

## Y-Ba-Cu-O계에서 $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ 상의 성장에 미치는 $SnO_2$ 의 효과

임대호 · 송명엽 · 이희균\* · 원동연\* · 홍계원\*

전북대학교 재료공학과  
\*한국원자력연구소

Effect of  $SnO_2$  addition on the growth of  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  phase in Y-Ba-Cu-O system

Dae-Ho Lim\*, Myoung-Youp Song\*, Hee-Gyoun Lee, Dong-Yeon Won, Gye-Won Hong

Department of Materials Engineering, Chonbuk National University

\*Korea Atomic Energy Research Institute, Daeduk Science Town, Taejeon

**초 록** Y-Ba-Cu-O계에서 123상의 성장에 미치는 Sn의 효과를 관찰하기 위하여 Sn이 첨가된 123+Sn성형체와 Sn이 첨가되지 않은 123성형체와의 couple시편을 만들었다. 1100°C에서 24시간 유지한 후 970°C에서 1시간 유지한 시편에서 123상은 Sn이 첨가된 123+Sn 성형체의 표면에서부터 생성되어 Sn이 첨가되지 않은 123성형체 내부쪽으로 성장하였다. 1100°C에서 48시간 유지한 후 970°C에서 1시간 유지한 시편에서는 123상이 관찰되지 않았으며 Y-Ba-Sn으로 구성된 결정립이 관찰되었다.

**Abstract** In order to investigate the effect of  $SnO_2$  on the growth of 123 phase in Y-Ba-Cu-O system, 0.1Sn-doped 123+Sn compact was coupled with Sn-free 123 compact by placing the former on the latter. In case of the coupled samples which were held at 1100°C for 24hr and then at 970°C for 1hr, 123 phase grew from the surface of 0.1Sn-doped 123+Sn compact toward the inner of Sn-free 123 compact. In case of the coupled samples which were held at 1100°C for 48hr and then at 970°C for 1hr, it was not the 123 phase but Ba-Y-Sn grains that were observed. Ba-Y-Sn grains with a shape of bar was composed of Ba : Y : Sn = 5 : 3 : 2, approximately.

### 1. 서 론

1986년 Bednorz와 Müller의 LaBaCuO계 산화물 초전도체 발견<sup>1)</sup> 이래 Y-Ba-Cu-O 초전도체의 임계전류밀도( $J_c$ )를 응용할 수 있는 수준으로 향상시키기 위한 많은 연구가 진행되어 왔다.  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ (이하 123)박막에서 임계전류밀도는  $10^6 A/cm^2$ 까지 얻어졌고<sup>2,3)</sup>, 123 단결정에서는 77K, 1T에서  $5 \times 10^3 A/cm^2$ 까지  $J_c$ 값을 가진다고 보고되었다<sup>4,5)</sup>. 그러나 123 단결정 bulk 초전도체 시편에서는  $J_c$ 가 보통  $10^2 A/cm^2$ 보다 낮는데 이것은 입계에서의 weak links와 고경각경계 때문인 것으로 알려져 있다<sup>6)</sup>. 그외에도 소결체에 많은 기공이 존재하여 소결입자의 접촉면적을 작게하고 입계를 횡단하여 흐르는 거시적인 전류의 경로가 틈새만큼 감소하므로  $J_c$ 가 낮게 되며, 또한 입내, 입계에 비초전도상의 석출로 인하여  $J_c$ 감

소, 결정이방성으로 인한 전류 저해 등이  $J_c$  감소 원인으로 나타날 것이다. 따라서 결정 미세조직 또는 결정 배향조절을 통하여 고경각 경계를 제거하는 것이 weak links문제를 극복하는데 매우 중요하리라 생각된다.

Jin 등은 123의  $J_c$ 를 온도구배가 있는 액상법(melt-growth or melt-texturing)을 사용하여 제조한 123시편에서 입계의 weak links를 감소 시킴으로써 77K, 1T에서  $4 \times 10^3 A/cm^2$ 까지 증가시켰다고 보고했다<sup>7)</sup>. 그리고 Murakami 등은 MPMG(Melt-Powdered-Melt-Growth) 법으로 제조한 123bulk시편에서 77K, 1T에서  $10^4 A/cm^2$ 이상의  $J_c$ 값을 얻었다고 보고했다<sup>8-12)</sup>.

고 임계전류밀도를 얻기 위해서는 의도적으로 123상 내에 미세 분산시킨 211입자들로 flux pinning을 증가시킴으로써  $J_c$ 를 향상시킬 수 있다는 보고가 있었기 때문에<sup>13)</sup> 많은 연구들이 Y-Ba-Cu-O계에서 임계전류밀도와 미세

조직에 미치는 211의 영향을 이해하는데 집중되어 왔다.

최근까지 진행된 211입자 크기 영향에 대한 여러 연구에서  $BaSnO_3$ <sup>[4]</sup>,  $CeO_2$ <sup>[5]</sup>,  $Rh$ <sup>[6]</sup>,  $Pt$ <sup>[7, 18]</sup>의 첨가가 211상의 크기를 감소시키고  $J_c$ 값을 증가시키는 효과가 있다고 보고되었다. 특히 Osamura 등은 123계에  $SnO_2$ 를 첨가시킴으로써 현저하게 밀도가 증가하여 이론 밀도의 99%까지 도달되었으며 평균 결정립 크기가 작아지고 미세한  $BaSnO_3$ 상의 석출과 함께  $J_c$ 의 증가를 보였다고 보고하였다<sup>[9]</sup>. 그러나 이들 첨가원소가 123상의 생성 및 성장에 미치는 영향에 대해서는 아직 크게 연구한 바가 없었다.

따라서 본 연구에서는 123계에  $SnO_2$ 를 첨가함으로써 Sn이 123상의 성장에 미치는 효과 및 그 미세조직을 관찰하고자 하였다.

