

RF/DC Magnetron Sputtering을 이용한 Acoustic Bragg Reflector 최적 증착조건에 관한 연구

임문혁* · Mai Linh* · 채동규* · 윤기완*

*한국정보통신대학원대학교

A Study on the Deposition Condition of Acoustic Bragg Reflector Using RF/DC Magnetron Sputtering

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

*Information & Communications University

E-mail : mr-yim@icu.ac.kr, Tel: 042-866-6201

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2002-003-D00229)

요 약

본 논문에서는 FBAR소자에서 중요한 역할을 하는 Reflector의 최적 증착조건을 RF/DC 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 조사하였다. Reflector를 구성하는 SiO₂와 W박막의 증착속도, 결정성, 표면거칠기 등을 다양한 증착조건에서 관찰한 결과 빠른 증착속도를 보이면서 치밀하고 결정성이 좋은 박막을 얻을 수 있는 조건을 찾을 수 있었고, 이 조건으로 5층의 Acoustic Bragg Reflector 구조를 제작하였다.

ABSTRACT

In this paper, we investigated the deposition condition of Bragg reflector formation that will be expected to play an important role in future FBAR device applications. The thin films were deposited using an RF/DC magnetron sputtering technique. The material characteristics such as deposition rates, grain structures and surface roughnesses of the deposited silicon dioxide (SiO₂) and tungsten (W) films were investigated for various deposition conditions. As a result, it was found that the deposition condition could significantly affect the material characteristics of the deposited films and also the optimization of the deposition process is essentially important to obtain the desirable Bragg reflector structure consisted of high-quality thin films.

키워드

RF/DC Magnetron Sputtering, Acoustic Bragg Reflector, Deposition condition, Deposition rate, Surface roughness

1. 서 론

최근 RF FBAR필터가 차세대 RF필터로 급부상하고 있다. 현재 상용화되어 쓰이고 있는 필터와 달리 FBAR필터는 실리콘 웨이퍼위에서 반도체 박막기술을 이용함으로써 초소형화와 MMIC화가 가능하여 다른 휴대용 단말기 부품들과 함께 집적화가 가능하기 때문이다[1, 2]. FBAR소자의 단면을 그림 1에 나타내었

다. 그림과 같이 FBAR소자는 크게 Reflector, 상/하부 전극, 압전층으로 나뉜다[3, 4]. Acoustic impedance 차이가 큰 물질을 공진기 중심주파수의 $\lambda/4$ 두께로 교대로 증착하여 Reflector를 제작하면 하부전극 아래로 보이는 Impedance가 공기처럼 0이나 ∞ 로 만들어줄 수 있다고 많은 연구자들에 의해서 보고되었다[5, 6, 7]. 따라서 C축 우선배향성을 가진 압전박막내에서 발생된 acoustic wave는 하부전극에서 바라본 Impedance가 0

이나 ∞이므로 전극부분을 통과하지 못하고 전반사가 일어나 압전층에 모이게 되어 효율적인 공진이 일어난다[4, 5, 7]. 압전층과 Si기판사이의 acoustic impedance 비가 매우 작기 때문에 Si기판위에 직접 압전박막을 증착하면 높은 품질계수(high-Q) FBAR 공진기를 얻을 수 없다. 따라서 압전층과 Si기판 사이에 Reflector를 형성하면 이러한 문제점을 보완할 수 있다. 그만큼 FBAR소자에서의 Reflector의 역할은 중요하다[3].

본 논문에서는 acoustic impedance가 낮은 물질로 SiO₂를, acoustic impedance가 높은 물질로 W를 선택하여 먼저 SiO₂와 W의 최적 증착조건을 규명하였고, 이 조건으로 5층으로 이루어진 Reflector를 제작하였다.

