

Bi계 세라믹재료의 전자기특성

이 상 현

선문대학교 전자 정보통신 공학부

Electromagnetic Characteristics of Bi System Ceramic Superconductor

Sang Heon Lee

Department of Electronics Information Communication Engineering

Sun Moon University

E-mail : shlee@sunmoon.ac.kr

Abstract

The relationship between magnetic properties of BiPbSrCaCuO superconductor and externally applied magnetic field was studied to develop a magnetic field polarity sensor. The behavior was related to the magnetic flux trapped in the superconductor, which penetrates through the material by the external magnetic field. Some portion of the superconductor was changed to a normal state by the trapped magnetic flux. Electrical characteristics of the superconductor with trapped magnetic flux were extremely sensitive to the external magnetic field and showed different responses depending on the direction of the magnetic field.

1. 서 론

카멜린-온네스가 1911년 초전도 현상을 발견한 이후, 일 원소 물질인 많은 금속계 초전도체로부터 합금, 금속간의 화합물계 초전도체에 이르기까지 많은 연구가 진행되어 1973년에는 초전도체의 최고 임계온도가 23.2 K에 달하였다. 그러나, 그후 10년이 지나도록 임계온도의 상승은 이루어지지 않았는데 1986년의 층상 Perovskite형 구조를 갖는 $(La,A)_2CuO_4$ 계산화물 ($A=Ca, Sr, Ba$)의 발견을 계기로 하여 초전도체의 임계온도는 급격하게 상승하였다. 특히 1987년 이트륨, 바륨, 구리산화물계 초전도체의 발견에 의해 액체질소중에서 초전도성이 얻어져 고온 초전도의 시대가 열리게 되었다. 이후 LaBaCuO계[1] 및 YBaCuO계[2] High-Tc 산화물에 대하여 기초물성, 결정구조, 합성법 등에 관한 방대한 연구가 이루어졌고, 임계온도가 100 K를 넘는 BiSrCaCuO계[3] 및 120 K를 넘는 TlBaCuO계가 잇달아 발표되는 등 매우 급속한 발전이 이루어지고 있는데다가 10 T 이상의 고자장 환경에서 $10^8 A/m^2$ 이상의 임계 전류밀도를 갖는 BiSrCaCuO 선재가 실용화 할 수 있을 정도의 긴

길이로 제작되어 그 활용도는 앞으로 무한히 확장될 것으로 보인다. 고온초전도체는 임계온도 이외에도 여러 가지 성질이 종래의 금속초전도체와는 판이하게 다른 것으로 알려져 있다. 고온 초전도로서 전체 혹은 일부시스템을 운영할 경우 액체 헬륨 대신 액체질소를 냉매로 쓸 수 있기 때문에 저온 초전도 시스템과 비교해 볼 때 열적 단열을 위한 비용의 감소 뿐 아니라 전체적인 비용도 상당히 감소되는 것이다. 이러한 점 때문에 고온초전도체의 응용은 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. 따라서 고온초전도체의 전자소자로서의 응용은 초전도 산업화를 위해서도 대단히 중요한 의미를 갖는다. 특히 BiPbSrCaCuO계 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 고감도 초전도 자기 센서로서 응용할 수 있는 가능성을 내포하고 있다.

2. 본 론

시료가 초전도 상태에 있으며 외부로부터 자계를 인가하지 않는 경우 초전도시료의 전류-전압 특성은 그림 1의 (A)가 된다. BPSCCO계 초전도 시료에 외부로부터 0.1 T의 자계를 인가하면 특성 (A)는 일점쇄선으로 표시된 특성 (B)로 변화된다. 즉, 자계인가로 인하여 초전도 시료의 전압이 증가되고 동시에 저항도 증가하게 된다. 다음으로 외부 자계를 소거하면 시료에서 발생하는 전압은 감소하나 원래의 특성 (A)의 상태로는 돌아가지 않고

(C)의 특성에 머무르게되며 임계전류는 감소하게 된다. 이 상태에서 전압을 0으로 하고 다시 전압을 인가하여도 동작점은 (C)의 특성을 나타낸다. 본 논문에서는 이러한 현상을 초전도체의 자기적 효과라고 한다.

특성 (A)와 (C)의 상이점은 다음과 같이 설명할 수 있다.

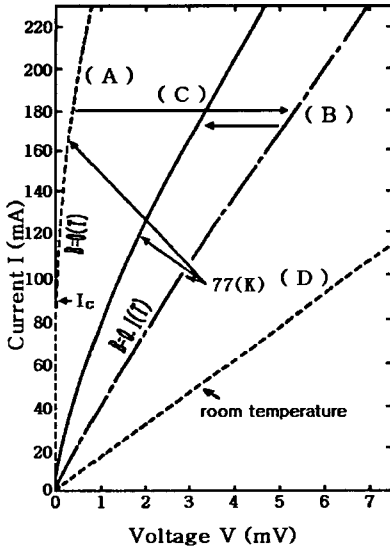


Fig.1. Current-voltage characteristics of the BPSCCO ceramics.

