
MMIC화를 위한 RF용 튜닝가능한 다층 박막 유전체 필터 설계 및 시뮬레이션

윤기완* · 채동규* · 임문혁* · 김동현*

Design and Simulation of Tunable Dielectric Multilayer (TDM) Filters for RF
and MMIC Applications

Giwan Yoon* · Dongkyu Chai* · Munhyuk Yim* · Donghyun Kim*

This work was supported by Korea Research Foundation Grant
(KRF-2002-003-D00229).

요 약

본 논문에서는 BSTO 강유전체를 이용한 가변 대역통과필터들을 4가지 유형의 예를 들어 제안한다. 제안 기술에서 인가 전압이 증가할수록 강유전체의 유효 유전율은 비선형적으로 감소하고 따라서 중심 주파수가 높은 쪽으로 이동한다. 이 때 사용하는 강유전체로는 STO와 BSTO가 있는데 STO는 100K 이하의 저온에서, BSTO는 실온에서 주로 사용한다. 본 제안 기술은 차세대 무선통신 기술 발전에 매우 유용하게 기여 할 것으로 보인다.

ABSTRACT

In this paper, four different types of BSTO tunable bandpass filters with ferroelectrics are proposed. The achievement of the tunability is based on the fact that the increase in the bias voltage leads to the reduction of the effective dielectric constant. Therefore, the center frequency shifts to the higher value with the higher bias voltage. The most frequently used and well-known ferroelectrics are STO and BSTO materials where the STO is mainly used below 100K while the BSTO is used at room temperature. The proposed technology seems very useful and promising for the development of the next-generation wireless communications.

키워드

BSTO, Coupling, Return loss, Insertion loss, Bandpass filter

1. 서 론

최근 이동 통신 기술의 급격한 성장으로 RF 대역
용 부품개발에 있어 저 손실과 함께 소형 경량화 하

기 위한 연구가 많이 이루어져 왔다. 필터를 제작하는
방법으로는 크게 마이크로 스트립, CPW, CBCPW 구
조가 있는데 이 중에서 마이크로 스트립 구조는 필터
의 형태를 여러 가지로 표현하는데 있어 매우 유리하

*한국정보통신대학원대학교

접수일자 : 2003. 5. 20

다. 한편 BSTO [1]는 손실 탄젠트가 높아서 삽입 손실 및 반사 손실 특성이 좋지 않지만 적절한 회로 구조와 바이어싱 구조를 적용시키면 이러한 손실을 크게 줄일 수 있다.

본 논문에서는 마이크로 스트립 라인과 강유전체를 이용하여 인가 전압을 0 V에서 30 V까지 가변하였을 때 중심 주파수가 이동하는 가변 대역통과필터[2]를 4가지 예를 들어 소개한다.

II. Design and Simulation

그림 1은 제안한 필터의 side view를 나타낸다. MgO의 상대 유전율은 10, 두께 500 μm 이고 BSTO 강유전체의 두께는 0.5 μm 이며 상대 유전율은 인가 전압이 증가할 수록 감소한다. 그 윗면의 금(Au)은 신호선, 아랫면의 금(Au)은 접지면 역할을 한다. 다음에 설명하는 4가지 필터의 side view는 그림 1을 기본으로 한 것이다.

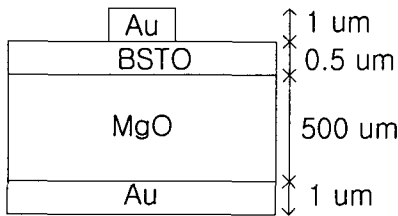


그림 1. 제안한 필터의 side view

II-1. Type 1 BPF

그림 2는 type 1 BPF의 top view를 나타낸다. 50 Ω 매칭을 위한 입·출력단의 폭 (W)은 0.608 mm, 0 V일 때 중심 주파수를 5.8 GHz에 오도록 하기 위한 커플링 길이는 L_1 이 4.4 mm이고 L_2 가 4.6 mm, 대역폭을 결정하는 폭인 S_1 은 0.1 mm, S_2 는 0.5 mm로 하였다. 일반적으로 첫 번째 커플링 간격인 S_1 을 줄일수록 삽입 손실이 줄어들고, 가운데 커플링 간격인 S_2 를 늘릴수록 대역폭이 좁아진다. 가운데 두 개의 공진기의 끝 (L_5)은 L_2 를 줄이기 위하여 연장한 것이다. 한편 DC 전압을 인가하기 위한 스텝[3]을 각 공진기에 배치하였는데 그림에서는 옅은 검은색으로 표현하였다. 스텝의 폭은 ac 신호가 스텝을 통하여 빠져나가지 않도록 10 μm 정도로 좁게 하고, 그 끝에는

DC 전압을 인가하기 위한 와이어 본딩 패드를 만들어 준다.

