

Tl₂Ba_{2-x}Sr_xCa₂Cu₃O₁₀ 초전도상형성에 미치는 Sr의 영향

김경수, 김영환

위대한 수령 김일성 동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《선진과학기술을 받아들이는데서 주체를 철저히 세워야 합니다.》(《김일성전집》 제68권 92페이지)

산화물초전도체에서 초전도상의 비율을 높이는 문제는 그 물질의 초전도특성을 높이기 위한 중요한 문제이다.[1, 2]

우리는 Tl₂Ba_{2-x}Sr_xCa₂Cu₃O₁₀ 초전도체의 조성에서 Ba의 일부를 Sr로 치환하여 초전도상의 비율을 높이기 위한 연구를 하였다.

실험 방법

Tl₂Ba_{2-x}Sr_xCa₂Cu₃O₁₀ 초전도체를 합성하기 위한 출발물질로는 BaCO₃(99.9%), SrCO₃(99.9%), CaCO₃(99.9%), CuO(99.9%), Tl₂O₃(99.9%)을 리용하였다.

먼저 Ba : Sr : Ca : Cu = (2-x) : x : 2 : 3의 물질량비로 출발물질들을 혼합소결하여 Ba_{2-x}Sr_xCa₃O₇을 얻은 다음 Ba_{2-x}Sr_xCa₃O₇과 Tl₂O₃을 1 : 1의 물질량비로 혼합하고 0.1GPa의 압력으로 높이가 1~2mm, 직경이 12.2mm인 원판형시편을 성형하였다. 이 시편들은 860°C로부터 900°C까지 10°C 간격으로 온도를 변화시키면서 각이한 온도에서 각각 5min동안 소결하였다. 이때 로안에는 산소(O₂)를 흘리면서 산소분위기를 조성하였다. 얻어진 시편들에 대하여 초전도상의 비율은 《AC자화률측정장치》로 평가하였고 조성과 현미경상은 EDAX와 결합된 SEM으로 분석하였다.

실험결과 및 분석

일반적으로 유도도와 교류자화률사이의 관계식은 다음과 같다.

$$(L - L') / L = 4\pi\chi$$

여기서 L 은 시편이 없을 때의 유도도, L' 은 시편이 있을 때의 유도도이며 χ 는 교류자화률이다.

우리는 $\Delta L = L - L'$ 를 측정계산하여 교류자화률을 평가하였다.

Tl₂O₃ : Ba_{2-x}Sr_xCa₂Cu₃O₇ = 1 : 1의 물질량비로 소결한 Tl₂Ba_{2-x}Sr_xCa₂Cu₃O₁₀(TBSCCO)조성의 시편들에서 교류자화률은 소결온도와 x 의 값에 따라 변화되었다.

860°C에서 소결한 시편에서는 $x=0.2$ 일 때, 870°C에서 소결한 시편들에서는 $x=0.3$ 일 때 880°C와 890°C 그리고 900°C의 소결온도에서 얻어진 시편들에서는 $x=0.4$ 일 때 ΔL 의 값이 가장 크게 측정되었다.

그림 1은 890°C에서 소결한 시편들의 교류자화률곡선이다.

그림 1에서 보는바와 같이 $x=0.4$ 일 때 초전도상의 비율이 가장 크다. 그러므로 Ba를 Sr로 0.4원자% 치환한 $\text{Ti}_2\text{Ba}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ 일 때 초전도상의 비율이 높아진다는것을 알수 있다.

그림 2에 각이한 Sr의 치환량에 따르는 초전도상비율의 변화를 보여주었다.

그림 2에서 보는바와 같이 x 가 0으로부터 0.4까지 증가할 때 초전도상의 비율이 증가하지만 0.4로부터 0.8까지 더 증가할 때 초전도상의 비율이 떨어진다.

그러므로 TBSCCO초전도상의 비율을 높이려면 Sr의 치환량이 0.4원자%로 되어야 한다는것을 확증할수 있다. 그리고 이 초전도체의 소결온도를 870~890°C범위에서 정하는것이 합리적이라고 말할수 있다.

그림 3에 $\text{Ti}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ 과 $\text{Ti}_2\text{Ba}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ 초전도체의 전자현미경사진과 표 1과 2에 이 상들에 대한 5개 점들의 조성분석값을 보여주었다.

