

Bi_{1.84}Pb_{0.34}Sr_{1.91}Ca_{2.03}Cu_{3.06}O_{10+δ}(110 K 상) 산화물 고온초전도체에 미치는 Ag 혼합효과

이민수[†] · 최봉수* · 송기영**

한밭대학교 두뇌한국 21사업단

*한밭대학교 정보통신공학부

**한남대학교 이과대학 광·전자물리학과

(2001년 8월 22일 접수; 2001년 11월 26일 승인)

Effect of the Ag Additive on the Bi_{1.84}Pb_{0.34}Sr_{1.91}Ca_{2.03}Cu_{3.06}O_{10+δ}(110 K Phase) High-T_c Superconductor

Min-Soo Lee[†], Bong-Soo Choi* and Ki-Young Song**

Brain Korea 21, Hanbat National University, Daejeon 300-719, Korea

*School of Information Communication and Computer Engineering, Hanbat National University, Daejeon 300-719, Korea

**Department of Applied Optics and Electromagnetics, Hannam University, Daejeon 306-791, Korea

(Received August 22, 2001; Accepted November 26, 2001)

초 록

110 K상의 산화물 고온초전도체를 Bi_{1.84}Pb_{0.34}Sr_{1.91}Ca_{2.03}Cu_{3.06}O_{10+δ}의 출발조성비로 고상반응법(solid-state reaction)에 의해 합성하였다. 이렇게 합성된 Bi계 110 K 상의 산화물 고온초전도 물질을 다시 분말 상태로 만든 후, Ag 금속분말을 10 wt%, 30 wt%, 50 wt%의 각 비율로 혼합하였다. Ag 금속분말이 혼합된 시편들을 860°C~875°C로 24시간 동안 최종 소결시켰다. 그 후, 각 시편들에 대하여 x-선, T_c, SEM 등을 측정하여 Ag 혼합량에 대한 초전도특성 및 표면의 grain 크기변화 등에 대한 조사를 진행하였다. Ag 혼합량이 증가됨에 따라 Ag peak의 강도는 증가되었고, 시편 내 2223 상의 비율은 감소하고 2212 상의 비율은 증가되었다.

ABSTRACT

Samples with the nominal composition, Bi_{1.84}Pb_{0.34}Sr_{1.91}Ca_{2.03}Cu_{3.06}O_{10+δ} high T_c superconductors containing Ag as an additive were fabricated by a solid-state reaction method. Samples with Ag of 10 wt%, 30 wt% and 50 wt% each were sintered at 860°C~875°C for 24 hours. The structural characteristics, critical temperature and grain size with respect to Ag contents were analyzed by XRD(X-Ray Diffraction) and SEM(Scanning Electron Microscope), respectively. As Ag contents increased, XRD peaks of Ag in Bi-2223 phase superconductors intensified and the proportion of the phase transition from Bi-2223 to Bi-2212 was increased.

Key words : High T_c Superconductor, Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O(110 K), Ag Composite, SEM

1. 서 론

지금까지 합성되어진 고온초전도체들은 산화물들을 혼합하여 소결시킨 세라믹 물질들이다. 그러므로 세라믹 자체의 특성에 의해 유연성과 기계적 성질 그리고 굽힘성(bending) 등의 역학적 성질이 나빠, 초전도 선재나 테이프 등의 실제 응용에 많은 제한을 받고 있다. 또한 고온초전도체들은 높은 비등방성과 비균질성의 미세구조를 가지고 있기 때문에 물리적, 화학적으로 안정된 고온초전도체를 합성하기 위해서 여러 번의 정교한 열처리 등의 과정을 거쳐야한다.¹⁻⁵⁾ 그리고, 고온초전도체의 역학적 및 전기적 특성은 고온초전도

체의 미세구조와 밀접한 관계를 가지고 있으므로 미세구조와 이들 성질들과의 관계를 밝히는 것은 매우 중요하다. 따라서, 세라믹 물질인 고온초전도체가 최상의 전류운반능력을 갖게 하고, 역학적 성질을 향상시키기 위해 고온초전도체에 다양한 금속물질을 혼합하여 높은 온도로 하소시키는 방법들이 많이 연구되어져 왔다.⁶⁻¹⁸⁾ 그러나, 산화물 고온초전도체는 세라믹 특유의 복잡한 미세구조를 갖고 있다. 그러므로, 고온초전도체에 금속 등을 혼합하여 시편을 합성할 때 열처리 등의 여러 합성조건에 따라, 시편 안의 grain 및 grain boundary의 상태가 달라진다. 이에 따라, 금속이 혼합된 산화물 고온초전도체들은 전이 임계온도나 표면의 미세구조 등의 특성들이 다양한 결과를 보이고 있다.¹⁹⁻²⁶⁾ 그러나, 지금까지 산화물 고온초전도체에 Ag 등의 금속물질을

