

RF 마그네트론 스퍼터링을 이용한 FBAR 소자용 ZnO 박막의 특성

김선영, 이능현, 김수길, 박성현, 정민곤, 신영화, 지승환, '이덕출
경원대학교 전기전자공학부 '인하대학교 전기공학과

Characteristics of ZnO thin films by RF magnetron sputtering for FBAR application

S. Y. Kim, N. H. Lee, S. G. Kim, S. H. Park, M. G. Jung, Y. H. Shin, S. H. Ji, and 'D. C. Lee
Kyungwon Uni. Department of Electrical & Electronic Engineering 'Inha Uni. Department of Electrical Engineering

Abstract - Due to the rapid development of wireless networking system, researches on the communication devices are mainly focus on microwave frequency devices such as filters, resonators, and phase shifters. Among them, Film bulk acoustic resonator (FBAR) has been paid extensive attentions for their high performance.

In this research, ZnO thin films were deposited by RF-magnetron sputtering on Al/SiO₂/Si wafer and then crystalline properties and surface morphology were examined. To measure crystalline structure and surface morphology, X-ray diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscope (SEM) were employed. It was showed that crystalline properties of ZnO thin films were strongly dependant on the deposition conditions. As increasing the deposition temperature and the deposition pressures, the peak intensities of ZnO(002) plane were increased until 300 °C, then decreased rapidly. At the sputtering conditions of RF power of 213 W and working pressure of 15 mTorr, ZnO film had excellent c-axis orientation, surface morphology, and adhesion to the substrate. In conclusion we optimized smooth surface with very small grains as well as highly c-axis oriented ZnO film for FBAR applications

1. 서 론

ZnO는 hexagonal wurtzite 군에 속하는 물질로서 높은 전기기계 결합계수를 가지고 있어 음향파를 이용한 소자에 응용성이 매우 높다. FBAR(film bulk acoustic resonator)의 경우 c-축 우선 배향성과 증착시 여러 공정조건과의 관계들이 여러 논문들에서 연구되어왔다.

ZnO 박막을 얻기 위해서 sol-gel process^[1], spray pyrolysis^[2], Molecular Beam Epitaxial(MBE)^[3], Chemical Vapor Deposition(CVD)^[4], Atomic Layer Deposition(ALD)^[5] 그리고 sputtering^[6]법을 이용한 증착법들이 연구되고 있다. 이 중에서 낮은 증착 온도에서 우수한 배향성과 균일성을 얻기 쉬운 스퍼터링법이 가장 널리 이용되고 있다. FBAR의 경우에 c-축 배향성을 향상시키기 위해 증착온도, 증착압력, rf power, 기판의 거칠기와 Ar/O₂ 비 등이 중요한 조건이 되고있다.

현재까지 연구되었던 많은 논문들에서 ZnO 박막의 증착은 대부분 glass나 sapphire기판 위에서 행해진 것이 주를 이룬다.^[7] 하지만 이러한 기판 위에서의 증착은 기판 자체가 가지는 특성으로 인하여 우수한 c-축 배향성을 비교적 쉽게 얻어 낼 수 있을 뿐만 아니라 실제 응용면에서는 Si^[8]이나 GaAs 기판 위에 적용하게 되어있는데 glass나 sapphire기판에서 얻는 결과들은 그 효용면에서는 응용의 범위가 감소한다고 할 수 있다.

본 연구에서는 SiO₂/Si 기판 위에 하부전극으로 Al을 열 증발 증착(thermal evaporation)법으로 증착한 후에 ZnO 박막을 스퍼터링 법으로 증착하였고 여러 공정 조건 중에 증착온도 및 증착 압력에 따른 c-축 우선배향성 및 결정성을 연구하였다.

