The Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers. Vol. 10, No. 5, pp.425-433,1997.

IBS 법으로 제작한 Bi 계 초전도 박막의 동시 증착 특성

논 문
10-5-2

Characteristics of Co-deposition for Bi-superconductor Thin Film Using Ion Beam Sputtering Method

박용필*, 이준웅**
(Yong-Pil Park, Joon-Ung Lee)

Abstract

BSCCO thin films have been fabricated by co-deposition at an ultralow growth rate using ion beam sputtering(IBS) method.

The growth rates of the films was set in the region from 0.17 to 0.27 nm/min. MgO(100) was used as a substrate. In order to appreciate stable existing region of Bi 2212 phase with temperature and ozone pressure, the substrate temperature was varied between 655 and 820 ℃ and the highly condensed ozone gas pressure(PO_3) in vacuum chamber was varied between 2.0×10^{-6} and 2.3×10^{-5} Torr.

Bi 2212 phase appeared in the temperature range of 750 and 795 ℃ and single phase of Bi 2201 existed in the lower region than 785 ℃. Whereas, PO_3 dependance on structural formation was scarcely observed regardless of the pressure variation. And high quality of c-axis oriented Bi 2212 thin film with T_c(onset) of about 90 K and T_c(zero) of about 45 K is obtained. Only a small amount of CuO in some films was observed as impurity, and no impurity phase such as $CaCuO_2$ was observed in all of the obtained films.

Key Words(중요용어) : Co-deposition(동시 증착), Bi-superconductor(Bi 초전도체), Thin film(박막), Ion beam sputtering method (이온 빔 스퍼터법)

1. 서 론

Bi 계 초전도체는 1988년 1월 Maeda 그룹에 의해 처음 합성되었으며[1] 곧이어 zero 저항 80 K인 c 축 배향 박막의 제작이 보고되었고[2], 5월에는 전자 빔 증착법 및 RF 마그네트론 스퍼터법으로 박막을 제작한 후 890~900 ℃의 온도로 산소 분위기에서 수 시간 열처리하여 zero 저항 107 K의 초전도 박막을 합성하였다는 보고가 있었다[3-4].

BiSrCaCuO 계 초전도체는 서로 다른 특성을 나타내는 3 개의 결정 구조가 있으며($Bi_2Sr_2Ca_n$-$Cu_{n+1}O_y$: n=0, 1, 2) 이들 상은 혼재되기 쉬워 단일상의 박막을 제작하는 경우 박막 조성 시의 최적 조건을 도출하는 것이 필요하다.

제작 초기의 박막에서는 2223 상인 110 K 상의 점유비가 20~50 %에 불과했으나 1988 년 6 월 Bi의 일부(10~20 %)를 Pb로 치환하여 110 K의 단일상을 합성하는데 성공하였다는 보고가 있었다[5-6]. 그러나 박막 표면 모폴로지의 열화, 조성 제어 및 낮은 임계 전류 밀도 등 제작된 박막의 질적인 문제점 개선이 과제로 남아 있는 실정이다.

산화물 초전도체의 박막화 기술은 반도체의 박막화 기술에 미치지 못하는 실정인데 이는 다원계 산화물 초전도체의 결정 구조가 복잡하여 결정 성장 기구에 대한 기초 정보의 확립이 미흡한 것이 그 원인으로 분석된다. 현재까지 산화물 초전도 박막에 대한 관심은 임계 온도, 임

* : 동신대학교 전기전자공학과
** : 광운대학교 전기공학과(신기술연구소)
접수일자 : 1997년 2월 25일
심사완료 : 1997년 4월 25일

계 전류 밀도 등이 주가 되어 왔으며 결정 입계, 전이 및 표면 문제 등에 대해서는 논의가 미흡한 실정이다.

본 논문에서는 고품질의 초전도 박막 제작을 목적으로 IBS(ion beam sputtering) 법으로 Bi계 초전도 박막을 제작, 그 동시 증착 특성을 평가하였다.

2. 실 험

동시 스퍼터 성막법은 의도한 조성의 생성막이 얻어질 수 있도록 복수의 원소를 동시에 스퍼터 해서 기판에 공급하는 방법이다. 양질의 박막 생성 조건을 탐구하기 위해서는 다양한 환경에서 제작한 최적 조성의 박막을 분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 Bi 계 산화물 초전도체의 구성 원소인 Bi, Sr, Ca 및 Cu를 개별적으로 스퍼터 하기 위해서 4 개의 이온 건(ion gun)과 타겟(target)을 조합하여 성막을 하였다. 또한 박막 제작 시 매번 생성막의 결정 구조, 조성을 분석하고 그 결과로부터 타겟 스퍼터량을 결정하였으며 기판 온도, 산화 가스 압력 등 성막 환경을 제어하여 초전도상의 생성도를 구하였다.

본 연구에서 사용한 동시 스퍼터 성막 장치의 개략도를 그림 1에 표시하였다. 장치의 베기계는 터보 펌프(1000 L/sec)와 로터리 펌프를 조합하여 구성하였고 최고 진공도는 1×10^{-8} Torr였다. 기판 출입 시 성막 장치 내를 청정한 분위기로 유지하기 위하여 예비 챔버를 설치하였으며 이를 통해 외부로부터 시편의 교환이 이루어졌다.