그림 3은 그림 2의 시뮬레이션 결과로서 0 V일 때와 30 V일 때의 중심 주파수 이동, 대역폭, 삽입 손실 및 반사 손실 변화를 하나의 그래프에 나타낸 것이다. 한편 표 1은 그림 3의 결과를 수치적으로 표현한 것으로서 전압을 증가시켰을 때 대역폭이 약간 증가함을 알 수 있다.

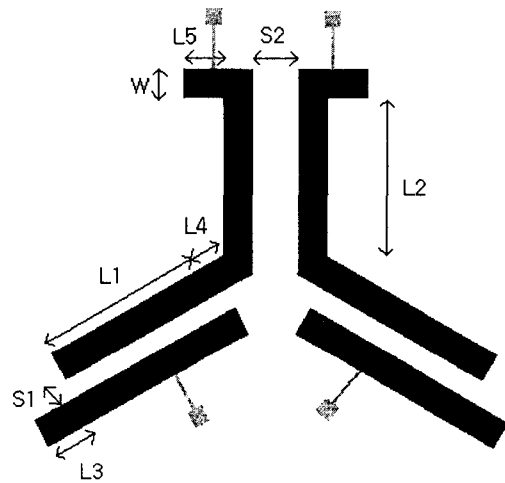


그림 2. Type 1 BPF의 top view. 여기서 $W=0.608$, $L_1=4.4$, $L_2=4.6$, $L_3=0.5$, $L_4=1$, $L_5=0.5$, $S_1=0.1$, and $S_2=0.5$ mm.

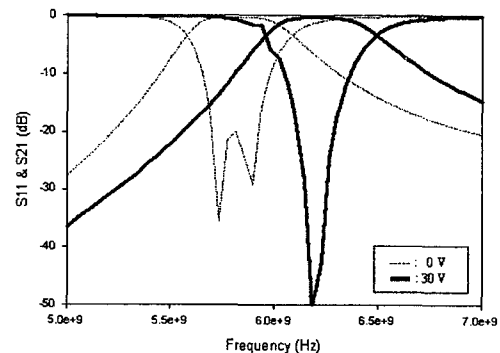


그림 3. Type 1 BPF의 시뮬레이션 결과

표 1. Type 1 BPF의 중심 주파수 (fc), 대역폭 (BW), 삽입 손실 (IL) 및 반사 손실 (RL)

| | fc | BW | IL | RL |
|------|---------|----------|---------|-------|
| 0 V | 5.8 GHz | 0.43 GHz | 0.36 dB | 20 dB |
| 30 V | 6.2 GHz | 0.53 GHz | 0.32 dB | 48 dB |

II-2. Type 2 BPF

일반적으로 마이크로 스트립 공진기는 커플링 길이에 따라 $\lambda/4$ 와 $\lambda/2$ 공진기로 나눌 수 있다. $\lambda/2$ 공진기 [4]의 대표적인 예로는 end-extended type이 있는데 이것은 MIC나 MMIC와 같이 높은 제작 정밀도를 요구한다. 반면, $\lambda/4$ 공진기 [5]의 대표적인 예로는 헤어핀 타입을 들 수 있는데 이러한 타입은 PCB 공정과 같이 상대적으로 낮은 정밀도에서도 제작할 수 있고, $\lambda/2$ 공진기에 비해 크기를 크게 줄일 수 있는 장점이 있다. 그림 4는 기존의 헤어핀 타입에서 크기를 더 줄이기 위하여 각 공진기를 안으로 엇갈리게 (inter-digital type) 배치한 것이다. 한편 필터 성능의 최적화를 위해 W1, W2, W3를 적절하게 조절한다. 그림 5와 표 2는 시뮬레이션 결과로서 전압이 증가하였을 때 대역폭이 약간 증가하였고, 삽입 손실의 변화는 거의 없었다. 또한 pole 수는 커플링의 수에 비해 하나가 적음을 알 수 있다.

