

용체방사법으로 제작한 $YBa_2Cu_3Ag_{15}$ 과 $YbBa_2Cu_3Ag_x$ ($x=5, 16$ and 53) 미세복합재의 초전도 특성

宋 明 燁

전북대학교 재료공학과
전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14

Superconducting Characteristics of Melt Spun $YBa_2Cu_3Ag_{15}$ and $YbBa_2Cu_3Ag_x$ ($x=5, 16$ and 53) Microcomposites

Myoung Youp SONG

Department of Materials Engineering, Chonbuk National University Chonju, 560-756

초 록 용체방사법으로 제작한 $YBa_2Cu_3Ag_{15}$ 과 $YbBa_2Cu_3Ag_x$ ($x=5, 16$ and 53) 예비 합금 리본 (precursor alloy ribbon)을 $263\sim 322^\circ\text{C}$ 에서 산화시키고, 산소 1기압 온도 $872\sim 890^\circ\text{C}$ 에서 열처리하였다. 또한 약 10개의 리본을 층으로 쌓아 프레스로 압축·접착시켜 다층 시편 (multilayered specimen)을 제작하였다. 이 다층 시편도 위의 리본과 같은 조건에서 열처리하였다. $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ 혹은 $YbBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ 상이 모든 리본과 모든 다층 시편에서 형성되었다. 이 1-2-3상들은 모든 리본에서 집합조직 (texture)을 나타내지 않았으나, 다층 시편들에서는 약간의 집합조직을 나타내었다. 모든 리본은 0 자장 77K에서 임계 전류 밀도 J_c 가 0을 나타내었다. 다층 시편 중에서 $YBa_2Cu_3Ag_{15}$ 과 $YbBa_2Cu_3Ag_{16}$ 시편이 각각 260, 180A/cm²의 임계 전류 밀도를 나타내었다. 여러 리본들 중에서 $YBa_2Cu_3Ag_{15}$ 과 $YbBa_2Cu_3Ag_{16}$ 리본이, 프레스 변형으로 집합조직을 가지게 함으로써 향상된 J_c 를 가진 초전도 산화물을 만들 수 있는 적절한 조성을 가지고 있다. 다층 $YBa_2Cu_3Ag_{15}$ 시편의 개시 임계 온도 (T_{on})는 92K이었으며, 다층 $YbBa_2Cu_3Ag_x$ ($x=5, 16$ and 53)의 T_{on} 은 88~90K이었다.

Abstract Melt spun $YBa_2Cu_3Ag_{15}$ and $YbBa_2Cu_3Ag_x$ ($x=5, 16$ and 53) precursor alloy ribbons were oxidized at $263\sim 322^\circ\text{C}$, and heat-treated at $872\sim 890^\circ\text{C}$ under 1.0atm oxygen pressure. In addition, about ten ribbons were stacked and coupled by pressing, and then followed the same heat treatment. $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (1-2-3) or $YbBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (1-2-3) phase was formed in both the ribbons and the multilayered specimens. The formed 1-2-3 phases were not texturized in all the ribbons, but slightly texturized in the multilayered specimens. J_c was not achieved in all the ribbons at 77K and zero magnetic field. Among the multilayered specimens, $YBa_2Cu_3Ag_{15}$ and $YbBa_2Cu_3Ag_{16}$ showed J_c of 260 and 180A/cm², respectively. $YBa_2Cu_3Ag_{15}$ and $YbBa_2Cu_3Ag_{16}$ are considered to be the appropriate compositions in producing textured superconducting oxides with improved J_c by pressing. Onset critical temperature (T_{on}) of the multilayered $YBa_2Cu_3Ag_{15}$ was 92K while those of $YbBa_2Cu_3Ag_x$ ($x=5, 16$ and 53) were 88~90K.

1. 서 론

초전도 상태가 나타나는 온도인 임계 온도는 초전도 연구자들의 관심의 대상이 되었다. 따라서 오래 전부터 여러 연구자들이 최고 임계 온도가 시대의 변천에 따라 어떻게 변해왔는가를 조사해 왔는데, 1986년의 산화물 초전도체가 발견되기 직전에 발표된 조사결과는 20세기 중에는 임계 온도가 30K에 도달할 것이라고 예상하였다. 이 상황을 일변시킨 것이

1986년 9월 Zeitschrift für Physik B에 발표된 Bednorz와 Müller에 의한 산화물의 발견이다¹⁾. 이를 계기로 하여 임계 온도가 일거에 대폭 상승하였다. 1987년 2월 미국의 Chu 등이 $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ 에서 95K의 초전도성을 발견하여²⁾ 본격적인 고온 초전도체 시대가 시작되었다. Chu 등의 발견의 중요한 의미는 드디어 임계 온도가 액체 헬륨의 온도 영역에서 액체 질소의 온도 영역에 도달했다는 점이다.