2. 본 론

2.1 실험방법

증착 변수변화로 인한 ZnO 박막증착시에 생길 수 있는 오류를 막기 위하여 증착온도변화 실험과 증착압력변화 실험시에 각각의 변수를 제외한 다른 공정 조건들은 모두 동일한 조건에서 수행했다. ZnO타겟[고순도화합사, 5N]과 기판사이의 거리는 12.5 cm, 산소 함량은 50 %, 기판의 회전 속도 15 rpm으로 고정하였다. 각각의 실험에 따라서 증착온도의 변화와 증착 압력의 변화만이 주어졌다. 전극의 증착은 챔버내의 압력은 2~3×10⁻⁶ Torr, 기판과 원료물질과의 거리는 27 cm이었으며 원료물질로는 Al[고순도화합사, 5N]을 이용하여 열 증발 증착법을 이용하여 Si/SiO₂기판 위에 증착하였다. 전극의 두께는 약 1200 Å 정도이고, 비저항은 1.86 μΩ·cm이다.

2.1.1 증착온도에 따른 ZnO 박막의 증착

증착온도 변화에 따른 ZnO 박막의 특성변화를 연구하기 위하여 상온에서부터 350°C까지 변화를 주면서 증착하였다. 증착압력은 15 mTorr이고, 최초 증착시 동일한 시간(60분)으로 증착한 후 증착물을 조사하고 두께에서 오는 ZnO 박막 분석시의 오차를 없애기 위해 동일한 두께(5000 Å)로 다시 증착하여 비교하였다. c-축 우선배향성을 살펴보기 위해 증착온도에 따른 XRD(θ/2θ)회절을 분석하였으며, 표면 상태에 대한 분석은 SEM사진을 이용하였다.

2.1.2 증착압력에 따른 ZnO 박막의 증착

ZnO 박막 증착시 증착압력이 박막 증착에 주는 영향을 관찰하기 위하여 증착압력변화 이외의 조건들은 상기 기술한 바와 같고 증착시의 rf power는 213 W로 하였다. 본 실험에서는 3~25 mTorr까지의 증착압력의 변화를 주면서 증착물의 변화 및 XRD(θ/2θ)회절의 변화에 대한 연구를 통하여 증착 압력이 ZnO박막의 c-축 우선 배향성에 주는 영향을 살펴보았다.

2.2 실험 결과 및 고찰

2.2.1 증착온도변화에 따른 ZnO 박막의 특성변화

ZnO 박막의 증착시 상온~350°C의 온도변화를 주고 α-step을 이용하여 두께를 측정하였더니 그림 1에서와 같이 증착온도의 증가에 따라 증착물이 감소하는 경향^[9]을 보였다. 상온에서의 증착물은 200°C에서와 같았으며, 그림 1에서 보면 250°C에서 300°C사이에서 급격한 증착물의 감소를 보이는데 이는 증착 온도가 증가하면서 기판 표면에서의 스퍼터링되어 달라붙는 ZnO 입자의 챔버내에서의 운동에너지보다 온도의 증가로 인하여 ZnO입자의 표면에서의 결합에너지가 커지므로 인하여 더욱 치밀한 조직으로 성장하면서 생기는 결과로 비교적 낮은 압력하에서는 일반적으로 보고되는 경향과 일치한다.

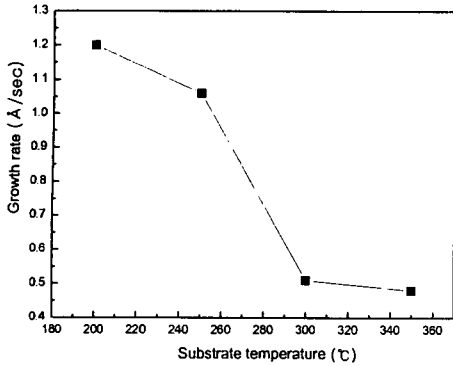


그림 1. 증착온도에 따른 증착률의 변화

여기에서 350°C의 온도에서 증착한 ZnO의 박막을 살펴 보면 증착률에 있어서는 300°C와 비교할 때 큰 변화를 보이지 않으며, 눈으로 관찰한 표면 상태 또한 대단히 거칠고 불투명한 색상을 나타내었다. 이는 일정한 온도 증가 범위를 넘어서는 증착은 증착률의 감소와 더불어 박막에 심각한 나쁜 영향을 주는 것을 알 수 있다.

