

14 GHz 헤어핀형 초전도 대역통과 필터

송석천*, 김철수*, 이상렬*, 윤형국**, 윤영중**
 *연세대학교 전기공학과, **연세대학교 전파공학과

Superconducting Bandpass Filter Using Hairpin-type Microstrip Line with Narrow Bandwidth Centered at 14 GHz.

Seok-Cheon Song, Cheol-Su Kim, Sang Yeol Lee.
 Dept. of Electrical Eng. Yonsei University

Hyung Kuk Yoon and Young Joong Yoon
 Department of Radio Communication Eng. Yonsei University

Abstract - In order to enhance satellite communication system performance, filters are required with the characteristics of sharp skirt, low insertion loss, and high power handling capability. But the performance of microwave passive filters is significantly declined by the conduction losses, especially in case of planar structures using film conductors. By using high temperature superconducting(HTS) film material as the conductor, higher performance could be expected. We have designed and developed narrow bandpass filters using haripin-type superconducting microstrip line for satellite communication. High quality superconducting YBCO thin films have been grown on MgO substrates by pulsed laser deposition(PLD). The deposited YBCO films were patterned by conventional wet-etching process. The transition temperatures of these films had shown 86 - 89 K. The film thicknesses were about 500 nm. Experimental results are presented for the insertion loss and return loss of the filter at 60 K.

1. 서 론

위성통신 시스템의 성능을 향상시키기 위해서는 우수한 스커트(skirt) 특성, 적은 삽입손실, 그리고 높은 전력 수용능력 등의 특성을 가진 여파기가 요구된다 [1,2]. 그러나 일반도체로 제작된 마이크로파 수동소자의 성능은 평면형 구조의 경우에 전도손실에 의하여 크게 감소된다. 이에 비해 일반도체 대신 초전도체를 사용하면 특유의 낮은 표면저항 때문에 전도손실을 줄일 수 있다 [3,4]. 특히, 고온초전도체는 작동 온도 범위가 더 넓어서, 마이크로파 수동소자로서의 응용에 가장 적합하다. 따라서 위성통신 시스템의 마이크로파 스트립선 여파기에 필터 등의 응용에 적절하다. 이러한 초전도 박막형 필터는 작은 표면저항 뿐만 아니라 스커트 특성이 우수하고, 아주 높은 양호도(Q-factor)를 가지기 때문에 [5], 한정된 전파 자원을 효과적으로 이용할 수 있게 해준다. 멀티플렉서 등과 같은 초전도 서브시스템에 구현될 수 있는 요구조건을 충분히 만족시킬 수 있다.

또한, 고품질의 위성통신용 소자를 제작하기 위해서는 고온초전도 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (YBCO) 박막을 에피택셜하게

증착하는 기술을 확보해야 한다. 이를 위하여 다른 박막 증착법에 비하여 더 용이하게 더 우수한 품질의 에피택셜한 박막을 얻을 수 있으며, 상대적으로 더 낮은 증착 온도에서도 증착이 가능한 펄스 레이저 증착법을 이용하여 YBCO 박막을 증착한다. 본 논문에서는 고온초전도 YBCO 박막을 이용하여 협대역을 가지는 마이크로파 수동소자인 헤어핀형 대역통과 필터를 구현하여 측정하고, 일반도체인 구리로 제작된 여파기와 그 특성을 비교하였다.

2. 본 론

2.1 실험방법

펄스 레이저 증착 시스템을 이용하여 MgO (100) 기판 위에 5,000 Å 두께의 YBCO 박막을 증착하였다. Nd:YAG 레이저의 355 nm 파장을 이용하였으며, 반복율은 5 Hz였다. 그림 1과 같은 펄스 레이저 증착 시스템에서 타겟 표면과 레이저 빔이 이루는 각도는 45°였으며, 레이저 빔은 렌즈를 통해 집광되어 1.3 J/cm²의 에너지 밀도를 보였다. 증착에 앞서 1 cm × 1 cm 크기의 MgO 기판을 아세톤과 메탄올에서 초음파 세척기로 5분씩 세척하여 질소가스로 건조시켰다. 기판온도 750 °C, 산소압 200 mTorr에서 증착하였으며, YBCO 박막이 증착된 후, 산소압을 500 Torr로 증가시켜 500 °C까지 천천히 냉각시키고 30 분간 산소 후열처리를 했다.

