

# Mo/SiO<sub>2</sub>/Si(100)기판 위에 MOCVD법으로 성장시킨 AlN박막이용 GHz대역의 FBAR제작에 관한 연구

(Fabrication of GHz-Band FBAR with AlN Film on Mo/SiO<sub>2</sub>/Si(100) Using MOCVD)

양충모\* · 김성권 · 차재상 · 박구만

(Chung-Mo Yang · Seong-Kweon Kim · Jae-Sang Cha · Ku-Man Park)

## 요 약

본 논문에서는 Mo/SiO<sub>2</sub>/Si(100) 기판 위에 MOCVD(Metal-Organic-Chemical-Vapor Deposition)법을 이용하여 C축 방향으로 성장시킨 AlN(Aluminum Nitride) 박막을 이용하여 GHz대역 무선 통신에서 사용할 수 있는 FBAR(Film-Bulk-Acoustic Resonator)을 제작하였다. 제작된 공진부의 공진주파수와 반공진주파수는 각각 3.189[GHz]와 3.224[GHz]으로 측정되었으며, Q값(Quality Factor)과 유효한 전기기계 결합계수( $k_{eff}^2$ )는 각각 24.7과 2.65[%]로 평가되었다. AlN의 증착(Deposition) 조건은 950[°C]의 기판표면(Substrate) 온도, 20Torr의 압력, 25000의 N/Al의 V/III비로 증착하였다.  $4 \times 10^{-5}[\Omega \text{cm}]$ 의 Mo 하부전극 고유저항과 Mo/SiO<sub>2</sub>/Si(100) 기판 위에 AlN(0002) FWHM(Full-Width at Half-Maximum) 4를 갖는 C축 방향성의 AlN 박막을 성공적으로 성장시켰다. 따라서 증착된 AlN 박막의 FWHM 값은 GHz대역 무선 통신용 RF(Radio Frequency) 밴드 패스 필터 설계에 유용하게 사용될 것이다.

## Abstract

In this paper, it is reported that film-bulk-acoustic resonator with high c-axis oriented AlN film on Mo/SiO<sub>2</sub>/Si(100) using metal-organic-chemical-vapor deposition was fabricated. The resonant frequency and anti-resonant frequency of the fabricated resonator were observed with 3.189[GHz] and 3.224[GHz], respectively. The quality factor and the effective electromechanical coupling coefficient( $k_{eff}^2$ ) were measured with 24.7 and 2.65[%], respectively. The conditions of AlN deposition were substrate temperature of 950[°C], pressure of 20Torr, and V-III ratio of 25000. A high c-axis oriented AlN film with  $4 \times 10^{-5}[\Omega \text{cm}]$  resistivity of Mo bottom electrode and 4[°] of AlN(0002) full-width at half-maximum(FWHM) on Mo/SiO<sub>2</sub>/Si(100) was grown successfully. The FWHM value of deposited AlN film is useful for the RF band pass filter specification for GHz-band wireless local area network.

Key Words : AlN(Aluminum Nitride), MOCVD(Metal-Organic-Chemical-Vapor Deposition), Q(Quality Factor),  $k_{eff}^2$ (Electromechanical Coupling Coefficient), FWHM(Full-Width at Half-Maximum)

\* 주저자 : 삼성전기 중앙연구소

Tel : 031-218-2862, Fax : 031-300-7900(#3829), E-mail : chungmo.yang@samsung.com

접수일자 : 2005년 10월 19일, 1차심사 : 2005년 10월 26일, 심사완료 : 2005년 11월 15일

## 1. 서 론

무선통신 시스템의 고속 전송에 대한 요구는 GHz 대역으로의 통신기술의 발전을 불러왔으며, 특히 GHz대역 필터의 소형화를 비롯해 그 성능에 대한 많은 요구가 증대되어 왔다. GHz대역에서 현재 사용되고 있는 RF Band-pass 필터는 크게 유전체 필터, SAW(Surface Acoustic Filter)필터, FBAR(Film Bulk Acoustic Resonator) 필터의 3가지로 구분된다. 휴대전화와 같은 일반적인 무선통신 시스템에서는 RF(Radio Frequency) 밴드 패스 필터로 SAW나 유전체 필터가 사용되었다.

유전체 필터는 유전체 재료의 전자자계 파장에 의해 결정되기 때문에 GHz대역의 고주파가 요구되면 될수록 유전체 필터의 사이즈는 소형화가 되기 어렵고, 또한 제조상의 어려움이 있다.