[†]Corresponding author : minslee@hanbat.ac.kr

혼합한 연구들은, 초전도체에 소량의 금속산화물을 치환하거나 혼합시킨 연구들이 주로 이루어져 왔다. 이들의 연구과정들을 분석해보면 Bi-Sr-Ca-Cu-O 계 산화물 고온초전도체 경우는 하소 단계 전에 산화물 고온초전도체 합성에 필요한 산화물들과 금속산화물들을 동시에 혼합하여 하소시킨 후 이들을 다시 다양한 열처리과정을 통해 소결시키므로써, 복잡한 열처리 과정에도 불구하고 (Sr,Ca)₂CuO₃ 나 (SrCa)CuO₂ 등의 불순물상(impurity phase) 들이 많이 나타나는 문제점들을 보이고 있다. 따라서, 세라믹 상태의 고온초전도체에 Ag 등의 금속물질을 혼합시켰을 때, 다양한 불순물상들이 나타나고 있다.¹⁹⁻²²⁾ 그러므로, 본 연구에서는 Bi계 2223 상의 단일상을 먼저 합성한 후 합성된 고온초전도체와 Ag 금속분말을 일정비율로 혼합하여 시료를 소결시키면 불순물상이 적게 형성되고 또, 하소 단계 전에 금속물질을 혼합한 것보다 소결된 단일상의 고온초전도체에 Ag 금속물질을 혼합하는 것이 고온초전도체에 Ag 혼합율을 증가시킬 수 있을 것이라는 생각으로, 먼저 Bi계 2223 상(110 K) 단일상의 고온초전도체를 합성하였다. 그리고, Bi계 110 K 단일상의 산화물 고온초전도체에 산화물이 아닌 순수한 Ag 금속분말을 다량 혼합시켜 Ag-Bi계 초전도체 복합체의 시편을 합성하였다. 그 결과 Bi계 산화물 고온초전도체에 Ag 금속분말을 50 wt% 까지 혼합시킬 수 있었으며, 이들 시편들에 대한 grain들의 크기 등의 미세구조에 따른 전이 온도(T_c) 등의 초전도 특성의 변화를 조사하였다.

2. 실험방법

Bi계 산화물 고온초전도체에 Ag 금속분말을 혼합하여 시료를 소결시킬 때, 형성되어질 수 있는 불순물들을 최대한 억제시키기 위하여, Bi계 산화물 고온초전도체는 대부분 110 K 상을 나타내는 초전도물질을 사용하였다. Bi계 110 K 상의 초전도체는 Bi_{1.84}Pb_{0.34}Sr_{1.91}Ca_{2.03}Cu_{3.06}O_{10+δ}의 출발조성비로 99.99%의 순도를 갖는 Bi₂O₃, PbO, SrCO₃, CaCO₃, CuO 분말 시약을 사용하여 고상반응법(solid-state reaction)으로 합성하였다. 110 K 상의 시료합성은 위의 출발조성비로 각 시약을 섞어 3시간 이상 잘 혼합시킨 후, 0.8 g씩 성형기에 넣어 압축기로 600 kg/cm²의 압력으로 10분간 지속시켜 시편으로 제작하였다. 그 후 시편을 보트 위에 놓은 후 공기 분위기 상태의 전기로에서 840°C로 24시간 유지시킨 후 로냉시켰다. 이 시편을 다시 분말 상태로 만들어 1시간 이상 잘 섞은 후 성형기 안에 넣어 압축시켜 시편 형태로 만들어, 공기 분위기 상태의 전기로에서 853°C로 110시간 2차 소결시킨 후, 상온으로 24시간 이상 서서히 로냉시켰다. 이렇게 합성된 Bi계 초전도 물질을 분말 x-선 회절상을 관찰하여 대부분 110 K 상의 peak 들만이 관찰되어지는 시편들을 선별하였다. 그 후, 대부분 110 K 상의 peak 들만을 나타내는 시편들을 다시 분말 상태로 만든 후, 순수

