

---

# FBAR 필터 응용을 위한 Al 하부전극 상에서 ZnO 박막 증착 및 온도가 ZnO 결정의 성장에 미치는 영향

윤기완\* · 임문혁\* · 채동규\* · Mai Linh\*

ZnO Film Deposition on Aluminum Bottom Electrode for FBAR Filter  
Applications and Effects of Deposition Temperature on ZnO Crystal Growth

Giwan Yoon\* · Munhyuk Yim\* · Dongkyu Chai\* · Mai Linh\*

---

This work was partially supported by Korea Research Foundation Grant  
(KRF-2002-003-D00229)

---

## 요 약

본 논문에서는 FBAR(film bulk acoustic wave resonator) 필터 응용을 위해 Al 하부전극 상에서 RF magnetron sputtering 기술을 이용한 ZnO 박막 증착 및 공정온도가 ZnO 결정 성장에 미치는 영향에 대한 연구결과를 발표한다. ZnO 박막의 압전특성은 FBAR 소자의 공진특성을 결정하는 가장 중요한 요소이고 압전성은 증착된 ZnO 박막의 c축 우선배향성의 정도에 의해 결정된다는 사실을 고려한다면 ZnO 결정 성장에 미치는 공정온도에 관한 연구는 매우 의미 있는 일이다. 본 실험을 통하여 ZnO 박막의 성장특성은 상온에서부터 350°C까지의 실험조건에서 c축 우선배향성의 정도에 따라 RF power에 관계없이 온도를 2개의 임계온도에 의해 나뉜 3개의 온도구간으로 구분할 수 있었다. 결과적으로 200°C 이하의 공정온도에서는 주상형 결정립을 가진 c축 우선배향의 ZnO 박막을 얻을 수 있었다. 이렇게 얻은 ZnO 박막을 사용하여 FBAR 다층박막 구조를 구현하였다.

## ABSTRACT

In this paper, an investigation on the ZnO film deposition using radio-frequency magnetic sputtering techniques on aluminum bottom electrode for film bulk acoustic wave resonator (FBAR) filter applications and the temperature effects on the ZnO film growth is presented. The investigation on how much impact the actual process temperature may have on the crystal growth is more meaningful if it is considered that the piezoelectricity property of ZnO films plays a dominant role in determining the resonance characteristics of FBAR devices and the piezoelectricity is determined by the degree of the c-axis preferred orientation of the deposited ZnO films. In this experiment, it was found that the growth of ZnO crystals has a strong dependence on the deposition temperature ranged from room temperature to 350°C regardless of the RF powers applied and there exist 3 temperature regions divided by 2 critical temperatures according to the degree of the c-axis preferred orientation. Overall, below 200°C, ZnO deposition results in columnar grains with a highly preferred c-axis orientation. With this ZnO film, a multilayered FBAR structure could be realized successfully.

## Keywords

FBAR, ZnO Film, Temperature region, Critical temperature, FWHM, C-axis growth.

## 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 MMI-C(microwave monolithic integrated circuits)화가 가능하여 다른 휴대용 단말기 부품들과 함께 집적화가 가능하기 때문이다<sup>1), 2)</sup>. 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 결정면((0002))이 기판에 평행한, 즉 특정 결정축이 기판에 수직한 정도가 얼마나 우수한가를 나타낸다. ZnO와 AlN은 일반적으로 FBAR 소자제작에 쓰이는 압전물질이다. ZnO는 AlN보다 더 큰 압전상수를 갖고, 양질(high quality)의 ZnO 박막을 얻기 쉬우므로 압전물질로 ZnO를 더 선호한다<sup>3)</sup>. ZnO는 30년 이상 다양한 분야에서 매우 광범위하게 연구되어 왔고, FBAR에 적용하기 위하여 Al/Si기판에서 ZnO의 우선배향성이나 미세구조에 대한 연구 결과들이 발표되었지만<sup>4), 5)</sup>, 공정온도에 따라 ZnO 박막성장률 명확하게 정리해 제시한 연구결과는 찾아보기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 Si 기판에서 공정온도가 미치는 ZnO박막의 배향성에 비교해서 Al/Si기판에서 ZnO박막의 배향성에 미치는 공정온도의 영향을 알아보았다. ZnO 박막증착은 박막증착에 있어서 가장 일반적인 방법중의 하나인 RF sputtering 기술을 사용하여 온도를 상온에서부터 350°C까지의 조건에서 압전박막을 증착하였다. 분석결과 ZnO 박막의 배향성은 온도에 의해서 크게 지배되어 성장특성에 따라 온도를 몇 개의 구간으로 구분할 수 있었고 200°C의 기판온도에서 가장 좋은 특성을 보였다. 이 온도에서 ZnO X-ray 회절 rocking curve의 FWHM(full width at half maximum)값은 14°이다. 이것은 양질의 ZnO 박막을 가진 FBAR 다층박막 구조에 응용되었고, 더 나아가 FBAR 소자제작에 응용되어질 수 있다는 점에서 본 연구 결과가 기여하

