

高温超导体 Y-Ba-Cu-O 相变的 正电子湮没研究

张端明 李国元 王建安

(华中理工大学物理系, 武汉)

何元金

(清华大学物理系, 北京)

摘 要

在相变温度附近同时测量了电阻、正电子寿命谱和多普勒增宽能谱。发现在相变区域正电子的平均寿命 τ_m 、多普勒增宽线形参数 H 、 S 无规振荡, 估计与晶格的不稳定性有关, 似乎支持以双极化子理论为主的超导机制。

一、引 言

Y-Ba-Cu-O 等体系高温超导体的发现, 引起了人们的极大关注。短短一年中, 人们对 Y-Ba-Cu-O 的各种参数: 临界温度、临界电流密度、临界磁场强度、约瑟夫逊效应、比热、能隙、反铁磁性、微观结构等等进行测量, 得到不少 Y-Ba-Cu-O 的微观信息。本工作利用正电子湮没谱仪对电子波函数极其灵敏的特性, 同时测量了电阻、正电子寿命谱、多普勒增宽能谱, 根据电子态密度及其动量的温度关系, 对高温超导材料相变的机制进行初步探讨。

二、实 验

测量所用的寿命谱仪为标准的快-快符合系统, 其分辨率用 ^{60}Co 放射源测量, 单高斯函数拟合为 277ps; 多普勒增宽谱仪采用了在液氮冷却下的高纯锗探头; 电阻的测量采用通常的四探针法。用镍膜为衬托的 ^{22}Na 作为正电子放射源, 所用样品是将 Y、Ba、Cu 的氧化物按标准 1:2:3 配比混合后经研磨烧制而成, 其表面抛光后用于测量。

实验在空气中进行, 两块相同的样品与正电子源一起组成夹心饼置于样品架中。电阻 R 、正电子寿命谱和多普勒增宽能谱的测量同时进行, 控温仪采用 JWT-702, 控温精度为 0.1K。在相变温区附近每 0.3K 测一个谱, 对同一样品测量了三次, 其结果大致相同。

三、数据处理及其结果

正电子湮没寿命谱的数据处理采用了国际上通用的 Positron Fit-Extended 拟合程

序。为了保证结果的可靠性,选择了只依赖于谱本身的平均寿命 τ_m 作为结果,虽然失去了一些微观信息,但增大了可靠性。多普勒增宽能谱的数据处理采用了清华大学编的程序,选择了多普勒增宽线形参数 H 和 S 作为结果。其实验结果如图 1 所示。图中表示了电阻 R 、平均寿命 τ_m 、多普勒增宽线形参数 H 、 S 和温度 T 的函数关系。

在低温区,电阻 R 直到 87K 严格保持为零,平均寿命 τ_m 随温度的增加而缓慢增加,材料处于超导态;当温度上升到 90K 时, R 突然大幅度上升,直到 93K 突然停止,又重新趋于缓慢上升。平均寿命 τ_m 在该区域呈现无规振荡起伏状态,当温度大于 94K,振荡停止,又趋于稳定缓慢上升状态。

