

Fabrication of HTS Microstrip Bandpass Filters using CeO₂ buffered YBCO Films grown on α -Al₂O₃ substrates

CeO₂ 버퍼막과 함께 α -Al₂O₃ 기판 위에 성장된 YBCO 박막을 사용한 HTS Microstrip Bandpass filter의 제작

K.R. Jung, H.G. Chu, Joonhee Kang, S.J. Park*, J.H. Sok*, E.H. Lee*

정구락, 추형곤, 강준희, 박상진*, 석중현*, 이은홍*

Department of Physics, University of Incheon, Incheon 402-149, Korea
*Samsung Advanced Institute of Technology

인천광역시 남구 도화동 177 인천대학교 물리학과
*삼성종합기술원

We fabricated a new hairpin type HTS 2-pole microstrip Bandpass filter to operate at 5.8GHz. The fabrication method was pulsed laser deposition and YBCO films were deposited on α -Al₂O₃ substrates with a CeO₂ thin layer as a buffer layer. We developed a new style hairpin type filter by using interdigitide innerpole. Compared to the same size regular hairpin type filters, our filter had a lower center frequency, bandwidth and loss by an amount of 14.5%, 29.6%, 0.5488dB, respectively. The size of the filters were 13.7X3.3mm. We did simulations on the several types of band pass filters by using HFSS and serenade. We measured growth rate and T_c of YBCO films grown on CeO₂/ α -Al₂O₃ substrates which were rotated while growing films.

1. 서론

고온초전도체가 발견된 이후 초전도체가 갖는 low loss, low distortion의 마이크로웨이브 특성 때문에 이를 이용한 마이크로웨이브 소자의 개발이 세계 여러 기관에서 활발하게 행해지고 있으며, 대박막에 hybrid integration하는 추세로 응용력을 넓히고 있다[1]. 현재 고온초전도를 이용한 고주파 소자의 제작은 주로 고온초전도 박막을 이용하여 이루어지고 있으며, 이러한 고온 초전도 박막으로 제작한 narrow band 마이크로 스트림 필터나 multiplexor, 안테나와 같은 고주파용 수동소자는 이동통신용 기지국에 설치되거나 인공위성용 소자로서 상용화될 단계에 와 있다. 마이크로웨이브 수동소자에서 기판의 선택이 소자의 특성에 큰 영향을 미치는데 기판에 의한 손실

을 최소화하기 위해서는 유전율이 낮고 loss tan θ 값이 적은 기판을 선택해야 한다[2].

본 연구에서는 고온 초전도 기판으로 널리 쓰이는 LaAl₂O₃, SrTiO₃ 기판 대신에 유전율이 낮고 loss tan θ 값이 적은 sapphire 기판을 사용하였으며, 일반적으로 사용하는 hairpin type 필터에 내부 pole를 삽입함으로써 같은 크기의 hairpin type 필터보다 주파수, bandwidth, loss 값을 줄일 수 있었다.

2. 필터 설계 및 제작

고온초전도 박막을 기판 위에 epitaxial 하게 성장시키기 위해서는 기판이 고온 초전도박막과 구조적, 화학적 열적 성질이 유사하여야 한다. 이에 적합한 기판으로는 SrTiO₃, LaAl₂O₃, MgO 등

