

## Fabrication of good quality YBCO/STO/YBCO multilayers by using an ArF excimer laser deposition technique

### ArF excimer laser 증착 기술을 이용한 우수한 특성의 YBCO/STO/YBCO 다층 박막 제작

Tae-Bong Jung and Joon-Hee Kang

정 태봉, 강 준희

*Department of Physics of University of Incheon, Incheon 402-749, Korea*

*인천광역시 남구 도화동 인천대학교 물리학과, 402-747*

#### Abstract

High temperature superconductor shows a good electric and magnetic properties and is known as a good candidate in various electronic device application. At present the technique to construct multilayers composed of HTS films and insulator films has not been fully studied in domestic research institutes. Since the construction of any reasonable electronic devices require the use of multilayers, the development of HTS electronic devices has been limited. To manufacture multiplier, several processing steps which involve deposition and ion millings are required. To manufacture a good quality multilayered structure, not only the deposition techniques but also the proper patterning have to be developed. In this work, we have fabricated a YBCO/STO/YBCO multiplier and studied the electronic properties of it.

#### I. 서론

1986년 9월 고온 초전도체가 처음 발견된 이후 초전도체 만이 가지고 있는 우수한 전기적, 자기적인 특성으로 인하여 여러 분야에서 다양한 응용연구가 진행되고 있는데, 현재는 전자 공학적인 응용 가능성으로 인하여 여러 가지 전자 소자로서의 연구가 활발히 진행중이다.

고온 초전도체를 이용한 전자소자로서의 활용은 우수한 특성으로 인하여 다양한 분야에서 연구되고 있는데 급속히 증가하는 정보의 홍수 속에서 대량의 정보를 보다 안정적이고 빠르게

처리할 수 있는 전자소자의 개발이 절실히 요구되고 있으나 반도체 소자의 한계성과 속도의 증가를 위해 소요되는 제작비의 증가, 공정 기술의 발전 한계로 인하여 새로운 전자소자의 개발이 절실히 요구되고 있다. 초전도 디지털 전자 소자는 게이트당 수 W만의 전력을 소모 [1] 하면서도 수백 GHz로 작동하므로 반도체 소자의 한계를 극복할 수 있는 대안으로 제시되고 있어 많은 선진국에서 연구 중이며 이에 따라 국내에서의 기술개발이 절실히 요구되고 있다.

고온 초전도체의 전자소자로서의 응용은 대부분 박막 형태의 소자로 활용되고 있는데 이러

한 전자소자로의 응용을 위해서는 실용 가능한 형태로의 제작과 원하는 특성을 지녀야만 한다. 따라서 우수한 특성을 갖는 고온 초전도 박막 제작 기술을 확보하는 일은 매우 중요하다.

초전도 전자 소자의 제작을 위해서는 양질의 단층 박막제작 기술이 선결되어야 함은 물론이며 여러 층의 박막을 접합하는 과정에서 발생하는 여러 가지 특성 저하 요소를 해결하여야 한다.

따라서 본 연구에서는 레이저 증착법에 의한 다층 박막제작에 있어서의 여러 가지 장애 요소에 대한 고찰을 통하여 우수한 다층 박막 제작 기술을 연구하였다. 고온 초전도 전자소자로의 응용을 위해서는 각층을 이루는 박막들이 우수한 특성을 보이며 고르게 증착 되어야 한다. 이 과정에서 여러 번의 증착과 원하는 형태로의 식각 과정이 반복적으로 수행되어야 하며 식각 과정에서는 patterning 작업과 ion-milling [2] 작업이 이루어지는데 이 과정에서 생기는 특성 저하를 줄이기 위한 연구를 수행하였다.

## II. 실험방법

다층 박막의 제작 시 선결과제는 양질의 YBCO 박막을 제작하는 것이다. 이를 위해 중요한 변수에 대한 고찰[3]-[7]을 통하여 우수한 특성을 갖는 양질의 YBCO 박막을 제작 하였다.

우선 전기적 특성이 우수한 YBCO 박막 제작 조건을 찾고 이러한 박막 제작 조건을 바탕으로 다층 박막 제작조건을 찾는 방법으로 실험을 진행하였다. 전기적 특성이 우수한 YBCO 박막 제작 조건을 구하여 이러한 조건 하에서 제작된 박막의 임계 온도 분포 곡선은 그림 1에서 보여진 바와 같다.

다층 박막의 제작을 위한 첫번째 실험으로 LAO 기판 위에 YBCO와 STO를 in-situ로 증착한 후 STO를 pattern하여 YBCO의 임계온도  $T_c$ 를 조사하고 XRD 회절 패턴을 통하여 결정성을 분석 하였다.