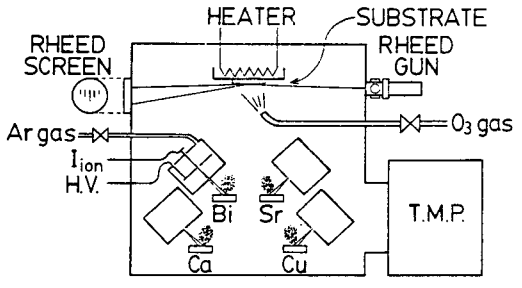

그림 1. IBS 장치의 개략도

Fig. 1. Schematic diagram of IBS apparatus

산화물 초전도체 박막을 제작하기 위해서는 기판을 강력한 산화 가스 분위기에서 최고 800 ℃ 온도까지 가열시켜야 하므로 산화에 강한 직경 1 mm의 백금선을 히터로 사용하였다. 히터에 흐르는 전류에 의해 발생한 자장이 RHEED (reflection high-energy electron diffraction) 전자선에 영향을 미치지 않도록 무유도권을 사용하였으며 이를 전기 절연성, 열전도성 및 기계적 가공성이 우수한 macerator 제의 블록에 장착하였다.

산화 분위기에서 기판을 부착하는 홀더의 성분이 생성막으로 혼입하는 것을 방지하기 위해 인코넬(Ni-Cr-Fe-Mn) 제의 홀더를 사용하였다. 기판 온도는 macerator에 매입한 열전대로 측정하였으며, 히터의 복사열에 의해 직접 기판을 가열하였다. 특히 성막은 테스트용 기판 표면에 PR 열전대를 부착하여 히터 온도와 기판 표면 온도와의 차이를 보정하였다.

4 대의 냉음극, 새들 필드(saddle field)형 이온 건을 설치하여 각각의 이온 건에 대해 Bi, Sr, Ca 및 Cu의 각 타겟을 할당하였으며 각 타겟의 크기는 직경 20 mm, 두께 50 mm로 모두 금속 타겟을 사용하였다. 이온 빔의 출구와 타겟의 거리는 동일하게 30 mm로, 이온 빔이 타겟으로 입사되는 입사각은 수직 방향에서 60 °가 되도록 설정하였다.

동시 스퍼터 성막을 행하기 위해서는 각 타겟 사이의 스퍼터링 수량의 차이를 조절할 필요가 있다. 특히 구성 원소 중 Bi는 가장 융점이 낮아 재증발이 용이하므로 생성막 중에서 성분 부족이 예상된다. 따라서 기판에 공급하는 원자수를 조절하기 위해서 Bi, Sr의 타겟과 기판 사이의 거리는 70 mm, Ca은 100 mm 그리고 Cu는 170 mm로 설정하였다. 이때 수정 진동자 막두께 측정 장치를 기판 위치에 부착하고 각 원소에 대한 추적 속도(推積 速度) R(nm/m)을 조사하였다. 각 원소의 금속 상태에서의 원자량 M, 밀도 ρ를 이용하여 단위 시간, 단위 면적당 공급 원자수 N(atom/min)을 다음 식으로부터 구하였다.

$$N = R \cdot S \cdot \rho \cdot N_A / M \quad \text{———— (1)}$$

여기서 S는 기판 면적이며(본 연구에서는 1 cm^2), N_A는 아보가드로수(6×10^{23}/mole)이다. 원자량 및 밀도는 Bi[M=209.9, ρ=9.78 g/cm^3], Sr[M=87.62, ρ=2.60 g/cm^3], Ca[M=40.08, ρ=1.55 g/cm^3] 및 Cu[M=63.55, ρ=8.933 g/cm^3]로 하였으

며 밀도는 벌크 시료의 값을 적용하였다. 이온건의 Ar^+ 이온 전류 값에 따라 기판 쪽으로 공급되는 각 원소의 공급 원자수(atom/$cm^2 \cdot$ min)를 그림 2에 표시하였다. 각 원소의 공급량이 Ar^+ 이온 전류에 의해 선형적으로 제어되고 있음을 알 수 있다.

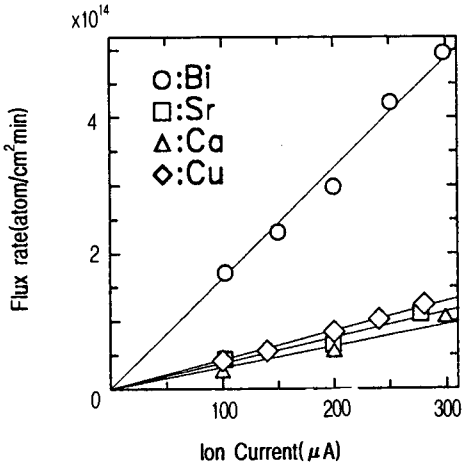

그림 2. 공급 원자수와 이온 전류의 관계

Fig. 2. The relation between the flux rates and the ion current

산화 가스로는 고농도의 오존 가스를 사용하였으며 오존 가스의 산화력을 효율적으로 이용하기 위해 가스가 기판을 향해 분사될 수 있도록 노즐을 부착하였다. 노즐은 내경 1.6 mm의 스텐레스 관으로 제작하였으며 기판과 노즐 입구의 거리는 20 mm로 하였다. 또한 기판을 고온으로 가열할 때 복사열에 의한 노즐의 온도 상승을 억제하기 위하여 노즐에 동재의 수냉 파이프를 감아 고정하였다.