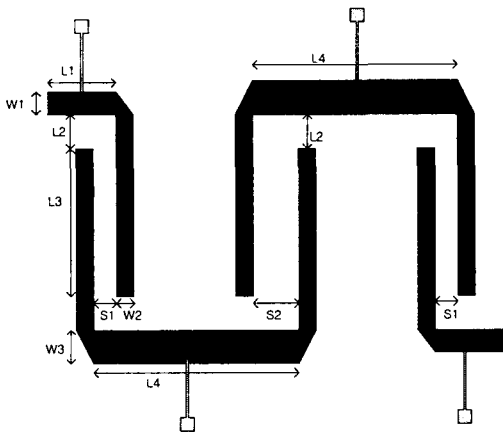


그림 4. Type 2 BPF의 top view. 여기서 W1=0.594, W2=0.3, W3=1, L1=5, L2=4.4, L3=9.6, L4=8, S1=0.03, and S2=0.6 mm.

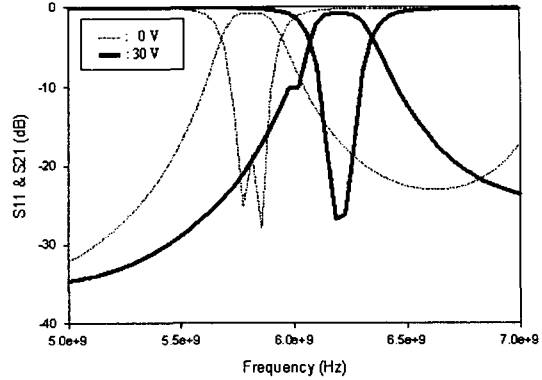


그림 5. Type 2 BPF의 시뮬레이션 결과

표 2. Type 2 BPF의 중심 주파수 (fc), 대역폭 (BW), 삽입 손실 (IL) 및 반사 손실 (RL)

| | fc | BW | IL | RL |
|------|---------|----------|---------|-------|
| 0 V | 5.8 GHz | 0.25 GHz | 0.84 dB | 20 dB |
| 30 V | 6.2 GHz | 0.29 GHz | 0.8 dB | 28 dB |

II-3. Type 3 BPF

그림 6은 그림 4에서 크기를 더 줄이기 위하여 공진기의 끝을 meander type으로 하였고 그 간격은 앞단의 커플링 간격과 같이 하였다. 각 공진기의 길이 (L7)는 2 mm로서 같고, 필터성능의 최적화를 위해 L6는 L5보다 1.2 mm 만큼 길게 하였다. 그림 7은 끝이 연장된 공진기의 레이아웃과 그 등가 회로를 나타낸 것으로서, 끝이 연장된 공진기의 커플링 길이(θ_1')와 그 앞단의 공진기 길이(θ_1)는 같다. 한편, $L_{i,i+1}$ 은 상호 인덕턴스, $L_{i,i}$ 는 자기 인덕턴스, $C_{i,i+1}$ 는 상호 커패시턴스, $C_{i,i}$ 는 자기 커패시턴스, C_p' 는 공진기의 끝과 접지면 사이의 기생 커패시턴스를 의미한다. 그림 8과 표 3은 시뮬레이션 결과로서 전압이 증가하였을 때 중심 주파수가 0.3 GHz 만큼 증가, 대역폭이 약간 증가하였고, 삽입 손실 및 반사 손실의 변화는 거의 없었다. 한편 이러한 구조는 매우 좁은 대역폭을 얻을 수 있는 장점이 있다.

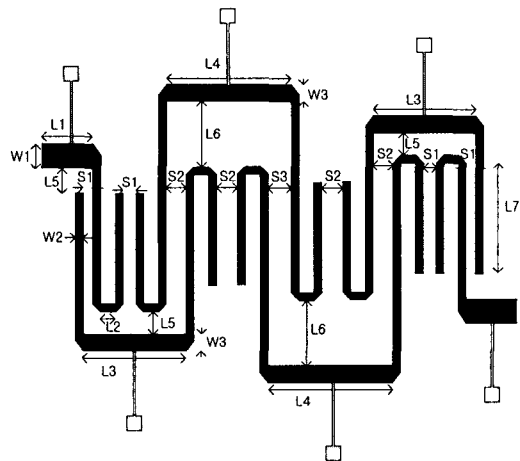


그림 6. Type 3 BPF의 top view. 여기서 $W1=0.594$, $W2=0.28$, $W3=0.98$, $L1=2$, $L2=0.62$, $L3=3.46$, $L4=4.26$, $L5=0.8$, $L6=2$, $L7=2$, $S1=0.1$, $S2=0.9$, and $S3=0.9$ mm.

