

## 중성자 조사를 위한 초전도 선재의 특성

이상헌

선문대학교 전자공학부

### Electric Properties of YBCO Superconductor for Neutron Irradiation

Sang-Heon Lee

Department of Electronic Eng. Sun Moon University

**Abstract** : An electromagnetic memory effect observed in superconducting YBCO system was studied. From the measurement of differential conductance, it was cleared that the mechanism of electromagnetic memory can not be explained by using conventional flux flow model. By changing the density of external magnetic flux, changes in inductance of a coil in which a superconducting bar is inserted were also measured. It was concluded that the electromagnetic memory effect arises from the interaction between the trapped magnetic flux and the weak link of the filament formed in the superconducting bar.

**Key Words** : memory effect, YBCO, superconducting bar

#### 1. 서 론

1986년 고온초전도체의 발견은 산업전반에 무한한 응용성 때문에, 학문적인 측면뿐만 아니라, 초전도 소자들의 실현을 위해 electronics, computer technology 및 반도체와 초전도 현상을 응용한 hybrid 소자 등 다양한 분야에서 전 세계적으로 연구되고 있다[1-3]. 이와 같이 고온 초전도체의 응용은 현대 산업의 많은 분야에서 시도되고 있으며 그중 가장 실용화에 근접되어 있는 것으로 초전도 센서 분야가 주목을 받고 있다. 이는, 초전도 상태에서 상전도 상태로 혹은 상전도 상태에서 초전도 상태로의 상전이때 발생하는 저항의 변화를 디바이스의 동작으로 응용할 수 있기 때문이다. 고온초전도체의 전자소자로서의 응용은 초전도 산업화를 위해서도 대단히 중요한 의미를 갖는다[4-5]. 초전도체에는 외부로부터 자계를 인가하면 전압이 발생하게 되는데 외부 자계를 소거한 후에도 출력전압이 유지되는 물리적 현상이 있다. 이 현상은 다결정 입계로 구성되어 있는 산화물 초전도체가 갖는 특징이며 자계를 인가함과 동시에 초전도체에 발생하는 출력전압이 변화하는 현상을 주목하면 간단한 초전도 자기 검출소자로서 응용할 수 있는 가능성을 내포하고 있다. 따라서 본 연구는 초전도체에서 관측되는 자기적 특성을 명확하게 조사 하는 것을 연구의 목적으로 하며, 초전도상태에 있는 시료가 자속에 의한 메모리의 기입이 가능하며 이러한 자기적 효과의 기초물성에 대하여 정성적으로 고찰하고자 한다.

#### 2. 실험

시료는 99.9% 순도의  $Y_2O_3$ ,  $BaCO_3$ , 와  $CuO$  분말을 혼

합과 하소의 공정을 포함하는 고상 반응법으로 제조하였다. 저울에서 정량 한 분말을 알루미늄이나 막자 사발에서 균일하게 혼합하였다. 혼합된 분말은 840℃에서 24시간 하소하였다. 하소된 분말은 알루미늄이나 막자사발에서 분쇄한 후 중량비로 1-10wt%의  $Ag_2O$ 를 혼합한 후 원판형 시료를 만들었다. 완성된 시료는 직경 15 mm, 두께 1 mm의 흑색 원판형을 하고 있다. 완성된 시료는 직경 15 mm, 두께 1 mm의 흑색 원판형을 하고 있다. 소자는 띠형으로 전압 단자가 위치하는 부분을 오목하게 가공하여 전압단자 부분의 전류밀도를 높게 하였다. 그리하여 시료에 전류를 흘리거나, 외부로부터 자계를 인가함으로써 초전도 상태에서 상전도 상태로 천이하기 쉽게 하고 그 부분에 있어서 전기저항이 자계에 의하여 크게 변화하는 현상이 기대된다. 전류 및 전압 단자는 접촉저항을 줄이기 위하여 In을 전극 재료로 사용하였고, 리드선은 약 0.08mm $\phi$ 의 구리선을 사용하였다.

#### 3. 결과 및 고찰

본 연구에서 대상으로 하고 있는  $BiSrCaCuO$  초전도 소결체는 분말을 소결하여 제작한 시료 이므로 내부에는 격자 결함이 발생하며, 산화물 등의 화학적 불순물이 다수 존재하는 것으로 사려 된다. 이 점은 본 시료가 임계 온도 이하에서 초전도 상태가 되는 영역과 상전도 상태를 유지하는 영역 또는 메모리효과를 발생하는 자속에 트랩하는 영역으로 혼합 되어 있는 제2종 초전도체임을 의미한다. 일반적으로  $Nb_3Sn$ 와 같은 제2종 초전도체에서는 초전도 시료에 흐르는 전류에 수직인 방향으로 외부자계를 인가할 경우, 임계전류 이상의 전류가 시료를 흐르게 되면 초전도시료의 양단에는 전압 강하가 발생하게 된다.

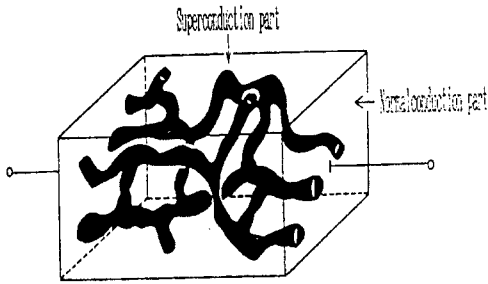


Fig. 1. The filament current path of superconducting bulk.

