

격자형 및 평형 구조를 가지는 박막공진 여파기에 관한 연구

TFBAR Lattice and Balanced Type Filter Topologies

김건욱 · 구명권* · 육종관 · 박한규

Kun-Wook Kim · Myeong-Gweon Gu* · Jong-Gwan Yook · Han-Kyu Park

요 약

본 논문에서는 2 GHz 대역의 격자형 및 평형 구조를 가지는 박막공진 여파기를 설계, 제작하고 분석하였다. 단위공진자의 압전물질은 AlN를 사용하였고, 전극도체로는 백금을 사용하였으며, 하부도체와 기판사이에 공기층이 있는 구조로 제작되었다. 제작된 여파기들은 크기가 작고 낮은 삽입손실과 격자형의 경우 약 15 dB, 평형 구조의 경우 약 30 dB 정도의 선택도를 가진다. 격자형 및 평형 구조는 사다리형 구조와 같이 실리콘 기판위에 제작되었으며, 사다리형 구조에 비해 넓은 대역폭을 가지며 평형구조의 경우 이외의 튜닝과정 없이 RF 여파기로 사용될 수 있다.

Abstract

In this paper, thin film bulk acoustic resonator(TFBAR) lattice and balanced type filter topologies are designed and fabricated. Aluminium nitride and platinum are used for piezoelectric material and top and bottom electrodes, respectively. Air-gap is placed to avoid silicon substrate loading effect and the performance of these lattice and balanced filters is compared with ladder filters. These filters have selectivity over 15 dB for lattice type and 30 dB for balanced type and reveal wider bandwidth of the ladder filters. For balanced type filters, minor tuning procedure is not needed and they are readily available for RF filter in wireless applications.

Key words : AlN, 박막공진 여파기, 격자형 및 평형 구조

I. 서 론

모든 형태의 이동통신용 단말기에는 적어도 한 개 이상의 RF 대역통과 여파기가 서비스 대역 선택에 필요하다. 기존의 단말기에는 유전체 공진기를 이용한 여파기나 표면탄성과 여파기가 주로 사용되었으나, 유전체 공진기의 경우 성능은 우수하나 부피가 크다는 단점이 있고, 표면탄성과 여파기는 크기는 작지만 전력 조절 성능이 좋지 못하며, 고주파의 응용에 있어 제한이 있고, 집적화가 불가능하다는 단점을 가지고 있다. 집적화를 위해서는 on-chip

수동소자나 능동소자가 저전력 동작과 낮은 삽입손실을 가져야 하나 현재의 기술로는 불가능하다. 이에 대한 대안으로 최근 Aluminium Nitride(AlN) 혹은 Zinc Oxide(ZnO) 등의 압전물질을 도체 사이에 위치시켜 전기적인 정전용량과 기계적인 진동운동을 이용한 박막 공진기를 이용한 여파기에 대한 연구가 국내외에서 활발히 이루어지고 있다.^{[1]-[4]} 박막공진기를 이용한 여파기는 크기가 매우 작을 뿐 아니라 구조에 따라 고전력을 견딜 수 있으며, 반도체 공정상에서 이루어지므로 on-chip 화가 가능하다는 장점도 가지고 있다.^[5] 근래에 발표된 논문들은

연세대학교 전기전자공학과(Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University)

*(주)엠에스 솔루션(MEMS Solutions Inc.)

· 논문 번호 : 20020821-101

· 수정완료일자 : 2002년 9월 30일

사다리형 구조를 사용하거나 압전층 사이에 도체를 하나 더 위치시키는 누적형태를 사용한다.^{[6]~[8]} 이 결과들은 표면탄성과 여파기의 성능에 근접하며 무선 단말기의 응용에 사용되고 있다. 저주파대역에서는 수정을 이용한 여파기의 구성에 격자형 구조가 사용되었으나 고주파영역에서는 표면탄성과 여파기를 구성하는 경우에 가끔 사용되었으며, 박막공진기를 이용하여 구성하는 격자형 구조나 평형구조는 자주 사용되지 않았다. 본 논문에서는 AlN를 이용한 박막 공진 격자형 및 평형 여파기를 실리콘 기판 위에 제작하고 실험하였다.