## 2. 실험 방법

순도가 99.9%인  $Y_2O_3$ ,  $BaCO_3$ ,  $CuO$ ,  $SnO_2$ 분말을 원하는 화학조성으로 혼합하여  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  (이하 123) 및  $Y_1Ba_2Cu_3Sn_{0.1}O_{7-\delta}$  (이하 123+Sn) 조성의 분말을 제조하였다. 각 혼합 분말을 930°C에서 24시간 동안 하소하였으며 균일한 조성을 얻기 위하여 하소과정을 2회 반복하였다. 이렇게 제조된 분말을 1ton/cm<sup>2</sup>의 일축압력으로 직경이 15mm이고 두께가 3mm인 원판 모양으로 성형한 후, Table 1에 나타난 것과 같이 두 성형체를 포개어 여러 종류의 couple 시편을 만들었다. 모든 couple 시편들은 950°C에서 24시간 동안 소결하였고 ①~③번 시편은 1100°C까지 300°C/hr로 가열하여 24시간 동안 유지한 후 로내에서 60°C/min으로 970°C까지 냉각시킨 후 1시간 동안 유지하고, 로에서 바로 꺼내어 상온으로 공냉하였다. 1100°C에서 24시간 유지한 것은 211상과 액상의 충분한 분리를 유도하기 위함이었으며, 포정온도이 아닌 970°C에서 1시간 동안 유지하고 공기중에서 급냉한 것은 1100°C에서 충분히 분리된 211상과 액상으로부터 생성된 123상의 생성 및 성장시간을 충분히 주지 않음으로써 1시간 동안 성장한 123상의 성장과정을 관찰하기 위함이었다. 각 시편에서 Sn이 첨가된 123+Sn 성형체 위치가 다른 것은 로 안의 온도구배에 상관없이 123상 생성에 미치는 Sn의 효과를







Sample #	Shape	Holding Time (hr)		
		1100°C	970°C	450°C
①		24	1	48
②		24	1	48
③		24	1	48
④		48	1	48
⑤		48	1	48
⑥		1	1°C/hr slow cooling	48

Table 1. Shape of the coupled samples and conditions of Heat treatment.

확실히 알아보기 위해서였다. ④번 시편은 ①번 시편과 같은 모양의 couple 시편이지만 ①번 시편의 열처리와는 달리 1100°C에서 유지시간을 더 길게 함으로서 좀 더 뚜렷한 211상과 액상의 분리를 유도할 뿐 아니라 1100°C에서 장시간 유지한 후 970°C로 냉각하여 123상의 생성속도 및 미세조직에 미치는 Sn의 효과를 관찰하기 위하여 준비하였다. 그리고 ⑤번 시편은 123조성에 0.1mol  $SnO_2$ 를 첨가하여 단일 시편으로 준비하였다. ①~⑤번 시편 모두 시편내부의 산소확산을 위하여 450°C에서 48시간 동안 열처리 하였는데 이는 450°C에서 열처리 동안 초전도상은 정방정에서 사방정으로 상변이하고 이때 발생하는 응력에 의해 사방정상은 twin 구조를 갖게 되기 때문에 미세조직 관찰에서 생성된 123상과 다른 상을 쉽게 구분하기 위해서였다. ⑥번 시편은 준용융 과정에서 Sn의 영향으로 인한 123상의 성장을 관찰하기 위하여 123+Sn 성형체(직경 20mm, 두께 6mm) 중앙에 123 성형체(직경 15mm, 두께 3mm)를 매몰시켜 시편을 제작하였으며, 이 couple 시편은 2ton/cm<sup>2</sup>의 냉간정수압(CIP)으로 성형되었다. 이 성형체에 대한 준용융 열처리

1100°C까지 300°C/hr로 가열하여 1100°C까지 1시간 유지하고 60°C/hr로 1100°C까지 서냉한 다음 1010°C부터 970°C까지는 1°C/hr로 서냉하였으며 450°C까지 20°C/hr로 냉각하여 그 온도에서 48시간 유지하는 과정으로 시편을 제조하였다.

모든 시편의 미세조직은 미세연마된 단면에 대하여 편광 광학현미경과 주사전자현미경(SEM)으로 관찰하였으며 각 상의 조성을 알

아보기 위하여 EPMA로 분석하였다. 관찰부위는 Sn이 첨가된 123+Sn성형체와 Sn이 첨가되지 않은 123성형체로 만든 couple시편의 계면(interface)부위를 주로 관찰하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 1(a)는 1100°C에서 24시간 유지한 후 970°C까지 60°C/min으로 냉각하여 1시간동안 유지하고 공냉한 시편(Table 1의 ①번)의

