

압전박막을 이용한 air-gap type FBAR 필터설계

정중연, 김용천, 김상중*, 김경환, 윤석진*, 최형욱
경원대학교 전자·전기정보공학부, KIST 박막연구센터*

Thin Film Bulk Acoustic Resonators(FBAR) filters design Air-gap type using piezoelectric thin film

Jung-Youn Jong, Yong-Chun Kim, Sang-Jong Kim, Kyung-Hwan Kim, Seok-Jin Yoon, Hyung-Wook Choi
Gyeongwon Univ. KIST*

Abstract

The aim of the study is to scrutinize the relationship between the area of resonance and insertion loss by analyzing the characteristics of 2-port resonator. This was done through designing an air-gap type Film Bulk Acoustic Resonator (FBAR) by using CAD model for the application of bandpass filter of high-frequency band with piezoelectric thin film. Moreover, through the design of ladder-type BPF, we were able to observe changes in bandwidth, resonance, out-of-band rejection depending on the number and area of resonator.

Key Words : Thin Film Bulk Acoustic Resonators, Insertion loss, Out-of-band rejection

1. 서 론

전자공업의 급격한 발전과 정보화 시대에 부응하여 이동통신기기 사용의 급증은 전세계적인 추세이며, 800MHz 대역의 셀룰러 시스템과 1.8~2.1GHz 대역의 PCS 사업을 거쳐 지금은 꿈의 이동통신이라 불리는 IMT-2000 서비스를 실용화 단계에 있다. 이동통신기기의 무선 송수신 시스템을 구성하는 핵심 부품으로는 안테나, 전력증폭기, 저잡음 증폭기, 필터, 혼합기 등이 있다. 이 중에서 필터는 단말기내에 가장 크고 두꺼운 부품 중에 하나로 이의 소형화가 절실히 요구되는 추세다.[1-2] FBAR(Film Bulk Acoustic Resonator)는 이러한 요구를 만족시키기 위해 전자기 공진 현상보다는 음향(또는 기계) 공진 현상을 이용한 공진기로서, 압전물질을 이용한다. 이는 압전물질 내에서의 음향 전파속도가 전자파 속도에 비해 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 배 정도로 낮아 같은 주파수에서 음파의 파장이 훨씬 짧아져서 소형의 음향 공진기를 만들 수 있기 때문이다.[3] 필터의 경우 기존의 유전체 필터의 좋은 특성을 유지하면서 SAW 필터 보다 크기가 작은 우수한 성능의 필터를 구현 할 수가 있다. 이러한 공진기는 벌크 마이크로머시닝 기술을 적용 제

작하는 방법과 브레그 반사층을 이용하여 제작하는 방법이 있다. 첫째 벌크 마이크로머시닝 기법중에 하나인 air-gap 방식은 Si 기판에 후면 식각을 통해 air-gap 형성하여 공진을 만드는 형태이고, 둘째, 브레그 반사층을 이용하는 방식은 음향학적 임피던스가 차이가 큰 물질을 쌍을 교대로 $\lambda/4$ 두께로만큼 증착하는 방식이다. 그러나 두 번째의 경우에는 7~9층의 반사층을 증착해야 하는 번거로움이 있다.[1]

따라서 본 연구에서는 벌크 마이크로머시닝 기법중에 하나인 air-gap type을 이용하여 Mason 등가모델을 응용한 Leach 등가모델로 공진기를 설계하여 공진 특성을 조사한 후 이를 이용하여 필터에 적용하여 그 특성을 고찰하였다. 또한 공진기의 압전재료의 특성을 비교하기 위하여 AlN 와 ZnO를 이용하여 FBAR를 설계해 결과값을 고찰하였다.

2. 실험

2.1 공진기 설계

그림 1은 air-gap type의 공진기 구조를 나타낸

것이다. 상·하부의 전극은 Pt와 Au를 각각 구성하였으며, 멤브레인층과 air층을 substrate층인 Si에 올린 형태이다. 압전재료는 AlN[5]와 ZnO를[6] 사용하여 각각의 특성을 시뮬레이션하였다.

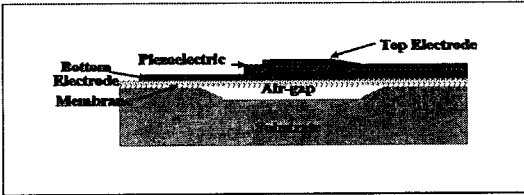


그림 1. Schematic of air-gap type FBAR.

