1999년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 1999. 7.19-21

스퍼터링법으로 제작한 Al/AlN/GaAs MIS 구조에서 절연박막에 수소가스첨가가 미치는 영향

권정열, 김민석, 김지균, 이환철*, 이헌용
명지대학교 전기공학과, *대진대학교 재료공학과

Effects of hydrogen gas addition on insulator thin film of Al/AlN/GaAs MIS system fabricated by sputtering method

Jung-Youl Kwon, Min-Suk Kim, Jee-Gyun Kim, *Hwan-Chul Lee, Heon-Yong Lee
Dep. of Electrical Eng. MyongJi University, *Dep. of Material Science & Eng. DaeJin University

Abstract - At the study, it has fabricated Al/AlN/GaAs MIS capacitor using DC reactive sputtering method. To applicate GaAs semiconductor in a MIS devices, investigated capability of AlN thin film by the insulator layer. Also it has investigated inversion of C-V characteristics by addition of the hydrogen(hydrogen concentration: 5%) and it has investigated that leakage current has 10^{-8} A/cm^2 for 1 MV/cm breakdown electric field of I-V characteristics.

1. 서 론

갈륨비소 MISFET(metal-insulator-semiconductor field-effect transistor)에서 SiON[1], Al_2O_3 [2], SiO_2[3], GaS[4]등을 절연체로 채용하여 많은 연구와 개발이 있었으나 실리콘 MOSFET(metal - oxide - semiconductor field effect transistor)와 비교하여 만족할 만한 결과를 얻지 못했다. 이는 갈륨비소 MISFET에서 표면 포텐셜이 절연체-반도체 계면(계면상태)의 charge trapping centers의 커다란 농도에 기인하여 midgap 주위에 강하게 구속되기 때문이다. 따라서 절연체-반도체 계면에 충분한 수의 반전 캐리어들이 유기되어야 하기 때문에 반전형태 MISFET를 제작하기가 어렵고, 절연체의 선택이 매우 중요하다.

질화알루미늄(AlN)은 würtzite 결정구조와 압전특성을 가지는 III-V족 화합물 반도체로서 매우 높은 열전도도와 큰 전기저항, 적당한 유전특성과 기계적 강도, 표면탄성파(SAW) 전파속도 등을 가지기 때문에 자외선용 광학재료, 반도체소자의 절연층, SAW소자 등으로 응용이 기대되고 있다[5-9].

AlN박막은 지금까지는 SAW소자나 광자기디스크의 보호막 등으로 주로 연구되어 왔으나, 고온에서의 열적 및 화학적 안정성이 뛰어나고 또한 에너지금지대폭(energy band gap E_g=6.2eV)이 매우 크므로 반도체소자에서 절연층 및 보호 층으로 응용이 기대된다.

특히 GaAs나 Si반도체의 MIS (metal-insulator -semiconductor)소자에 있어서 절연막으로의 응용이 기대되고 있는데, MIS 소자에서 가장 중요한 문제중에 하나는 안정한 C-V특성을 보이는 절연막 재료를 개발하는 것이다. AlN박막은 높은 저항률(10^{13}~$10^{16}\Omega$·cm)과 커다란 절연파괴강도를 가지며, 또한 열팽창계수가 Si이나 GaAs기판과 거의 유사하고 높은 열전도도를 가지기 때문에 단위시간당의 방열처리가 문제가 되는 MIS 반도체 소자의 절연체재료로 응용이 기대되고 있다.

AlN 박막의 제조방법으로는 CVD(chemical vapor deposition), MBE(molecular beam epitaxy), 반응성 스퍼터링 등이 있으나, 일반적으로 가장 많이 사용되는 것은 낮은 온도에서 AlN박막을 제조할 수 있는 반응성 스퍼터링 방법이다[7-9].

