

질소이온 빔 보조 마그네트론 스퍼터로 증착 된 AlN 박막의 물성연구

허성보 · 이학민 · 정철우 · 최대한* · 이병훈* · 김민규* · 유용주 · 김대일†
울산대학교 첨단소재공학부, *(주) 신기인터모빌 혁신기획팀

A Study on the Properties of AlN Films Deposited with Nitrogen Ion Beam Assisted RF Magnetron Sputtering

Sung-Bo Heo, Hak-Min Lee, Chul-Woo Jeong, Dae-Han Choi*, Byung-Hoon Lee*, Min-Gyu Kim*,
Yong-Zoo You, Daeil Kim†

School of Materials Science and Engineering, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea
*Innovation Planning Team, Shinki Intermobile Co., Yangsan, Kyungnam 626-300, Korea

Abstract Aluminum nitride (AlN) thin films were prepared by using nitrogen ion beam assisted reactive radio frequency (RF) magnetron sputtering on the glass substrates without intentional substrate heating. After deposition, the effect of nitrogen ion beam energy on the structural and optical properties of AlN films were investigated by x-ray diffraction (XRD), atomic force microscope (AFM) and UV-Vis. spectrophotometer, respectively. AlN films deposited with N^+ ion irradiation at 100 eV show the higher (002) peak intensity in XRD pattern than other films. It means that N^+ ion energy of 100 eV is the favorable condition for low temperature crystallization. AFM images also show that surface average roughness is increased from 1.5 to 9.6 nm with N^+ ion energy in this study. In an optical observation, AlN films which deposited by N^+ ion beam energy of 100 eV show the higher transmittance than that of the films prepared with the other N^+ ion beam conditions.

(Received December 28, 2010; Accepted January 10, 2011)

Key words : AlN, magnetron sputtering, nitrogen ion, XRD, AFM.

1. 서 론

질화알루미늄(Aluminum nitride; AlN)은 높은 유전율과 화학적 안정성 그리고 우수한 압전특성을 동시에 갖기 때문에 반도체 소자의 절연막과 표면탄성과 필터, 그리고 압전소자에 활용하기 위한 많은 연구가 이뤄지고 있으며[1, 2], 특히 결정성이 높은 AlN 박막은 기존 ZnO탄성과 필터소재에 비하여 전파속도가 빠르고 고주파 대역에서 전파손실도 감소하기 때문에 AlN 박막의 결정성을 강화시킬 공정기술에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다[3, 4]. 기존에는 다결정 AlN 박막을 증착하기 위하여 반응성 마그네트론 스퍼터링[2]과 화학기상증착법(Cheical vapor deposition, CVD)을 활용하였으나, 스퍼터증착법은 AlN 박막의 저온결정화가 어렵기 때문에 열처리 공정이 필요하고[5], Catalytic CVD 기술을 이용한 AlN (002) 결정성장 또한 400°C 이상의 높은

증착온도가 요구되어 열 충격에 강한 고가의 단결정 실리콘 기판이 필요한 단점이 있다[6].

본 연구에서는 저온에서 결정성을 갖는 AlN 박막을 증착하기 위하여 질소이온 빔(N^+ ion beam) 소스가 설치된 Radio frequency(RF) 마그네트론 스퍼터를 이용하였다. 순수한 알루미늄타겟을 아르곤(Ar) 가스이온으로 스퍼터링하며, 동시에 유도결합플라즈마(Inductively Coupled Plasma) 이온소스 내에서 생성된 질소이온을 기판에 조사하여(Irradiation) 질소이온의 충돌에너지가 AlN 박막의 결정화, 표면형상 그리고 가시광선의 투과도에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 질소이온 가속장치와 RF magnetron sputtering을 이용하여 유리기판(Corning, #1747)

†E-mail : dkmf4@ulsan.ac.kr

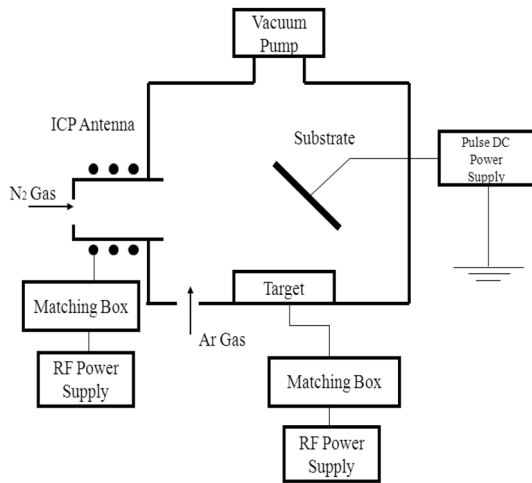


Fig. 1. Schematic diagram of the nitrogen ion (N^+) beam assisted RF magnetron sputtering system.