표 1은 압전 박막에 사용되어진 중요 특성과 변수를 나타낸 것이다. 압전물질에 따라서 하부전극 Au로 두께는 $0.2\mu\text{m}$ (Piezoelectric-ZnO)와 $0.1\mu\text{m}$ (Piezoelectric-AlN)를 사용하였고, 상부전극은 Pt로 두께는 $0.1\mu\text{m}$ 로 동일하게 설계하였다.

표 1. Material parameter used in the model.

| Property | Acoustic Impedance (Mrayls) | Acoustic velocity (m/s) | Density (kg/m ³) | Thickness (μm) |
|----------|-----------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| AlN | 37.2 | 11040 | 3270 | 1.0 |
| ZnO | 35.9 | 6330 | 5680 | 1.0 |
| Pt | 69.9 | 3300 | 21500 | 0.1 |
| Au | 62.6 | 3240 | 19320 | 0.1 / 0.2 |
| SiNx | 20.8 | 6700 | 3100 | 0.2 |
| Si | 19.7 | 8430 | 2332 | 500 |

2.1 공진기의 등가모델 및 필터 설계

Mason 등가모델을 기계적, acoustic으로 변형시킨 Leach 등가모델을 이용하여 공진기를 구성하였다. Mason 등가회로에 사용된 transformer와 negative capacitance 대신에 Controlled-Source analogous circuits을 이용하여 등가모델을 구성함으로써 공진 주파수 근처의 특성을 효율적으로 계산할 수 있을 뿐만 아니라 공진기의 두께와 면적에 의한 FBAR의 특성 변화를 고찰할 수 있다.[4] Piezoelectric material의 내부 파장에 의한 방정식을 식(1)~(4)에 나타내었다. 이를

telegrapher's 방정식을 이용하여 electrical transmission line에 V와 I로 변형하여 음향 임피던스 Z와 electrical length E, 그리고 압전재료공진 주파수인 F를 유도하여 식(5)~(12)에 나타내었다. 여기서 v_a 음향학적 속도, k_t^2 는 전기적 기계 결합상수, ρ 는 재료의 밀도, ϵ 는 유전율, e 는 압전 stress 상수이다.

$$\frac{df}{dz} = -j\omega\rho Av_a \quad (1)$$

$$c \frac{du}{dz} = -\frac{1}{A} F + hD \quad (2)$$

$$(q = i/j\omega, D = q/A, h = e/\epsilon, u = v_a/j\omega)$$

$$\frac{d}{dz} \left(F - \frac{h}{j\omega} i \right) = -j\omega\rho Av_a \quad (3)$$

$$\frac{dv_a}{dz} = \frac{j\omega}{Ac} \left(F - \frac{h}{j\omega} i \right) \quad (4)$$

$$\frac{dV}{dz} = -LsI \quad (5)$$

$$\frac{dI}{dz} = -CsV \quad (6)$$

$$L = \rho A_z C = 1/(A_z c) \quad (7)$$

$$u_p = 1/(LC)^{1/2} = (c/\rho)^{1/2} \quad (8)$$

$$Z_0 = (LC)^{1/2} = A_z (\rho c)^{1/2} = \rho A_z u_p \quad (9)$$

$$Z = \rho v_a A \quad (10)$$

$$E = \frac{360dF}{v_a} \quad (11)$$

$$F = \frac{v_a \sqrt{\pi^{2-8} k_t^2}}{2\pi d_p} \quad (12)$$

유도된 식을 이용하여 Leach 등가모델을 그림 2에 나타내었고 이를 이용하여 air-gap 형의 공진기를 구성하여 시뮬레이션 하였다. 특히, 고주파 및 공진 특성을 알아보기 위해서 Advanced Design System (ADS)를 이용하여 FBAR의 두께와 면적에 의한 공진 주파수 특성을 확인하고 필요한 주파수 대역에서 공진이 일어나는 최적의 두께 및 면적조건을 확인하였다.

그림 3은 대역통과 필터의 일반적인 형태인 ladder형태이다. Ladder형은 원하는 주파수에 직렬 공진을 일으키는 직렬 FBAR와 병렬 공진을 일으키는 병렬 FBAR가 차례로 연결된 구조이다. [7,8] 본 논문에서는 2/1의 ladder 필터를 구성하여 대역폭 및 대역저지 등의 특성을 조사하였다.

