

확산법에 의한 Bi-2223 초전도상의 제조 및 성장기구에 관한 연구

논문
7-4-1

Study on the Fabrication and the Growth Mechanism of Bi-2223 Superconducting Phase by Diffusion Method

최 성 환*, 최 효 상*, 한 태 희*, 황 중 선*, 한 병 성**
(Sung-Hwan Choi, Hyo-Sang Choi, Tae-Hui Han, Jong-Sun Hwang, Byung-Sung Han)

Abstract

According to spread volume of B(BiPbCuO) layer, composition ratio and each stage of sintering process, we studied stability of high Tc superconductor phase and generation and growth movement of superconducting phase.

The dual layer composed of SrCaCuO¹⁾ and BiPbCuO compound were prepared to develop the Bi-2223 superconductor[108K] through interaction and diffusion during sintering process. The dual layer samples were sintered at 830°C for 0~210 hours. From the result, the optimum conditions were : spread volume(A:B=1:0.6), sintering time(210h) and composition ratio(A:Sr₂Ca₂Cu₂-O₈, B:Bi_{1.9}Pb_{0.5}Cu₃O₇) at 830°C.

Key Words(중요용어) : Diffusion(확산), Composition ratio(구성비), Spread volume(도포량), Superconducting phase(초전도상), Growth movement(성장거동).

I. 서 론

1986년 Bednorz와 Muller의 LaBaCuO산화물 초전도체의 발견²⁻⁴⁾은 보다 높은 임계온도를 갖는 고온초전도 물질 합성연구의 시발점이 되었으며, 그 결과 액체질소 온도이상에서 초전도현상을 나타내는 YBaCuO산화물 초전도체의 출현을 가능하게 하였다. 이러한 가능성을 바탕으로한 연구 수행중 얻어진 괄목할 만한 연구결과는 희토류 원소가 포함되지 않는 BiSrCuO산화물중 Sr의 일부를 Ca로 대체하여 BiSrCaCuO계 초전도체를 얻은 것으로서, 이를 Bi계 초전도체는 희토류 원소를 포함하고 있지 않기 때문에 가격이 저렴하며 YBaCuO계와는 달리 수분에 대하여 강한 내저항성 등의 장점을 갖고 있다. 그러나 이 산화물은 Tc가 80K로 액체질소 온도(77K)에서의 응용을 고려할 때 열안정성이 문제가 된다. 따라서 이 계에서 임계온도가

100K이상인 단상 고온 초전도체의 제조에 관심이 집중 되어왔다.

고온상의 부피분율을 증가 시키기 위하여 Ca와 Cu등의 조성선택과 산소 분위기 하에서의 열처리, Pb첨가 및 장시간 소결에 의한 상생성 반응 촉진 등이 시도 되어왔다. 이중 가장 효과적인 방법은 Takano등에 의해서 보고된 바 있는데⁵⁻⁷⁾ Bi에 소량의 Pb를 대체 시키고 장시간 열처리 하므로써, Pb가 함유된 시편의 Tc가 108K인 고온 초전도상을 안정화시키는 방법이다. Pb를 doping하여 고온 초전도체를 안정화 시키는 데에 필요한 시간은 약 200시간 가량으로 상당히 장시간이 요구된다^{8,9)}. 현재까지 고온 초전도상의 조성기구는 확실하게 알려져 있지 않으며, 특히 고온 초전도상을 안정화하고¹⁰⁾ 제조공정을 단순화하기 위하여 초전도 상생성 반응기구와 반응 속도이론의 이해가 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 이중층 시료에서 확산 메카니즘을 이용하여 초전도체를 제조하였으며, 확산 과정을 분석하므로써 고온 초전도체의 상생성과정과 초전도체 성장과정을 규명하고자 하였다. 또한 실험과정을 통해 최적 조성비를 결정함은 물론 이들 결과를 바탕으로 Bi계 초전도체의 박막화를 위

* : 전북대학교 대학원 전기공학과

** : 전북대학교 전기공학과

접수일자: 1994년 1월 4일

심사완료: 1994년 2월 14일

한 기초를 마련하고자 하였다.

II. 실험 방법

1. 분말합성

실험을 위한 시료는 Aldrich가 제품(순도 99.99%)인 Bi_2O_3 , PbO , SrCO_3 , CaO , CuO 를 사용하였다. 본 실험은 이중층 시료의 확산을 이용하여 새로운 초전도체를 제작하였으며 제작과정을 그림 1에 나타내었다. A조성(SrCa-CuO)과 B조성(BiPbCuO)의 조성비가 서로 다른 시료로부터 확산기구를 통하여 초전도체를 제조하는 방식으로 이중층의 A층(그림 1)을 제조하기 위하여 고순도의 SrCO_3 , CaCO_3 , CuO 원료를 적정 몰비에 따라 정확히 칭량한 후, 아세톤을 용매로 하여 알루미늄나막자사발에서 좋은 혼합을 위하여 약 3시간동안 혼합과 분쇄를 하였다.