이후 세계적으로 많은 연구가 행해졌으며,

Table 1. Nominal and ICP analyzed compositions of the precursor alloy ribbons.

composition(Atomic ratios with Cu=3)					
Nominal	Atomic ratio analyzed by ICP				
Y(Yb)-Ba-Cu-Ag	Y	Yb	Ba	Cu	Ag
1-2-3-15	0.83	-	1.92	3.00	15.26
1-2-3-5	-	0.93	1.93	3.00	4.87
1-2-3-16	-	0.81	1.93	3.00	16.57
1-2-3-53	-	0.94	2.02	3.00	53.84

최근에는 임계 온도 110K 정도의 Bi-Sr-Ca-Cu-O계⁴⁾, 120K 정도의 Tl-Ba-Ca-Cu-O계⁴⁾, 130K 정도의 Hg-Ba-Cu-O계⁵⁾ 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

초전도의 연구 및 응용 분야는 전력 시스템의 초전도화, 고자계를 이용한 신 기술 그리고 초전도 소자로 크게 나누어진다. 초전도체를 전기 저장, 송전선, 초전도 자석 등에 실용화하고자 할 경우에는 초전도체가 선재로 가공되어야 한다.

초전도 선재나 tape를 제조하는 방법들로는 크게 고상법, 액상법, 기상법으로 나눌 수 있다. 고상법에는 직접 가공, 분말법 그리고 내부 산화·확산 반응 등의 고상 반응법이 있고, 액상법에는 용체급냉법, 용액법, 플라즈마 스프레이법 등이 있다. 그리고 기상법에는 물리 증착법과 화학 증착법이 있다.

이들 중 용체 급냉법 중에는 용체방사(melt spinning)법이 있는데, 이 방법은 원하는 조성을 갖는 분체를 용융시킨 후 급냉시키는 공정이며 리본(ribbon) 모양의 선재를 성형할 수 있는 방법이다. 용융시키기 전의 분체로서 산화물을 사용하는 경우와 금속을 사용하는 경우가 있다. 후자의 경우, 얻어진 리본(metallic precursor alloy, 금속 예비 합금)은 고온 산화와 열처리 과정을 거쳐 고온 초전도체를 만들게 된다. 그 예로서 $EuBa_2Cu_3$ ⁶⁾, $YbBa_2Cu_3$ ⁷⁾ 그리고 $Bi_{1-x}Pb_xSr_2Ca_3Cu_4$ ⁸⁾의 금속 예비 합금들은 적절한 산화와 열처리에 의해서 고온 초전도체로 변화시킬 수 있었다. 한편 이 금속 예비 합금의 기계적 성질을 향상시키기 위하여 은 혹은 금과 같은 귀금속을 첨가시켜 금속 예비 합금/귀금속의 미세복합재(micro-composite)를 만들었다.

본 연구에서는 용체방사법으로 제작한 YBa_2

Cu_3Ag_{15} 과 $YbBa_2Cu_3Ag_x(x=5, 16 \text{ and } 53)$ 리본들의 초전도 특성에 대해 연구하기 위하여 리본을 산화시키고 열처리하여 임계 온도와 임계 전류 밀도를 측정하고, SEM에 의해 미세구조를 관찰하였으며, EPMA(electron probe microanalysis, 전자침미세분석)와 X-선 회절 분석을 하였다. 또한 임계 전류 밀도를 증가시키기 위한 시도로서, 10개 정도의 리본층을 Ag막으로 싸아 프레스로 압축·접착시켜 열처리하였다.

2. 실험

연구에 사용된 용체방사법으로 제작한 예비 합금 리본은 American Superconductor Corporation으로부터 구입되었다. Table 1에는 American Superconductor Corporation이 제공하는, 리본을 만들기 위하여 섞은 원소의 비율로 표시한 명목상의 조성과 각 리본의 ICP(Inductively Coupled Plasma, 유도 결합 플라즈마)분석 결과가 표시되어 있다. 5~10cm 길이의 예비 합금 리본을 약 1cm 정도로 잘라 사용하였다. 용체 방사 중 바퀴에 접촉하는 리본의 측은 매끄럽고 빛이 났으나 다른 측은 약간 거칠었다. 리본의 두께는 50~75 μ m이었고 폭은 대체로 일정하였다.