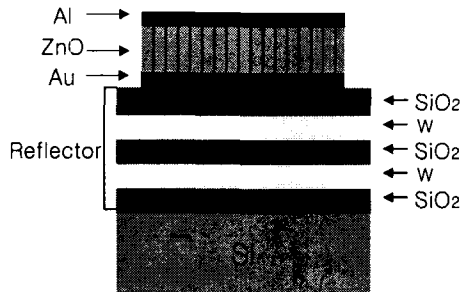


그림 1. FBAR소자의 단면

II. 실험 방법 및 분석 방법

1. 실험 방법

본 실험에 사용된 장비는 RF/DC 마그네트론스퍼터링 시스템(Hanvac, HVS-340)으로 타겟은 상부에 위치시키고 기판은 하부에 장착되어진 하향식이며, High deposition용 sputter source 4인치 건 3개가 장착되도록 설계되었다. 또한 Load-lock system을 이용하여 시료를 꺼내기 위해 챔버를 open할 필요없이 진공을 유지한 상태에서 시료의 load/unload를 할 수 있도록 하였다. 본 연구에서는 RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 SiO₂박막을, DC 스퍼터링법을 이용하여 W 박막을 증착하였다. 사용된 SiO₂와 W타겟은 직경 4인치, 두께 1/8인치이며 순도가 각각 99.995%(4N5), 99.95%(3N5)의 타겟(Cerac사)을 사용하였다. 우선 증착전에 챔버내 불순물을 최대한 제거하기 위해 Turbomolecular 펌프를 이용하여 초기진공도를 2.0×10⁻⁶torr 이하로 유지시킨후 고순도(5N)의 반응가스(Ar)를 챔버내에 32sccm으로 주입시켰으며 모든 증착조건에서 기판온도는 상온, 기판회전은 3RPM으로

하였다. SiO₂를 증착하는 경우 타겟과 기판과의 거리는 4.8cm로 하였고, 챔버압력을 1.3~15.0mtorr, RF power를 240~360W로 변화시키면서 실험하였고, W를 증착하는 경우는 타겟과 기판과의 거리는 6.5cm로 하였고, 챔버압력을 5~30mtorr, DC power를 100~150W로 변화시키면서 박막의 최적 증착조건을 찾았다. 각 박막의 최적 증착조건으로 5층의 Reflector를 제작했는데 이때 SiO₂와 W박막을 연속으로 증착하므로 각 층마다 증착하기 전에 타겟 표면의 오염물질을 제거하기 위해 shutter를 닫은 상태에서 presputtering을 약 5분간 한 후 shutter를 열어 증착을 하였다.

2. 분석 방법

증착속도는 먼저 박막의 두께를 구한후 이 값을 증착시간으로 나누어 계산하였다. 이때 박막의 두께는 주로 SEM(AKASHI DS-130C) 단면 사진을 분석하거나 α -step(Dektak3 surface profiler)으로 탐침의 scan거리를 3000 μ m로 하여 증착된 박막의 두께를 측정하였다. 또한 증착된 박막의 표면형상 및 표면거칠기를 측정하기 위해 SEM 표면사진을 분석하거나 AFM(Park scientific Instrument(PSI), AutoProbe CP)을 이용하였다.

III. 실험 결과 및 고찰

1. SiO₂의 최적 증착조건

SiO₂ 박막은 결정성이 없는 비결정질이므로 가장 빠른 증착속도를 보이는 증착조건을 찾는데 주력하였고 그 조건을 최적조건으로 정한다.

1.1 증착속도(Deposition rate)

SiO₂를 타겟과 기판과의 거리 6.5cm에서 증착하였을 때 거의 증착이 일어나지 않음을 SEM분석을 통해 확인하였다. 따라서 타겟은 고정된 상태에서 기판 holder를 Z축으로 이동시켜 거리를 4.8cm로 조정하였고, 초기 진공도(Base pressure) 2.0×10⁻⁶torr, 기판 W/SiO₂/p-Si(100), 챔버압력 5mtorr, 반응가스 Ar 32sccm, 기판온도 23도(상온)에서 RF power가 240, 320W로 증가하였을 때 증착속도는 82, 105 Å/min으로 증가하였으며 최대 power(600W)의 60%(360W)에서 146 Å/min이 되었다. 그리고, 40분동안 증착하였을 때 기판온도는 약 60도까지 상승하였다. 그 이상의 전력을 인가했을 때 Reflect되는 전력이 커지면서 타겟에 crack이 발생하기 시작해 360W에서 가장 좋은 특성을 보인다. 또한 챔버압력 5mtorr, RF power 360W에서 반응가스 O₂를 Ar과 같은 비율(32sccm)로 주입시켰을 때 증착속도는 146 Å/min에서 91 Å/min