본 연구에서는 그림 1에서와 같이 그물망 형태로 되어 있는 필라멘트형의 초전도 영역을 2개의 필라멘트 A, B로 간단화 하였다. 그림2의 (a)는 외부자장을 인가하지 않은 상태에서 임계전류 이하의 전류를 시료에 흘린 경우로서 이 상태에서는 시료 내부의 초전도 영역은 필라멘트 상으로 단자간을 연결하고 있으므로 전류-전압특성에서 단자간 전압은 0이 된다. 그림2(b)는 외부로부터의 자장을 시료에 인가한 경우로서, 외부 자장에 의한 자속 ( $B_{ext}$ )이 초전도 시료를 관통하고 있다. 시료에 인가된 자속밀도가 증가하면 필라멘트 초전도 영역 A, B에도 자속이 진입하게 되어 초전도 입자의 약 결합 부분은 파괴되어 상전도 영역으로 천이한다. 그 결과로서 시료에 전류를 흘리면 시료의 양 단자 간에는 전압 ( $V_{ext}$ )이 발생하게 된다. 그림2(c)는 초전도 시료에 인가되었던 외부 자장을 소거 한 후 시료가 자기적 상태로 되었을 때의 임계전류 ( $I_{cm}$ ) 이하의 전류를 흘린 경우를 나타낸다. 이 상태에서는 필라멘트 내부의 결합부분은 자속이 소거되어 초전도 상태로 회귀된다. 그러나 결합에 트랩 된 자속 ( $B_{trap}$ )은 인접한 필라멘트의 가는 부분(약 결합 부분)에 영향을 미치게 되므로, 결합에 트랩 된 자속과 초전도 필라멘트의 가는 부분이 그림 2(c)에서와 같이 배치되면 초전도 필라멘트 B의 가는 부분은 파괴 된다. 그러나 필라멘트 A의 초전도 영역은 시료의 양 단자 간을 연결하고 있어 시료의 초전도성은 유지된다. 이 상태의 전류-전압 특성에서 단자 간 전압은 0이 된다. 메모리 된 시료에서는 초전도 영역의 실효전류 경로의 단면적이 감소하므로 전류 경로에 있어서의 전류 밀도는 증가 한다. 따라서 시료의 임계전류는 감소하게 된다. 이 감소된 임계 전류보다 큰 전류를 초전도체에 흘리면 전압 단자 간에는 전압이 발생 하게 된다. 이 설명을 그림 2(d)에 나타낸다. 그림 2(d)는 그림 2(c)의 상태에서  $I_{cm}$  이상의 전류를 시료에 흘린 경우로서 초전도 필라멘트 B는 초전도 필라멘트 A에 트랩 된 자속으로 인하여 이미 파괴되어 있으며, 필라멘트 A의 가는 부분도  $I_{cm}$  이상의 전류를 시료에 흘림으로서 파괴되어 상전도 성을 나타내게 된다. 결과적으로 시료 단자를 연결하는 초전도 필라멘트 A, B 는 모두 분단 되므로 시료 단자 간에는 전압 ( $V_{trap}$ )이 발생 한다.

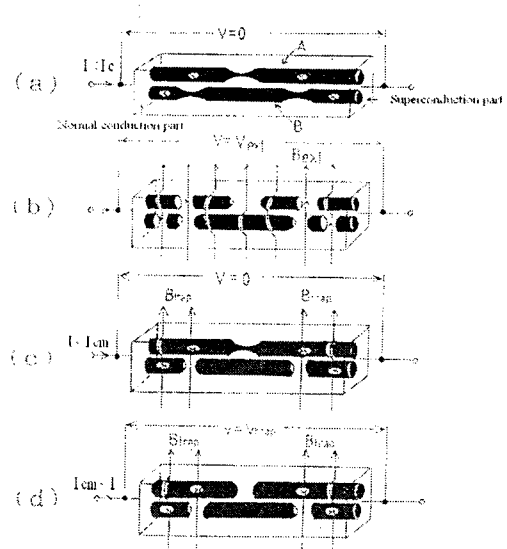


Fig. 2. Filament voltage occurrence model.

#### 4. 결론

YBCO계 초전도체에 외부자계를 인가하면, 전압 단자간에는 전압이 발생하며, 외부 자계를 소거 한 이후에도 전압이 출력되는 전기 자기적 현상이 관측 되었다. 본 연구에서는 초전도 소결체의 전기 자기적 효과의 발생 메커니즘으로서 자속의 트랩 현상과 초전도체 내부에 존재하는 약 결합을 고려한 필라멘트 모델을 제안 하였다. 관측된 전기 자기적 현상은 필라멘트 모델에 적용하여 정성적으로 설명 하였다. 초전도체의 전기 자기적 효과는 외부 자계 및 초전도 시료에 트랩 된 자속의 상호 작용으로 인하여 초전도 소결체 내부의 약 결합 부분이 파괴되어 발생하는 현상으로 사려 된다.

#### 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.

#### 참고 문헌

- [1] J. G. Bednorz and K. A. Muller, "Possible high Tc superconductivity in the Ba-La-Cu-O system", Z. Phys. B64, p. 189, 1986.
- [2] H. Maeda, Y. Tanaka, M. Hukutomi, "Bi-based High Tc Superconductors" Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 27, No. 2, p.209, 1988.