

YBCO Magnetometer

이 상 현, 김찬중*

선문대학교 전자 정보통신 공학부, *한국 원자력연구소 원자력재료기술개발팀*

Magnetic Sensor by Using Magnetic Effect in YBaCuO Superconductor

Sang Heon LEE, Chan Jung KIM*

Department of Electronics Information Communication Engineering Sun Moon University,

*Nuclear Materials Development Team Korea Atomic Energy Research Institute

shlee@sunmoon.ac.kr

Abstract - The magnetic field sensor was fabricated with superconducting ceramics of YBaCuO system. The sensor at liquid nitrogen temperature showed the increase of electrical resistance by applying magnetic field. Actually, the voltage drop across the sensor was changed from zero to a value more than 100 μV by the applied magnetic field. The change in electrical resistance depended on magnetic field. The sensitivity of this sensor was 2.9 Ω/T . The sensing limit was about $1.5 \times 10^{-5} T$. The increase of electrical resistance by the magnetic field was ascribed to a modification of the Josephson junctions due to the penetrating magnetic flux into the superconducting material. 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.

1. 서 론

고온초전도체의 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 상전이 때 발생하는 저항의 변화를 디바이스의 동작으로 응용할 수 있기 때문이다[1,2,3]. 고온초전도체의 전자소자로서의 응용은 초전도 산업화를 위해서도 대단히 중요한 의미를 갖는다.

YBaCuO계 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 인

가함과 동시에 초전도체에 발생하는 출력전압이 변화하는 현상을 주목하면 간단한 초전도 자기 검출소자로서 응용할 수 있는 가능성을 내포하고 있다. 따라서 본 연구에서는 초전도상태에 있는 시료가 자속에 의한 메모리의 기입이 가능하며 이러한 자기적 현상을 효과적으로 이용하여 간이형 자기검출소자를 도출하는데 있다.

2. 실험 방법

초전도 시료는 99.9% 순도의 Y_2O_3 , $BaCO_3$ 와 CuO 분말을 혼합과 하소의 공정을 포함하는 고상 반응법 으로 제조하였다. 저울에서 정량 한 분말을 알루미늄 마자 사발에서 균일하게 혼합하여, 혼합된 분말은 950 $^{\circ}C$ 에서 24시간 하소하였다. 하소된 분말은 알루미늄 마자사발에서 분쇄한 후 원판형 시료를 만들었다. 이 시료들은 950 $^{\circ}C$ 공기중에서 10시간 소결하였다. 완성된 시료는 직경 15 mm, 두께 1 mm의 흑색 원판형을 하고 있다. 소자는 4각형으로 가공하여 전압단자 부분의 전류밀도를 높게 하였다. 그리하여 그 부분에 전류를 흘리거나, 외부로부터 자계를 인가함으로써 초전도 상태에서 상전도 상태로 천이하기 쉽게 하고 그 부분에 있어서 전기저항이 자계에 의하여 크게 변화하는 현상이 기대된다. 4개의 단자는 접촉저항을 줄이기 위하여 In을 전극 재료로 사용하였고, 리드선은 약 0.08mm ϕ 의 구리선을 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

본 연구에서 제작한 초전도시료의 전류-전압 특성의 결과를 그림1에 나타낸다. 특성(A)는 외부로부터 자계를 인가하지 않는 경우의 특성이며, 저항값은 0.067 Ω 이 된다. 액체질소 온도에서는 전류가 425mA 까지 전압강하가 관측되지 않으나, 임계전류($I_c=425mA$) 보다 큰 전류를 인가하면 초전도 시료의 양단에서는 전압이 발생

한다. 이것은 초전도체를 흐르는 전류와 더불어 발생한 자계로 인하여 초전도영역의 일부가 상전도 영역으로 천이된 결과로 생각된다. 시료의 주 위온도를 77K로 하고 그림1의 삽입도 에서와 같이 초전도시료에 외부로부터 0.1T의 자계를 인가하면 특성 (A)는 일점쇄선으로 표시된 특성 (B)로 변화된다.

즉, 자계 인가로 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. 이러한 자기현상은 초전도 시료가 77K를 유지하는 한 지속되나, 시료를 일단 상온으로 되돌려 상전도 상태로 하면 소거된다. 그러나 초전도 시료를 77K로 냉각하여 외부 자계를 인가한 후에는 다시 특성C가 얻어져 자기 특성이 재현된다. 이러한 자기 현상은 자석의 N극과 S극에 대하여도 같은 정도로 발생하게 된다.

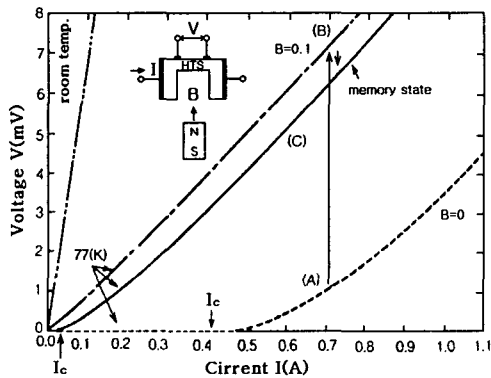


그림 1. 초전도체의 전류-전압특성
Fig. 1. Current-voltage characteristics.