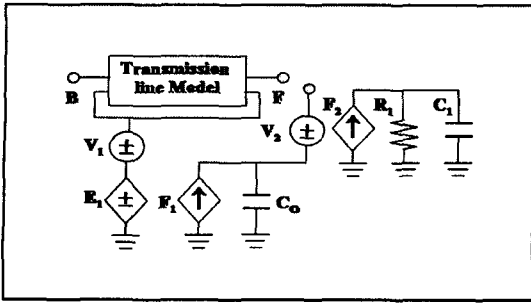


그림 2. Spice subcircuit for the thickness-mode transducer.

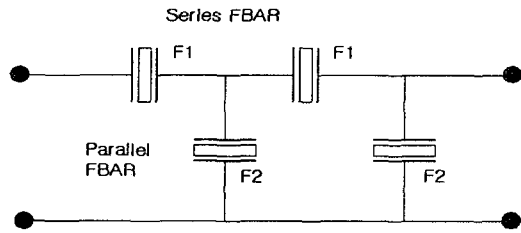


그림 3. Ladder형 FBAR 대역통과 필터.

3. 결과 및 고찰

이상적인 공진기를 설계하기 위해서 압전재료를 AIN과 ZnO를 사용하여 1.6GHz ~ 2.4GHz 주파수 영역에서 S-parameter 시뮬레이션하여 그 결과를 그림 4와 5에 나타냈다. 공진 주파수는 ZnO는 1.8 GHz에서 AIN는 2.088GHz에서 일어났다. 2GHz에서 공진 주파수 특성에 AIN가 ZnO보다 근접한 결과를 볼 수 있었으며 Q값, 스퀘트 특성, 감쇄비 또한 우수한 결과를 나타냈다. 특히 ZnO는 공정시 Si으로의 deep level trap이 높은 증기압과 반도체 특성으로 인한 비교적 낮은 절연 내력과 wet-etching시 낮은 화학적 내구성 등의 단점이 있기에 압전재료로 AIN가 실제 제작에 적합하다. 그 결과를 이용하여 AIN의 공진 면적을 45 μm ~ 250 μm 로 바꾸어 시뮬레이션 하여 표 2에 그 결과를 나타냈다. 공진 주파수는 면적이 증가하여도 변화하지 않았지만 삽입손실은 증가하는 결과를 볼 수 있다. 반면 감쇄비는 면적이 증가할수록 보다 좋은 결과를 나타냈다.

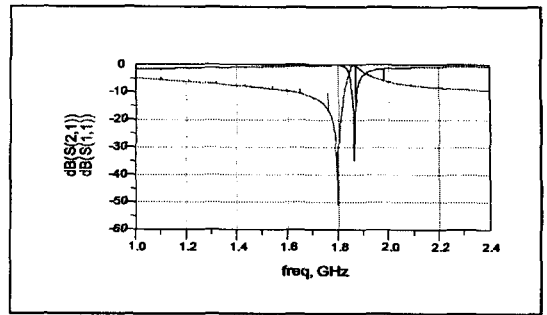


그림 4. Experimental data of S-parameters of ZnO with the area size 150 μm .

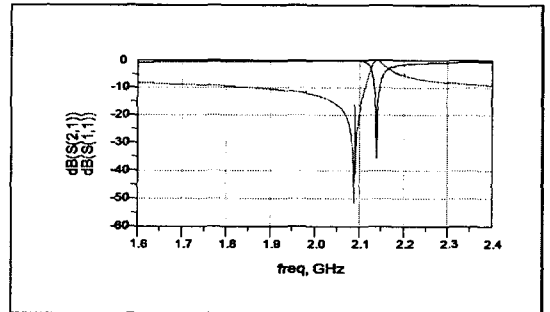


그림 5. Experimental data of S-parameters of AIN with the area size 150 μm .

표 2. Experimental data of results of AIN with the area size 45 μm , 110 μm , 150 μm , 200 μm , 250 μm .

| Area [$\mu\text{m} \times \mu\text{m}$] | Center Frequency [GHz] | Attenuation [dB] | Insertion Loss [dB] |
|---|------------------------|------------------|---------------------|
| 45 × 45 | 2.088 | 31.739 | 0.197 |
| 65 × 65 | 2.088 | 36.041 | 4.110 |
| 110 × 110 | 2.088 | 43.453 | 4.250 |
| 150 × 150 | 2.088 | 46.283 | 8.288 |
| 200 × 200 | 2.088 | 52.456 | 12.821 |
| 250 × 250 | 2.088 | 53.305 | 16.561 |

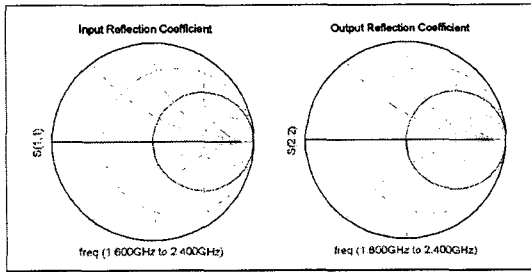


그림 6. Smith chart S_{11}, S_{22} with the area size $150\mu\text{m}$.