II. 박막공진기의 구조 및 제작

본 논문에서 사용된 박막공진기의 수직 구조가 그림 1에 나타나 있으며 단위공진자의 공정은 다음과 같은 과정을 거쳐 이루어진다. 우선 실리콘 기판 위에 광감재를 입힌 후 Dry etching을 행하여 단위 면적(150×150 μm^2)의 공동형태의 공기층을 파내어 희생층을 입힌다. 희생층이 공기층 내부에만 위치하도록 Chemical-mechanical polishing(CMP) 공정을 행하여 희생층을 균일하게 깎아내고 그 위에 멤브레인으로 Silicon nitride를 덮고, 백금으로 하부도체를 쌓고 패터닝을 행한 다음 반응 스퍼터를 이용하여 AlN를 엮는다. 마지막으로 상부 도체를 엮은 다음 다시 패터닝을 행하고, 희생층은 공정 중에 etching hole을 통하여 제거하고 release 과정을 수행하여 공진자를 제작한다. 공진자의 중심주파수는 2 GHz 대역에서 공진이 일어나도록 압전 물질과 상하부 도체의 두께를 조절하여 얻으며, 참고문헌 [9]에서 사용한 CAD 모델을 이용하여 공진주파수를 예측할 수 있다. 백금은 AlN와 접착이 좋으므로 박

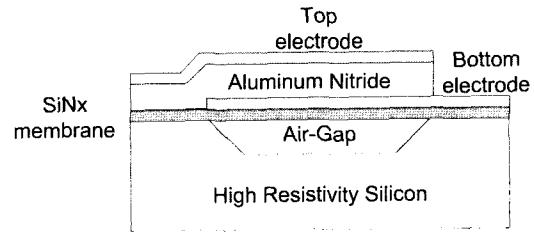


그림 1. 박막공진기의 구조
Fig. 1. TFBAR structure.

막공진기의 도체로써 유용하게 사용되며, 공기층은 압전물질 내에서 발생한 음향적 공진이 기판으로 전달되지 않도록 막아주는 역할을 한다. 즉 실리콘 기판과의 접합에 의한 원치 않는 overmode 들이 생기지 않도록 해준다. 이런 효과를 막는 방법은 크게 세 가지 정도가 있는데, 첫째는 공진자 부분의 기판 뒤쪽을 파내어 edge supported 형태로 만드는 것이고, 두 번째는 하부 도체와 기판 사이에 높은 임피던스와 낮은 임피던스의 물질을 교대로 몇 개의 층을 이루게 하여 Bragg 형태의 탄성과 반사판을 구성하여 실리콘 기판과 격리시키는 방법이며, 세 번째는 본 논문에서 사용한 공기층을 이용한 방법이다. 각각의 방법은 장단점을 가지고 있으나, 공정상의 관점에서는 본 논문에서 사용된 공기층을 이용한 방법이 가장 안정적이고 간단하다는 장점을 가지고 있다.

III. 박막공진기의 격자형 및 평형 구조

박막공진기를 이용하여 여파기를 구성하는 방법에는 그림 2와 같이 크게 사다리형, 격자형, 평형구조의 세 가지의 형태로 구분할 수 있다. 각각의 구

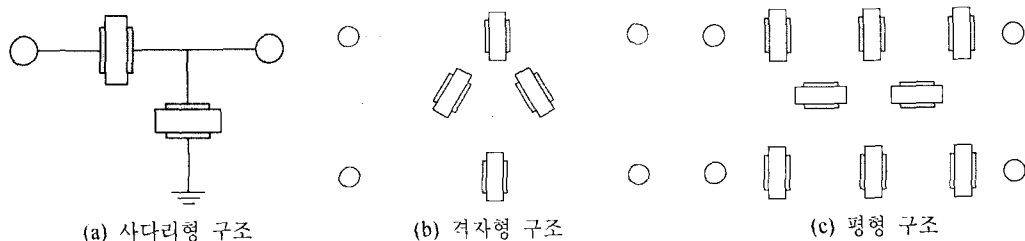


그림 2. 박막공진 여파기의 여러 가지 구조
Fig. 2. Various topologies of TFBAR filters.

