

보조씨드층을 이용한 ZnO 압전박막의 우선배향성에 관한 연구

박인철^{1*} · 김홍배²

¹청주대학교 전자공학과, 청주 360-764

²청주대학교 전자정보공학부, 청주 360-764

(2006년 8월 3일 받음)

FBAR(Film Bulk Acoustic Resonator) 소자의 공진특성을 결정하는 가장 중요한 요소는 압전막의 압전성을 들 수 있다. FBAR 압전막으로 유력한 ZnO 압전박막은 (002)면 c-축 우선배향성(preferred orientation)의 정도에 따라서 압전성이 결정된다. 그러므로 ZnO 박막의 우선배향성에 관한 연구는 많은 연구자들의 관심사가 되어왔다. 본 논문에서는 ZnO 보조씨드층(helped seed layer)을 이용하여 ZnO 압전박막의 우선배향성에 대하여 조사하였으며, rocking curve의 표준편차(σ) 값이 1.15°인 주상형 결정립을 가진 c-축 ZnO 압전박막이 우수한 압전특성을 나타내는 것을 확인하였다.

주제어 : 박막체적탄성파공진기, 산화아연, 보조씨드층, 우선배향성, 표준편차(σ)

I. 서론

최근 RF용 FBAR(Film Bulk Acoustic wave Resonator)필터가 차세대 RF 필터로 급부상하고 있다. 이는 무엇보다도 상용화되어 쓰이고 있는 기존 필터와 달리 FBAR 필터는 실리콘웨이퍼 위에서 반도체 박막기술을 이용함으로써 초소형화 및 MMIC(Microwave Monolithic Integrated Circuits)화가 가능하여 다른 휴대용 단말기 부품들과 함께 집적화가 가능하기 때문이다[1, 2]. FBAR 소자는 상부 및 하부전극 사이에 압전박막이 위치해 있으므로 acoustic wave는 공진을 일으키기 위해 압전박막을 통과한다. 따라서 FBAR 소자의 공진특성을 결정하는 가장 중요한 요소는 압전박막의 압전특성이다. 여기서 압전특성이란 압전박막 내의 특정 결정축이 기판에 수직한 정도가 얼마나 우수한가를 나타낸다.

ZnO와 AlN은 일반적으로 FBAR 소자제작에 쓰이는 압전물질이다. 특히 ZnO 박막은 대칭 육방정계(hexagonal)로써 비화학양론적 결합구조, 높은 굴절율과 압전결합계수, 그리고 탄성파적 성질 때문에 다양한 응용 분야에서 연구되고 있는 재료이다[3]. 이러한 ZnO 박막은 Si 기판 상에서 (002)면으로 c-축 우선배향성(preferred orientation) 성장이 이루어지며, 스퍼터법을 이용할 경우 rf power, 증착압력, 기판온도 및 가스비 등의 스퍼터 조건이 우선배향성에 영향을 미친다고 보고

되어 있다[4]. 또한 FBAR에 적용하기 위하여 Si 기판이나 하부전극이 증착된 Si 기판에서 ZnO의 우선배향성이나 미세구조에 대한 연구 결과들이 발표되었으며[5, 6], 하부 전극 상에서 ZnO 박막이 우수한 c-축 우선배향성을 가지고 성장시키는 것이 Si 기판 위에서 성장시키는 것보다 어려운 일이라고 발표되었다[7].

본 논문에서는 스퍼터법을 이용하여 ZnO 압전박막 증착 시 발생하는 초기 성장층의 random한 배향성을 감소시키기 위하여 Si 기판위에 우수한 (002)면의 c-축 우선배향성을 가지는 ZnO 보조씨드층(helped seed layer)을 증착한 후 하부전극(Mo)과 ZnO 압전층을 증착하여 ZnO 압전층의 우선배향성에 미치는 보조씨드층의 영향을 조사하였고, 또한 보조씨드층의 두께에 따른 ZnO 압전박막의 우선배향성을 조사하였다.