기판은 MgO(100)를 사용하였으며 기판 온도는 655~820 ℃로 설정하였다. 산화 가스는 90 mol% 이상의 고농도 오존 가스를 사용하였으며 가스압은 2.0×10^{-6}~2.3×10^{-5} Torr로 하였다. 성막 속도는 0.17~0.27 nm/min 였다.

성막 중 박막 표면 해석에는 RHEED를 사용하였으며 전자선의 가속 전압은 18 kV로 기판 홀더를 회전시켜 입사 방위를 조절하였다. 형광 스크린의 패턴으로부터 표면 구조를 해석하였으며 광검출기를 이용하여 RHEED 반사 스포트의 휘도 변화를 조사하고, 반사 시간에 대한 RHEED의 진동 유무를 관측하였다.

생성막의 결정 구조 해석은 2 축의 X 선 회절 장치(40 kV, 160 mA, Cu target)를 사용하였다. 표면 관찰 및 조성 분석은 전자 현미경(SEM)과 부속의 에너지 분산형 X 선 분광 장치(EDX)를 이용하였으며 시료 중 일부는 유도 결합 플라즈마 분광 장치(ICP)를 이용하여 정밀하게 조성을 분석하였다. 또한 전기 저항 측정은 통상적인 4 단자 법을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 3(a)에 기판 온도 735 ℃에서 제작한 박막의 X 선 회절 패턴을 표시하였다. Bi 2201 구조가 생성되어 있음을 확인할 수 있는데 Bi 2201의 피크는 모두 면지수 (001)로 표기되며 c 축 배향막이 생성된 것을 알 수 있다. X 선 강도를 대수 표시하면 (002)의 장주기 피크 주변에 Laue 진동이 나타나고 결정성이 양호함을 알 수 있다. Bi 2212 조성으로 원자를 공급하였으나 Ca 원자와 Cu 원자가 박막 중에 잔재하고 있는데 Bi 계 산화물 초전도체의 벌크 제작 시에는 이들 여분의 원자로부터 $CaCuO_2$ 등이 생성된 피크가 관찰되지만 본 실험에서 생성된 박막에서는 2θ=38 ° 에 CuO의 피크만 나타나 있다.

그림 3(b)에는 기판 온도 795 ℃로 제작한 박막의 X 선 회절 패턴을 표시하였으며 Bi 2212의 단일상이 생성되어 있다. 이 경우에도 (001)로 표현되는 면지수만 나타나고 c 축 배향막이 생성되어 있는 것을 알 수 있다.

그림 3(c)에는 Bi 2201과 Bi 2212의 단일상이 생성되는 중간 부근의 온도에서 제작한 박막의 X 선 회절 패턴을 표시하였다. (002)의 피크는 2θ=6.060 °에 나타나며 Bi 2201(2θ=7.246 °)과 Bi 2212(2θ=5.753 °)의 중간에 위치한다. 이는 2 개의 결정상이 불규칙하게 적층된 고용체 상태의 박막이 생성되었음을 의미한다.

고용체 상태의 박막 해석은 다음과 같이 하였다. 즉, 격자 정수가 서로 유사한 2 개의 결정상 A, B에 대해 각각의 격자 정수를 d_A, d_B라 할 때, A 상과 B 상의 성분비가 p:(1-p)이고 이들이 불규칙하게 적층되어 있다고 가정하면, X 선 회절 강도 I(θ, p)는