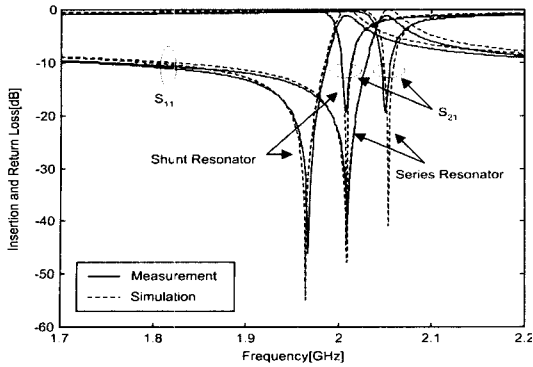


그림 3. 단일 박막공진기의 주파수 응답
Fig. 3. Frequency response of a TFBAR.

조는 직렬단과 병렬단의 주파수 차이를 공진주파수의 약 2~3 % 정도 차이를 두어 직렬단의 공진점이 병렬단의 반공진점에 위치하도록 하여 여파기의 특성을 얻는다. 사다리형 구조와 달리 격자형 구조에는 그림 2(b)와 같이 선로가 십자형으로 교차되는 부분이 있으나, 박막공진기 자체의 상부 도체와 하부도체가 다른 높이에 위치하므로 다른 층간의 접합에 의하여 선로의 교차 없이도 격자형 구조를 쉽게 구현할 수 있다. 평형구조는 직렬단을 양쪽에 위치시키고, 그 사이에 병렬단을 두는 구조를 사용하는데 마이크로파 회로의 증폭기나 혹은 평형혼합기와 같은 다른 평형구조를 가지는 소자들과의 연결이 용이하다는 장점이 있다. 그림 2의 기본형태를 반복적으로 연결하여 더 높은 차수를 가지는 여파기를 구현하게 되며, 만약 직렬단과 병렬단 각각의 모든 공진자들이 같은 정전용량을 갖는다면, 하나의 극점을 가지는 형태의 여파기로 동작하게 된다. 그

림 3은 본 논문의 사다리형, 격자형 그리고 평형구조의 직렬단과 병렬단에 사용된 단일 공진자의 주파수 응답을 나타내고 있다. 그림 3에서 점선으로 표시된 결과는 참고문헌 [9]의 CAD 모델을 이용하여 모의 실험되었으며, 병렬단의 공진자는 직렬단의 공진자에 비해 약 43 MHz 정도 낮은 공진주파수를 가지며, 넓은 대역폭을 가지도록 병렬단 공진자의 반공진주파수가 직렬단 공진자의 공진주파수와 일치하게 설계되었다. 단일공진기의 결합계수 k_1^2 은 약 4.9 %, Q 값은 약 950을 가졌다. 측정된 결과를 수정된 Butterworth-Van Dyke(BVD) k_1^2 모델을 이용하여 fitting을 한 결과 BVD 모델변수는 직렬단 공진자의 경우 $R_s=0.188 \Omega$, $R_0=0.679 \Omega$, $R_m=0.876 \Omega$, $C_0=2.31 pF$, $C_m=94.46 fF$, $L_m=67.538 nH$ 의 값을 가지고, 병렬단의 경우 $R_s=0.453 \Omega$, $R_0=0.508 \Omega$, $R_m=0.908 \Omega$, $C_0=2.39 pF$, $C_m=98.9 fF$, $L_m=66.1 nH$ 이다.