도포 혹은 이중 pellet층 형성에 사용될 B시료(그림 1)는 (Bi_2O_3 , PbO , CuO) 분말을 적정 몰비로 정확히 칭량한 후 A시료와 같은 방법으로 제조하였다.

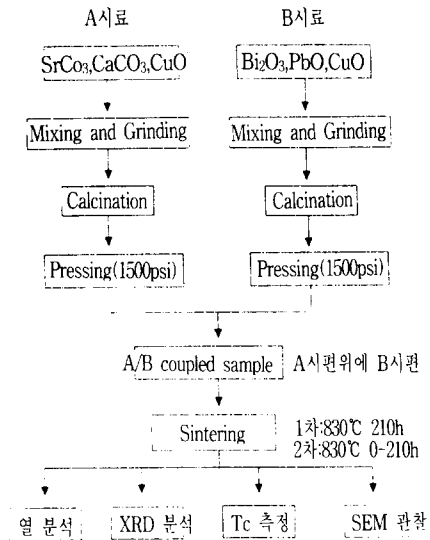


그림 1. 시편 제작 공정도

Fig. 1. Block diagram of sample preparation.

2. 하소와 소결

하소 전 처리과정으로 분쇄한 시료를 건조대에서 약한 열을 가하며 완전히 건조하였다. 건조된 A시료는 760°C, 공기분위기에서 6시간동안 유지하면서 1차 하소하였고, 1차 하소된 분말을 분쇄한 후, 820°C에서 12시간동안 2차 하소를 수행하였다.

2차에 걸쳐 하소를 행한 이유는 불순물 성분(CO_2 , O_2 등)을 완전히 제거하여 정제된 하소체를 얻으려는 목적이다. 2차 하소된 덩어리를 새 분쇄한 후 표준망체(#170)로 걸러 주었다. 시편을 제조하기 위하여 하소된 분말체를 1g씩 칭량하고 steel mold를 이용하여 1500psi 압력으로 지름 10mm, 두께 2mm인 원형판으로 성형하였다.

B시료는 1차 하소과정으로 400°C, 공기분위기에서 6시간동안 하소하였고 하소된 분말을 분쇄하여 630°C에서 12시간동안 2차 하소를 하였다. 하소후 딱딱히 굳은 시료를 막자사발에 넣고 미세한 분말이 될 때까지 갈아준 후 표준망체(#170)로 걸러냈다. 표준망체를 사용한 이유는 거친 입자를 사용하는 경우 확산과정에서 많은 void를 형성하며 단성분 입자 형성 및 편석된 상태에서 확산이 일어나기 쉽기 때문이다. 하소된 분말체를 A시료와 같은 방식으로 동일 크기의 원형판으로 성형하였다. 이중 pellet은 pellet형태의 A시료위에 B시료 pellet을 포개어 만들었다. 준비된 원판형 압분체 형태의 시편을 낮은 산소분위기(산소분압: 5kg/cm^2)에서 830°C로 0~210시간동안 소결 하였다. 소결 후 시편을 노냉 또는 공냉시켜 시편을 제조하였다.

3. 확산에 의한 초전도상의 성장

확산에 의한 초전도상 성장과정의 규명과 Bi계 초전도체 성장을 위한 최적조건을 산출하고자 먼저 실험 1로 최적 도포비:1:0.6¹¹, 소결온도:830°C, 소결시간:210시간에서 A, B시료의 조성을 달리하여 소결하였다(표 1).

표 1. A, B시료의 조성비 변화(실험 1)

Table 1. Composition of A and B samples.

Sr-Ca-Cu (A 시료)	Bi-Pb-Cu (B 시료)	비 고
2-2-0	1.5-0.5-3	brittle
2-2-0	1.9-0.5-3	"
2-2-1	1.5-0.5-3	"
2-2-1	1.9-0.5-3	"
2-2-2	1.5-0.5-3	100K
2-2-2	1.9-0.5-3	108K(최적)
2-2-3	1.5-0.5-3	100K
2-2-3	1.9-0.5-3	70K

실험 1에서 얻어진 최적조건(도포비:1:0.6, 조성비 A:B= $\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_2$: $\text{Bi}_{1.9}\text{Pb}_{0.5}\text{Cu}_3$, 소결온도: 830°C) 하에서 제작된 시료의 소결시간에 따른 영향을 고

표 2. 소결과정의 각 단계에서 채취한 시료들

Table 2. Samples taken at each stage of sintering process.

