

## 저온공정을 이용한 AlN 박막의 우선배향성과 모폴로지에 관한 연구

### The Preferred Orientation and Morphology Characteristics of AlN Thin Films Prepared by RF Power Under Room Temperature Process

오수영<sup>1</sup>, 김응권<sup>1</sup>, 이태용<sup>1</sup>, 강현일<sup>1</sup>, 유현규<sup>1</sup>, 송준태<sup>1,a</sup>

(Su-Young Oh<sup>1</sup>, Eung-Kwon Kim<sup>1</sup>, Tae-Yong Lee<sup>1</sup>, Hyun-Il Kang<sup>1</sup>, Hyun-Kyu Yu<sup>1</sup>, and Joon-Tae Song<sup>1,a</sup>)

#### Abstract

In this paper, we investigated the (002) preferred orientation and morphology characteristics of AlN thin film by using reactive rf sputtering. Additionally, AlN thin films grown in the range from 150 to 300 W were studied under room temperature without substrate heating and post annealing. Sputtered AlN thin films were well grown on Si substrates and the (002) main peak in XRD patterns showed the highest intensity at 300 W with 0.25° degree of full width at half-maximum (FWHM). As increased RF power, the surface roughness was increased from 1.0 to 3.4 nm. In Fourier transformation infrared spectroscopy (FTIR), A<sub>1</sub> (TO) and E<sub>1</sub> (TO) mode closed to AlN thin film confirmed the changes with increasing the intensity rate. From these results, we could confirm a chance of the growth of AlN thin film by only low temperature.

**Key Words :** AlN, Room temperature, Sputtering

#### 1. 서론

정보통신의 급격한 발전으로 인한 이동통신기기 사용의 급증은 전 세계적 추세이며, 사용 주파수 대역 범위가 900 MHz~3 GHz 인 휴대용 이동통신시스템에 적용되는 부품 산업이 주도하고 있다. 정보통신기기의 무선 송수신 시스템을 구성하는 핵심 부품으로는 안테나, 전력 증폭기, 저 잡음 증폭기, 혼합기, 필터 등이 있다. 이 중 필터는 단말기 내에서 가장 크고 두꺼운 부품중의 하나로 소형화가 절실히 요구되고 있는 실정이다. FBAR (Film Bulk Acoustic Resonator)는 이러한 요구를 만족시키는 소자로서 1980년대 초 처음으로 연구되었으며, MEMS (Micro Electro Mechanical System) 기술의 발달과 더불어 MMIC화가 가능한 차세대 고주파 수동소자로 주목 받고 있다. FBAR

성능의 향상을 위해서는 우수한 배향성을 갖는 압전 박막의 제작이 매우 중요하다. 특히 압전박막은 (002) 수직 성장시 가장 우수한 압전 특성을 나타내며 박막의 거친 표면이 탄성파를 산란시키기 때문에 거칠기 제어 또한 중요하다. 이러한 FBAR 소자에 사용하는 압전 층 물질로서는 AlN, PZT, ZnO 박막 물질로 국한되어 사용되고 있다[1]. AlN는 6.2 eV 의 넓은 에너지 밴드 갭과 우수한 물리적 강도를 이용하여 고온, 고전력 전자 소자로 응용 연구되고 있으며, 최근에는 음성전자 친화도 특성을 갖는 AlN 의 특성을 응용하여 전계 방출 분야에서도 연구가 되고 있다. 또한 3.4 eV의 밴드 갭을 갖는 GaN 과 합성시켜 UV 영역에서 작동하는 광학 소자로서의 응용되고 있으며 무엇보다도 LN 이나 LT 등의 기존의 압전 단결정에 비하여 표면 탄성이나 체적 탄성 속도가 월등히 높기 때문에 공진기 필터 및 듀플렉서 등의 통신 소자에 많은 연구가 진행되어지고 있다[2]. 하지만 AlN 에 이러한 장점에도 불구하고 CVD 이나 MBE 방법에 의한 epitaxial 성장에는 AlN 의 높은 녹는점(2200 °C)과