공진기의 이상적인 면적 설계를 알아보기 위해서 스미스 차트를 통해서 in-out 반사계수와 임피던스 결과 면적이 $150\mu\text{m}$ 일 경우 가장 우수한 결과가 나왔으며 그 결과를 그림 6에 나타냈다. 공진면적 $150\mu\text{m}$ 를 이용하여 2/1 필터를 설계하여 그림 7에 나타냈다. 대역폭은 56MHz정도이며 저지대역에서의 감쇄는 16.8dB이다 통과대역 특성이 60MHz에 미치지 못하는 것은 FBAR 자체의 대역폭이 적기 때문이다.

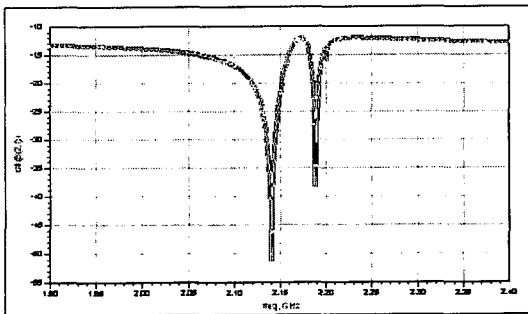


그림 7. Modeling result of 2/1 of S_{21} of AlN FBAR ladder filter with the area size $150\mu\text{m}$.

4. 결론

Air-gap형의 FBAR의 압전재료는 AlN이 우수하며 공진면적은 $150\mu\text{m}$ 일 때 이상적인 결과를 나타냈다. 그때의 공진주파수는 2.088GHz이다. Ladder 필터 설계는 직·병렬 공진기의 면적은 대역 in-out의 제거능력과 삽입손실 및 3dB 대역폭의 다양한 선택할 수가 있으므로 대역통과 필터의 제작을 위해서 추가적으로 회로 simulation 통해 Q와 k_{eff}^2 을 비교함으로써 좋은 대역통과 필터가 제작 될 수 있다.

감사의 글

이 논문은 경원대학교 IT 부품소재연구센터지원에 의한 것이며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] R. S. Naik, "Bragg Reflector Thin-film Resonators for Miniature PCS Bandpass Filters," Ph. D Thesis, at MIT, June . 1988
- [2] J. J. Lutsky, " A sealed cavity Thin-Film acoustic resonators process for RF bandpass filter," Ph. D Thesis Dept. of Electrical Engineering and Computer Science, MIT, Cambridge MA, 1997
- [3] V. M. Ristic, Principles of Acoustic Devices, John Wiley & Sons, pp 117-168, 1997
- [4] W. Marshall Leach, Jr., "Controlled-Source Analogous Circuits and SPICE Models for Piezoelectric Transducers", IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, Vol. 41, No. 1, p. 60-66, Jan, 1994
- [5] A. Ballato, J.G. Gualtieri and J.A. Kosinski, "Ferroelectric Materials for Thin film and Membrane Resonators," *Proceeding of the Ninth IEEE International Symposium on Applications of Ferroelectrics*, pp. 674 -679, 1994.
- [6] J. Kaitila, M. Ylilammi, J. Molarius, J. Ella, T. Makkonen, "ZnO Based Thin Film Bulk Acoustic Wave Filters for EGSM Band," *2001 IEEE Ultrasonics Symposium*, pp. 803-806, 2001.
- [7] K. M Lakin, G. R. Kline, and K. T. MaCarron, "Development of miniature filters for wireless applications," presented at IEEE MTT-S Digest, 1995
- [8] Q. X. Su, P. B. Kirby, E. Komuro and R. W. Whatmore, "Edge Supported ZnO Thin Film Bulk Acoustic Wave Resonators and Filter Design", *IEEE/EIA International Frequency Control Symposium and Exhibition*, p. 434-440, 2000