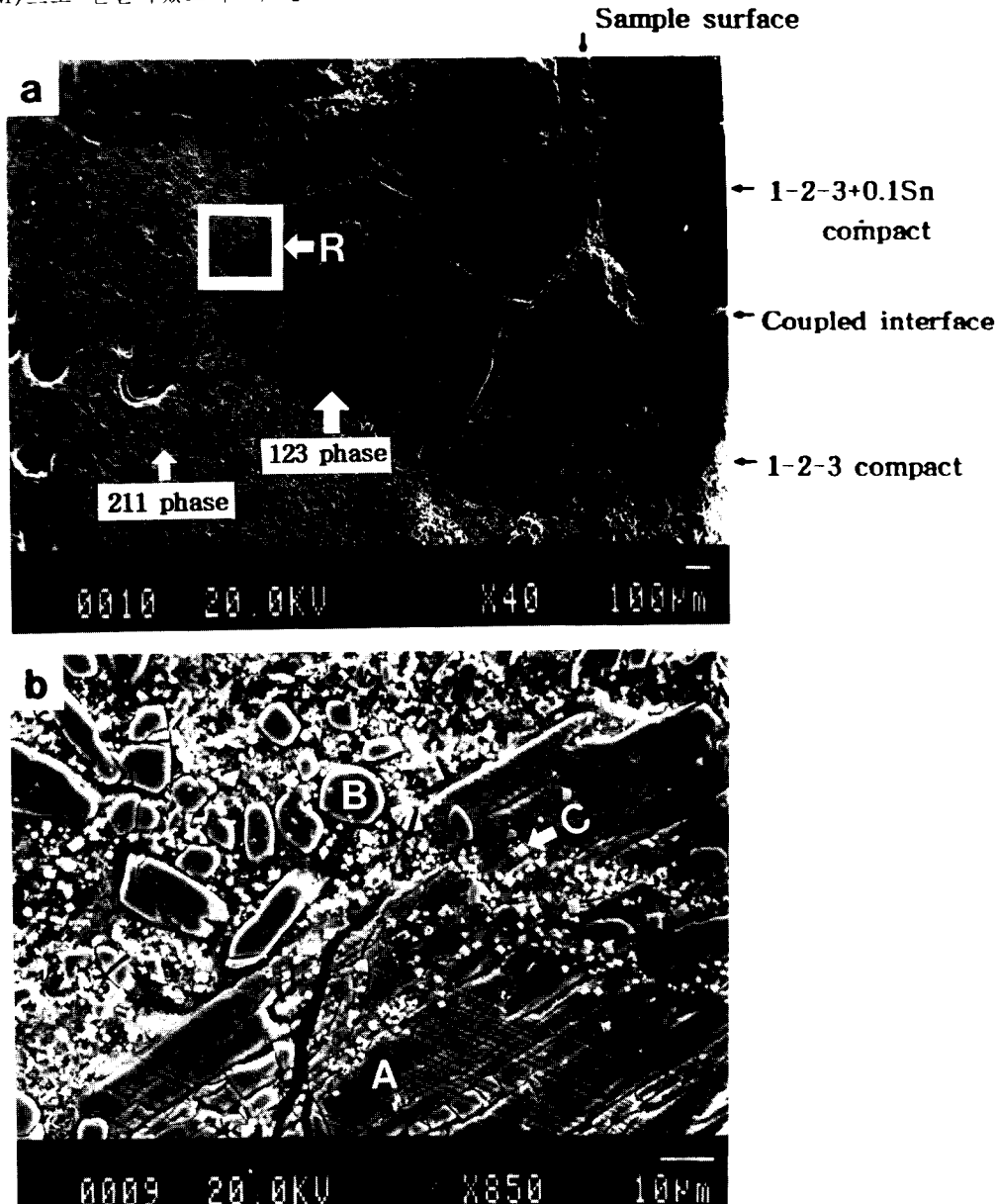


Fig. 1. (a) SEM micrograph of the coupled sample that a 123+Sn compact was put on a 123 compact, (b) SEM micrograph on the area R in (a). Heat treated at 1100°C for 24hr and at 970°C for 1hr, and then air-quenched.

123성형체와 Sn이 첨가된 123+Sn 성형체의 계면 부위의 미세조직을 관찰한 저배율의 주사전자현미경 사진이다. 두 성형체간의 구분은 사진에서 보이듯이 Sn이 첨가된 123+Sn 성형체가 123성형체보다 훨씬 더 수축하여 시편의 측면이 계단모양을 이루고 있어 잘 구분할 수 있다. 미세조직 사진의 위 부분은 123+Sn성형체이고 아래 부분은 123성형체에 해당한다. ①번 시편에서 123상은 Fig. 1(a)에 나타낸 것과 같이 123+Sn 성형체의 표면부위에서만 관찰되었으며, 표면에서 생성된 123상은 내부에 성장되었음을 볼 수 있다. 또한 123+Sn 성형체와 123성형체의 계면부위를 점유하고 성장된 123결정립에서 123+Sn 성형체 부위와 123성형체 부위의 twin구조를 관찰한 결과, twin구조의 방향이 같은 것을 관찰할 수 있었다. 그러므로 시편의 계면부위에 있는 123결정립은 123+Sn 성형체로부터 123성형체 내부에 성장된 123상인 것으로 판단되었다. 그리고 123결정립 부위에서 몇몇의 미세균열이 관찰되었는데 이 균열들은 970°C에서 공냉시 발생하여 450°C에서 장시간 열처리시 정방정에서 사방정으로 상변이가 일어나면서 발생한 응력에 의하여 더 발전된 것으로 생각된다. Fig. 1(b)는 Fig. 1(a)에 R로 표시한 123상 성장부위를 확대한 주사전자현미경 사진이다. 이 미세조직 사진에서는

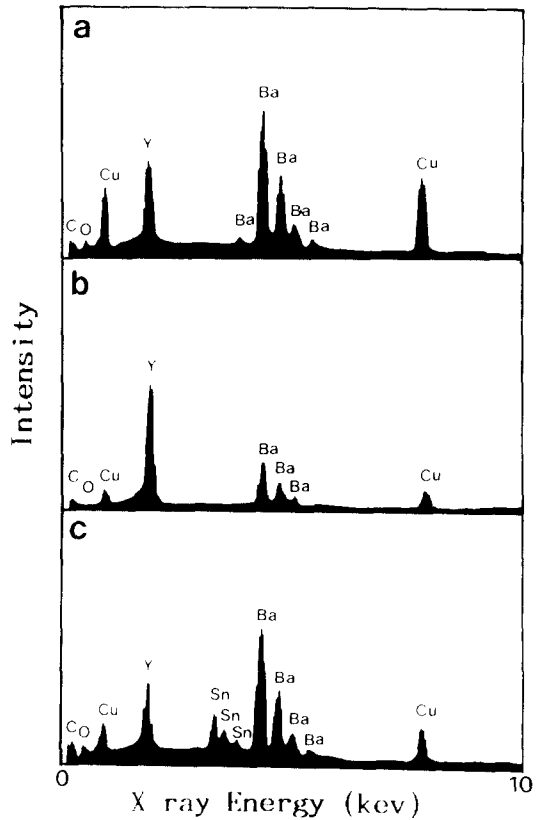


Fig. 2. EPMA spectra of three kinds of phases in Fig. 1(b).

(a), (b) and (c) showing EPMA spectra of A, B, and C phases, respectively.

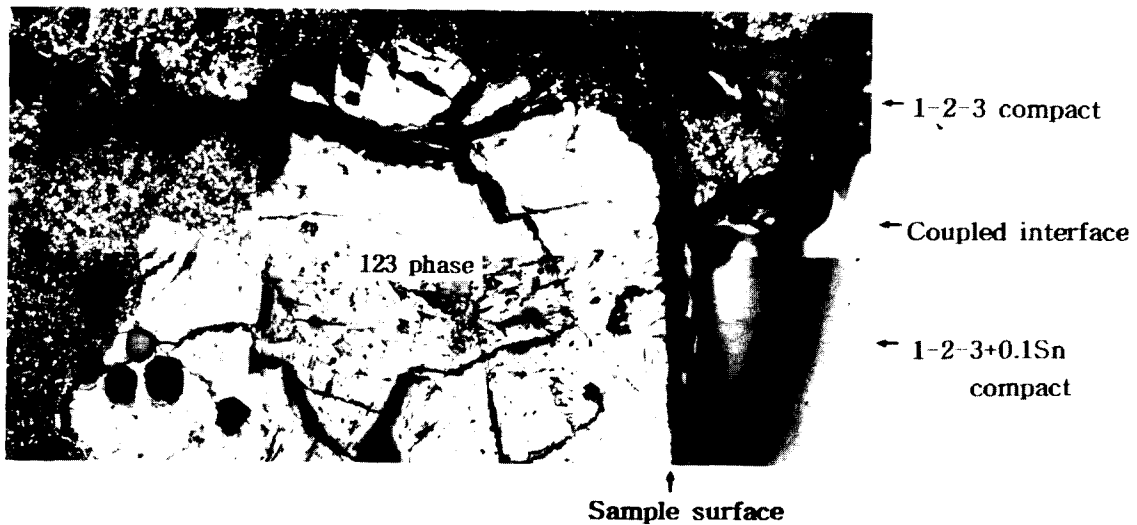


Fig. 3. Optical micrograph of the coupled sample that a 123 compact was put on a 123+Sn compact. Heat treated at 1100°C for 24hr and at 970°C for 1hr, and then air-quenched.

