

BPSCCO 자기효과

이상현, 이성갑*, 이영희**
선문대학교, 서남대학교*, 광운대학교**

Magnetic Characteristics of BiPbSrCaCuO Oxide Superconductor

Sangl-Heon Lee, Sung-Gap Lee*, and Young-Hie Lee**
Sun Moon Univ, Seo Nam Univ*, Kwang Won Univ.**

Abstract

A magnetic field sensor is fabricated with superconducting ceramics system. The sensor at liquid nitrogen temperature shows the increase in electrical resistance by applying magnetic field. Actually, the voltage drop across the sensor is changed from zero to a value more than $100\mu\text{V}$ by the applied magnetic field. The change in electrical resistance depends on magnetic field. The sensitivity of this sensor is 2.9 ohm/T . The increase in electrical resistance by the magnetic field is ascribed to a modification of the Josephson junctions due to the penetrating magnetic flux into the superconducting material.

Key Words : BiPbSrCaCuO, magnetic field, Superconductor magnetic field sensor, Josephson junction

1. 서론

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

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 초전도 자기 검출소자로서 응용할 수 있는 가능성을 내포하고 있다.

2. 실험

초전도 시료는 99.9% 순도의 Bi_2O_3 , PbO , SrCO_3 와 CuO 분말을 혼합과 하소의 공정을 포함하는

고상 반응법 으로 제조하였다. 저울에서 정량한 분말을 알루미늄 막자 사발에서 균일하게 혼합하였다. 재료의 조성은 고온 초전도상을 생성하기 용이한 것으로 알려진 $\text{Bi} : \text{Pb} : \text{Sr} : \text{Ca} : \text{Cu} = 1.84 : 0.34 : 1.92 : 2.03 : 3.06$ 을 선택하였다. 혼합된 분말은 840°C 에서 24시간 하소하였다.

하소된 분말은 알루미늄 막자사발에서 분쇄한 후 원판형 시료를 만들었다. 이 시료들은 $830\text{--}850^\circ\text{C}$ 공기중에서 100시간 소결하였다. 완성된 시료는 직경 15 mm, 두께 1 mm의 흑색 원판형을 하고 있다. 소자는 띠형으로 가공하여 전압단자 부분의 전류 밀도를 높게 하였다. 그리하여 그 부분에 전류를 흘리거나, 외부로부터 자계를 인가함으로써 초전도 상태로부터 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 $0.08\text{mm}\phi$ 의 구리선을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 제작한 BiPbSrCaCuO계 초전도 시료는 자계인가에 의해서 초전도체에는 전압이 출력되나, 그 메카니즘에 대하여는 다음과 같이 생각

할 수 있다. 산화물 초전도체에는 결정입계가 다수 존재하며, 결정입계에 의해서 Josephson접합이 형성되어 있다고 생각된다. 이를 회로 모델로 대응하여 보면 접합은 직렬, 병렬로 입체적이며 복잡하게 접속된 회로라고 할 수 있다. 또한 결정 입계의 결합정도에 의해 Josephson접합의 자기적 특성이 다르다고 하면 자계의 강도가 커짐에 따라 Josephson접합에서 전압이 발생되므로 전압이 발생하는 접합수가 증가하게 된다.

외부 자계의 인가에 의한 초전도 시료의 전압 V_{MAG} 의 변화와 인가되었던 외부 자계를 소거한 후 발생하는 전압 V_{MEM} 의 관계를 그림1에 나타낸다. $I_c = 425mA$ 의 조건에서 측정하였다.

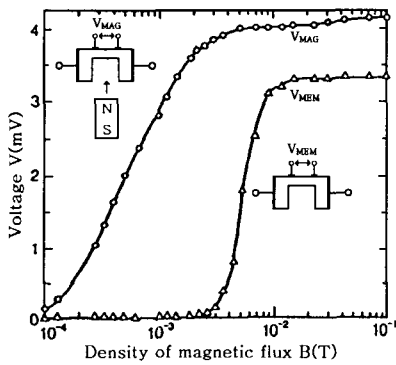


그림 1. 초전도체에서 발생하는 전압의 외부자계 의존성.

