

반응성 스퍼터링법으로 Al/AlN/GaAs MIS 커패시터 제조시 DC 전력에 따른 전기적 특성

Electrical Characteristic of Al/AlN/GaAs MIS Capacitor Fabricated by Reactive Sputtering Method for the DC power

권 정열, 이 현용, 김 지균, 김 병호, 김 유경
(Kwon Jung Youl, Lee Hun Yong, Kim Jee Gyun, Kim Byoung Ho, Kim Yu Kyong)

Abstract

In this paper, we investigated the electrical characteristics through DC power at manufacturing the MIS capacitor insulator AlN thin film based on reactive sputtering method. In case of deposition temperature 250°C, pressure 5mTorr, total flow rate 8sccm(Ar:4sccm, N₂:4sccm), AlN thin film was deposited with changing DC power. As DC power increases, resistivity is observed a little increase. When AlN thin film is deposited at 100W, the result shows leakage current 10⁻⁸A/cm² at 0.1MV/cm. Otherwise, In case of depositing at 150W and 200W, the result shows that the characteristic of leakage current is under 10⁻⁹A/cm² at 0.1MV/cm. In C-V characteristic with DC power, deep depletion phenomenon is observed at inversion region in 100W and 150W. In 200W, that phenomenon, however, was showed to decrease. It shows that the hysteresis increases with being increasing DC power.

Key Words : AlN thin film, reactive sputtering, MIS capacitor, GaAs

1. 서론

질화알루미늄(AlN)은 알루미늄과 질소원자가 공유 결합을 한 육방형의 Würtzite 결정구조의 비금속 질화물로서 매우 높은 열전도도, 낮은 열팽창계수, 매우 큰 전기저항, 적당한 유전특성 및 기계적 강도 등의 특성을 갖기 때문에 반도체 소자의 기판, 절연재료, 내열재료 및 광전재료 등으로 많은 응용이 되고 있다. 그리고, 넓은 에너지 금지대폭(6.2eV)을 가진 III-V족 화합물반도체로서 절연성이 크고, 광투과성이 좋기 때문에 보호막으로써의 장점을 가지고 있다. 따라서 이러한 특성을 이용한 소자의 제조 및 물성에 관한 연구가 많이 진행되고 있다.

MIS소자에서의 AlN은 절연막으로 응용이 기대되고 있는데, 이것은 AlN의 열팽창계수가 Si 이나 GaAs 기판과 거의 같기 때문에, 열응력의 유발이 거의 없고, 또한 다른 절연막(Al₂O₃, Si₃N₄, SiO₂, Si_xO_yN_z, Ta₂O₅ 등)에 비하여 높은 열전도도를 가지기 때문에, 단위시간당의 방열처리가 문제되는 반도체 소자에 응용이 되고있다. AlN 박막을 이와 같은 MIS 소자의 절연막으로 이용하기 위해서는 높은 C-V 특성과 높은 절연파괴전압 특성을 갖는 고밀도의 비정질막이 요구되며, 특히 GaAs와 같은 화합물 반도체에서는 낮은 증착온도가 필수적이다. AlN 박막의 제조방법은 CVD(Chemical Vapor Deposition)법, 반응성 MBE(Molecular Beam Epitaxy)법, 반응성 스퍼터링법 등 여러 가지 방법이 있는데, 낮은 온도에서 AlN 박막을 제조할 수 있는 반응성 스퍼터링법이 많이 사용되고 있다.

스퍼터링시에는 초기진공도(base pressure), 스퍼터

* 명지대학교 전기공학과
(경기 용인시 남동 명지대학교,
Fax: 031-321-8329
E-mail : illbul@hanmail.net)

링 가스와 잔류가스, 스퍼터링 압력, DC/RF 전력 (input voltage and current) 그리고 기판온도와 같은 여러 가지 변수들이 있다.

