

레이저 증착법을 이용한 금속기판상 고온초전도 박막증착 및 특성분석

이 상 열^o
연세대학교 전기공학과*

Fabrication and Characterization of High Temperature Superconducting Thin Film
on Metallic Substrate Using Laser Ablation

Sang Yeol Lee
Dept. of Electrical Engineering, Yonsei University

Abstract - Laser ablation was used to fabricate superconducting $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (YBCO) thin films on metallic substrates with an YSZ buffer layer. An ArF excimer laser with a wavelength of 193 nm was used to deposit both YSZ buffer layer and superconducting thin film. The characterizations of thin films were performed and compared. With a 200 nm YSZ buffer layer, c-axis orientation and $T_c=85$ K were obtained for a 200 nm-thick YBCO film.

다. 이중에서도 ArF(193 nm), KrF(248 nm), XeCl(308 nm) 엑시머 레이저는 우수한 고출력성과 단파장 레이저로서 관심이 모아지고 있다. 엑시머 레이저 응용분야로 이미 레이저 증착법은 그 우수성과 장점이 널리 알려져 있다[1]. 1980년대 중반 이후 고온초전도체의 출현으로 미국 Bellcore에서 최초로 엑시머 레이저에 의한 고온초전도 박막증착이 보고된 이래로 전세계 수십여 연구팀들이 레이저 증착연구에 참여하였으며 이러한 노력으로 엑시머 레이저를 이용한 증착법은 박막제조 방법중 가장 단순하면서도 우수한 특성을 갖는 박막을 제조하게 되었다. 고온초전도 박막의 성장은 산화물 초전도체의 다성분성, 이방성 및 화학적 반응등 공정변수가 많아 용이하지 않다. 이에 따라, 성장제어가 용이하고 재현성 있는 고온초전도 박

1. 서론

자외선 영역의 파장에서 고출력의 펄스레이저로 각광받는 회가스 엑시머 레이저는 다른 기체 레이저에 비해 원자의 영역의 단파장 레이저로서 여기준위가 높고 엑시머가 상준위에서 있는 수명이 대체적으로 짧

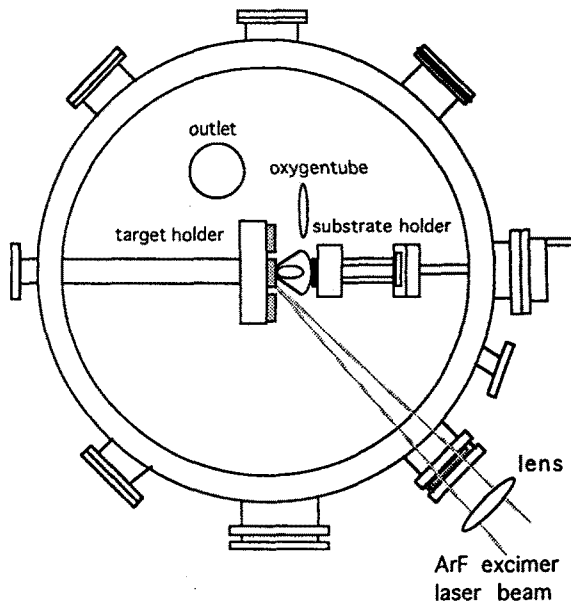


그림1. 레이저 증착장치의 개략도

막의 증착이 요구되는 바 레이저 증착법은 다성분 고온초전도 박막의 화학양론적 제어가 용이하며 고압의 산소분위기하에서도 증착이 가능하므로 매우 우수한 증착기법으로 입증되었다[2]. 고온초전도 응용을 위해서는 높은 임계전류밀도, 높은 임계온도 그리고 우수한 박막결정성을 갖는 박막의 용이한 성장제어가 바람직하다. 특히, 고온초전도 선재, 케이블, 자석, 자기차폐와 같은 전력분야응용을 위해서는 일정 강도를 갖으며 휘어질 수 있는 금속기판상 고임계전류밀도를 갖는 고온초전도 박막제조기술이 필요하다. 그러나 700°C의 박막증착온도로 금속기판과 박막간 상호작용이 진행되어 박막을 열화시켜 고품질의 고온초전도 박막을 얻기가 매우 힘들다.

본 연구에서는, 이러한 열화를 막기 위해 YSZ (yttrium-stabilized ZrO₂) 완충막을 도입하여 금속기판상 2000 Å 두께의 YSZ 완충막 증착 후 YBCO 초전도 박막을 완충막상 성장시켰다. 기판과 박막의 상호작용을 막기 위한 완충막의 필요성은 이미 많은 경우에 입증되어졌다[3-5]. 박막의 특성을 온도에 따른 저항측정, 주사전자현미경, X-ray 회절법등으로 분석하였다.

2. 실험방법

엑시머 레이저를 이용한 고온초전도 YBCO 박막증착시스템을 그림1에 나타내었다. 레이저 빔으로는 193 nm의 파장을 갖는 ArF 엑시머 레이저가 사용되었으며 렌즈를 통해 집광시킨 레이저 빔의 에너지 밀도를 2.0 J/cm² 로 유지시켰다. 다타겟용 홀더에 고온초전도 YBCO 타겟과 버퍼용 YSZ 타겟을 설치하여 증착간 타겟홀더를 회전시켜 타겟을 교체하여 다층박막을 증착할 수 있게 하였다. 금속기판으로는 Ni로 구성된 Hastelloy를 사용하였으며 증착챔버에 장착된 기판을 아세톤, 메탄올, 증류수로 각각 3분간 초음파 세척을 실시하였다. 세척이 완료된 기판은 은페이스트로 기판가열용 히터에 부착시켰다. 챔버의 진공도를 10⁻⁶ mtorr를 유지시키며 기판을 상온에서부터 분당 25°C로 가열하여 700°C에 도달하게 하였다. 기판의 온도가 증착온도에 이르면 고순도산소를 챔버안에 공급하여 200 mtorr의 산소압을 유지시키고 YSZ 타겟을 회전시키며 레이저 빔을 집광하여 타겟상에 조사한다. 레이저 반복율은 5 Hz를 사용하였으며 증착간 정확한 온도판독을 위해 열전쌍(thermocouple)을 히터블록에 삽입하여 온도를 측정함과 동시에 고온계(pyrometer)를 사용하여 기판표면 온도를 이중확인