이 결과로부터 약 $2 \times 10^{-3} T$ 이하의 자계에서는 자기적 특성이 발생하지 않는다. 즉 $2 \times 10^{-3} T$ 이하의 자계에서는 초전도 시료에 자계를 인가하였을 경우 단자간에 전압이 발생하나 자계를 배제하면 전압은 0이 된다. 이것은 자계를 배제한 후의 특성이 다시 초전도 상태로 천이 되어 메모리 되지 않는 것을 의미한다. 그러나 $2 \times 10^{-3} T$ 이상의 자계를 소거한 후 시료에서 발생하는 전압 V_{MEM} 은 급격히 증가하고 약 $10^{-2} T$ 에서 포화된다. 즉 $2 \times 10^{-3} T$ 이상의 자계에서는 자기효과가 발생함을 알 수 있다. 이 결과로부터 외부 자계로 인하여 시료의 초전도영역의 일부가 상전도 영역으로 천이 되어 시료를 흐르는 전류가 저항을 감지하는 것으로 생각되며 외부 자계가 $2 \times 10^{-3} T$ 이하에서는 자계를 소거하면 자계에 의하여 형성되었던 상전도 영역이 원래의 초전도영역으로 되돌아가 전압 V_{MEM} 은 0이 된다. 한편 $2 \times 10^{-3} T$ 이상에서는 자계에 의하

여 형성되었던 상전도 영역의 일부만이 초전도 영역으로 되돌아가고 다른 부분은 자계를 배제하여도 상전도 상태를 계속적으로 유지하므로 전압 V_{MEM} 이 발생하게 된다. 따라서 같은 자속밀도에서 발생하게되는 V_{MAG} 와 V_{MEM} 는 저항의 감소로 인한 전압의 감소분에 해당하는 것으로 사료된다.

자기감도를 더욱 향상시키는 것은 앞으로의 연구 과제이나, 초전도 임계전류를 인가하는 조건에 있어서 자계에 의하여 발생하는 전압 V_M 은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$V_M = \rho \cdot \frac{L}{S} \cdot I_c = \rho \cdot L \cdot J_c$$

ρ 는 자계를 인가하였을 때 나타나는 시료의 비저항에 대응하는 물리량이며 L 은 시료의 길이, S 는 시료의 단면적, I_c 는 임계전류, J_c 는 임계전류밀도가 된다. 식에서 자기감도를 향상시키기 위해서는 우선 L 을 길게할 필요가 있다. 이점은 소자를 박막으로 제작하여 집적회로 기술에 적용하면 실효척도의 길이를 길게할 수 있으므로 시료의 길이는 극복할 수 있다. 다음으로 ρ 와 J_c 를 크게할 필요가 있는데, ρ 와 J_c 는 산화물 초전도체의 결정입자 크기, 결정입계의 결합강도, 결정입자의 초전도 특성에 크게 의존하는 것으로 생각된다.

그림 2는 초전도 시료에서 발생하는 전압의 자계방향 의존성을 조사한 결과이다. 초전도 시료에서 발생하는 전압은 인가되는 자계의 방향에 의존하지 않는 점을 알 수 있다. 전류의 흐름에 대하여, 외부자계를 수직 또는 수평한 방향으로 인가하여도 전압(V_{MAG})은 발생하며, 외부자계를 제거한 후, 자속이 메모리 된 상태에서도 전압(V_{MEM})은 발생하였다.

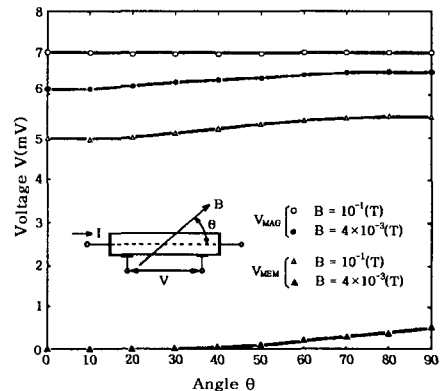


그림 2. 전압의 자계방향 의존성.