1. 성균관대학교 정보통신공학부

(경기도 수원시 장안구 천천동 300)

a. Corresponding Author : jtsong@yurim.skku.ac.kr

접수일자 : 2008. 4. 7

심사완료 : 2008. 4. 24

저온에서 형성이 용이한 전극 부재로 인해 1000 °C 이상의 고온공정 필요하며 이러한 고온 성장 방법은 다양한 금속 전극을 이용하는 VLSI CMOS 공정에 부적합하다[3]. PLD, 반응성 열증착, 이온플레이팅의 경우에는 증착 변수 제어가 어렵기 때문에 AlN 같은 반응성 공정에는 적합하지 않다[3,4]. 반면에 스퍼터링 방법은 높은 증착률과 더불어 증착환경 제어가 용이하며, 저온공정에서도 균일한 박막을 얻을 수 있으며 낮은 압력에서 플라즈마를 생성시킬 수 있다. 따라서 본 논문에서는 고온 성장에 따른 AlN 박막의 문제점을 해결하기 위해 AlN 박막을 반응성 스퍼터링을 이용한 저온공정을 사용하여 높은 (002) 방향성을 갖는 AlN 박막의 재료 및 구조적 특성에 대하여 연구 하였다.

## 2. 실험

AlN 박막의 특성을 조사하기 위해 AlN 타겟을 Si 위에 RF 마그네트론 스퍼터링 장비를 사용해 150~300 W 증착시켰다. 기판은 DI water, acetone, isopropyl alcohol, DI water 순서로 각각 10분간 초음파 세척 후 질소가스로 건조시켰고 증착에 따른 기판 온도는 room temperature 로 유지시켰다. AlN 박막의 증착을 위해서 99.999 %의 Al (고순도 사) 타겟을 이용하여 Ar:N<sub>2</sub> 가스를 혼합하는 반응성 스퍼터링 방식을 사용하여 10:14 주입하였고, 박막 증착시 초기 진공은 7x10<sup>-6</sup> torr 로 유지하였다. 증착된 AlN 박막 결정성과 FWHM 을 분석하기 위해 X-선 회절기 (Rigaku Rotaflex D/Max system)를 이용하였으며, Environment Secondary Electron Microscopy (ESEM)을 사용하여 박막의 결정 구조를 관찰하였다. 또한 AFM 장비를 사용하여 표면 거칠기 등을 분석하였으며, FT-IR 를 사용하여 AlN 박막 내부의 결합상태가 (002) 배향성에 미치는 영향을 확인하였다.

표 1. AlN 박막의 증착조건.

Table 1. Deposition condition of AlN film.

Parameter	Value
Target	Al
Power mode	RF magnetron sputtering Power : 150~300 W
Base pressure	7 × 10 <sup>-6</sup> Pa
Gas flow ratio	Ar:N <sub>2</sub> =10:14
Substrate distance	40 mm
Substrate temperature	Room temperature

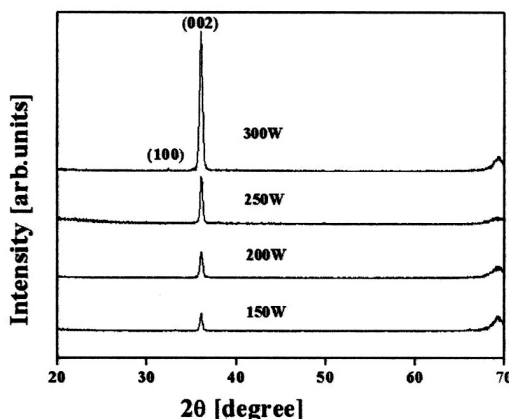


그림 1. 전력에 따른 AlN 박막의 X선 회절 패턴.  
Fig. 1. XRD pattern of AlN films at different RF power.

## 3. 결과 및 고찰

AlN 구조에서 (002) 방향을 이루는 Al-N 결합은 그 이외의 방향성을 가지는 결합과는 달리 그림 1에 결합 에너지가 작아 결합이 이루어진 이후에도 외부의 작은 에너지에 의해 결합이 쉽게 깨어질 수 있다[3]. 따라서 이러한 결합이 지속적으로 유지시키기 위해서는 가능한 큰 에너지로 결합되는 것이 필요하다[5]. 본 실험에서는 이러한 결합을 최소화하기 위해 150 W에서 300 W 까지 RF 전력을 증가 시켰다. 그림 1은 AlN 박막 증착시 인가된 RF 전력에 따른 AlN 박막의 (002) 배향특성 변화를 확인하기 위한 XRD 측정값을 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이, 150 W 의 낮은 전력에서도 (002) peak 가 관찰 되었다. 이는 AlN 박막의 가장 낮은 표면 에너지를 갖는 면이 (002) 결정면이기 때문이며, RF 전력을 증가시키에 따라 (002) 배향성이 향상 되어지는 것은 증착시 기판에 증착된 입자들이 높은 에너지로 인해 표면 입자의 이동도를 향상시켜 격자 부정합을 최소화 하였기 때문이다[4]. 그러나 300 W에서 알 수 있듯이 과도한 RF 전력을 가했을 경우 큰 입자 에너지로 인해 re-sputtering 발생 할 수 있으며 결과로 인해 250 W 까지 볼 수 없었던 (100) 배향성이 나타남을 확인 할 수 있었다.