그림 2에 Al/SiO₂/Si 기판위에 증착시킨 ZnO 박막의 c-축 배향성을 나타내는 X-ray 회절 패턴($\theta/2\theta$)을 증착 온도 변화에 따라 나타내었다.

박막의 두께는 5000Å으로 동일한 두께로 증착하였다. 그림에서 나타는 피크를 살펴보면 상온에서 증착한 ZnO 박막의 피크와 300°C에서 증착한 경우의 피크가 서로 비슷하게 나타나는 것을 관찰 할 수 있는데 같은 배향성을 지닌 증착된 ZnO 입자의 양적인 면을 나타내는 지수인 피크의 intensity는 상온에서 증착한 경우가 우수했으나 방향성의 질적인 면을 나타내는 지수인 $\theta/2\theta$ 에 대한 FWHM(full width at half maximum)값은 상온에서는 0.34°이고 300°C에서는 0.31°로 측정되어 0.03°정도의 미세하지만 온도를 증가시켰을 때, 보다 우수한 결과를 얻어 낼 수 있다. 이는 방향성이 매우 중요하게 요구되는 소자의 응용면에서는 고려해 볼 만한 결과이다. 300°C이상의 온도에서의 공정은 다른 연속적인 소자제조 공정에서 불리할 경우가 있으므로 필요에 의해서 공정 조건을 두 가지 결과중에서 선택할 수 있다. 한 가지 더 주목할 만한 사실은 증착온도의 증가가 ZnO 박막의 다른 방향으로의 성장에 영향을 주는 것이다. 그림 2의 (c)를 보면 250°C에서 ZnO(100) 면이 관찰이 되는데 이는 온도가 증가함에 따라 기판에 수직으로 자라던 박막이 다른 방향으로 자랄 수도 있다는 결론을 가지게 하고 이를 이용하여 온도 변화에 따라 다른 방향으로의 성장을 유도할 수 있음을 알 수 있다. 실제로 온도변화에 따른 각기 다른 방향성을 가짐에 대한 연구가 보고 되기도 했다.^[10]

그림 3에서는 박막의 표면과 X-ray회절 패턴의 분석 결과와 일치함을 보여준다. 온도가 증가함에 따라서 박막의 표면이 거칠어 지다가 250°C에서 가장 거칠은 표면을 나타내며 다시 300°C에서 실온에서 증착한 표면과 매우 흡사한 결과를 나타낸다.

이를 뒷받침하는 결과로 그림 3에 온도변화에 따른 ZnO 박막의 표면에 대한 SEM 사진을 나타내었다.

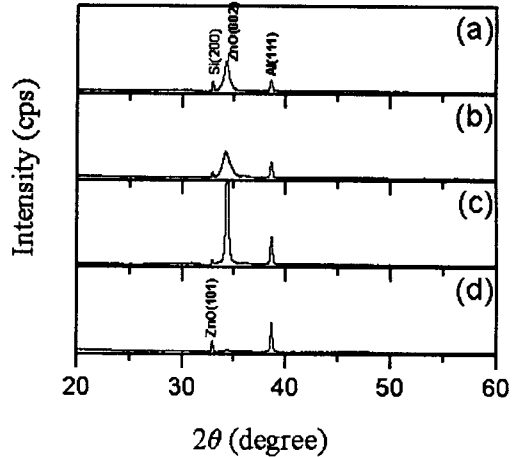


그림 2. 증착온도에 따른 ZnO 박막의 XRD 회절: (a) 25°C (b) 200°C (c) 250°C, and (d) 300°C

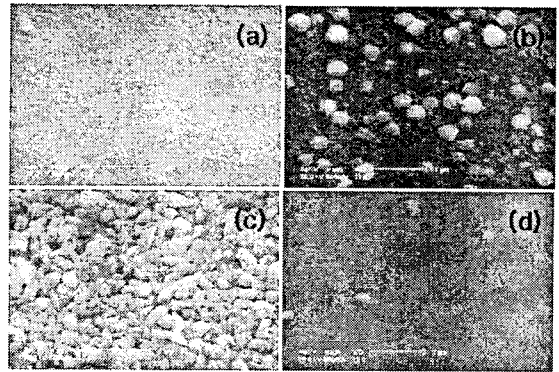


그림 3. 증착온도 증가에 따른 Al/SiO₂/Si기판위에 증착시킨 ZnO 박막의 SEM 이미지: (a) 25°C, (b) 200°C, (c) 250°C, and (d) 300°C

