

RF Magnetron Sputtering 법으로 증착된 AlN 박막의 특성

Characteristics of AlN thin film using RF Magnetron Sputtering

조인호*, 장철영*, 고성용*, 이용현**

(In-Ho Cho*, Cheol-Yeong Jang*, Sung-Yong Ko*, Yong-Hyun Lee**)

Abstract

Aluminum nitride(AlN) thin films were deposited on silicon substrates using RF magnetron sputtering at various deposition conditions and investigated the characteristics. It was used XRD, AES, SEM, and HP-4145B semiconductor parameter analyzer to analysis deposited AlN thin films. The deposition conditions for the good c-axis orientation were 100 W of RF power, 200 °C of substrate temperature and 15 mTorr of working pressure. The leakage current density was less than 1.3×10^{-7} A/cm². And it was also investigated the etching properties of deposited AlN thin films for application.

Key Words : AlN, sputtering, etching

1. 서 론

Aluminum과 nitrogen 원자가 육방형의 wurtzite 구조로 공유결합을 하고 있는 Aluminum nitride는 비금속 질화물로서, 매우 높은 열전도도, 낮은 열팽창계수, 매우 큰 전기저항, 적당한 유전 특성과 기계적 강도, 우수한 내식성 등의 특성을 가지므로, 반도체 소자의 기판, 절연재료, 광전도 소자 등으로의 응용이 기대되고 있다. 또한 III-V 족 반도체로서 넓은 에너지 금지대역폭을 가지고, c축 압전성이 크며, 광투과성이 좋은 장점을 가진다⁽¹⁻⁵⁾. 그러나 다른 압전 박막에 비해 단결정 또는 우수한 배향성을 갖는 박막 제조가 어려운 단점을 가진다.

AlN 박막을 제조하기 위해서는 표 1에 나타낸 것과 같이 chemical vapor deoposition (CVD)⁽⁶⁻⁹⁾, molecular beam epitaxy (MBE)⁽¹⁰⁻¹¹⁾, 스퍼터링 법⁽¹²⁻¹⁵⁾ 등의 여러 가지 방법이 있다. 그러나, 일반적

으로 CVD나 MBE 방법은 900 °C 이상의 온도에서 epitaxial 하게 성장된 AlN 박막을 얻을 수 있으나, 높은 증착온도로 인해 실제 소자 제조공정에는 적용시키기 어렵고, 제한된 기판만 사용 가능한 단점을 가진다. 이에 반해 스퍼터링 법은 300 °C 이하의 낮은 온도에서 증착 가능하며, 증착 조건이 최적화 되면 CVD나 MBE 방법으로 증착한 것과 같은 높은 c-축 방향의 배향성을 갖는 AlN 박막을 얻을 수 있다.

본 논문에서는 RF magnetron sputtering 방법으로 AlN 박막을 증착하여 그 특성을 분석하였다.

2. 실험

본 논문에서는 RF magnetron sputtering 장치를 이용하여 p-type (100) Si wafer 위에 AlN 박막을 증착하였다. 증착 시에는 순도 99.999 % 인 직경 3" Al 타겟과 고순도 질소 가스를 사용하였다. 기판으로 사용되는 Si wafer는 충분히 세척하여 표면의 이물질을 제거하였다. 또, 플라즈마를 안정시키고 타겟 표면의 불순물을 제거하기 위해

* : 경북대학교 대학원 전자공학과
(대구광역시 북구 산격동 1370,
Fax : 053-950-5520, Phone: 053-940-8620,
E-mail : inoda@hanmail.net)

** : 경북대학교 전자전기컴퓨터 공학부

셔터를 닫은 상태에서 30분간 pre-sputtering을 실행했다. 자세한 증착 조건은 표 2에 나타내었다.

표 1. AlN 박막의 증착 방법.

Table 1. Deposition methods of AlN thin films.