예비 합금 리본은 1기압의 흐르는 산소하에서 가열 속도 0.01~0.04K/s로 상온에서 산화 온도까지 가열 후 263~322 $^{\circ}$ C에서 87~136시간동안 산화시켰다. 예비 합금 리본의 산화 조건을 Table 2에 열거하였다. Otto⁹⁾는 Y(or Yb)-Ba-Cu-Ag 리본의 산화에 대해 동력학적 연구를 하였는데, 그 연구 결과에 의하면 263~322 $^{\circ}$ C에서 금속 리본이 서서히 산화하여 48시간 정도에 산화가 완료되었다. 산화 정도는 시료를 공기중으로 꺼내어 화학천평으로 무게 증가를 측정함으로써 조사하였다. 본 실험에서 산화를 87시간 이상 충분히 시킨 것은, 산화정도를 확인하기 위하여 산화도중에 시료를 전기로에서 꺼내어 무게 증가 정도를 조사하면 다시 서서히 가열하여 산화시켜야 하는 번거로움이 있고, 시료마다 산화 과정이 다를 수 있기 때문이다. $YbBa_2Cu_3Ag_{16}$ 리본의 경우, 완전 산화 시 계산된 무게 증가는 4.40%인데, Table 2의 조건으로 산화 후 무게 증가율은 4.87%이었다. 이렇게 산화된

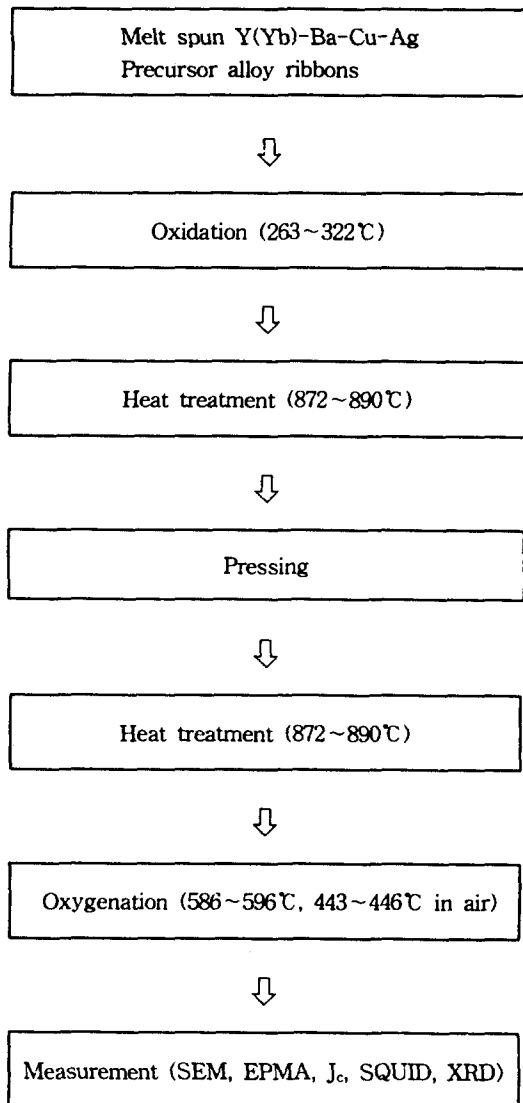


Fig. 1. Experimental procedure.

리본은 본래의 모양을 보존하고 있었으나 광택이 나지 않았고 색깔이 회백색이었다.

최근에 $Y_nBa_{2n}Cu_{3n+1}O_x$ 로 표시되는 일련의 초전도 산화물상들에 대해, 1.0기압 산소 압력에서 840°C이하에서 1-2-4($n=1$)가 형성되고 840~870°C 온도 범위에서 2-4-7($n=2$)이 형성된다고 보고되었으¹⁰⁾, P-T-X 상태도에서 2-4-7 : 1-2-3 안정선(stability line)은 1.0기압 산소 압력이하에서 840~870°C 범위에 놓인다고 보고되었다¹¹⁾.

산화된 리본을, 1-2-3상이 형성되는 산소

압력과 온도 조건인, 1기압의 흐르는 산소하에서 909°C로 미리 가열된 수직 관상로에 장입하여 96시간 동안 열처리한 후 공냉시켰다. 이 리본들을 다시 600°C로 미리 가열된 수직 관상로에 넣어 공기 중에서 18시간동안 유지시키고, 450°C로 냉각시켜 공기 중에서 49시간 유지시켰다. 이렇게 열처리한 모든 조성의 리본의 0자장 77K에서 임계 전류 밀도 J_c 가 0을 나타내었다. 임계 전류 밀도를 증가시키기 위하여 여러개의 리본을 프레스로 압축·접착시켜 열처리하였다.

