

RF 마그네트론 스퍼터링을 이용한 Si 기판상의 AlN 박막의 제조

조찬섭^{†*} · 김형표^{*}

^{†*}상주대학교 전자전기공학부

Preparation of AlN thin films on silicon by reactive RF magnetron sputtering

Chan Seob Cho^{†*}, Hyung Pyo Kim^{*}

^{†*}Dept. of Electronic & Electrical Engineering, Sangju National University

ABSTRACT

Aluminum nitride(AlN) thin films were deposited on silicon substrate by reactive RF magnetron sputtering without substrate heating. We investigated the dependence of some properties for AlN thin film on sputtering conditions such as working pressure, N₂ concentration and RF power. XRD, Ellipsometer and AES has been measured to find out structural properties and preferred orientation of AlN thin films. Deposition rate of AlN thin film was increased with an increase of RF power and decreased with an increase of N₂ concentration. AES in-depth measurements showed that stoichiometry of Aluminium and Nitrogen elements were not affected by N₂ concentration. It has shown that low working pressure, low N₂ concentration and high RF power should be maintained to deposit AlN thin film with a high degree of (0002) preferred orientation.

Key Words : AlN, Reactive RF Sputtering, XRD

1. 서 론

질화알루미늄(AlN)은 Wurtzite 구조를 가지는 화합물 반도체로서 높은 열전도도, Si, GaAs 등과 유사한 열팽창계수, 매우 큰 전기저항 및 높은 절연파괴강도, 우수한 열적, 화학적 안정성, 넓은 에너지 밴드갭(6.2 eV), 빠른 탄성파의 속도 등의 우수한 특성을 가지므로 전자부품 패키지, 절연재료, 유전재료, SAW(Surface acoustic wave) 소자, 광전소자 등으로의 응용이 가능하다[1-3].

AlN 박막은 기존의 단결정 압전기판에 비해 두 배 가까운 표면탄성과 전파속도를 가지고, 적당한 큰 압전 특성 이외에도 우수한 기계적 안정성을 지니는 재료로 고주파 SAW 소자의 제조용 압전재료로 연구되고 있다[3, 4]. AlN 박막을 고주파 SAW 소자로 응용하기 위해서는 낮은 기판온도에서 높은 C축 배향성과 평탄한 표면을 가지는 AlN 박막의 제조기술이 확립되어야 하며, 단결정에 비해 박막의 물리적 특성을 제어할 수 있

도록 증착변수에 따른 AlN 박막의 특성에 관한 연구가 선행되어야 한다. AlN 박막은 반응성 스퍼터링법[5], MBE(Molecular Beam Epitaxy)법[6], CVD(Chemical Vapor Deposition)법[7]등을 이용하여 증착시켜 왔다. 이 중 반응성 스퍼터링은 저온(300°C 이하)에서 방향성 박막의 제조가 가능하고, 에피택셜하게 성장시킨 단결정 박막과 거의 비슷한 압전특성을 보이는 높은 C축 배향성 박막을 얻을 수 있다.

본 연구에서는 반응성 RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 Si 기판 위에 AlN 박막을 증착하고 그 특성을 조사하였다. 주요 공정변수인 RF 전력, 증착압력, 질소농도 등에 따른 AlN 박막의 증착속도, 배향성, 조성비 등을 Ellipsometer, XRD(X-ray Diffraction), AES(Auger electron spectroscopy) 를 이용하여 분석하였다.