그림 2는 AlN 박막의 전력에 따른 FWHM 값을 나타내었다.  $\theta$  가  $2\theta$  의 반을 접근하면 Bragg condition 이 만족되어 강도가 증가되고,  $2\theta$ 의 반을 벗어날수록 강도는 감소하게 된다. AlN 박막의 경우 002 면으로 결정립들이 완벽하게 기판과 수직

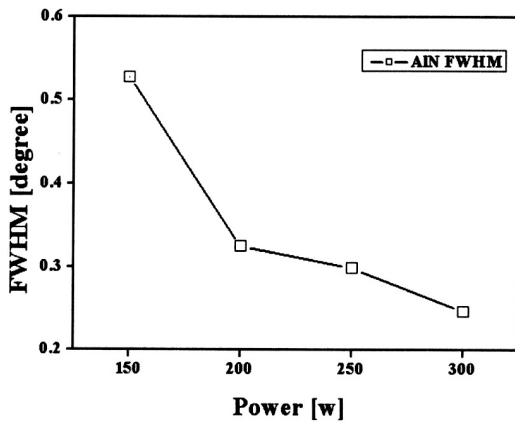


그림 2. 전력에 따른 AlN 박막의 FWHM 값.  
Fig. 2. FWHM pattern of AlN films at different RF power.

으로 성장하였을 경우 아주 sharp 한 피크를 나타내게 된다. 실험 결과에서 확인할 수 있듯이 전력이 증가함에 따라 FWHM 값이 작아지며 (002) 우선 배향성이 증가됨을 확인하였다. 샘플 중 300 W에서 AlN 박막의 FWHM 값이 0.25°를 보여 양호한 (002) 배향성을 확인하였다. 이는 전력이 증가할수록 Al 원자의 표면 이동도가 향상되며, 이로 인한 기판 표면 밀도의 향상의 결과 AlN 박막의 (002) 배향성 증가와 함께 향상된 반치폭 값을 가지는 것으로 판단되어진다[6].

그림 3은 RF 전력에 따른 AlN 박막의 SEM 표면을 나타낸 것이다. 그림에서 확인할 수 있듯이 RF 전력이 150 W~300 W로 증가 할수록 결정립의 크기가 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 결정이 성장 하는데 있어서 각자 성장 방향이 다른 경쟁관계 속에서 그레인 이 성장하기 때문에 결정이 미세한 크기로 존재하는 것으로 판단되며 300 W로 에너지가 증가함에 따라서 그레인 크기가 증가되어지는 것은 AlN 박막의 경우 가장 낮은 표면 에너지를 갖는 면이 002 면이므로 이를 중심으로 성장방향이 비슷한 결정끼리 융합하여 결정 크기가 증가하는 것으로 판단된다[7]. 이는 앞서 언급한 XRD 성장결과와 일치함을 확인할 수 있었다.

그림 5은 RF 전력에 따른 AlN 박막의 표면 거칠기를 나타낸 것이다. 그림에서도 확인할 수 있듯이 전력이 증가할수록 표면 거칠기가 1.0에서 3.4까지 증가하는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 낮은 전력에서의 증착은 원자의 이동도가 낮아 쉽게

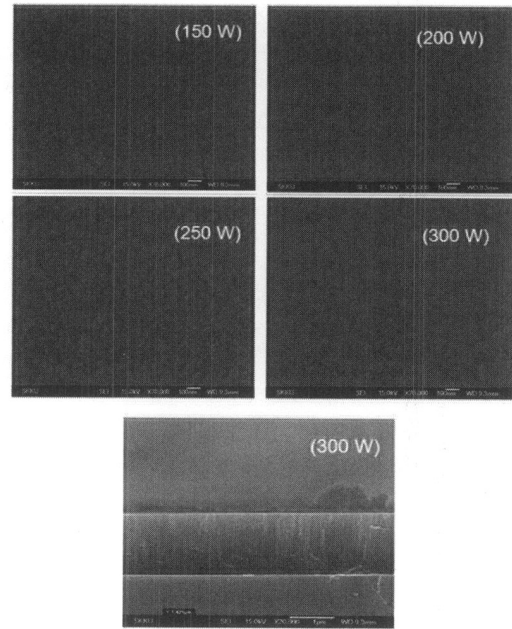


그림 3. 전력에 따른 AlN 박막의 표면 SEM 사진.  
Fig. 3. Surface morphology of AlN films deposited at different RF power.