시료	온도 ℃	소결시간	비 고
1	25	0	pellet
2	760	4℃/분	승온단계
3	800	"	"
4	830	"	"
5	"	30분	소결단계 (승온후)
6	"	1	"
7	"	2	"
8	"	3	"
9	"	5	"
10	"	10	"
11	"	50	"
12	"	100	"
13	"	210	"

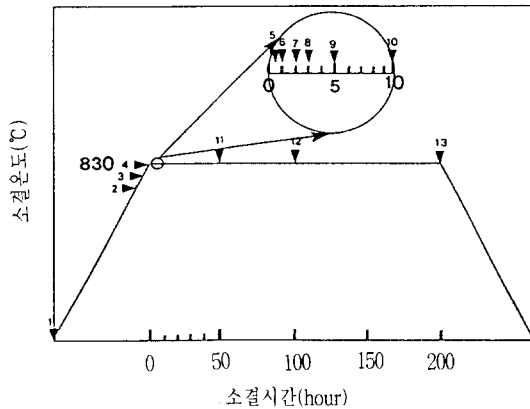


그림 2. 열처리 곡선

- * 소결온도:830℃ * 도포비:1:0.6
- * 조성비:A:Sr₂Ca₂Cu₂O_x, B:Bi_{1.9}Pb_{0.5}Cu₃O_y

Fig. 2. Heat treatment curve.

- * sintering temperature:830℃
- * spread rate:1:0.6
- * composition rate:A:Sr₂Ca₂Cu₂O_x,
B:Bi_{1.9}Pb_{0.5}Cu₃O_y

찰하기 위하여 그림 2와 같은 열처리 과정의 각 단계^{제2)}에서 시료를 취하여 소결시간에 따른 특성을 관찰하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 열 분석

확산에 영향을 주는 B시료(BiPbCuO)의 하소, 소결조건을 산출하기 위하여 하소하지 않은 혼합 분말을 상온에서 900℃까지 10℃/mm의 승온속도로 가열하여 그림 3과 같은 열분석 곡선을 얻었다. 그 결과 3개의 흡열피크와 1개의 발열피크가 관측되었다. 600℃에서 관측된 흡열피크는 PbO의 열분해 반응 중 산소의 제거과정에 따른 흡열반응으로 분석되며, 625℃의 피크는 혼합상태의 Bi₂O₃의 반응에 따른 흡열반응으로 해석된다. 또한 832℃의 피크는 혼합시료의 용융점으로 보여진다. 이 과정에서 2%의 질량감소가 생겼는데 이는 Bi₂O₃와 PbO에서 산소가 제거되면서 생긴 질량감소로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 B시료 성분중 Bi₂O₃와 PbO가 반응되지 않는 625℃아래에서 하소를 수행하였고 용융온도 부근인 830℃에서 소결을 행하였다.

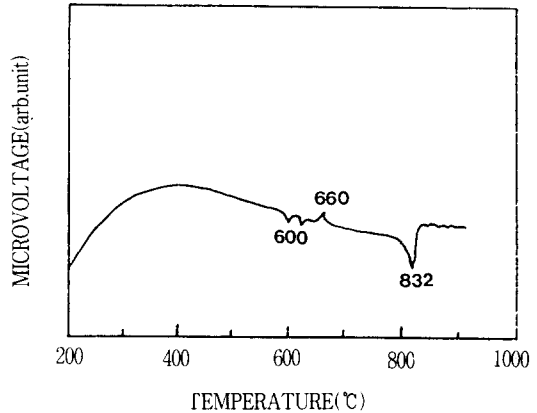


그림 3. BiPbCuO 시료의 열분석

Fig. 3. Thermal analysis of BiPbCuO sample.

2. 전기저항 측정

기 발표된 논문¹¹⁾을 바탕으로 일정한 조건인 소결온도:830℃, 도포비 1:0.6, 소결시간 210h에서 조성비^{제1)}를 변수로 소결한 시편의 전기저항을 측정하였다(그림 4). 임계온도값 108K 나타낸 그림 4-b는 고상 반응법(그림 4-e)에서 얻은 결과 값과 일치하며, 기 발표^{12,13)} (T_c:105-109K)된 Bi계 초전도체보다 약간 높은 값을 나타내었다. Cu와 Bi의 조성비 변화시 임계특성 변화는 매우 컸는데 기 발표된 결과와 비교할때 초전도체 상을 구성하고 있는 성분의 열할, 특히 결정구조에서 Cu-O면을 결

정하는 요소로서 Cu의 역할을 다시 한번 증명하였다. 그림 4-b 시편의 X-ray 분석결과에 근거하여 볼때 시편내부의 고온상(2223)과 전온상은 소결초기 성장하기 시작하여 장시간의 소결과정을 거치면서 저온상은 소멸되고 고온상은 증가하므로써 높은 임계온도를 얻을 수 있었던 것으로 사료된다. 4-c와 4-d 시편의 임계온도는 다른것과 비교하여 다소 감소하였는데 이는 Cu의 과포화에 의한 것으로 사료된다.