두번째 실험으로 pattern에 의한 영향을 분석하기 위하여 LAO 기판 위에 증착된 YBCO를 photolithography 과정을 통하여 patterning 하고

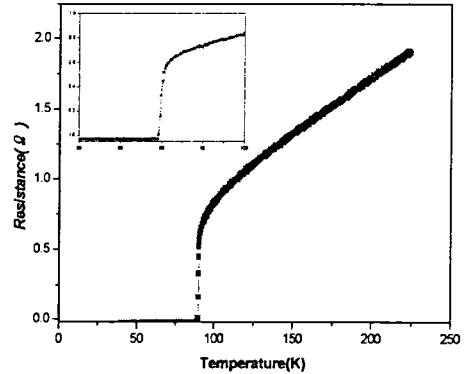


그림 1. 우수한 전기적 특성을 보인 YBCO 박막의 임계온도  $T_c$  분포 곡선 ( $T_c=89.5K$ ).

ion-milling system을 통하여 식각 하였다. 식각된 YBCO의 임계온도를 4단자 측정법을 이용하여 측정 하였다.

세 번째 실험으로 ion-milling시 over-etching에 의한 영향을 분석하였다. 동일한 STO 기판 두개를 사용하여 하나의 기판은 ion-milling 공정을 실시하고 다른 하나의 기판은 ion-milling 공정을 하지 않은 상태에서 동시에 YBCO를 증착하여 그 특성을 비교 하였다.

이러한 과정을 통하여 분석된 다층 박막 공정을 통하여 STO 기판 위에 YBCO를 증착하고 pattern 공정을 거쳐 YBCO/LAO 기판 위에 STO와 YBCO를 in-situ로 증착 하였다.

증착된 상부 YBCO를 pattern 한 후 다시 STO를 pattern 하여 하부에 있는 YBCO의 전극을 형성하였다.

상부와 하부 YBCO의 특성을 분석하기 위하여 STO 기판 위에 증착된 YBCO를 증착 후 pattern공정 전에 4단자 법을 사용하여 임계온도를 측정 하였고 pattern과 상부의 STO와 YBCO 증착, pattern 공정을 거쳐 형성된 전극을 통하여 다시 임계온도를 측정하여 pattern과 증착 과정에서의 특성의 변화를 측정하였고, 상부와 하부 YBCO 특성의 분석을 통하여 PR 작업과 ion-milling 작업에 의해 상부에 증착되는 박막의 특성 저하에 대한 연구를 수행 하였다.

박막의 증착에는 파장이 193nm인 ArF Excimer Laser를 사용 하였으며, 타겟과 기판과의 거리는 56mm, 제작시 산소 분압은 400mTorr, 제작 후 냉각 시에는 500 Torr를 유지 하였다.

제작 시 기판 온도는 YBCO는 745 °C STO는 720 °C에서 제작 하였으며 laser 에너지 밀도는 1.24 J/cm<sup>2</sup>이었다.

YBCO 증착후 pattern 공정을 거쳐 다음 층의 박막을 증착 하기위해 기판의 온도를 올릴 때는 증착된 YBCO로부터 산소가 빠져나가는 것을 막기위해 chamber 안의 진공도를 10<sup>-6</sup>Torr 까지 낮추고, 산소를 주입하여 400mTorr로 유지 시킨 후 기판의 온도를 상승시켰다.

다층 박막을 제작하는 중에 실험조건이 변하여 다층 박막의 연구에 사용된 박막의 임계온도는 다소 낮아 졌으나 다층박막의 제작 조건을 연구하는 데는 크게 문제가 되지 않으므로 그대로 진행하였다. 현재 임계온도가 낮아진 이유에 대해서는 본 연구와 병행하여 연구를 하고 있다.

### III. 결과

다층 박막의 제작 시 수행하는 patterning에서는 photoresist (PR)을 사용한 masking 작업이 이루어진다. 박막에 PR을 입혀 노광 후 ion-milling 작업을 하고 아세톤을 사용하여 PR을 제거하게 되는데 박막 위에 입혀져 있는 PR이 잘 제거되지 않을 경우 증착된 박막의 특성이 저하되며 상부에 증착 되는 박막도 정상적으로 성장하지 못하는 요인으로 작용된다. PR이 잘 제거 되는 않는 요인은 노광 전 이루어 지는 soft baking과 hard baking시의 가열 온도가 높을 경우가 주원인이 되며 따라서 이때의 온도를 가능한 낮추어 주는 것이 중요하다. PR 작업 시 감광 후 soft baking 온도는 90 °C에서 1분30초, developing 후 hard baking 은 110 °C에서 1분30초 실시했으며 ion-milling 후 아세톤 세척으로 PR 이 잘 제거되어 다음 단계의 박막 증착 시 박막의 증착이 용이하게 이루어졌다

