

**마이크로파 소자 응용을 위한  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  고온초전도  
박막의 제작과 특성분석**  
(Fabrication and Characterization of  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  High  
Temperature Superconducting Thin  
Films for Microwave Device Applications)

한국전자통신연구소: 이상렬, 강광용

## I. 서론

고온초전도 공진기, 필터, 안테나, 지연선 등과 같은 마이크로파 전송선소자 구현을 위한 고온초전도 박막제조에는 저유전상수를 갖는 기판이 필요하다. 이러한 용도에 매우 적합하고 저유전상수를 갖는 고온초전도 박막증착용 유전체 기판에는  $\text{MgO}$ ,  $\text{LaAlO}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  등이 있다. 이들 중  $\text{MgO}$ 기판( $\epsilon=9.6$ )은 유전상수가  $\text{LaAlO}_3$ ( $\epsilon=24$ )에 비해 낮으며,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 와는 달리  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (YBCO)와 어떠한 화학적 반응도 증착 중에는 일으키지 않는다. 그러나  $\text{MgO}$ 기판 위에 재현성 있는 고온초전도 박막을 성장시키기에는 기판의 흡습성(hygroscopic) 때문에 용이하지 않다. 따라서 마이크로파 전송선 소자응용을 위한  $\text{MgO}$ 기판 상에 양질의 에피택셜박막을 제조하기 위한 최적증착조건을 추출하는 공정개발이 매우 중요하다.

## II. 실험방법

본 연구에서는 펄스레이저 증착법을 사용하여  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (YBCO) 고온초전도 박막을 (100) $\text{MgO}$  기판 위에 성장시키고, 물성측정(전자기특성 및 표면특성)을 통하여 최적증착조건을 추출하였다. 추출된 공정변수를 기초로 하여 에피택셜 YBCO 고온초전도 박막을 제조하고, 이를 이용하여 고온초전도 마이크로파 공진기를 제작하여 양호도(Q-factor)를 측정하였다. 본 실험에서는 펄스레이저 증착법의 기판온도, 산소분압, 타깃-기판간의 거리, 레이저 에너지, 플룸의 형태 등 여러가지 증착조건을 체계적으로 변화시키면서 마이크로파용 고온초전도 박막제조를 위한 최적조건을 추출하였다. 그림1(a)에서 알 수 있는 바와 같이  $1\text{J}/\text{cm}^2$ 의 에너지밀도와 4cm의 타깃-기판간 거리와  $750^\circ\text{C}$ 의 기판온도 그리고 200mTorr의 산소분압일 때, 85K급의 임계온도값을 갖는 고온초전도 박막을 성장시켰으며 이러한 성장조건은 그림 1의 (b)에서 기판온도와 산소분압과의 관계에서 더욱 자세히 알 수 있다. 즉, 펄스레이저 증착법에서 생성되는 레이저 플룸의 테두리(가장자리)가 기판에 닿을 때의 증착조건인 200mTorr 산소분압과  $1\text{J}/\text{cm}^2$ 의 레이저 에너지밀도 하에서 기판의 온도가 어느 정도의 적정 증착조건 내에 있으면에서는 박막의 임계온도가 85~87K의 값을 가짐을 알 수 있었다. 이러한 조건하에서 증착된 고온초전도 박막은 XRD, SEM, AFM, TEM 등을 이용하여 결정성 및 표면을 분석하였고, 임계온도는 4단자법과 SQUID를 이용하여 측정하고 비교하였다. 레이저 증착법으로 성장시킨 YBCO/ $\text{MgO}$  초전도박막의  $T_c$ 는 85~87K 정도였으며, 양질의 박막으로 고온초전도 공진기를 제작한 후, 자체 설계.제작한 3-성분 치구(test-fixture)와 계측장비인 vector-network analyzer(HP 8510B)로써 77K에서 공진특성을 측정하여 그림 2에 나타내었으며, 3dB 대역폭을 이용하여 계산한 결과, 높은 양호도( $>10^3$ )를 보여 주었다.