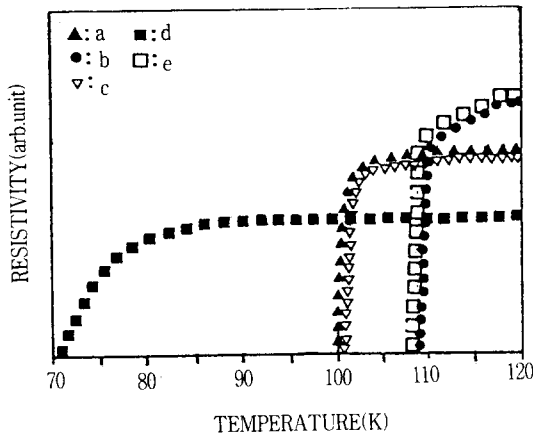


그림 4. Bi(Pb)SrCaCuO계 초전도체의 A, B 조성비에 따른 임계온도

(소결온도:830°C, A:B 도포비:1:0.6, 소결시간:210시간)

- (a) A: Sr₂Ca₂Cu₂O_x B: Bi_{1.5}Pb_{0.5}Cu₃O_y
- (b) A: Sr₂Ca₂Cu₂O_x B: Bi_{1.9}Pb_{0.5}Cu₃O_y
- (c) A: Sr₂Ca₂Cu₃O_x B: Bi_{1.5}Pb_{0.5}Cu₃O_y
- (d) A: Sr₂Ca₂Cu₃O_x B: Bi_{1.9}Pb_{0.5}Cu₃O_y
- (e) 고상법에 의하여 제조된 (Bi, Pb)₂Sr₂Ca₂Cu₃O_x

Fig. 4. Critical temperature of A, B composition with a ratio of A/B sample (sintering temperature: 830°C, A:B spread ratio: 1:0.6, sintering time: 210 hrs.)

- (a) A: Sr₂Ca₂Cu₂O_x B: Bi_{1.5}Pb_{0.5}Cu₃O_y
- (b) A: Sr₂Ca₂Cu₂O_x B: Bi_{1.9}Pb_{0.5}Cu₃O_y
- (c) A: Sr₂Ca₂Cu₃O_x B: Bi_{1.5}Pb_{0.5}Cu₃O_y
- (d) A: Sr₂Ca₂Cu₃O_x B: Bi_{1.9}Pb_{0.5}Cu₃O_y
- (e) (Bi, Pb)₂Sr₂Ca₂Cu₃O_x prepared by solid state reaction.

3. XRD 분석

최적 조건(소결온도:830°C, 도포비:1:0.6, 소결시간:210h, 조성비:A: Sr₂Ca₂Cu₂O_x, B: Bi_{1.9}Pb_{0.5}Cu₃O_y)에서 소결한 시편의 경계층에서의 초전도 상태를

파악하기 위하여 소결 각 단계별로 시료의 X선 회절분석(그림 5)을 하였다. 소결초기에 성분들간에 혼합성을 형성하며 다수의 상이 관측되었다. 승온 단계를 거치면서 800°C 부근에서 혼합상의 peak는 거의 사라지며 830°C를 전후하여 저온상 피크(0010, 0012, 0016)가 나타나기 시작했다. 계속적인 소결에 따라 30분 정도 진행됐을 때 저온상과 약간의 고온상 피크(119)가 나타나기 시작하였으며 소결시간이 3시간 정도 진행됐을 때 저온상은 거의 사라지고 고온상이 대부분이었다. 이후 경계층에서는 변화가 거의 없으며 내부시편에서 전반적인 고온초전도상 성장을 위하여 장시간 소결(200시간 이상)이 필요하다.

4. 미세조직 관찰

일정한 조건(소결온도:830°C, 최적 조성[표 1 참조]에서 각 단계별로 소결한 시편의 상층부와 파면을 주사전자현미경을 이용하여 관찰하였다(사진 1, 2). 상층부(사진 1)를 살펴보면 소결하지 않은 미세한 분말시료(사진 1.a)는 입자에 따라 다소 차이는 있지만 프레스의 압축으로 인하여 비교적 조밀하게 형성되어 있었다. 승온과정 760°C에서 관찰된 조직(사진 1.b)에서는 용융온도가 낮은 Bi, Pb 성분이 Cu입자를 중심으로 막대 형태를 이루었다. 또한 승온중인 800~830°C에서 관찰된 조직(사진 1. c, d)에서는 상호확산을 통해 덩어리진 결정립들을 관찰할 수 있었으며, 액상과 입자들은 원자간 상호확산을 해 나갔다. 승온후 30분 진행된 시편(사진 1. e)을 살펴보면 결정립들은 성장하여 점점 거대화 되고 일부 성분들은 내부로 침투해 들어감을 보여주고 있다. 소결시간이 3시간(사진 1. f), 10시간(사진 1. g)으로 진행됨에 따라 입자들은 상호반응을 통해 더욱 조대화되고 하층부로 침투 성분들이 빠져나가면서 조직사이에 void들이 다수 형성되어 있었다. 소결시간이 장시간 진행됨에 따라 성장된 결정립들로 부터 원자들이 분리되어 하층부로 확산해 들어감으로써 결정립 크기는 다소 감소 하였다(사진 1. h).