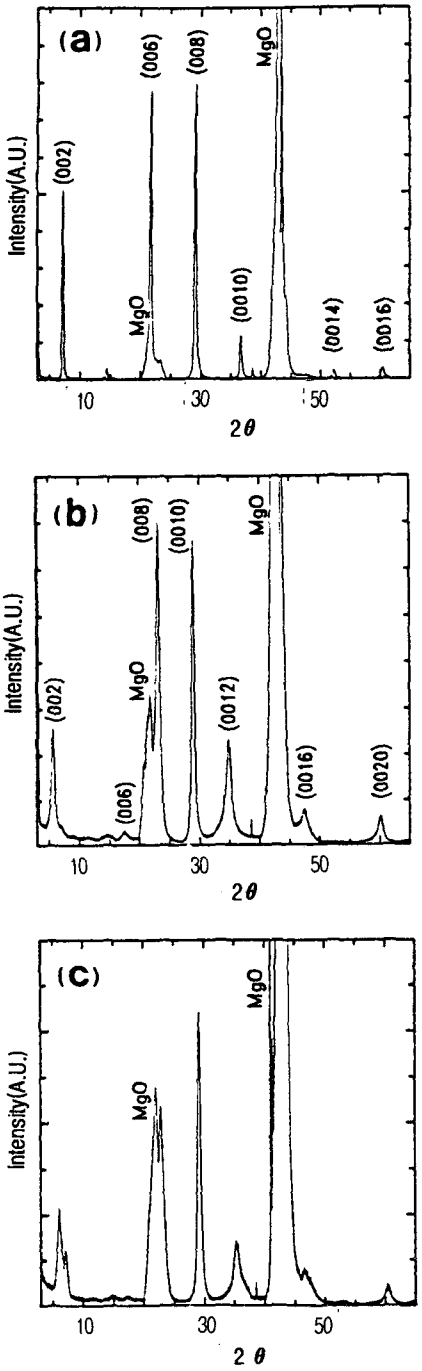

그림 3. 생성막의 X 선 회절 패턴

Fig. 3. X-ray diffraction patterns of the obtained thin films
(a)Bi 2201, (b)Bi 2212 and (c)Bi 2212 +Bi 2201

$$I(\theta, p)=|F(\theta)|^2 \cdot 2p(1-p)[1-\cos\{k(d_B-d_A)\}] / \mathrm{Deno} \quad (2)$$

$$\mathrm{Deno}=1+p^2+(1-p)^2+2p(1-p)\cos\{k(d_B-d_A)\} -2p \cdot (\cos k \cdot d_A)-2(1-p)\cos(k \cdot d_B)$$

$$k=4\pi \cdot \sin\theta/\lambda$$

로 나타낼 수 있다[7]. 여기서 λ는 X 선의 파장, θ는 Bragg 각, k는 산란 벡터 그리고 F(θ)는 구조 인자이다.

(2)식을 이용하여 Bi 2201과 Bi 2212의 고용상태를 해석하기 위해서 d_A=1.219 nm(Bi 2201), d_B=1.535 nm(Bi 2212)를 적용하였으며 X 선 타겟으로 Cu를 사용하고 있어 λ=0.15405 nm로 하였다. Bi 2212 중에 Bi 2201이 고용되어 있다고 가정하여 고용비 p를 0.1부터 0.9까지 변화시켰을 때 X 선 산란 피크의 각도 변화를 그림 4에 표시하였다. 고용비에 대응하여 피크의 강도와 위치가 변하고 있는 것을 알 수 있다.

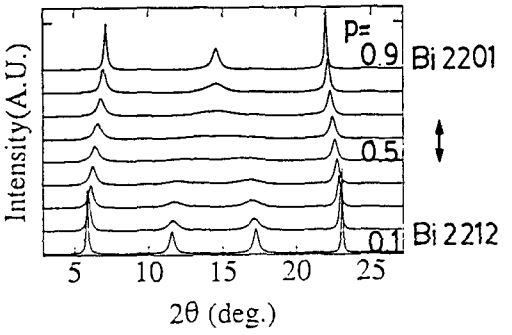

그림 4. 고용비 p에 대한 X선 회절 피크의 변화

Fig. 4. Shift of XRD peak for stacking fault proportion p

또한 고용비와 (002) 피크 위치와의 관계를 Bi 2201 Bi 2212 계 Bi 2212 Bi 2223 계에 대해 구한 결과를 그림 5에 표시하였다. (002) 장주기 피크의 2θ 각도로부터 고용비를 산출할 수 있으며 그림 3(c)의 경우 Bi 2212:Bi 2201=0.7:0.3으로 구해진다.

동시 증착법에 의한 성막 중 RHEED 반사 스포트의 휘도를 시간 변화에 따라 조사하였지만 1 유니트의 성막 시간에 대응하는 주기 변화는 관찰되지 않았다. 본 연구의 성막 속도가 0.17~0.27 nm/min으로 다른 보고에 비해 성막이 한

order 이상 천천히 행해지고 있기 때문에 단일 핵 성장 양식에 보다 가까운 박막 생성이 이루어져 RHEED 강도가 변화하지 않은 것으로 판단된다.

박막 성장을 종료한 직후의 RHEED 패턴을 그림 6에 표시하였다.

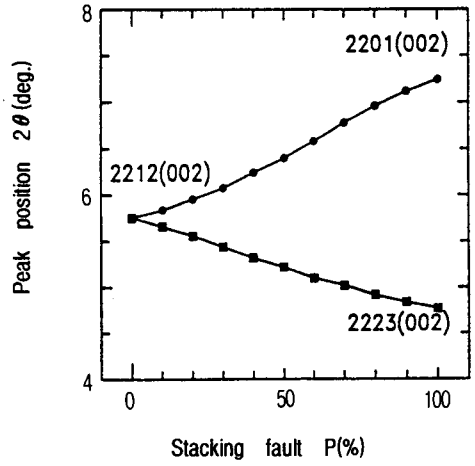

그림 5. 고용비 p에 대한 (002)피크 위치의 변화
Fig. 5. Shift of the (002) peak position for stacking-fault percentage p

