

초전도 자기검출소자

Magnetic Field Sensor by Using Superconductor

이상헌

(Sang-Heon Lee)

Abstract

The relationship between electrical properties of 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. 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. Considering the observed properties of the superconductor with trapped magnetic flux, a magnetic sensor was fabricated to detect simultaneously both the intensity and the direction of the magnetic field.

Key Words : electromagnetic effect, magnetic flux, superconductor, magnetic sensor

1. 서론

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, 그 후 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, 구리 산화물계 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 선체가 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. 세라믹의 특성인 층상구조로 인하여 여러 가지 물리적 성질, 임계자장, 에너지 간격 등이 심한 이방성을 나타내는 어려움이 있다. 그러나 유리한 점은 고온 초전도로서 전체 혹은 일부 시스템을 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

성명 : 이 상헌, Sang Heon Lee

주소 : 충남 아산시 탕정면 갈산리 100

선문대학교 전자정보통신공학부

Tel : (041)530-2357

Fax : (041)541-7426

e-mail : shlee@omega.sunmoon.ac.kr

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. 따라서 본 연구에서는 초전도상태에 있는 시료가 자속에 의한 메모리의 기입이 가능하며 이러한 자기적 효과가 초전도체에 트랩된 자속과 밀접하게 관계되어 있는 것을 조사하여 초전도체의 자속 트랩 현상을 이용한 공학적 응용에 대하여 정성적으로 설명하고자 한다.

2. 실험 방법

초전도체는 Y_2O_3 , $BaCO_3$ 와 CuO 분말을 혼합과 하소의 공정을 포함하는 고상 반응법으로 제조하였다. 저울에서 정량한 분말을 알루미나 막차 사발에서 균일하게 혼합, 공기 중 910 ~ 930°C에서 24시간 하소한 후 서냉하였다. 하소 분말은 분쇄하여 200 mesh의 sieve로 채질 하였다. 혼합 분말은 직경 2 mm steel die에서 원판형으로 성형한 후 940 ~ 950°C 공기 중에서 24시간 소결한 후 450°C에서 24시간 유지하였다. 완성된 시료를 가공하여 띠형의 시료를 제작하였다. 4개의 단자는 In을 전극 재료로 사용하였고, 외측의 2개 단자에는 전류를 흘리고 중앙 부분의 전압 강하를 내측의 2개 단자로 측정한다.

3. 결과 및 고찰

시료가 초전도 상태에 있으며 외부로부터 자계를 인가하지 않는 경우 초전도시료의 전류-전압 특성은 그림 1의 (A)가 된다. $YBaCuO$ 계 초전도시료에 외부로부터 0.1 T의 자계를 인가하면 특성 (A)는 임계전류 이하로 표시된 특성 (B)로 변화된다. 즉, 자계인가로 인하여 초전도 시료의 전압이 증가되고 동시에 저항도 증가하게 된다. 다음으로 외부자계를 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.

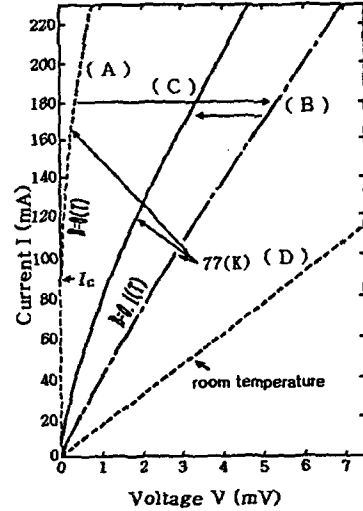


그림 1. $YBaCuO$ 계 초전도체의 전류-전압 특성
Fig. 1. Current-voltage characteristics of the $YBaCuO$ ceramics.

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 임계의 Josephson 접합이 전압상태가 되는 것에 기인하여 저항성분이 발생하는 것으로 사료된다. 특성 (C)는 초전도 시료에서 발생하는 전압이 크게 증가되어 나타난 결과이다. 이것은 특성 (A)와 비교하여 상전도 영역이 확장되어 저항성분이 크게 증가한 결과로 사료된다.

본 연구에서는 자속이 트랩 되어 있는 초전도체에 외부 자계를 인가하였을 경우 외부 자계의 방향과 트랩된 자속에 의하여 형성되는 자계의 방향의 상관관계에 의존하여 전기적 특성이 변화하는 현상을 주목한다. 같은 방향의 자계가 인가된 경우에는 초전도체의 전기저항이 감소하며 반대 방향의 자계를 인가할 경우 전기저항이 증가하는 현상을 응용하여 자기센서를 구성한다.

2개의 초전도체를 저항소자로 하여 구성된 휘이스톤 브리지는 외부로부터 인가된 자계에 의하여 지점 1과 지점 2의 사이에 전위차를 발생한다. 그러므로 초전도체로 구성된 저항소자의 전위차를 측정하면 외부 자계의 세기 및 방향을 용이하게 측정할 수 있다.

게 감지할 수 있다. 자석의 S극을 인가한 경우에는 전위계는 +방향을 나타내며 N극이 인가된 경우에는 - 방향을 지시한다. 즉 전위계가 지시하는 방향에 의하여 외부 자계의 방향을 감지할 수 있다. 외부 자계에 의한 자속의 크기는 hole소자형 자속계로 측정하였다. 이 결과를 그림 2에 나타낸다. S극 및 N극의 어느 자극을 인가하여도 발생하는 전압은 같은 값을 지시한다.

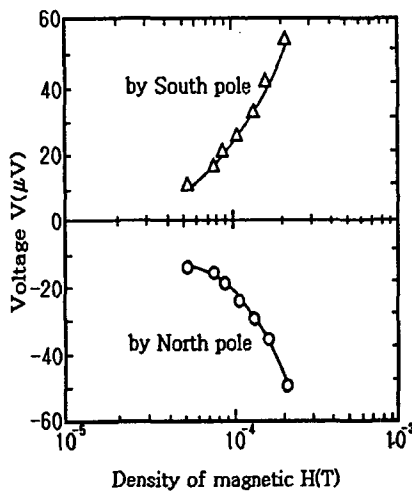


그림 2. 외부자계와 출력전압의 관계
 Fig. 2. Relation between external magnetic field and out put voltage of sensor which appears when wheatstone bridge becomes in balance.

4. 결 론

0.1 T의 비교적 강한 자계에서 자기 메모리된 YBaCuO계 초전도체의 전기적 특성을 조사하였다. 자기 메모리의 원인으로 사려되는 자속 트랩을 고정하여두고 외부 자계의 극성에 변화를 주면 임계전류치 이상의 전류가 흐르고 있는 고전류 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 자기 메모리된 초전도체를

저항소자로 하여 브리지회로를 구성하여 외부 자계의 세기 및 극성을 동시에 감지할 수 있는 자기센서를 제안하였다.

참고 문헌

- [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