

강유전체 박막을 이용한 마이크로파 Tunable 소자 설계

박정흠
김포대학

A Design of Microwave Tunable Device using Ferroelectric Thin Film

Jeong-Heum Park
Kimpo College

Abstract : In this study, the filter was designed for tuning center frequency and fabricated using (Sr,Ba)TiO₃ ferroelectrics and YBa₂CuO₇ high temperature superconductor thin film. The best result in figure of merit was 35 when the Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO₃ thin film deposition temperature was 600°C, the post anneal condition was 600°C, 10min in 1atm, O₂. When using 20µm IDC pattern gap, The higher tunability was obtained than using 30µm pattern gap.

Key Words : Interdigital Capacitance, Ferroelectric Thin Film, Tunable Filter, Figure of Merit

1. 서론

마이크로파대에서 주파수 조절이 가능한 Tunable 소자에 대한 수요가 증가하고 있는 추세이다. 이러한 소자는 Varactor 다이오드를 이용하여 제작되어 왔으나, 최근 강유전체 박막을 이용한 연구가 활발히 진행되었다. 강유전체는 직류전압이 인가되면 유전율이 변화하므로, 이를 이용하여 중심주파수 조절이 가능한 필터[1]나 Phase Shifter[2]등이 주로 연구되어 왔다. 본 연구에서는 중심주파수 조절이 가능한 필터를 설계하고, (Sr,Ba)TiO₃ 강유전 박막과 전극으로서 고온초전도체인 YBa₂Cu₃O₇ 박막을 이용하여 필터를 제작한 후 강유전 박막의 유전특성을 평가하고, 그에 따른 필터의 특성을 평가하였다.

2. 실험

2.1 강유전 및 초전도 박막의 제작

고품위의 강유전 박막 및 초전도 박막의 제작을 위하여 본 연구에서는 Pulsed Laser Ablation Deposition(PLD)법을 사용하였다. Multi-Target Holder를 사용하여 강유전 박막의 형성 이후 연속적으로 초전도 박막을 형성할 수 있도록 하였고, 표 1에 증착 조건을 나타내었다. 0.5mm (001) MgO 단결정 기판 위에, 360nm의 (Sr,Ba)TiO₃의 강유전 박막을 형성하고 다시 300nm의 고온초전도체 박막 YBa₂Cu₃O₇을 도포하였다. 소자 구현을 위해 YBCO박막을 Dry Etcher를 사용하여 패터닝 하였다.

표 1. 박막형성 조건

Parameter	(Ba _{0.5} Sr _{0.5})TiO ₃	YBa ₂ Cu ₃ O ₇
Laser Energy Density	1.5[J/cm ²]	1.5[J/cm ²]
Repetition Rate	5[Hz]	5[Hz]
Deposition Time	5000 Pulses	5000 Pulses
Oxygen Pressure	10 ⁻⁴ [mbarr]	0.3[Torr]
Substrate Temperature	650[°C]	750[°C]
Oxygen flow	0.6[cscm]	10[cscm]
Substrate-TargetDistance	5.5[cm]	6.5[cm]

응용에 적합한 공정조건을 결정하기 위하여 다양한 공정조건의 변화를 통해 강유전박막을 제작하였고, 이를 표 2에 정리해서 나타냈다.

표 2. 공정조건변화에 따른 시편의 분류

시편명	타겟조성	패턴Gap [µm]	증착온도 [°C]	후열처리 [1atm, O ₂]
BST-20µm	Ba _{0.5} Sr _{0.5} TiO ₃	20	600	x
BST-30µm	Ba _{0.5} Sr _{0.5} TiO ₃	30	600	x
STO	SrTiO ₃	30	600	x
BST-550	Ba _{0.5} Sr _{0.5} TiO ₃	30	550	x
BST-PA	Ba _{0.5} Sr _{0.5} TiO ₃	20	600	600°C, 10min

2.2 Tunable Bandstop Filter 설계

그림 1과 같은 병렬공진회로는 간단한 Bandstop filter로 동작하면서 DC Bias 인가가 가능도록 구성한 것이고, Bandstop response를 가진다.