2. 실 험

일반적으로 스퍼터링으로 증착한 박막의 물성은 타겟(Target)의 조성, 방전가스의 종류와 압력, RF 전력, 기판의 종류, 기판과 전극사이의 거리, 증착속도, 기판

[†]E-mail : cscho@sangju.ac.kr

온도와 챔버 형태 등 매우 많은 변수들에 의해서 변화되는 것으로 알려져 있다. 본 실험에서 사용된 RF 마그네트론 스퍼터링 장치는 Fig 1의 개략도와 같이 구성되었다. 상부에 위치한 마그네트론 방식의 음극에 3인치 직경의 타겟을 장착하고 기판을 바닥에 장착하는 하향식 스퍼터링 장치이다. 기판과 전극 사이의 거리는 10~80 mm로 조절할 수 있도록 설계되어 있다. 로터리 펌프와 터보분자펌프를 이용하여 저진공과 고진공을 형성한다. 유량조절기(MFC; mass flow controller)와 유량조절 밸브를 이용하여 가스의 유량을 조절하고 butterfly valve를 이용하여 압력을 조절한다. 바탕 진공도 측정은 이온게이지를 이용한다. 최대 600 W의 고주파 전력발생기가 음극에 연결되어 있다.

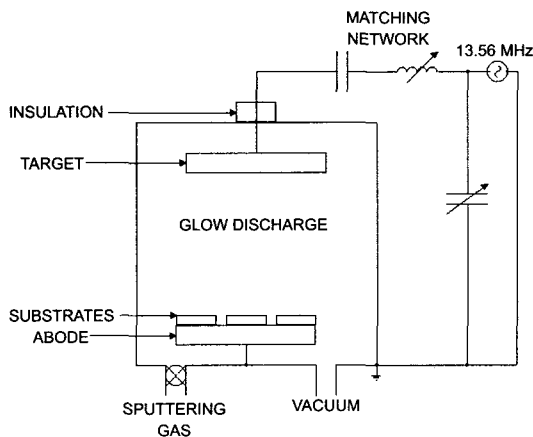


Fig. 1. Schematic diagram of reactive RF Sputtering system.

P-type(100)면 실리콘웨이퍼 상에 RF 마그네트론 스퍼터로 AlN 박막을 증착하였다. 지름이 3인치이고 순도가 99.999%인 알루미늄 타겟을 사용하였으며, 알루미늄 타겟과 실리콘 기판사이의 거리는 8 cm로 고정하였다. 증착전에 기판으로 사용된 실리콘 기판을 아세톤, 알콜과 탈이온 증류수로 각각 20분간 초음파 세척을 한 후 질소가스를 이용해 송풍 건조하였다.

진공조를 로터리펌프와 터보분자펌프로 3×10^{-6} Torr 이하로 배기 시킨 후 고순도(99.999%)의 질소가스와 아르곤가스의 유입량을 유량조절기로 조절하여 3에서 9 mTorr 사이의 일정한 작동압력하에서 박막을 제조하였다. 박막을 제조하기 전에 알루미늄 타겟표면에 형성된 불순물과 산화물의 제거와 불안정한 상태의 플라즈마를 안정화시키기 위해 셔터를 닫은 상태에서 아르곤과 질소 분위기에서 150 W의 RF 전원을 가하여 각각 30분씩 pre-sputtering 하였으며, 그 후에 셔터를 열어 다양한 증착 조건에서 AlN박막을 증착하였다. 자세한

Table 1. Sputtering conditions of AlN thin film.

Target	Al (99.999%, 3 inch)
Substrate	p-type(100) Si 1-30Ω · cm
Base pressure	$<3 \times 10^{-6}$ Torr
RF power	150- 400 W
Working pressure	3- 9 mTorr
N2 concentration	30- 70%
Total flow rate	20 sccm
Substrate-target distance	8 cm
Substrate temperature	Room temperature

스퍼터링 조건을 Table 1에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. RF 전력 효과

Fig. 2는 질소농도($N_2/(N_2+Ar)$) 50%에서 RF 전력에 따른 박막의 증착속도(deposition rate)를 측정한 결과이다. 이때 박막 두께는 Ellipsometer 를 이용하여 측정하였다. RF 전력이 증가함에 따라 증착속도는 거의 직선적으로 증가함을 알 수 있다. 이는 RF 전력이 증가함에 따라 플라즈마내 활성종들의 농도와 에너지가 증가했기 때문이다.