SAW 필터의 경우도 L&S(Line&Space)의 제조상의 어려움 때문에 3[GHz] 대역 이상의 주파수에서는 실현이 어렵다는 문제가 있다. 따라서 이러한 단점을 극복하기 위해 FBAR 필터제작에 관한 연구가 시작되었던 것이다.

FBAR를 이용한 RF(Radio Frequency) 밴드 패스 필터는 일반적으로 래더형(ladder)으로 디자인 되어 사용된다[1-3]. 동일한 주파수 대역에서, FBAR의 사이즈는 SAW 필터와 유전체 필터보다 작게 구현된다. 특히 5[GHz]대역에서 SAW 필터보다 작은 삽입손실 특성이 실현되었다는 연구도 보고되었다[4]. 예를 들어 무선 LAN(Local Area Network) 시스템에서 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 통신방식을 사용하여 최대 54[Mbps]를 실현시키는 5[GHz] 대역에서는 SAW 필터보다 FBAR 필터가 유리함을 나타낸다. 또한 FBAR 필터는 Si기판에서 구현되기 때문에 다른 수동소자와 복합화가 가능한 장점을 지니고 있다. 따라서 FBAR 필터는 GHz 대역에서 RF(Radio Frequency) 밴드 패스 필터로서의 요구조건에 가장 적합한 필터이다.

본 연구에서는 FBAR 필터에 사용되는 압전체 재료로 AlN을 선택하였다. AlN은 넓은 밴드갭 에너지(Bandgap Energy), 높은 가속파(acoustic wave)속도, 높은 항복전압(breakdown voltage), 낮은 유전

손실을 지닌 재료로 알려져 있다. 압전체 재료로 AlN을 사용한 FBAR 공진주파수는 AlN 두께로 결정된다. 왜냐하면 acoustic wave 전달 방향이 film의 수직방향이기 때문이다. 따라서 AlN의 bulk velocity가 10400[m/s]이므로, 5[GHz]의 경우 AlN film의 두께가 약 1.1[um]로 결정된다. 그리고 이 1.1[um]의 AlN두께는 성막하기에는 아주 이상적인 두께이다.

FBAR의 Q-factor는 AlN film의 전기기계결합계수(effective electromechanical coupling coefficient ( $k_{eff}^2$ ))에 의해서 결정된다[5]. AlN의  $k_{eff}^2$ 는 AlN(0002) film의 full-width at half-maximum(FWHM)에 좌우된다고 할 수 있다. 결국, 광대역 FBAR 필터의 제조에는 C축 성장 AlN 박막을 성장시키는 것이 관건이 된다는 결론을 내릴 수 있다.

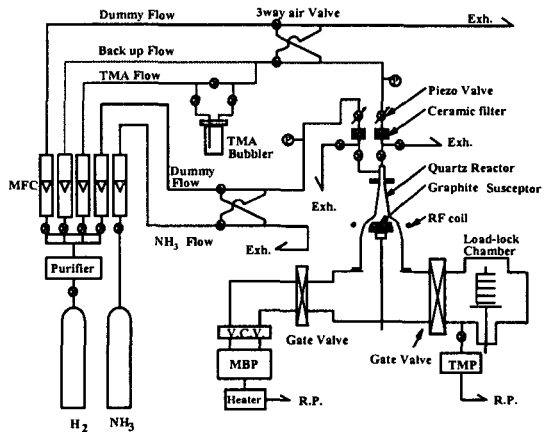


그림 1. MOCVD 장비의 블록 다이어그램  
Fig. 1. The block diagram of MOCVD

화학 반응을 이용한 증착방법인 metal-organic-chemical-vapor deposition(MOCVD) 방법은 우수한 박막 성장이 기대되므로, 본 논문에서는, MOCVD법을 써서, Si기판 위에서 C축 방향의 박막을 성장시킨 AlN 박막을 이용해서 FBAR를 제작하였다.

본 논문에서는 우선 MOCVD법의 이용에 대하여 설명하고, Mo/SiO<sub>2</sub>/Si(100) and Mo/SiO<sub>2</sub>/Si(111) 기판 위에서 FBAR의 요구조건에 부합하는 C축 성장 AlN 박막 성장에 대해 기술하며, 제작된 FBAR의 측정 결과에 대해 분석한다.

## 2. AlN 박막의 최적화

FWHM와  $k_{eff}^2$ 의 관계는 보고에 의하면, 6[%]이상의  $k_{eff}^2$ 를 얻기 위해서는 MOCVD를 이용해 박막 성장시킨 AlN 박막의 특성이  $4[^\circ]$  이하의 AlN(0002) FWHM 값이어야 한다[6].