PR을 사용한 masking 작업 후 ion을 사용한 milling 작업이 이루어지는데 이온에 걸여주는

가속 전압이 과도하게 높을 경우 식각 된 부분에 증착되는 박막이 올바른 성장이 이루어지지 않는다. 이러한 현상은 이온의 가속전압이 높을 경우 식각되는 박막이나 기판의 표면이 균일하게 식각되지 않아 매우 거친 표면을 만들게 되고 이에 따라 상부에 증착되는 박막이 올바른 결정을 생성하지 못해 좋은 특성을 나타내지 못한다. 따라서 이온을 가속해 주는 Accelerator 전압을 낮추어서 식각률을 낮추어 주어 식각 시간을 조절하는 것이 가장 중요하다. 본 연구에서는 Accelerator 전압을 -120로 걸어주고 25분 동안 식각하던 두께의 박막을 -80 V를 걸어 주고 60분간 식각하는 방법을 사용하여 특성의 저하를 막을 수 있었다. 이때 ion-gun과 박막의 거리는 11cm, gun과 박막은 45° 경사각을 유지하였다.

이러한 결과를 바탕으로 다층 박막의 제작을 위한 실험을 진행 하였다.

그림 2에서 보여지고 있는 것은 LAO 기판 위에 YBCO를 증착하여 선폭을 0.5mm로 patterning한 후 임계온도를 측정한 graph와 LAO 기판 위에 STO/YBCO박막을 in-situ로 증착하고 STO를 식각하여 전극을 형성한 후의 임계온도 graph이다. 여기서 보여진 바와 같이 YBCO 박막이 STO 박막의 증착으로 인하여 degrade 되는 정도가 그리 많지 않은 것을 알 수 있다.

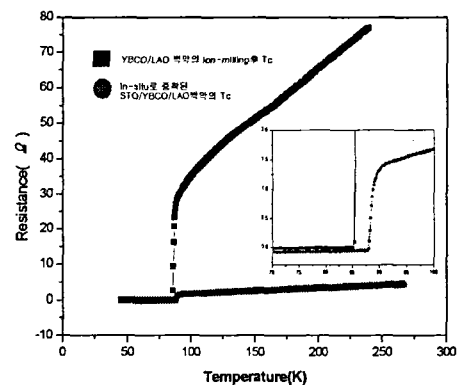


그림 2. YBCO/LAO 박막의 milling에 의한 특성저하 분석과 in-situ로 증착된 YBCO의 특성 분석을 위한 임계온도 Tc의 측정 곡선.

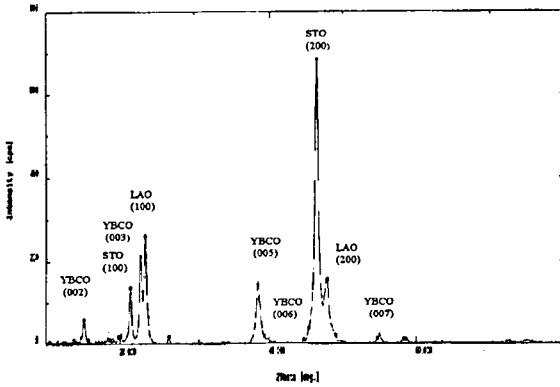


그림 3. STO/YBCO/LAO 박막의 XRD 회절 패턴. STO와 YBCO의 결정이 잘 성장되었음을 알 수 있다

그림 3은 in-situ로 증착한 STO/YBCO/LAO의 XRD 회절 패턴이다.

첫번째 실험과 두 번째 실험의 결과 정상적으로 성장한 YBCO의 상부에 증착되는 박막(STO)은 올바른 결정성을 보이며 증착되고 YBCO의 경우도 좋은 특성을 보이며 pattern의 영향을 많이 받지 않았다.

그림 4는 ion-milling한 기판과 하지 않은 기판에 동시에 YBCO를 증착하여 그 특성을 비교한 것이다.

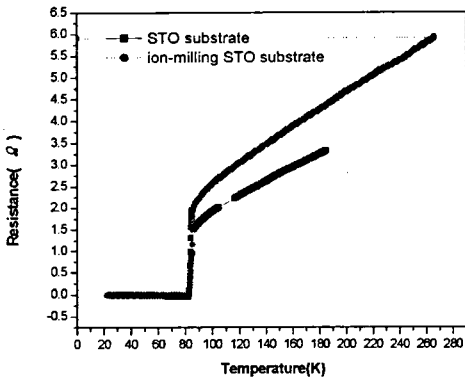


그림 4. 동일한 STO기판을 이용하여 하나의 기판은 ion-milling을 하고 하나의 기판은 하지 않은 상태에서 동시에 YBCO를 증착하여 임계 온도 Tc를 비교한 그림.