위에 AlN박막을 증착하였다. Fig. 1은 증착 장비의 전체적인 구조도로서 질소이온 발생 및 가속장치, 기관홀더, 마그네트론 스퍼터 그리고 초고진공 확보를 위한 배기장치로 구성되었다. Al타겟(99.99%)의 지름은 3인치였고, 기관과 타겟의 거리는 8.5 cm로 고정하였다. 증착 전에 초고진공도를 5×10^{-6} Torr 이하까지 배기시킨 후, 아세톤, 이소 프로필알코올, 그리고 증류수로 5분씩 초음파 세척한 기관을 설치하고 아르곤과 질소가스를 별도로 혼합하여 증착압력을 4×10^{-3} Torr로 유지하며 100 nm 두께의 박막을 증착하였다. 박막의 두께는 증착 후 전자주사현미경(Scanning Electron Microscope, SEM)을 이용한 절단면 높이를 측정하여 구하였다.

증착 중에 기관을 가열하지 않았으나, 기관온도가 아르곤 플라즈마와 질소이온의 충돌로 인하여 약 70°C 까지 증가하였다. Table 1에 본 연구에서 적용된 실험조건을 정리하였다.

질소이온의 기관 충돌에너지에 따른 박막의 결정구조 변화는 X-ray Diffractometer(XRD, X'pert PRO MRD, 한국기초과학지원연구원 대구센터)를 이용하여 분석하였고, 박막의 두께와 평균 표면거칠기는 SEM(JSM-820, JEOL)과 원자간력현미경(Atomic Force Microscope, AFM, XE-100, Park Systems)을 이용하여 대기조건에서 분석하였다. 또한 박막결정화에 따른 가시광투과도는 UV-Vis. Spectropho-

Table 1. Deposition conditions of AlN thin films

Parameter	Condition
Base Pressure	1×10^{-6} Torr
Working Pressure	4×10^{-3} Torr
Gas Flow (sccm)	Ar ; 20, N_2 ; 5
Target Power	200 W (RF)
ICP Power	60 W (RF)
Bias Voltage ($-V_b$)	50, 100, 150

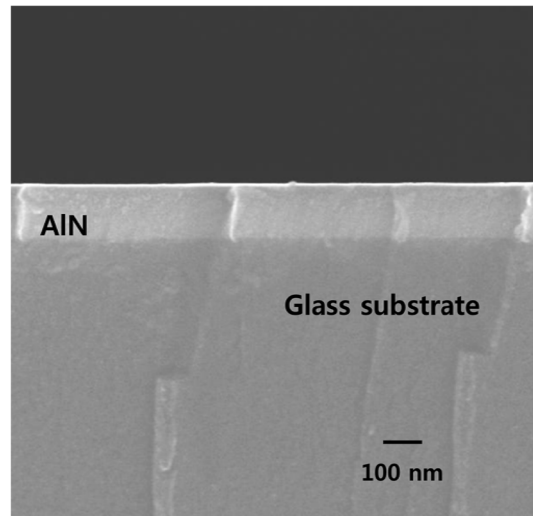


Fig. 2. SEM image of AlN film deposited with N^+ ion beam assisted magnetron sputter system on glass substrate. Substrate negative bias voltage ($-V_b$) and Ar/ N_2 gas flow ratio were $-100 V_b$ and 20/5 sccm, respectively.

meter(Carry100 Cone, Varian)를 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 SEM을 이용하여 측정한 절단면 이미지로서 유리기관 위에 100 nm 두께의 AlN 박막이 증착된 것을 알 수 있으며 주상구조는 관측되지 않았다.