는 바가 크다 할 수 있겠다.

## II. 실험 방법

실험은 크게 세 부분으로 나눌 수 있다. 첫 번째 실험은 기판온도를 올리지 않은 상온에서 ZnO 박막이 우수한 표면 거칠기(surface morphology)와 결정구조를 갖는 스퍼터링 공정변수(sputtering process parameter)들, 즉 rf power, 증착압력 그리고 O<sub>2</sub> 농도에 대한 조건을 실험을 통해 각각 320W, 10mTorr 및 25%로 얻었다. 우선 ZnO 박막 증착전에 챔버내 불순물을 최대한 제거하기 위해 Turbomolecular 펌프를 이용하여 초기진공도를  $2.0 \times 10^{-6}$  torr 이하로 유지시킨 후 고순도의 반응가스를 챔버내에 주입시켜 증착압력에서 기판과 타겟과의 거리를 6.5cm, 기판회전은 6RPM으로 하여 Si 또는 Al/Si 기판위에 상온에서 113분동안 ZnO박막을 증착하였다. 사용된 ZnO 타겟(Cerac제품)은 직경 4인치, 두께 1/8인치이며 순도는 99.999%이다. 두 번째 실험은 상온에서 얻은 조건들을 고정시키고 공정온도를 350°C까지 변화시켜 결정성과 우선배향성 정도가 우수한 온도 조건을 결정하였다. 이때 ZnO박막의 결정성과 우선배향성 정도를 분석하기 위해서 X-선 회절 분석기(X-ray diffractometer)를 사용하였다.  $\theta/2\theta$  scan방법을 이용하여 결정구조 및 기판에 평행한 방향으로 우선배향된 결정면을 분석하였다. 이 방법은 X-선 검출기가  $2\theta$ , 측정시료는  $\theta$ 로 회전하여 기판에 평행하게 존재하는 결정면에 의한 회절결과를 관찰할 수 있다. 그러나 이 방법으로는 측정 시료내에 기판에 평행한 방향으로 존재하는 특정한 결정면의 배열정도(즉 우선배향성의 정도)는 분석하지는 못한다. 따라서 이것은 rocking curve를 통해서 관찰할 수 있는데 이 방법은 우선  $\theta/2\theta$  scan시 관찰되는 특정한 결정면이 가지는  $2\theta$ 의 위치에 X-선 검출기를 고정시키고 시료를  $\theta$  scan하면 일반적으로 Gaussian 분포에 가까운 X-선 intensity의 분포를 얻을 수 있는데, 이 분포의 표준편차( $\sigma$ )를 구하는 방법이다. 표준편차의 값이 작을수록 특정 결정면이 기판에 평행한, 즉 특정 결정축이 기판에 수직한 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. 또한 박막의 결정성장 특성과 두께를 알기 위해 SEM 단면사진을 분석하였다. 세 번째 실험은 두 번째 실험에서 얻은 결정성과 우선배향성이 우수한 ZnO박막을 사용하여 다층박막 구조를 구현하였다. 실제 FBAR 소자는 상부 및 하부전극 사이에 압전체가 삽입되어 공진이 일어나는 공진부와 하부전극과 Si 기판사이에 존재하여 acoustic wave가 하부전극 부분을 통과하지 못하고 전반사가 일어나 압전층에 모이게 되어 효율적인 공진을 일으키는 반사층 부분 크게 두 부분으로 구성되어 있다<sup>6, 7</sup>. Si 기판을 초음파 세척 후 5층의 SiO<sub>2</sub> 및 W 박막으로 이루어진 반사층은 공진주파수의  $\lambda/4$ 두께로 SiO<sub>2</sub>와 W를 교대로 증착하여 형성한 다음 하부전극(Al) 증착에 이어 공진주파수의  $\lambda/2$ 두께로 ZnO박막을 증착한다<sup>6, 8</sup>. 그 다음 상부전극(Al)은 하부전극과 같은 조건으로 증착한다. 제작 전에 2.4GHz 공진 주파수를 갖는 공진기를 구상했으므로 SiO<sub>2</sub>의 두께는 6000, W의 두께는 5500 그리고 ZnO두께는 13200Å를 목표로 각각 증착하였다.