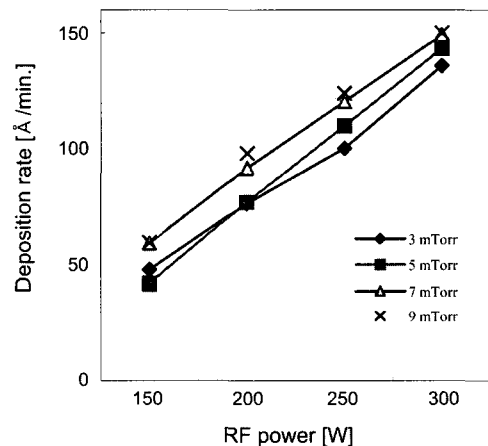


Fig. 2. Variations of deposition rate of AlN thin film with RF power (N_2 concentration : 50%).

Fig. 3은 AlN박막의 결정성과 RF 전력사이의 관계를 조사하기 위해서 질소농도를 50%로, 증착압력을 3 mTorr로 고정시키고, 각각 150 W, 250 W, 350 W의 RF 전력에서 30분간 증착시킨 시편의 XRD 측정결과를 보여준다. RF 전력이 150 W 일 때는 약한 (0002)면

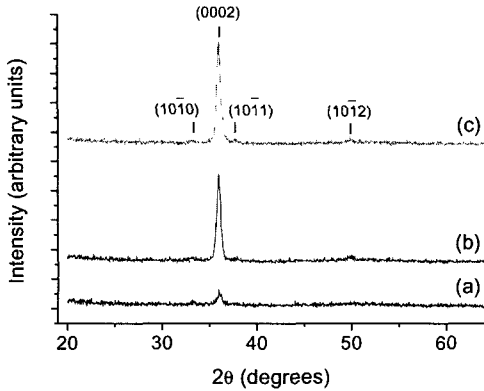


Fig. 3. XRD patterns of AlN thin films with RF power : (a) 150 W, (b) 250 W, (c) 350 W.

의 피크가 형성되었으나, RF 전력이 250 W 이상에서는 아주 강한 (0002)면의 피크가 형성되었음을 볼 수 있다. 또한 RF 전력이 증가할수록 (0002)면의 피크가 커짐을 확인할 수 있으며 미약한 (102)면의 피크가 형성됨을 볼 수 있다. 이것은 박막을 결정화하기 위한 에너지는 스퍼터된 입자 자체의 운동에너지이므로 RF 전력이 증가하면 이온화된 입자들의 평균 운동에너지가 증가되어 높은 에너지를 가지고 기판에 충돌하게 됨으로써 미세 조직 내에 기공이 감소된 치밀한 박막을 얻을 수 있기 때문이다.

3.2. 증착압력 효과

증착압력에 따른 AlN박막의 증착속도 변화는 Fig. 4에 나타내었다. 증착속도는 압력이 증가함에 따라 약간

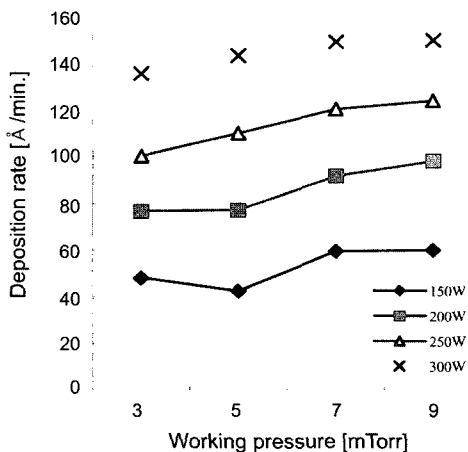


Fig. 4. Variations of deposition rate of AlN thin film with working pressure (N_2 concentration : 50%).