본 연구에서 ion-milling 과정은 가속전압

을 -120V로 하여 45분간 이루어졌다. 두 기판의 임계온도는 차이가 거의 없이 균일한 성장이 이루어짐을 알 수 있다.

이러한 결과를 바탕으로 STO 기판 위에 YBCO/STO/YBCO를 증착하여 그 특성을 분석한 결과가 그림 5이다.

그림에 보여진 것처럼 상부와 하부 임계온도의 차이가 아주 크지 않으며 PR 작업과 ion-milling에 의하여 박막의 특성 저하가 많이 일어나지 않고 균일하게 성장하였다.

상부와 하부 YBCO의 pattern은 선폭이 0.5mm로 이루어졌으며 4단자 측정법을 위한 4개의 전극을 형성하여 측정하였으며 상부와 하부의 YBCO가 십자로 교차하도록 설계하였다. 그림5에서 A graph는 pattern을 하지 않은 상태에서 10 × 10mm인 YBCO 박막의 모서리 4곳에서 측정한 것으로 pattern 공정을 거친 후인 B graph와 상온에서의 저항 값은 많은 차이를 보이고 있으나 임계온도는 많이 차이가 나지 않아 patterning에 의하여 영향을 많이 받지 않음을 알 수 있다.

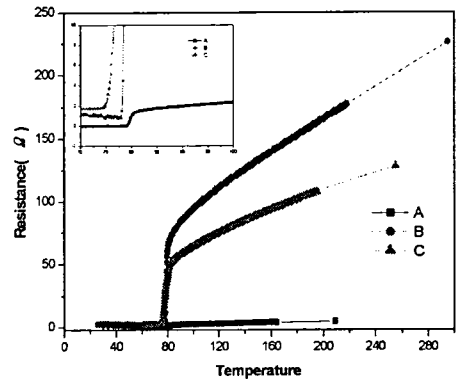


그림 5. STO 기판 위에 YBCO를 증착 후 바로 측정한 임계온도 Tc (A)와 측정 후 pattern 공정과 YBCO/STO를 증착공정, YBCO와 STO의 pattern 공정을 거쳐 다시 측정한 하부 YBCO(B)의 임계 온도 Tc, STO 상부에 증착된 TOP YBCO의 임계온도 Tc(C)의 분포.

#### IV 결론

본 연구에서는 다층 박막의 제작과정에서 수행되는 각 공정에 대한 실험을 하였으며 이러한 결과를 토대로 하여 YBCO/STO/YBCO/STO 다층 박막을 제작하여 특성을 분석 하였다.

PR 작업의 수행 시에는 PR이 완전히 굳어서 제거 되지 않는 것을 막기 위하여 baking 온도와 시간을 조절 하여 온도와 시간을 최대한 낮추는 것이 중요하며 또한 ion-milling 공정에서 일어나는 손실을 줄이기 위해서는 ion에 가해지는 가속 전압을 줄여 ion-milling 시 식각률을 조절해 주어야 함을 알 수 있었다.

이러한 실험을 통하여 제작 시 수행되는 PR 작업과 ion-milling 작업에서 YBCO 의 전기적 특성 변화를 줄일 수 있었으며 다층박막 제작을 위한 공정 기술을 확립 할 수 있었다.

본 연구에서 수행한 다층 박막의 제작 공정을 사용 하여 다층 박막을 제작할 경우 전자회로의 응용을 위한 우수한 특성의 다층 박막 제작이 가능할 것으로 기대 된다.

#### 참고문헌

- [1] C. L. Jia, M. I. Faley, U. Poppe, and K. Urban, Appl. Phys. Lett., 67, 3637 (1994)
- [2] K. K. Likharev and V. K. Semenov, IEEE Trans. Appl. Supercond. 1, 3 (1991)
- [3] H. F. Sakeek, M. Higgins, W. G. Graham, T. Morrow, R. J. Turner and D. G. Walmsley, J. Appl. Phys. 70, 2455 (1991)
- [4] J. Q. Zheng, M. C. Shih, S. Williamms, S. J. Lee, Hiroshi Kajiyama, X. K. Wang, Z. Zhao, K. Viani, S. Jacobson, p. Dutta, R. P. H. Chang and J. B. Ketterson, Appl. Phys. Lett. 59, 231 (1991)
- [5] X. D. Wu, A. Inam, T. Venkatesan, C. C. Chang, P. Barboux, J. M. Tarascom, B. Wilkens, Appl. Phys. Lett., 52, 754(1988)
- [6] J. D. Suh, G. Y. Sung, Physica C, 252, 54(1995)
- [7] J. C. Pack, MOST, KRIS-93-145-IR, 26 (1993)