한 Ag 금속분말을 10 wt%에서 50 wt%의 각 비율로 섞은 후 1시간 이상 잘 혼합하였다. 혼합된 시료를 성형기 속에 넣어 압축기로 시편 형태로 만든 후 Ag 분말의 혼합 비율에 따라 860°C~875°C로 온도를 변화시켜 24 시간 동안 최종 소결시켰다. 시편의 결정구조는 분말 x-선 회절상으로 확인하였다(Rigaku, RINT, Japan). 측정조건은 tube voltage 40 kV, current 20 mA이었으며, 사용한 target은 Cu이며 $\kappa\alpha$ 선을 Ni-filter를 거쳐 시료에 조사시켰으며, 슬릿 간격은 DS = 0.5, RS = 0.3, SS = 0.5으로 하였다. 2 θ 각은 3°에서 63°까지 측정하였다. 합성된 시편의 grain 상태를 알아보기 위해 SEM 관찰을 하였다. 초전도특성은 통상의 직류 4 단자법에 의한 전기저항의 온도의존성(R-T)을 측정하였다. 이때, 전극은 In을 이용하여 Au wire를 접촉시켜 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 Ag 금속분말이 10 wt% 혼합된 시편의 x-선 회절상을 나타내고 있다. Fig. 1(A)는 Ag 금속분말이 전혀 포함되지 않은 시편의 x-선 회절상으로서 2212상과 규명되지 않은 제 2상이 소량 포함되어 있으나, 대부분 110 K 상

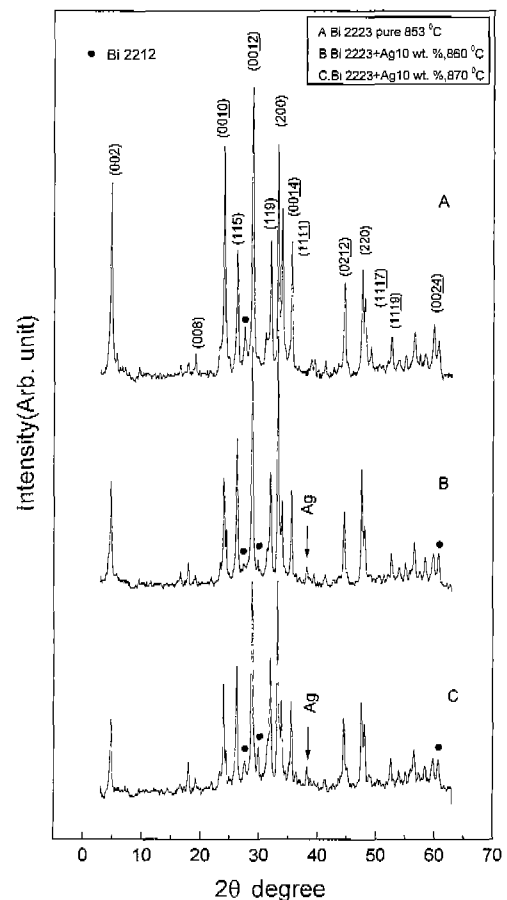


Fig. 1. The x-ray powder diffraction pattern of sintered samples with the 10 wt% Ag additive at various temperatures.

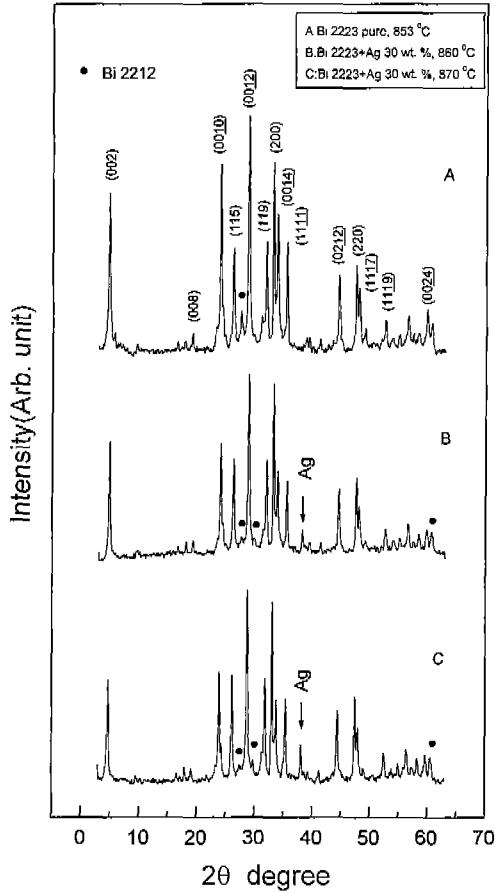


Fig. 2. The x-ray powder diffraction pattern of sintered samples with the 30 wt% Ag additive at various temperatures.

의 peak 들만을 나타내고 있다. 그러나, Ag금속분말이 10 wt% 혼합된 시편들은 Fig. 1(B, C)에서와 같이 2θ = 38.13에서 Ag peak가 나타나며 일부 2212상의 peak들이 나타남을 알 수 있었다.

Fig. 2는 Ag 금속분말이 30 wt% 혼합된 시편을 860°C~870°C 범위에서 최종 소결 시킨 시편들의 x-선 회절상을 나타내고 있다. 2212 상들의 비율이 Ag 금속분말이 10 wt% 혼합된 시편들과 거의 같은 경향을 보였으나, Ag peak의 강도는 증가함을 알 수 있었다.