으로 현저히 감소한다는 것을 알 수 있었다. 이때 박막 두께를 측정하기 위해 α -step을 이용하였다. O₂의 비율이 증가하면 Ar에 의해 타겟에서 스퍼터링되는 입자가 줄어들고 그 입자들의 충돌 빈도가 증가하면서 평균자유행로(mean free path)는 짧아져서 스퍼터율이 낮아지는 것이다. 그림 2는 SiO₂의 가장 좋은 증착 특성을 보이는 조건, 즉 RF power 360W, O₂를 첨가하지 않은 반응가스 Ar 32sccm, 타겟과 기판과의 거리 4.8cm에서 기판 W/p-Si(100)위에 챔버압력을 1.3, 5.0, 15.0mtorr로 증가시킴에 따라 SiO₂의 증착속도는 120, 146, 86Å/min으로 증가하다 감소함을 나타낸다. 이 결과는 그림 3의 각 조건에서 SEM분석을 통해 얻은 것이다. 챔버압력이 증가하면 타겟으로 입사하는 입자의 수가 증가하여 스퍼터율을 높이는 역할을 하는 반면 평균자유행로는 짧아져서 스퍼터율이 낮아질 수 있다. 따라서 일반적으로 본 실험 결과와 같이 챔버압력이 증가함에 따라 증착속도가 증가하다 감소한다.

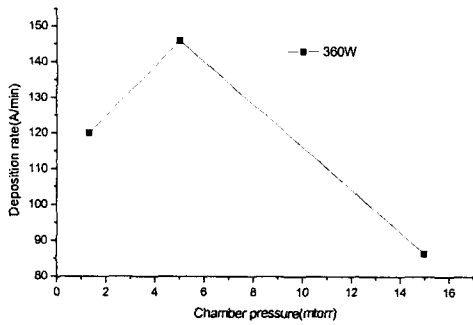
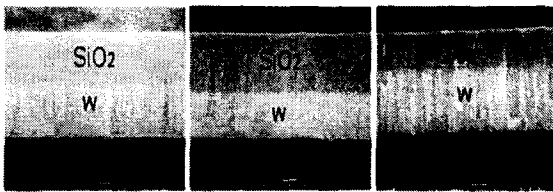


그림 2. 일정한 RF power(360W)에서 압력을 변화하여 증착시킨 SiO₂박막의 증착속도 변화



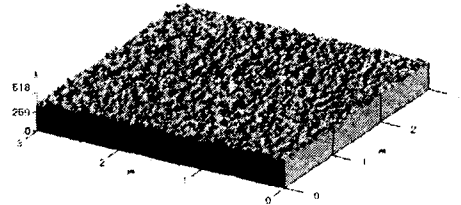
(a) 1.3mtorr (b) 5.0mtorr (c) 15.0mtorr

그림 3. 그림 2의 조건에 대한 SEM 단면사진 (증착시간 : 40분)

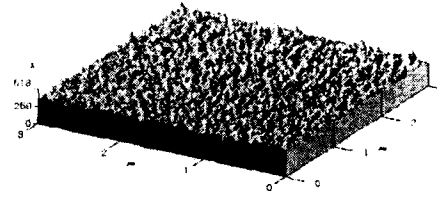
1.2 박막의 표면 morphology 분석

그림 4에 기판 p-Si(100), RF power 360W, Ar 32sccm, 타겟과 기판과의 거리 4.8cm에서 챔버압력을 1.3, 5.0, 15.0mtorr로 변화하여 증착시킨 SiO₂박막의 AFM 형상을 나타내었다. 챔버압력이 증가함에 따라

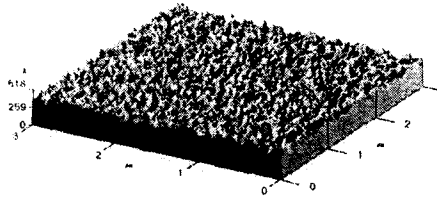
표면 거칠기(rms roughness)는 19.5, 26.8, 30.5Å으로 약간씩 증가하였으나 모든 조건에서 비교적 양호한 거칠기값을 보였다.



(a) 1.3 mtorr



(b) 5.0 mtorr



(c) 15.0 mtorr

그림 4. 일정한 RF power(360W)에서 압력변화에 따른 AFM의 형상

2. W의 최적 증착조건

W 박막은 결정성이 있으므로 치밀하고 결정성이 좋으며 증착속도가 양호한 증착조건을 찾는 데 주력하였고 그 조건을 최적조건으로 정한다.

2.1 증착속도(Deposition rate)

초기 진공도 2.0×10^{-6} torr, 기판 SiO₂/p-Si(100), 기판온도 23도(상온), 타겟과 기판과의 거리 6.5cm에서 압력과 DC power의 여러 조건을 변화시켰을 때 증착속도는 그림 5와 같은 경향을 보인다. 일정 압력하에서 DC power를 100, 125, 150W로 증가시킬수록 증착속도는 직선적으로 비례하여 증가한다. 그리고 압력을 30mtorr에서 20mtorr로 감소시켰을 때 같은 DC power 조건에서 증착속도가 증가함을 알 수 있다. 이 결과는 각 조건에서의 SEM분석을 통해 얻은 것이다.