### III. 결론

고온초전도 박막의 마이크로파 전송선소자 응용을 위하여, 저유전상수를 갖는 MgO 단결정 기판 위에 펄스레이저 증착법을 이용하여  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  초전도 박막을 증착하였다. 4 cm의 타깃-기판 거리하에서 200mTorr 산소분압과  $1\text{J}/\text{cm}^2$ 의 레이저 에너지밀도에서  $770^\circ\text{C}$ 의 기판온도를 유지시킬 때 임계온도가 가장 높은 박막이 성장되었으며, 증착되는 상태를 관찰해 보았을 때 우수한 증착조건은 레이저 플룸의 가장자리가 기판에 닿았을 때임을 알 수 있었다. 이러한 증착조건 하에서 제조된 고온초전도 에피박막을 이용하여 마이크로스트립 이중모드 공진기를 구현하고, 저온 마이크로파 응답특성을 살펴 본 결과, 77K에서  $10^3$  이상의 양호도( $Q_v$ )를 갖는 양질의 에피택셜 박막임을 알 수 있었다.

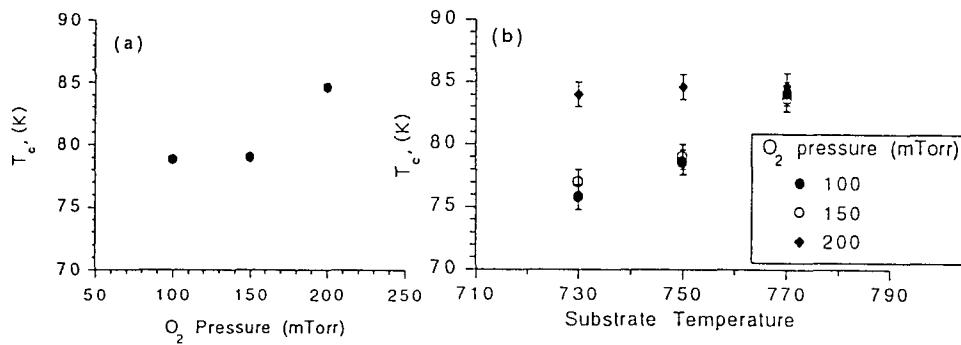


그림 1. (a) 기판온도  $750^\circ\text{C}$ , 타깃-기판간 거리 4cm, 레이저 에너지밀도  $1\text{J}/\text{cm}^2$ 로서 증착된 YBCO/MgO 초전도박막의 임계온도의 산소분압 의존성. (b) 다양한 산소분압과 기판온도의 변화에 따른 YBCO/MgO 박막의 임계온도와의 관계.

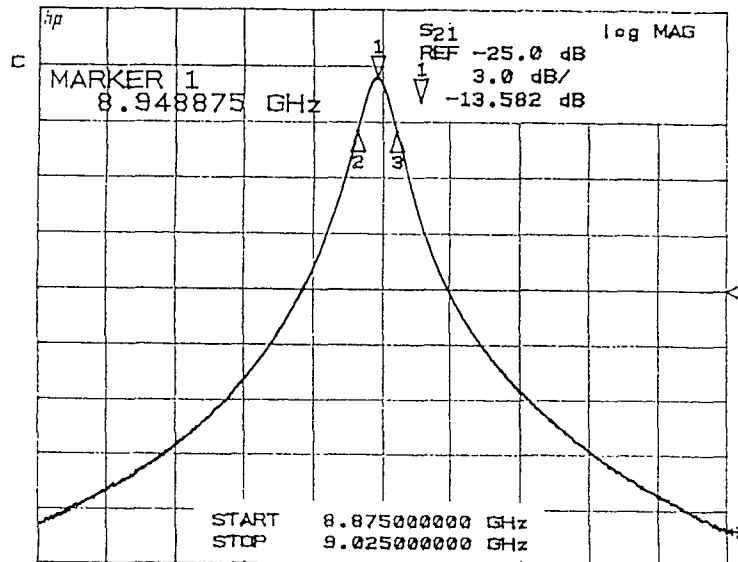


그림 2. 고온초전도 마이크로스트립 이중모드 공진기의 마이크로파 응답특성(77K).