### III. 실험 결과 및 고찰

먼저 상온에서 실험을 통해 양질의 ZnO박막을 얻은 조건에 RF power, 증착압력 그리고 O<sub>2</sub> 농도 (320W, 10mTorr, 25% O<sub>2</sub>)를 고정시키고 공정온도를 200°C부터 350°C까지 증가시켰을 때 두 가지 경우의 기판, 즉 Al/Si와 Si 기판에서의 ZnO의 성장 특성은 어떻게 다른지 살펴보았다. 두 기판에 다양한 온도조건에서 형성된 ZnO 박막의 XRD를 그림 1에 나타내었다. Al층이 없는 경우는 250°C까지 박막의 결정성과 c축 배향성의 증가로 인해 온도가 상승함에 따라 (002)면 peak intensity가 증가하는 경향을 보였다.

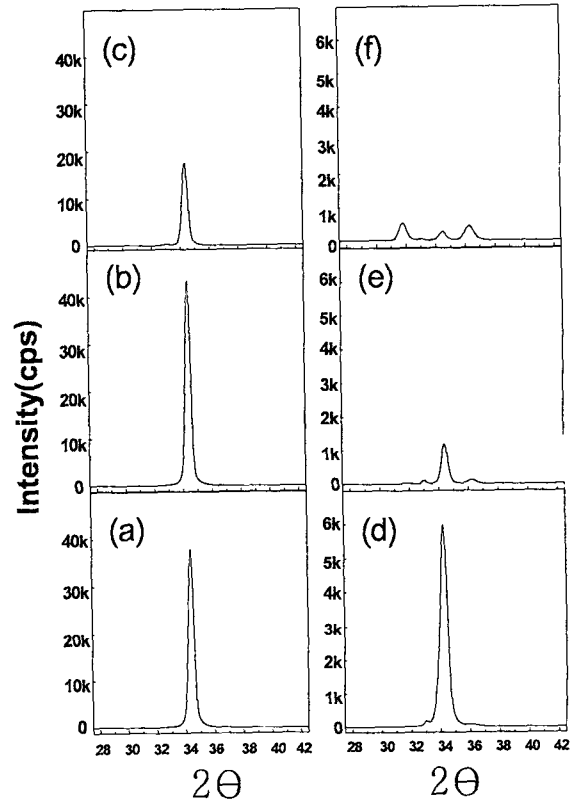


그림 1. Si 기판에 다양한 온도조건에서 형성된 ZnO 박막의 XRD

(a) 200 (b) 250 (c) 350°C 그리고 Al/Si 기판에 다양한 온도조건에서 형성된 ZnO박막의 XRD (d) 200 (e) 250 (f) 350°C.

Fig. 1 XRD of the ZnO films deposited under various process temperature

(a) 200, (b) 250, and (c) 350°C on Si substrate, and (d) 200 (e) 250 (f) 350°C on Al/Si substrate.

