

22 GHz 초전도 필터의 주파수 응답 특성 분석

Frequency Response of Superconducting Filter

with Center Frequency 22 GHz

김철수, 송석천, 이상렬*

(Cheol-Su Kim, Seok Cheon Song, Sang Yeol Lee)

Abstract

The fabrication of high quality superconducting thin films using pulsed laser deposition (PLD) has been reported to find optimized processing conditions and to make the millimeter-wave devices. High temperature superconducting (HTS) YBCO films were prepared on MgO (10×10×0.5mm) substrates by the PLD. The 3 pole bandpass filter with the center frequency of 22 GHz for satellite communication was designed consisting of hairpin coupled-lines to reduce the configuration in size. YBCO films are c-axis oriented and show superconductive transition temperatures of 88~89 K with the transition widths < 0.5 K. The insertion loss of passband at 70 K was about 5 dB. The measured frequency response of superconducting filter will be compared with the simulation result.

Key Words(중요용어) : Superconductor, YBCO, Filter, MgO, hairpin.

1. 서론

밀리미터파 믹서 구현을 위해서는 핵심소자중 하나인 밀리미터파 고온 초전도 수동소자의 임피던스 정합 및 특성평가 연구가 반드시 필요하다. 한정된 주파수 자원의 효율적 활용을 위해 밀리미터파 대역의 소자 개발은 주파수가 높아질수록 수반되는 설계 및 제작, 특성평가의 난이도로 인한 문제점을 해결하기 위한 지속적이고 체계적인 연구가 필요하다. 특히, 밀리미터파 대역에서 구현된 수동 소자인 대역통과여파기의 구조와 고온 초전도 박막의 특성에 따른 주파수 응답특성의 변화를 체계적으로 분석하여 손실을 최소화하기 위한 수동소자의 임피던스 정합을 통한 고온초전도 밀리미터파 수동소자의 특성을 향상시키기 위한 기술확보가 반드시 이루어져야 할 것이다. 밀리미터파 소자 개발을 위한 고온초전도체의

응용은 정상 금속에 비해, 특히 두드러진 두 가지의 특징 때문에 연구개발의 필요성이 제기되고 있다.

첫째, 초전도체는 밀리미터파 표면저항(Rs)이 매우 작다는 점이다[1,2]. 따라서 신호 전송시, 매우 낮은 손실(loss)[3,4]과 매우 높은 양호도(Q-factor)를 기대할 수 있고[5], 회로패턴의 선폭감소에 따른 상호간섭도 현저히 줄일 수 있어, 밀리미터파 소자 제조시 고집적도를 얻을 수 있다.

둘째, 초전도체 내부로 전자장이 침투할 때, 침투 깊이가 사용주파수에 무관하다는 점이다. 특히 고온 초전도체 경우에는 거의 1 THz 정도에서도 이러한 특성이 유지되기 때문에 양질의 고온초전도 박막을 이용한 평면형 밀리미터파 부품의 개발은 밀리미터파 통신시스템에 큰 효과를 줄 수 있는 잠재력을 가지고 있다.

기존의 밀리미터파 소자의 소형화에 따른 중요한 문제로서 우선 성능의 저하를 들 수 있다. 밀리미터파 공진기의 경우 소형화에 따른 전자파 밀도의 증가는 공진기내 도체면에서의 더 큰 에너지 손실을 가져온다. 또한 기존의 대역통과필터(예, Chebychev filter)는 회로선폭이 감소하면 신호전송시 손실이 증

* 연세대학교 전기컴퓨터공학과
(서울시 신촌동 연세대학교,
Fax : 02-364-9770
E-mail : sylee@yonsei.ac.kr)

가하고 소형, 고성능의 밀리미터파 전자소자(부품)를 개발하기 위하여 양호도(Q값)가 높은 재료를 사용하면, 패키지(부품)의 크기가 매우 커지는 단점이 있다. 그리고 대부분의 마이크로스트립 필터의 구조가 평행결합형(parallel coupled type)이므로 극(pole)의 수효가 증가하면, 배제응답(rejection response)에서 나타나는 가장자리의 가파름(skirt steepness)이 많이 둔화된다.