증가하며 포화되는 경향을 보이고 있다. 이는 증착압력이 감소하게 되면 플라즈마의 밀도가 낮아지게 되어 증착속도가 감소하는 것으로 추정되며 어느 압력범위에서 최대의 증착속도를 보이게 된다. 그러나 압력이 너무 낮으면 증착되는 입자의 에너지가 너무 높아서 타겟에 손상을 줄 우려가 있으므로 적절한 작업조건이 필요할 것으로 여겨진다.

Fig. 5는 증착압력에 따른 박막의 우선 방향성을 알아보기 위해 RF 전력은 250 W, 질소농도는 50%의 조건에서 성장시킨 박막의 X선 회절결과이다. 각각 3, 5, 7 mTorr로 증착압력이 증가함에 따라 (101)면과 (100)면의 피크는 증가하고 (0002)면의 피크는 감소하는 경향을 뚜렷이 볼 수 있으며, 3 mTorr의 압력에서 증착시킨 시편의 경우는 강한 (0002)면의 우선 방향성을 보이며 (100)과(101)의 피크가 거의 없음을 확인할 수 있다. 이와 같은 결과는 여러 연구자들에 의해서 보고[8]가 되어 왔다. 증착압력이 증가함에 따라 플라즈마내의 입자들이 산란효과에 의해 우선 방향성이 감소하는 것으로 생각된다.

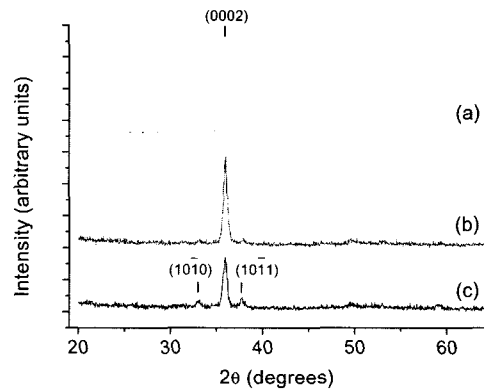


Fig. 5. XRD patterns of AlN thin films with working pressure: (a) 3 mTorr, (b) 5 mTorr, (c) 7 mTorr.

3.3. 질소농도 효과

일반적으로 반응성 스퍼터링법으로 방향성을 제조할 때는 알루미늄 타겟을 아르곤과 질소가스가 혼합된 분위기에서 스퍼터링시켜 제조한다. 그러므로 반응 챔버내의 질소농도가 박막의 형성에 중요한 변수가 된다고 알려져 있다. Fig. 6은 RF 전력 250 W, 증착압력 3 mTorr에서 질소농도의 변화에 따른 방향성의 증착속도 특성을 보이고 있다. 이때 질소농도는 총 가스유량을 20 sccm으로 고정한 상태에서 아르곤과 질소가스의 유량을 서로 변화시킨 값이다. 질소농도가 증가할수록 AlN 박막의 증착속도는 감소하였다. 이러한 이유는 질

소농도가 증가함에 따라 타겟으로 입사하는 질소의 충돌빈도가 증가하는 반면 상대적으로 스퍼터율이 큰 아르곤이 타겟의 표면에 충돌하는 횟수가 감소하기 때문에 스퍼터율이 감소하는 것으로 생각되며, 또한 질소농도의 증가에 따라 타겟 표면에서의 질화작용이 증가하여 타겟표면의 포텐셜이 낮아지기 때문에 스퍼터율이 감소하고 AlN 박막의 증착율이 감소하게 되는 것으로 여겨진다[9].

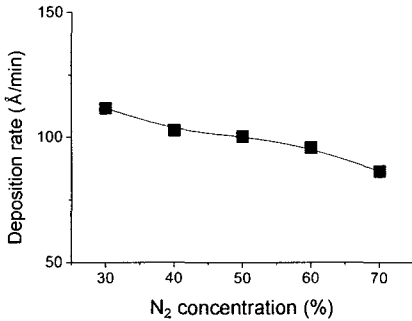


Fig. 6. Variations of deposition rate of AlN thin film with nitrogen concentration (RF power: 250 W, working pressure: 3 mTorr).

