기위해 x-ray diffraction(XRD) 측정을 하였고 광학적인 특성을 관찰하기위해 photoluminescence (PL)측정을 하였다.

3. 결과 및 검토

그림 1은 normalски 현미경(x50) 으로 관찰된 AlN 완충층 두께에 따라 성장한 GaN 박막의 표면사진이다. 그림 1. (a) ~ (c)는 AlN 완충층 두께 35nm, 65nm, 그리고 80nm에서 약 2.6 μ m 성장한 GaN 박막에 대한 표면이고 그림 1. (d)는 AlN 완충층 80nm 두께에서 약 1 μ m 성장한 GaN 박막의 표면이다. 모든 샘플에서 유리화 표면을 보이고있다. AlN 완충층 두께가 증가함에 따라, GaN의 균열밀도는 눈에 띄게 감소하였다. 80nm 샘플의 경우, 거의 무균열에 가까운 표면을 보이고있다. 이 현상은 Si 기판위 GaN 균

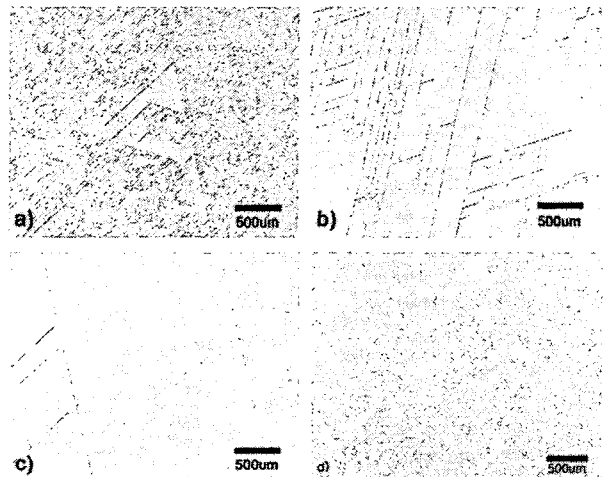


그림 1. AlN 완충층 두께에 따른 GaN 박막의 표면 사진.

균열 상태가 AlN 완충층에 상당히 영향을 받음을 나타낸다. 일반적으로, Si 기판위 GaN의 균열은 응력(stress)에 기인해 발생한다. 따라서, 이러한 결과는 AlN 완충층 두께가 증가하면서 GaN의 응력이 완화되었기 때문인것으로 판단된다. 35nm, 65nm, 그리고 80nm 샘플의 균열밀도는 각각 300/cm, 40/cm, 그리고 7/cm 이었다. 80nm AlN 완충층을 사용하여 1 μ m 성장한 GaN 박막에서 무균열한 표면을 얻을 수 있었다.(그림 1. (d))

그림 2는 Si(111) 기판상에 AlN 완충층 두께에 따라 성장한 GaN 박막에 대한 θ -2 θ 스캔한 XRD 결과이다. 모든 GaN 박막 샘플에서 GaN(0002) 면과 관련된 강한피크가 $2\theta=34^\circ$ 에서 관찰되었다. 이들 결과는 GaN 박막이 AlN 두께에 상관없이 높은 c축 배향성과 고품질의 결정성을 가짐을 보여준다. 또한, 그림 2는 AlN(0002)면의 피크강도가 AlN 완충층 두께증가에 따라 강해지는 현상을 보이고있다.

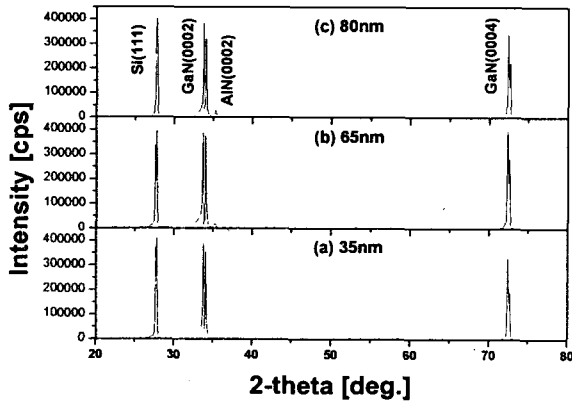


그림 2. AlN 완충층 두께에 따른 GaN 박막의 XRD 결과.