Fig. 3은 Ag 금속분말의 혼합 비율이 50 wt%인 시편들을 최종 소결 온도 860°C~875°C로 열처리한 시편들의 x-선 회절상들을 나타내고 있다. 그러나, 금속분말이 50 wt% 혼합된 시편들은 최종 소결 온도 860°C에서 소결된 시편에서 2212 상들이 가장 적게 나타났으며 소결 온도가 점차 증가할수록 2212상의 비율이 증가되어 최종 소결 온도 875°C로 소결된 시편은 거의 2212상들만을 나타내고 있었다.

Figs. 4~6은 Ag 금속분말의 혼합 비율 10 wt%~50 wt% 인 시편들에 대한 전기저항의 온도의존성(R-T)을 측정된 결과들을 나타내고 있다. Fig. 4(A) 곡선은 Ag 금속분말이

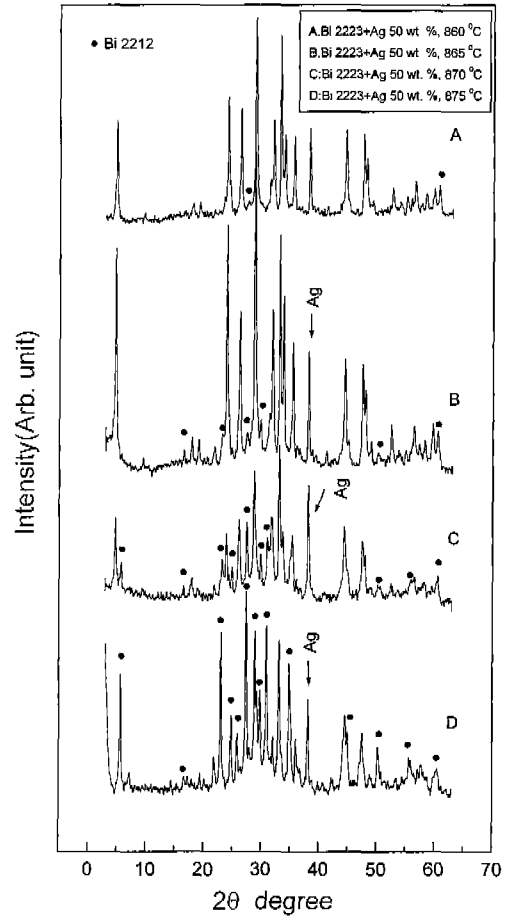


Fig. 3. The x-ray powder diffraction pattern of sintered samples with the 50 wt% Ag additive at various temperatures.

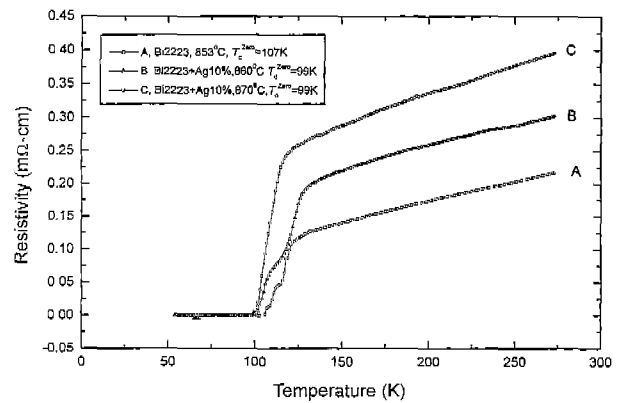


Fig. 4. Temperature dependence of electrical resistance of sintered samples with the 10 wt% Ag additive at various temperatures.

전혀 혼합되지 않은 2223 상 시편의 전이온도곡선을 나타내고 있다. 전이 임계온도 T_c^{zero} 는 107 K를 나타내었다. Fig. 4(B, C)는 최종 소결 온도 860°C와 870°C에서 최종

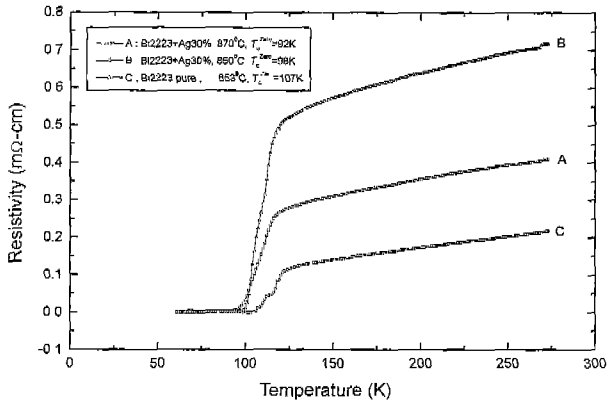


Fig. 5. Temperature dependence of electrical resistance of sintered samples with the 30 wt% Ag additive at various temperatures.