Fig. 7은 RF 전력 250 W, 증착압력 3 mTorr에서 서로 다른 질소농도로 증착한 AlN 박막의 XRD 측정결과이다. 질소농도의 변화에 관계없이 모든 샘플은 (0002)면의 우선 방향성을 가지며 농도가 감소할수록 피크의 크기는 증가함을 알 수 있다. 그리고 질소농도가 30%인 경우는 약한 (100)과 (101)면의 피크가 형성되었으나 질소농도가 증가함에 따라 이 피크들은 소멸됨을 확인 할 수 있다. 질소농도가 높을 수록 (0002)면의 우선 방향성을 가지고 있으나 질소 농도가 너무 높으면 박막의 결정립내의 격자 결함과 관련된 응력과

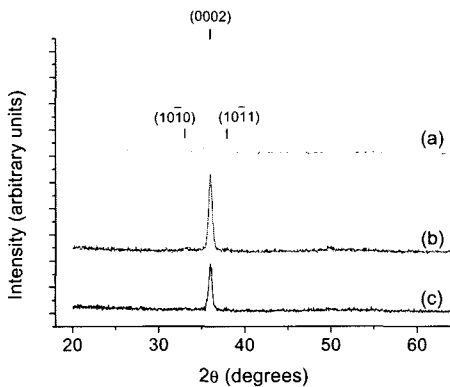


Fig. 7. XRD patterns of AlN thin films with nitrogen concentration : (a) 30%, (b) 50%, (c) 70%.

결정립 경계구조와 관련된 응력에 의해서 생겨난 작은 결정립과 비균질 변형이 생긴다는 보고가 있다[10].

Fig. 8은 RF 전력 250 W, 증착압력 3 mTorr, 상온에서 증착한 시편의 질소농도에 따른 AES 분석결과이다. 깊이 분석을 위해서 Ar 빔은 4 kV, 전자빔 5 kV의 전압으로 아르곤이온 스퍼터링을 행하였다. 질소농도에 거의 무관하게 박막의 전 두께 범위에서 알루미늄이 질소보다 약간 더 높은 조성 농도를 보이며 박막이 증착되는 것을 알 수 있다. 이것은 일반적으로 알려진 것처럼 AlN의 특성상 cation excess한 성질을 보이기 때문인 것 같다. 또한 박막 내부에는 박막의 우선 방향성에 큰 영향을 미치는 산소가 미량 포함되어있는 것을 볼 수 있다.

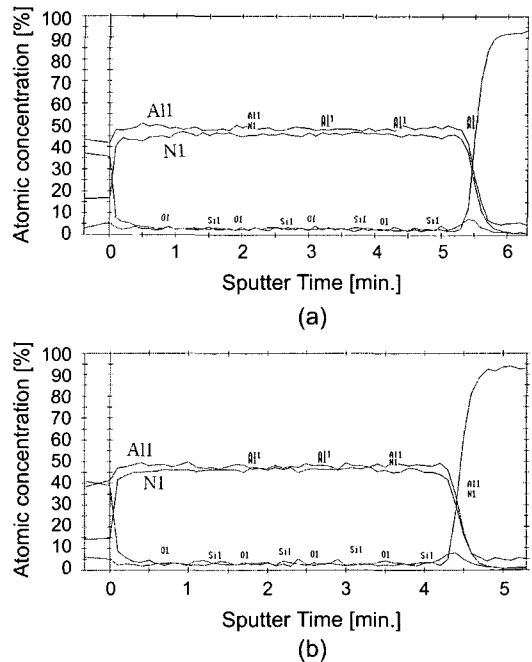


Fig. 8. AES depth profiles of AlN thin film with nitrogen concentration : (a) 30%, (b) 70% (RF power : 250 W, working pressure : 3 mTorr).

