

BiPbSrCaCuO 초전도체의 Fishing 효과

이상현,
선문대학교 전자정보통신공학부

Fishing Effect of BiPbSrCaCuO Superconductor

Sang-Heon Lee

Department of Electronics Information and Communication Engineering, Sun Moon University

Abstract

Suspension effect has been studied by using superconductor of BiPbSrCaCuO ceramics containing Ag₂O. It has been cleared that Ag₂O acts as pinning center which plays an important role to the suspension effect. Magnetic repulsive force which affects a superconductor located in magnetic flux from toroidal magnet has been investigated. It has been concluded that the suspension effect arises from the interaction between the pinning effect and the diamagnetic effect.

Key Words : BiPbSrCaCuO, suspension, pinning center, toroidal magnet, diamagnetic effect

1. 서 론

산화물 고온 초전도체가 발견된 이래 세계도처에서 산화물 고온 초전도체에 관한 수많은 연구가 수행되어 왔다. YBaCuO계 및 BiPbSrCaCuO계 초전도체는 액체질소 온도이상의 고온에서 초전도상태를 관측할 수 있으며 초전도 상태가 비교적 안정되어 실용화에 큰 주목을 받고 있다. 산화물 초전도체가 발견된 이래 영구자석의 하부에 초전도체가 매달리는 흥미 있는 자기적 현상이 발견되었는데 이 현상을 Fishing 효과 라고 하며, 본 연구에서는 이 현상을 Fishing효과라고 명명한다. 자기부양효과는 P.N.Peter에 의하여 발견되었으며[1], 이 현상은 덩어리형 산화물 초전도체를 응용하기 위한 연구로 가장 쉽게 응용할 수 있는 분야인 자기 베어링과 플라이휠 에너지 저장장치와 같은 초전도체의 자기력을 응용한 분야에 있어서 중요한 현상으로 인식되고 있다. 따라서 Fishing효과의 메커니즘 및 자기적 특성, 자석과 초전도체간의 부상 특성에 관한 많은 물성 연구가 수행되고 있다 [2-3]. 본 연구에서는 toroidal형 영구자석에서 발생하는 BiPbSrCaCuO계 초전도체에서 pinning

center의 필요성을 명확하게 조사하여 Fishing 효과의 메커니즘에 대하여 정성적으로 고찰하고자 한다.

2. 실험 방법

시료는 99.9% 순도의 Bi₂O₃, PbO, SrCO₃, CaCO₃와 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 Bi : Pb : Sr : Ca : Cu = 1.84 : 0.34 : 1.92 : 2.03 : 3.06을 선택하였다. 혼합된 분말은 840°C에서 24시간 하소하였다. 하소된 분말은 알루미늄 막자사발에서 분쇄한 후 원판형 시료를 만들었다. 본 연구에서 사용하고있는 자석은 ring형태의 toroidal자석이며 자석의 재질은 Nd-Fe-B 이고, 자석의 세기는 0.1T 이다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 제작한 BiPbSrCaCuO계 초전도시료에서는 Fishing 효과가 관측되었다. 그러나 ring

형태를 취하고 있지 않은 원추형 자석에서는 Fishing 효과가 관측되지 않았다. 본 연구에서는 pinning center로서 작용하는 첨가물로 산화은 (Ag_2O)를 선택하여 산화은 첨가량과 시료의 소결 온도를 변수로 Fishing 효과가 발생하는 최적의 초전도 시료 제작조건을 조사하였다. Fishing 효과가 발생하는 초전도시료에 있어서 산화은의 최적의 첨가량을 구하기 위하여 산화은의 첨가량을 변수로 하였다. 시료 전체 중량의 0~5 % 까지 산화은을 첨가하면서 Fishing 효과가 발생하기 시작하는 초전도 시료의 중량을 측정하였다. 이 결과를 그림 2에 나타낸다. 그림 2의 결과로부터 초전도 시료에 2 %의 산화은을 첨가하였을 때 Fishing 효과가 가장 현저하게 나타났다.

Fishing 효과의 발생에 있어서 pinning center의 역할을 검토하기 위하여 산화은이 2 % 첨가된 시료와 산화은이 첨가되지 않은 2종류의 시료를 준비하였다. 이 결과를 표 1에 제시한다.

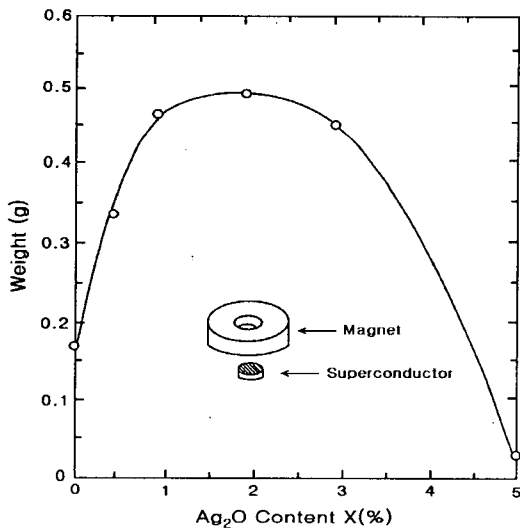


그림 1. 초전도 시료의 중량변화.

표 1. 산화은을 첨가한 시료와 첨가하지 않은 시료의 조건별 자기 부양 효과.