123상, 액상, 211상이 관찰되며 123상 부위와 액상부위에 하얗고 네모난 모양의 미세한 입자들이 관찰되었다. 각 상을 확인하기 위하여 EPMA분석을 하였으며 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 1(b)에 표시한 A상은 123상이고(a), B상은 211상이고(b), C상은  $BaSnO_3$ 상임이(c) 확인되었다. Fig. 2(c)의 spectrum에서 Y, Cu원소가 검출되며 Ba-rich인 spectrum이 관찰되는데 이는  $BaSnO_3$ 상의 결정립 크기가 입사 전자빔의 직경보다 작고 얇기 때문에 Y과 Cu의 X-ray peak가 나타나는 것으로 생각된다<sup>20)</sup>.

Fig. 3은 ②번 시편의 두 성형체간 계면의 미세조직 사진이다. couple시편의 밑에 있는 123+Sn 성형체가 ①번 시편의 경우와 마찬가지로 상당히 수축하여 couple시편의 모양은 역계단 모양을 이루고 있어 쉽게 두 성형체를 구분할 수 있다. 여기서도 123+Sn 성형체 표면에서부터 생성된 123상이 123성형체 내부로 성장되었음을 미세조직 관찰로부터 확인할 수 있었다.

Fig. 4는 ③번 시편의 미세조직 사진인데 couple시편의 측면에서 123+Sn성형체를 중

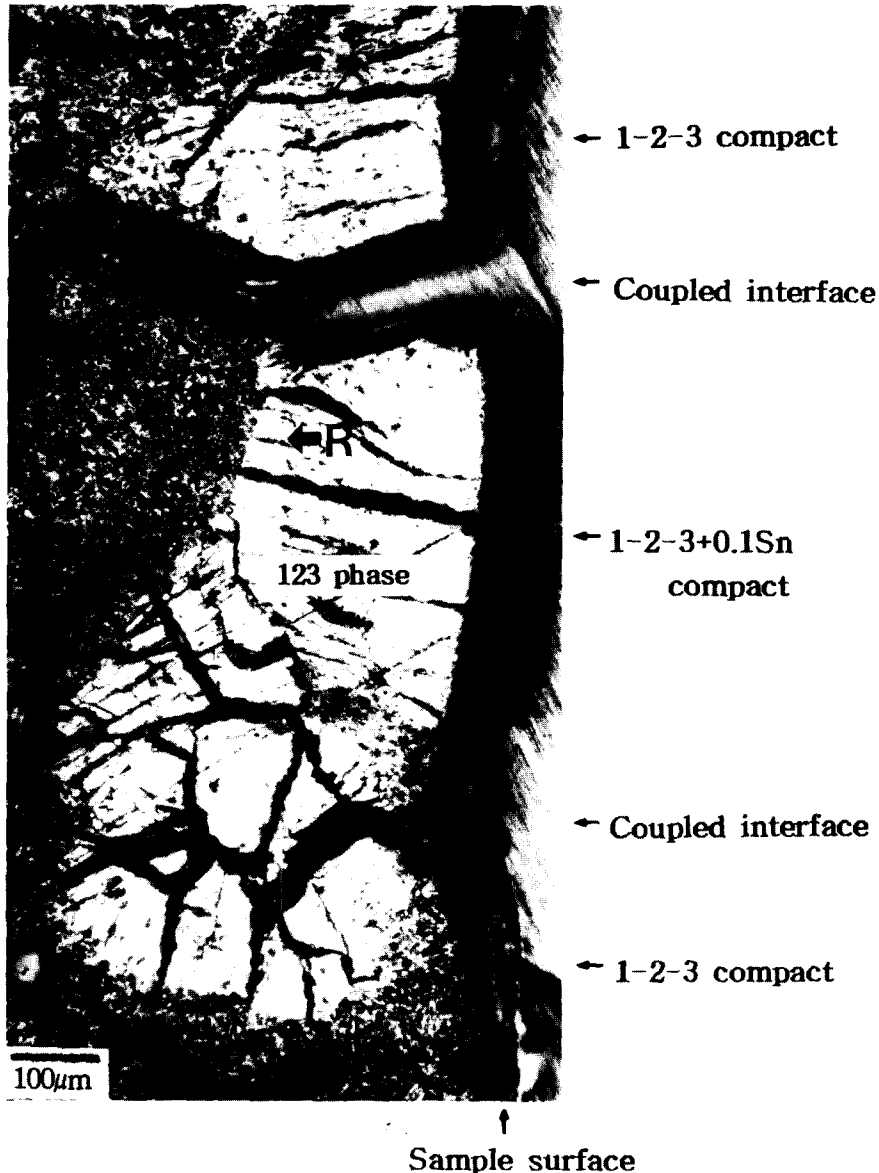


Fig. 4. Optical micrograph of the coupled sample that a 123+Sn compact was put between two 123 compacts. Heat treated at 1100°C for 24hr and at 970°C for 1hr and then air quenched.

심으로 성형체간의 계면 부위를 관찰한 것이다. Fig. 1(a), Fig. 3에서 나타나는 정도의 123+Sn 성형체의 많은 수축은 보이지 않지만 약간 수축되어 있음이 확인되었다. 이것은 위 아래의 123성형체와 123+Sn성형체와의 결합이 비교적 강하여 123+Sn성형체의 수축을 저해하였다고 생각되며, 여기서도 123+Sn성형체의 표면에서부터 123상이 생성되어 중심을 향하여 성장되었으며 점차 위 아래의 123성형체로 성장되었음이 관찰되었다. 위에 있는 123성형체와 123+Sn성형체 사이의 큰 균열은 공냉과 소둔 과정에서 발생한 것으로 생각된다. Fig. 5(a)는 Fig. 4에 표시된 R부분을 관찰한 주사전자현미경 사진이다. 이 미세조직 사진에서 123상, 211상, 액상 그리고 막대모양의 결정이 관찰되었는데, Fig. 5(b, c)의

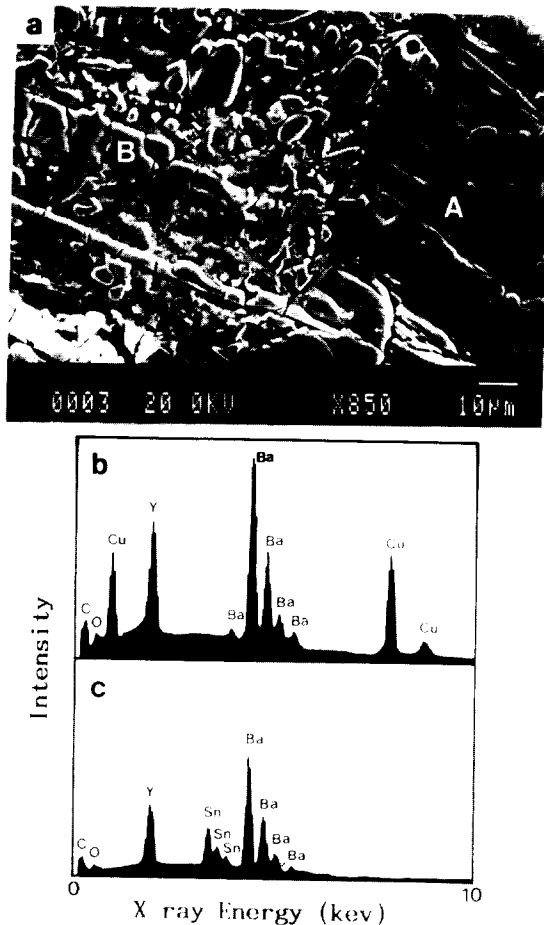


Fig. 5. (a) SEM micrograph on the area R in Fig. 4, (b) and (c) showing EPMA spectra of A and B phases, respectively, in (a).