YBCO
superconducting
thin film
YSZ buffer layer
Hastelloy
substrate

그림2. 금속 기판상 레이저로 증착된 다층박막의 주사전자현미경 단면도. 기판과 버퍼층과 초전도 박막간 계면이 선명하게 관찰되며 박막의 표면거칠기가 약간의 표면알갱이를 제외하고는 매우 평탄함을 알 수 있다.

하였다. YSZ 완충막 증착 후 타겟을 회전교체하여 YBCO 타겟에 레이저 빔을 조사하여 초전도 박막을 완충막 위에 증착시켰다. 박막성장이 완료된 후에 진공챔버의 밸브를 잠그고 챔버내의 산소압을 500 torr로 승압시킨 후 기판의 온도를 500°C로 낮추고 in situ로 열처리공정을 30분간 실시하였다. 이러한 열처리공정이 끝난 후 기판온도를 상온까지 낮추어 고온초전도 박막의 제조공정을 완료하였다.

제조된 박막의 전기적 물성 분석을 위해 4단자법을 이용한 저항측정법을 이용하였으며 박막의 결정을 보기위해 XRD(X-ray diffraction pattern)를 사용하였고 표면형상 및 미세조직은 SEM(Scanning Electron Microscopy)을 사용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

그림2에 주사전자현미경으로 관찰한 금속기판상 다층박막의 단면 및 표면을 나타내었다. 단면 사진으로부터 금속기판과 완충막, 완충막과 고온초전도박막사이의 경계면을 명확하게 관찰할 수 있었으며 초전도 박막의 표면이 평탄함을 알 수 있었다. 한편, YSZ 완충막이 없는 금속기판에 직접 증착된 YBCO 박막의 표면은 매우 거칠었다. 완충막을 이용한 초전도 박막의 제조는 그 표면형상 및 미세구조가 완충막을 사용하지 않았을 때의 박막성장에 비해 우수함을 알 수 있었다.

그림3의 (a)는 YSZ 완충막을 증착하지 않고 금속기판상에 직접 YBCO 박막을 증착시킨 후 측정된 YBCO 박막의 전기저항특성이며 (b)는 YSZ 완충막을 증착시킨 Hastelloy 기판상에 증착시킨 YBCO 박

막의 전기저항특성을 온도함수로 측정된 것이다. 그림3에서 알 수 있듯이 박막의 초전도성이 완충막을 이용하여 증착한 초전도 박막에서는 임계온도가 85 K에 달했으나 완충막 없는 금속기판상 박막의 온도의존적 전기저항특성은 금속형이 아닌 반도체형의 임계온도 40 K 정도의 낮은 값을 보였다.

4. 결론

자외선 영역의 짧은 파장을 갖는 엑시머 레이저를 이용하여 Ni 합금인 Hastelloy 금속기판에 고온초전도 박막을 성공적으로 증착시킬 수 있었다. 금속기판상에 직접 증착시킨 초전도 박막은 기판과 박막간의 상호작용으로 열화가 됨을 관찰하였으며 YSZ 완충막을 도입한 경우 박막의 임계온도가 85 K에 달하는 매우 우수한 초전도성을 유지시킬 수 있었다.

참고문헌

- [1] G.K.Hubler, "Pulsed Laser Deposition", MRS Bulletin, February, pp.26-28, 1992.
- [2] J.Cheung and J.Horwitz, "Pulsed Laser Deposition History and Laser-Target Interactions.", MRS Bulletin February, pp.30-36, 1992.
- [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, pp.7170-7172, 1991.

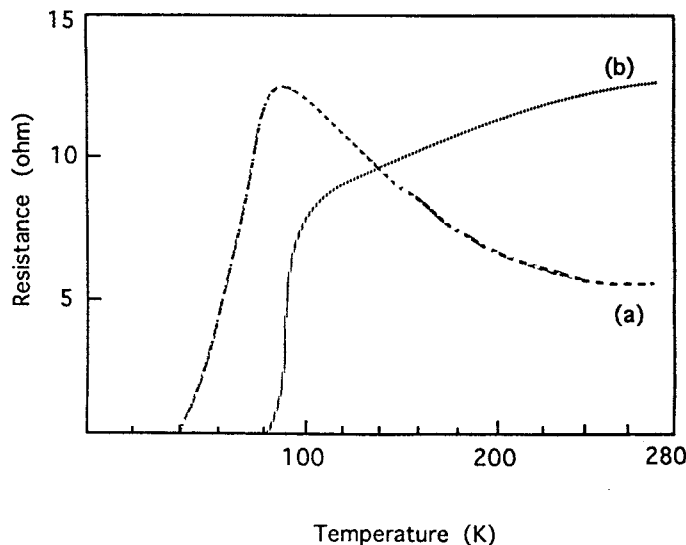


그림3. 금속기판상 초전도 박막의 전기저항의 온도의존특성 (a) 버퍼층이 없는 금속기판상 증착된 초전도 박막의 전기저항특성 (b) YSZ 버퍼층을 증착시킨 금속기판상 초전도 박막의 전기저항특성.