약 10개의 산화된 리본을 층으로 쌓아 두께 25 μ m의 은 판으로 싸았다. 이 싹 리본과 약 3개의 산화된 리본을, 1-2-3상이 형성되는 산소 압력과 온도 조건인, 1기압의 흐르는 산소 하에서 872~890°C로 미리 가열된 수직 관상로에 장입하여 101~103 시간동안 열처리한 후 공냉시켰다(제1 고온 열처리).

은 판으로 싹 다층 리본은 steel die 사이에 수평으로 놓고 PR-22 Pneumatic Mounting Press를 사용하여 270~320MPa의 압력으로 160°C에서 1분동안 수직 방향의 압력을 가하였다. 이렇게 압축된 리본은 매끈하고 빛나는 표면과 균일한 두께를 가진 평평한 다층 시편이 되었다.

이 압축 과정에 의해서 리본 내의 초전도 산화물이 깨어지고 균열이 생겼을 것이므로, 초전도상의 연결을 위하여 다시 고온 열처리하였다. 이 다층 시편과 약 3개의 리본을 다시 872~890°C, 흐르는 산소 1기압하에서 103~106시간 동안 열처리한 후 공냉시켰다(제2 고온 열처리). Table 3에 제1 고온 열처리와 제2 고온 열처리 조건을 나타내었다.

시편들은 또 586~596°C로 미리 가열된 수직 관상로에 넣어 공기 중에서 12~20시간 동안 유지시키고, 443~446°C로 냉각시켜 공기 중에서 24~31시간 유지시켰다.

본 실험의 전반적인 공정도를 Fig. 1에 나타내었다.

시편을 에폭시(epoxy)에 고정하여 갈고 다이아몬드 연마한 다음, JEOL Superprobe 733 Microanalyzer를 사용하여 시편의 미세 구조를 관찰하고 전자침미분분석(EPMA, electron probe microanalysis)을 하였다. 서로 다른 원소로 구성된 다른 상으로부터의 미세 구조가

Table 2. Oxidation condition of the precursor alloy ribbons.

Alloy	Heating rates(K/s)	Oxidation temperature(°C)	Time(hr)
$YBa_2Cu_3Ag_{15}$	0.01	319	136
$YbBa_2Cu_3Ag_5$	0.04	263	87
$YbBa_2Cu_3Ag_{16}$	0.01	322	90
$YbBa_2Cu_3Ag_{53}$	0.04	322	100

