

YBCO의 자기 저항 특성

Characteristics of Magnetic Resistance on the YBCO

李 尙 憲[†]
(Sang-Heon Lee)

Abstract - The magnetic properties in YBCO superconducting materials were studied. In the measurement of I-V properties, it was cleared that the mechanism of magnetic properties could not be explained by using conventional flux theory. By changing the density of external magnetic flux, changes in current voltage characteristics in which a superconducting material were also measured. The results showed that the magnetic flux is generated by a vortex current which circulates around the vortex with a sense of rotation opposite to that of the diamagnetic screening surface current. When the external magnetic field was applied to the superconducting magnetometer, some regions of the magnetometer will be destroyed, especially the weak link regions and the defect regions.

Key Words : Superconductor, Resistance, Magnetometer

1. 서 론

고온 초전도체는 발전 이래 전기에너지의 발전, 저장 및 수송등의 전력계통 분야에 실질적으로 응용 될 것으로 기대 되어 많은 연구가 이루어지고 있다[1]. 고온 초전도체(HTS)의 일렉트로닉스 분야에서의 응용은 초전도 재료에 의하여 선도 되고 있으며, 응용범위 또한 제한을 받고 있다[2]. 초전도분야는 향후 기술 선진국으로의 진입을 위해서는 무엇보다도 많은 투자와 연구 개발이 필요한 분야라 할 수 있다. 따라서 초전도 재료 소자를 취급할 수 있는 기술의 개발은 신 기능성 전자소자의 출현을 가능하게 하며, 특히 전류 유송 특성을 크게 향상시킨 전력용 재료로, 전류특성을 크게 향상시킨 전도체 전기재료의 핵심 요소기술에 접목 할 수 있다. 또한 첨단 신소재 개발 및 산업화에 따른 전력기기 및 각종 전기 부품 소재에 있어서 국내의 기술의 선점 화를 이룸으로서 산업 경제적으로 파급효과가 매우 큰 기반기술이라 할 수 있다. 최근, Cu 산화물 세라믹스 초전도체가 갖는 특성을 극대화한 응용 소자의 출현을 위하여 반도체 및 자성체등의 자기저항효과와는 다른 메커니즘을 도출하였다. 초전도 자기저항 효과는 초전도체 내부에 금속 및 금속계 산화물을 도펀트로서 첨가하여, 초전도체에 플럭스 피닝을 도입하게 되어 전기저항이 높은 초전도 세라믹스의 고유 특성에 반해 향상된 전기 자기적 특성을 부여한 기능성 소자의 일종이다[3-5].

초전도체의 전자소자로서의 응용은 초전도 산업화를 위해서도 대단히 중요한 의미를 갖는다. 특히 YBaCuO계 초전도체의 전기 물리적 효과는 다결정 입계로 구성되어 있는 초

전도체가 갖는 특징이며 출력전압의 변화를 주목하면 자기 응용소자로서 활용할 수 있는 가능성이 있다.

따라서 본 연구에서는 자기저항효과를 극대화 시키기 위하여 초전도 디바이스 수동 소자의 전류 전압 특성을 실험 하여 간단한 초전도 전자소자의 응용가능성을 정성적으로 설명하고자 한다.

2. 실험방법

초전도체는 초전도 현상이 일어나는 온도가 77k 이상 이므로 액체 질소를 사용한 고효율 초전도 기기의 제작의 장점이 있다. 초전도 특성의 향상을 위하여는 고가의 나노급의 원료분말이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 초전도체의 생산단가를 낮추고자 화학적 방법으로 초전도체 분말을 제조 하였고 이 분말을 사용하여 초전도 시편을 제작 하였다. 화학 액상법은 균일하고 미세한 입자의 전구체의 합성이 가능한 특징이 있다.

초전도 원료 분말 합성에 사용된 분말은 Y₂O₃, BaCO₃와 CuO 분말이었으며, 99.9%의 고순도 분말을 선택 하였다. 초전도 분말을 합성하고자 양이온 비가 Y:Ba:Cu=1:2:3이 되도록 조성을 설정한 다음 칭량된 분말을 건식 혼합기를 사용하여 균일한 혼합이 이루어지도록 1시간 동안 혼합하였다. 혼합된 원료분말을 질산에 용해한 후, 시트르산 수화물 (C₆H₆O₇ · H₂O, 특급시약, 함량 61%) 및 에틸렌글리콜 ((CH₂OH)₂, 특급시약, 순도 99.5%)을 첨가하였다. 시트르산 및 에틸렌글리콜은 출발 원료중에 포함되는 금속이온의 총 원자가수 및 polymer상 화합물의 최적비에 대응하는 필요량을 첨가하였다. 혼합용액을 마그네틱 교반기에 넣고 약 90℃의 온도에서 2~3 시간 가열 각반 하여 하여 초전도 전구체 분말을 합성 하였다. 합성 된 전구체는 탈수 중합 반응을 일으키며 폴리중합 반응을 촉진시켜 최적의 혼합분말

[†] 교신저자, 正會員 : 鮮文大 工大 電子工學部 副教授 · 工博

E-mail : shlee@sunmoon.ac.kr

接受日字 : 2008年 12月 11日

最終完了 : 2008年 12月 31日

의 화학반응 효과를 개선하였다.