파면(사진 2)을 살펴보면 먼저 승온과정중 760°C에서 상층부에서 액상이 소량 확산하였고, 800~830°C(사진 2. b, c)사이에서는 상층부 조직 내부에 거대한 void들이 생성된 반면 하층부에서는 상층부에서 확산된 제 2상과 하층원소들이 반응된 형태를 보이고 있다. 거대한 void(사진 2. b)는 승온과정중 조직 내부에서 원소간 반응으로 생성된 gas에 의한 부풀림 현상이며, 소결시간이 진행되면서 소멸되었다. 파면 상층에서는 소결시간이 1시간에서 3시간으로 증가함에 따라 void들의 수량은

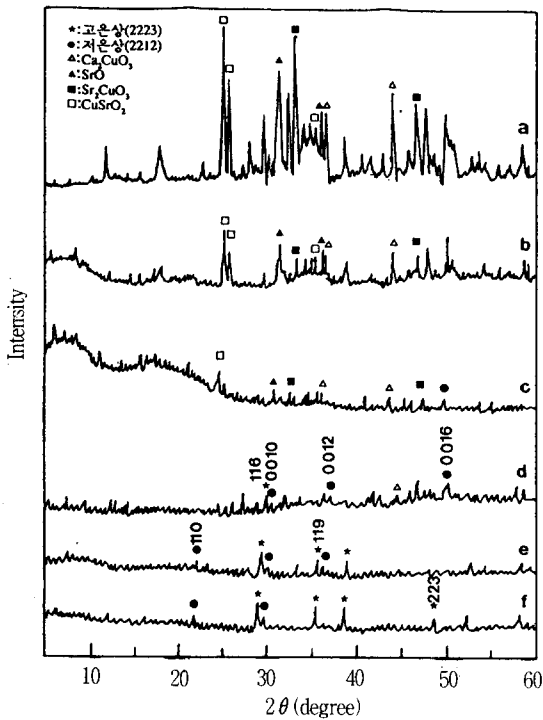
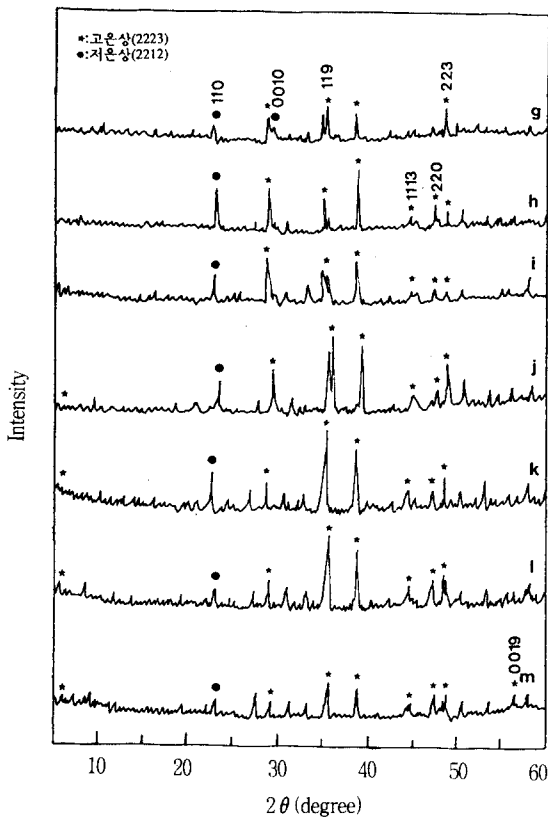


그림 5. 소결시간대 별 BiPbSrCaCuO계 초전도체 이종 경계면의 X-선 회절패턴(도포비:1:0.6, 조성비:A:Sr₂Ca₂Cu₂O_x, B:Bi_{1.9}Pb_{0.5}Cu₃O_y)

- (a)소결전 (b)승온중 760℃
 (c) 승온중 800℃ (d) 승온중 830℃
 (e) 30분 (f) 1시간 (g) 2시간
 (h) 3시간 (i) 5시간 (j) 10시간
 (k) 50시간 (l) 100시간 (m) 210시간

Fig. 5. X-ray diffraction patterns with each stage of sintering process at boundary surface of BiPbSrCaCuO superconductor (spread rate:1:0.6, composition rate:A: Sr₂Ca₂Cu₂O_x, B:Bi_{1.9}Pb_{0.5}Cu₃O_y) (a) before sintering (b) 760℃ (c) 800℃ (d) 830℃, sintering for (e) 0.5 (f) 1 (g) 2 (h) 3 (i) 5 (j) 10 (k) 50 (l) 100 (m) 210[unit:hrs]