그림 1은 AlN 박막 성장을 위한 MOCVD 장비를 나타낸 것이다. Trimethylaluminum(TMA) 가스는 bubbling 방법에 의해 주입된다. Bubbling된 TMA 가스는 TMA-back-up H<sub>2</sub> flow에 의해 반응관에 인도된다. TMA-back-up H<sub>2</sub> gas는 TMA gas stable에 주입된다. TMA와 NH<sub>3</sub> 가스는 중간 노즐과 안쪽 벽 사이에 있는 center nozzle과 inlet surrounding에서 각각 독립적으로 분리되어 분사된다[7].

반응관은 수직으로 되어 있으며, 수냉식의 quartz 타입이다. Substrate plate는 pyrolitic boron nitride가 코팅된 graphite susceptor이며, 이것은 RF에 의해 가열되는 방식이다. 정확한 가스의 흐름을 파악하기 위해 mass flow controller를 사용하였다.

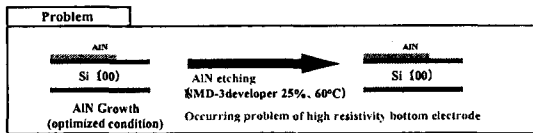


그림 2. 전극의 고저항값의 문제  
Fig. 2. The problem of high resistivity electrode

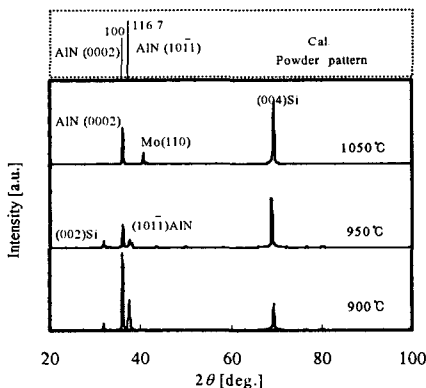


그림 3. 900, 950[°C]와 1050[°C]에서 Mo/SiO<sub>2</sub>/Si(100)표면에서의 AlN(0002) X-ray 회절패턴  
Fig. 3. X-fay pattern of Mo/SiO<sub>2</sub>/Si(100) substrate with 900, 950 and 1050[°C]

AlN 박막의 성장온도 1050[°C]에서 2.98[°] 우수한 FWHM of AlN(0002)를 얻었으나, 이때의 하부전극 Mo의 비저항 값이 그림 2에서와 같이  $8 \times 10^{-5}[\Omega\text{cm}]$ 로 열화 됨을 알게 되었다. 이러한 하부전극의 비저항 값을 개선하기 위해서, 본 연구에서는 MOCVD법에 의한 AlN 박막의 저온성장을 제안하였다.

그림 3은 900, 950, 1050[°C]의 AlN 박막 성장 온도에서 Mo/SiO<sub>2</sub>/Si(100) 기판 위에서의 AlN(0002) 박막의 X-ray diffraction(XRD)패턴 값을 나타낸다. CuK $\alpha$ 방사선을 이용한 XRD( $\theta$ - $2\theta$ )는 AlN 박막의 결정성과 방위를 결정한다. 세 가지의 성장온도에서 성장된 AlN 박막은 모두가 C축 우선배향성을 가짐을 알 수 있다. 950[°C]와 900[°C]의 경우, Mo 하부전극의 비저항값이  $4 \times 10^{-5}[\Omega\text{cm}]$ 로 낮아졌음을 알 수 있다. 특히 950[°C]에서 Mo/SiO<sub>2</sub>/Si(100)와 Mo/SiO<sub>2</sub>/Si(111)의 기판에서 성장된 AlN 박막의 경우, 그림 4에서 보는 바와 같이 각각  $4[^\circ]$ 와  $3.8[^\circ]$ 의 FWHM을 나타냄을 확인하였다.

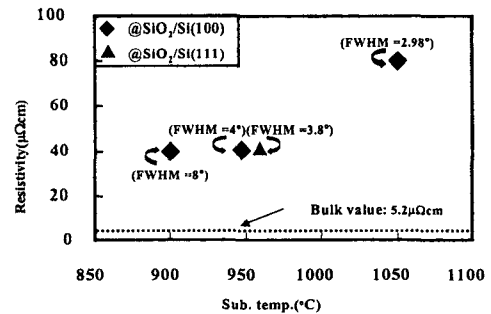


그림 4. 기판 온도, 저항 FWHM과의 관계  
Fig. 4. The relation of substrate temperature, resistivity and FWHM