2.2.1 증착압력변화에 따른 ZnO 박막의 특성변화

rf power를 213 W로 일정하게 고정된 상태에서 증착 압력을 3~25 mTorr까지 변화시키면서 증착했을 때 증착률의 변화를 그림 4에 나타내었다.

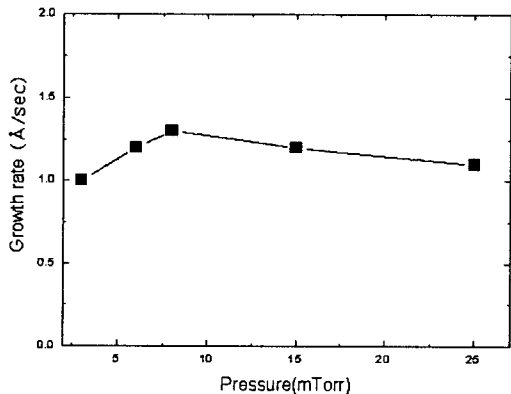


그림 4. 증착압력에 따른 ZnO 박막의 증착률의 변화

4. 감사의 글

본 연구는 정보통신부 지원 사업의 일환인 Information Technology Research Center(ITRC) 프로그램의 지원으로 수행하였기에 감사드립니다.

[참고 문헌]

- [1] R. C. Perez, O. J. Sandoval, S. J. Sandoval, J. M. Marin, A. M. Galvan, G. T. Delgado, and A. M. Alvarez, "Influence of annealing temperature on the formation and characteristics of sol gel prepared ZnO films," J. Vac. Sci. Tech., Vol. A17, No. 4, pp. 1811-1816 (1999)
- [2] S. A. Studenikin, Nickolay Goleha, and Michael Cocivera, "Optical and electrical properties of undoped ZnO films grown by spray pyrolysis of zinc nitrate solution," J. Appl. Phys., Vol. 83, No. 4, pp. 2104-2111 (1998)
- [3] K. Nakamura, T. Shoji, K. Hee-Bong, Jpn. J. Appl. Phys., Part2: Letters 39(6)(2000)L534
- [4] Takasi Shiosaki, Takashi Yamamoto, Mitsuo Yagi, and Akira Kawabata, "Plasma enhanced metalorganic chemical vapor deposition of c axis oriented and epitaxial films of ZnO at low substrate temperatures," Appl. Phys. Lett., Vol. 39, No. 5, pp. 399-401 (1981)
- [5] C. H. Liu, Min Yan Liu, Eric Seelig, R.P.H. Chang, "Effect of electric field upon the ZnO growth on sappire(0001) by atomic layer epitaxy method," Chemical Physics Letters 355 43-47 (2002)
- [6] G. L. Dybwad, "c Axis Orientation of Sputtered ZnO Films," J. Appl. Phys., vol. 42, No. 12, pp. 5192-5194 (1971)
- [7] Shen Zhu, C. H. Su, S.L. Lehoczky, P. Peters, M.A. George, "Pressure effects in ZnO films using off axis sputtering deposition," Journal of Crystal Growth 211 106-110 (2000)
- [8] S. Muthukumat, C.R. Gorla, N.W. Emanetoglu, S. Liang, Y. Lu, "Control of morphology and orientation of ZnO thin films grown in SiO₂/Si substrates," Journal of Crystal Growth 225 197-201 (2001)
- [9] Hengxiang Gong, Yinyue Wang, Zhijun Yan, Yinghu Yang, "The effect of deposition conditions on structure properties of radio frequency reactive sputtered polycrystalline ZnO films," Materials Science in Semiconductor processing 5 31-34 (2002)
- [10] 이용, "고주파 마그네트론 스퍼터링법에 의한 ZnO 박막의 증착 및 탄성표면과 필터의 응용" 서울대학교 박사학위논문 (1996)