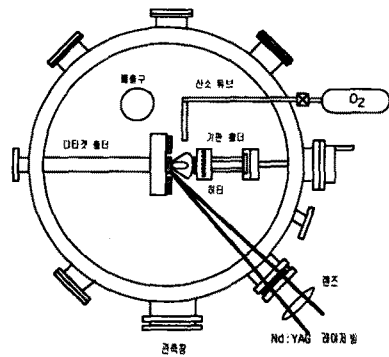


그림 1. 펄스 레이저 증착시스템

이렇게 만들어진 YBCO 박막은 일반적인 포토 리소그래피 법과 습식 에칭을 이용하여 마이크로스트립 협대역 여파기로 제작되었다.

초전도 필터의 두께는 5,000Å이고 일반적인 습식 식각 공정인 포토리소그래피를 이용하였다. MgO 기판의 뒷면의 접지면은 기판과 은을 잘 접합시키기 위해 먼저 E-beam을 이용해 Ti를 300Å 증착하고 그 위에 Thermal Evaporator를 이용해, 은을 1μm 증착시켰다. 제작된 HTS 협대역 필터의 마이크로웨이브 측정을 위해 캐비터를 제작하였고, K-커넥터에 연결하여 측정하였다.

2.2. 측정 결과 및 토의

제작된 필터의 패턴은 그림 2와 같이 3극을 가지는 헤어핀형 여파기로 제작하였다. 온도에 따른 저항의 변화를 측정하기 위하여 4단자법을 이용하였으며 그 측정 결과중의 하나가 그림 3에 나타나 있다. 증착 조건에 따른 YBCO 박막의 품질은 임계온도 T_c 를 측정하여 알 수 있다. 측정된 임계온도는 85 - 88 K 정도를 보였다. 저항이 거의 나타나지 않는 임계 온도는 이 박막의 경우 약 88.2 K로 측정이 되었고 바깥의 큰 그림은 광대역 특성을 이고, 그림 안에 들어 있는 작은 그림은 협대역 특성을 나타낸 것이다. 여기에서 고품질의 YBCO 박막의 경우 일단 임계온도 T_c 가 높아야 한다. T_c 가 높으면 박막의 성장이 잘 이루어져 있다고 할 수 있고, 소자의 동작 온도에서 훨씬 나은 특성을 기대할 수 있다[6].

그리고, 초전도 대역통과 여파기와 일반적인 상용 금속 구리를 이용한 여파기의 특성을 비교하였다. 초전도 필터에 사용된 접지판의 두께는 전자파의 침투 깊이를 충분히 고려하였다[7,8].



그림 2 헤어핀형 필터

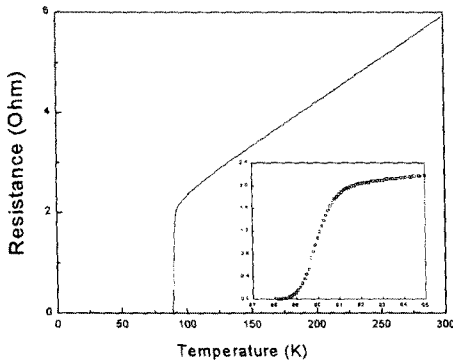


그림 3 온도에 따른 저항의 변화

그림 4와 5는 일반 금속인 구리 여파기와 초전도 여파기의 시뮬레이션 결과이다. 이 결과는 구리 여파기의 경우 삽입 손실이 -10.3 dB 정도이고, 3 dB 대역폭이 1.16%였다. 이에 반해 YBCO 초전도 박막의 경우 삽입 손실이 4.4 dB, 대역폭이 0.86%였다. 대역폭이 더 좁아졌음에도 불구하고 삽입 손실이 초전도 여파기가 더 좋은 이유는 초전도 물질이 임계온도 아래에서 구리보다 훨씬 낮은 저항을 가지기 때문이다.