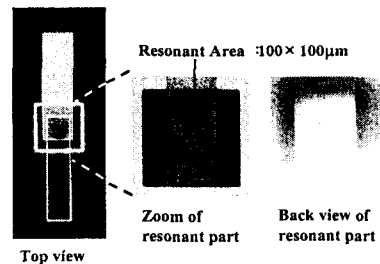


그림 5. FBAR 사진  
Fig. 5. The Photograph of FBAR

### 3. FBAR 제조

본 FBAR제조에서는 Mo/SiO<sub>2</sub>/Si(100)의 기판 위에 950[°C]의 AlN 성장온도에서 성장시킨 4[°]의 FWHM값을 가진 막을 이용하였다. 실제로는 Mo/SiO<sub>2</sub>/Si(111)의 기판 위에서 성장시킨 AlN 박막이 더 좋은 값을 기대 할 수 있으나, Si 드라이 에칭시의 어려움 때문에 이번에는 전자의 기판을 이용하였다. 또한 FBAR는 Membrane구조를 적용하였다. SiO<sub>2</sub> 층은 Si 드라이 에칭시의 stopper 역할을 위해 Si(100) 기판 위에 열 산화 방법으로 형성하였다. Mo 전극은 SiO<sub>2</sub>/Si(100) 기판 위에 RF sputtering 방법을 이용해서 증착하였다.

상하부 전극은 lift-off 방식으로 패턴을 형성하였으며, AlN 박막은 60[°C]의 25[%] NMD-3 현상액에 에칭을 통해 패턴을 형성하였다. FBAR의 membrane부분은 Deep reactive ion etching(RIE) 기술을 이용해서 수직으로 에칭하였다.

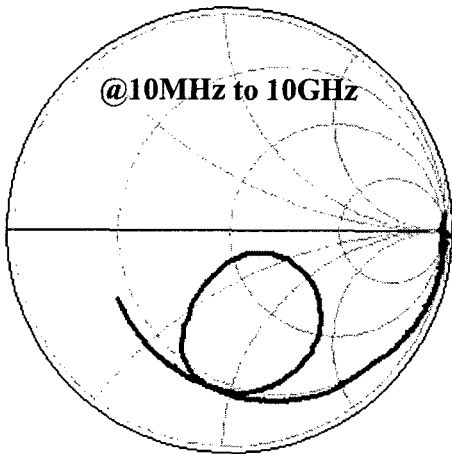


그림 6. FBAR의 Smith chart(S11)  
Fig. 6. Smith chart(S11) of FBAR

이것은 Bosch process라는 에칭법을 이용한 것인데, C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> gas와 SF<sub>6</sub> gas를 이용해서 polymer coating과 Si 에칭의 반복적인 진행으로 인해 수직으로 에칭하는 방법이다. 그림 5는 제조된 공진부의 top view 사진을 나타낸다. 공진부의 면적은 100×100[μm<sup>2</sup>]이다.

$$k^2 = \frac{\theta}{\tan \theta}; \theta = \frac{f_r}{f_a} \quad (1)$$

$$Q_r = \frac{f_r}{2} \left| \frac{d\phi_z}{df} \right|_{f=f_r} \quad (2)$$

FBAR 디바이스는 Agilent Technology사의 8720ES와 G-S 250-μm probe를 이용해서 S<sub>11</sub>을 측정하였다. 그림 6은 10[MHz]부터 10[GHz]까지의 반사 특성을 나타낸다. 그림 7에 의하면 공진 주파수(f<sub>r</sub>)와 반공진 주파수(f<sub>a</sub>)가 각각 3.189[GHz]와 3.224[GHz]임을 알 수 있다. 이 값을 식 (1), (2)를 이용해서 k<sub>eff</sub><sup>2</sup>와 Q-factor를 도출할 수가 있다. 계산 결과 k<sub>eff</sub><sup>2</sup>는 2.65[%]이며, Q<sub>r</sub>는 24.7을 얻었다.