EPMA spectrum에서 볼 수 있듯이 Fig. 5(a)에 표시된 A상은 123상이고 (b) B상 즉, 막대모양의 결정은 Ba-Y-Sn으로 조성된 결정임(c)을 확인할 수 있었다.

Fig. 6은 1100°C에서 48시간 유지한 후 970°C까지 60°C/min으로 냉각하여 970°C에서 1시간 동안 유지한 ④번 couple 시편의 미세조직을 관찰한 광학현미경 사진과 주사전자현미경 사진이다. 이 시편의 미세조직에서는 ①~③번 시편의 미세조직(Fig. 1, 3, 4)과는 달리 123상이 관찰되지 않으며 세 종류의 상(211상, 막대모양의 상, matrix)만 관찰되었는데, 기다란 막대모양의 결정들은 Fig. 6(a)에서와 같이 123+Sn 성형체 부분에서만 관찰되었다. Fig. 7은 Fig. 6(b)에 표시한 세 상(A, B, C)의 EPMA spectra이다. 울퉁불퉁한 원형모양의 A상은 211상이며(a), 막대모양의 B상은 Ba-Y-Sn으로 구성된 결정이고(b), C로 나타낸 matrix는 Ba이 소량이고 거의 Cu로 이루어졌음을 EPMA spectra로부터 알 수 있었다(c). Fig. 7(b)의 spectrum과 같이 나타나는 결정을 EPMA로 정량분석한 결과 49.56atom%Ba, 30.56atom%Y, 17.34atom%Sn, 2.54atom%Cu의 조성을 가진 결정임을 확인할 수 있었다. Fig. 7(c)의 spectrum에 나타난 것과 같이 기지부분에서 Sn은 검출되지 않았으며 거의 Cu만 검출되었는데 이것은 1100°C에서 장시간 유지하면 Sn은 Ba-Y-Sn의 반응을 일으키고 970°C로 급냉하여 유지할 때 결정으로 성장하기 때문에 기지에서는 Cu만 검출되는 것으로 사료된다.

Fig. 6의 미세조직 사진에서 관찰된 막대모양 결정의 확실한 생성을 확인하기 위하여 직경이 15mm이고 두께가 3mm인  $Y_1Ba_2Cu_3Sn_0.1O_7$  시편(Table 1의 ⑤번)을 만들어 ④번과 동일한 열처리를 하였다. Fig. 8(a)는 ⑤번 시편의 미세조직 사진이며 ④번 시편의 123+Sn 성형체 부분의 미세조직과 동일한 막대모양의 결정이 분명히 관찰되는데 그 결정은 211상을 포획하면서 성장하는 것으로 보여지며 Fig. 8(b, c)에 나타난 EPMA spectra에서 알 수 있듯이 포획된 A상은 211상이며, 기다란 막대모양의 B상은 Fig. 7(b)와 비슷한 spectrum을 가진다. 이러한 막대모양의 결정은 ③번 시편의 미세조직 사진(Fig. 5(a))에

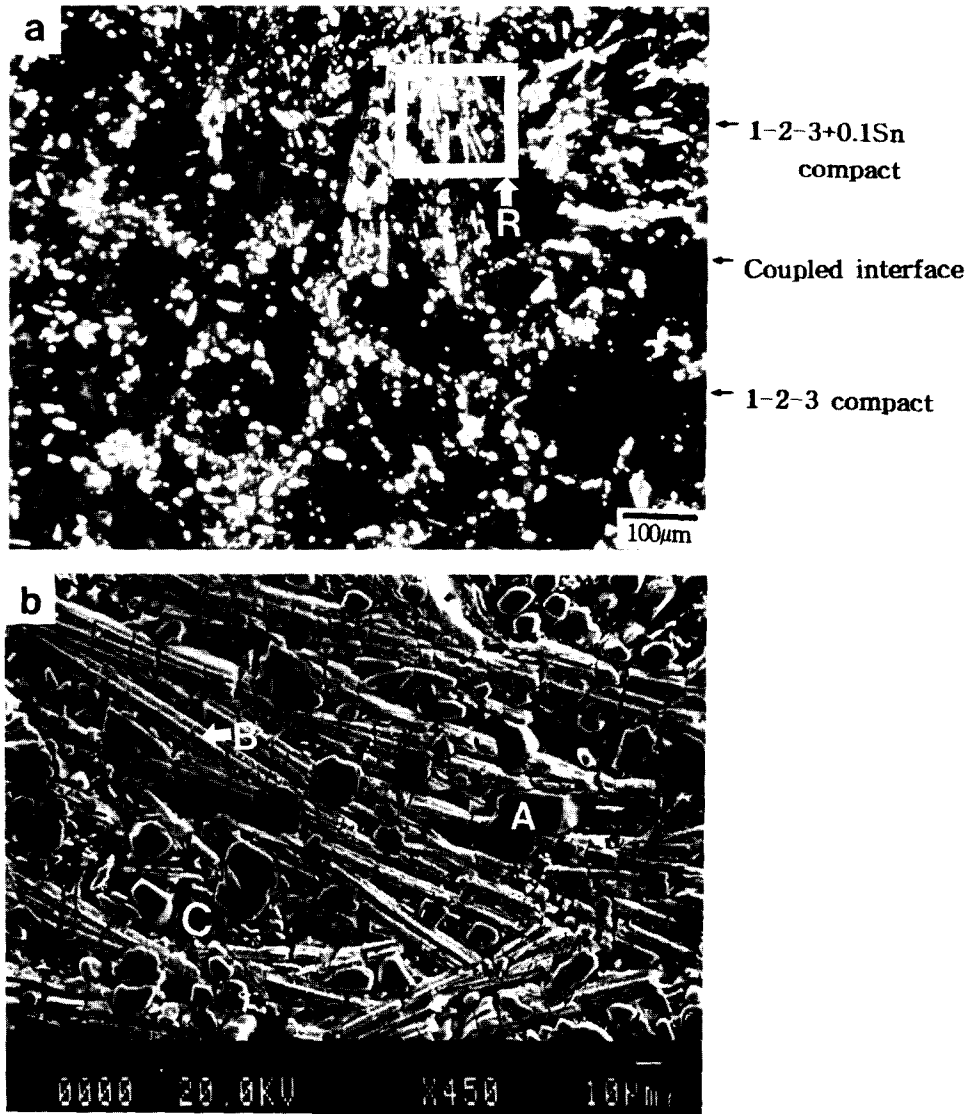


Fig. 6. (a) Optical micrograph near interface of the coupled sample that a 123+Sn compact was put on a 123 compact. Heat treated at 1100°C for 48hr and at 970°C for 1hr, and then air-quenched., (b) SEM micrograph on the area R in (a).

