

## Critical Dynamics of Superconducting Hg-1223 Film

### 고온초전도 Hg-1223 박막에서의 임계동역학 현상

Soon Hee Chung, Jin-Tae Kim, Won Nam Kang\*, Sung-Ik Lee\*, Yong Ki Park, and Jong-Chul Park

점순희, 김진태, 강원남\*, 이성익\*, 박용기, 박종철

P.O. Box 102, Yusong, Taejon, Korea 305-600, Korea Research Institute of Standards and Science

\*POSTECH, National Creative Research Initiative Center for Superconductivity

대전광역시 유성우체국 사서함 102, 한국표준과학연구원  
\*포항공과대학교, 창의적 연구진흥사업 초전도 연구단

Hg-1223 박막에서의 비저항( $\rho$ )을 임계온도 근처에서 온도와 자기장의 세기의 변화에 따라 측정하였다. 전도도( $\sigma$ )의 임계요동 부분은 3차원-XY 모델과 일치하는 임계현상을 보였다. 동적임계지수  $z$ 값은  $1.5 \pm 0.1$ 로써 YBCO에서와 같았다. 정적임계지수  $\nu$ 값은  $1.19 \pm 0.1$ 으로 YBCO에서보다 더 컸으며, 이것은 Hg-1223의  $c$ 축을 따라 층간의 약한 결합 정도가  $z$ 값에는 영향을 미치지 않고,  $\nu$ 값을 크게 증가시키는 것을 보여준다.

#### 1. 서론

고온초전도체는 짧은 기간섭 거리 $\xi$ 와 높은 전이온도로 인하여 임계온도 부근에서 큰 요동효과와 스케일링 현상을 보여준다. 요동효과는 초전도 상전이에서 중요한 역할을 하는데 가우시안 수정이 추가된 평균장 이론으로는 이에 대한 설명이 불가능하다. 인가되는 자기장이 영일때와 영이 아닐때의 고온초전도체의 초전도 상전이의 현상을 이해하기 위해, 고온초전도체에서의 order parameter와 벡터 포텐셜의 요동은 자화, 전기전도도, 비열 측정 등에서 넓게 연구되어왔다[1]. YBCO에서의 임계요동효과는 여러 실험에서 발견되었다[2]. 그 요동전도도는 3D-XY 이론인  $\sigma \sim H^{-(2+z-d)/2} F(t/H^{1/2\nu})$ 로 설명이 된다. 여기서 동적임계지수  $z=1.5$ , 정적임계지수  $\nu=0.669$ , 차원  $d=3$ ,  $F$ 는 스케일링 함수,  $t \equiv 1-T/T_{\infty}$ , 그리고  $T_{\infty}$ 는 저항이 영이 되는 온도이다[3,4]. YBCO 단결정에서의 임계요동이 속하는 보편성 부류(universality class)는 초유체  $^4\text{He}$ 의 것과 같다

[2]. 여기서  $z$ 는 동적보편성 부류를 결정 짓는다. 그러나 YBCO보다  $c$ 축을 따라 더 비등방적인  $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$  (Hg-1223) 고온초전도체에서의 임계요동이 3D-XY 모델로 설명될 수 있는지에 관해 연구되지 않았고, 임계지수 값들도 알려지지 않았다.

#### 2. 실험 및 결과

Hg-1223 박막은 안정된 전구물질(precursor)인, Re이 첨가된  $\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}(\text{Re}-223)$  powder를  $\text{SrTiO}_3$  기판위에 PLD 방법으로 증착한 후 post-annealing 함으로써 제작되었다[5]. 그림 1은 Hg-1223 박막에  $c$ 축과 평행하게 자기장( $0 \leq H \leq 9$ )을 인가하였을 때의 비저항  $\rho_{xx}(T,H)$  값이다. 자기장이 영일 때 저항이 영이 되는 온도는 131 K였다. 인가되는 자기장의 값에 따라 저항이 영이 되는 온도는 YBCO에서보다 훨씬 더 빨리 감소된다. 이는 vortex pancake들이 YBCO에서보다 Hg-1223에서 더 자유롭게 움직이며, 층간