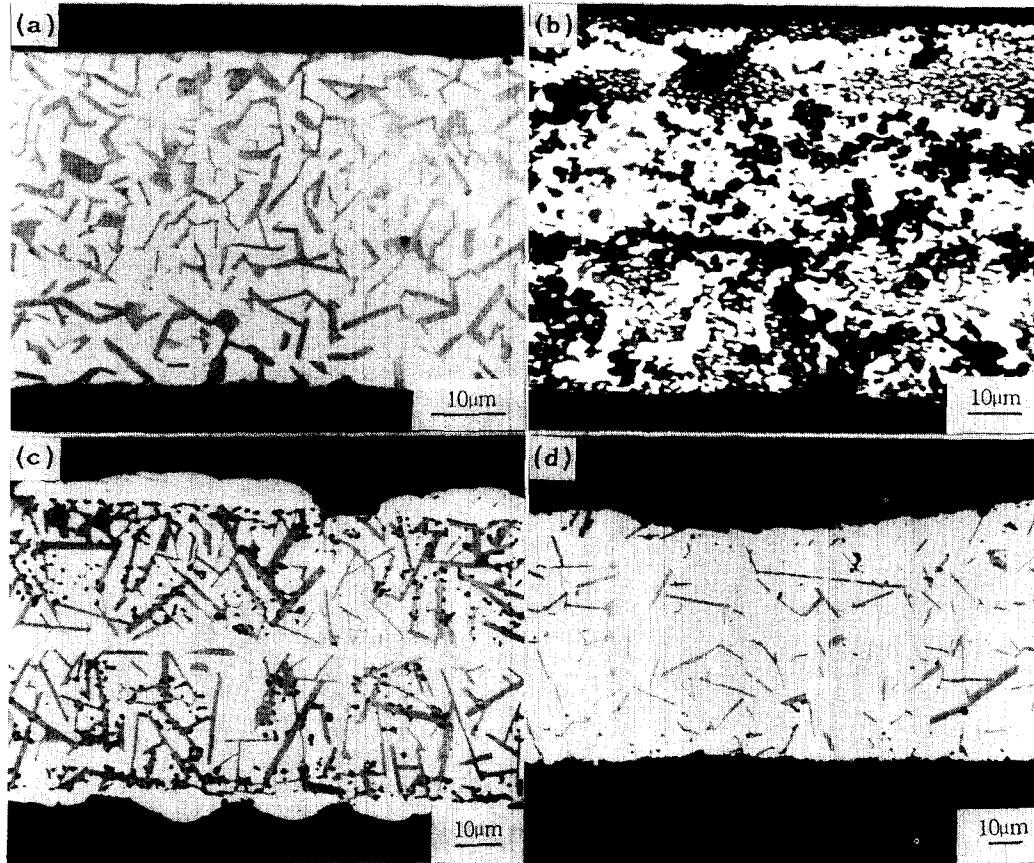


Fig. 2. Backscattered electron(BSE) micrographs, showing the longitudinal crosssection microstructures of ribbons (a) $YBa_2Cu_3Ag_{15}$, (b) $YbBa_2Cu_3Ag_5$, (c) $YbBa_2Cu_3Ag_{16}$ and (d) $YbBa_2Cu_3Ag_{53}$.

명암 차이를 보이게 하기 위하여 BSE(back-scattered electron) image가 얻어졌다.

임계 전류 밀도 J_c 는, 표준 4단자법(standard four-point probe technique)으로 액체 질소 온도 77K에서 측정하였다. 임계 전류 I_c (critical current)를 정의하는데 $1 \mu V/cm$ 가 기준으로 사용되었고 시편의 전체 단면적이 임계 전류 밀도를 계산하는데 사용되었다.

임계 온도 T_c 는 Quantum Design의 SQUID (Superconducting QUantum Interference Device)를 사용하여 측정하였다.

X-선 회절 분석을 위하여, 과산화수소와 수산화암모늄을 무게비 1:1로 섞어 만든 용액에서 은을 용해시켰다. X-선 회절 pattern은 Rigaku X-선 회절 장치에서 $CuK\alpha_1$ 선을 사용하여 얻어졌다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 앞에서 언급한 열처리를 한 $YBa_2Cu_3Ag_{15}$, $YbBa_2Cu_3Ag_5$, $YbBa_2Cu_3Ag_{16}$ 와 $YbBa_2Cu_3Ag_{53}$ 리본의 종축 방향 단면 미세 구조를 보여주는 SEM 사진이다. EPMA 분석 결과,

