

다양한 공진기 형태에 따른 압전박막필터 설계 및 특성

정종연*, 김용천*, 권상직**, 김경환*, 윤석진**, 최형욱*

* 경원대학교 전자·전기정보공학부, **KIST 박막연구센터

Characteristics of film bulk acoustic resonators(FBAR) filters design with varying configuration of resonator

Jung-Youn Jong*, Yong-Chun Kim*, Sang-Jik KWon*, Kyung-Hwan Kim*, Seok-Jin Yoon**, Hyung-Wook Choi*

Abstract

The aim of the study is to scrutinize the relationship between the area of resonance and center frequency with varying thickness by analyzing the characteristics of 2-port resonator. This was done through ideal design using Leach model equivalent model modified Mason model equivalent circuit for the application of bandpass filter high-frequency band with resonator 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

최근 정보통신 분야의 급격한 발달로 통신에 사용되는 주파수 영역이 높아지고 있다. 또한 정보화 시대에 부응하여 이동통신기기 사용의 급증은 전 세계적인 추세이며, 무선통신사업이 최고의 관심사로 대두되고 있다. 이동통신기기의 무선 송수신 시스템을 구성하는 핵심 부품으로는 안테나, 전력증폭기, 저잡음 증폭기, 필터, 혼합기 등이 있다. 이 중에서 정보의 신호를 주고받는데 필수적으로 사용되는 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 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 정도로 낮아 같은 주파수에서 음파의 파장이 훨씬 짧아져서 소형의 음향 공진기를 만들 수 있기 때문이다.[3] 필터의 경우 기존의 유전체

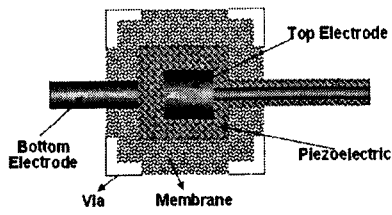
필터의 좋은 특성을 유지하면서 SAW 필터 보다 크기가 작은 우수한 성능의 필터를 구현 할 수가 있다.

따라서 본 연구에서는 벌크 마이크로머시닝 기법중에 하나인 air-gap type을 이용하여 Mason 등가모델을 응용한 Leach 등가모델로 공진기를 설계하여 공진 특성을 살펴보았다. 또한 공진기의 형태를 변형하여 ladder형의 필터를 설계하여 대역폭과 삽입손실등의 특성을 고찰하였다.

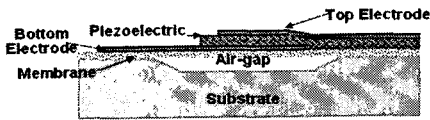
2. 실험

2.1 공진기 설계 및 등가모델

그림 1 (a),(b)는 air-gap type의 공진기 구조를 나타낸 것이다. 상·하부의 전극은 Pt와 Au을 각각 구성하였고 압전층은 AlN을 이용하였으며, 멤브레인층과 air층을 기판인 Si에 올린 형태이다.



(a)



(b)

그림 1. Schematic of air-gap type FBAR (a) Top view (b) Cross-section

표 1은 압전 박막에 사용된 변수를 나타낸 것이다. 하부전극은 $0.2\mu\text{m}$ 으로 고정하고 상부전극을 $0.05\mu\text{m} \sim 0.25\mu\text{m}$ 변화를 주어 중심주파수의 관계를 고찰하였다.

표 1. Condition used in the equivalent model.

Material	Thickness
Top - Pt	$0.05\mu\text{m} \sim 0.25\mu\text{m}$
Piezoelectric-AlN	$0.1\mu\text{m}$
Bottom -Au	$0.2\mu\text{m}$
Membrane-Si ₃ N ₄	$0.2\mu\text{m}$
Air-gap	$1.5\mu\text{m}$
Substrate-Si	$200\mu\text{m}$

Mason 등가모형을 기계적, acoustic으로 변형시킨 Leach 등가모형을 이용하여 공진기를 설계하여 기존의 등가회로에 사용된 transformer와 negative capacitance 대신에 Controlled-Source analogous circuits를 구성함으로써 공진 주파수 근처의 특성을 효율적으로 계산할 수 있을 뿐만 아니라 공진기의 두께와 면적에 의한 FBAR의 특성 변화를 고찰할 수 있다.[4][5]