Fig. 3는 기관에 인가된 전압에 따른 박막의 XRD 패턴결과이다. 기관에 전압을 인가하지 않고 아르곤 가스와 질소 혼합가스 분위기에서 증착된 박막(Fig. 3(a))에서는 XRD 회절피크가 검출되지 않아서 전형적인 비정질상임을 알 수 있었다. 기관 인가전압이

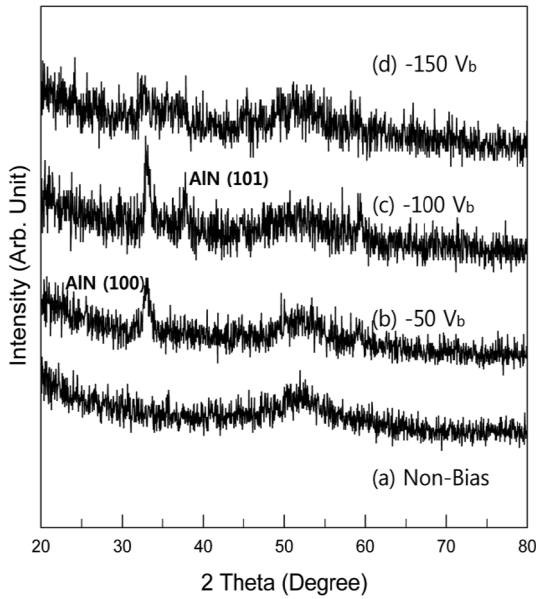


Fig. 3. XRD patterns (2 Theta, Cu-K α) of AlN films deposited on glass substrate under different negative bias voltages. Airing deposition Al target power and substrate temperature were 200 W and 70°C, respectively.

-50 V_b인 경우에는 AlN (100)면의 결정화가 관측되었고, 인가전압이 -100 V_b 일 때는 X선 회절피크의 세기가 상대적으로 증가하며 AlN (100) 외에도 (101) 회절피크가 관측되어 결정성이 강화됨을 알 수 있었다. 그러나 -150 V_b의 전압이 인가될 경우에는 비정질상에 가까운 특징이 검출되었다.

결정립의 크기를 Scherrer공식[7]을 통하여 계산한 결과, 기판 인가전압이 -50V_b 일때 10.4 nm, -100 V_b의 인가전압 조건에서는 13 nm로 결정립 크기가 증가하였으나, -150 V_b의 기판전압이 주어진 조건에서는 XRD 패턴에 나타난 결과와 같이 질소이온 충돌에 따른 기판표면에서의 Re-Sputtering으로 인하여 결정화가 약화되어 비정질화 됨을 추측할 수 있다.

Fig. 4는 Al타겟에 인가되는 RF 스퍼터링 파워조건에 따른 박막의 증착을 변화를 측정한 결과이다. 타겟에 인가되는 전력이 증가함에 따라 타겟표면에서 방출되는 2차 전자의 양이 증가하여 아르곤 가스의 이온화 비율과 아르곤 이온의 충돌 에너지가 증가하므로 증착율은 직선적으로 증가하는 경향을 보였다. 그러나 상대적으로 높은 증착율 조건에서는 박막 결정화와 평탄한 표면거칠기를 확보하는 것이 어렵기

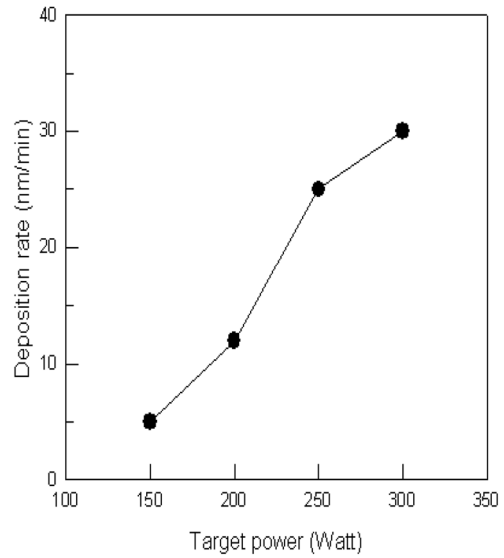


Fig. 4. Variation of deposition rate of AlN films as a function of sputtering power. During deposition Ar/N₂ gas flow ratio were kept constant at 20/5 sccm.