서도 관찰되었으며 이 결정들은 Table 2에 나타낸 것과 같이 거의 비슷한 조성을 가지는 것으로 EPMA 분석결과 확인되었다.

지금까지 관찰한 미세조직에서 123상이 생성되는 경향은 123+Sn 성형체에서 생성되어 123 성형체로 성장하여 가는 것으로 판단되기에 Sn을 첨가하여 123상의 성장 방향을 제어할 수 있을 것으로 생각되었다. 그러므로 123+Sn 성형체 속에 123 성형체를 매몰시킨 couple 시편을 만들고 준용해 열처리를 통하여

초전도체를 제조하였다. 준용해 과정중 1100°C에서 1시간만 유지하였는데 이것은 액상의 고른 분포와 Ba과 Sn의 반응을 최소화하여 123상의 생성을 원활히 하기 위함이었다. Fig. 9는 Table 1의 ⑥번 시편의 열처리 후 미세조직 사진이다. 시편의 위에서 밑까지 광학현미경으로 본 미세조직으로써 거시적인 관찰로 볼때 123상은 일정한 방향성을 가지고 성장하였음을 관찰할 수 있었다. 두 성형체간의 차이는 미세조직내에 분포하는 211입자의

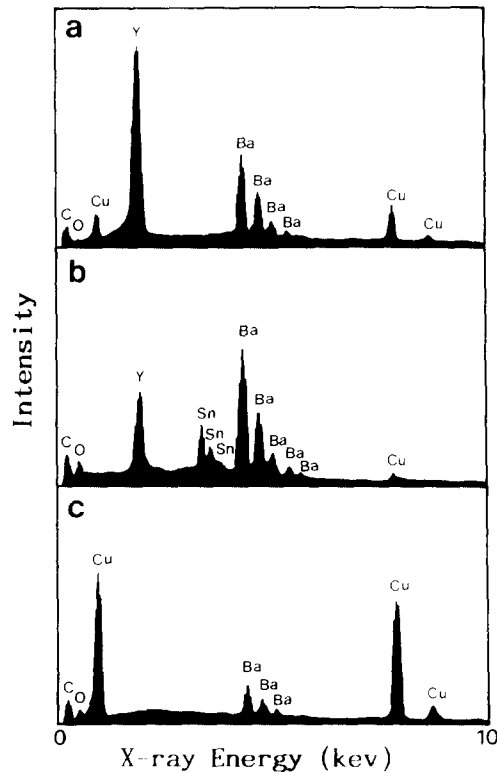


Fig. 7. EPMA spectra of three kinds of phases in Fig. 6(b).

(a), (b) and (c) showing EPMA spectra of A, B and C phases, respectively.

Table 2. Quantitative Analysis of Composition by EPMA.

Analytical phase	Composition (atom %)			
	Ba	Y	Cu	Sn
Fig. 5(a), B	52.50	27.35	2.03	18.12
Fig. 6(b), B	49.56	30.56	2.54	17.34
Fig. 8(a), B	53.25	27.41	0.99	18.35

분포밀도 차이로 잘 구분할 수 있다. 위 부분은 123+Sn성형체에 해당하며 그 밑으로부터는 123성형체이고 기판 바로 위 부분도 123+Sn성형체이지만 사진에서는 구분하기가 어려웠다. Sn이 첨가된 123+Sn성형체와 Sn이 첨가되지 않은 123성형체의 경계부분을 관찰한 미세조직사진을 Fig. 10(a)에 나타내었다. Sn이 첨가된 123+Sn성형체 부위에서는 작은 211상과 미세한 BaSnO<sub>3</sub>상이 관찰되며 두 성형체의 경계에 BaSnO<sub>3</sub>결정이 상당히 편석돼 있음을 관찰할 수 있었다. 그리고 Sn이 첨가

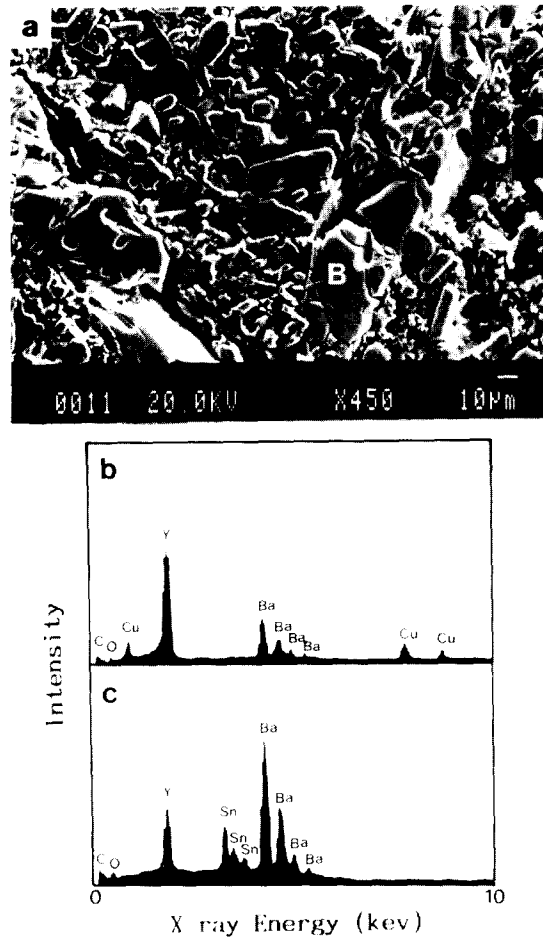


Fig. 8. (a) SEM micrograph of the Y<sub>1</sub>Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>Sn<sub>0.1</sub>O<sub>7.8</sub> specimen which was heat-treated at 1100°C for 48hr and at 970°C for 1hr, and then air-quenched, (b) and (c) showing EPMA spectra of A and B phases, respectively, in (a)