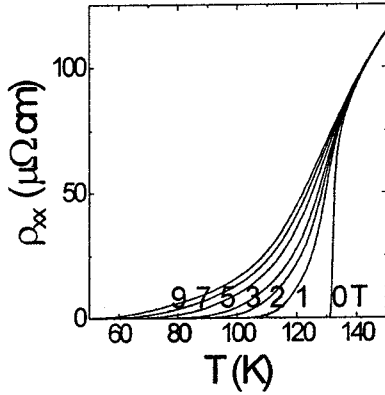


그림 1. 자기장이 0, 1, 2, 3, 5, 7, 9 T에서 Hg-1223 박막의  $\rho_{xx}(T,H)$ .

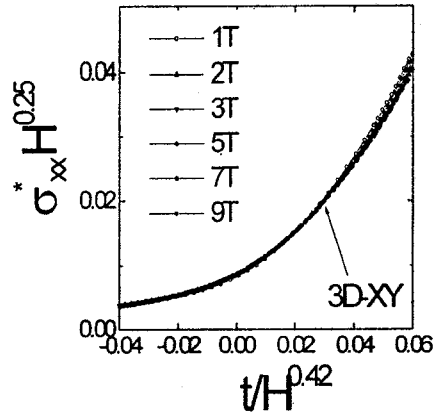


그림 2. Hg-1223 박막의  $t/H^{0.42}$ 에 대한  $\sigma_{xx} H^{0.25}$  ( $\sigma_{xx}$  와 H의 단위는  $\mu\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$  와 Tesla 이다).

vortex사이의 결합강도가 더 약해진 것에 기인한다. 자기속박에 의한 요동전도도의 증가를 보기 위해서 요동전도도  $\sigma_{xx}^*(T,H)$ 는 비저항  $\rho_{xx}(T,H)$ 로부터 구한 배경부분 배제(background subtraction)에 의해 구하였다. 전도도  $\sigma_{xx}$ 는 요동전도도  $\sigma_{xx}^*$ 와 배경전도도(background conductivity)  $\sigma_{B.G.}$ 의 합으로 구할 수 있으며,  $\sigma_{B.G.}$ 는 배경비저항의 역수이다. 요동전도도에 대한 배경배제는 250 K에서 300 K사이에서의 비저항을 선형적인 방법으로 맞춤(fitting) 하였다. 요동전도도  $\sigma_{xx}^*$ 는 실제 측정된 전도도  $\sigma_{xx}$ 로부터 배경전도도  $\sigma_{B.G.}$ 의 차로 구하였다. 그림 2는 요동전도도의 값들이  $t/H^{1/2\nu}$ 의 함수로 중첩되어 3D-XY 스케일링이 이루어짐을 보여준다. 화살표 윗부분의 온도 영역에서는 3D-XY 스케일링이 적용되지 않는다. 3D-XY 스케일링으로부터 Hg-1223 박막에서의 동적임계지수  $z=1.5\pm 0.1$ 이며, 정적임계지수  $\nu=1.19\pm 0.1$ 이다. Hg-1223는 YBCO에 비해 임계온도가 40 K 정도 높고 c축 방향으로 vortex간 결합력이 약함에도 불구하고 비저항 값으로부터 구한 요동전도도는 3D-XY 스케일링을 보여준다. 이것은 c축으로 결합력이 약한 경우도 3D-XY 모델로 설명할 수 있고, 그 결합력은 가간섭거리  $\xi(T)$ 의 정적임계지수  $\nu$ 에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이 결과는 Hg-1223에서 가간섭거리의 비  $\xi(T)/\xi(0)$ 가 임

표 1. 3D-XY 모델을 따르는 고온초전도체

Sample	CuO <sub>2</sub> 블록 간의 거리 (Å)	Type	Type of Data	$\nu$	z
YBCO	11.7	단결정	비저항	0.669	1.5
"	"	"	자화	0.669	-
"	"	박막	비저항	0.669	1.86
Bi-2212	15.45	단결정	비저항	0.909	1.6
"	"	"	자화	0.769	-
Tl-2212	14.7	박막	비저항	1.338	1.8
Hg-1223	15.8	박막	비저항	1.19	1.5

계온도 근처에서 YBCO에 비해 더 빨리 증가되어 전자쌍이 더 빨리 깨지며, vortex는 초유체인  $^4\text{He}$  처럼 움직이는 것을 의미한다.