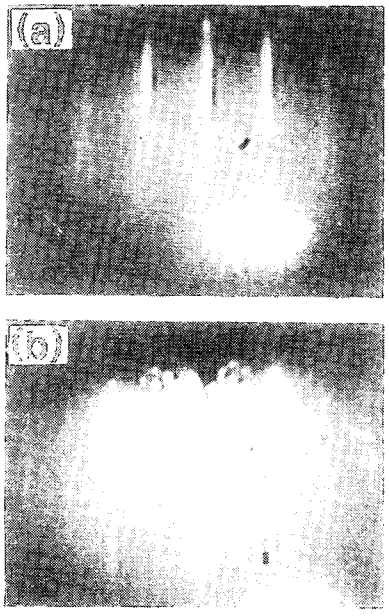

그림 6. RHEED 패턴
Fig. 6. RHEED patterns

RHEED 패턴의 스트리크(streak)는 모두 MgO 기판 단체의 스트리크보다 첨예하며 결정 표면이 평활하고 결정성이 양호한 큰 도메인(domain)을 형성하고 있는 것을 알 수 있다. MgO 기판의 <100> 방향으로부터 전자선을 입사한 경우를 (a)에 표시하였는데 스트리크 선단이 2 개로 분열하고 있어 상호 직교하는 두 결정 방위의 BSCCO 막이 기판 상에 존재하는 것을 알 수 있다. MgO 기판의 <110> 방향으로부터 전자선을 입사한 경우를 (b)에 표시하였다. 이 경우 기본 주기의 스트리크 사이에 수 개의 초주기(超週期) 스트리크를 관찰할 수 있는데 이는 BSCCO 결정 b 축 방향의 변조 구조에 기인한 것이다. 즉, 본 연구에서 생성한 BSCCO 막과 MgO 기판의 epitaxial 방향은 BSCCO(100)//MgO(110) 및 BSCCO(010)//MgO(110)의 관계로 되어 있다.

생성막 표면을 전자 현미경으로 관찰한 결과를 그림 7에 표시하였다.

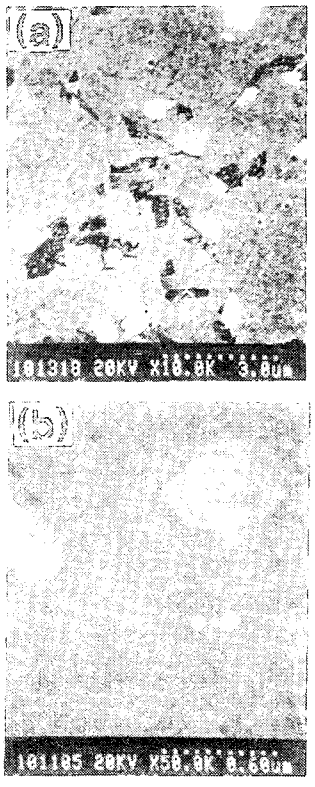

그림 7. 생성막의 표면 모폴로지
Fig. 7. Surface morphology of the obtained thin films

표면의 모폴로지와 생성막의 결정 구조 사이에는 특별한 관계를 관찰할 수 없었다. (a)는 두께 약 40 nm의 Bi 2212 박막의 상을 나타내고 있는데 평활한 표면에 입상의 석출물이 다수 나타나 있다. 이것은 조성을 벗어나 생긴 CuO 및 기타 상의 생성물로 생각되어진다. 박막 중 수개소에 결손 부분이 나타나 있는데 모두 사각형에 유사한 형상을 이루고 있으며 성장 양식과 관련이 되고 있다. (b)에는 두께 약 20 nm의 Bi 2201 박막에서 평활성이 매우 양호한 부분의 상을 표시하고 있다. 크게 돌출된 부분을 중심으로 사각상의 성장 모폴로지를 관찰할 수 있다. 본 연구에서 성막을 행했던 Bi 계 산화물 초전도 박막이 2 차원 도상(島狀) 성장을 하고 있음을 알 수 있다.

Bi 계 산화물 초전도체는 $CaCuO_y$ 블록의 적층수에 대응하여 복수의 결정상이 존재하며 결정 구조가 복잡해짐에 따라 각각 생성 환경이 다르다. 특히 Bi 2201 의 생성은 용이한데 비해 Bi 2212 및 Bi 2223은 고상 반응에 의한 벌크 제작 시에도 수 백 시간의 열처리를 필요로 할 만큼 단일상의 생성에 어려움이 있다.

환경이나 조성 변화에 따른 생성 물질의 구조 변화를 상도(phase diagram)로 표현하는 것이 가능한데 벌크 결정에 대해서는 많은 연구가 이루어져 있다[8,9]. 박막 결정 제작 시에도 상도를 작성함으로써 양질의 결정을 제작하기 위한 조건을 연구하는 것이 가능하다. 단, 박막 제작에 의해 상도를 작성하기 위해서는 벌크의 경우와 달리 또 하나의 파라메타인 성막 속도를 고려할 필요가 있다.