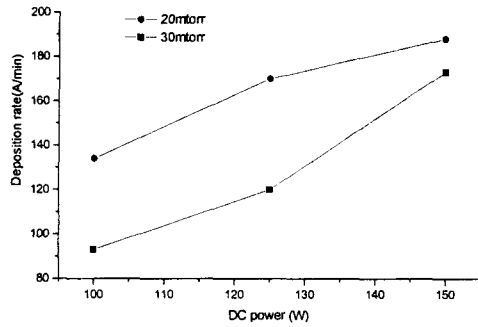


그림 5. 다양한 증착조건에서 증착된 W박막의 증착속도 변화

기판 SiO₂/p-Si(100), 일정한 DC power 125W에서 챔버압력을 5, 15, 25mtorr로 증가시켰을 때 그림 6의 SEM분석을 통해 증착속도는 116, 175, 163 Å/min으로 15mtorr에서 가장 빠른 증착속도를 나타낸다.

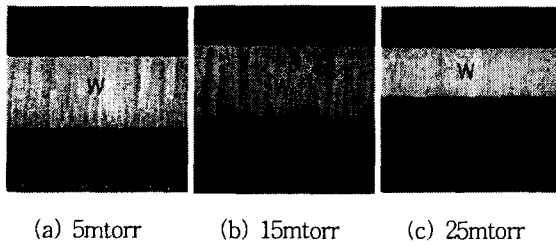


그림 6. 일정한 DC power(125W)에서 압력을 변화하여 증착시킨 W박막의 SEM 단면사진(증착시간: 40분)

또한 그림 7은 125W에서 두 압력조건에 대한 SEM 표면 사진이다. 15mtorr에서 치밀하고 결정성이 우수한 W박막을 얻을 수 있었다.

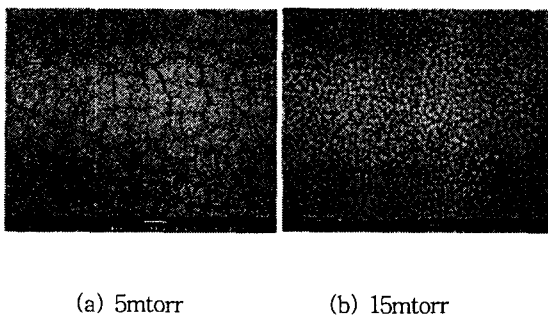
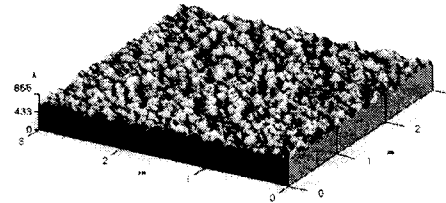


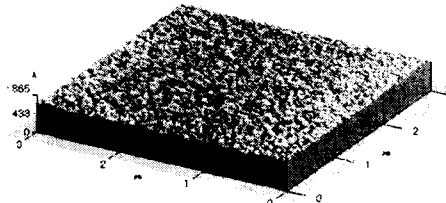
그림 7. DC power 125W에서 두 압력조건에 대한 SEM 표면사진

2.2 박막의 표면 morphology 분석

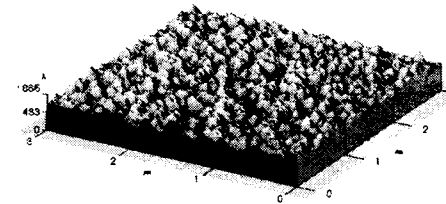
그림 8에 기판 SiO₂/p-Si(100), DC power 125W에서 챔버압력이 5, 15, 25mtorr로 변화하여 증착시킨 W 박막의 AFM 형상을 나타낸다. 챔버압력이 증가함에 따라 표면 거칠기는 53.7, 24.3, 70.9 Å으로 15mtorr에서 가장 양호한 거칠기값을 갖는다.