이있다[3]. 그러나 SrTiO_3 는 유전률이 매우 높고 ($\epsilon > 300$), 77K 근처에서는 매우 큰 값으로 변화하므로 고온 초전도 마이크로웨이브 소자로는 적합하지 않은 것으로 알려져 있다. Sapphire는 낮은 유전률과 $\text{loss tan } \theta$ 를 가지고 있어 마이크로웨이브 소자용 기판으로 관심을 끌고 있다. Sapphire의 종류에는 Z-cut face(0001) Sapphire와 R-cut face(1102)가 있는데, Z-cut face Sapphire는 기판 위의 유전율이 균일한 반면 three-fold symmetric 구조를 가지고 있어 four-fold symmetric 구조를 가지고 있는 고온초전도를 기판 위에 직접 epitaxial 성장시킬 수 없고, R-cut face Sapphire는 Square-planar surface로부터 원자 위치 deviation이 크지만 two-fold symmetric 구조를 가지고 있어 거의 four-fold symmetric 구조와 유사하다[4]. 본 실험에서는 deviation을 줄여 주기 위해 R-cut face Sapphire 기판 위에 buffer layer로서 CeO_2 를 성장시키고 그 위에 고온초전도 박막을 성장시켰다[5]. CeO_2 박막 성장 조건은 760°C 의 온도에서 200mtorr의 산소를 흘려주면서 KrF Excimer Laser를 10Hz로 target에 조사하여 제작하였으며, YBCO 박막의 성장 조건도 CeO_2 의 성장 조건과 같은 조건으로 하였지만 산소만 400mtorr로 흘려주었다. CeO_2 는 200 Å dml 두께로 성장시켰으며 YBCO는 5000 Å의 두께로 성장시켰다. 기판 뒷면의 ground plane은 DC sputter를 이용하여 silver를 1 μm 의 두께로 증착시키고 silver 위에 gold를 1000 Å의 두께로 증착시켰다. 필터의 패턴은 photo-lithography와 dry-etching 이용하여 형성하였다. package는 직접 설계 후 주문 제작하였으며 port와 SMA connector사이의 연결은 접합을 좋게 하기 위해서 silver paster를 이용하였다. 필터의 모형은 hairpin type과 planer ring type을 선택하여 simulation을 하였으며, hairpin type은 기존의 hairpin type에 내부 pole을 삽입하여 내부 pole과 외부 pole사이의 coupling으로 인하여 중심 주파수를 낮출 수 있도록 설계하였으며 내부와 외부 pole사이의 coupling을 크게 하기 위하여 interdigitide 형식으로 coupling을 시켰다. filter의 simulation은 1차적으로 curcuit simulator인 serenade를 이용하여 만족할만한 filter의 특성을 얻은 후, EM simulator인 HFSS를 이용하여 수정 보완하는 형식으로 진행하였다.

그림 1은 본 연구에서 설계하여 제작한 필터들의 모형들이다.

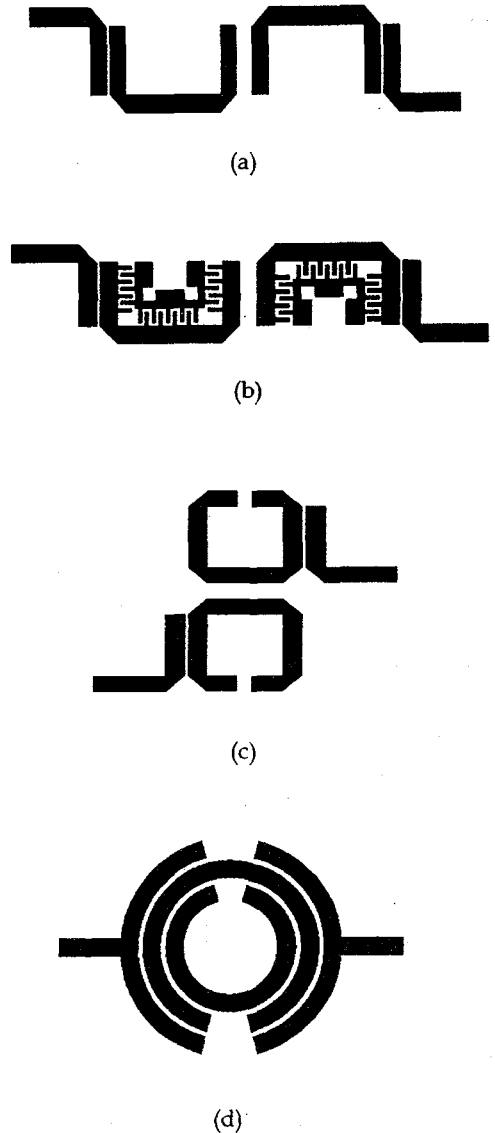


그림 1. 본 연구에서 설계한 필터의 모형들 (a) (b) (c) hairpin type (d) planer ring type

아울러 YBCO 박막의 특성을 개선하기 위하여 ArF Excimer Laser를 이용하여 CeO_2 와 YBCO 박막 증착 실험도 함께 수행하였으며[6], 이때 기판을 회전시킴으로서 균일한 박막을 얻을 수 있도록 하였다.

3. 결과

그림 2는 KrF Excimer Laser를 이용하여 제작한 박막의 특성을 보여주고 있다. Tc는 87K가 나왔다.