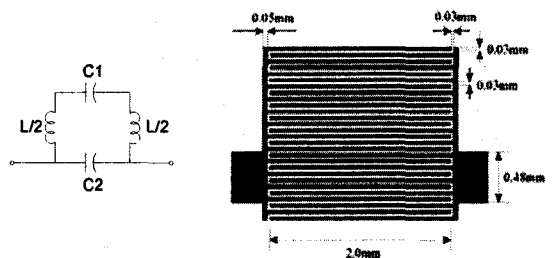


그림 1. DC Bias용 Bandstop Filter와 구현된 IDC 패턴

기판인 MgO의 두께가 SBT박막의 두께보다 상대적으로 훨씬 두꺼우므로, 입,출력 전송선로에서 전계의 대부분은 MgO 내에 분포하게 되고, 이 때문에, 50Ω 전송선로 구성 시, 유전율이 높은 SBT 층을 배제하고, 유전율이 상대적으로 낮은 MgO 층만 고려할 수 있다. 이로부터 구현이 가능할 만큼 적당히 큰 폭(W=0.48mm)을 가지는 전송선로를 구현할 수 있게 된다.

유전율이 높은 박막을 사용하는 것이 IDC (Interdigital Capacitance)의 구현에 있어서 더욱 효과적이다. SBT박막의

높은 유전율에 의해 IDC Gap사이의 전계는 SBT박막에 집중하게 되고, 이에 따라 유전율이 낮은 MgO의 영향이 배제되므로 높은 캐패시턴스를 얻을 수 있다.

DC 바이어스의 인가에 의해 IDC 사이에 강한 전계가 형성되면, SBT박막의 유전율이 변화하고, 이에 따라 C가 변화하므로, 공진주파수 f_0 의 변화를 초래한다. 이것을 이용하여 전기적인 튜닝이 가능한 공진기, 필터, 안테나, Phase Shifter 등을 구현할 수 있다[3].

3. 결과 및 고찰

그림 2에서 직류전계를 인가하지 않은 상태에서 온도에 따른 유전율을 비교하였다[4]. SrTiO₃는 보고된 바와 같이 350 정도의 낮은 유전율을 보였고, 증착온도 550°C에서 제작된 BSTO는 420 정도의 낮은 유전율을 보이며, 이 온도에서는 결정화가 완전히 진행되지 않아 낮은 유전율을 보인다. Pattern Gap에 따라서 유전율의 차이를 보이는 것은 10%의 오차로써 측정오차에 기인한 것으로 판단된다. 높은 온도에서는 그 오차가 줄어든 상태를 확인할 수 있다. BSTO를 표 2의 조건으로 후열처리를 행한 경우에는 약 980 정도의 높은 유전율을 보이며, 후열처리에 의해 박막의 결정성이 개선됨을 알 수 있다. 그림 3에서는 전계인가에 따른 공진주파수의 Tunability를 계산하여 비교하였다. 유전율이 높은 시편에서 높은 Tunability를 보이며, 이는 유전율이 높은 경우 공진주파수에서 캐패시턴스가 차지하는 비중이 더욱 크기 때문이다. 패턴 간격이 작은 시편이 높은 Tunability를 보이는 것은 전술한 바와 같이 패턴 간격이 작을수록 캐패시턴스가 커지기 때문이다. STO시편에서는 Tunability가 거의 0인데, 이는 이 시편이 인가전계에 대해 유전율의 변화가 없는 상유전성을 나타내기 때문이다.