ZnO 박막은 국내의 선익의 SUNICOAT-4000VHT RF magnetron sputtering 장비를 사용하여 증착하였으며, 증착된 ZnO 박막의 결정성과 우선배향성 정도를 분석하기 위하여 일본 Rigaku사의 XRD(X-ray Diffractometer) 분석과 일본 JEOL사의 JSM 6335F FESEM(Field Emission Scanning Electron Microscope) 분석을 수행하였다.

II. 실험방법

우선 Mo(하부전극)/Si 기판과 Mo/보조씨드/Si 기판

* [전자우편] pvd89@hanmir.com

표 1. 스퍼터링 조건

| 공 정 | Mo | ZnO 보조씨드층 | ZnO 압전박막 |
|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Targets | Mo | ZnO(5N) | ZnO(5N) |
| Substrate | Si | Si | Mo/Si, Mo/보조씨드/Si |
| Base Pressure | 2×10^{-7} [Torr] | 2×10^{-7} [Torr] | 2×10^{-7} [Torr] |
| Ar/O ₂ gas ratio | Ar = 100 | Ar/O ₂ =75/35 | Ar/O ₂ =75/35 |
| Working pressure | 5[mTorr] | 20[mTorr] | 20[mTorr] |
| RF Power | 1000[W] | 1500[W] | 1500[W] |
| Temperature | RT | 200℃ | 200℃ |
| Thickness | 150[nm] | 100, 150, 250[nm] | 900[nm] |

준비를 위하여 프라임급 Si(p-100) 기판을 기본 RCA 세척 및 자연산화막 제거를 위해 DHF 세척하였다. 세척된 기판을 공정 챔버에 위치시키고 Mo 박막을 스퍼터링 방법을 이용하여 150nm의 두께로 증착하여 Mo/Si 기판을 준비하였으며, 100nm의 ZnO 보조씨드층을 증착하여 Mo/보조씨드/Si 기판을 준비하였다. 준비된 기판을 ZnO 공정 챔버에 위치시키고 증착 전에 챔버 내 불순물을 최대한 제거하기 위해 Cryo 펌프를 이용하여 초고진공도를 2.0×10^{-7} torr 이하로 유지시킨 후 고순도의 아르곤가스와 산소가스를 챔버 내에 주입시켜 증착압력에서 기판과 타겟과의 거리를 7cm, 기판회전은 3RPM으로 하여 기판위에 ZnO 압전박막을 증착하여 ZnO(압전막)/Mo(하부전극)/Si, ZnO/Mo/ZnO(보조씨드층)/Si의 시편을 준비하였다. 사용된 ZnO 타겟(Cerac)은 직경 8인치와 순도는 99.999%이었다. 또한 ZnO 보조씨드층의 두께에 따른 ZnO 박막의 배향성 정도를 조사하기 위하여 150nm 그리고 250nm의 두께로 ZnO 보조씨드층을 증착한 후 Mo과 ZnO 압전박막을 증착하여 압전박막의 우선배향성 정도를 조사하였다. 표 1은 각 공정의 스퍼터링 증착조건을 나타낸 것이다.

이때 ZnO 압전박막의 결정성과 우선배향성 정도를 분석하기 위하여 X선 회절 분석기를 사용하였다. $\theta/2\theta$ scan 방법을 이용하여 결정구조 및 기판에 평행한 방향으로 우선배향된 결정면을 분석하였다. 이 방법은 X-선 검출기가 2θ , 측정시료가 θ 로 회전하여 기판에 평행하게 존재하는 결정면에 의한 회절결과를 관찰할 수 있다. 그러나 이 방법으로는 측정시료 내에 기판에 평행한 방향으로 존재하는 특정한 결정면의 배열정도(즉 c-축 우선배향성의 정도)는 분석하지 못한다. 따라서 이것은

rocking curve를 통해서 관찰할 수 있는데 이 방법은 우선 $\theta/2\theta$ scan시 관찰되는 특정한 결정면이 가지는 2θ 의 위치에 X-선 검출기를 고정시키고 시료를 θ scan하면 일반적으로 가우시안 분포에 가까운 X-선 intensity의 분포를 얻을 수 있는데, 이 분포의 표준편차(σ)를 구하는 방법이다. 이 표준편차의 값이 작을수록 특정 결정축이 기판에 수직인 정도가 우수하다. 위에서 언급한 두 가지 방법($\theta/2\theta$ scan과 rocking curve)에 의해서 기판에 평행하게 존재하는 결정면, 즉 기판에 수직하게 존재하는 결정축에 대한 정보를 분석할 수 있다. 그리고 ZnO 박막의 주상결정의 c-축 배향성을 분석하기 위해 FESEM을 이용하여 ZnO 압전박막의 단면을 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