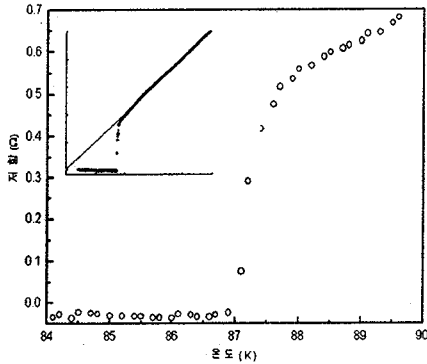


그림 2. 필터 제작에 이용한 YBCO 박막의 저항-온도 그래프

270MHz에서 190MHz로 80MHz가 더 줄어들었다. insertion loss 또한 0.55dB에서 0.0012dB로 0.5488dB 줄어드는 결과를 얻었다. pole 한 개의 크기는 4mmX2.8mm이었으며 전체 크기는 3.3mmX13.7mm이었다.

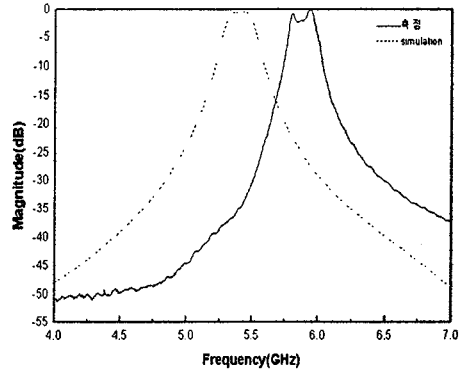


그림 4. 그림 1(b)에 대한 simulation과 측정 그래프

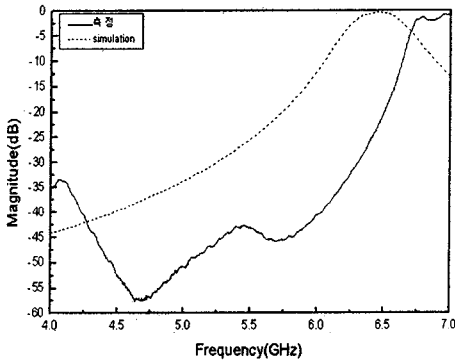


그림 3. 그림 1(a)에 대한 simulation과 측정 그래프

그림 3은 그림 1(a)의 구조에 대한 simulation과 측정 결과를 나타낸 그래프이다. 중심 주파수가 6.88GHz이고 3dB bandwidth는 270MHz이며 loss는 0.55dB이다. 그림2는 그림 1(b)의 구조에 대한 simulation과 측정 결과를 나타낸 그래프이다. 중심 주파수는 5.88 GHz이고 3dB bandwidth는 190MHz이며 loss는 0.0012dB이었다. 그림 1의 (a)와 (b)는 같은 크기인데 내부 pole을 삽입하므로써 6.88GHz에서 5.88GHz로 중심 주파수가 1GHz 낮아졌으며 3dB bandwidth도

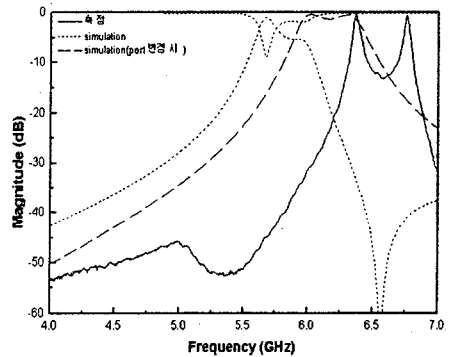


그림5. 그림 1(c)에 대한 simulation과 측정 그래프

그림 5는 그림1 (c)에대한 simulation과 측정결과를 보여준다. 좋지 않은 필터 특성을 보여주었는데 이는 필터를 제작할 때 port2의 방향이 뒤바뀌어 나온 결과로 생각된다. simulation 결과에서 점선은 그림 1 (c)에 대한 simulation 결과이고 중심주파수가 높은 쪽이 port2가 바뀌었을 때의 simulation 결과이다.

그림 6은 그림 1(d)의 planer ring type에 대한 simulation과 측정 결과 그래프이다. 중심 주파수가 5.66GHz이었고 3dB bandwidth는 60MHz이

었다. insertion loss는 -0.74dB가 나왔다. 이렇게 reflection loss가 크에도 불구하고 insertion loss 값이 크게 나오는 것은 S11 값이 전체적으로 완전히 0이 되지 않고 -2dB~-3dB의 값을 가지고 있어서 측정시 calibration이 제대로 되지 않았기 때문인 것으로 생각된다.