제2종 초전도체에서는 초전도 영역의 일부가 상전도 상태로 천이 하는 메카니즘으로써 외부 자계에 의하여 자속의 소용돌이가 발생하는 기구가 있다. 이 기구는 외부 자계가 커지게 되면 자속은 초전도체를 관통하게 되고 자속에 의하여 관통된 영역은 상전도 상태로 천이 된다. 그러나 결함이 없는 재료에서는 외부 자계를 배제하면 상전도 상태는 초전도상태로 회귀된다. 그러나 자기적 효과가 발생하기 위해서는 외부 자계가 제거된 후에도 자속이 초전도 재료에 트랩 되어 있는 현상을 확인하여야 한다. 그림3은 외부 자계 인가에 따른 자속 밀도 B에 대한 V_M 의 변화를 나타낸 결과이다.

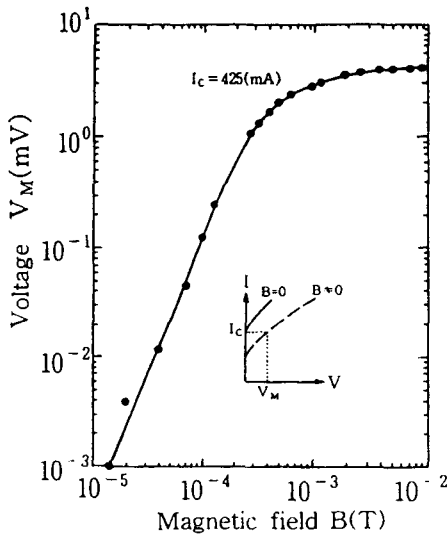


그림3. 초전도체에서 발생하는 전압의 외부자계의존성

V_M 은 초전도체에 임계전류를 흘리면서 자장을 인가하였을 때 비료에서 발생하는 전압을 의미한다. 자속 밀도가 2×10^{-3} T 까지는 전압강하의 증가분 V_M 은 자계를 제거함과 동시에 자계를 인가하기 이전의 상태로 되돌아온다. 그러나 2×10^{-3} T 이상의 자속밀도 영역에서는 외부 자계를 제거하여도 전압강하는 0이 되지 않는다. 그림3의 곡선으로부터, 자속밀도 B가 3×10^{-4} T 보다 크게 되면 V_M 은 포화되는 경향을 알 수 있다. V_M 의 포화치는 4mV가 된다. 선형영역에서 10^{-4} T의 자계를 인가하면, V_M 은 약 125 μ V가 된다. 한편 1 μ V의 출력으로는 약 1.5×10^{-5} T의 자기가 검출된다. 이 값은 지구 자기와 비교해서 거의 같은 정도의 세기를 나타낸

다. I_c 를 425mA로 일정하게 했을 때 V_M 이 125 μ V이므로, 전기저항은 자계인가에 의하여 0으로부터 2.9×10^{-4} Ω 으로 증가된 결과가 되며, 자속밀도의 변화에 의한 전기저항의 변화는 2.9 Ω /T가 된다.

4. 결론

0.1 T의 비교적 강한 자계에서 자기 메모리 된 BiPbSrCaCuO계 초전도체의 전기적 특성을 조사하였다. 전압의 자기특성을 검토한 결과 자기검출 기능을 갖는 간단한 소자로 사용할 수 있으며, 10^{-5} T이하의 자계 범위에서는 용이하게 자기를 측정할 수 있는 결과를 얻었다. 자기 메모리의 원인으로 사라지는 자속 트랩을 고정하여두고 외부 자계의 극성에 변화를 주면 임계 전류치 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 설명하였다.

감사의 글

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

참고 문헌

- [1] J. Yang, D. Shi, X. Wang, A. Liu, and G. Yuan, "Fabrication of YBCO Coated Conductor using magnetron sputtering", Physica C, 341-348, pp.2499-2500, 2000.
- [2] N.Savvides, A.Thorley, S.Gnanarajan, J. Herrmann, A.Katsaros, and A.Molodyk, "YBCO Coated Tapes Fabricated by IBAD and Magnetron Sputtering Techniques", Physica C, 341-348, pp.2491-2492, 2000.