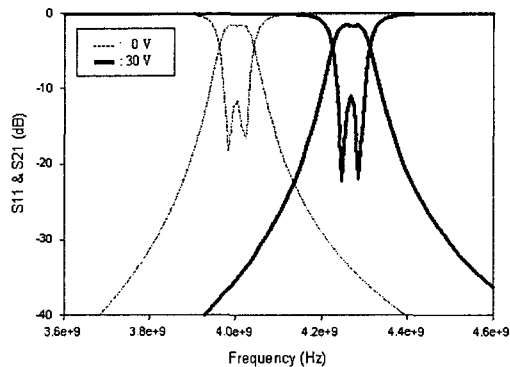


그림 8. Type 3 BPF의 시뮬레이션 결과

표 3. Type 3 BPF의 중심 주파수 (f_c), 대역폭 (BW), 삽입 손실 (IL) 및 반사 손실 (RL)

| | f_c | BW | IL | RL |
|------|---------|----------|--------|-------|
| 0 V | 4.0 GHz | 0.08 GHz | 1.7 dB | 12 dB |
| 30 V | 4.3 GHz | 0.09 GHz | 1.7 dB | 12 dB |

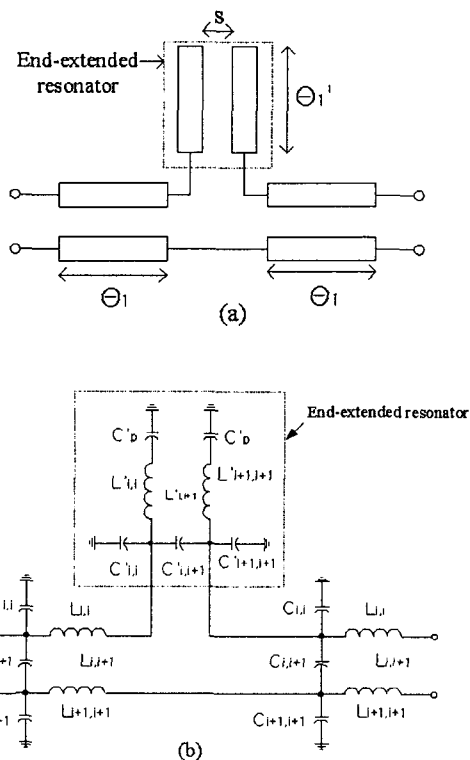


그림 7. 끝이 연장된 공진기. (a) 레이아웃 (b) 등가 회로

II-4. Type 4 BPF

그림 9는 가운데 공진기의 끝을 코일 형태[6]로 만들어 필터 크기를 줄인 것이다. 코일의 감는 횟수를 늘릴수록 필터의 크기와 대역폭이 줄어든다. 그림 10과 표 4는 시뮬레이션 결과로서 전압이 증가 하였을 때 중심 주파수가 0.6 GHz 만큼 증가하였는데 이것은 앞에 제시한 세 타입보다 가변량이 가장 크다. 한편 대역폭은 약 0.02 GHz 만큼 증가하였고, 삽입 손실 및 반사 손실의 변화는 거의 없었다.

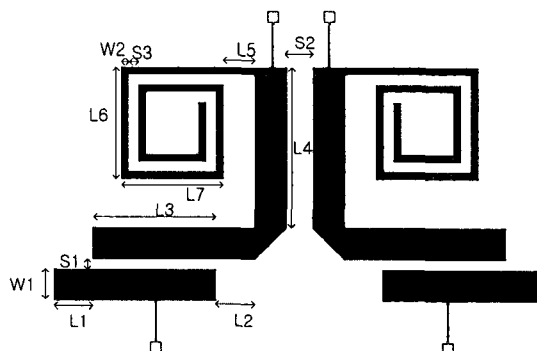


그림 9. Type 4 BPF의 top view. 여기서 $W1=0.608$, $W2=0.11$, $L1=0.5$, $L2=0.1$, $L3=2$, $L4=2$, $L5=1$, $L6=1.09$,

L7=1.09, S1=0.1, S2=0.8, and S3=0.1 mm.

