

## 기능성 재료의 간소화된 합성법

이상현\*

선문대학교 전자공학부

### Simplified fabrication method of Functional materials

Sang-Heon Lee

Department of Electronics Engineering, Sunmoon University\*

**Abstract** - Superconducting ceramics of YBaCuO was fabricated on SrTiO substrate by chemical fabrication method using fine powder of YBaCuO having diameter less than 1um. The pattern of the fabricated superconducting bulk was linear and the thickness of it can be controlled in the range of 50um. The structure of the surface of film by diffraction pattern and composition. The tape like YBaCuO bulk with width of 10mm was formed on substrate using similar method. Tape like film is expected to utilize as material of superconducting tape.

#### 1. 서 론

초전도체는 전기저항이 없는 것 이외에도 자기적으로도 중요한 성질을 가지고 있으며, 순수한 금속원소와 합금 화합물형태인 Type II형 bulk 산화물 초전도체는 최근 응용에 대한 가시적인 여러 역학적인 특성을 나타내고 있다.

초전도체 재료를 응용한 첨단 장치중 에너지 저장의 실현을 위해서는 자기적 특성이 우수한 초전도체의 개발이 필수적이며 자기 속박효과(flux pinning)가 우수한 초전도체의 개발이 시급하다. 따라서, 자기 속박효과(flux pinning)와 밀접하게 관련되어 있는 자기 부양 효과의 발생 메카니즘의 구현은 자기적 특성이 우수한 초전도체를 개발하는데 있어서 그 중요성이 매우 높아지고 있으며, 자기 부양 효과의 공학적 응용을 모색하는 일 또한 매우 절실하게 되었다.

초전도체에 관한 연구는 역사적으로 ANL(미국), ORNL(미국), Kfk(독일), JAERI(일본) 등 각국의 관련 국립연구소를 중심으로 진행되어 왔으며, 현재에도 이들 연구소를 중심으로 초전도체에 관한 국가적인 연구가 진행되고 있다. 선진 각국의 국립연구소는 종래의 초전도체를 이용한 초전도 베어링의 원자력 분야로의 응용뿐 아니라 향후 고온초전도체의 실용화에 대비한 연구를 통해 미래 에너지 분야의 효율성 제고와 신에너지 기술의 확립에 주력하고 있다. 고온초전도체 선체에 대한 연구 방향은 초전도 flux pinning의 특성 향상 및 고자계 발생 초전도체의 제조가 주를 이루고 있는데 구체적으로 임계전류(Ic) 및 임계전류밀도(Jc)의 상승, 임계변형굽힘율(critical bend strain)의 상승 등이 연구의 목표가 되고 있다.

1990년대에 들어와서 초전도체의 Jc의 향상과 함께 초전도 입자의 대형화에 대한 연구가 집중적으로 시작되었는데 고온 초전도체를 베어링, 다용도 모터, 발전기, 자석 등에 이용하기 위해서는 적어도 4~5 cm 이상의 결정립을 가진 고자력 초전도체가 요구되기 때문이다.

현재 77 K에서 작동하는 5마력의 synchronous 모터가 Reliance Electric Company사와 ASC, EPRI 등과 공동으로 개발되어졌다. 모터개발은 현재 125마력까지 향상되었고, 20 K에서 운전된다. 또한 ASC사는 27 K에서 2.16 T의 고자력을 발생시킬 수 있는 초전도체를 제작할 수 있을 정도로 발전되었다.

세계각국의 결과들을 보면 산화물 초전도체에서 극복 곤란하다고 여겨졌던 자속유동 및 기계적 변형특성 등과 같은 문제점

들이 꾸준한 연구결과로 인해 최근 점차적으로 해결되어 가고 있고 아직 온도에 의한 flux creep과 고자장하에서 약한 flux pinning 등과 같은 문제가 있지만 다방면에 걸쳐 실용화가 시도되고 있다. 특히 27 K에서 2 T 이상의 고자장을 낼 수 있는 자석이나 5마력급의 모터, 1 MW급의 발전기, 4,200 A급의 전력선 등은 이미 개발되어 상당히 실용화에 접근한 상태이다. 최근 선재 및 bulk 부분의 실용화 및 상품화에 대한 가능성이 고조됨에 따라 미국, 일본 등지에서는 이 부문에 대한 집중투자를 하고 있어, 향후 10년 이내에는 벌크형 초전도체의 응용분야에 대해 실용화가 될 것으로 보인다.

미국 에너지성(Department of Energy)에 따르면 미국 산업시설에서 전기에너지의 사용 70%를 모터가 담당하고 있고 총 전기에너지의 55%를 모터가 사용하고 있다고 한다. 중소형 모터가 산업설비의 동력으로서의 비중은 대단히 높다. 1000 KW급의 대용량모터는 총 전기 에너지의 25%를 소모하고 있다. 선을 감아서 솔레노이드 형태로 제작되고 있으며 선박 추진 등의 큰 동력을 얻는데 활용되고 있다. 산업용 초전도 모터의 실용화를 위해서는 초전도 기술, 냉동기술, 고 진공기술, 전기 기술 등의 첨단 기술을 융합하여야 한다.

#### 2. 실험 방법

YBaCuO의 합성에는 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, BaCO<sub>3</sub>, CuO를 초기분말로 사용하며 각기 요구되는 양이온 물비로 혼합한 후 알루미늄 자기에 넣어서 930 °C에서 하소한 후 하소한 반응을 생성물을 분쇄하여 process로 원형 성형한다. 성형한 pellet을 940-950°C에서 소결하고 소결된 pellet을 940-950 °C에서 소결하고 소결된 pellet을 준용해 공정을 도입하여 결정입을 안정시킨다. 이때 QMP 공정은 초기온도를 1050°C 까지 빨리 가열하고 이후 1010-950°C의 구간에서 3°C/hr의 속도로 서냉하는 과정을 사용하였다. QMP법으로 제조한 시료는 큰 결정립을 가지고 있으며, 미세하게 분산되어 높은 임계전류밀도와 자기특성을 보인다.