따라서 상술한 문제점을 해결하고, 쉽게 설계 및 제작할 수 있도록, 수동 소자 구조로 평행결합선 방식 및 독창성이 있는 hairpin방식등을 고려한다. 또한, 이와함께 무저항의 고온초전도 에피택셜박막을 이용하면, 신호전송시는 감쇠와 잡음을 현저히 줄일 수 있고(무손실 특성), 신호처리시는 기존의 밀리미터파 부품(금속박막형 제품)에 비해 훨씬 높은 주파수영역에서도 우수한 성능(무분산 특성)을 기대할 수 있다. 그리고 양질의 에피택셜박막을 사용하기 때문에, 저가이면서 소형인 통신용 밀리미터파부품 개발이 가능하다.

이러한 밀리미터파 고온 초전도 시스템인 믹서를 개발하기 위해 반드시 선행되어야 할 기초기반연구가 밀리미터파대에서의 고온초전도 수동소자의 임피던스 정합과 특성평가 기술연구이다. 즉, 반사손실을 최소화시키기 위한 임피던스 정합 연구는 밀리미터파 소자에 있어 반드시 수행되어야 하며 이같은 연구를 수행하기 위해 예상되는 문제점을 극복하기 위한 방안들을 전술한 바와 같이 설계, 제작, 특성평가 분야에서 연구되어야만 한다. 이러한 기술적 문제는 상호 보완적으로 극복하여, 고온초전도 밀리미터파 필터들을 내장한 소형, 고성능의 밀리미터파용 믹서(특히, 다중칩 모듈)를 개발함이 절실하다. 따라서 믹서에 들어가는 수동소자의 임피던스 정합 및 특성 분석의 핵심기술연구는 고성능 밀리미터파대의 정보 통신분야에서 매우 중요하며 또한 이미 세계 선진 각국에서 진행되고 있는 연구 수준을 비교해 볼 때 세계적 경쟁력 확보 및 독창적 기술창출을 위해 주저할 수 없는 단계에 와 있다고 할 수 있다.

2. 실험 방법

고성능 밀리미터파 초전도 소자를 구현하기 위하여 고품질의 고주파용 초전도 박막을 증착하였다. 고온초전도체는 복잡한 원소와 결정구조를 가진 산화물로서 공정이 매우 까다로운 물질이나 레이저 공정을 이용하여 우수한 다성분계 고온초전도 박막을 제작할 수 있었다.[6] 레이저 원으로는 Nd:YAG 레이저가 이용되었으며 레이저 파장은 355 nm의 파장을 사용하였다. YBCO박막을 증착하기 위하여 산소압 200 mTorr에서 기판온도를 700°C~750°C까지 변화시켰으며, 레이저 에너지 밀도는 1.2~2.0 J/cm²까지 변화시켜가며 박막을 증착하였다. 증착되어진 박막의 물성 분석을 위해 X-선 산란법(XRD)와 4단자법, 주사 전자 현미경(SEM) 등을 이용하였다. 패턴제작을 위해 일반적인 포토 식각법으로 필터를 제작하였다. 최적 조건에서 MgO 기판상에 YBCO 박막을 증착시키고, 그 후 사진 공정을 행하였다. 패턴닝을 위하여 먼저 포토레지스트(Photoresist ; PR)를 도포

하였다. PR은 AZ-1512를 이용하였으며, PR을 회전도포기를 이용하여 행하여 졌고, 4,500 rpm에서 30 초 간 행하였다. 그 후 90 °C에서 15 분 간 소프트 베이킹을 행하였다. 이 과정에서는 PR을 오븐에서 가열해 줌으로써 PR의 용매를 약간 건조, 경화시켰다. 노광 과정은 접촉 정렬기(Contact Aligner)를 이용하여 시료를 제작된 마스크와 정렬시킨 후, UV source에 25 초간 노출시켰다. 노광된 시료를 현상액에서 70 초간 처리하여 감광된 PR막을 제거하고, 증류수(DI-water)로서 소자표면을 세정하였다.