본 연구에서는 생성막의 평균 원자 조성이 Bi:Sr:Ca:Cu=2:2:1:2가 되도록 조절하면서 다양한 환경에서 성막을 하였으며 결정 구조를 조사하였다. 그 결과를 그림 8에 표시하였다.

그림 중 ●은 Bi 2201의 단일상 또는 Bi 2201과 Bi 2212의 고용체를 나타내며 ○은 Bi 2212의 단일상 또는 Bi 2201과 Bi 2212의 양쪽 구조가 생성된 혼정체 막을 나타낸다. ×로 표시한 막에서는 Bi 원자의 재증발로 인해 조성이 Bi 2212와 혼합되지 않아 초전도 구조에서 벗어나 있다. 즉, 기판 온도 750~795 ℃의 범위에서 Bi 2212의 생성이 이루어졌으며 785 ℃보다 저온측에서는 Bi 2201 단일상의 생성을 확인할 수 있다. Bi 2212와 Bi 2201 생성 온도의 경계는 약 750 ℃로 이 온도 주위에서 Bi 2201과 Bi 2212의 고용체가 나타난다.

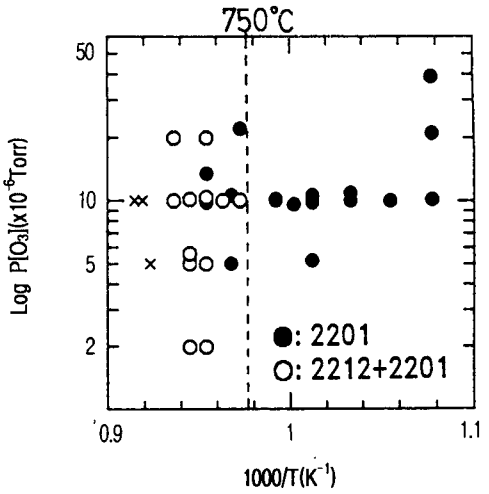

그림 8. 기판 온도와 오존 가스압에 대한 생성 상도

Fig. 8. Phase diagram against substrate temperature and ozone gas pressure

한편 오존 가스 압력을 한 order 이상 변화시켜 제작한 막에서도 생성된 결정의 구조에는 큰 변화를 관찰할 수 없었으며 2×10^{-6} Torr의 오존 가스 압력 하에서도 Bi 2212가 생성되고 있음을 알 수 있다. 이것은 오존 가스를 이용함으로써 안정 경계선이 고온 저압 측으로 크게 이동하여 Bi 계 초전도 결정상의 안정 영역이 확대된 결과로 생각되어진다.

Idemoto 등은 상압 하에서 조성과 온도에 따른 Bi 2212 벌크의 생성 상도를 발표하였는데[10] 소결 온도의 상승과 더불어 생성 상도에서 Bi 2212 상의 생성 영역이 확대된 것을 보고하고 있다. 동시에 Bi 2212가 생성된 온도 영역에서도 조성이 다른 경우 생성물에 Bi 2201과 CuO가 여러 형태로 나타났는데 본 연구에서 얻어진 상도와 상관 관계를 관찰할 수 있다.

Bi 2212 벌크 단결정 및 다결정에서는 초전도 전이 온도(zero 저항)가 80 K를 초과하는 시편이 쉽게 얻어지지만 박막 결정에서는 벌크 결정과 동일한 수준의 초전도 전이 온도를 얻는 것이 어려운데 그 원인으로서 캐리어 과부족의 문제, 도메인 사이의 전기적 결합의 미약함 등이 지적되어지고 있다. 따라서 본 연구에서 작성한 박막에 대해 전기 저항의 온도 의존성을 측정하여 고찰하였다.

그림 9(a), (b) 및 (c)는 박막의 X 선 회절 패턴에서 장주기 피크와 그 박막의 전기 저항에

대한 온도 의존성이다.