자기적 상태에 있는 초전도 시료에 2×10^{-3} T 이하의 외부 자계를 인가하면서 초전도 시료의 전류-전압특성을 조사한 결과를 그림 2에 나타낸다.

이 결과에서는 0.1 T의 강한 S극을 초전도 시료에 접근시켜 시료의 특성변화를 나타낸다. 초전도 시료에 인가한 자극과 같은 방향으로 약 2×10^{-3} T의 약한 S극을 초전도 시료에 인가하면 전압은 감소되고 초전도체에 인가된 자극과 반대 방향의 약한 N극을 인가하면 시료의 전압은 증가하였다. 강한 N극으로 메모리시킨 경우의 약한 자계의 역할은 정반대가 된다. 즉 약한 N극을 인가하면 초전도 시료의 전압은 감소하고 약한 S극에서는 증가한다. 이 약한 N극과 S극은 이미 초전도시료에 트랩되어 있는 자속을 많게 하거나 또는 적게 하는 기능을 하며 서로 반대의 작용을 하고 있다. 이 결과로부터 자기적 상태는 초전도 시료에 트랩되어 있는 자속이 밀접하게 관여하는 현상으로

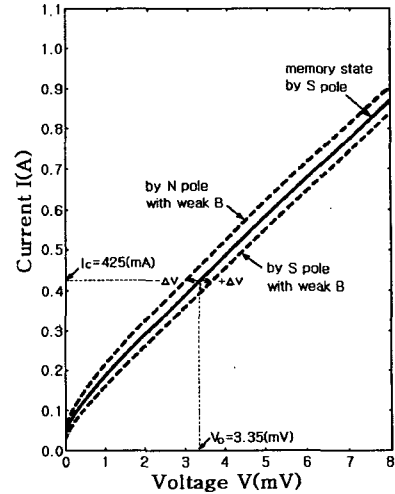


그림 2. 외부 자계에 의한 전기적 특성의 변화
Fig. 2. Current-voltage characteristics of the sample memorized by placing North pole near to it. Symbols +Δ and -Δ mean the increases and the decrease in the voltage across the sample, respectively.

생각할 수 있다.

YBaCuO계 초전도체를 가공하여 그림7의 측정회로를 구성하였다. 그림3의 초전도체의 우측 부분과 좌측 부분은 서로 다른 자극으로 자기 메모리 되어 있다. 전압 V를 측정회로에 인가하여 회로에 연결된 저항값을 조절하면 전위계 V를 0으로 할 수 있으며 그림3의 회로는 평형상태를 이룰 수 있다.

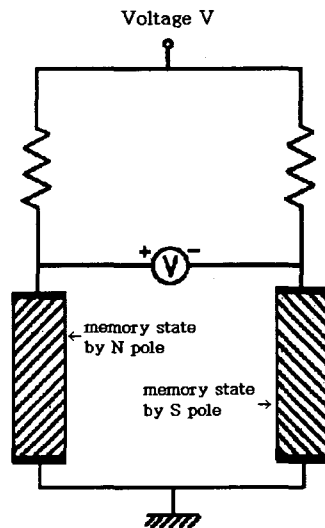


그림 3. 측정회로
Fig. 3. Circuit for measuring magnetic field and polarity.

다음으로 초전도 시료에 서로 다른 자극을 접근한다. 자석의 S극을 인가한 경우에는 전위계는 -방향을 나타내며 N극이 인가된 경우에는 +

방향을 지시한다. 즉 전위계가 지시하는 방향에 의하여 외부 자계의 방향을 감지할 수 있다. 그러므로 초전도체로 구성된 저항소자의 전위차를 측정하면 외부 자계의 세기 및 방향을 용이하게 감지할 수 있다.

4. 결 론

0.1 T의 비교적 강한 자계에서 자기 메모리 된 YBaCuO계 초전도체의 전기적 특성을 조사하였다. 전압의 자기특성을 검토한 결과 자기검출 기능을 갖는 간단한 소자로 사용할 수 있으며, 10^{-6} T이하의 자계 범위에서는 용이하게 자기를 측정할 수 있는 결과를 얻었다.

자기 메모리의 원인으로 사려되는 자속 트랩을 고정하여두고 외부 자계의 극성에 변화를 주면 임계 전류치 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 감소하는 현상을 정성적으로 설명하였다. 자기 메모리 된 초전도체를 저항소자로 하여 외부 자계의 세기 및 극성을 동시에 감지할 수 있는 자기 검출소자를 제안하였다.

“본 연구는 21세기프론티어 연구개발사업인 차세대초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.”

(참 고 문 헌)

- [1] J. G. Bednorz and K. A. Muller, "Possible High T_c Superconductivity in the Ba-La-Cu-O System", Z. Phys. B64, p.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, p.908, 1989.
- [3] H. Maeda, Y. Tanaka, M. Hukutomi, "Bi-based High T_c Superconductors" Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 27, No. 2, p.209, 1988.