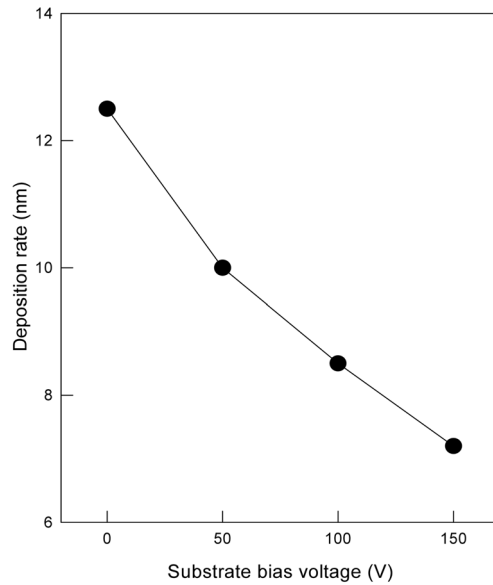


Fig. 5. Variation of deposition rate of AlN films as a function of substrate negative bias voltage (-V_b). Target power and Ar/N₂ gas flow ratio were kept constant at 200 W and 20/5 sccm, respectively.

때문에, 본 연구에서는 200 W의 전력을 타겟 스퍼터링 조건으로 선택하였다.

Fig. 5는 타겟과 질소이온 소스에 인가되는 RF파

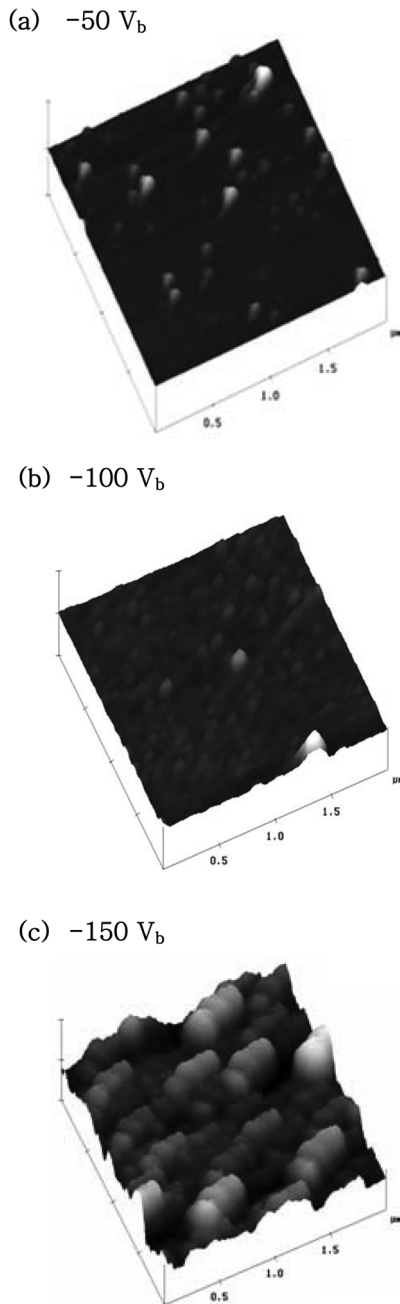


Fig. 6. Surface morphologies of AlN films deposited under different negative bias voltages ($-V_b$). Target power and substrate temperature were kept constant at 200 W and 70°C, respectively. (a) $-50 V_b$, (b) $-100 V_b$, (c) $-150 V_b$.

위를 선행연구를 통하여 200 W(타겟)와 60 W(ICP구리 코일)로 고정된 상태에서, 기판에 인가되는 전압

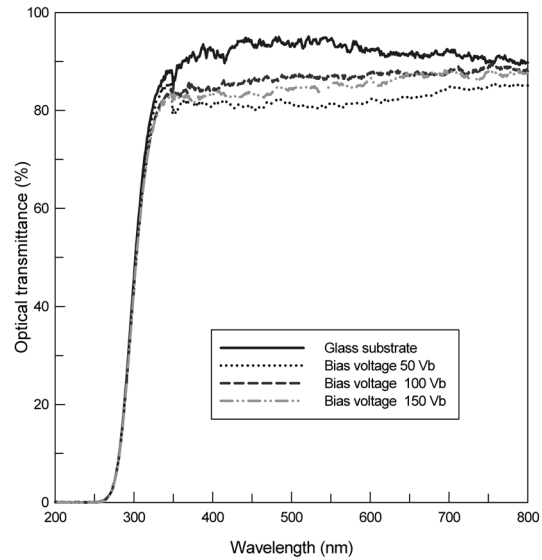


Fig. 7. Variation of optical transmittance of AlN films in a visible wave length region as a function of negative bias voltage. Target power and substrate temperature were kept constant at 200 W and 70°C, respectively.