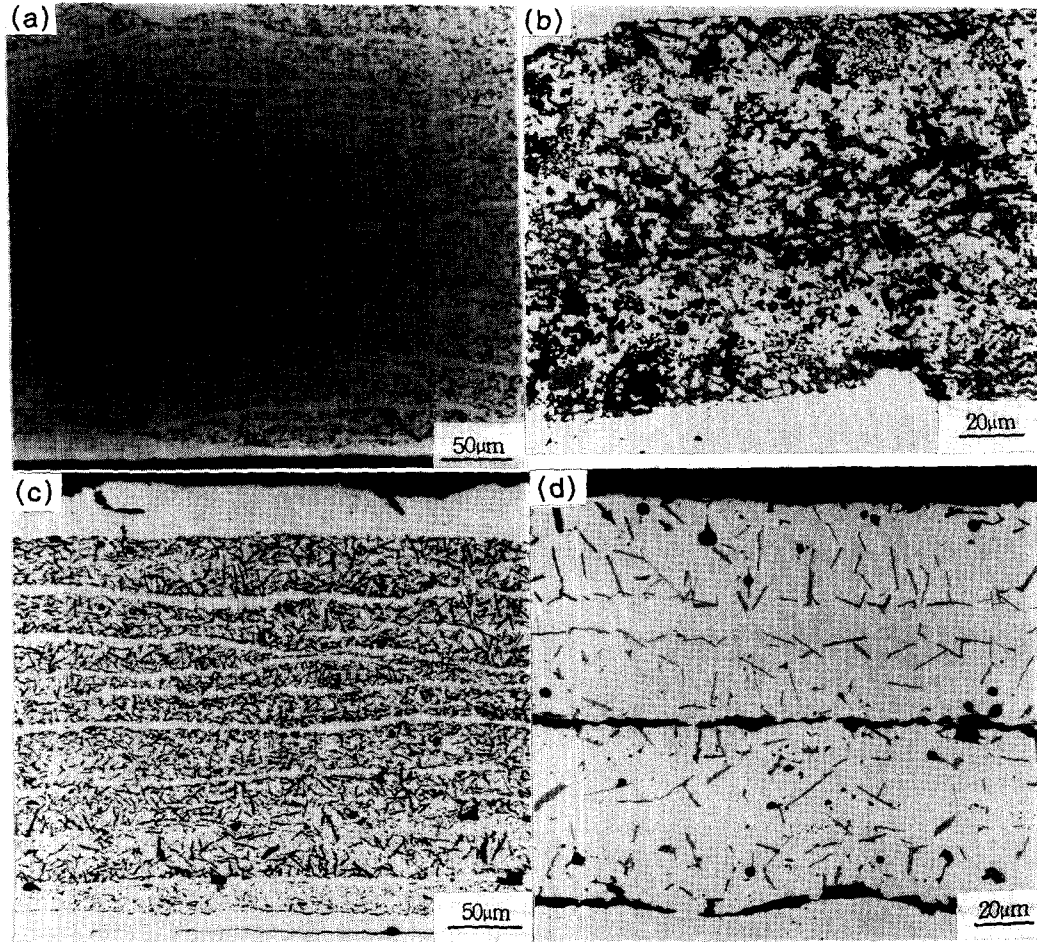


Fig. 3. Backscattered electron(BSE) micrographs, showing the longitudinal crosssection microstructures of multilayered (a) $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{15}$, (b) $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_5$, (c) $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{16}$ and (d) $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{33}$.

Table 3. Heat treatment condition for the microcomposites.

Alloy	The first high-temperature heat treatment	The second high-temperature heat treatment
$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{15}$	890°C, 103hr	890°C, 101hr
$\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_5$	882°C, 101hr	872°C, 106hr
$\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{16}$	882°C, 101hr	872°C, 106hr
$\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{33}$	882°C, 101hr	872°C, 106hr

막대 모양의 회색 상은 1-2-3 초전도상이고, 검은 입자는 비 초전도 구리 산화물과 바리움 구리 산화물이었으며, 밝은 부분은 은으로 밝혀졌다. 리본의 횡축 방향 단면도 종축 방향의 것과 비슷한 미세 구조를 보였는데, 이는 용체 방사의 방향이 리본의 미세 구조에 영향을 미치지 못한다는 것을 말해 준다.

Fig. 3은 앞에 설명한 공정으로 다층 시편

$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{15}$, $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_5$, $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{16}$ 그리고 $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{33}$ 의 종축 방향 단면 미세 구조를 보여 주는 SEM 사진이다. 막대 모양의 회색 상이 1-2-3 초전도상인데, 잘 연결되어 있지 않으나 약간의 집합조직(texture)을 나타낸다.

Fig. 4는 다층 시편 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{15}$, $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_5$, $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{16}$ 의 종축 방향 단면 미세 구

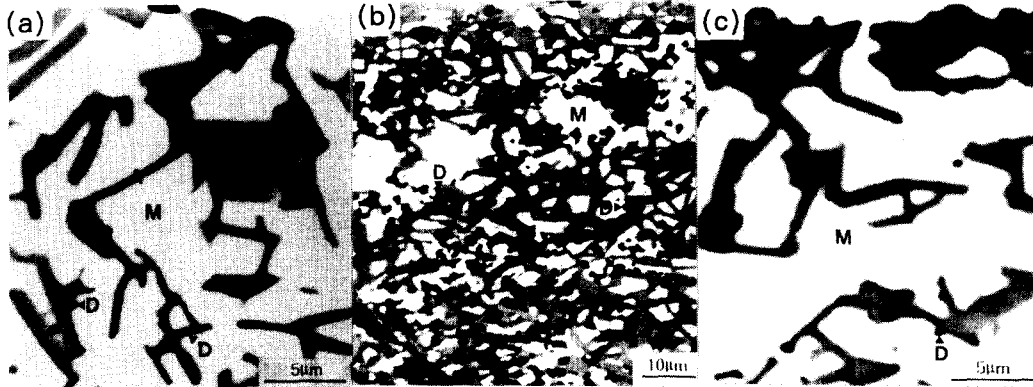


Fig. 4. Backscattered electron(BSE) micrographs in higher magnifications, showing the longitudinal crosssection microstructures of multilayered (a) $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{15}$, (b) $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_5$, and (c) $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{16}$. The bar-like, gray phases (A) are the 1-2-3 phase, the dark grains BaCuO_2 (D) and the bright areas (M) metallic Ag.

Table 4. Onset and offset critical temperatures (T_{on} , T_{off}) of the multilayered specimens.