그러나 350°C에서 (002) peak intensity는 감소하였다(그림 1(c)). 이것은 250°C 이하의 온도에서, 온도가 증가하면 증착되는 원자들이 기판표면에서 이동할 수 있는 능력이 증가하여 에너지적으로 안정한 위치를 찾아갈 수 있기 때문에 박막의 결정성과 c축 배향성은 증가하지만 너무 높은 온도(>350°C)에서는 Zn와 O 원자들이 안정된 위치로 찾아가기 보다는 증착된 박막이 증발하는 현상이 결정성과 c

축 배향성을 떨어뜨리는 원인으로 보고되었다<sup>[9]</sup>. 그러나 모든 온도조건에서 (002) 우선배향성을 보였다(그림 1(a)~(c)). 반면 Al/Si 기판에서는 온도에 따라 ZnO의 배향성이 명확히 구분되었다. 250°C부터 (002) peak intensity가 현저히 감소하고 (101) peak가 관찰되면서 c축 우선방위 배향에서 벗어나기 시작한다(그림 1(e)). 350°C에서는 (002) peak intensity가 더욱 줄고 상대적으로 (100), (101) peak가 커지면서 혼합방위 배향특성을 나타낸다(그림 1(f)). 따라서 Al을 고려했을 때와 그렇지 않을 때의 공정온도에 대한 ZnO 박막의 배향성은 완전히 다른 특성을 나타낸다.

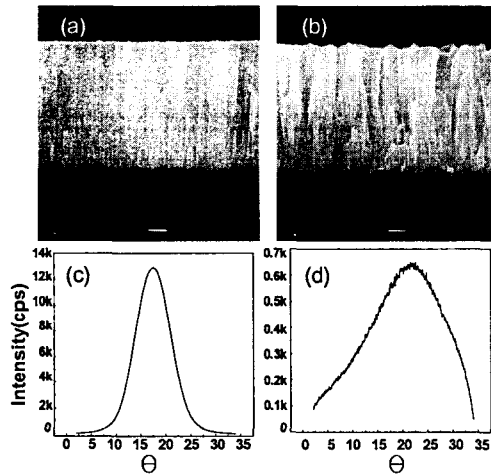


그림 2. (a) Si 그리고 (b) Al/Si 기판위에 250°C에서 증착된 ZnO 박막의 SEM, 그리고 (c) Si 그리고 (d) Al/Si 기판위에 250°C에서 증착된 ZnO 박막의 rocking curve.

Fig. 2 SEM of ZnO films deposited at 250°C on (a) Si substrate and (b) Al/Si substrate, and rocking curve of ZnO films deposited at 250°C on (c) Si substrate and (d) Al/Si substrate.

공정온도 250°C에서, Al층이 없을 때는 있을 때보다 (002) peak intensity가 약 40배 정도가 크고(그림 1 (b), (e)), 완전한 Gaussian 분포를 따르지만(그림 2(c)), Al층이 있을 때는 Gaussian 분포에서

조금 벗어나 있다(그림 2(d)). 온도 250°C에서 c축 우선방위 배향의 정도를 나타내는 rocking curve의 반가폭은 Si 기판에서 7.5, Al/Si기판에서 19.1°이다. 따라서 Al/Si 기판 위에서 ZnO 박막이 우수한 c축 우선배향성을 가지고 성장시키는 것은 Si 기판 위에서 성장시키는 것보다 상대적으로 어려운 일이다. 이는 SEM의 분석 결과로부터도 확인할 수 있다(그림 2(a), (b)). 그러나 FBAR 필터 응용을 위해 Al/Si 기판 위에서 양질의 ZnO 박막을 얻는 것이 필요하다. Al이 없는 기판위에서 공정온도에 따른 ZnO 박막의 성장특성은 위에서 얻은 결과와 비슷하게 많은 연구자들에 의해 연구되어왔다<sup>[9-12]</sup>.

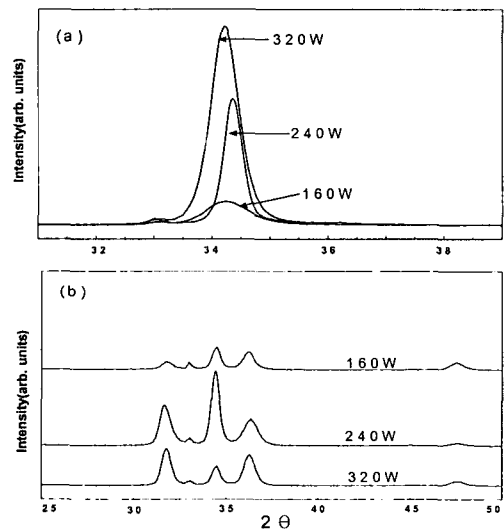


그림 3. 두 온도 조건에서 RF power를 160W, 240W, 그리고 320W로 증가시켰을 때의 XRD 변화 (a) 200, (b) 350°C