초기분말의 화학조성을 제어하기 위하여 Y211의 함량을 조절 한 후 분말을 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + L영역으로 가열하였다. 이 영역으로 가열 시킨 이유는 포정반응식에서 생성되는 Y211 입자들이 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 에서 핵 생성될 것으로 생각했기 때문이다. Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 입자가 미세하면 생성되는 Y211 입자들이 미세화 될 것이다. 미세조직에 Y211 입자들을 얻기 위하여 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + L영역에서 급랭한 분말을 다시 분쇄하는 공정을 추가 하였다. Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + L 혼합체를 분쇄하여 미세한 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 입자들을 얻을 수 있을 뿐 아니라 분포도를 균일하게 할 수 있었다.

#### 3. 결 론

초전도체에 첨가물을 도핑하는 목적은 초전도체에 flux pinning center site를 부여하여 임계전류 밀도를 향상 시키기 위함이고 부가적인 목적은 세라믹-세라믹, 또는 금속-세라믹 복합체를 만들어 초전도체

의 기계적 특성을 향상 시키기 위함이다. 초전도체에 첨가되는 물질은 Ag Pt와 같은 금속물질과 산화물, 탄화물등 비금속제의 두종류로 나눌 수 있다. 이중 Ag나 Ag<sub>2</sub>O는 고상 열처리시 초전도 입계에 위치하여 Y123 입계간의 결합을 강화시켜 임계전류의 특성을 향상 시킨다. 재료의 가공도나 휨강도도 향상 된다. Zr을 첨가할 경우 인성치가 상승하는데, 이는 첨가된 Zr과 YBaCuO가 반응하여 BaZrO<sub>3</sub>가 생성 되기 때문이다. 용융공정으로 초전도체를 제조할 경우 Zr, Ta Ti Pt Rh Re Ce Nd Sb 등의 첨가제는 YBaCuO 상의 초전도 성을 손상 시키지 않고 화합물 형태로 초전도상내에 미세하게 분산된다.

고상소결시 초전도상과 반응하여 이 소결체를 용융공정으로 다시 열처리하면 초전도성이 회복하는 결과를 보인다. 이는 Y<sub>2</sub>11+L이 YBaCuO 상을 생성하는 고온 공정에서 불순물을 YBaCuO 상의 외부로 밀어내기 때문이다. 대표적인 첨가물인 BaTiO<sub>3</sub>는 용융 공정중 Ba<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub>로 변태하여 초전도 기지에 분산 된다. 분산된 Ba<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub> 입자들의 크기가 수십 micron으로 YBaCuO 상의 flux pinning center site로 작용하기에는 그 크기가 조대하다. 생성된 Ba<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub> 입자와 YBaCuO 기지간의 열 전도도가 다르기 때문에 냉각시에는 이들 입자주위에 strain이나 전위와 같은 미세 결합농도가 증가한다. 생성된 Ba<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub> 입자에 의해서가 아니라 입자들 주위의 생성된 미세 결합에 의해 임계 전류 밀도가 상승하게 된다. 순수한 YBaCuO와 5wt% BaTiO<sub>3</sub>를 첨가한 시료의 자화 특성을 조사하면 순수한 YBaCuO 시료는 작용자기가 증가하면 임계전류 밀도가 급격히 감소한다. BaTiO<sub>3</sub>를 첨가한 시료는 일정한 임계전류밀도를 갖는다. 첨가되는 BaTiO<sub>3</sub>가 증가할 수록 생성되는 YBaCuO 결정의 크기가 감소한다.

결론적으로 첨가물은 그 자체가 flux pinning center site로 작용하기 보다는 소량첨가에 의한 YBaCuO 상의 미세조직 향상이나 flux pinning center site로 작용할 수 있는 미세 결합의 생성 촉진을 개선할 수 있다. 고자력 부상력 YBaCuO 초전도체 제조기술은 곧 바로 초전도 플라이휠 에너지 저장장치에 활용이 가능하다. 초전도 베어링에 사용되는YBaCuO초전도체의 특성은 현재까지 개발된 어떠한 초전도체보다도 강력하다. 따라서 이 기술은 고자기부상 뿐만 아니라 고전류 초전도체도 활용될 수 있으므로 다른 전력분야인 초전도선재, 전류인입선등의 연구 등에도 활기차게 진행할 수 있다. 고자기부상 초전도체 기술이 선진국과 비교해 떨어지지 않기 때문에 국산화 기술은 곧 세계화기술이 된다. 에너지 저장장치가 산업적으로 활용될 수 있는 만큼의 경제적 부가가치도 100% 성취할 수 있다. 초전도 베어링용 초전도체는 고부가가치 재료이므로 부품소재의 국산화를 통해 국내 기술력 확보 및 산업에 기여도는 크다 아니할 수 있다.

## 감사의글

This work was carried out with help of National Research Lab.(NRL) program of Korea Science and Engineering Foundation (KOSEF) and Ministry of Science and Technology, Korean government.

## [참고문헌]

- [1] M.Murakami, M.Morita, K.Doi, M.Miyamoto, Jpn J Appl. Phys., Vol.177, 4,3 (1991) (1990).
- [2] N.Okawa, M.Yoshimoto, I.Hirabayashi, ISTEC, Vol.4, PP.31(1990).