특성 (A)는 임계전류 이하의 전류를 인가한 경우로서 초전도 시료의 양단에서는 전압이 발생한다. 이것은 초전도체를 흐르는 전류와 더불어 발생한 자계로 인하여 초전도 영역의 일부가 상전도 영역으로 천이 된 결과로 생각되며, 초전도 입계의 Josephson 접합이 전압상태가 되는 것에 기인하여 저항성분이 발생하는 것으로 사료된다. 특성 (C)는 초전도 시료에서 발생하는 전압이 크게 증가되어 나타남 결과이다. 이것은 특성 (A)와 비교하여 상전도 영역이 확장되어 저항성분이 크게 증가한 결과로 사료된다.

상전도 영역이 확장되는 원인으로서는 초전도 시료에 인가되었던 외부 자장으로 인하여 시료에는 자속이 트랩되며 외부 자장을 소거한 이후에도 트랩된 자속에 의하여 초전도 소결체의 약 결합 부분이 초전도 상태에서부터 상전도 상태로 천이함으로써 초전도체의 저항값이 증가하게 된다.

다음으로 이와 같은 초전도체에 트랩된 자속과 약 결합과의 상호작용을 고려한 필라멘트 모델을 그림 2에 나타낸다.

그림 중의 \times 표시는 초전도체 내부에 포함되어 있는 결합을 나타낸다. 필라멘트의 두터운 부분과 가는 부분은 각각 초전도 입자간의 결합 강도가 강한 부분과 약 결합 부분을 의미한다.

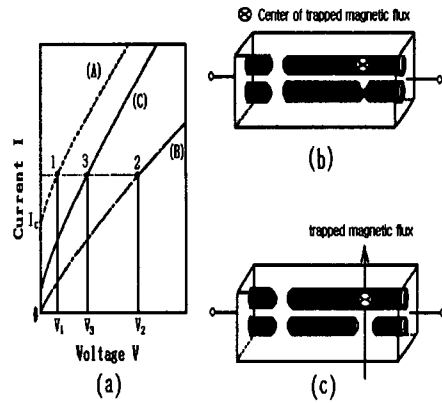


Fig.2. Graphical explanation of an increase in electrical resistance of superconductor caused by magnetic flux.

그림 2(a)는 그림 1에서 측정된 전류-전압특성을 모식적으로 표현한 모델이다. 그림 2(b)는 특성 (A)의 점1을 나타내는 초전도 시료 내부상태를 설명한다.

그림에서 전압 V_1 이 발생하게 되는 원인으로서는 임계전류 이상의 전류가 시료의 일부를 흐르고 있으며 양전극이 초전도 영역만으로 연결되어 있지 않는 점을 들 수 있다. 그림 2(c)는 초전도 시료 내부에 트랩된 자속에 의하여 초전도영역의 일부가 상전도 상태로 변화되는 과정으로서 시료에는 점1의 상태보다 큰 전기 저항이 발생한다. 그러므로 시료 양단에는 전압 V_1 보다 큰 값의 전압 V_3 가 발생하게 된다.

트랩된 자속에 의하여 초전도 시료 내부에 전극간을 연결하는 초전도 전류경로의 일부가 파괴되면 외부로부터 자계가 인가되지 않은 상태에도 그림 1(C)와 같은 전압이 발생한다. 그림 1(C)와 같은 특성을 나타내는 초전도 시료에 미소한 외부 자계를 인가한 경우 나타나는 특성의 변화를 측정하여 자기 센서로서의 가능성에 대하여 조사하였다.

3. 결 론

자기 메모리된 BiPbSrCaCuO계 초전도체의 전기적 특성을 조사하였다. 자기 메모리의 원인으로 사라지는 자속 트랩을 고정하여두고 외부 자계의 극성에 변화를 주면 임계전류치 이상의 전류가 흐르고 있는 고 전류 영역에서는 자계의 극성에 따라 초전도체의 전기저항이 증가하고 감소하는 현상을 관찰하였다.

초전도 시료에 트랩된 자속으로 인하여 발생하는 자계와 같은 방향의 외부 자계가 인가되면 트랩된 자속의 실효값이 감소하여 상전도 상태에 있는 영역의 일부가 초전도 상태로 천이 되어 초전도체의 전기저항이 감소하는 현상을 정성적으로

설명하는 모델을 제안하였다. 또한 이 모델에 적용하면 초기 자계와 반대방향의 외부 자계를 인가하면 초전도체의 전기저항이 증가하는 현상의 정성적인 해석도 가능하다.

[참 고 문 헌]

- [1] J. G. Bednorz and K. A. Muller, "Possible High Tc Superconductivity in the Ba-La-Cu-O System", Z. Phys. B64, 189, 1986
- [2] M. K. Wu, J. R. Ashburn, C. J. Trong, P. H. Hor, R. L. Gao, I. J. Huang, Y. Q. Wang and C.W. Chu, "Superconductivity at 91K in a New Mixed-Phase Y-Ba-Cu-O System" Phys. Rev. Lett., Vol. 58, No. 9, 908, 1989
- [3] H. Maeda, Y. Tanaka, M. Hukutomi, "Bi- based High Tc Superconductors" Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 27, No. 2, 209, 1988