그림 1은 Si 위에 100nm의 ZnO 보조씨드층을 증착한 경우의 XRD 패턴과 rocking curve를 나타낸 것이다. 이 경우 FWHM 값과 표준편차 σ 값은 각각 2.96° 과 1.25° 이며, 우수한 (002)면의 c-축우선배향성을 갖는 ZnO 보조씨드층을 얻었다.

그림 2는 ZnO 보조씨드층을 사용하지 않은 경우와

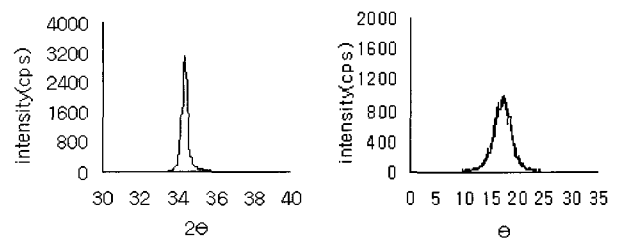


그림 1. ZnO 보조씨드층의 XRD 패턴과 rocking curve

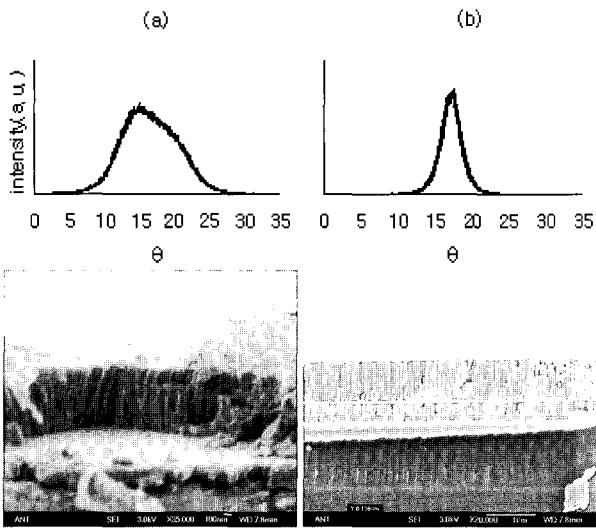


그림 2. (a) ZnO/Mo/Si과 (b) ZnO/Mo/보조씨드층/Si 구조의 rocking curve와 SEM

ZnO 보조씨드층을 사용한 경우를 비교한 ZnO 압전박막의 rocking curve와 SEM을 나타낸 것이며, 표 2에 그림 2에 대한 ZnO 압전박막의 FWHM 값과 표준편차(σ)값을 나타내었다. 보조씨드층을 사용한 경우의 rocking curve가 보조씨드층을 사용하지 않은 경우의 rocking curve 보다 더 우수한 가우시안 분포를 나타내고 있으며, 보조씨드층을 사용한 경우가 더 우수한 c-축 성장을 보이고 있다. 또한 보조씨드층을 사용한 경우의 ZnO 압전박막의 FWHM 값과 표준편차(σ)값이 더 작은 값을 나타내었다.