화학 프로세스에 의하여 합성된 초전도 전구체분말을 MgO(100) 기판을 이용하여 초전도 후막 시료를 제작하였다. HCl과 H₂O₂의 혼합 용액에서 MgO(100) 기판을 세척하여 기판 표면의 불순물을 제거하였다. 합성한 미세 입자를 기판위에 도포 하여 열처리하는 방법을 이용하여 약 두께 1 μ m의 후막을 제작 하였다.

온도에 따른 전기저항의 변화를 측정하기 위하여 초전도체의 전기저항을 측정하였다. 전류 및 전압 단자는 접촉저항을 줄이기 위하여 인듐을 전극 재료로 사용하였고, 전류를 인입하는 리드선으로는 Cu를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

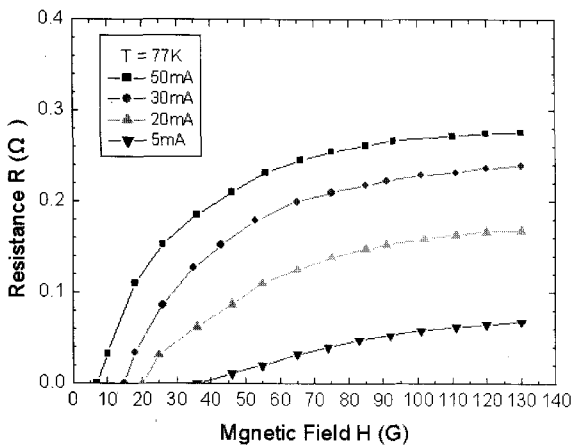


그림 1 초전도 후막 시편의 전기저항 특성.
Fig. 1 Dependence of magnetic flux density on electrical resistance.

본 초전도 후막 시편의 온도변화에 따른 전기저항 특성은 약 95k에서 저항이 낮아지며 85k 부근에서 전기저항이 소멸되는 특성을 나타낸다. 본 초전도시료의 결정구조는 c축으로 정렬된 YBaCuO 초전도상이 관측되었다.

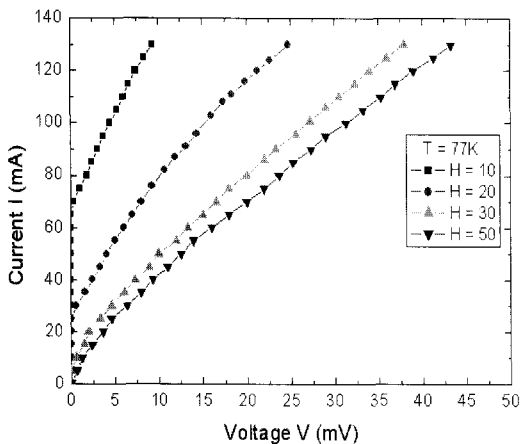


그림 2 초전도 후막 시편의 전류-전압특성.
Fig. 2 Current-voltage characteristics of the YBaCuO.

본 초전도 후막 시편에 정 전류를 흘리면서 인가 자계의 크기에 따른 전기 저항의 변화를 측정하였다. 그림 2와 같이 초전도 소자에 흘리는 전류를 30 mA라고 하면 저항 zero의 상태에서부터 인가자계가 15 G 되는 곳에서 저항이 발생하며 자계의 증가와 더불어 초전도 소자의 저항은 급격하게 증가한다. 저항이 나타나기 시작하는 자계의 크기는 본 초전도 소자의 크기에 의해서 제어할 수 있으며 초전도 소자의 정 전류 값이 클수록 저항이 나타나는 자계의 크기는 작아진다. 이러한 특성은 인가자계의 방향성이 없으며 특성의 재현성이 확보되고 있으며 안정적이다.

그림 2는 초전도 소자에 외부 자계를 인가하여 시료에 나타나는 전류-전압특성을 측정한 결과이며, 외부자계를 변수로 하였다. 본 연구의 초전도소자는 자계를 인가하지 않은 상태에서 60 A/cm²의 전류밀도를 나타낸다.

그림에서 초전도 소자에 인가되는 외부자계의 값이 증가함에 따라 소자에서 발생하는 전류는 감소하며, 전압이 증가하는 구배는 급격하게 나타난다. 따라서 소자에 인가되는 정전류의 크기가 증가하게 되면 저항이 발생하는 외부 자계의 감도는 감소하고 출력전압이 크게 나타남을 알 수 있다.

산화물 초전도체에서는 초전도 영역의 일부가 상전도 상태로 천이하는 메카니즘으로서 외부자계에 의한 와 전류에 의한 메카니즘이 있다. 일반적으로 Nb₃Sn와 같은 제2종 초전도체에 하부 임계자계 이상 상부 임계자계 이하의 외부자계를 인가하면 초전도체의 일부가 상전도 상태로 천이되어 자속이 상전도 부분을 진입하게 된다. 이 메카니즘은 외부자계가 커지게 되면 자속은 초전도체를 관통하게 되고 자속에 의하여 관통된 영역은 상전도 상태로 천이된다. 그러나 약 결합과 같은 결합이 없는 재료에서는 외부자계를 배제하면 상전도 상태는 초전도상태로 회귀된다.