Sample \ Condition	T=77 K	77 K < T < T _c
	Ag-doped(2 %)	○
Undoped	×	○

표 1에서 ○표는 자기 부양 효과가 발생하는 경우이며, ×표는 자기 부양 효과가 발생하지 않는 경우를 나타낸다. 표 1에 제시되어 있듯이 산화은을 첨가하지 않은 Bi계 초전도체는 액체질소(77 K)에서 자기 부양 효과가 발생하지 않으나, 시료를 액체질소에서 꺼낸 후 시료의 온도가 상승된 후(임계온도 이하)에는 현저하게 발생하였다. 반면에, 산화은을 첨가한 시료에서는 어느 실험조건에서나 자기 부양 효과가 관측되었다. 이 결과는 시료에 첨가된 산화은이 외부로부터의 자속을 포획하는 pinning center와 같은 역할을 이루어 Fishing 효과를 발생하고 있는 것으로 여겨진다. 따라서 산화은이 첨가된 초전도 시료에서 Fishing 현상이 현저하게 나타난 것으로 생각된다. 이 결과로부터 자기 부양 효과의 발생에는 pinning center가 중요한 역할을 이루고 있는 것으로 사료된다.

본 연구에서 제작한 BiPbSrCaCuO계 초전도시료에서는 Fishing 효과가 관측되었다. 본 연구에서는 Fishing 효과가 가장 현저하게 나타나는 2%의 산화은을 첨가한 Bi계 초전도체를 시료로 하였다. 다음으로 Fishing 효과의 메커니즘을 규명하기 위하여 Fishing 효과의 발생과 밀접하게 관계하고 있는 것으로 사료되는 toroidal 자석과 초전도체 사이에 작용하는 자기 반발력과 흡인력의 관계를 조사하였다. 이 실험을 위하여 그림1의 측정장치를 고안하였다. 이 장치는 초전도체에 외부로부터 자계를 인가하면서 시료에 작용하는 자기반발력과 자기 부양 효과에 의한 자기흡인력을 동시에 측정할 수 있도록 제작되었다. 본 실험 장치는 시료에 외부로부터 자계가 인가됨에 따라 초전도시료가 반자성 효과로 인하여 자기적으로 반발될 경우 초전도 시료의 자기 반발력이 seesaw를 통하여 전달되어 전자 저울을 밑으로 누르게 된다. 한편 Fishing 효과에 의하여 초전도 시료와 자석 사이에서 자기

흡인력이 작용하게되면 자기 흡인력은 seesaw를 통하여 전달되어 전자저울을 위로 끌어올리는 힘으로 나타난다. 이 장치를 이용하여 초전도 시료와 toroidal 자석에서 발생하는 자기 반발력과 자기 흡인력의 변화를 측정하였다.

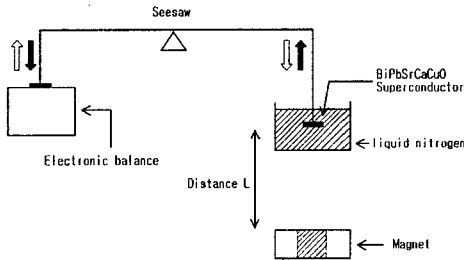


그림 1. 자기력 측정장치

시료로서는 산화은을 2% 첨가한 BiPbSrCaCuO계 초전도체를 이용하였으며, 액체 질소로 시료를 냉각하면서 자석을 접근하였다. 이 결과 자석의 ring부분을 초전도 시료에 접근한 경우에는 반자성 효과에 의한 자기 반발력이 관측되었으며, 자석과 초전도체의 거리가 가까워질수록 자기 반발력은 증가하였다. 한편 자석의 중심부에 초전도 시료를 접근한 경우, 자석과 초전도 시료의 간격이 약 7mm 이상에서는 자기 반발력이 관측되었다. 그러나 거리가 약 3mm에서 7mm의 범위에서는 자기 반발력이 측정되지 않았으며 Fishing 효과에 의한 자기 흡인력만이 관측되었다. 또한 자석과 초전도 시료와의 거리가 약 3mm 이하가 되면 자기 반발력만이 발생하게된다.

본 연구에서 관측되는 Fishing 효과는 toroidal 자석의 ring부분에서는 발생하지 않으며, 자석의 중심부분에서만 관측된다. 이 결과는 toroidal 자석의 자력선 분포가 반 자성효과 및 Fishing효과에 밀접하게 관계하고 있음을 시사하고 있다.

4. 결론

BiPbSrCaCuO계 초전도 소결체에 산화은을 첨가하여 자기 부양 효과를 나타내는 시료의 제작 조건을 조사하였다. 2%의 산화은이 첨가된 시편에서 자기 부양 효과가 가장 효과적으로 관측되었다. toroidal자석에서 관측되는 자기 부양 효과는 자석

의 중심부에서만 발생하며, 자석의 ring부분에서는 관측되지 않았다. 이 결과는 본 연구의 자기 부양 효과의 발생에는 자석의 형상 및 자석의 분포 형태와 밀접한 관련성이 있음을 의미한다. 자기 부양 효과에 관한 측정 결과로부터 자석 밀도가 극소가 되는 장소에 초전도체가 놓이게 되면 초전도체는 반자성효과로 인하여 초전도체의 상하로부터 작용하는 자기력을 받게 된다. 또한 산화은을 첨가하지 않은 BiPbSrCaCuO계 초전도체와 2%의 산화은이 첨가된 시편의 Fishing 효과를 조사한 결과 pinning center의 역할이 중요함을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] P. N. Peter, R. C. Sick, E. W. Urbon, C. Y. Huang, M. K. Wu, "Observation of enhanced properties in samples of silver oxide doped $YBa_2Cu_3O_x$ ", Appl. Phys. Lett., 52, 24, 2066, 1988.
- [2] P. J. Oueph, "Effect of an External Force on Levitation of a Magnet Over a Superconductor", Appl. Phys. A, Vol. 50, pp. 361-364, 1990.
- [3] 이상현 "YBaCuO계 초전도체의 자기적 성질", 전기전자재료학회 논문지, 12권, 6호, pp. 542-549, 1999.