된 123+Sn성형체 부위에서 123plate의 두께는 Sn이 첨가되지 않은 123성형체 부위의 것보다 미세하였다. 그러나 두 부분에서 123상의 성장방향은 Fig. 10(a) 사진에 나타낸 것과 같이 일정함을 관찰할 수 있었으며, Fig. 10(b)는 이 시편의 한 중앙에서 관찰한 미세조직 사진인데 여기서도 123상은 Fig. 10(a)에서 관찰된 성장방향과 같은 방향으로 성장하였음을 쉽게 관찰할 수 있었다. Fig. 9, 10은 ⑥번 시편의 파단면의 중앙부위를 관찰한 것이지만 123성형체를 둘러싼 123+Sn성형체의 모든 부위로부터 시편의 중앙부위로 성장한 123상을 관찰할 수 있었다. 그리고 시편의 가



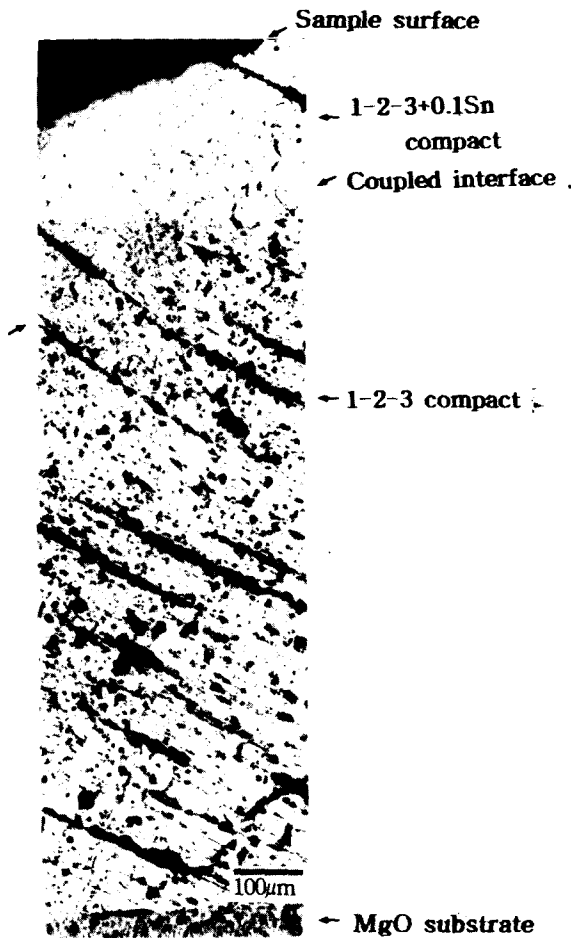


Fig. 9. Optical micrograph of the sample prepared by Quasi-melt-process method. This micrograph is the cross section of the center of sample

장자리에서부터 성장한 123상은 중앙을 가로질러 성장한 결정립과 접촉하여 입계를 이루고 있었는데 이것은 성장된 결정립들이 상호 접촉될 때까지 성장한 것임을 보여주고 있는 것이라고 판단되었다.

결과적으로 123상의 생성 및 성장은 Fig. 11에 나타낸 것과 같이 Sn이 첨가된 123+Sn 성형체의 가장자리에서부터 123상이 먼저 생성되어 성형체 내부로 성장하였으며 couple시편의 계면부위에서 생성된 123상은 123성형체 내부에 성장해 진행되었음을 미세조직 관찰로부터 알 수 있었다. 1100°C에서 48시간 유지후 970°C까지 냉각하여 1시간 유지한 시편들의 미세조직에서는 ①, ②, ③번 시편과는 달리 123상이 생성되지 않고 Ba : Y : Sn=5

: 3 : 2의 조성을 가진 새로운 막대모양의 결정들이 관찰되었는데, 이 결정들의 생성은 Sn이 Ba뿐만 아니라 Y과도 반응하여  $Y_2Sn_2O_7$  입자를 형성하려는 성질이 있기 때문에 Sn이 첨가된 시편을 1100°C의 등온에서 48시간동안 유지하면 이 세 원소가 반응할 수 있는 충분한 열적, 시간적 조건이 주어지며, 970°C까지 냉각하여 1시간 유지하면 1100°C에서 5 : 3 : 2의 조성으로 구성된 Ba-Y-Sn이 반응하여 성장한 것으로 사료된다. 따라서 Ba-Y-Sn 결정의 형성으로 인해 액상은 Cu만 존재하게 되고 123상의 생성속도를 더디게 하여, 970°C에서 1시간밖에 유지하지 않은 시편의 미세조직에서는 123상이 관찰되지 않는 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

123계에서 123상의 성장에 미치는  $SnO_2$ 의 효과를 관찰한 결과 123상은 Sn이 첨가되지 않은 123성형체에서 보다 Sn이 첨가된 123+Sn성형체의 표면부위에서 먼저 생성되고 성장되었다. 1100°C에서 48시간 유지하고 970°C에서 1시간 유지한 시편에서는 123상이 생성되지 않고 Y-Ba-Sn으로 구성된 결정립이 생성됨을 알 수 있었다.

123+Sn성형체 중앙에 123성형체를 매몰시키고 준용융법으로 제조한 couple시편의 중앙에서 일방향으로 성장된 123결정립을 관찰하였다.

위와 같이 Y-Ba-Cu-O계에  $SnO_2$ 첨가로 인하여 123상의 생성을 촉진시키고, 123상의 생성 및 성장방향을 일부 제어할 수 있었다. 이러한 결과는 123초전도체의 생성기구 연구와 더불어 결정구조 이방성 등을 제어하여 초전도체의  $J_c$ 향상에 기여할 것으로 기대된다.