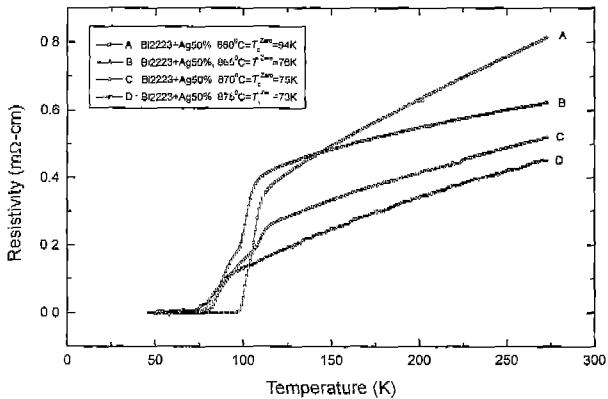
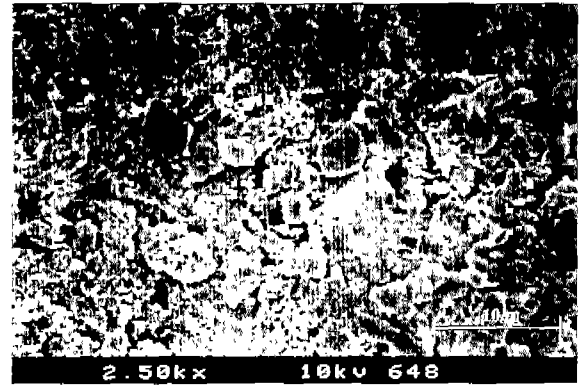


Fig. 6. Temperature dependence of electrical resistance of sintered samples with the 50 wt% Ag additive at various temperatures.

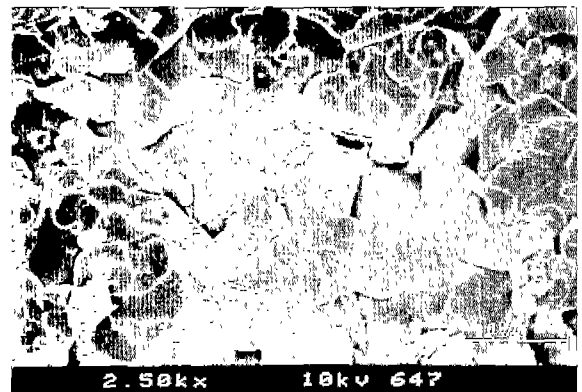
소결된, Ag 금속분말이 10 wt% 혼합된 시편의 전이온도 곡선을 나타낸다. 전이온도 T_c^{zero} 는 각각 99 K를 나타내었다. 그러나, Fig. 4(C) 시편의 전이온도 곡선은 매끄러운 one step의 곡선을 나타내었으나 (B) 시편의 전이온도 곡선은 two step의 전이온도 곡선의 형태를 나타내었다.

Fig. 5는 Ag 금속분말의 혼합 비율 30 wt%인 시편들에 대한 전기저항의 온도 의존성(R-T)을 측정한 결과들을 나타내고 있다. 최종 소결 온도 860°C에서 소결된 시편의 전이온도 T_c^{zero} 는 98 K를, 최종 소결 온도 870°C에서 소결된 시편의 전이온도 T_c^{zero} 는 92 K를 나타내었다. Ag 금속분말의 혼합 비율 30 wt%인 시편들에 대한 전이온도 곡선은 최종 열처리 온도에 거의 무관하게 매끄러운 one step의 곡선을 나타내었다.

Fig. 6은 860°C~875°C에서 최종 소결된, Ag 금속분말이 50 wt% 혼합된 시편의 전이온도 곡선을 나타내고 있다. 전이온도는 최종 소결 온도에 따라 94 K~73 K를 나타내었다. 이는 Fig. 3의 x-선 회절상의 관찰에서 최종 소결 온도



(A) Bi2223/Ag 10 wt%, 860°C



(B) Bi2223/Ag 10 wt%, 870°C

Fig. 7. SEM micrographs of sintered samples with the 10 wt% Ag additive at various temperatures.

가 증가될수록 2212 상의 peak들이 증가되는 결과라 생각된다. 또한, 전이온도곡선의 형태가 최종 소결 온도 860°C인 시편은 one step의 형태를 최종 소결 온도 865~875°C의 시편은 two step의 형태를 나타내었다.

Figs. 7~9는 Ag 금속분말의 혼합 비율 10 wt%~50 wt%인 시편들의 SEM에 의한 표면 관찰의 결과이다. Fig. 7은 Ag 금속분말의 혼합 비율이 10 wt%인 시편들로서 (A)는 860°C로, (B)는 870°C로 최종 소결된 시편의 SEM 사진이다. 최종 소결 온도 870°C로 소결된 시편이 최종 소결 온도 860°C로 소결된 시편보다 grain들의 크기가 증가하였다.