Fig. 3 XRD of the ZnO films deposited at RF power of 160, 240, and 320W under two temperature condition (a) 200, (b) 350°C

하지만 Al/Si 기판에서 공정온도에 따른 ZnO 박막성장의 변화를 정리하는 연구결과는 찾아보기 힘들다. 이 논문에서는 Al/Si 기판위에서 RF power와 기판온도가 ZnO의 성장특성에 미치는 영향을 알아보고 그것을 바탕으로 ZnO의 최적 증착조건을 제시하여 FBAR 다층박막 구조에 적용했다. RF power

가 ZnO 박막의 성장특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 기판온도 각각 200, 350°C 조건에서 RF power를 160W, 240W 그리고 320W로 증가시켜 보았다. 200°C에서는 power를 160W에서 320W로 변화시킴에 따라 (002) peak intensity가 power에 비례해 증가했지만 모든 power조건에서 (002) 우선 배향성은 변하지 않는다(그림 3(a)). 350°C에서도 모든 RF power조건에서 혼합방위 배향특성을 보이고 있다(그림 3(b)). 즉 200°C와 350°C에서 RF power에 관계없이 각각 (002) 우선방위 배향성 그리고 혼합방위 배향성을 보이는 실험결과로부터 ZnO의 배향특성은 온도에 의해 결정됨을 알 수 있다. 그러면 온도에 따라 배향성이 어떻게 변화하는지 알아볼 필요가 있다. 그림 4는 다양한 공정온도 조건하에서 증착한 ZnO 박막의 SEM과 XRD 측정 결과를 나타내었다. 그림에서도 알 수 있듯이 ZnO의 배향특성은 3개의 온도 구간(temperature region)으로 구분되어진다. 온도 구간에 따라 다른 배향특성을 보이고 있음을 SEM(그림 4(a)~(e))과 XRD(그림 4(f)~(j))로부터 명확하게 확인할 수 있다. 첫 번째 구간(23~200°C)에서는 오직 (002) peak만이 관찰되고 intensity가 매우 크므로 오직 (002) 결정면을 따라 결정 성장된 우수한 c축 우선방위 배향성을 보이는 구간이다. 그림 4(a), (b)의 SEM은 주상형 결정립(columnar grain)을 가지고 c축 우선배향된 ZnO박막을 보여주고 있다. 두 번째 구간(250~300°C)에서는 (002)면의 peak intensity가 현저히 줄어들고 (101)과 (102)면의 peak가 관찰되기 시작한다. 즉 박막내의 결정성장 특성이 (002) 결정면을 따라 성장하려는 경향이 현저히 줄고 (101), (102) 결정면을 따라 성장하려는 경향이 서서히 증가하면서 혼합방위 배향특성을 보이기 시작한다. 세 번째 구간(350°C 이상)에서는 박막내의 결정성장 특성이 (100), (002), (101) 그리고 (102)결정면을 따라 무질서하게 성장함으로써 완전한 혼합방위 배향특성을 보인다(그림 4(j)). 이는 그림 4(e)의 SEM으로 부터도 확인할 수 있다.