최근 스퍼터링법으로 AlN박막을 제조할 때 수소가스의 첨가에 따라 우선방향성 및 표면형상의 급격한 변화가 일어나고, SAW특성이 향상되고[10-11], AlN과 같은 결정구조를 가지며 비슷한 압전특성을 지니는 ZnO박막을 제조할 때 수소가스를 첨가한 경우에도 표면형상의 변화, 투과율의 향상, 전도성이 증가된다는 결과도 있다[12]. 또한 최근에 MIS형 반도체소자의 절연박막으로서 AlN박막을 제조할 때 수소첨가에 따른 전기적 특성의 향상과 박막내 산소농도의 감소효과가 보고 되었다[13]. 그러나 Al/AlN/GaAs MIS 소자 제조시 절연체에 수소를 첨가해 줌에 따라 전기적 특성에도 큰 영향을 줄 것으로 예상되는데 이에 대한 연구는 거의 이루어져 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 반응성 스퍼터링법으로 Al/GaAs/AlN MIS소자 제작시 절연체로서 AlN을 사용하였고, 제조할 때 절연박막에 수소가스를 첨가함에 따른 전기적특성 변화를 고찰하고자 한다.

2. 실험방법

반응성 DC 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 기판온도 300[℃]에서 GaAs기판 위에 AlN박막을 제조하였다. 시편제작을 위한 기판은 저항율이 (3.6~4.8)×10^{-3} Ω·cm인 n-type (100) GaAs기판을 사용하였다. 웨이퍼세척은 불순물을 제거하기 위하여 아세톤 속에서 10분 동안 초음파세척을 한 후, 산화막 제거를 위하여 HCl 용액을 사용하였고 마지막으로 DI water로 세척을 하였다. 기판온도는 300℃로 고정시켰으며, 쳄버내의 초기진공도가 3.0×10-6Torr 이하에 도달한 후 실험을 시작하였다. 타겟은 고순도 알루미늄을 사용하였고 고순도 아르곤과 질소가스를 각각 4 sccm씩 1:1의 비율로 혼합하여 AlN박막을 증착 하였고, 이때 수소첨가는 Ar:N_2를 고정시킨 상태에서 부가적으로 5%의 수소가스를 첨가해 주었다. AlN박막의 두께는 1000Å으로 고정시켰으며, AlN박막의 증착시 초기 1/3 수소첨가 및 후기 1/3 수소첨가, 미첨가를 변수로 선정했다. 스퍼터링시 박막을 증착하기 전에 타겟 위의 불순물을 제거하기 위하여 아르곤 분위기에서 3분 및 아르곤/질소 분위기에서 20분간 공정전스퍼터링을 행하였으며, AlN박막의 증착시 조건을 Table 1.에 나타내었다.

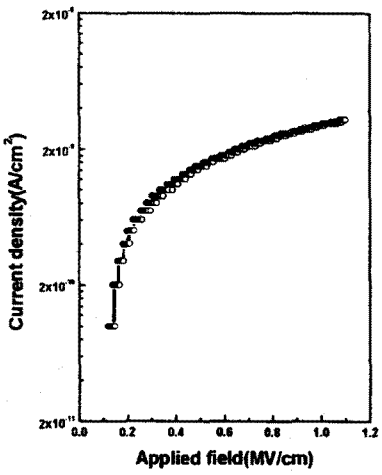
AlN 박막을 증착한 후 두께 측정은 Long scan profiler (Tencor P-1)와 Ellip-sometry를 이용하였다. 전기적 특성 측정을 위한 전극은 진공 증착법을 이용하여 10^{-6}Torr이하에서 직경이 270[μm]인 원형전극으로 증착 했다. 전기적 특성 조사를 위해 I-V 특성은 HP 4145B pico-ampere-meter를 이용하여 양의 전압을 인가하면서 측정하였고, C-V특성은 HP 4192A LF impedance analyzer를 이용하여 1MHz에서 측정하였다.