Coupled interface 1-2-3 compact

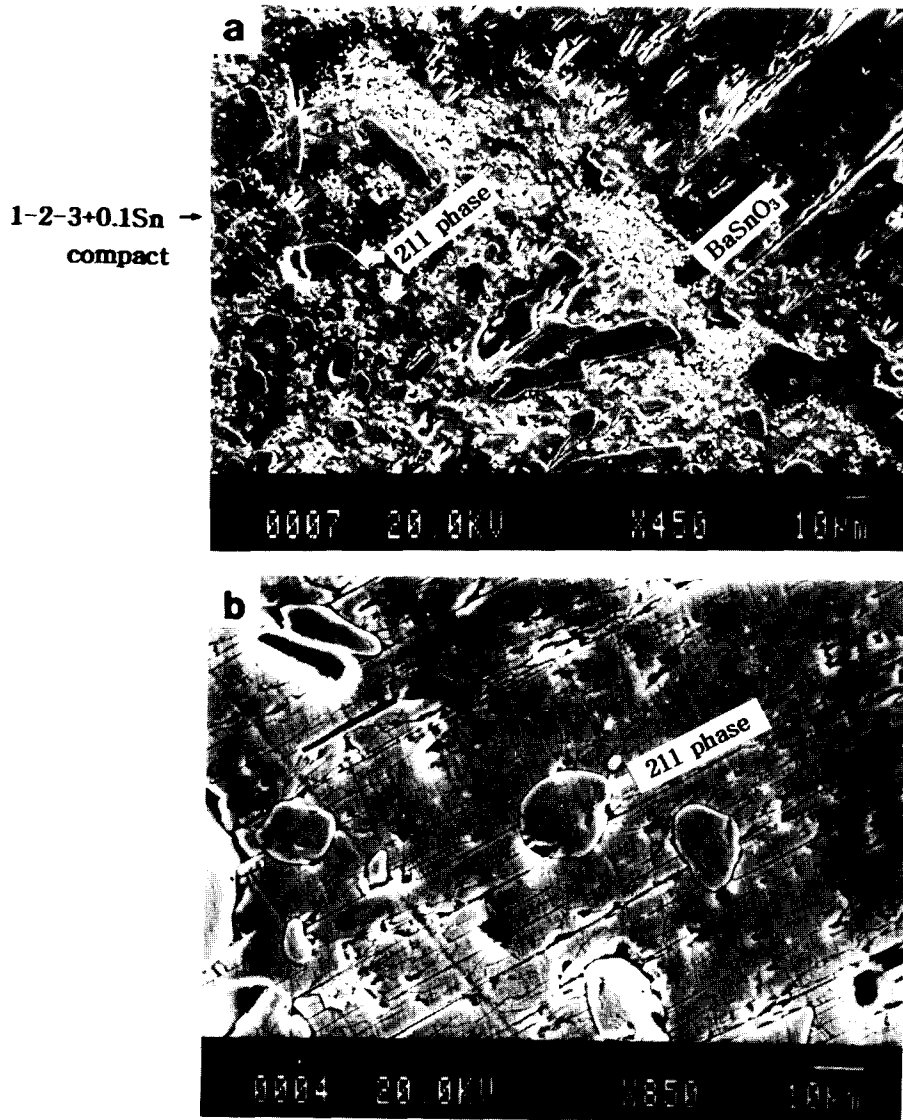


Fig. 10. SEM micrograph showing the microstructure of (a) the interface of compacts and (b) the center of the sample in Fig. 9.

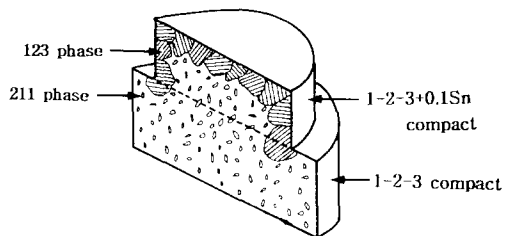


Fig. 11. Schematic drawing of the growth process of 123 phase in coupled specimen.

참고 문헌

1. J.G. Bednorz and K.A. Mueller, Z. Phys. B64, 189 (1986)
2. S. Hu, in Ph. D. Dissertation(M.C.U., B. & H. Info. Company, Ann. Arbor, MI, p.40 (1991)
3. R.J. Cava, B. Batlogg, R.B. van Dover, D. W. Murphy, S. Sunshine, T. Siegrist, J.P. Remeika, E.A. Rietman, S. Zahurak and G.

- P. Espinosa, Phys. Rev. Lett. 58, 1676 (1987)
4. G.W. Crabtree, J.Z. Liu, A. Umezawa, W. K. Kwok, C.H. Sowers, S.K. Malik, B.W. Veal, D.J. Lam, M.B. Brodsky, and J.W. Downey, Phys. Rev. B36, 4021 (1987)
  5. L.F. Schneemeyer, E.M. Gyorgy, and J.V. Waszczak, Phys. Rev. B36, 8804 (1987)
  6. R.B. van Dover, E.M. Gyorgy, L.F. Schneemeyer, J.W. Mitchell, K.V. Rao, R. Puzniak, and J.V. Waszczak, Nature 342, 55 (1989).
  7. S. Jin, T. H. Tiefel, R.C. Sherwood, M.E. Dowers, R.B van Dover, G.W. Kammlott, R.A. Fastnacht, and H.D. Keith, Appl. Phys. Lett. 52, 2074 (1988)
  8. M. Murakami, Modern phys. Lett. B4, 163 (1990)
  9. M. Murakami, H. Fujimoto, T. Oyama, S. Gotoh, Y. Shiohara, N. Koshizuka and S. Tanaka, ICM '90 (to be published).
  10. M. Murakami, H. Fujimoto, T. Taguchi, S. Gotoh, Y. Shiohara, N. Koshizuka, and S. Tanaka, Jpn. J. Appl. phys, Lett 29, (1991).
  11. M. Murakami, studies of High Temp. Superconductors (to be published)
  12. M. Murakami, S. Gotoh, H. Fujimoto, K. Yamaguchi, N. Koshizuka, and S. Tanaka, supercond. Sci. Technol, 43[4], (1991)
  13. M. Murakami, S. Gotoh, N. Koshizuka, S. Tanaka, T. Matsushita, S. Kambe, and K. Kitazawa, Cryogenics 30, 390 (1990).
  14. P. McGinn, W. Chen, N. Zhu, L. Tan, C. Varanasi and S. Sengupta, Appl. phys. Lett, 59, 120 (1991)
  15. N. Ogawa and H. Yoshida, Advances in Superconductivity 4 to be published, (1992)
  16. M. Yoshida, N. Ogawa, I. Hirabayashi and S. Tanaka, Physica C, 185-189, 2409 (1991)
  17. M. Yoshida, N.Y. Ogawa and I. Hirayashi, Solid state phys. 26, 877 (1991)
  18. M. Morita, M. Tanaka, K. Kimura, S. Takebayashi, K. Miyamoto and K. Sawano, Jpn. J. Appl. phys. 30, L813 (1991)
  19. K. Osamura, N. Matsukura, Y. Kusumoto, S. Ochiai, B. Ni and T. Mstsushita, Jpn. J. Appl. Phys. 29, L1621 (1990)
  20. Jun-ichi Shimoyama, Jun-ichiro Kase, S. Kondoh, E. Yanagisawa, T. Matsubara, M. Suzuki and T. Morimoty, Jpn. J. Appl. Phys. 29, L1999 (1990)
  21. Charles A. Bateman, L. Zhang, H.M. Chan and P. Harmer, Comm. of the Amer Ceramic Soc., 75 (5) 1281 (1992)