Fig. 8은 Ag 금속분말의 혼합비율이 30 wt%인 시편들의 SEM 사진 결과이다. Fig. 8의 (A)는 최종 열처리 온도 860°C로 소결된 시편을, (B)는 최종 열처리 온도 870°C로 소결된 시편이다. 최종 열처리 온도 860°C로 소결된 시편이 최종 열처리 온도 870°C로 소결된 시편보다 grain들의 크기가 증가하였다.

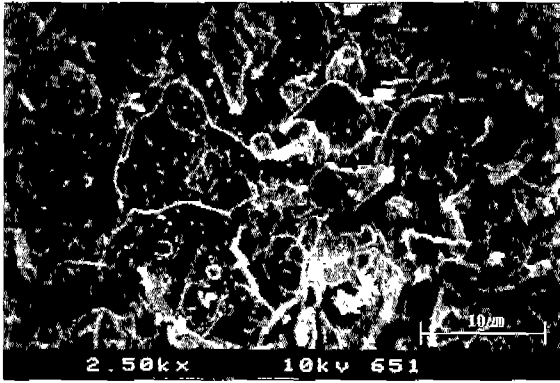
Fig. 9는 Ag 금속분말의 혼합비율이 50 wt%인 시편들의 최종 소결 온도에 따른 SEM 사진의 결과이다. 최종 열처리 온도 860°C로 소결된 (A)시편의 grain들이 가장 크게 형성되었다.

4. 결 론

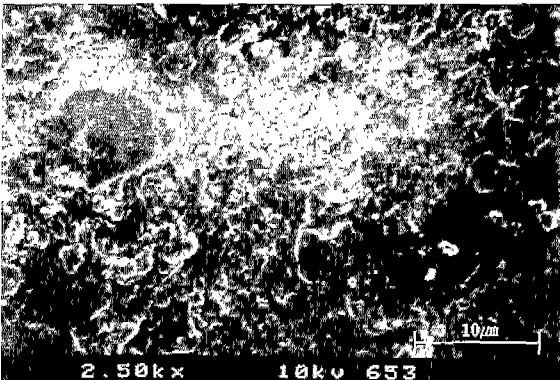
1. Ag 금속분말 혼합율이 10 wt% 에서 30 wt% 까지는, 시편의 최종 소결 온도 변화가 시편 내에 존재하는 2212 상의 비율에 미치는 영향은 매우 적었다. 그러나, Ag 금속분말의 혼합율이 10 wt%인 시편의 경우 SEM 관찰결과, 최종 소결온도가 870°C인 시편이 최종 소결온도가 860°C인 시편보다 grain 들의 크기가 현저하게 커지는 경향을 보였다. 그리고, 전이임계온도는 99 K 로 같으나 전이온도곡선의 형태는 최종 소결온도가 870°C인 시편은 매끄러운 one step의 곡선을 최종 소결온도가 860°C인 시편은 two step의 형태를 나타내었다.

2. Ag 금속분말 혼합율이 30 wt%인 시편의 경우 SEM 관찰결과 최종 소결온도가 860°C인 경우가 최종 소결온도 870°C인 경우보다 시편 내의 grain 들의 크기가 커지는 경향을 나타내었다. 그리고, 전이임계온도는 최종 소결온도가 860°C인 시편의 경우는 98 K, 최종 소결온도 870°C인 시편의 경우는 92 K를 나타내었다. 그러나, 전이온도곡선의 형태는 두 시편이 매끄러운 one step의 형태를 보였다.

3. Ag 금속분말 혼합량이 50 wt% 시편들은 최종 소결온도가 860~875°C로 증가할수록, 시편 내의 2212 상의 비율이 현저하게 증가되었다. 이에 따라, 전이 임계온도는 최종 소결온도가 860°C에서 94 K를 최종 소결온도가 875°C일 때 73 K를 나타내었다. 또한 SEM 사진 관찰결과 최종 소결온도가 860°C인 시편 grain의 크기가 가장 크게 나타났으며,