Table 1. AlN박막의 증착조건

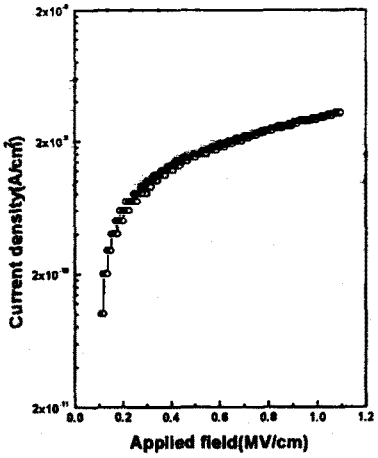
타겟	Aluminum(5N, 3inch)
타겟-기판 거리	8.5[cm]
Base pressure	3.0×10^{-6}[Torr] (at 300[℃])
DC 전력	150[W]
스퍼터링 압력	5[mTorr]
기판온도	300[℃]
총 가스 유량	8[sccm] (Ar :4[sccm] +N_2:4[sccm])
H_2 농도	5[%]

3. 실험결과 및 고찰

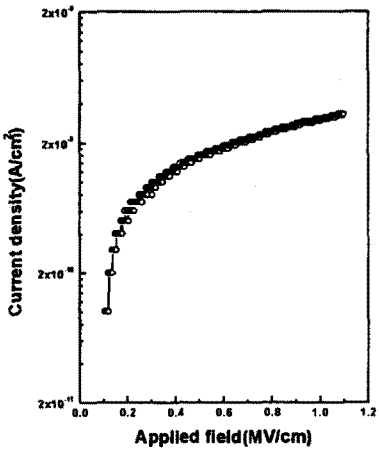
그림1.은 300[℃]의 기판온도에서 D.C power는 150[W], 스퍼터링 압력은 5[mTorr]에서 갈륨비소 기판 위에 AlN박막을 증착시킬 때 수소를 첨가하지 않은 경우(a)와 초기 1/3동안 수소가스 5[%]를 첨가한 경우(b), 후기 1/3동안 수소가스 5[%]를 첨가한 경우(c)의 I-V 특성을 보여주고 있다. 두께는 각각 1000Å으로 고정 시켰고, 수소를 첨가하지 않은 경우와 초기, 후기에 첨가한 경우 거의 비슷한 특성을 보여주고 있으며, 누설 전류는 세 경우가 1[MV/cm]에서 10^{-8}[A/cm^2] 이하의 값을 보여주고 있다. 이로부터 AlN절연박막이 우수한 절연특성을 나타내는 것으로 알 수 있다.