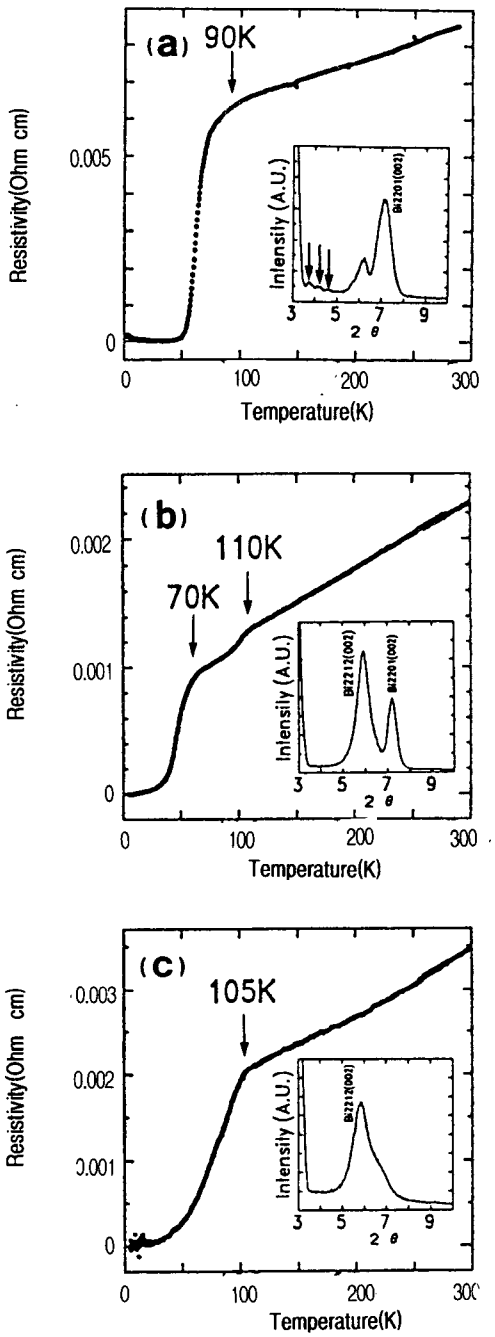

그림 9. 전기 저항의 온도 의존성

Fig. 9. Temperature dependence of the resistivity

시편 (a)에서는 Bi 2201의 첨예한 피크와 Bi 2212 Bi 2201 고용상의 작은 피크가 나타나 있으며 2θ의 저각부에는 화살표로 표시한 Laue 진동이 관찰되고 박막의 결정성은 양호하다. 90 K 부근에서 초전도 전이가 시작되어(T_c onset) 45 K 부근에서 zero 저항(T_c zero)이 얻어지고 있다. 극저온 부근에서 나타나는 작은 저항은 Bi 2201의 반도체 성질에 기인된 것으로 생각된다. 시편 (b)에서는 Bi 2212와 Bi 2201 2 개의 피크가 첨예하게 나타나 있으며 110 K 부근과 70 K 부근에서 초전도 전이가 개시되고 있으나 완전한 zero 저항은 극저온까지 얻어지지 않는다. 110 K 부근의 초전도 전이는 Bi 2223 상이 박막 중에 포함되어 있음을 의미한다. 시편 (c)는 Bi 2212의 단일상으로 알려진 X 선 회절 패턴이다. Bi 2201 상이 소량 포함되어 있어 피크의 형상이 비대칭으로 나타나 있으나 105 K 부근에서 초전도 전이가 개시되었으며 역시 Bi 2223 상이 박막 중에 포함되어 있는 것을 알 수 있다. 그러나 zero 저항이 얻어지는 온도는 매우 낮으며 초전도 전이폭이 가장 넓다. (a), (b) 및 (c) 박막 모두 상전도 영역에서는 전기 저항과 온도의 관계가 직선적으로 나타나고 있다.

(a) 그림의 시편에서는 Bi 2212 상과 Bi 2201 상의 고용체가 생성되어 있고 각각의 고용비를 해석하면 Bi 2212:Bi 2201=0.6:0.4로 구해진다. 또 그림 (b)의 막에서는 Bi 2212와 Bi 2201의 구조가 분리되어 생성되고 있다. 이들의 초전도 전이와 비교해 그림 (c)의 시편은 거의 Bi 2212의 단일상임에도 불구하고 초전도 전이폭이 가장 넓다. 이는 기판 상의 Bi 2212 도메인의 결합력이 약하기 때문에 높은 온도에서부터 초전도 전이가 나타난 것이며 극저온까지 zero 저항이 얻어지지 않은 것으로 해석할 수 있다.

Bi 2201 상은 상도에서 생성 영역이 넓고 X 선 회절 피크가 첨예한 것을 고려할 때 Bi 2212에 비해 결정 구조가 안정하다. 따라서 Bi 2201이 버퍼(buffer) 층으로서 기판 표면에 형성되었거나 Bi 2212/Bi 2201의 고용체가 박막 중에 형성되었음을 의미하며 Bi 2212의 결정성을 향상시킬 수 있는 가능성을 시사하고 있다.

Raffy 등의 그룹은 Bi 2212와 Bi 2201을 교대로 적층한 초격자(superlattice)를 제작하여 T_c= 94 K의 초전도 전이 온도를 얻었다고 보고하였는데[11] 그 기구에 대해 Bi 2201로부터 Bi 2212 쪽으로 캐리어 공급이 이루어져 초전도 전이 온도가 상승하였다는 모델을 제안한 바 있다. 본

연구에서 생성한 막에서는 초격자를 형성하지 않았음에도 Bi 2201-Bi 2212 고용체를 생성한 박막에서 초전도 전이가 날카롭게 나타나고 있는 것은 초격자와 동일한 효과가 박막 내에서 진행된 것으로 생각할 수 있다. 그림 (b) 시편의 경우에는 캐리어 공급이라고 판단하기는 어려우나 Bi 2201에 의해 Bi 2212의 결정성이 향상된 것으로, 캐리어 수가 최적화된 모델로 판단된다.