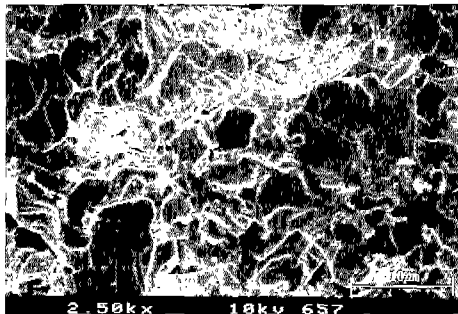


(A) Bi2223/Ag 30 wt%, 860°C

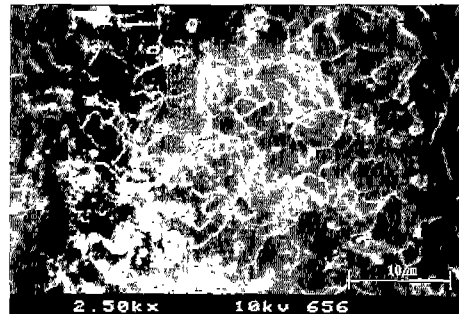


(B) Bi2223/Ag 30 wt%, 870°C

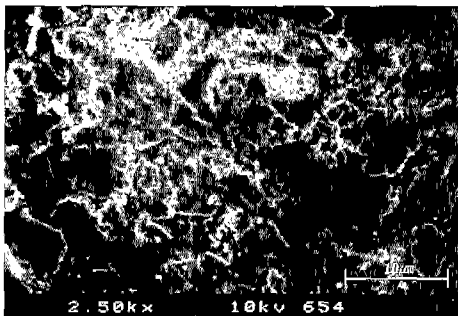
Fig. 8. SEM micrographs of sintered samples with the 30 wt% Ag additive at various temperatures.



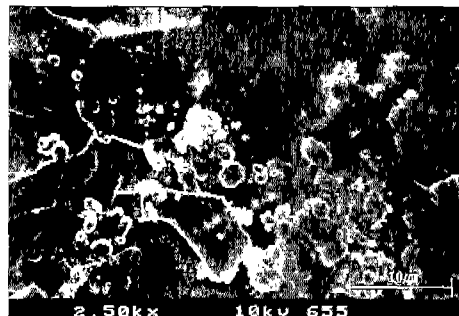
(A) Bi2223/Ag 50 wt%, 860°C



(B) Bi2223/Ag 50 wt%, 865°C



(C) Bi2223/Ag 50 wt%, 870°C



(D) Bi2223/Ag 50 wt%, 875°C

Fig. 9. SEM micrographs of sintered samples with the 50 wt% Ag additive at various temperatures.

전이온도곡선의 형태가 one step의 형태를 보였다. 그러나, 최종 소결온도가 증가할수록 grain 들의 크기가 작아졌으며, 전이온도곡선의 형태가 two step의 형태를 나타내었다.

감사의 글

이 논문은 1997년 한밭대학교 기성회 연구비 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사를 드립니다.