(a) 수소가스를 첨가하지 않은 경우



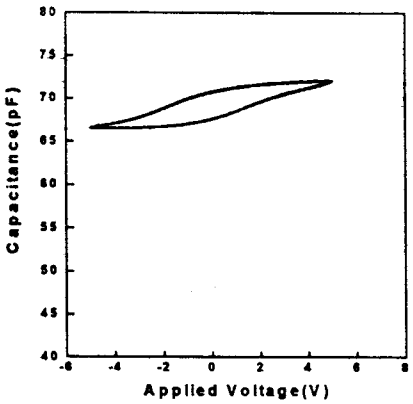
(b) 수소가스를 초기에 첨가한 경우



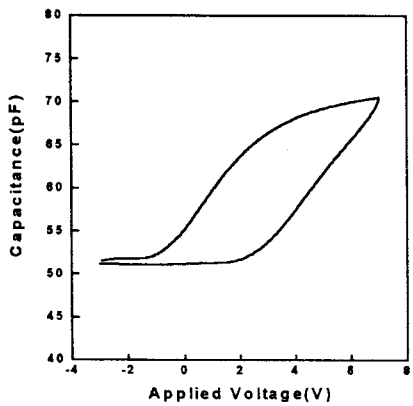
(c) 수소가스를 후기에 첨가한 경우

그림1. 수소가스 첨가에 따른 I-V 특성

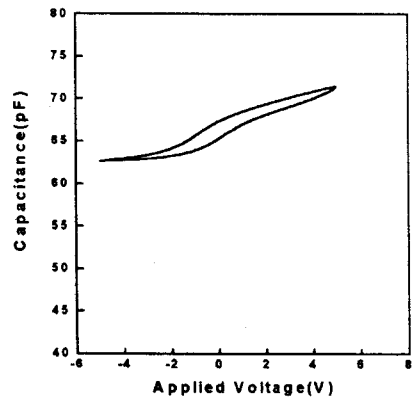
그림 2.는 D.C power 150[W]와 스퍼터링 압력은 5[mTorr]에서 AlN박막을 증착 시킬 때 수소가스를 첨가하지 않은 경우(a)와 초기 1/3동안 수소가스를 5[%] 첨가시킨 경우(b), 후기 1/3동안 수소가스를 5[%] 첨가시킨 경우(c)의 C-V 특성곡선을 보여주고 있다. 수소를 첨가하지 않은 경우는 히스테리시스가 어느 정도 관찰되고 있으나, 박막 증착시 후기에 수소가스를 첨가한 경우에는 어느 정도 감소되는 것을 관찰된다. 그러나 전기에 수소가스를 첨가한 경우에는 오히려 히스테리시스가 커다랗게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 수소가스가 이동 이온으로 작용하여 나타나는 현상으로 생각된다. 그러나 초기에 수소가스 5[%]를 첨가한 경우가 수소가스를 첨가하지 않은 경우와 후기에 수소가스 5[%]를 첨가한 경우보다 더 강한 반전현상을 나타내고 있음이 관찰 되었다. 이는 화합물 MIS소자에서 AlN박막의 응용 가능성과 수소첨가에 의한 AlN/GaAs 계면에서의 불순물의 양이 줄어들어 나타내는 현상으로 사료된다.



(a) 수소가스를 첨가하지 않은 경우



(b) 수소가스를 초기에 첨가한 경우



(c) 수소가스를 후기에 첨가한 경우

그림 2. 수소가스첨가에 따른 C-V 특성

4. 결론

본 연구에서는 반응성 스퍼터링법으로 GaAs MIS 커패시터를 제작시 AlN박막의 응용가능성과 박막 증착시 수소첨가효과에 대해 살펴보았다.

300[℃]의 기판온도, D.C power 150[W], 스퍼터링 압력 5[mTorr]에서 GaAs 기판 위에 AlN박막을 증착시킬 때 수소가스를 첨가한 경우와 첨가하지 않은 경우의 I-V 특성에서 1[MV/cm]의 파괴전계시 전류밀도는 10^{-8}[A/cm^2] 이하로 나타났다.

C-V 특성에서 초기에 수소가스를 첨가한 경우가 화합물 MIS 소자에서 가장 문제시 되는 반전 현상이 관찰되었다. 이는 AlN박막의 GaAs MIS소자에 적용 가능성을 나타낸다.

[참 고 문 헌]

[1] L. Messick, J. Appl. Phys. 47, 5474, 1976.
[2] K. Kakimura and Y. Sakai, Thin Solid Films 56, 215, 1979.
[3] H. Becke, R.D.Moore and J. White, Solid-State Electron. 8, 813, 1985.
[4] P.P. Jenkins, A.N. Maclnnes, M.T. Azar and A.R. Barront, Science 263, 1751,1994.
[5] T.Shiosaki, T. Yamamoto, T. Oda, and A. Kawabata, Appl. Phys. Lett. 36(8), 643, 1980.
[6] A. Fathimulla and A.A. Lakhani, J. Appl. Phys. 54(8), 4586, 1983.
[7] G.L. Huffman, D.E. Fahnline, R. Messier, and L.J. Pilione, J. Vac. Sci. Technol. A7(3), 2252, 1989.
[8] H. Okano, Y. Takahashi, T. Tanaka, K. Shibata, and S. Nakano,. Jpn. J. Appl. Phys. 31, 3446, 1992.
[9] J. H. Edgar, Z.J. Yu and B.S. Sywe, Thin Solid Films, 204, 115, 1991.
[10] Hwan-chul Lee, Ki-Young Lee, Yoon-Joong Yong, Jai-Young Lee, and Geun-Hong Kim, Thin Solid Films. 271, 50, 1995.
[11] Yoon-Joong Yong, Jai-Young Lee, Hong-Seung Lee, Jeong-Yong Lee,. Appl. Phys. Lett. 71(11), 1489, 1997.
[12] 강윤성, "수소첨가에 의한 ZnO박막의 전기전도성과 광 투과율 향상에 관한 연구", 1998, 한국과학기술원 석사 학위 논문
[13] 권정열, 이환철, 이헌용, 한국수소에너지 학회지, 10권 1호, 59, 1999.