

B16

a-축 및 c-축 배향 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 초박막의 초전도성에 대한 탄성변형효과

(Elastic Strain Effect on the Superconductivity of a-axis and c-axis oriented $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ Ultrathin Films)

서정대, 성건용

한국전자통신연구소, 기초기술연구부

1. 서론

양질의 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (YBCO) 단층박막이 성공적으로 제조된 이후, 고온초전도 박막의 전자소자 응용을 위하여 초박막과 다층박막의 초전도성에 관하여 많은 연구들이 행하여 졌다. 일반적으로 YBCO 고온초전도체의 초전도성은 YBCO 결정내의 산소함량, 산소 정렬상태, 그리고 정방정상과 사방정상의 상전이에 의존한다고 알려져 있었다. 그러나 최근에 YBCO 고온초전도 박막의 두께가 얇아지면 박막과 증착기판간의 격자상수와 열팽창계수 차이로 인한 탄성변형이 YBCO 박막 내에 발생하여 초전도성이 상실된다고 보고되었다[1-3]. c-축 배향된 YBCO 초박막에서 YBCO 박막의 두께가 임계두께 이하인 경우 탄성변형효과에 의한 초전도성의 저하가 발생되었으며, 임계두께에서 전위들이 생성되어 탄성변형 효과가 소멸되는 것으로 보고되었다[4].

본 연구에서는 YBCO 박막두께에 따른 초전도성의 변화를 관찰하여 a-축 배향 YBCO 박막과 c-축 배향 YBCO 박막의 탄성변형 효과를 비교, 고찰하였으며, 이 두 YBCO 박막위에 SrTiO_3 (STO)박막을 증착하여 초전도 전계효과 소자제작이 가능한지를 검증하고자 하였다.

2. 실험방법

YBCO, $\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (PBCO), STO박막은 펄스레이저 증착공정으로 제조하였다. YBCO 박막의 결정배향을 조절하기 위하여 a-축 배향박막은 STO(100) 증착기판의 온도를 $650\text{ }^\circ\text{C}$ 로 유지한후 100 mTorr 의 산소분위기속에서 PBCO 박막을 밀틀층으로 증착한후, 기판온도를 $770\text{ }^\circ\text{C}$ 로 승온시켜 YBCO 박막을 증착하는 2단계 증착법을 사용하였다. YBCO박막 증착후 산소압력을 500 Torr 로 승압시켜 $500\text{ }^\circ\text{C}$ 의 온도에서 한시간동안 열처리 하였다. 한편 c-축 배향 박막은 기판을 $770\text{ }^\circ\text{C}$ 로 승온시켜 YBCO 박막을 증착한후 a-축 배향박막 증착시와 동일한 열처리 공정을 거쳤다. 박막증착에 사용한 펄스레이저는 308 nm XeCl를 사용하였으며, 에너지밀도가 1 J/cm^2 인 레이저펄스를 5 Hz 의 반복률로 타깃에 조사하였다. 증착박막의 두께는 타깃에 조사되는 펄스수를 달리하여 조절하였다. YBCO박막의 물성은 4전자법, SEM, SIMS를 사용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

YBCO 고온초전도체 박막의 두께에 따른 임계온도의 변화를 측정한 결과, a-축 배향 YBCO 박막의 경우, 박막두께가 25 nm 이상일때 영저항 온도($T_{c,zero}$)가 83 K 부근을 나타내었으나, 박막두께가 감소함에 따라 상온 저항은 증가하였으며 초전도성은 점차 상실되었다. 그리고 온도감소에 따라 반도체적인 거동을 보여주었다. c-축 배향 박막의 경우, 박막두께가 10 nm 이상에서는 임계온도가 85 K 를 나타내었으나, 박막두께가 5 nm 로 감소하면 임계온도는 20 K로 감소되었다. 그러나 c-축 박막에서는 상온 저항의 뚜렷한 변화는 나타나지 않았다. 한편, 전이개시 온도($T_{c,onset}$)는 a-축 배향박막에서는 박막의 두께에 관계없이 거의 일정함을 보여주었으나 c-축 배향박막에서는 50 K 이상 현저히 감소되었다.

임계두께 이하의 YBCO 박막에서 초전도성이 저하되는 현상은 YBCO 초박막에 존재하는 인장응력에 의한 격자상수의 팽창때문으로 설명할 수 있다. 인장응력은 YBCO박막과 STO(100) 기판간의 격자상수의 차이 - YBCO ($a=3.82 \text{ \AA}$, $b=c/3=3.89 \text{ \AA}$), STO ($a=3.91 \text{ \AA}$) 와 열팽창 계수의 차이 - YBCO ($\alpha_{ab}=8 \sim 10 \times 10^{-6} /K$, $\alpha_c=16 \sim 20 \times 10^{-6} /K$), STO ($\alpha=8 \sim 10 \times 10^{-6} /K$) 에 의해서 발생된다.

a-축 배향 박막에 존재하는 변형률의 크기($\epsilon_c=12.5 \times 10^{-3}$)가 c-축 배향 박막에 존재하는 변형률의 크기($\epsilon_a=24 \times 10^{-3}$)보다 더 작은값을 가짐에도 불구하고 임계두께는 높은 값을 나타내었다. 이러한 이유는 탄성응력변형의 방향이 다르기 때문으로 생각된다

STO 절연층을 임계두께 이상의 YBCO 박막위에 증착한 결과, a-축 배향박막의 경우, 초전도성이 저하되었고, c-축 배향 박막에서는 초전도성의 저하를 나타내지 않았다. SIMS 를 사용하여 확인한 결과 STO 박막과 YBCO 박막사이의 확산반응은 관측되지 않았다.

4. 결론

펄스레이저 공정으로 제조된 YBCO 초박막에서 박막두께 감소에 따른 초전도성의 고찰로 부터 초전도성이 정상적으로 회복되는 임계두께는 a-축 배향 박막의 경우 25 nm이었고 c-축 배향 박막은 10 nm이었다. 이러한 임계두께의 차이는 YBCO 박막내의 탄성변형을 일으키는 방향이 다르기 때문으로 생각된다. 또한 c-축 배향 YBCO박막과는 달리 a-축 배향 박막에서는 높은 임계 두께때문에 STO 박막을 사용한 전계효과의 관측은 매우 어려울 것으로 생각된다.

5. 참고문헌

- [1]. A. Gupta, R. Gross, E. Olsson, A. Segmuller, G. Koren, and C. C. Tsuei, Phys. Rev. Lett. Vol.64(26), 3191(1990).
- [2]. T. Venkatesan, X. D. Wu, B. Dutta, A. Inam, M. S. Hedge, D. M. Hwang, C. C. Chang, L. Nazar, and B. Wilkens., Appl. Phys. Lett. 54(6), 581 (1991).
- [3]. D. Fork, D. B. Fenner, R. W. Barton, J. M. Phillips, G. A. N. Connell, J. B. Boyce, and T. H. Geballe, Appl. Phys. Lett. 57(1), 1161(1990)
- [4]. H. U. Krebs, Ch. Krauns, Xi. Yang, and U. Geyer., Appl. Phys. Lett. 59(17), 2180(1991).