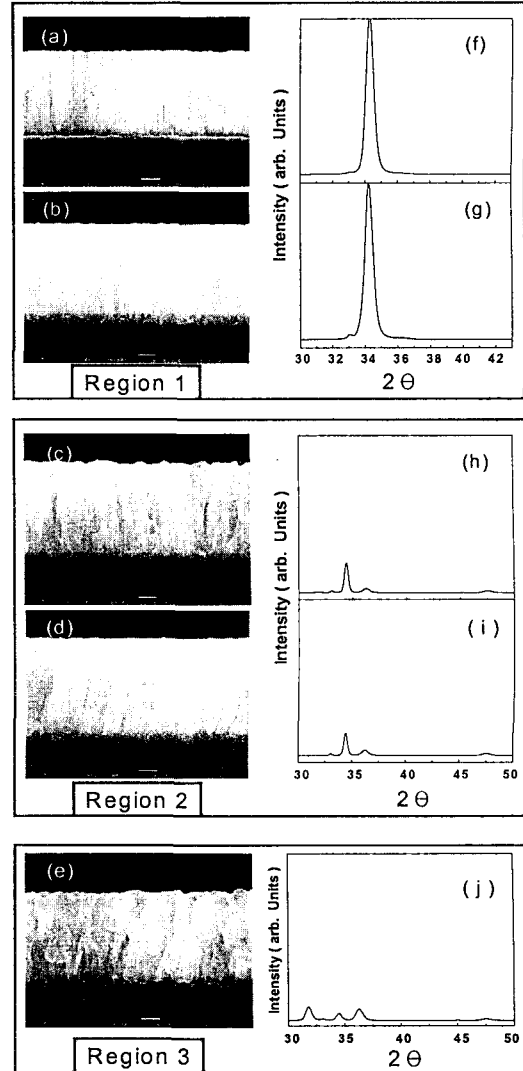


그림 4. (a) 23, (b) 200, (c) 250, (d) 300 와 (e) 350°C에서 증착된 ZnO 박막의 SEM 그리고 (f) 23, (g) 200, (h) 250, (i) 300와 (j) 350°C에서 증착된 ZnO 박막의 XRD.

Fig. 4 SEM images of ZnO films deposited at (a) 23, (b) 200, (c) 250, (d) 300 and (e) 350°C, and XRD images of ZnO films deposited at (f) 23, (g) 200, (h) 250, (i) 300 and (j) 350°C.

이때  $\theta/2\theta$  scan시 관찰되는 (100), (002), (101) 그리고 (102) 결정면이 가지는  $2\theta$ 의 위치는 각각 31.77, 34.42, 36.25 그리고 47.54°이고, 면간거리는 각각 2.814, 2.603, 2.476 그리고 1.911 Å이다.

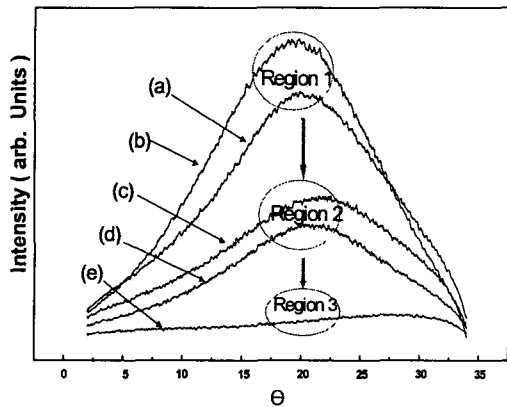


그림 5. (a) 23, (b) 200, (c) 250, (d) 300 와 (e) 350°C에서 증착된 ZnO 박막의 rocking curve  
Fig. 4 Rocking curve of ZnO films deposited at (a) 23, (b) 200, (c) 250, (d) 300 and (e) 350°C

표 1. 온도에 따른 표준편차값과 c축 우선배향성 정도

Table. 1 FWHM values and degree of c-axis preferred orientation with temperature region and critical temperature

Classification		FWHM (°)	Temperature range (°C)	Degree of c-axis preferred orientation
Temp. Region				
Region 1	23	14.4	23~200	High
	200	14.0		
Critical temperature			>200 and <250	↓
Region 2	250	19.1	250~300	Middle
	300	16.8		
Critical temperature			>300 and <350	↓
Region 3	350	can't calculate	>350	Low

중요한 것은 이러한 3개의 온도 구간에서의 성장

특성은 RF power에 관계없이 온도에 의해서 크게 지배된다는 것이다. 그림 5는 상온에서 350°C까지의 기판온도 조건하에서 ZnO 박막의 rocking curve의 변화를 나타낸다. ZnO 박막의 배향특성이 3개의 온도구간에 의해 명확하게 구분되어지고, 2개의 임계 온도(critical temperature)범위에서 성장특성이 바뀌는 것을 알 수 있다. 첫 번째 온도구간과 두 번째 온도구간에서의 rocking curve의 FWHM 값의 범위는 각각 14.0~14.4, 16.8~19.1이었다. 특히 세 번째 온도구간에서는 무질서한 성장으로 인해 rocking curve가 Gaussian 분포를 따르지 않아 표준편차값을 계산할 수 없었다(그림 5(e)). 각 온도구간에서 FWHM 값을 통해 첫 번째 온도구간에서 c축 우선배향의 정도가 가장 좋음을 알 수 있다. 이렇게 250°C 이상의 온도에서 FWHM 값이 커지는 이유는 기판온도가 다시 상온으로 돌아올 때 Al과 ZnO 그리고 Si 기판과의 다른 열팽창계수의 차이로 인해 발생된 응력의 영향 때문인 것으로 사료되지만 이에 대한 원인은 앞으로 더욱 연구, 분석이 요구된다.