결정 구조를 형성하는 경향이 있으며, 반면 높은 전력에서의 증착은 흡착된 원자의 이동도가 증가되고 표면 에너지의 증가로 Grain size가 커짐에 따라서 표면 거칠기가 증가하는 경향을 나타낸다[5]. 본 논문의 AFM 결과에서는 AlN 박막의 표면 거칠기가 비교적 낮기 때문에 탄성파를 필요로 하는 소자로 적용하기에 적합한 것으로 판단되어진다.

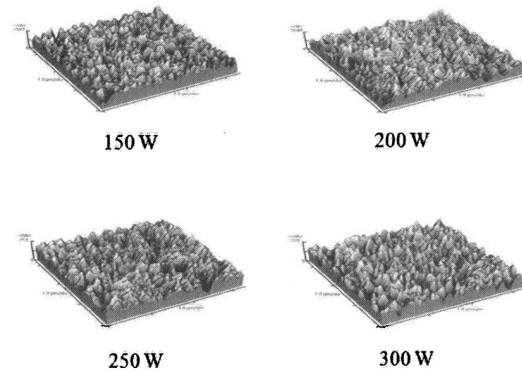


그림 4. AFM 3차원 이미지.  
Fig. 4. Three-dimensional AFM images of various AlN films.

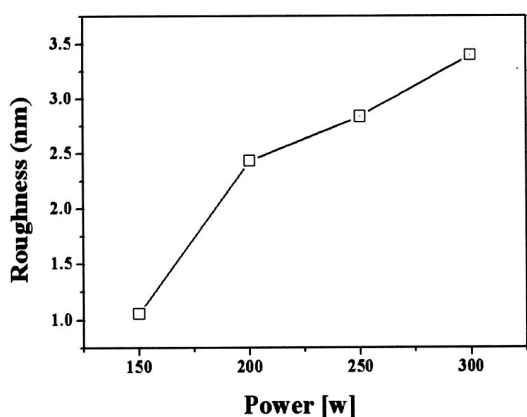


그림 5. 전력에 따른 AlN 박막의 표면 거칠기.  
Fig. 5. RMS roughness of AlN films according to the variation of the power.

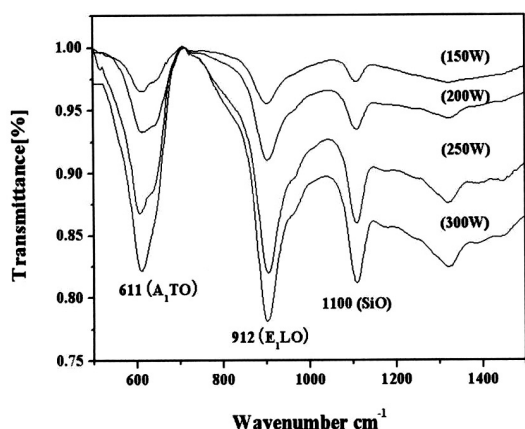


그림 6. 전력에 따른 AlN 박막의 FTIR 측정 결과.  
Fig. 6. FTIR transmittance spectra of the deposited AlN films.

그림 6은 전력에 따라 성장한 박막을 구성하는 분자들의 화학적 결합 상태와 박막 구조를 확인하기 위해 FT-IR 을 측정 하였다. 측정결과 AlN/Si 박막들로부터 Si 기판의 영향에 의한 SiO 결합이  $1100\text{ cm}^{-1}$  의 peak 가 관찰되었으며 AlN 박막의 결합에 의한  $A_1(\text{TO})$  mode 와  $E_1(\text{LO})$  mode 의 peak 가 각각  $611\text{ cm}^{-1}$ ,  $912\text{ cm}^{-1}$  에서 관찰 되어 졌다[8]. AlN 박막의 경우 결정 박막과 비결정 박막 모두 존재 하며 이들 사이의 주요 차이점은 결정 박막의 경우 날카롭고 잘 분해된 흡수 peak 를 보여주나 비결정 박막의 경우 박막내의 disorder의

증가가 흡수띠 를 분리시키고 흡수 진동수를 변화시키기 때문에 넓은 흡수 peak 를 나타낸다[8].