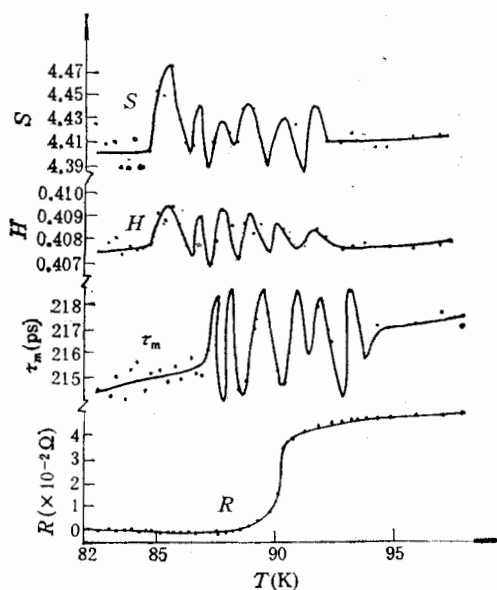


图 1 Y-Ba-Cu-O 材料的平均寿命 τ_m 、多普勒增宽线形参数 H 、 S 和电阻 R 与温度 T 的函数关系

我们认为,相变区域 τ_m 、 H 和 S 振荡的原因可能是材料中反铁磁相和超导相共存、竞争的结果。近年来,人们对 Y-Ba-Cu-O 体系材料作了大量的实验工作。结果表明:其超导电性与结构中的 Cu-O 面息息相关,反铁磁序在理论中应成为一个重要因素加以考虑;该材料存在着能隙;磁通量子化明显,超导电性与电子配对密切相关。鉴于这些物理事实以及我们的实验结果,我们认为, Y-Ba-Cu-O 体系材料的超导机制可能是一种混合机制,也就是双极化子 (BP) 机制^[3,4] 加上其它机制(如 John-Teller 效应)的混合。其中三重态双极化子 (T-BP) 在系统中起着很重要的作用。在一定条件下,该系统允许超导态 (SC) 与反铁磁态 (AF) 共存。它们在各自的临界温度 T_c 和 T_a 下转变成正常态,在一般情况下,可以认为 T_c 和 T_a 相差无几。其中双极化子密度 n 起着重要的作用, n 较大时有利于反铁磁态的形成。

根据以上物理机制,对我们的实验结果可以作出如下的定性解释:

在低温区,系统的温度小于 T_c , 处于超导相或混合相 (MC), 此时双极化子密度 n 小于其临界密度 n_c , 电子密度 ρ_e 较大, 正电子较容易同材料中的电子湮没,因而寿命小,平均寿命 τ_m 处于低坪台区;随着温度升高,双极化子密度缓慢增加,电子密度 ρ_e 缓慢下降,所以平均寿命缓慢上升。

在相变温区,温度近似为临界温度 T_c 或 T_a , 再加上晶格的不稳定性,造成了双极化

多普勒增宽线形参数 H 、 S 的变化,大体上与平均寿命 τ_m 一致,只是在温区 85—87K 之间仍有起伏现象。

必须指出, J. Jenn 等^[1,2]类似的工作,也得到大体相同的结果,但是我们的工作,在相变区域更加细致,从而清晰地发现 τ_m 、 H 和 S 无规振荡现象。

四、结果讨论

我们认为,相变区域 τ_m 、 H 和 S 振荡的原因可能是材料中反铁磁相和超导相共存、竞争的结果。

近年来,人们对 Y-Ba-Cu-O 体系材料作了大量的实验工作。结果表明:其超导电性与结构中的 Cu-O 面息息相关,反铁磁序在理论中应成为一个重要因素加以考虑;该材料存在着能隙;磁通量子化明

子密度的不稳定性. 当 n 较大时, 系统主要为反铁磁态, 电子密度 ρ_e 较小, 平均寿命 τ_m 较大; 当 n 较小时, 系统主要为超导态, 电子密度 ρ_e 较大, 平均寿命 τ_m 较小. 双极化子密度 n 的变化引起了系统的反铁磁态和超导态既共存又竞争, 这样电子密度 ρ_e 伴随无规振荡, 因而平均寿命 τ_m 也呈现无规振荡.

在高温区, 双极化子密度大于其临界密度, 温度 T 也高于临界温度 T_c 和 T_a , 系统处于正常的非超导态, 平均寿命 τ_m 处于高坪台区. 随着温度的升高, 双极化子密度缓慢增加, 电子密度缓慢下降, 平均寿命 τ_m 又处于稳定的缓慢上升趋势.

我们准备继续工作, 进一步证实相变区发现的振荡现象.

本工作得到清华大学物理系隋伟中、杜宗浩、陈慧京等同志的热情支持和指导, 谨致以衷心感谢.

参 考 文 献

- [1] Y. C. Jenn et al., *Phys. Rev. B*, Vol. 36, No. 7, (1987), p. 3994.
- [2] S. J. Wang et al., *Phys. Rev. B*, Vol. 37, No. 1, (1988), p. 603.
- [3] B. Chakraverty, *J. Physique*, Vol. 42, No. 9, (1981), p. 35.
- [4] A. Alexandrov and J. Ranniger, *Phys. Rev. B*, Vol. 23, No. 4, (1981), p. 1796.

POSITRON ANNIHILATION STUDY OF PHASE TRANSITION IN HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTOR Y-Ba-Cu-O

ZHANG DUANMING LI GUOMUAN WANG JENAN
(Department of Physics, Huazhong Univ. of Sci. & Tech., Wuhan)

HE YUANJIN
(Department of Modern Applied Physics, Tsinghua Univ., Beijing)

ABSTRACT

The resistance, positron lifetime spectra and the Doppler broadening energy spectra of high T_c superconductor Y-Ba-Cu-O are measured simultaneously near the phase transition temperature. It is shown that the critical temperature of the material is about 90°K, and the positron annihilation mean lifetime m as well as the Doppler broadening parameters H and S are in a state of irregular vibration within the phase transition region. This phenomenon may probably relate to the instability of the crystal structure, and seems supporting the superconducting mechanism in which the bipolaron theory a major role.