4. 결 론

동시 스퍼터 성막법에 의한 저속 성장으로 Bi 2201 및 Bi 2212 박막을 제작하였다. Bi 2212의 조성이 되도록 각 원소를 공급하고 기판 온도 및 산화 가스 압력을 변화시켜 성막을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 낮은 기판 온도에서는 Bi 2201의 단일상이 생성되었으며 750 ℃ 이상이 되면 Bi 2212 상이 생성되었다. 이 중간 온도 영역에서는 Bi 2212와 Bi 2201의 고용체가 생성되고 있음을 해석하였다. 또한 어느 막에서나 c 축 배향막을 얻을 수 있었다.

(2) RHEED 분석 및 SEM에 의한 표면 관찰 결과, 결정은 2 차원 도상(島狀) 성장을 하였음을 알 수 있었다.

(3) 전기 저항 측정으로 초전도 전이를 조사하여 Bi 2223 상이 박막 내에 생성되어 있음을 확인할 수 있었다. Bi 2201과 Bi 2212 고용체 막에서는 초전도 전이폭이 좁았으며 이는 Bi 2201 상에 의해 Bi 2212의 결정성이 양호해진 효과로 해석할 수 있다.

※ 이 논문은 1997년도 동신대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

1. H. Maeda, T. Tanaka, M. Fukutomi and T. Asano, "A New High-T_c Oxide Superconductivity without a Rare Earth Element", Jpn. J. Appl. Phys, Vol. 27, No. 2, pp. L209-L210, 1988.
2. M. Nakao, H. Kuwahara, R. Yuasa, H. Mukaida and A. Mizukami, "Magnetron Sputtering of Bi-Ca-Sr-Cu-O Thin Films with Superconductivity above 80 K", Jpn. J. Appl. Phys, Vol. 27, No. 3, pp. L378-L380, 1988.
3. H. Fujiki, M. Sano, K. Tomimoto, H. Sawa, J. Akimitsu and N. Kitamura, "Long Period Structures in the Bi-Sr-Cu-O System", Jpn. J. Appl. Phys, Vol. 27, No. 6, pp. L1044-L1046, 1988.
4. T. Yoshitake, T. Satoh, Y. Kubo and H. Igarashi, "Preparation of Thin Films by Coevaporation and Phase Identification in Bi Sr Ca-Cu-O System", Jpn. J. Appl. Phys, Vol. 27, No. 6, pp. L1089-L1091, 1988.
5. U. Endo, S. Koyama and T. Kawai, "Preparation of the High-T_c Phase of Bi-Sr-Ca-Cu-O Superconductor", Jpn. J. Appl. Phys, Vol. 27, No. 8, pp. L1476-L1479, 1988.
6. H. Nobumasa, K. Shimizu Y. Kitano and T. Kawai, "Formation of a 100 K Superconducting Bi(Pb)-Sr-Ca-Cu-O Film by a Spray Pyrolysis", Jpn. J. Appl. Phys, Vol. 27, No. 9, pp. L1669-L1671, 1988.
7. L. Ranno, D. Martínez García, J. Perrière and P. Barboux, "Phase Intergrowth in $Bi_2Sr_2Ca_{n-1}Cu_nO_y$ Thin Films", Phys. Rev. B, Vol. 48, No. 18, pp. 13945-13948, 1993.
8. Y. Ikeda, H. Ito, S. Shimomura, Y. Oue, K. Inaba, Z. Hiroi and M. Takano, "Phase and their Relations in the Bi-Sr-Cu-O System", Physica C(Netherland), Vol. 159, No. 1-2, pp. 93-104, 1989.
9. R. Müller, Th. Schweizer, P. Bohac, R. O. Suzuki and L. J. Gauckler, "Compositional Range of the $Bi_2Sr_2CaCu_2O_x$ HT_c-Superconductor and its Surrounding Phases", Physica C(Netherland), Vol. 203, No. 3-4, pp. 299-314, 1992.
10. Y. Idemoto, S. Kobayashi and K. Fueki, "Phase Diagrams and Ionic Defects in the 2212 and 2201 Phases of the Bismuth System", Physica C(Netherland), Vol. 229, No. 1-2, pp. 47-58, 1994.
11. Z. Z. Li, H. Rifi, A. Vaurès, S. Megtert and H. Raffy, "Synthesis of $Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$/$Bi_2Sr_2CuO_6$ Superlattices wi-

th a T_c Enhancement Effect", Phys. Rev. Lett., Vol. 72, No. 25, pp. 4033-4036, 1994.

저자소개

박용필

1957년 6월 13일생. 1981년 광운대학교 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학교 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1995년 8월-1996년 8월 Osaka대학 공학부 전기공학과 교환교수. 1992년 현재 동신대학교 공대 전기전자공학과 조교수.

이준웅

1940년 10월 24일생. 1964년 2월 한양대학교 전기공학과 졸업. 1970년 2월 한양대학교 전기공학과(석사). 1979년 9월 France 국립 Montpellier 대학원 전기공학과(공박). 1990년 1월-12월 미국 미시시피주립대 교환교수(신기술연구소 소자 및 재료연구부). 1995년-현재 광운대 전기공학과 교수. 당 학회 편수위원장.