전력의 증가에 따라 증착 속도는 비례적으로 증가하나, 한계전력을 넘게되면 기판에서 재방출된 물질의 입자가 산란을 일으키거나, 이온 전류에는 기여하지만 스퍼터링 물질의 이동에는 기여하지 못하는 비효율적 스퍼터링 기체의 존재로 오차가 생기기도 한다. 그러므로 DC전력은 박막의 구조 및 증착속도에 큰 영향을 미치므로 요구되는 박막 재료에 따라 적절한 전력을 설정해야 한다. 이러한 DC전력에 의해 박막의 전기적성질 변화도 예측되는데 이에 대한 연구는 미미한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 반응성 스퍼터링법으로 Al/AlN/GaAs 커패시터를 제조할 때 DC 전력을 실험변수로 하여 AlN박막의 I-V특성 및 C-V특성을 측정함으로써 전기적성질 변화의 고찰과 MIS반도체 소자로서의 응용을 위한 기초연구를 수행하였다.

2. 실험 방법

본 실험에서 사용된 시편은 비저항값이 0.78~4 $\Omega \cdot \text{cm}$ 의 값을 갖는 n-type (100) 방향의 갈륨비소 웨이퍼를 사용하였다. 갈륨비소 웨이퍼는 아세톤과 에틸알콜에서 각각 10분간 ultrasonic cleaning 처리를 한 후 자연 산화막을 제거하기 위하여 HCl 용액에 10분간 처리한 후 질소가스를 이용하여 송풍 건조하였다. 타겟 표면에 형성된 불순물(주로 산화물)과 초기의 불안정한 상태의 플라즈마를 안정화시키기 위하여 아르곤과 아르곤+질소분위기에서 각각 10분과 20분씩 예비스퍼터링을 하였으며 그 후에 AlN박막을 증착하였다. 위의 스퍼터링 조건을 Table 1.에 나타내었다.

Table 1. AlN 박막의 증착 조건.

타겟	Aluminum(5N, 3inch)
타겟-기판 거리	8.5cm
초기진공도	3.0×10^{-6} Torr
DC 전력	100~200W
스퍼터링 압력	5mTorr
기판온도	250°C
총 가스 유량비	8sccm(Ar:4sccm+N ₂ :4sccm)

3. 결과 및 고찰

Fig. 3-1은 DC 전력 변화에 따른 증착률의 변화를 보인 것이다. DC 전력이 100W, 150W, 200W일 때 증착률은 17.4, 27.0, 34.0A/min이고, DC 전력이 증가할수록 증착률이 선형적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. Fig. 3-2는 DC 전력에 따른 굴절률의 변화를 보여주고 있다. 일반적으로 AlN의 굴절률은 구조정연(structure order)이 증가함에 따라 증가하고 그 값들은 다음과 같이 보고되고 있다.^[1-8]

amorphous film : 1.8 ~ 1.9
 polycrystalline film : 1.9 ~ 2.1
 epitaxial film : 2.1 ~ 2.2
 single crystal : 2.2 ~

본 실험에서 DC 전력에 따른 굴절률 변화는 2.1정도로 일정함을 보이고 있으며, 다결정 박막으로 평가된다. Fig. 3-3은 DC 전력에 따른 X-선 회절 결과를 보인 것이다. DC 전력이 증가함에 따라 (002) 피크가 증가하는 일반적인 경향이 나타나고 있고, 150W에서 (100) 피크가 크게 나타나 있다. GaAs 기판의 방향성이 (100)이므로 150W에서 증착된 AlN막과 격자결합이 작게 작용할 것으로 사료된다.

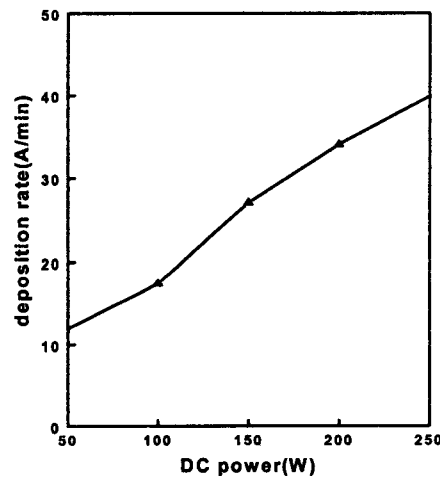


Fig. 3-1. The deposition rate of AlN films as a function of the DC power.

Fig. 3-4는 1MV/cm 전계에서 측정된 DC 전력에 따른 저항률의 변화를 보여주고 있다. DC 전력이 증가함에 따라 저항률은 작은 증가가 관찰된다.