세라믹스 고온 초전도체는 많은 입자로부터 구성되어 있고 초전도 입자와 입자사이에는 매우 얇은 절연층으로 연결되어 있다. 이러한 많은 결정 입체는 초전도 약결합으로 연결 되어 있으며, 외부로부터 인가 되는 자계값에 의하여 초전도체를 흐르는 초전도 전류는 조셉슨 결합에 의하여 결정 입체의 약결합을 저항값이 소멸되는 상태로 통과한다. 그러나 외부 자계값이 증가하여 초전도 임계자계값 이상의 외부 자계가 인가되면 초전도 전류는 약결합을 통과하면서 저항을 발생하게 된다. 그 원인으로는 자계값에 의한 약결합의 초전도 상태의 상변화, 자계에 의한 코히렌스값의 감소, 외부 자계로부터 유기된 차폐전류의 약결합과 및 초전도체를 흐르는 전류에 의하여 유기 된 내부자계 영향 등을 생각할 수 있다. 세라믹 초전도체는 이러한 복잡한 내부구조와 많은 초전도입자가 연속된 등가 회로로 구성된 조셉슨 접합체로 생각할 수 있으며 이러한 집합체 통계적 특성으로서 초전도 전기 자기적 특성이 발현됨을 알 수 있다.

기존의 자기감도가 우수한 자기센서로서는 반도체의 홀효과와 반도체와 자성체의 복합체에서 발생하는 자기 저항효과를 응용한 소자등이 있다. 그러나 이러한 자기센서는 외부로부터 감지되는 자계값이 작은 저 자계의 범위에서는 매우 낮은 감도를 나타낸다. 특히 반도체와 자성체의 복합체의 자기저항 효과를 응용한 소자는 고유한 저항값을 나타내며 외부로부터 인가되는 자계에 대하여 저항 변화가 완만하

게 발생한다.

한편 초전도현상을 응용한 자기소자는 매우 큰 감도를 나타내고 있으나 초전도 자기소자 제작에 있어서 고가의 센서 합성장비와 반도체 공정장비가 필요하다. 그러나 본 초전도 소자는 세라믹의 특유의 성질을 활용하고 있으며 매우 간단한 구조를 하고 있다. 저항이 소멸되는 초전도 전압 상태가 급격하게 나타나며, 인가자계에 따른 저항변화가 매우 확연하게 나타나는 특성을 있다. 따라서 초전도 전자소자로의 응용 뿐 아니라, 초전도 메커니즘의 구현 및 조성제어를 통한 신 기능성 재료 설계에 있어서도 매우 유용한 자료를 제공할 수 있다.

4. 결 론

초전도후막의 결정입계에 기인한 자기저항 효과를 측정하여 이 효과를 응용한 초전도 소자의 가능성을 설명하였다. 초전도 후막 시편의 전기적 특성은 외부 자계 및 초전도 시료에 트랩 된 자속의 상호 작용으로 인하여 약 결합 부분이 파괴되어 발생하는 현상으로 생각 할 수 있다. 초전도체는 열요동 특성으로 해석하게 되면 자속 피닝 현상과 관련된 메커니즘을 규명할 수 있다.

저 자계영역에서 급격한 자기저항의 변화를 이용하게 되면 고감도의 초전도 저항소자로의 응용이 가능하게 된다. 제작된 초전도자기저항소자는 매우 간편하며 조셉슨 소자와 같이 고도의 제작기술을 필요로 하지 않는다. 초전도센서의 형상가공에 의해서 전류밀도와 소자저항을 증가시킴으로서 자기감도의 향상이 가능하며 자기헤드 및 초전도 에너지저장 발전기 송배전용 초전도 장치 제어 소자로서 사용할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] K.Nakajima, N.Hayashi, M.Murakami, Mater. Sci Eng. B53, p.164, 1998
- [2] S.Meslin, C.Harnoise, D.Chateigner, B.Ouladdiaf, J.Eur. Ceram. Soc., Vol.25, p.2943, 2005.
- [3] H.Fang, K.C.Ravi, Physica C. Vol.340, p.261, 2005.
- [4] N.N.Babu, T.Rajascharan, L.Menon, K.S.Maik, J.Am.Ceram,Soc. Vol.82, p.2978, 1999.
- [5] J.G.Noudem, S.Meslin, D.Horvath, C.Harnoise, D.Chateigner, S.Eve, M.Gomina, Physica C. Vol.463-465, p.301, 2007.

저 자 소 개



이 상 헌 (李尙憲)

1962년 8월 6일생, 1989년 일본 TOKAI 대 전자공학과 졸업, 1994년 동대학원 전자공학과 졸업(공학박. 현재 선문대 전자공학과 교수)