Method	Advantage	Disadvantage
CVD	epitaxial growth low cost	deposition temp. > 500 °C toxic gas
MBE	epitaxial growth high quality film	deposition temp. > 900 °C high vacuum
Sputtering	low temp.<300°C low cost mass production	defect density inferior crystallinity

RF magnetron sputtering 장치로 박막 증착시, RF 전력, 증착 압력, 가스 농도, 기판 온도 등의 많은 변수들이 존재한다. 본 논문에서는 다른 조건들을 최적화 시킨 후, 기판 온도에 따른 박막의 우선 배향성 정도를 알아보았다. 우선 배향성 정도를 측정하기 위해 XRD 측정을 하였고, 박막의 깊이에 따른 조성 변화를 살펴보기 위해서 AES 분석을 하였다. 또, HP-4145B semiconductor parameter analyzer를 이용하여 그 전기적 특성을 조사하였다.

표 2. AlN 박막의 sputtering 조건.

Table 2. Sputtering condition of AlN thin films.

Target	Al (99.999 %, 3")
Substrate	p-type Si(100)
RF power (W)	100
Working pressure (mTorr)	15
Substrate temp. (°C)	R.T.~300

또, 소자 제작을 위해 반드시 필요한 패턴 형성을 위해 식각 특성도 조사하고, SEM을 이용해 AlN 박막의 식각 단면을 살펴보았다.

3. 결과 및 고찰

그림 1에 증착 온도에 따른 AlN 박막의 XRD 측정 결과를 나타내었다. RF 전력, 증착 압력, 가스 농도 등의 다른 조건들은 고정시킨 후, 증착 온도만 변화 시키면서 박막을 증착하였다. 증착 온도가 200 °C 가 될 때까지는 증착 온도가 증가할수록 AlN 박막의 (0002) 방향으로의 우선 배향성이 향상되는 것을 볼 수 있다. 이는 증착 온도가 올라가면서 표면 원자들이 충분한 이동성을 가지기 때문이다^[16]. 그러나 증착 온도가 300 °C 이상이 되면 (0002) 방향보다는 (10 $\bar{1}$ 0) 방향으로 우선 배향성을 가지는 것을 볼 수 있다.

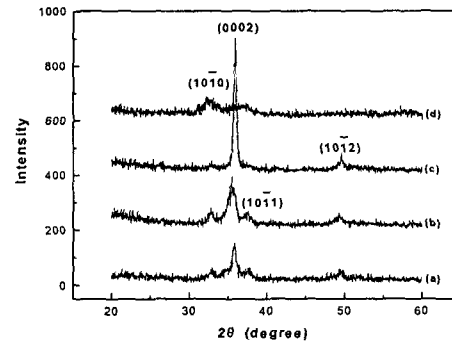


그림 1. 증착 온도에 따른 AlN 박막의 XRD 패턴 (a) R.T., (b) 100 °C, (c) 200 °C 와 (d) 300 °C.

Fig. 1. XRD pattern of AlN thin film at depotion temperature of (a) R.T., (b) 100 °C, (c) 200 °C, and (d) 300 °C.

AlN 박막의 조성 변화를 살펴보기 위해 AES를 사용하여 깊이 방향에 따른 조성분석을 하여 그림 2에 나타내었다. 알루미늄과 질소가 깊이가 변하더라도 일정한 비로 결합되어 있음을 확인할 수 있다. 박막 표면에서 산소의 함유량이 큰 것은, 증착 후 AlN 박막 표면에 생성되는 AlO_x 로 인한 것으로 생각된다. 일반적으로 알루미늄이 질소에 비해 산소와의 반응성이 훨씬 크므로, AlN 박막이 공기 중에 노출되면 표면에서 알루미늄과 산소가 결합하여 AlO_x 가 형성되어 박막은 안정된 상태를 유지한다고 알려져 있다^[17].