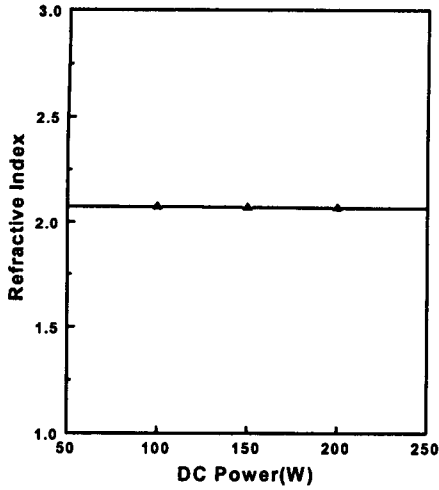


Fig. 3-2. The refractive index of AlN films as a function of DC power.

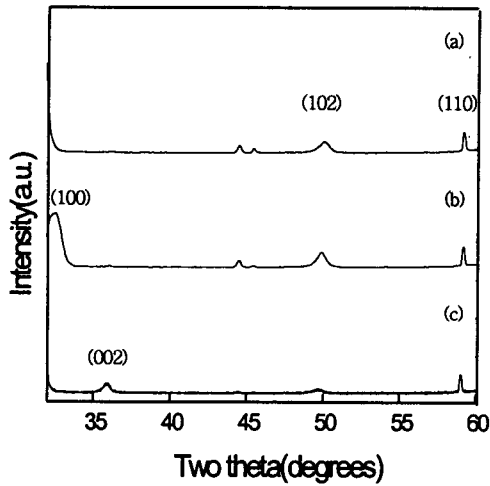


Fig. 3-3. XRD patterns of AlN films as a function of DC power.
(a) 100W (b) 150W (c) 200W

Fig. 3-5는 서로 다른 DC 전력에서 증착된 AlN 박막의 전계에 따른 누설전류 특성을 보여주고 있다. 100W에서 증착한 AlN박막의 경우 0.1MV/cm에서 10^{-8} A/cm²의 누설전류특성이 나타나고, 반면에 150W와 200W에서 증착한 경우는 0.1MV/cm에서 10^{-9} A/cm² 이하의 누설전류특성이 나타남을 볼 수 있다. DC 전력 변화에 따른 위와 같은 특성의 차이

는 증착물의 차이에 의한 박막내의 불순물 함량의 변화와 구조적인 변화에 의해 나타나는 것으로 볼 수 있다. DC 전력이 낮아짐에 따라 증착물이 낮아지고, 따라서 타겟표면 위에 불순물이나 챔버내에

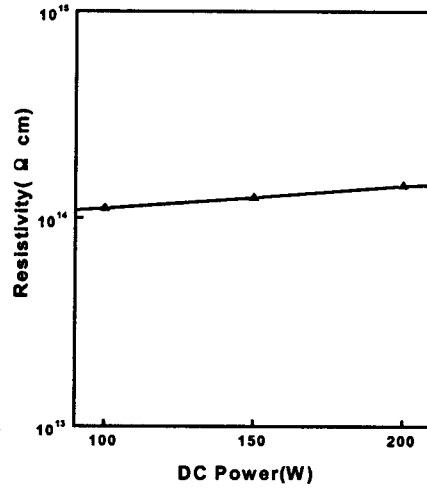


Fig. 3-4. The characteristic Resistivity-DC Power curves of aluminum nitride film deposited at the different DC power.

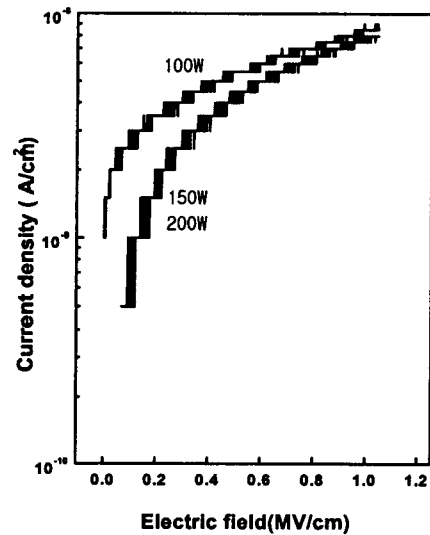


Fig. 3-5. The characteristic I-V curves of aluminum nitride film deposited at the different DC power .