REFERENCES

1. M. A. Beno, L. Soderholm, D. W. Capone II, D. G. Hinks, J. D. Jorgensen, J. D. Grace, I. K. Schuller, C. U. Segre and K. Zhang, "Structure of the Single-phase High-temperature Superconductor YBa₂Cu₃O_{7-δ}," *Appl. Phys. Lett.*, **51**(1), 57-59 (1987).
2. S. Koyama, U. Endo and T. Kawai, "Preparation of Single 110 K phase of the Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O Superconductor," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **27**(10), L1861-L1863 (1988).
3. P. V. P. S. Sastry, J. V. Yakhmi and R. M. Iyer, "Towards the Synthesis of the Single-phase Bi-2223 Superconductor from Stoichiometric (Bi,Pb)₂Ca₂Sr₂Cu₃O_y Compositions," *Physica C*, **161**(5&6), 656-660 (1989).
4. F. Shi, T. S. Rong, S. Z. Zhou, X. F. Wu, J. Du, Z. H. Shi, C. G. Cui, R. Y. Jin, J. L. Zhang, Q. Z. Ran and N. C. Shi, "Preparation Process, Crystal Structure and Physical Properties of the 110-K Single-phase Pb-Bi-Sr-Ca-Cu-O Superconductor," *Phys. Rev. B*, **41**(10-A), 6541-6546 (1990).
5. K. W. Hyung, S. H. Park, D. W. Lee, T. J. Han, B. S. Choi and C. E. Kim, "The Effect of Sintering Time on the Stabilization of the Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O Superconducting Phase," *J. of the Kor. Ceram. Soc.*, **29**(2), 95-100 (1992).
6. T. Kawai, T. Horiuchi, K. Mitsui, K. Ogura, S. Takagi and S. Kawai, "Effect of Alkaline Metal Substitutions to Bi-Sr-Ca-Cu-O Superconductor," *Physica C*, **161**(5&6), 561-566 (1989).
7. A. K. Sarkar, I. Maartense and T. L. Peterson, "Limit of Superconductivity in Silver/Superconductor Metal-matrix Composites Prepared with Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O Ceramic Powders," *J. Mater. Res.*, **7**(7), 1672-1678 (1992).
8. S. Reich and V. M. Nabutovsky, "Investigation of Connectivity in Silver-ceramic Superconductor Composites by their Field Screening Property," *J. Appl. Phys.*, **68**(2), 568-574 (1990).
9. S. Reich and I. Felner, "Nonrandom Ceramic Superconductor-metal Composites," *J. Appl. Phys.*, **67**(1), 388-392 (1990).
10. K. Nomura, T. Sasaoka, J. Sato and S. Kuma, "Influence of Ag-Au and Ag-Cu Alloys on Bi₂Sr₂CaCu₂O_x Superconductor," *Appl. Phys. Lett.*, **64**(1), 112-113 (1994).
11. J. Maeda, T. Izumi and Y. Shiohara, "Reaction between YBCO/Ag Superconductor and Melted Silver," *Supercond. Sci. Technol.*, **12**, 45-47 (1999).
12. A. Sobha, R. P. Aloysius, P. Guruswamy, K. G. K. Warrior and U. Syamaprasad, "Effect of Ag, Ag₂O and AgNO₃ Addition in (Bi,Pb)-2223/Ag Powder-in-tube Tapes," *Physica C*, **316**, 63-68 (1999).
13. T. A. Deis, M. Lelovic, N. G. Eror and U. Balachandran, "Effect of Ag Doping on Structure and Critical Temperature of Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+δ} Superconductors," *Applied Superconductivity*, **6**(6), 279-284 (1998).
14. L. Jiang, Y. Sun, X. Wan, K. Wang, G. Xu, X. Chen, K. Ruan and J. Du, "Improvement of Formation and Superconductivity of the (Bi,Pb)₂Sr₂Ca₂Cu₃O_x Silver-sheathed Tape with B₂O₃ Addition," *Physica C*, **300**, 61-66 (1998).
15. M. Ishizuka, Y. Tanaka, T. Hashimoto and H. Maeda, "Influences of Cu Composition and Sintering Condition in Bi-2223 Tapes using Ag-Cu Alloy Sheath Doped with Ti, Zr or Hf," *Physica C*, **290**, 265-274 (1997).
16. M. Y. Song, "Variation in the Kind of Formed Superconducting Oxide and Microstructure with Heat-treatment Temperature in Yb-Ba-Cu-Ag Ribbons," *J. of the Kor. Ceram. Soc.*, **35**(1), 79-87 (1992).
17. M. S. Lee, S. Y. Song, C. Y. Lee, K. Y. Song and B. S. Choi, "Effect of Na Substitution for the Ca Site in the Bi₂Sr₂Ca_{1-x}Na_xCu₂O_{8+y} Superconductors," *J. of the Kor. Ceram. Soc.*, **35**(10), 1007-1013 (1992).
18. N. N. Merchant, D. J. Miller and V. A. Maroni, "Phase Stability and Grain Growth in an Ag/Bi-2223 Composite Conductor Prepared Using Fine-grained Bi-2223 as a Precursor," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, **9**(2), 2545-2548 (1999).
19. X. Y. Lu, A. Nagata, K. Sugawara and S. Kamada, "Grain Alignment and Critical Current Densities of (Bi,Pb)-2223 Phase in the Partial-melting and Sintering Process," *Supercond. Sci. Technol.*, **12**, 1098-1101 (1999).
20. K. Yoshida, Y. Sano and Y. Tomil, "Precipitation of Impurity Phase and its Effect on the Intergrain Conducting Properties of Ag-doped Bi(Pb)-Sr-Ca-Cu-O," *Supercond. Sci. Technol.*, **8**, 329-335 (1995).
21. N. Hirano and S. Nagaya, "Ag Doping on the Microstructure and Properties of Undirectional Grown Y-Ba-Cu-O Superconductors," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, **5**(2), 1564-1567 (1995).
22. A. Otto, L. J. Masur, C. Craven, D. Daly, E. R. Podtburg and J. Screiber, "Progress Towards a Long Length Metallic Precursor Process for Multifilament Bi-2223 Composite Superconductors," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, **5**(2), 1154-1157 (1995).
23. S. Kao, Ahmed El-Hamalawy and K. Y. Simon Ng, "Effect of Silver on the Phase Formation of Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O Superconductors," *J. Superconductivity*, **5**(3), 301-311 (1992).
24. W. Wong-Ng and L. P. Cook, "Effect of Po₂ and Ag on the Phase Formation of the Bi(Pb)-2223 Superconductor," *J. Mater. Res.*, **14**(5), 1695-1705 (1999).
25. Y. H. Kao, Y. D. Yao, L. Y. Jang, F. Xu, A. Krol, L. W. Song and C. J. Sher, "Effect of Silver Doping in the High-T_c Superconductor System Y-Ba-Cu-O," *J. Appl. Phys.*, **67**(1), 353-361 (1990).
26. M. Muralidhar, K. Nanda Kishore, S. Satyavathi, O. Pena and V. Hari Babu, "A. C. and D. C. Susceptibility Studies on Silver-doped BPSCCO(2223) Superconductors," *Mater. Sci. B*, **26**, 151-155 (1994).