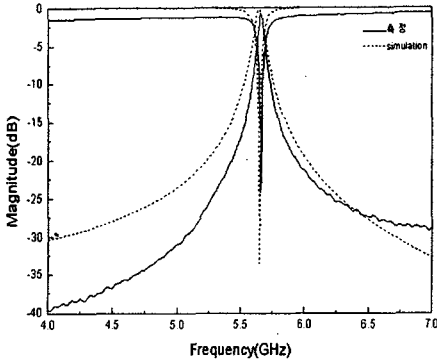


그림 6. 그림 1(d)에 대한 simulation과 측정 그래프

그림 7은 YBCO 박막표면을 개선하기 위하여 KrF Excimer Laser 대신 ArF Excimer Laser를 이용하여 제작한 YBCO 박막의 저항-온도 그래프이다. 실험조건으로는 산소압력과 온도는 CeO₂를 성장시킬 때 각각 100mtorr, 760℃를 유지하였고 YBCO를 성장시킬 때는 200mtorr, 730℃를 유지하였으며 target만 회전을 시키고 기판은 고정된 상태로 제작하였다.

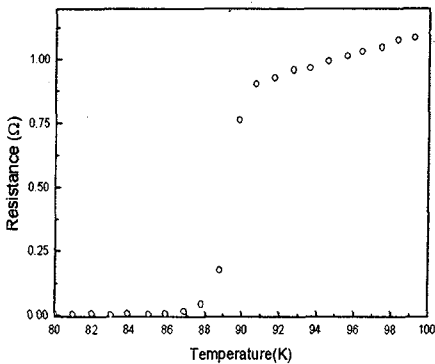


그림7 ArF Excimer Laser를 이용하여 제작한 YBCO 박막의 저항-온도 그래프

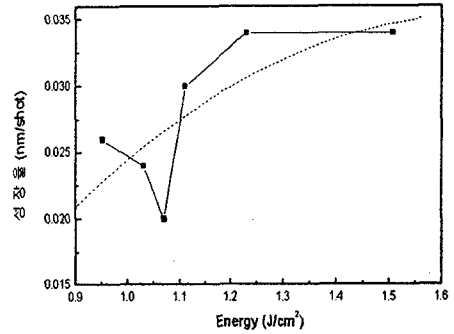


그림8 에너지에 따른 YBCO 성장률

그림 2의 그래프는 5000 Å의 박막에 대한 저항-온도 그래프인 반면 그림7은 2000 Å 두께로 성장시켜 얻은 그래프이다. 실제 제작시는 5000 Å의 박막을 사용하므로 보다 더 높은 Tc를 얻을 수 있을 것이다. 그림 8은 ArF Excimer Laser를 이용하여 target에서의 laser 에너지에 따른 YBCO 성장률을 측정한 그래프이다. 실험조건은 기판만 회전을 시키고 산소압력이나 온도는 그림 7의 저항-온도그래프를 얻을 때와 동일한 조건으로 실험을 하였다. 그림 8의 그래프에서 에너지가 낮아질수록 성장률은 감소하며 1.23J/cm² 이상에서는 일정한 성장률을 보였다.

4. 결론

고온초전도체 박막을 이용한 5GHz~6GHz 대역의 filter를 설계하고 제작하였으며, 양질의 박막을 얻기 위하여 KrF Excimer Laser대신에 ArF Excimer Laser를 이용한 YBCO 박막을 제작하고 target에서의 에너지에 따른 박막의 성장률을 알아보았다. 필터설계에 있어서 신뢰성을 높이기 위하여 circuit simulator인 serenade와 EM simulator 인 HFSS를 사용하였다. 필터의 측정은 액체 질소를 이용하여 77 K에서 측정을 하였다. 기존에 사용하는 hairpin type의 필터에 내부 pole을 삽입하여 중심 주파수, bandwidth 그리고 insertion loss가 각각 14.5%, 29.6%, 0.5488dB로 줄어드는 효과를 얻었다. 이를 다른 필터에도 응용하면 필터의 성능을 개선시킬 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] A. A. Dymnikov and O. D. Poustyl'nik, International Journal of Infrared and Millimeter Waves, Vol. 20, No. 5. 937-965 (1999)
- [2] Reinment K. Hoffmann "Handbook of Microwave Integrated Circuits", 1987
- [3] Zhi-Yuan Shen, "High-Temperature Superconducting Microwave Circuits", pp9-24, WilliamL. Hostein, 1994.
- [4] Phillips, J.M. et al., Journal Mater. Res., Vol. 7, 2650-2657(1990)
- [5] Wu X. D., R. C. Dye et al., App. Phys. Lett., Vol. 21, 495-498(1992)
- [6] Douglas B. Chrisey and Graham K. Hubler, "Pulsed laser deposition of thin film." , pp182-184, Li-Chyng Chen, 1994.