Specimens	T_{on} (K)	T_{off} (K)
$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{15}$	92	65
$\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_5$	88	65
$\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{16}$	90	(65)
$\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{53}$	(90)	(65)

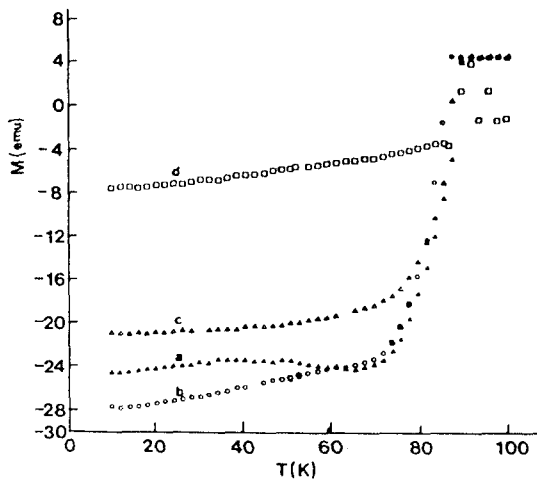


Fig. 5. Variation of longitudinal magnetic moment with temperature in the magnetic field of 30gauss for multilayered (a) $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{15}$, (b) $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_5$, (c) $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{16}$ and (d) $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{53}$.

조를 고 배율로 보여 주고 있다. EPMA 분석 결과 막대 모양의 회색 상은 1-2-3 초전도상이고, 검은 입자는 BaCuO_2 이며 밝은 부분은 은으로 밝혀졌다. 이 시편들은 산화, 제1 고온

열처리(885°C, 100hr), 압축(560MPa), 제2 고온 열처리(885°C, 100hr) 그리고 저온 열처리(600°C 12hr, 450°C 24hr)를 한 것들이다.

위와 같은 공정으로 처리된 모든 리본은 0자장 77K에서 임계 전류 밀도가 0이었는데, 이는 1-2-3 초전도상이 잘 연결되어 있지 않고 전혀 집합조직을 보이지 않는다는 점을 고려하면 당연한 결과이다. 그러나 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{15}$ 과 $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{16}$ 다층 시편은 각각 260, 180A/cm²의 임계 전류 밀도를 나타내었다. $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_5$ 다층 시편은 다른 다층 시편에 비해 비교적 많은 1-2-3 초전도상을 가지고 있으나 J_c 가 0이었으며 이 시편에서는 많은 균열이 관찰되었다. $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{53}$ 다층 시편에서는 매우 적은 1-2-3상이 형성되었다.

Y(Yb)-Ba-Cu/Ag 리본들 중에서 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{15}$ 과 $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{16}$ 리본이 프레스를 사용한 변형에 의해서 향상된 J_c 를 가지며 집합조직을 나타내는 초전도 산화물을 만들 수 있는 적절한 조성의 리본으로 판단된다.

Fig. 5는 Fig. 3의 다층 시편과 같은 공정을 거친 다층 시편에 대해서, 30gauss의 자기장 10~100K 온도 범위에서 온도에 따라 종방향 자기 모멘트가 변하는 양상을 보여 주고 있다. $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{53}$ 다층 시편의 data point는 90K 이상에서 떨어져 있다. 이는 시편이 극히 적은 양의 1-2-3상을 포함하기 때문에 일어난 현상이라 생각된다.

Table 4는 다층 시편들의 개시 및 종료 임

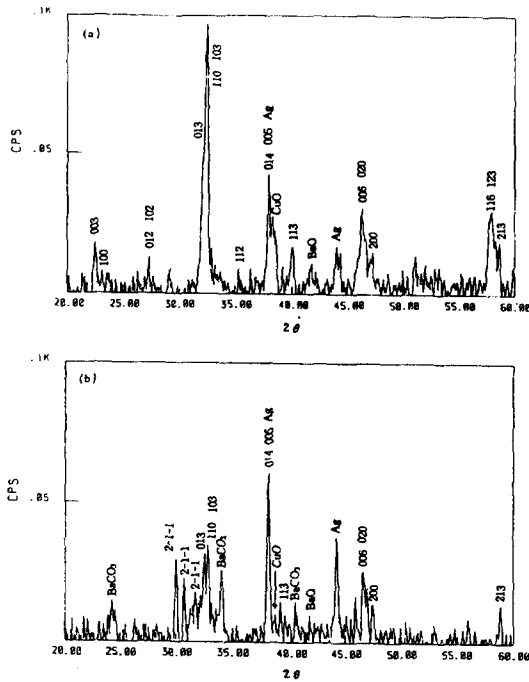


Fig. 6. X-ray diffraction spectra of the multilayered (a) $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{15}$ and (b) $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{16}$ specimens.