그림 3은 ZnO 보조씨드층을 사용하지 않은 경우와 ZnO 보조씨드층을 사용한 경우의 Mo 표면과 ZnO 보조씨드층을 사용한 경우의 MO/보조씨드/Si 구조의 단면이다. 그림 2와 그림 3을 봤을 때 Si 위에서 (002)면

표 2. 구조에 따른 ZnO 박막의 FWHM과 σ

| 구 조 | FWHM | σ |
|---------------|-------|----------|
| ZnO/Mo/Si | 11.2° | 4.76° |
| ZnOMo/보조씨드/Si | 2.7° | 1.15° |

표 3. 보조씨드층 두께에 따른 ZnO 박막의 FWHM과 σ

| Thickness | FWHM | σ |
|-----------|-------|----------|
| 150[nm] | 2.67° | 1.13° |
| 250[nm] | 2.23° | 0.95° |

으로 c-축 우선 배향된 ZnO 보조씨드층의 표면위에 증착 된 Mo 하부전극은 안정한 최소군집체를 형성하기 위하여 최밀충진면을 유지하며 성장하며, 상기 하부전극 위에 증착 된 ZnO 압전박막은 하부전극 Mo의 표면 위에서 ZnO 보조씨드층의 결정과 동일한 형태로 우선 배향성을 가지고 성장되었다고 사료된다.

그림 4는 ZnO 보조씨드층의 두께에 따른 ZnO 압전박막의 rocking curve와 SEM을 나타낸 것이며, 주상형 결정립의 우수한 c-축 우선배향성을 보인다. 보조씨드층의 두께가 250nm인 경우가 150nm인 경우보다 intensity가 높고 표 3에 보이듯이 낮은 FWHM 값과 낮은 표준편차(σ) 값을 가지는 것으로 보아 보조씨드층의 두께가 증가할수록 FBAR 압전박막의 우선배향성이 증가하는 것으로 사료된다