IV. 측정 및 결과

앞장에서 설계된 단일 공진자를 이용하여 격자형 구조와 평형구조를 가지는 여파기를 제작하고 실험하였다. 제작된 여파기의 측정은 벡터 네트워크 분석기와 프로브 장비를 이용하여 웨이퍼 상에서 측정하였으며, 측정의 정확성을 위하여 TRL 보정법을 이용하였다. 그림 4는 제작된 격자형 1단과 2단 그리고 평형구조 여파기의 사진을 보여주고 있다. 그림에서 입출력패드는 폭 150 μm , 간격 100 μm 를 가지며 2 GHz 대역에서 50 Ohm의 값을 가지도록 설

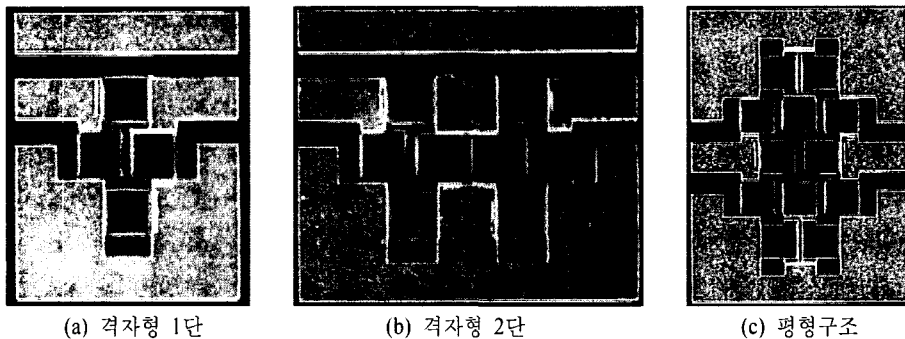


그림 4. 제작된 격자형 및 평형 구조 여파기
Fig. 4. Fabricated lattice and balanced filters.

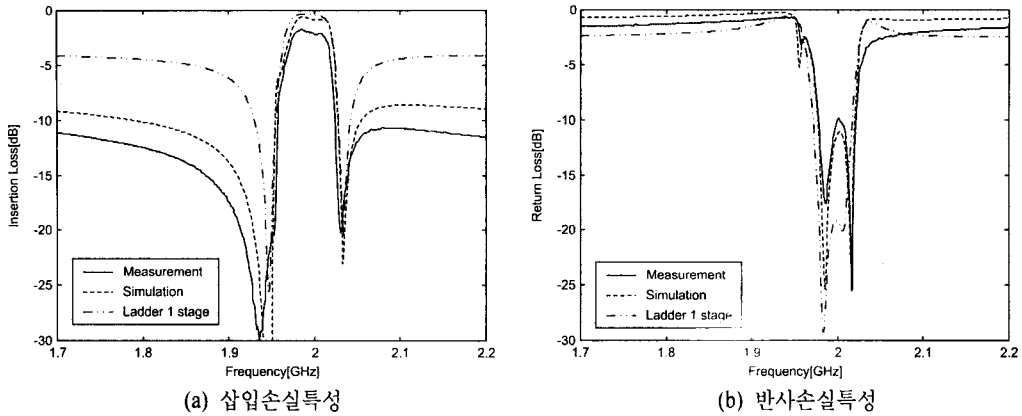


그림 5. 격자형 1단 여파기의 주파수 응답 특성
 Fig. 5. Frequency response of 1 stage lattice filter.