이어서 습식식각(etching) 공정을 행하였다. 식각공정에 사용된 에칭(etching)액으로는 염산 또는 질산을 이용하였다. 식각이 완료된 후엔 필터 패턴의 예리도(sharpness)를 높이고, 불필요하거나 감광이 되지않은 PR막이나 불순물(유기물, 먼지) 등을 제거하기 위하여 아세톤과 증류수로 세정한 후 건조시킴으로써 미세형상화 공정을 마쳤다. 이상과 같이 고온 초전도 마이크로파 소자를 구현하는 사진식각 공정을 행하였다.

YBCO 박막의 접지평면은 Ti/Ag를 증착하여 제작되었다. Ti은 99.99 %의 Ti 타겟을 이용하였고, 이온 스퍼터를 이용하여 300 Å 두께로 증착하였다. Ar 가스를 1.2 ml/min으로 사용하였고, 방전 전압과 전류는 각각 400 V, 0.5 A였으며, 이온 소스의 전력은 전압, 전류가 각각 1,100 V, 19 mA였다. 기본 압력은 1×10^{-5} mTorr이었고, 증착 분위기압은 7×10^{-5} mTorr이었다. Ag는 열 증발기를(evaporator) 이용하여 2,000 Å 두께로 증착하였다.

3. 결과 및 고찰

4단자법에 의한 고온초전도 박막의 저항대 온도의 특성을 측정한 결과 735°C의 기판온도와 1.3 J/cm²에서 증착하였을 때, 그림 1과 같이 88 K~89 K의 전이온도를 갖는 박막을 얻을 수 있었다.

YBCO박막의 두께는 500 nm로 증착되었으며, 이와 같이 증착된 박막을 XRD 분석한 결과 그림 2와 같이 나타났다. 이것은 YBCO박막이 c축으로 잘 성장하였음을 나타낸다.

그림 3은 중심주파수가 22 GHz이고 1.6 GHz, 3 극 헤어핀 형태의 패턴으로 설계되었다. 설계 프로그램으로는Serenade 8.0을 사용하였다.