그림 6에서도 확인할 수 있듯이 150 W~300 W 까지 전력이 증가되어짐에 따라 AlN 박막의  $A_1(\text{TO})$  mode 와  $E_1(\text{LO})$  mode peak 모두가 더 깊고 날카롭게 변화되어짐을 확인하였으며, 이러한 결과는 전력증가와 함께 AlN 박막 내에 존재하던 disorder 가 감소되어짐에 따라 결정성이 향상되었고, 박막을 형성하는 그레인이 더 크게 성장되었음을 의미한다[9]. 이러한 결과는 SEM 과 XRD 에서도 일치함을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 RF magnetron sputtering을 이용하여 Si 위에 반응성 스퍼터링을 이용해 AlN 박막을 저온공정에서 전력에 따른 002 배향성을 확인하기 위하여 실온에서 150 W, 200 W, 250 W, 300 W 로 실험하였다. XRD 실험 결과 300 W 에서 (002) peak이 가장 크게 관찰 되었으며 FWHM 값 역시 300 W 에서 가장 좋은 값을 확인할 수 있었다. 또한 SEM에서 전력이 증가함에 따라 그레인 크기가 증가 하였으며 이는 AFM 결과와 일치함을 확인할 수 있었다. 마지막으로 화학적 결합상태를 확인하기 위해 FT-IR 측정한 결과 AlN 박막의  $A_1(\text{TO})$  mode 와  $E_1(\text{LO})$  mode peak 모두 관찰 되었으며 전력이 증가함에 따라 결정성이 증가함을 확인할 수 있었다. 따라서 본 실험 결과 저온공정만으로도 우수한 002 배향성을 같은 AlN 박막을 제작 할 수 있었으며 향후 AlN 박막을 필요로 하는 소자 적용에 있어서도 좀 더 다양한 기판과 전극을 사용 가능할 수 있을 것으로 판단되어진다.

#### 참고 문헌

- [1] Q.-X. Su, P. Kirby, E. Komuro, M. Imura, Q. Zhang, and R. Whatmore, "Thin-film bulk acoustic resonators and filters using ZnO and lead-zirconium - titanate thin films", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. 49, No. 4, p. 769, 2001.
- [2] S. U. Hong, G. P. Han, M. C. Paek, K. I. Cho, and S.-G. Yoon, "Effects of Al/N ratio

- on microstructure of AlN films grown by PAMBE", The Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 14, No. 12, p. 972, 2001.
- [3] L. Mang, F. Hickernell, R. Pennell, and T. Hickernell, "Thin-film resonator ladder filter", in IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., Vol. 2, p. 887, 1995.
- [4] A. Saxler, P. Kung, C. J. Sun, E. Bigan, and M. Razeghi, "High quality aluminum nitride epitaxial layers grown on sapphire substrates", Appl. Phys. Lett., Vol. 64, p. 339, 1994.
- [5] H. Cheng and P. Hing, "The evolution of preferred orientation and morphology of AlN films under various RF sputtering powers", Surface and Coatings Technology, Vol. 167, p. 297, 2003.
- [6] K.-H. Chiu, J.-H. Chen, H.-R. Chen, and R.-S. Huang, "Deposition and characterization of reactive magnetron sputtered aluminum nitride thin films for film bulk acoustic wave resonator", Thin Solid Films, Vol. 515, p. 4819, 2007.
- [7] M. A. Auger, L. Vázquez, M. Jergel, O. Sánchez, and J. M. Albella. "Structure and morphology evolution of ALN films grown by DC sputtering", Surface and Coatings Technology, Vol. 180, p. 140, 2004.
- [8] S. A. Nikishin, N. N. Faleev, and M. Holtz, "Vibrational properties of AlN grown on (111)-oriented silicon", The American Physical Society, Vol. 63, 2001.
- [9] J. X. Zhanga, H. Chenga, Y. Z. Chena, A. Uddina, S. Yuana, S. J. Gengb, and S. Zhangb, "Growth of AlN films on Si (100) and Si (111) substrates by reactive magnetron sputtering", Surface & Coatings Technology, Vol. 198, p. 68, 2005.