표 1에서는 자기장과 온도의 함수로서 자화와 비저항값을 측정한 Data에 3D-XY 모델을 적용한 결과이다. 초전도체의 종류에 따라 동적임계지수  $z$ 는 크게 변하지 않았고, 다만 1.5에서  $1.8 \pm 0.1$  범위내의 값을 가진다. YBCO, Bi-2212, Hg-1223, Tl-2212에서의 정적임계지수  $\nu$ 값이 각각 0.669, 0.909, 1.19, 1.338이며, YBCO보다 층간 결합력이 더 약한 Tl-2212의 경우 가장 큰  $\nu$ 값을 가진다.  $\nu$ 는 초전도체의  $\text{CuO}_2$  블록간의 거리가 증가함에 따라 증가한다. 이 결과는 고온초전도체에서의  $c$ 축을 따라 층간 약한 결합력이  $z$ 에는 영향을 미치지 않고,  $\nu$ 값은 크게 증가시킴을 보여준다.

### 3. 결론

YBCO에 비해서  $c$ 축으로 비등방성이 더 큰 Hg-1223에서도 임계요동은 3D-XY 모델로 설명이 되었다. YBCO에 비해 Hg-1223에서는  $\nu$ 값이 크게 증가되었고,  $z$  값에는 변화를 주지 않았다. 이 결과는 Hg-1223에서의 약한 층간 결합 강도가  $\nu$ 값을 증가시키고, 보편성 부류 (universality class)는 초유체  $^4\text{He}$ 와 같음을 보여준다. 이런 현상은 Bi-2212와 Tl-2212에서도 보였다[6,7].  $c$ 축을 따라 층간 결합이 약함에도 불구하고, 요동동역학은 결합강도의 정도에 따라 다른 정적임계지수를 가지면서 3D-XY 모델을 따른다. 인가한 자기장

이 증가함에 따라 저항이 영이 되는 온도가 빠르게 감소하는 이유는  $c$ 축으로 더 큰 비등방성에 의해 vortex들이 더 자유롭게 움직이기 때문이다. 이 vortex의 자유로운 움직임은 vortex core의 영역이 증가하는 효과를 주게되며 임계온도 근처에서 정적임계지수  $\nu$ 를 증가시키게 된다.

### 참고문헌

- [1] M. Friesen and P. Muzikar, *Physica C* **302**, 67 (1998).
- [2] Jin-Tae Kim, Nigel Goldenfeld, J. Giapintzakis, and D. M. Ginsberg, *Phys. Rev. B* **56**, 118 (1997).
- [3] M. B. Salamon, J. Shi, N. Overend, and M. A. Howson, *Phys. Rev. B* **47**, 5520 (1993).
- [4] M. A. Howson, N. Overend, I. D. Lawrie, and M. B. Salamon, *Phys. Rev. B* **51**, 11984 ( 1 9 9 5 )
- [5] W. N. Kang, R. L. Meng, and C. W. Chu, *Appl. Phys. Lett.* **73**, 381 (1998).
- [6] Jin-Tae Kim, S. H. Chung, D. H. Ha, K. -H. Yoo, Y. K. Park, J. -C. Park, M. -S. Kim, and Sung-Ik Lee, to be published in *IEEE* (Sept, 1999).
- [7] Jin-Tae Kim, Y. K. Park, J. -C. Park, W. N. Kang, C. W. Chu, H. R. Lim, D. H. Kim, J. U. Lee, and K. E. Gray, to be published in *IEEE* (June, 1999).