4. 결 론

본 연구에서는 Si 기판 위에 반응성 RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 상온에서 AlN 박막을 증착하고 그 특성을 조사하였다. 주요 공정변수인 RF 전력, 증착압력, 질소농도 등에 따른 AlN 박막의 증착속도, 배향성, 박막내의 조성비 등을 Ellipsometer, XRD, AES 를 이용하여 분석하였다. AlN 박막의 증착속도는 RF 전력이 증가할수록, 질소농도가 감소할수록 증가

였다. AES로 박막의 깊이에 따른 조성분석을 행한 결과, 박막내 질소와 알루미늄 비는 질소농도에 거의 무관하게 박막의 전 두께 범위에서 알루미늄이 질소보다 약간 더 높은 조성 농도를 보이며 박막이 증착되었다. 작업압력 및 질소농도가 낮을수록 그리고 RF 전력이 높을수록 증착된 AlN 박막은 우수한 (0002)면의 우선 배향성 특성을 보였다. 즉, RF 전력이 250W 이상에서는 아주 강한 (0002)면의 피크가 형성되었으며, 증착압력이 증가함에 따라 (101)면과 (100)면의 피크는 증가하고 (0002)면의 피크는 감소하는 경향을 뚜렷이 볼 수 있었다. 차후 각 증착변수에 따른 박막의 표면거칠기, 결정성, 전기적 특성 등에 대한 심도있는 연구가 수행되어야 할 것으로 여겨진다.

참고문헌

1. Levinshtein, M.E., Rumyantsev, S.L., and Shur, M.S., *Properties of Advanced Semiconductor Materials: GaN, AlN, InN, BN, and SiGe*, John Wiley and Sons, New York, (2002).
2. Tayer, K.M., and Linie, C., "Some Properties of Aluminum Nitride", *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 107, No. 4, pp. 308-314 (1960).
3. Yong, Y.J., and Lee, J.Y., "Characteristics of Hydrogenated aluminum nitride films prepared by radio frequency reactive sputtering and their application to surface acoustic wave devices", *J. Vac. Sci. Technol.* Vol. A 15, No. 2, pp. 390-393 (1997).
4. Kaya, K., Takahashi, H., Shibata, Y., Kano, Y., and Hirai, T., "Experimental Surface Acoustic Wave Properties of AlN Thin Films on Sapphire Substrate", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 36, no. 1A, pp.307-312, Jan. (1997).
5. Penza, M., De Riccardis, M.F., Mirengi, L., Tagliente, M.A., Verona, E., "Low temperature growth of r.f. reactively planar magnetron-sputtered AlN films", *Thin Solid Films*, Vol. 259, pp. 154-162, (1995).
6. Miyauchi, M., Ishikawa, Y., and Shibata, N., "Growth of Aluminum Nitride Films on Silicon by Electron-Cyclotron-Resonance-Assisted Molecular Beam Epitaxy", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 31, pp. L1714-L1717 (1992).
7. Dupuie, J.L., and Erdogan Gulari, "Hot filament enhanced chemical vapor deposited of AlN thin film" *Appl. phys. Lett.*, Vol. 59, No. 5, pp. 549-551 (1991).
8. Huffman, G.L., Fahnline, D.E., Messier, R., and Piloni, L.J., "Stress dependence of reactively sputtered aluminum nitride thin films on sputtering parameters", *J. Vac. Sci. Technol.*, Vol. A7, No.3, pp. 2252-2255 (1989).
9. Okano, H., Takahashi, Y., Tanaka, T., Shibata, K., and Nakano, S., "Orientation Control of AlN Film by Electron Cyclotron Resonance Ion Beam Sputtering", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 31, pp. 3017-3020 (1992).
10. Aita, C.R., and Gawlak, C.J., "The dependence of aluminum nitride film crystallography on sputtering plasma composition", *J. Vac. Sci. Technol.*, Vol. A1, No. 2, pp. 403 (1983).