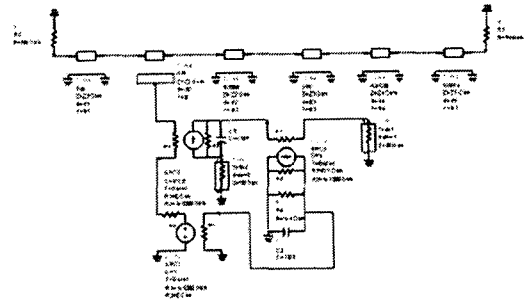


그림 2. Complete equivalent circuit model for air-gap type resonators

또한 기존의 복잡한 힘과 전압·전류의 등식을 telegrapher's 방정식을 이용하여 electrical transmission line에 V와 I로 변형하여 음향 임피던스 Z와 electrical length E, 그리고 압전재료공진 주파수인 F를 유도된다. 식(1)~(3)은 Leach 등가모델로 간략화 시킨 식이다.

$$Z = \rho v_a A \quad (1)$$

$$E = \frac{360dF}{v_a} \quad (2)$$

$$F = \frac{v_a \sqrt{\pi^2 - 8k_t^2}}{2\pi d_p} \quad (3)$$

여기서 v_a 음향학적 속도, k_t^2 는 전기적 기계결합 상수, ρ 는 재료의 밀도, ϵ 는 유전율, e 는 압전 stress 상수이다.

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.

2.2 필터 설계

WLAN 응용을 위한 2 GHz 영역의 Ladder형 FBAR 필터는 공진기의 대역폭 및 대역저지 등의 특성을 알아보기 위해 Ladder 형태의 연결은 직렬 공진기와 병렬 공진기의 개수를 1×1 , 2×1 , 2×2 , 3×3 로 변화시켰으며, 각 공진기의 면적은 직렬 공

진기(fs)의 경우 $150 \times 150 \mu\text{m}$ 로 고정하고 병렬 공진기(fp)의 면적을 직렬 공진기 면적에 대해 0.2~1.7배 ($R_{area} = \frac{Area_{(FBAR2)}}{Area_{(FBAR1)}}$) 로 바꾸어 filter 특성을 고찰하였다.

3. 결과 및 고찰

이상적인 공진기를 설계하기 위해서 1.6GHz ~ 2.4GHz 주파수 영역에서 S-parameter 시뮬레이션 하여 그 결과를 표 3에 나타냈다. 공진 주파수는 상부전극의 두께 변화에 따라 1.647GHz~2.394GHz에서 일어났다. 그 결과를 이용하여 AIN의 공진 면적을 $45 \mu\text{m} \sim 250 \mu\text{m}$ 로 바꾸어 시뮬레이션 한 결과가 그림3과 4이다. 공진 주파수는 면적이 증가하여도 변화지 않았지만 삽입손실은 증가하는 결과를 볼 수 있다. 반면 감쇄비는 면적이 증가할수록 보다 좋은 결과를 나타냈다.

표 3. FBAR properties function of Thickness and area ration.

	Top-Electrode thickness				
	0.05 μm	0.1 μm	0.15 μm	0.2 μm	0.25 μm
fs	2.394	2.088	1.892	1.753	1.647
fp	2.449	2.139	1.937	1.794	1.685

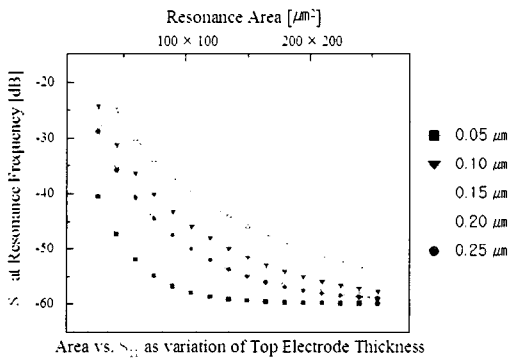


그림 3. S_{11} Parameter as variation of Electrode Thickness.

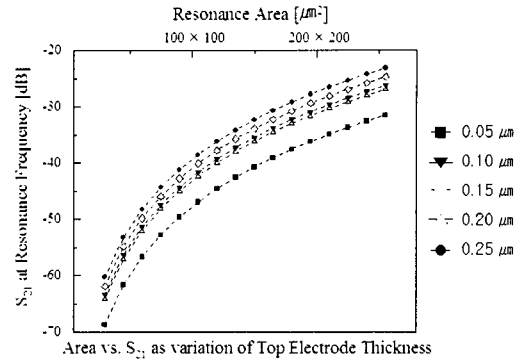


그림 4. S_{21} Parameter as variation of Electrode Thickness.