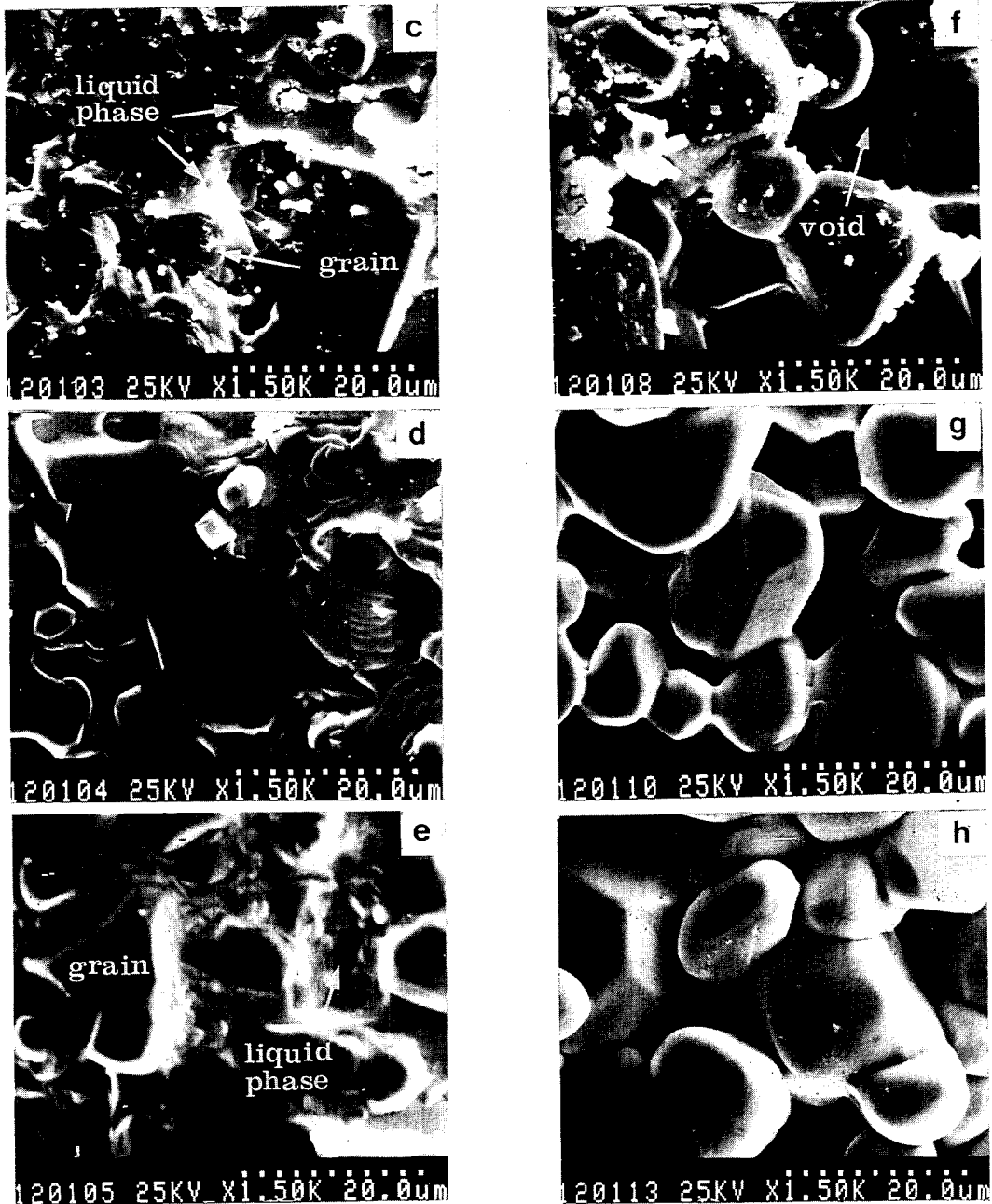


사진 1. 소결시간대별 Bi(Pb)SrCaCuO계 초전도체의 상층면의 주사전자현미경 사진.
 (소결온도:830℃, 도포비:1:0.6, 조성비: A:Sr₂Ca₂Cu₂O_x, B:Bi_{1.9}Pb_{0.5}Cu₃O_y)
 (a) 소결전 (b) 승온중 760℃ (c) 승온중 800℃ (d) 승온중 830℃ (e) 30분 (f) 3시간 (g) 10시간 (h) 210시간

Photo. 1. SEM images of upper surface with each stage of sintering process of

BiPbSrCaCuO superconductor(sintering temperature:830℃, spread rate:1:0.6, composition rate: A:Sr₂Ca₂Cu₂O_x B: Bi_{1.9}Pb_{0.5}Cu₃O_y)
 (a) before sintering (b) 760℃ (c) 800℃ (d) 830℃, sintering for (e) 0.5 (f) 3 (g) 10 (h) 210[unit:hrs]