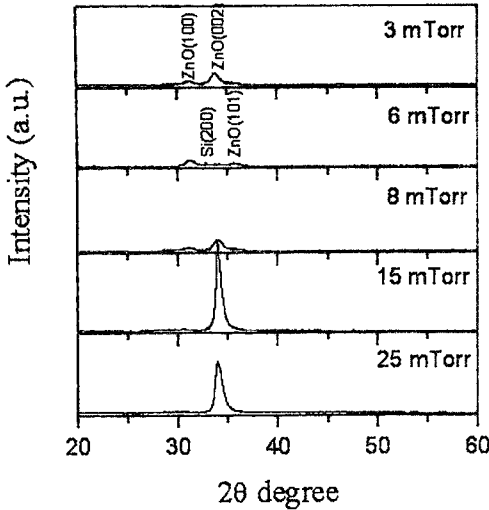


그림 5. 증착압력에 따른 ZnO 박막의 XRD 회절 변화

rf 마그네트론 스퍼터링 공정시에 증착 압력의 증가는 챔버 내의 반응 가스량의 증가를 의미하게 되는데 이는 스퍼터링 된 ZnO의 입자들의 챔버 내의 자유 경로의 감소를 가져오게 되어 증착율이 감소를 가져오게 되는 것이 일반적인 경향^[9]이나 본 실험에서는 일정 수준의 증착압력의 증가에 따라 증착률이 증가하다가 다시 감소하는 경향을 보여주었다. 본 실험에서는 8 mTorr에서부터 그러한 경향이 나타났다. 그 이유는 8 mTorr이하의 압력에서는 ZnO의 입자들의 자유 경로에 영향을 줄 만큼 많은 양의 반응가스들이 챔버내에 존재하지 않기 때문인 것으로 여겨진다. 즉 반응가스의 압력보다는 스퍼터링시에 가해지는 rf power에 더욱 영향을 받게 된다는 것이다.

그림 5에 증착압력을 증가하였을 때의 X-ray 회절 패턴(θ/2θ)을 나타내었다. 결론적으로 말하면 15 mTorr에서 가장 우수한 c-축 배향성과 높은 intensity를 보였다. 15 mTorr보다 낮은 압력 하에서는 ZnO(100), (101)면이 나타나는데 이는 앞서 증착온도의 변화에서와 마찬가지로 증착압력에 따라 박막의 방향성이 달라질 수 있고 또한 선택적인 성장도 가능하다는 것을 나타낸다. 또한 그 이상의 증착압력에서는 오히려 증착물의 감소와 더불어서 (002)면에 대한 피크가 감소하며 FWHM 값도 작아지는 경향을 보인다.

3. 결 론

본 연구에서는 Al/SiO₂/Si 기판을 사용하여 증착온도 및 증착압력 변화에 따른 RF magnetron sputtering 방법으로 증착된 ZnO 박막의 특성 변화를 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 증착온도의 증가시에 상온과 300°C에서 가장 우수한 c-축 배향성을 가진 ZnO 박막을 얻었고, 공정상의 용이성과 배향성의 우선성 중에서 공정조건을 선택할 수 있었다.
- 2) 증착압력의 증가시에 증착온도의 변화와 같은 경향을 보였으며, 15 mTorr의 압력에서 증착했을 시가 가장 우수한 특성을 보였다.
- 3) 이상의 결과로 각각의 최적의 조건, 즉 상온, 300°C의 증착온도에서 15 mTorr의 증착압력으로 증착했을 때 최적의 ZnO 박막 증착 조건임을 알 수 있다. 이 때 증착온도는 박막 증착의 복제에 의해 선택할 수 있다.