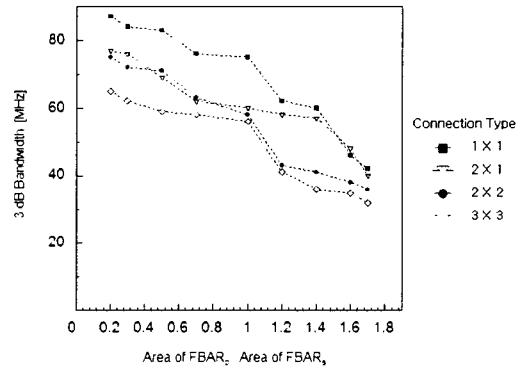


그림 5. FBAR Ladder Filter properties function of connection types and area ration of bandwidth.

FBAR를 이용해 필터를 구현한 결과를 그림 5와 6에 나타내었다. 필터의 대역폭은 공진면적에 비율이 커지고 개수의 결합이 증가함에 따라 87dB~32dB로 감소하는 것을 나타냈다. Filter의 삽입손실은 공진기 면적 및 개수가 증가함에 따라 6.707dB까지 증가하는 현상을 나타냈다. 이는 임피던스 매칭으로 인하여 저항의 증가가 가장 큰 이유이다. Out-of band rejection은 병렬 공진기의 면적이 커짐에 따라 점차 증가하여 1.7배의 경우 약 -45 dB의 값을 보였고, 공진기의 연결 개수가 2x1에서 2x2로 증가함에 의해서는 약 -5.3 dB의 증가만이 나타났다. 통과대역의 특성은 직렬과 공진 면적 비율이 1:1이 넘어가면서 갈라짐을 나타내었

다. 이 현상은 반사층으로 인한 기생 capacitance의 영향으로 추가적인 공진이 발생하여 여러 부분으로 갈라짐을 알 수 있었다. 이런 현상은 병렬 공진기의 면적이 커짐에 따라 더욱 크게 나타났다. 결과에서 알 수 있듯이 기생 capacitance의 영향이 존재하는 경우 통과대역을 flat하게 형성시키기가 어려우며, 공진기의 연결개수가 증가함에 따른 효과를 예측하기 어려울 것이다.

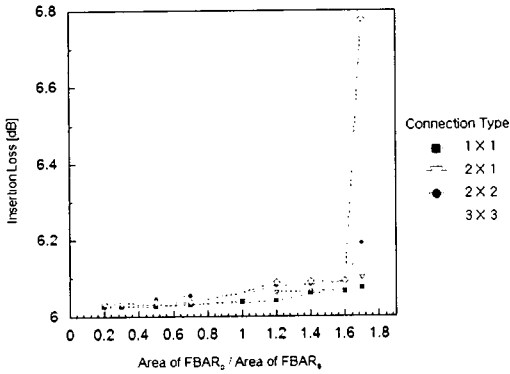


그림 6. FBAR Ladder Filter properties function of connection types and area ration of Insertion Loss

4. 결 론

2GHz 대역의 대역 통과 필터를 설계 시 공진기의 특성의 비중은 매우 크다. 따라서 simulation 결과뿐만 아니라, 추가적으로 고려해야 할 사항은 사용되는 전극의 electrical loss와 박막의 두께 uniformity이다. 사용 주파수의 증가에 따라 FBAR의 전극 박막 역시 두께가 감소하게 되므로 저항에 의한 Q값의 감소 영향이 커질 것이다. 그리고, 단일 2-port FBAR의 특성을 이용하여 filter의 설계가 이루어질 때 두께 편차로 인한 잘못된 예측을 할 가능성이 있고, 병렬 공진기의 주파수 tuning시에도 문제가 발생할 수 있게 된다. 이런 filter 특성 값들은 각 공진기의 적절히 배합하여 조절이 가능하다. 그러나, 삽입손실 3 dB 이내의 통과대역폭의 증가에는 한계가 있으며, 이런 값들은 filter를 구성하는 FBAR의 특성에 좌우된다. Simulation 결과, 삽입 손실 3 dB 이내의 대역폭이

WLAN 적용 가능한 200 MHz를 나타내기 위해서는 FBAR의 높은 전기적 결합 상수와 Q값을 가져야 한다.

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] 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