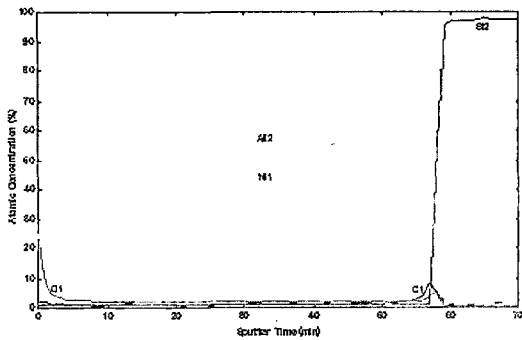


그림 2. AlN 박막의 AES depth profile.
Fig. 2. AES depth profile of AlN thin film.

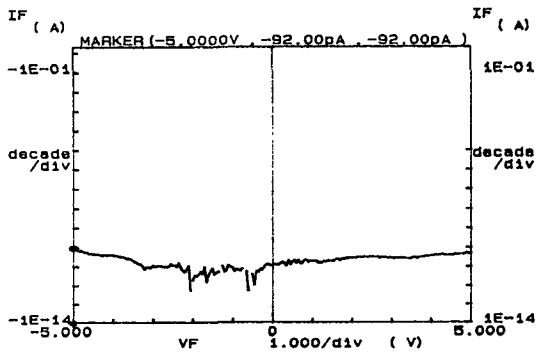


그림 3. AlN 박막의 I-V 특성
Fig. 3. I-V characteristic of AlN thin film.

AlN 박막의 증착 온도가 200 °C 일 때의 I-V 특성을 HP-4145B를 이용해 측정해 그 결과를 그림 3에 나타내었다. 측정 범위는 -5 ~ 5 V 이다. 이 때, AlN 박막의 누설 전류 밀도는 1.3×10^{-7} A/cm² 이하의 값을 나타내었다.

RF magnetron sputtering 방법으로 제조된 AlN 박막을 소자 제작에 응용하기 위해서 그 식각 특성을 조사하였다. Pt/Ti/SiO₂/Si 위에 증착된 AlN 박막의 식각 후의 단면 SEM 사진을 그림 4에 나타내었다. 식각액으로는 H₃PO₄, HNO₃, 그리고 CH₃COOH 을 혼합한 용액을 80 °C 정도로 하여 사용하였다. 식각 경계면이 완만한 경사를 가지는 형태를 가지므로 소자 제작을 위한 비교적 원만한 다차 피복성을 가지는 것을 볼 수 있다. 식각율은 그 혼합비에 따라 185 ~ 320 Å/sec 정도를 나타내었다.

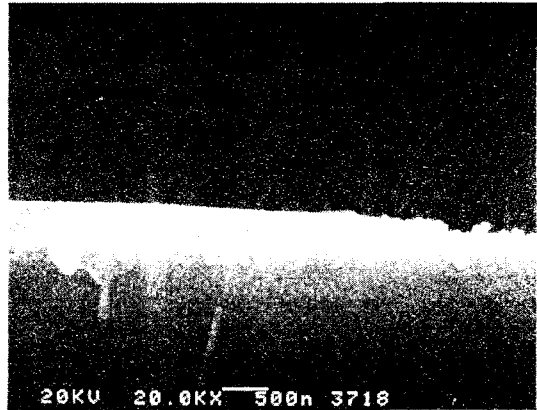


그림 4. AlN 박막 etching 후의 단면 SEM 사진.
Fig. 4. SEM micrograph of cross section after etching AlN thin film.

표 3. 혼합비에 따른 식각율.

Table 3. Etching rate as mixed proportions.

혼합비 (H ₃ PO ₄ :HNO ₃ :CH ₃ COOH)	식각율 (Å/sec.)
4 : 1 : 1	320
8 : 1 : 1	250
16 : 1 : 1	185

4. 결론

본 논문에서는 RF magnetron sputtering 방법을 사용하여 AlN 박막을 증착하여 그 특성을 분석하였다. 증착 온도가 200 °C 까지는 증가 할수록 c-축으로 우수한 배향성을 나타내는 AlN 박막을 얻을 수 있었지만, 300 °C 이상의 증착 온도에서는 AlN 박막의 배향성이 (0002)에서 (10 $\bar{1}$ 0)으로 변화하였다.