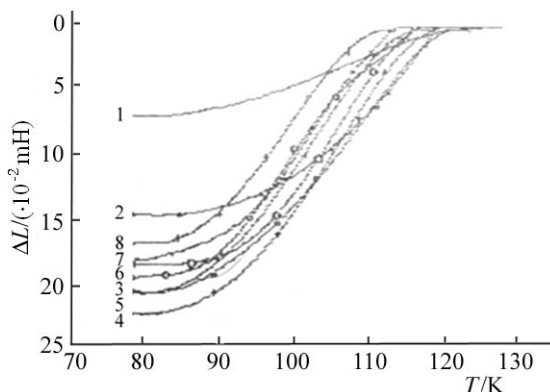


그림 1. 890°C에서 소결한 TBSCCO초전도체의 교류자화곡선

1-8은 x 가 각각 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8인 경우

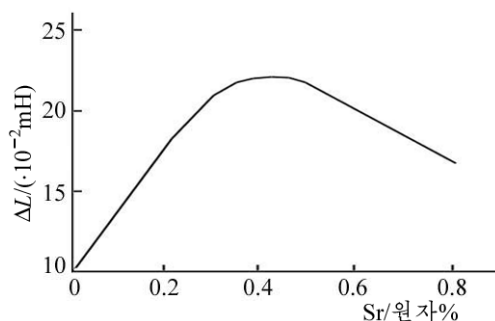


그림 2. Sr의 치환량에 따르는 초전도상비율의 변화

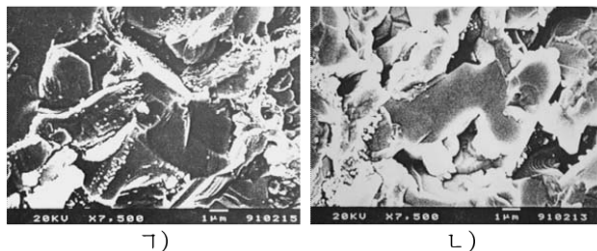


그림 3. 전자현미경사진

ㄱ) $\text{Ti}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$, ㄴ) $\text{Ti}_2\text{Ba}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$

전자현미경사진에서 보면 Sr를 치환하지 않은 초전도체는 결정들의 임의의 모양으로 형성되어있지만 Ba의 일부를 Sr로 치환한 초전도체는 판상으로 형성되어있으며 결정의 크기 도 Ba의 일부를 Sr로 치환한 초전도체에서 Sr를 치환하지 않은 초전도체에 비하여 매우 크게 성장하였다.

표 1. $\text{Ti}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ 의 조성분석값(%)

원소	1	2	3	4	5
Ca	21.03	22.19	22.08	18.02	22.19
Cu	35.40	36.49	33.02	40.75	37.03
Ba	27.92	26.94	30.07	32.37	28.13
Tl	15.65	14.38	14.64	8.87	12.64

표 2. $\text{Ti}_2\text{Ba}_{1.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ 의 조성분석값(%)

원소	1	2	3	4	5
Ca	21.53	19.53	20.11	24.27	22.44
Cu	31.17	29.54	32.58	24.00	29.41
Sr	6.67	13.12	7.99	8.80	9.13
Ba	22.28	19.66	20.62	21.54	21.45
Tl	18.35	18.14	18.70	16.37	21.00

그러므로 Ba를 Sr로 치환하면 립계의 결합을 공고화함으로써 초전도체의 립계전류밀도를 높일수 있게 하여준다.

조성분석표를 보면 $Tl_2Ba_{1.6}Sr_{0.4}Ca_2Cu_3O_{10}$ 초전도체는 $Tl_2Ba_2Ca_2Cu_3O_{10}$ 초전도체에 비하여 Tl의 함량이 높으며 조성은 2223에 매우 가깝지만 $Tl_2Ba_2Ca_2Cu_3O_{10}$ 조성의 초전도체에서는 매 실험점에서 얻은 조성비가 심하게 차이 나며 2223조성과 편차되어 있다.

결국 Ba의 일부를 Sr로 치환할 때 Tl-계 초전도체의 초전도상들의 립계를 공고히 하고 조성편차를 줄일수 있다는것을 알수 있다.

맺 는 말

1) $Tl_2Ba_2Ca_2Cu_3O_{10}$ 조성의 초전도체에서 Ba의 일부를 Sr로 치환하여 초전도상의 비율을 높일수 있으며 Sr의 치환량은 Ba : Sr=1.6 : 0.4일 때가 제일 좋다.

2) $Tl_2Ba_{1.6}Sr_{0.4}Ca_2Cu_3O_{10}$ 초전도체는 $Tl_2Ba_2Ca_2Cu_3O_{10}$ 초전도체에 비하여 초전도상이 균일하게 형성되며 초전도체의 조성편차도 줄인다.

참 고 문 헌

[1] L. R. Song et al.; Jpn. J. Appl. Phys., 40, 3B, 262, 2001.

[2] A. Ogawa et al.; Jpn. J. Appl. Phys., 43, 1A/B, 40, 2014.

주체104(2015)년 5월 5일 원고접수

Influence of Sr on Formation of Superconductor Phase $Tl_2Ba_{2-x}Sr_xCa_2Cu_3O_{10}$

Kim Kyong Su, Kim Yong Hwan

We study the influence of Sr atom to change some Ba atoms to Sr atoms in $Tl_2Ba_{2-x}Sr_xCa_2Cu_3O_{10}$ oxide superconductor. We reveal that when Ba : Sr=1.6 : 0.4, the ratio of phase of superconductor increases and component change is lower.

Key words: superconductor, Tl-system