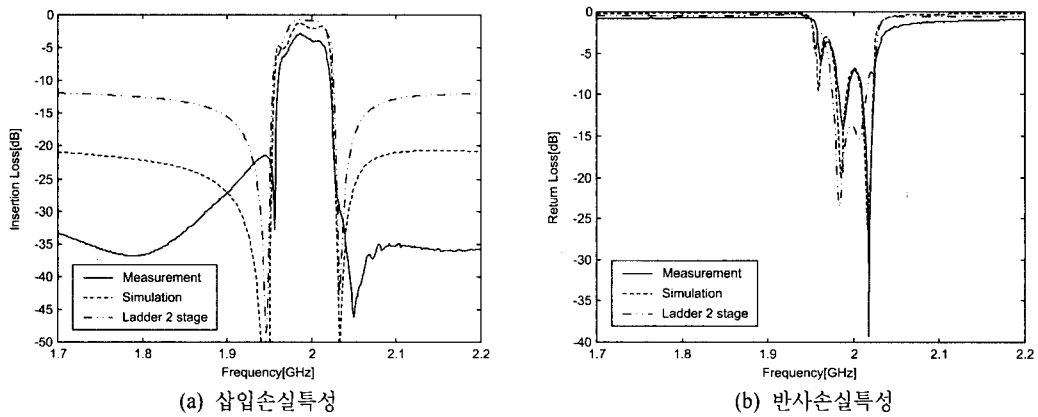


그림 6. 격자형 2단 여파기의 주파수 응답 특성
 Fig. 6. Frequency response of 2 stage lattice filter.

계되었다.

그림 5는 그림 4(a)에 나타난 격자형 1단 구조의 주파수 응답을 보여주고 있다. 사다리형 1단 여파기에 비해 대역의 저지 특성이 우수함을 알 수 있다. 그림 6은 격자형 구조를 2단으로 배열한 그림 4(b)의 구조의 주파수 응답 특성을 나타내고 있다. 모의

실험 결과와 달리 제작상의 오차로 인하여 통과대역 근처의 감쇠극의 중심주파수가 이동하게 되어 대역외 저지특성이 오히려 향상된 결과를 보였다. 그림 7은 그림 4(c)에 나타난 평형구조 여파기의 주파수 응답 특성이다. 사다리형이나 격자형 구조에 비해 우수한 특성을 나타내고 있으나, 사용된 공진

표 1. 제작된 여파기의 특성
 Table 1. Summary of fabricated filter characteristics.

	모의실험결과			측정결과		
	최소삽입손실 (dB)	대역외 저지특성(dB)	대역폭 (MHz)	최소삽입손실 (dB)	대역외 저지특성(dB)	대역폭 (MHz)
격자형 1단	-0.65	- 9.0	56	-1.68	-11	54
격자형 2단	-1.24	-22.0	51	-2.76	-34	52
평형 구조	-1.73	-28.0	53	-3.7	-28	47

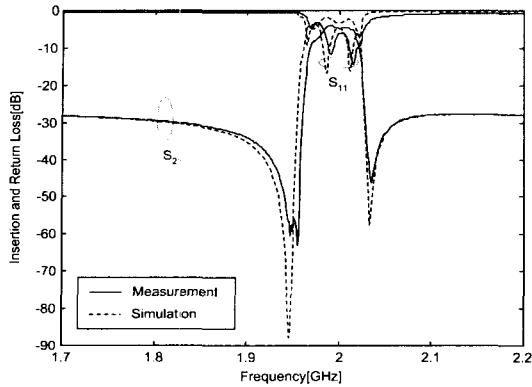


그림 7. 평형 구조 여파기의 주파수 응답
Fig. 7. Frequency response of balanced filter.

자의 수가 많다는 단점이 있다. 제작된 여파기들의 특성을 표 1에 정리하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 사다리형 박막공진 여파기와 비교되는 격자형 및 평형 구조의 여파기를 설계, 제작하고 성능을 분석하였다. 단일공진자의 공진주파수는 상부 전극도체의 두께를 조절하여 조절하였으며, 압전물질로는 AlN, 전극도체로 백금을 사용하였다. 격자형 여파기는 사다리형 여파기에 비해 삽입손실은 약간 감소하지만 대역외 저지특성이 개선되는 특성을 보였으며, 평형구조의 여파기는 많은 수의 공진자를 사용하는 것에 비해 특성은 사다리형이나 격자형 구조에 비해 우수하지 못하나 입출력의 평형단자를 필요로 하는 능동소자와의 결합이 용이하다는 장점을 가진다. 제작된 여파기들의 대역폭의 약 50~55 MHz 정도로 매우 좁은 대역폭을 가지며, 약 30 dB 정도의 우수한 대역외 저지 특성을 보였다. 제작된 여파기들은 실리콘 기판위에 장착이 용이하므로 IC 공정과 결합하여 이동통신용 RF단의 on-chip 여파기로 사용될 수 있다.