(a) 5mtorr



(b) 15mtorr



(c) 25mtorr

그림 8. 일정한 DC power(125W)에서 압력변화에 따른 AFM의 형상

3. Acoustic Bragg Reflector 제작

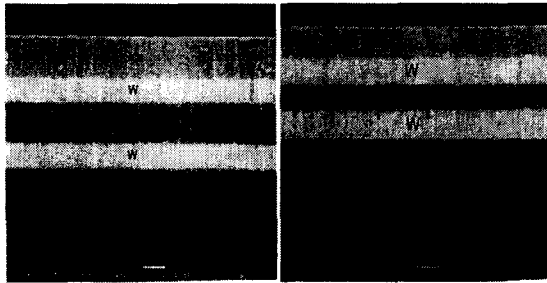
본 연구에서는 표 1에 정리한 SiO₂와 W의 최적증착조건으로 증착시간을 달리하여 제작된 SiO₂/W의 5층 구조를 갖는 Reflector를 그림 9와 같이 만들었다. 홀수층은 반드시 산화막이 위치해야하며 짝수층은 텅스텐이 위치한다. (a)는 초기진공도 4.8×10⁻⁷torr에서 p-Si기판위에 SiO₂를 50분, W를 30분 증착하여 각각 8100 Å, 5300 Å의 두께를 얻었다. (b)는 기판과의 접착력을 좋게 하고 표면거칠기 감소 그리고 치밀한 박막을 얻기 위해 첫 번째 산화막은 6000 Å 두께의 열산화 SiO₂/p-Si기판을 사용하였다. 초기진공도 6.4×10⁻⁷torr에서 SiO₂를 37분, W를 32분 증착하여 각각

5000 Å, 6000 Å의 두께를 얻었다.

참고문헌

표 1. SiO₂와 W의 최적증착조건

| Material | Pressure | Power | Deposition rate |
|------------------|----------|-------|-----------------|
| SiO ₂ | 5mtorr | 360W | 146 Å/min |
| W | 15mtorr | 125W | 175 Å/min |



(a) (b)

그림 9. 증착시간을 달리하여 제작된 SiO₂/W의 5층 구조를 갖는 Reflector

IV. 결 론

1. SiO₂박막은 RF 마그네트론 스퍼터링법으로 증착하였다. 가장 빠른 증착속도를 보이는 최적 증착 조건은 타겟과 기판과의 거리 4.8cm, 챔버압력 5mtorr, RF power 360W, 반응가스는 Ar만을 사용하며 이때 증착된 박막의 증착속도는 146 Å/min, 박막의 표면 거칠기는 26.8 Å이다.

2. W박막은 DC 스퍼터링법으로 증착하였다. 치밀하고 결정성이 좋으며 증착속도가 양호한 최적 증착 조건은 타겟과 기판과의 거리 6.5cm, 챔버압력 15mtorr, DC power 125W, 반응가스는 Ar만을 사용하며 이때 증착된 박막의 증착속도는 175 Å/min, 박막의 표면 거칠기는 24.3 Å이다.

3. SiO₂와 W의 최적증착조건으로 SiO₂/W의 5층 구조를 갖는 Reflector를 증착시간을 달리하여 제작하였다. 이렇게 제작된 Reflector는 FBAR소자 제작에 응용되어 높은 품질계수를 갖는 FBAR 공진기를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

- [1] R. Ruby, and P. Merchant, "Micromachined Thin Film Bulk Acoustic Resonators", 1994 IEEE International Frequency Control Symposium, pp. 135.
- [2] K. M. Lakin, G. R. Kline, and K. T. McCarron, "Thin Film Bulk Acoustic Wave Filters For GPS", 1992 IEEE International Frequency Control Symposium, pp. 471.
- [3] Bolaji L. Olutade, and William D. Hunt, "Sensitivity Analysis of a Thin Film Bulk Acoustic Resonator Ladder Filter", 1997 IEEE International Frequency Control Symposium, pp. 738.
- [4] M. A. Dubois, P. Mural, H. Matsumoto, and V. Plessky, "Solder Mounted Resonator Based on Aluminum Nitride Thin Film", 1998 IEEE Ultrasonics Symposium, pp. 909.
- [5] K. M. Lakin, "Development of Miniature Filters for Wireless Application", IEEE Trans, vol 43, No 12, December 1995, pp. 2934~2935.
- [6] J. Kaitila, M. Yliammi, and J. Molarius, "ZnO Based Thin Film Bulk Acoustic Wave Filters for EGSM Band", 2001 IEEE Ultrasonics Symposium, pp. 803.
- [7] Sanghee Kim, Jongheon Kim, Heedae Park, and Giwan Yoon, "AlN-based Film Bulk Acoustic Resonator devices with W/SiO₂ Multilayers Reflector for RF Bandpass filter Application", J. Vac. Sci. Technol. B 19(4), Jul/Aug 2001, pp. 1164~1166.