### 4. 결론

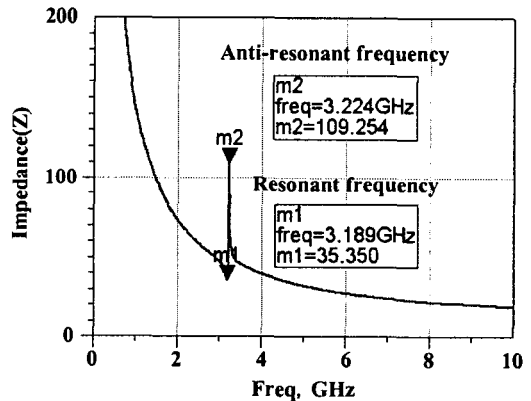


그림 7. 제조된 FBAR의 Impedance값  
Fig. 7. Impedance of FBAR

본 논문은 MOCVD(Metal-Organic-Chemical-Vapor Deposition)법으로 성장시킨 AlN 박막을 이용해서 FBAR(Film-Bulk-Acoustic Resonator) 제작에 성공을 하였다. SiO<sub>2</sub>/Si(100)와 SiO<sub>2</sub>/Si(111) 기판 위의 Mo하부전극의 비저항값을 950[°C]의 AlN 저온 성장으로 인해 4×10<sup>-5</sup>[Ωcm]까지 낮추었다. 이때의 AlN(0002)의 FWHM(Full Width at Half Maximum)는 각각 4[°]와 3.8[°]의 값을 얻었다. 950[°C]에서 성장된 AlN 박막을 이용해서 제조한 FBAR는 각각 3.189[GHz]와 3.224[GHz]의 공진 주

파수와 반공진 주파수 값을 얻었다. 이 값들을 이용해서  $k_{eff}^2$ 와 Q(Quality Factor)를 계산한 결과 2.65[%]와 24.7의 값을 얻었다. 이것은[GHz]대역 무선통신용 FBAR 필터로서의 유용성을 제시한다.

### References

- [1] K. M. Lakin and J. S. Wang: Appl. Phys. Lett. 38 (1981) 125.
- [2] K. Nakamura, H. Sasaki and H. Shimizu: Electron. Lett. 17 (1981) 507.
- [3] T. W. Grudkowski, J. F. Black, T. M. Reeder, D. E. Cullen and R. A. Wager: Appl. Phys. Lett. 37 (1980) 993.
- [4] T. Nishihara, T. Yokoyama, T. Miyashita and Y. Satch: IEEE Ultrason. Symp. Proc., Munich, (2002) p.944.
- [5] L. M. Lakin, G. R. Kline and K. T. McCarron: IEEE Trans. Microwave Theory Tech. 41 No. 12, (1993) 2139.
- [6] R.S.Naik, J.J.Lutsky, R.Reif, C.G.Sodini, A.Becker, L.Fetter, H.Huggins, R.Miller, J.Pastalan, G.Titterhouse, and Y.-H.Wong, IEEE Trans. Ultrason. Ferro. and Freq. Cont.,Vol.47, No.1, Jan. 2000, pp.292-296.
- [7] H. Kawakami, K. Sakurai, K. Tsubouchi and N. Mikoshoba: Jpn. J. Appl. Phys. 27 No. 2 (1988) L161.

### 김성권 (金成權)

1968년 3월 18일생. 1996년 인하대학교 졸업(학사). 1996~1999년 삼성전자 시스템 LSI사업부 주임연구원. 2002년 일본 東北대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사). 2002~2003년 일본東北대학교 전기통신연구소 조수. 2003~2004년 일본東北대학교 전기통신연구소 Research Fellow. 2004년 9월~현재 국립목포해양대학교 해양 전자통신 공학부 전임강사.

### 차재상 (車載祥)

1968년 1월 11일생. 1991년 성균관대학교 졸업(학사). 1997년 성균관대학 대학원 졸업(석사). 2000년 일본 東北대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사). 2002~2002년 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 선임연구원. 2002~2005년 9월 서울 서경대학교 정보통신공학과 전임강사. 2005년 10월~현재 서울산업대학교 전기정보대학 매체공학과 전임강사.

### 박구만 (朴求萬)

1962년 2월 10일생. 1984년 한국항공대학교 졸업(학사). 1986년 연세대학교 대학원 졸업(석사). 1991년 연세대학교 대학원 전자공학 박사. 1984~1991년 2월 연세대학교 산업기술연구소 연구원. 1991년 3월~1996년 8월 삼성전자 신호처리연구소 선임연구원. 1996년 9월~1999년 7월 호남대학교 전자공학과 조교수. 2003년 1월~2004년 12월 한국 방송 공학회 학회지 편집위원장. 1999년 8월~현재 서울산업대학교 매체공학과 부교수.

## ◇ 저자소개 ◇

### 양충모 (梁充模)

1972년 6월 28일생. 1996년 경북대학교 졸업(학사). 1998년 경북대학원 졸업(석사). 2004년 일본 東北대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사). 2004년 10월~현재 삼성전기 중앙연구소 eMD Lab. 공정개발센터 책임연구원.