AES 분석을 통해 깊이에 따라 알루미늄과 질소의 조성비가 일정하고, 박막 내에는 산소가 거의 존재하지 않는 것을 알 수 있었다. 그리고 누설 전류 밀도를 측정하기 위한 I-V 측정 결과, 1.3×10^{-7} A/cm² 이하의 값을 얻을 수 있었다.

그리고 소자 제작에 응용하기 위해 식각 특성을 조사한 결과, 식각 경계면이 완만한 경사를 가지는 형태를 가지므로 비교적 원만한 단차 피복성을 가진다.

이상의 결과에서 RF magnetron sputtering 방법으로 AlN 박막을 증착하여도 비교적 높은 c-축 배향성을 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 낮은 증착 온도, 증착 방법의 용이성 등의 많은 장점이 있다는 것을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] N. Kuramoto and H. Taniguchi, "Transparent AlN ceramics," *J. Mat. Sci. Lett.*, vol. 3, pp. 471-474, 1984.
- [2] N. Kuramoto et al., "Translucent AlN ceramic substrate," *IEEE Trans. Comp., Hybrids, Manuf. Technol.*, vol. CHMT-9, pp. 386-390, Dec. 1986.
- [3] N. Iwase et al., "Thick film and direct bond copper forming technologies for aluminum nitride substrate," *IEEE Trans. Comp., Hybrids, Manuf. Technol.*, vol. CHMT-9, pp. 253-258, 1985.
- [4] Y. Kurokawa et al., "AlN substrates with high thermal conductivity," *IEEE Trans. Comp., Hybrids, Manuf. Technol.*, vol. CHMT-8, pp. 247-252, 1985.
- [5] W. Werdecker, "Metallizing of aluminum nitride substrates," in *Proc. 5th European Hybrid Microelectronics Conf.*, 1985, pp. 472-488.
- [6] M. Morita, N. Uesugi, S. Isogai, K. Tsubouchi and N. Mikoshiba, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 20(1), 17, 1981.
- [7] Y. Chubachi, K. Sato and K. Konjima, *Thin solid films*, 122, 259, 1984.
- [8] F. Hasegawa, T. Takahashi, K. Kubo and Y. Nannichi, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 26, 1555, 1987.
- [9] G. Nickel, R. Riedel and G. Petzow, *J. Am. Ceram. Soc.*, 72, 1804, 1989.
- [10] S. Yoshida, S. Misawa, U. Fujii, S. Takada, H. Hayakawa, S. Gonda and A. Itoh, *J. Vac. Sci. Technol.*, 16, 990, 1979.
- [11] H.-U. Baier and W. Monch, *J. Vac. Sci. Technol.*, B 4, 1735, 1992.
- [12] H. Okano, Y. Takahashi, T. Tanaka, K. Shibata and S. Nakano, *Jpn. J. Appl. Phys.* 31, 3446, 1992.
- [13] A. J. Shuskus, T. M. Reeder and E. L. Paradis, *Appl. Phys. Lett.*, 24(5), 155, 1974.
- [14] L. Xingiao, X. Zechuan, H. Ziyou, C. Huazhe, S. Wuda, C. Zongcai, Z. Feng and W. Enguang, *Thin solid films*, 139, 261, 1986.
- [15] T. Shiosaki, T. Yamamoto, T. Oda and A. Kawabata, *Appl. Phys. Lett.*, 36(8), 643, 1980.
- [16] D. N. Lee, *J. Matter. Sci.*, 24, 4375, 1989.
- [17] M. D. Wiggling, C. R. Arita, F. S. Hickernall, *J. Vac. Sci. Technol.*, A2, 3235, 1984.