IV. 결 론

본 논문에서는 ZnO 보조씨드층의 영향을 조사하기

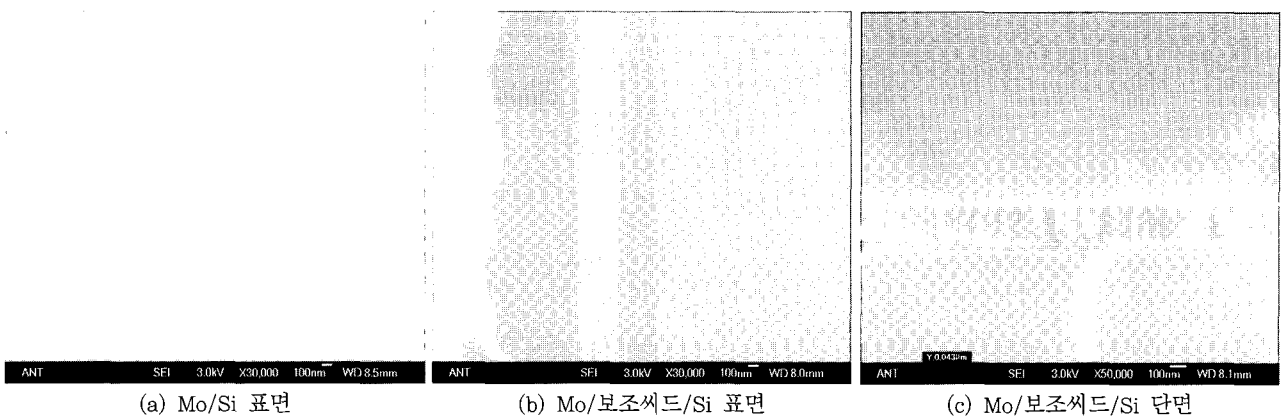


그림 3. (a) Mo/Si, (b) Mo/보조씨드/Si 구조의 Mo 표면과 (c) Mo/보조씨드/Si 구조의 단면

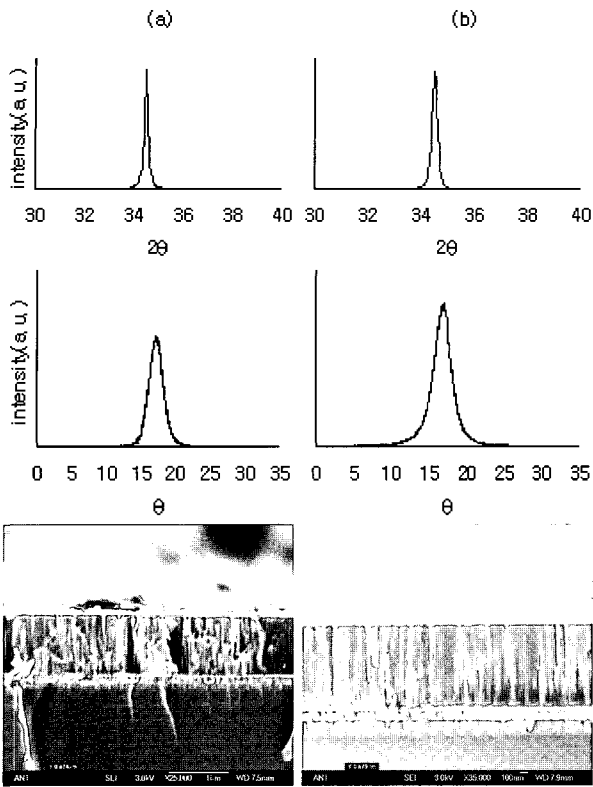


그림 4. (a)150nm, (b)250nm 보조씨드층 두께에 따른 ZnO 박막의 XRD 패턴, rocking curve와 SEM

위하여 Si 위에 σ 값이 1.25° 인 우수한 c-축 우선배향성을 가지는 100nm의 ZnO 보조씨드층을 증착하였으며, 이 보조씨드층을 이용한 경우(1.15°)의 ZnO 압전박막이 보조씨드층을 이용하지 않은 경우(4.76°) 보다

rocking curve의 표준편차(σ) 값이 3.59° 작은 값을 갖는 더 우수한 가우시안 분포를 보였으며, 주상형 결정립의 c-축 우선배향성의 SEM 단면을 나타내었다. 그리고 보조씨드층의 두께가 250nm인 경우가 150nm인 경우보다 XRD의 intensity가 증가하고, σ 값도 0.18° 작은 값을 나타낸 것으로 보아 보조씨드층의 두께가 증가할수록 ZnO 압전박막의 우선배향성이 향상됨을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] R. Ruby and P. Merchant, 1994 IEEE International Frequency Control Symposium, 135 (1994).
- [2] Q. X. Su, P. Kirgy, E. Komuro, M. Imura, Q. Zhang, and R. Whatmore, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques **49**, 769 (2001).
- [3] B. L. Olutade and W. D. Hunt, IEEE International Frequency Control Symposium, **737** (1997).
- [4] M. J. Keum, W. H. Park, and Y. S. Yoon, 한국전기전자재료학회 하계학술대회, 703 (2002).
- [5] T. Minami, H. Nanto, and S. Takata, J. Appl. Phys. **23**, 280 (1984).
- [6] K. Tominaga and I. Mori, Thin Solid Films **253**, 9 (1994).
- [7] K. H. Yoon, J. W. Choi, and D. H. Lee, Thin Solid Films **302**, 116 (1997).

A Study on Preferred Orientation of ZnO Piezoelectric Thin Film Using Helped Seed Layer

In Chul Park^{1*} and Hong Bae Kim²

¹*Dept. of Electronic Eng. Cheongju University, Cheongju 360-764*

²*Div. of Electronic and Information Eng. Cheongju University, Cheongju 360-764*

(Received August 3, 2006)

The most important factor which determines resonance characteristics of FBAR(Film Bulk Acoustic Resonator) is the piezoelectricity of piezoelectric film. The piezoelectric properties of ZnO thin films which is strong as FBAR piezoelectric film is determined by the degree of c-axis preferred orientation with (002) plan. Therefore, many researchers have been interested in the study on the preferred orientation of the piezoelectric thin film. This paper has studied the preferred orientation of ZnO piezoelectric thin films using the helped seed layer of ZnO. The result shows that the c-axis ZnO thin films with columnar grains that the value of standard deviation(σ) of XRD rocking curve is of $\sigma = 1.15^\circ$ have the excellent piezoelectric property.

Keywords : FBAR, ZnO, Helped seed layer, Preferred orientation, Standard deviation(σ)

* [E-mail] pvd89@hanmir.com