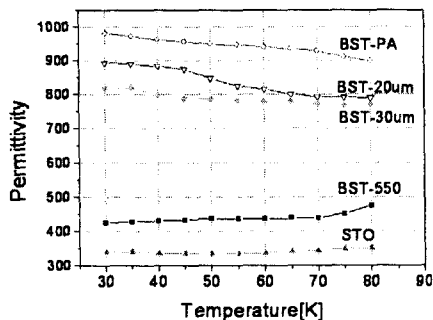


그림 2. 제작조건에 따른 강유전 박막의 유전율

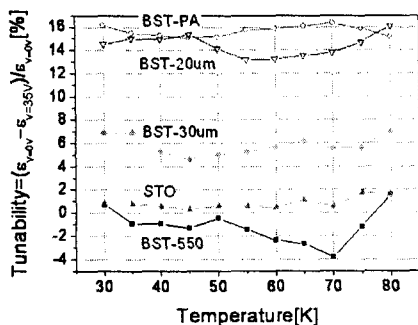


그림 3. 제작조건에 따른 필터의 Tunability

그림 4에서는 Tunable 소자의 평가지수인 Figure of Merit를 나타냈다. 이는 인가직류전계에 대한 공진주파수의 변화와 유전손실의 변화의 비를 나타내어 소자의 성능을 비교할 수 있도록 한 것으로, 패턴간격이 작을수록 유전율의 변화가 크기는 하지만, 삽입손실이 큰 관계로 BST-20um와 BST-30um가 비슷한 성능을 가지고, 후열처리를 행한 BST-PA시편은 높은 Tunability와 상대적으로 낮은 삽입손실로 인해 35정도의 높은 Figure of Merit를 가진다.

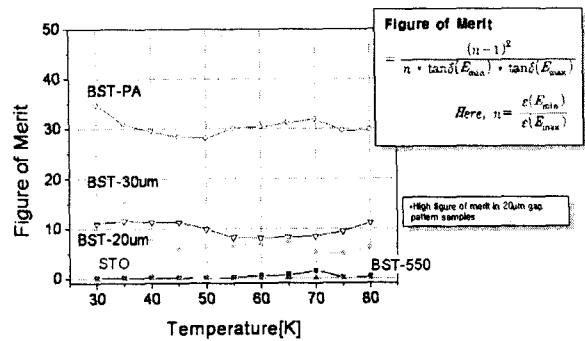


그림 4. 제작조건에 따른 필터의 Figure of Merit

4. 결론

본 연구에서는 (Sr,Ba)TiO₃ 강유전 박막을 이용하여 주파수 조절이 가능한 필터를 구현하였다. 박막 제작조건을 달리하여 필터 특성을 측정된 결과, 박막의 결정화 온도인 600°C에서 제작하고, 이후 1atm.O₂에서 10분간 열처리하였을 때 Figure of Merit가 35로 가장 우수한 특성을 얻을 수 있었다. IDC 패턴의 Gap에 따른 영향은 20μm일 때 30μm에 비해 Tunability는 높았으나, 삽입손실이 큰 관계로 비슷한 Figure of Merit를 나타내었다. 따라서, 박막의 유전손실 개선과 IDC 패턴을 정밀하게 하여 필터의 삽입손실을 줄이는 것이 실용화를 위한 관건으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] G. Subramanyam, F. V. Keuls and F. A. Miranda, "A novel K-band tunable microstrip bandpass filter using a thin film HTS/ferroelectric/dielectric multilayer configuration", IEEE MTT-S Dig., pp.1011-1014, 1988.
- [2] Y. Lin et. al., "BaSrTiO₃ Interdigitated capacitors or distributed phase shifter applications", IEEE Microwave and Guided Wave Letters, Vol. 10, No. 11, Nov. 2000.
- [3] M. J. Lancaster, "Passive microwave device applications of high temperature superconductors", Cambridge University Press, Cambridge, England, 1997.
- [4] 박정훈, "마이크로파대에서의 강유전 박막 유전특성 평가", 전기전자재료학회논문지, Vol.17, No.10, pp. 1061-1067, 2004.