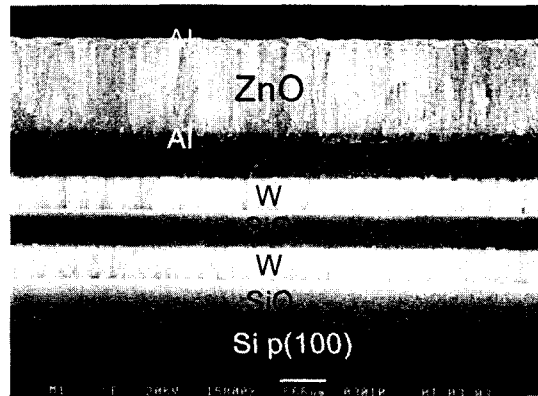


그림 6. c축 우선배향된 양질의 ZnO를 적용한 FBAR 다층박막 구조

Fig. 6. FBAR multilayer film structure applying high quality ZnO film that have the preferred orientation towards c axis.

온도구간과 임계온도 범위에서의 표준편차값과 c축 우선 배향성의 정도를 표 1에 요약하였다. 결과적으로 200°C 이하의 공정온도에서 주상형 결정립(columnar grain)을 가지고 c축 우선배향된 ZnO 박

막을 얻을 수 있었다. 특히 200°C에서 표준편차값은 14.0°으로 가장 작은 값을 갖는다(그림 5(b)). 따라서 이 온도에서 c축 우선배향 정도가 가장 우수하다. 그림 6은 2.4GHz 공진주파수를 갖는 공진기를 제작하기 위하여 제작한 FBAR 다층박막 구조의 단면을 나타냈고, 표 2에는 FBAR의 각 박막에 대한 증착조건을 요약하였다. 여기서 기관과의 접촉력을 좋게하고 표면거칠기 감소 그리고 치밀한 박막을 얻기 위해 첫 번째 산화막은 6000Å 두께로 열산화시킨 기판(SiO<sub>2</sub>/p-Si)을 사용하였다. 앞으로 FBAR 각 박막에 대한 증착조건, 특히 본 연구에서 얻은 c축 우선배향성이 우수한 ZnO박막을 실제 FBAR 소자제작에 응용해 공진기 및 필터제작을 하게 되면 우수한 삽입손실, 반사손실, 결합계수 및 품질계수를 갖는 FBAR 소자를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

표 2. ZnO, SiO<sub>2</sub>, W 그리고 Al 박막의 증착조건  
Table. 2 Deposition conditions of ZnO, SiO<sub>2</sub>, W and Al films

Film	ZnO	SiO <sub>2</sub>	W	Al
Deposition system	RF sputtering		DC sputtering	
Power(W)	320	360	125	150
Pressure(mTorr)	10	5	15	20
Gas flow	Ar+O <sub>2</sub> (25%)	Ar	Ar	Ar
Substrate temperature(°C)	200	Room temperature		
Distance of target-substrate (cm)	6.5	4.8	6.5	6.5
Deposition time(min)	98	36	30	32
Deposition rate(Å/min)	134.3	146	175	40.5

#### IV. 결 론

본 논문에서는 FBAR 필터에 응용을 위해 Al 하부전극 상에서 ZnO 박막증착 및 공정온도가 ZnO 결정성장미치는 영향에 대해 연구했다. ZnO 박막의 성장특성은 상온에서부터 350°C의 온도조건에서 c축 우선배향성의 정도에 따라 RF power에 관계없

이 2개의 임계온도(critical temperature)에 의해 나눠진 3개의 온도구간(temperature region)으로 구분할 수 있었다. 결과적으로 200°C 이하의 공정온도에서 주상형 결정립(columnar grain)을 가지고 c축 우선배향된 ZnO 박막을 얻을 수 있었다. 특히 200°C의 온도에서 ZnO X-ray 회절 rocking curve의 FWHM 값은 14°이다. 이렇게 얻은 ZnO박막을 사용하여 FBAR 다층박막 구조를 구현하였고, 앞으로 공정온도에 따른 ZnO 박막성장의 변화를 정리한 본 연구결과가 FBAR 소자제작에 유익하게 응용되어질 수 있으리라 기대된다.