에 따른 증착율 변화를 측정된 결과이다. 기판에 인가되는 전압이 증가할수록 기판에 조사되는 질소이온의 충돌 에너지가 증가하여 AlN 박막을 Re-Sputtering하기 때문에 궁극적으로 AlN 증착율이 감소한 것으로 사료된다.

Fig. 6은 기판 인가전압에 따른 박막의 표면형상과 거칠기를 AFM을 이용하여 측정된 결과이다. 기판 인가전압이 $-50 V_b$ 에서 $-150 V_b$ 까지 증가함에 따라 표면 평균거칠기는 1.5 nm 에서 3.1 nm 그리고 최대 9.6 nm(Fig.6(c)) 로 증가함을 보였다. $-150 V_b$ 의 기판 인가전압 조건에서 증착된 AlN 박막이 가장 거친 표면형상을 보임으로써 저온결정화와 적절한 평탄도를 확보하기 위해서는 최적의 질소 이온빔 에너지 조절이 필요함을 알 수 있다.

Fig. 7에 기판 인가전압에 따른 AlN박막의 가시광 투과도를 나타내었다. 박막의 결정립 계는 가시광을 흡수하여 투과율을 감소시키기 때문에 박막의 결정화와 가시광 투과도는 비례관계를 보인다[8]. 기판에 $-100 V_b$ 의 전압이 인가된 조건에서 제작된 AlN 박막의 결정화 향상과 함께 결정립 계에서 가시광의 흡수가 감소되어 가시광 투과도가 84%로 증가함을 보였다. 그러나 $-150 V_b$ 의 전압이 기판에 인가된 조

건에서 제작된 시편은 가시광 투과도 분석결과에서 다소 감소한 결과를 보였다. 본 연구에서 가시광 투과율 변화는 XRD 패턴에서 제시된 결과와 같이 결정화에 의존함을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 RF 마그네트론 스퍼터와 질소이온 소스를 이용하여 두께 100 nm의 AlN을 유리기판에 증착하고 질소이온의 충돌에너지 변화에 따른 AlN 박막의 결정화, 평균 거칠기, 가시광 투과도 변화를 고찰하였다.

기판인가 전압이 $-100 V_b$ 인 경우 AlN (100) 면의 결정화가 향상되었으나, $-150 V_b$ 일 때는 에너지가 높은 질소이온의 충돌에 따른 Re-sputtering 현상으로 결정화가 감소됨을 알 수 있었다. 기판에 인가되는 전압이 $-50 V_b$, $-100 V_b$, $-150 V_b$ 까지 변함에 따라 표면 평균거칠기는 1.5, 3.1, 그리고 9.6 nm로 각각 증가하였다. 가시광 투과도 또한 XRD 패턴에 나타난 결과와 같이 $-100 V_b$ 조건에서 증착된 AlN 박막이 상대적으로 우수한 가시광 투과도를 보였다.

본 연구를 통하여 특정 에너지($-100 V_b$)를 갖는 질소이온의 충돌과 순수 Al 스퍼터 증착을 병행함으로써 기존 고온 열처리를 통한 AlN 결정화와 물성

개질 공정을 대신할 수 있는 가능성을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 울산광역시와 교육과학기술부의 울산지방과학연구단지 개발프로그램 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. J. P. Kar, G. Bose, S. Tuli, A. Dangwal and S. Mukherjee, *J. Mater. Eng. Perform.*, **18**(8) (2009) 1046.
2. M. B. Assouar, O. Elmazria, L. Le Brizoual and P. Aïnot, *Diamond Rel. Mater.*, **11**(3) (2002) 413.
3. T. Kitahara, N. Ichikawa and Y. Nomoto, *Vacuum*, **82**(1) (2007) 109.
4. J. Zhang and I. W. Boyd, *App. Surf. Sci.*, **154-155**(1) (2000) 17.
5. Z. Pajkic and M. W. Porad, *Sur. Coat. Technol.*, **203** (20-21) (2009) 3168.
6. L. Vergara, J. Olivares, E. Iborra, M. Clement, A. S. Hervas and J. Sangrador, *Thin Solid Films*, **515**(4) (2006) 1814.
7. G. Gordillo, J. M. Florez and L. C. Hernandez, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, **37**(3-4) (1995) 273.
8. D. Kim, *J. Alloy. Comp.*, **493**(1-2) (2010) 208.