계 온도를 보여 주고 있다. $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{15}$ 다층 시편의 개시 임계 온도 T_{on} 은 92K로 측정되었고 $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_x$ ($x=5, 16$ and 53) 다층 시편들은 88~90K의 T_{on} 을 나타내었다. 1-2-3상이 집합조직을 나타내는 정도를 조사하기 위하여 시편의 종방향과 횡방향의 모멘트의 비를 측정하였다. $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{15}$ 과 $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{16}$ 다층 시편의 종방향과 횡방향의 자기 모멘트의 비는 각각 온도 10K에서 1.52와 1.68로 측정되었는데, 이는 이 시편들이 약간의 집합조직을 나타냄을 보여 준다.

Fig. 6은 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{15}$ 과 $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{16}$ 다층 시편의 X-선 회절 pattern을 보여 주고 있다. 이 시편들은 산화 후에 다음 과정을 두번 거쳐 준비되었다: 제1 고온 열처리+압축+제2 고온 열처리+저온 열처리(oxygenation). 이 시편들은 877~904°C에서 12~24시간 유지되었고, 리본들은 160°C에서 1분동안 320~540MPa의 압력으로 압축되었다. 두 X-선 회절 pattern 모두 1-2-3상 회절선을 보여 주는데, $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{15}$ 다층 시편에는 BaO, CuO, Ag 회절선도 나타나며, $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{16}$ 다층

시편의 회절 pattern에는 2-1-1, BaO, BaCO_3 , CuO, Ag 회절선도 나타난다. $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{16}$ 시편의 BaCO_3 는 Ba와 공기중의 CO_2 가 반응하여 형성된 것으로 판단된다.

4. 결 론

용체방사법으로 제작한 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{15}$, $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_x$ ($x=5, 16$ and 53) 예비 합금 리본을 263~322°C에서 산화시킨 후, 1기압 산소 압력 872~890°C에서 열처리하였다. 또한 약 10개의 리본을 층으로 쌓아 프레스로 압축·접착시켜 다층 시편을 제작하였다. 이 다층 시편도 위의 리본과 같은 조건에서 열처리하였다. $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ 혹은 $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ 상이 모든 리본과 다층 시편에서 형성되었다. 이 1-2-3상들은 모든 리본에서 집합조직을 나타내지 않았으나, 다층 시편들에서는 약간의 집합조직을 나타내었다. 모든 리본은 영 자장 77K에서 임계 전류 밀도(J_c)가 0을 나타내었다. 다층 시편 중에서 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{15}$ 과 $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{16}$ 시편이 각각 260, 180A/cm²의 임계 전류 밀도를 나타내었다. 여러 리본들 중에서 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{15}$ 과 $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{16}$ 리본이 프레스에 의한 변형으로 집합조직을 가지게 함으로써, 향상된 J_c 를 가진 초전도 산화물을 만들 수 있는 적절한 조성을 가지고 있다. $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_{15}$ 다층 시편의 개시 임계 온도(T_{on})는 92K이었고, $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_x$ ($x=5, 16$ and 53) 다층 시편의 T_{on} 은 88~90K이었다.

감사의 글

본 연구는 1994년도 교육부 신소재분야 연구 지원(Ministry of Education Research Fund for Advanced Material in 1994)에 의해 이루어졌습니다. 교육부의 연구지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. J.G. Bednorz and K.A. Müller, Z. Phys., B64 (1986) 189.
2. M.K. Wu, J.R. Ashburn, C.J. Torung, P.H. Hor, R.L. Meng, L. Meng, L. Gao, A.J. Huang, Y.Q. Wang and C.W. Chu, Phys. Rev. Lett., 58(9) (1987) 908.
3. H. Maeda, T. Tanaka, M. Fukutomi and T. Asano, Jpn. J. Appl. Phys., 27(1987) L209.

4. Z.Z. Sheng and A.M. Hermann, *Nature*, 332 (1988) 138.
5. A. Schilling, M. Cantoni, J.D. Guo and H. R. Ott, *Letts to Nature*, 363(6) (1993) 56.
6. G.J. Yurek, J.B. Vander Sande, W.X. Wang, D.A. Rudman, Y. Zhang and M.M. Matthiesen, *Metal. Trans.*, 18A (1987) 1813.
7. G.J. Yurek, J.B. Vander Sande and D.A. Rudman, *Mat. Res. Soc. Symp.*, Proc. 99 MRS, (1988) 619.
8. W. Gao, S.C. Li, D.A. Rudman, G.J. Yurek and J.B. Vander Sande, *Physica C*, 161 (1989) 71.
9. A. Otto, Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, February, 1991.
10. D.E. Morris, D.K. Narwankar and A.P.B. Shinha, *Physica C*, 169 (1990) 7.
11. D.E. Morris, N.G. Asmar, J.H. Nickel, R.L. Sid, J.Y.T. Wei and J.E. Post, *Physica C*, 159 (1989) 287.