그림 3은 13K 온도에서 측정된 AlN 완충층 두께에 따른 GaN 박막의 PL 특성을 나타내고있다. neutral donor bound exciton 재결합 피크(I_2)가 AlN 완충층 두께에 따라 선형적으로 red-shift 되었다. 일반적으로, I_2 피크는 Si 기판위 GaN박막은 tensile 응력을 받기 때문에 응력 완화에 따라 blue-shift 된다. 그러나 이번 실험에서는 tensile 응력이 완화 됨에도 불구하고 반대의 현상을 보였다. 이런 현상은 상당한 응력에 의한 박막의 균열 때문인 것으로 판단된다. 즉, 균열된 GaN 박막은 응력이 완화된 상태로 되고 그 박막의 I_2 피크는 균열정도에 따라 응력 완화된 GaN 박막의 I_2 피크에 근접하게 된다. 따라서, 가장 많은 균열을 보인 AlN 35nm 샘플의 I_2 피크는 응력이 없는 GaN 박막의 I_2 피크값에 근접한 3.48eV를 나타낸다. 반대로, AlN 80nm 샘플의 I_2 피크는 Si 기판위에서 균열없이 성장한 GaN 박막의 I_2 피크값에 근접한 3.46eV를 나타낸다. I_2 피크의 full width at half maximum (FWHM) 은 AlN 완충층 두께에 따라 선형적으로 감소하였다. 35nm, 65nm, 그리고 80nm AlN 두께의 I_2 피크 FWHM은 각각 39meV,

32meV, 그리고 17meV 였다. 이 결과는 AlN 완충층 두께가 증가함에 따라 광학적인 특성이 항상 됨을 나타낸다.

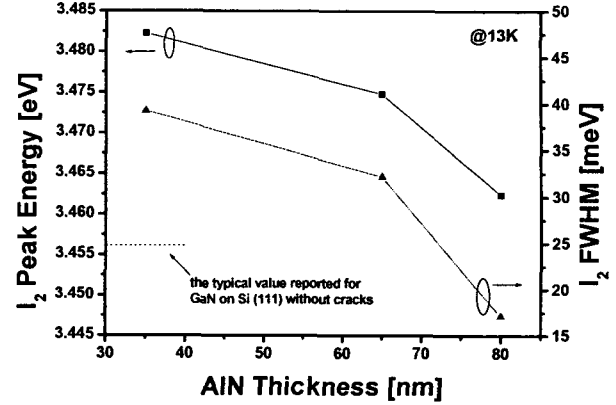


그림 3. AlN 완충층 두께에 따른 GaN 박막의 I_2 피크위치와 I_2 피크 FWHM.

4. 결론

본 연구에서는 유기화학기상증착법으로 AlN 완충층 조절을 통해 Si 기판위에 고품질 GaN 박막을 성장하였다. 단지 AlN 완충층 두께 조절만으로도 Si(111) 기판 위에 증착된 GaN에서의 tensile 응력을 효과적으로 감소시킬 수 있고 또한 결정질을 향상 시킬수있다. 이런 결과는 AlN 완충층이 Si(111) 기판 위에서 GaN 성장에 중요한 역할을 함을 나타낸다. 80nm AlN 완충층을 이용하여 약 1 μ m 두께에서 무균열 GaN 박막을 성장 하였다.

감사의 글

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 육성·지원사업(I-2004-0-074-0-00)에 의해 작성되었습니다.

참고 문헌

- [1] A. Watanabe, T. Takeuchi, K. Hirose, H. Amano, K. Hiramatsu and I. Akasaki, J. Crystal Growth Vol. 128, p. 391, 1993.
- [2] T. Takeuchi, H. Amano, K. Hiramatsu, N. Sawaki and I. Akasaki, J. Crystal Growth Vol. 115, p. 634, 1991.
- [3] N. P. Perkins, M. N. Horton, Z. Z. Bandic, T. C. McGill and T. F. Kuech, Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 395, p. 243, 1996.
- [4] R. Armtage, Q. Yang, H. Feick, J. Gebauer, E. R. Weber, S. Shinkai and K. Sasaki, Appl. Phys. Lett. Vol. 81, p. 1450, 2002.
- [5] E. Rehder, M. Zhou, L. Zhang, N. R. Perkins, S. E. Babcock and T. F. Kuech, MRS Internet J. Nitride Semicond. Res. Vol. 4S1, p. G3.56, 1999.