존재하는 불순물이 박막에 증착되어 박막내에 불순물 함량이 증가하게 될 것이다. 따라서 100W에서 증착된 AlN박막은 150W, 200W에서 증착된 박막에 비해 낮은 전계에서 다소 높은 누설전류 특성을 보여주고 있다.

Fig. 3-6는 DC 전력의 변화에 따른 AlN박막의 C-V특성을 보인 것이다. DC 전력에 따른 C-V 특성에서 100W, 150W의 경우에 반전영역에서 깊은공핍(deep depletion) 현상이 관찰되고 있으나 200W에서는 다소 이러한 현상이 감소하였음이 관찰되고 있다. 이는 기판에서 매우 낮은 캐리어의 발생률에 기인하는 것으로서 DC 전력에 따라 결정구조와 증착률의 변화에 의하여 나타나는 현상으로 해석이 가능하다. 또한 100W에서 증착된 AlN박막의 경우 반전과 축적에서 커패시턴스 값의 차이가 매우 작음을 나타내고 있다. DC 전력이 증가함에 따라 히스테리시스가 증가하는 것이 관찰되고 있는데 이는 200W에서 증착된 AlN박막이 100W, 150W에서 증착된 것보다 스트레스를 더 많이 받아서 나타나는 현상으로 사료된다.

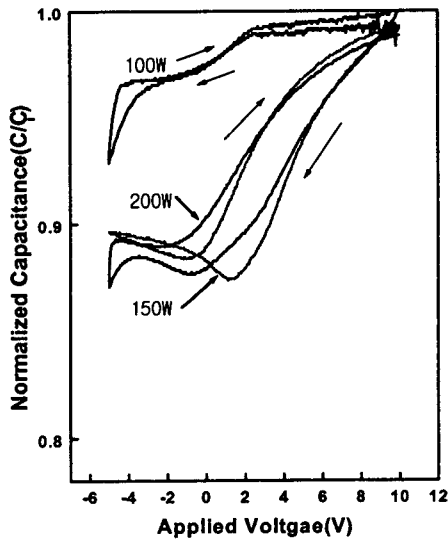


Fig. 3-6. C-V curve variation as a function of DC power.

4. 결론

반응성 스퍼터링법으로 Al/AlN/GaAs 커패시터를

제조할 때 증착온도를 실험변수로 하여 AlN박막의 I-V특성 및 C-V특성을 측정함으로써 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) DC 전력이 증가함에 따라 증착률은 선형적으로 증가하나, 굴절률은 약 2.1 정도로 일정함을 보인다.
- (2) DC 전력이 증가함에 따라 박막의 저항률은 작은 증가를 보였다.
- (3) 100W에서 증착한 AlN박막의 경우 0.1MV/cm에서 10^{-8} A/cm²의 누설전류특성이 나타나고, 반면에 150W와 200W에서 증착한 경우는 0.1MV/cm에서 10^{-9} A/cm² 이하의 누설전류특성이 나타남을 볼 수 있다.
- (4) DC power에 따른 C-V 특성에서 100W, 150W의 경우에 반전영역에서 deep depletion 현상이 관찰되고 있으나 200W에서는 다소 이러한 현상이 감소하였음이 관찰되고 있다. 또한 DC power가 증가함에 따라서 히스테리시스가 증가하는 것으로 나타났

참고 문헌

- [1] R.G. Gordon, D.M. Hoffman, U. Riaz, J. Mater. Res., vol.6, p.5(1991).
- [2] T.L. Chu, R.W. Kelm, J. Electrochem. Soc., vol.6, p.995(1975).
- [3] H. Demiryont, L.H. Thompson, G.J. Collins, Appl. Opt., vol.25, p.1311(1986).
- [4] F.S. Ohuchi, R.H. French, J. Vac. Sci. Technol., A. vol.6, p.1695(1988).
- [5] E. Rille, R. Zarwasch, H.K. Pulker, Thin Solid Films, vol.28, p.215(1993).
- [6] J.A. Sell, W.J. Meng, T.A. Perry, J. Appl. Phys., vol.10, p.1804(1992).
- [7] W.J. Meng, J.A. Sell, G. Eesley, T. Perry, J. Appl. Phys., vol.74, p.2411(1993).
- [8] G.A. Cox, D.O. Cummins, K. Kawabe, R.H. Tredgold, J. Phys. Chem. Solids, vol.28, p.543(1967).