참 고 문 헌

[1] J. J. Lutsky, R. S. Naik, R. Rief and C. G. Sodini, "A Sealed Cavity TFR Process for RF

Bandpass Filters", *1996 International Electron Device Meeting*, pp. 4.4.1-4.4.4, 1996.

[2] Q. Su, P. Kirby, E. Komuro, M. Imura, Q. Zhang and R. 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, Apr. 2001.

[3] P. Bradley, R. Ruby, J. D. Larson III, Y. Oshmyansky and D. Figueredo, "A Film Bulk Acoustic Resonator(FBAR) Duplexer for USPCS Handset Applications", *2001 IEEE MTT-S Digest*, pp. 367-370, 2001.

[4] M. Ylilammi, J. Ella, M. Partanen and J. Kaitila, "Thin Film Bulk Acoustic Wave Filter", *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control*, vol. 49, no. 4, pp. 535-539, Apr. 2002.

[5] J. Kaitila, M. Ylilammi and J. Molarius, "ZnO Based Thin Film Bulk Acoustic Wave Filters for EGSM Band", *2001 IEEE Ultrasonics Symposium*, pp. 803-806, 2001.

[6] K. M. Lakin, G. R. Kline and K. T. McCarron, "Development of Miniature Filters for Wireless Applications", *IEEE Trans. Microwave Theory and Technique*, vol. 43, no. 12, pp. 2933-2939, Dec. 1995.

[7] C. Vale, J. Rosenbaum, S. Horwitz, S. Krishnaswamy and R. Moore, "FBAR filters at GHz frequencies", *45th Annual Symposium on Frequency Control Proceeding*, pp. 332-336, 1991.

[8] L. Mang, F. Hickernell, "ZnO Thin Film Resonator Lattice Filters", *1996 IEEE International Frequency Control Symposium*, pp. 363-365, 1996.

[9] K. W. Kim, M. G. Goo, J. G. Yook and H. K. Park, "Air-Gap Type TFBAR Ladder Filters for Wireless Applications", *Journal of the Korea Electromagnetic Engineering Society*, vol. 2, no. 1, pp. 34-38, May 2002.

김 건 욱



1995년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1997년 9월 ~ 현재: 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
 2002년 10월 ~ 현재: LG 전자 차세대 단말연구소 선임연구원

[주 관심분야] 마이크로파회로 설계, 박막공진 여파기 설계, MEMS

육 중 관



1987년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1989년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1998년: University of Michigan 전기전자공학과 (공학박사)
 1997년 1월 ~ 1998년 10월: University of Michigan Research Fellow

1998년 11월 ~ 1999년 2월: Qualcomm Inc. Senior Engineer
 1999년 3월 ~ 2000년 2월: 광주과학기술원 조교수
 2000년 3월 ~ 현재: 연세대학교 전기전자공학과 조교수
 [주 관심분야] 마이크로파 구조 해석 및 설계, RF MEMS, 박막공진 구조

구 명 권



1986년: 한양대학교 재료공학과 (공학사)
 1989년: 연세대학교 금속공학과 (공학석사)
 현재: MEMS Solutions Inc. 사장
 [주 관심분야] 박막공정, MEMS 시스템

박 한 규



1964년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학사)
 1968년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학석사)
 1975년: 불란서 파리 제6대학 (공학박사)
 1976년 ~ 현재: 연세대학교 전기전자공학과 교수

1979년 ~ 1980년: 스탠포드대학교 교환교수
 1989년 ~ 1994년: 대통령 21세기 위원회 위원
 1995년 ~ 1997년: 정보통신부 전파위원회 위원장
 1997년 ~ 현재: 한국과학재단 이사
 [주 관심분야] 마이크로파 소자, 무선 이동통신 시스템, 전파 전파, SAR