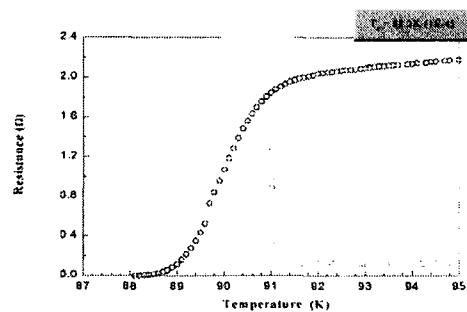


그림 1. YBCO박막의 저항 대 온도곡선

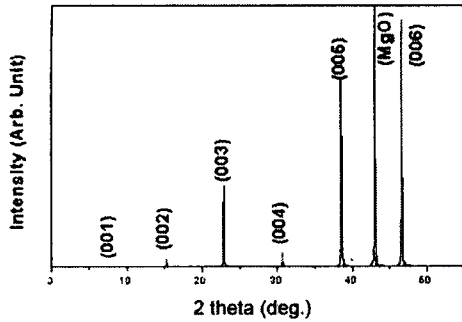


그림 2. YBCO박막의 XRD 패턴

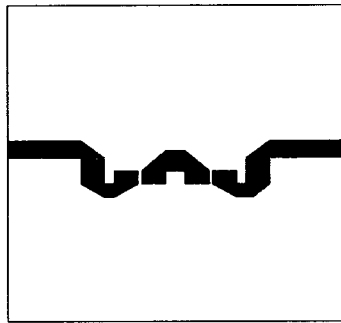


그림 3. 설계한 패턴의 모습

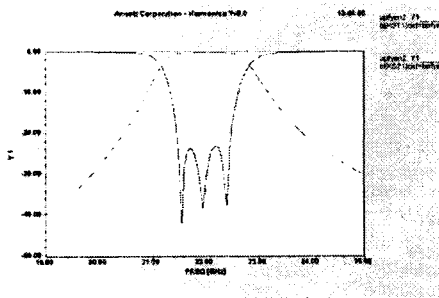


그림 4. 시뮬레이션한 주파수 응답 곡선

그림 4는 이렇게 설계한 필터의 simulation 결과를 나타내고 있다. hairpin-line 형태의 중심주파수는 22 GHz, 대역폭 1.6 GHz 이었다. 제작된 HTS 협대역 필터의 마이크로웨이브 측정을 위해 캐비티를 제작하여 HP-8510C 벡터 네트워크 어널라이저로 측정하였다. 그림 5는 22 GHz의 77K에서의 주파수 측정 결과이다. 22 GHz의 주파수 응답 특성은 중심주파수

21.2 GHz, 삽입손실, 4 dB, 대역폭 3 GHz, 선택도 13 dB/GHz의 특성을 나타내었다. 시뮬레이션 결과와 비교시 중심주파수가 800 MHz의 이동을 볼수 있었다. 이것은 동적 인덕턴스, 유전상수의 변화, 박막의 에칭에 의한 오차에 의한 결과로 사려된다.

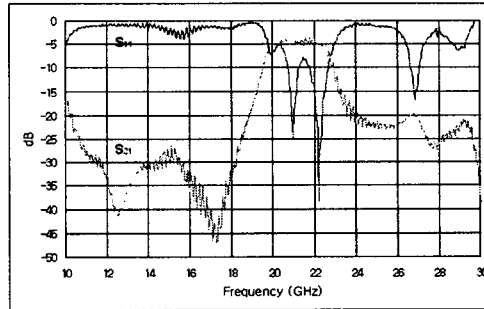


그림 5. hairpin type의 주파수 응답 곡선

4. 결 론

밀리미터파 고온 초전도체 수동소자를 이용하면 기존의 구리를 이용한 경우보다 효과적으로 사이즈를 줄일수 있다. 더욱이 헤어핀형의 필터를 설계함으로써 더욱더 크기를 줄일수 있었다. 제작한 필터의 경우 삽입 손실이 4 dB 정도이고, 대역폭이 3 GHz, 선택도 13 dB/GHz 였다. 그러므로 초전도를 이용한 물질을 쓰면 한정된 전파 자원을 효율적으로 활용할 수 있다.

이 논문은 ETRI(99-105)에 의하여 지원되었음.

참고 문헌

- [1] C.H. Chen, J. Kwo, and M. Hong, "Microstructures of $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ superconducting thin films grown on a $SrTiO_3$ (100) substrate", Appl. Phys. Lett. 52, p.841, 1988
- [2] J.D. Budai, R. Feenstra, and L.A. Boatner, "X-ray study of in-plane epitaxy of $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ thin films", Phys. Rev. B39, p.12355, 1989
- [3] S.Y. Lee, Q.X. Jia, W.A. Anderson, and D.T. Shaw, "In situ laser deposition of superconducting $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ thin films on GaAs substrates", J. Appl. Phys., 70, p.7170, 1991

- [4] G. W. Mitschang, "Space application and implication of high temperature super-conductivity", *IEEE trans. Appl. Superconduct.*, vol. 5, pp. 69-73, June 1995.
- [5] Y. Shen, "High temperature superconducting microwave circuits", Artech House, Boston, p. 103. 1994.
- [6] Douglas B. Chrisey, Graham K. Hubler "Pulsed laser deposition of thin films"