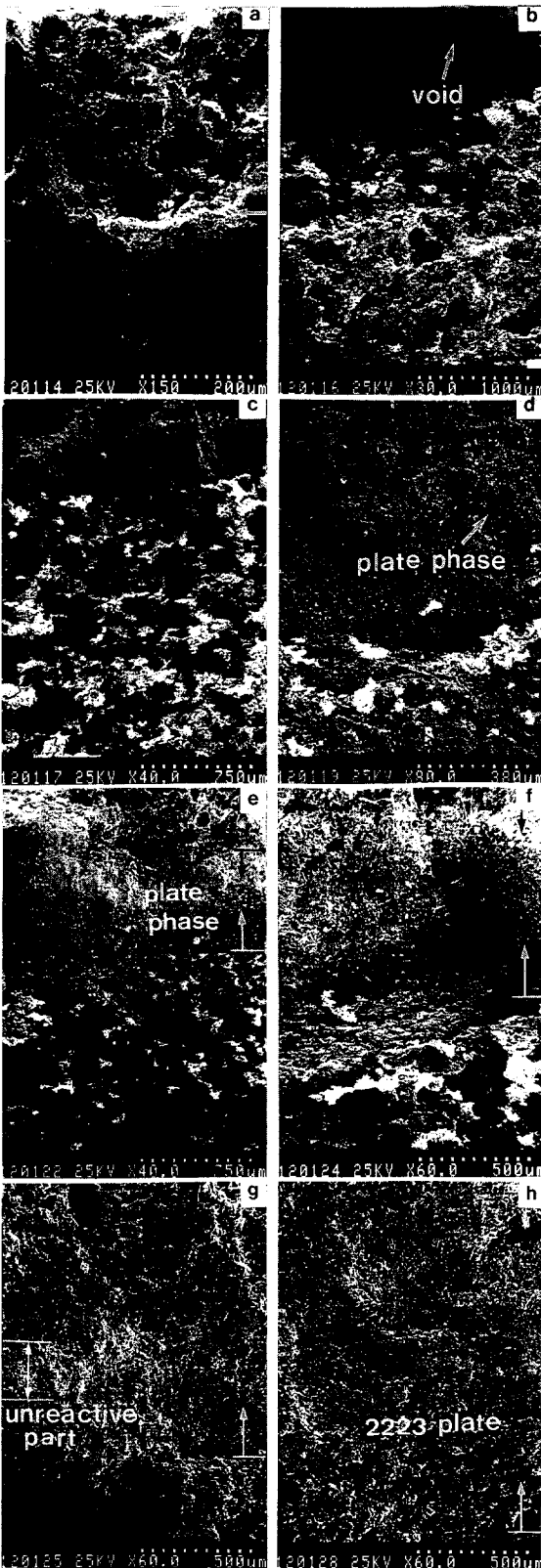


사진 2. 소결시간대 별 Bi(Pb)SrCaCuO계 초전도체의 파면의 주사 전자현미경 사진 (소결온도: 830℃, 도포비: 1:0.6, 조성비: A: $Sr_2Ca_2Cu_2O_x$, B: $Bi_{1.9}Pb_{0.5}Cu_3O_y$)
 (a) 승온중 760℃ (b) 승온중 800℃
 (c) 승온중 830℃ (d) 1 시간 (e) 3 시간 (f) 10 시간 (g) 50 시간 (h) 210 시간

Photo. 2, SEM images of fracture surface with each stage of sintering process of Bi (Pb)SrCaCuO system superconductor (sintering temperature: 830℃, spread ratio: 1:0.6, composition ratio: A: $Sr_2Ca_2Cu_2O_x$, B: $Bi_{1.9}Pb_{0.5}Cu_3O_y$)
 (a) 760℃ (b) 800℃ (c) 830℃ (d) 1 (e) 3 (f) 10 (g) 50 (h) 210[unit:hrs]

증가하나 크기는 슬형화되었다. 이때 반응 경계면에서는 판상형태가 소량 이루어짐을 관찰할 수 있다(사진 2-e). 소결시간이 10시간(사진 2. f) 50시간(사진 2. g) 증가함에 따라 고온상이 많이 증가하였고, 파면 관찰에서 상층과 하층 일부를 제외하고 판상형태를 살펴볼 수 있으며, 미 반응된 성분들이 확산이 계속되면서 부분적으로 관찰되었다(사진 2-g). 장시간 소결(210시간)을 통해 초전도상이 시편 내부 전체적으로 성장되어 있음을 알 수 있었다(사진 2-h).

IV. 결 론

이중층 시료의 확산을 이용하여 조성비 및 소결 시간에 따른 각 단계별 분석을 통해 고온 초전도상의 안정화와 초전도상 성장기구를 규명하므로써 다음과 같은 몇가지 결론을 얻었다.