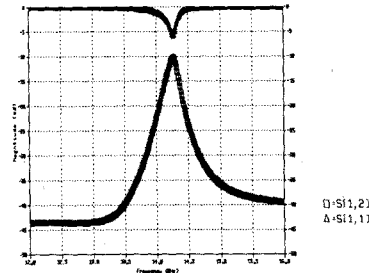


그림 4 구리 여파기의 시뮬레이션 값

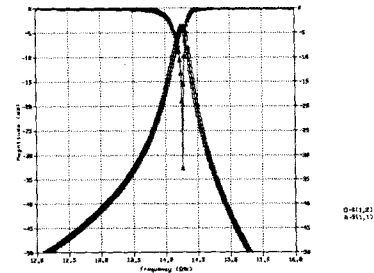


그림 5 YBCO 여파기의 시뮬레이션 값

그림 6과 7은 구리 여파기와 초전도 여파기의 측정 결과이다. 주파수 응답은 HP-8510C 벡터 네트워크 어널라이저를 이용하여 측정하였다. 측정 결과 초전도 여파기는 60K에서 입력 손실이 약 -3.7 dB, 대역폭은 약 1.8%를 보였다. 이에 반해 구리 여파기는 입력 손실 -13.1 dB, 대역폭 2.397%를 보였다.

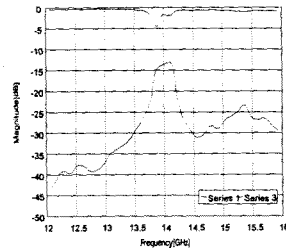


그림 6 구리 여파기의 측정값

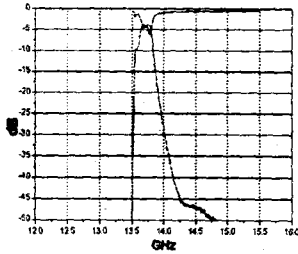


그림 7 YBCO 여파기의 측정값

3. 결 론

헤어핀형 대역통과 필터를 제작한 결과 구리 여파기의 경우 삽입 손실이 -10.3 dB 정도이고, 3 dB 대역폭이 1.16%였다. 이에 반해 YBCO 초전도 박막의 경우 삽입 손실이 4.4 dB, 대역폭이 0.86%였다.

초전도 박막을 사용할 경우 기존의 상용급속인 구리를 이용할 때보다 더 좁은 대역폭에 대해서도 더 적은 삽입 손실이 있다. 그러므로 초전도를 이용한 물질을 쓰면 한정된 전파 자원을 효과적으로 활용할 수 있다.

본 연구는 한국과학재단 특정기초 연구비 지원에 의한 결과임. (과제번호 : 96-0102-08-01-3)

(참 고 문 헌)

- (1) S.Y. Lee, Q.X. Jia, W.A. Anderson, and D.T. Shaw, "In situ laser deposition of superconducting $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ thin films on GaAs substrates", *J. Appl. Phys.*, 70, p.7170, 1991
- (2) G. W. Mitschang, "Space application and implication of high temperature superconductivity", *IEEE trans. Appl. Superconduct.*, vol. 5, pp. 69-73, June 1995.
- (3) C.H. Chen, J. Kwo, and M. Hong, "Microstructures of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ superconducting thin films grown on a SrTiO_3 (100) substrate", *Appl. Phys. Lett.* 52, p.841, 1988
- (4) J.D. Budai, R. Feenstra, and L.A. Boatner, "X-ray study of in-plane epitaxy of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ thin films", *Phys. Rev.* B39, p.12355, 1989
- (5) Y. Shen, "High temperature superconducting microwave circuits", Artech House, Boston, p. 103, 1994.
- (6) Zhi-Yuan Shen, "High-temperature superconducting microwave", pp. 32-34.
- (7) A. Porch et al., *IEEE-ASC* vol. 3, p. 1719, 1993.
- (8) Panagopoulos C, Cooper JR, Xiang T, Peacock GB, Gameson I, Edwards PP, Schmidbauer W, Hodby JW, "Anisotropic penetration depth of high-T-C superconductors", *Physica C*, vol. 1, pp. 282-287 P.1, 1997.