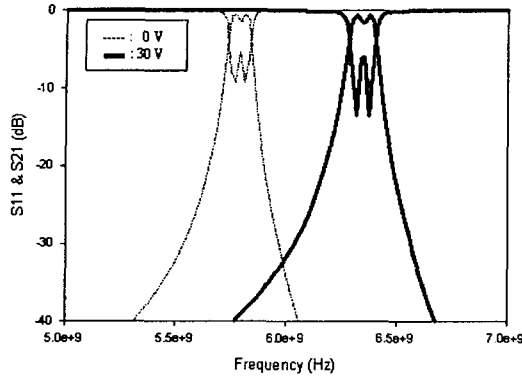


그림 10. Type 4 BPF의 시뮬레이션 결과

표 4. Type 4 BPF의 중심 주파수 (fc), 대역폭 (BW), 삽입 손실 (IL) 및 반사 손실 (RL)

| | fc | BW | IL | RL |
|------|---------|----------|--------|------|
| 0 V | 5.8 GHz | 0.11 GHz | 1.5 dB | 5 dB |
| 30 V | 6.4 GHz | 0.13 GHz | 1.6 dB | 6 dB |

II. 결론

본 논문에서는 BSTO/MgO 유전체 구조를 이용하여 마이크로 스트립 라인 구조의 가변 대역통과필터를 4 가지 유형의 예를 들어 설명하였다. 마이크로 스트립 라인 구조는 CPW 구조에 비해 필터의 모양을 여러 가지로 설계하기가 용이하다. 본 논문에서 제안한 필터들은 미래의 무선 통신 기술 응용에 많은 기여를 할 것으로 기대된다.

References

- [1] F. W. Van Keuls, R. R. Romanofsky, "A Ku-Band Gold/BaxSr1-xTiO3/LaAlO3 conductor/thin film ferroelectric microstrip line phase shifter for room-temperature communications applications", *Microwave and opt.*, vol. 20, no. 1, pp. 53-56, 1999
- [2] A. T. Findikoglu, "Tunable and adaptive bandpass filter using a nonlinear dielectric thin film of

SrTiO3", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 68, no. 12, pp. 1651-1653, 1996

- [3] F. W. Van Keuls, "(YBa2Cu3O7-δ,Au)/SrTiO3 /LaAlO3 thin film conductor/ferroelectric coupled microstrip line phase shifters for phased array applications", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 71, no. 21, pp. 3075-3077, 1997
- [4] L. H. Hsieh and K. Chang, "Slow-wave bandpass filters using ring or stepped-impedance hairpin resonators", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 50, no. 7, pp. 1795 -1800, July 2002
- [5] Y. Yamamoto, Y. Imon, S. Mikumo, and M. Katsuragi, "Tuning a bandpass filter by optical control of a negative-resistance circuit", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 46, no. 12, pp. 2006-2010, Dec. 1998.
- [6] C. K. Ong, L. Chen, J. Lu, C. Y. Tan, and B. T. G. Tan, "High-Temperature Superconducting Bandpass Spiral Filter", *IEEE Micro. and Guided Wave Lett.*, vol. 9, no. 10, Oct. 1999.

Dongkyu Chai

1999: BS in Electronic Engineering, Kyongbook University, Korea

2001 ~: ICU, Korea

Area of interest : RF Filter & Phase Shifter, Smart Sensors



Munhyuk Yim

1998: BS in Pusan National University

2000: MS in Pusan National University

2003~ : Ph. D Course in ICU, Korea

Area of interest : RF Device & Design, FBAR Filters, Ferroelectrics Devices



Donghyun Kim

1998 : BS in Pusan National University
2000 : MS in Pusan National University
2003~: Ph. D Course in ICU, Korea

Area of interest : Smart Sensors, FBAR Filters, Bioelectronics



Giwan Yoon

1983 : BS in Seoul National University
1985 : MS in KAIST
1994 : PhD in The University of Texas at Austin, USA

1985 ~ 1990 : Associate Engineer, LG Group, Semiconductor Research Center

1990 ~ 1994 : RA, University of Texas at Austin, Microelectronics Center

1994 ~ 1997 : Senior Engineer, Digital Equipment Corp. (Presently Intel), USA

1997 ~ 2000 : Assistant Professor, Information and Communications University (ICU), Korea

2000~present : Associate Professor in ICU, Korea

Area of interest : RF Device & Design, Smart Antenna & Smart Sensors, Bioelectronics