#### References

- [1] R. Ruby, and P. Merchant, "Micromachined Thin Film Bulk Acoustic Resonators", 1994 IEEE International Frequency Control Symposium, pp. 135-138, 1994.
- [2] Qing-Xin Su, Paul Kirby, Eiju Komuro, Masaaki Imura, Qi Zhang, and Roger Whatmore, "Thin-Film Bulk Acoustic Resonators and Filters Using ZnO and Lead-Zirconium-Titanate Thin Films", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 49, No. 4, pp. 769-778, 2001.
- [3] Bolaji L. Olutade, and William D. Hunt, "Sensitivity Analysis of a Thin Film Bulk Acoustic Resonator Ladder Filter", IEEE International Frequency Control Symposium, pp. 737-742, 1997.
- [4] K. H. Yoon, J. W. Choi, D. H. Lee, "Characteristic of ZnO thin films deposited onto Al/Si substrates by r.f. magnetron sputtering", Thin Film Solids 302, pp 116-121, 1997.
- [5] S. H. Park, B. C. Seo, G. W. Yoon, "Two-step deposition process of piezoelectric ZnO film and its application for film bulk acoustic resonators, J. Vac. Sci. Technol. A 18(5), pp. 2432-2436, 2000.

- [6] M. A. Dubois, P. Muralt, H. Matsumoto, and V. Plessky, "Soldly Mounted Resonator Based on Aluminum Nitride Thin Film", IEEE Ultrasonics Symposium, pp. 909-912, 1998.
- [7] J. Kaitila, M. Ylammii, and J. Molarius, "ZnO Based Thin Film Bulk Acoustic Wave Filters for EGSM Band", IEEE Ultrasonics Symposium, pp. 803-806, 2001.
- [8] K. M. Lakin, "Development of Miniature Filters for Wireless Application", IEEE Trans, vol 43, No 12, pp. 2933-2939, 1995.
- [9] T. K. Subramanyam, B. Srinivasulu Naidu, S. Uthanna, "Effect of substrate temperature on the physical properties of DC reactive magnetron sputtered ZnO films", Optical Materials 13, pp. 239-247, 1999.
- [10] X. L. Xu, S. P. Lau, J. S. Chen, Z. Sun, B. K. Tay, J. W. Chai, "Dependence of electrical and optical properties of ZnO films on substrate temperature", Materials Science In Semiconductor Processing 4, pp. 617-620, 2001.
- [11] M. Chen, Z. L. Pei, C. Sun, L. S. Wen, X. Wang, "Surface characterization of transparent conductive oxide Al-doped ZnO films", Journal of Crystal Growth 220, pp. 254-262, 2000.
- [12] Y. J. Kim, Y. T. Kim, H. K. Yang, J. C. Park, J. I. Han, Y. E. Lee, H. J. Kim, "Epitaxial growth of ZnO thin films on R-plane sapphire substrate by radio frequency magnetron sputtering", J. Vac. Sci. Technol. A 15(3), pp. 1103-1107, 1997.

저자소개

Giwan Yoon



1983 BS in Seoul National University  
1985 MS in KAIST  
1994 PhD in The University of Texas at Austin, USA  
2000~Associate Professor in

ICU, Korea

※Area of interest: RF Technology, Smart Antenna, Smart Sensors, Bioelectronics

Munhyuk Yim



2002 BS in Material Engineering, Chungnam National University  
2002~ MS Course in ICU, Korea

※Area of interest: FBAR, Thin Film Bandpass Filter

Dongkyu Chai

1999 BS in Electronic Engineering, Kyongbook University, Korea  
2001~ ICU, Korea

※Area of interest: Thin Film BPF/Phase Shifter, Smart Sensors

Mai Linh



1996 BS in Natural Science, Hanoi University, Vietnam  
1998 MS in ITIMS, Vietnam  
2001~PhD Course in ICU, Korea