1. 일정조건(소결온도: 830℃, 소결시간: 210시간, 도포비A:B=1:0.6)에서 제조된 Bi(Pb)SrCaCuO계 초전도체의 최적 조성비는 A시료: $Sr_2Ca_2Cu_2O_x$, B시료: $Bi_{1.9}Pb_{0.5}Cu_3O_y$ 였고, 임계온도는 108K 였다.
2. 소결온도 830℃, A: $Sr_2Ca_2Cu_2O_x$, B: $Bi_{1.9}Pb_{0.5}Cu_3O_y$ 조성비에서는 승온단계에 다수의 제 2상과 저온상(2212)이 형성되나 소결시간이 증가함에 따라 저온상은 점차 소멸하고 고온상(2223)의 파괴분율이 증가되었다.
3. 최적 조성조건에서 소결과정 각 단계의 시간별 관찰을 통하여 승온과정에서는 액상이 형성되고, 소결과정을 거치면서 하층의 입자들과 상호

- 확산을 통하여 초전도 판상을 형성함을 알 수 있었다.
4. 승온후 생성된 저온 초전도상과 제 2상들간의 상호반응을 통하여 고온 초전도상이 생성되었으며, 그 생성 반응은 초기에 활발하였다. 전체 시편의 초전도 판상구조를 형성, 초전도상이 안정화 되었으며 초전도체 임계온도 특성향상을 위하여 약 200시간 정도의 소결시간이 요구되었다.
 5. 고온상 생성 및 성장을 촉진한 제 2상인 액상은 승온중 조직내부에서 부분용융에 의하여 생성되었으며, 이를 통해 조직은 부분적으로는 비교적 치밀한 미세조직을 형성하나 많은 양의 액상이 하층부로 확산되어 상층부에 void를 다량 생성하였다.

참 고 문 헌

1. R.S. Roth, C.J. Raum, J.J. Ritter and B.P. Burton, J. Am. Ceram. Soc., vol. 72, 1545(1989).
2. J.G. Bednorz and K.A. Muller, Z. Phys. B, vol.3, 379(1987).
3. J.G. Bednorz, M. Takasige and K.A. Muller, Europhysics Letters, vol.3, 379(1987).
4. J.G. Bednorz and K.A. Muller, Z. Phys. B, vol. 4, L4(1986).
5. S.M. Green, C. Jiang, Y. Mei, H.L. Luo and C. Politis, Phys. Rev. B, vol. 38, 5016(1988).
6. S. Koyama, U. Endo and T. Kawai, Jpn. J. Appl. Phys., vol. 27, L1861(1988).
7. M. Takano, J. Takano, K. Oda, H. Kitaguchi, Y. Miura, Y. Iketa, Y. Tomii and H. Mazaki, Jpn. J. Appl. Phys., vol.27, L1041(1988).
8. L. Hongbao, L. Liezhao, Z. Ling and Z. Yuheng, Solid State. Commum., vol. 69, 867 (1989).
9. M.R. Chandra hood, I.S. Mulla and A.P.B. Sinha, Appl. Phys. Lett., vol.55, 1472(1989).
10. H. Hoshizaki, S. Kawabata and N. Kawabata Jpn. J. Phys., vol. 29, 1444(1990).
11. S.H. Choi, S.J. Park, T.H. Han, H.S. Choi, H. S. Yu and B.S. Han, KIEEME 춘계학술대회 논문집, 22(1993).
12. I. Mstsdubsra, H. Tanigawa, T. Ogura, H. Yamashita, M. Kinoshita, and T. Kawai, Jpn. J. Appl. Phys, vol. 28, L1358(1989).
13. T.H. Han, M.K. Kim, S.H. Choi, H.S. Choi and B.S. Han, KIEE, vol. 7, 766(1992).

저자소개



최성환

1967년 5월 31일생. 1992년 전북대 공대 금속공학과 졸업. 1994년 전북대 공대 전기공학과 졸업(석사). 주 관심분야는 반도체 및 초전도체임.



최효상

1967년 2월 21일생. 1989년 전북대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 전북대 공대 전기공학과 졸업(석사). 현재 전북대 대학원 전기공학과 박사과정. 주 관심분야는 반도체 및 초전도체임.



한대희

1964년 7월 20일생. 1991년 2월 전북대 금속공학과 졸업. 1991년-현재 전북대학교 전기공학과 석사과정. 1992년-현재 한국전기연구소 초전도 연구실 위촉연구원.



황종선

1953년 12월 13일생. 1977년 한양대 전기공학과 졸업. 1979년 한양대 산업대학원 졸업(석사). 1993년 전북대 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 1987-현재 한국원자력 연구소 근무중.



한병성

1951년 12월 22일생. 1975년 전북대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 전북대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 프랑스 루이파스퇴르 대학 박사학위 취득. 1988년 프랑스 CNRS(프랑스 국립과학연구소) 연구원. 1989년-현재 전북대 공

대 전기공학과 부교수.