

$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ 单晶 a - b 平面热电势率的各向异性

王瑞平¹⁾ 黄大金²⁾ 石勤伟 许鹏 陈琦
顾根大 蔡维理 周贵恩³⁾ 阮耀钟

中国科学技术大学材料科学与工程系, 合肥 230026

1991年7月11日收到

测量了 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ 单晶 a 方向的热电势率 S_a 和 b 方向的热电势率 S_b 与温度 T 的关系, 发现在 a - b 平面内热电势率存在各向异性. 认为 S_a 与 S_b 的差异来源于 b 方向的调制结构, 并用扩散热电势率 S_d , 声子曳引热电势率 S_p 和相关跳跃热电势率 S_j 三种贡献, 对实验结果进行了解释.

PACC: 7430; 7215J

一、引言

输运性质的研究是探索高温超导机理的一个重要手段. 单晶样品的输运性质测量尤其引起了人们的关注. 对 La 系、Y 系、Bi 系等样品的电阻、热电势的测量表明在正常态下, 高温超导体 a - b 平面内与 c 方向之间的输运性质是各向异性的^[1-3]. 对 Y 系材料, 室温下 $\rho_c/\rho_{ab} \approx 30$ ^[4], 对 Bi 系材料此值达 10^3 - 10^5 ^[2]. 热电势的测量结果也表明 a - b 平面与 c 方向的性质大不相同^[4-7]. Chen 等人^[5]和 Crommie 等人^[6]都报道 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ 单晶 a - b 平面的热电势率 S_{ab} 随温度的上升而下降, 在 T_c 附近存在一个峰, 而 c 方向的热电势率 S_c 却随温度上升而上升, T_c 附近没有峰. Léon 和 Escudero^[7]报道的 S_{ab} 同文献[5]和[6]相似, S_c 从 T_c 至室温均不随温度变化. 最近有人报道高温超导体 a - b 平面内电阻率存在各向异性^[2,8], Y 系和 Bi 系的电阻率在 a 方向和 b 方向存在差别. 本文报道 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ 单晶 a - b 平面内热电势率 S_a 和 S_b 的测量结果, 发现热电势率在 a - b 平面内也存在各向异性.

二、实验结果

$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ 单晶采用定向凝固法生长^[9], a 为晶体生长方向, b 为宽度方向, c 为厚度方向. Laue 图和其它 X 射线衍射图表明样品为 2212 相的单晶体^[9]. 由交流磁化率

1) 2) 中国科学技术大学物理系, 合肥 230026.

3) 中国科学技术大学结构分析开放研究实验室, 合肥 230026.

测量结果表明此单晶 $T_c \approx 81.5\text{K}$. 对 a - b 平面内的电阻率测量也观察到 a 方向和 b 方向的电阻率存在差别.

热电势率采用微分法测量^[10]. 样品尺寸为 $3 \times 2 \times 0.2\text{mm}^3$, 测量结果如图 1 所示. 图 1 中实心圆点为温度梯度沿 a 方向时测得的热电势率 S_a , 空心圆点为 S_b 的实验点. 在 80 — 270K 温区内 S_a 和 S_b 均为正值, 并且随温度下降几乎线性上升, 到 105K 左右达最大值, 随后随着温度的下降而急剧下降. 两个方向的 S - T 曲线形状基本相似, 但 S_b 斜率较小, 其峰值也比 S_a 低. 实验结果表明 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ 单晶 a - b 平面内热电势率是各向异性的.

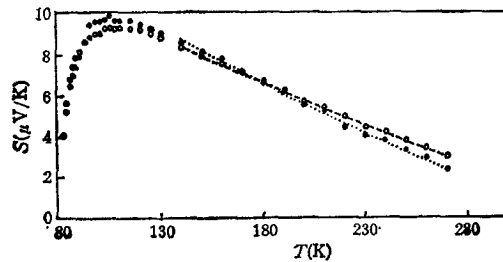


图 1 S_a 和 S_b 与温度的关系

三、讨 论

关于高温超导体的热电势率的解释目前还众说纷纭. 我们认为, 在较高温度, $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ 单晶 a - b 平面的热电势率包含以下三部分贡献:

(1) 扩散热电势率 S_d

$$S_d = - \frac{\pi^2 k^2 T}{3|e|} \left. \frac{\partial \ln \sigma(\epsilon)}{\partial \epsilon} \right|_{\epsilon = \epsilon_F} = AT.$$

(2) 相关跳跃热电势率 S_h

$$S_h = - \frac{k}{|e|} \ln \frac{2(1-n)}{n} = B.$$

(3) 声子曳引热电势率 S_s

$$S_s = C/T.$$

三式中的 A, B, C 均为常数. 因此总的热电势率为

$$S = S_d + S_h + S_s = AT + B + C/T. \quad (1)$$

对(1)式等号两边同乘以 T , 用通常的最小二乘法从 140 — 270K 温度范围内拟合, 得如下结果:

$$S_a = -0.040T + 11.879 + 340.07/T, \quad (2)$$

$$S_b = -0.035T + 11.474 + 252.7/T. \quad (3)$$

拟合曲线如图 1 中虚线所示, 与实验值符合得相当好.

在高温下, 声子曳引效应对热电势率的贡献虽然较小但仍不可忽略. 在 140 — 270K 之间的拟合结果表明, S_d 为负值, S_s 为正值, 这与 Uher^[11] 和 Kaiser^[12] 等人的推论完

全一致。当温度足够高时,由于扩散热电势率的存在,将使总的热电势率 S 变负,这与文献[5—7]的结果趋势一致。由 S_a 与 S_b 的表达式中的常数项 S_k 可推得 a, b 方向每个 Cu 位上的电子数目分别为 $n_a = 0.696$, $n_b = 0.695$, 两者相等。

两个方向的 S_d 略有差别,但比 S_e 的差别小,说明 a 方向和 b 方向的电子状态差别不大。 S_e 的差别,我们认为与 b 方向存在调制结构有关。在 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ 单晶中,晶格常数 $a = 5.41 \text{ \AA}$, $b = 5.43 \text{ \AA}$, $c = 30.7 \text{ \AA}$, a, b 方向晶格常数近似相等,所不同的是 a 方向无调制结构, b 方向存在调制波周期为 19.6 \AA 的调制结构^[13]。这就使得 b 方向的原子排列比 a 方向无序,抑制了 b 方向的声子曳引效应,导致热电势率各向异性。

四、结 论

$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ 单晶 a 方向与 b 方向的热电势率测量结果表明该单晶 a - b 平面存在各向异性,并估计这是由于 a, b 两方向的结构差异引起的。用扩散热电势率 S_d , 相关跳跃热电势率 S_k , 和声子曳引热电势率 S_e 三者的贡献,可以较好地解释热电势率与温度的关系。

与张裕恒教授和陈兆甲教授对本文进行了有益的讨论,在此表示感谢。

- [1] S. W. Tozer, A. W. Kleinsasser, T. Penney, D. Kaiser and F. Holtzberg, *Phys. Rev. Lett.*, **59**(1987), 1768.
- [2] S. Martin, T. Fiory, R. M. Fleming, L. F. Schneemeyer and J. V. Waszczak, *Phys. Rev. Lett.*, **60** (1988), 2194.
- [3] S. W. Cheong, Z. Fisk, R. S. Kwok, J. P. Remeika, J. D. Thompson and G. Gruner, *Phys. Rev.*, **B37** (1988), 5916.
- [4] Z. Z. Wang and N. P. Ong, *Phys. Rev.*, **B38**(1988), 7160.
- [5] G. H. Chen, J. H. Wang, D. N. Zheng, Y. F. Yan, S. L. Jia, Q. S. Yang, Y. M. Ni and Z. X. Zhao, *Mod. Phys. Lett.*, **B3**(1989), 295.
- [6] R. Herrmann, U. Preppemau, Ch. Rellin, A. Krapf and H. Dwelk, *Phys. Stat. Solidi (b)*, **152**(1989), K5.
- [7] L. M. Léon and R. Escudero, *Physica B*, **165&166**(1990), 1211.
- [8] U. Welp, S. Fleshler, W. K. Kwok, J. Downey, Y. Fang and G. W. Crabtree, *Phys. Rev.*, **B42**(1990), 10189.
- [9] 顾根大、蔡维理、杨培芳、王玉霞、姚连增、黄大金、阮耀钟、周贵恩、程庭柱、张裕恒, *物理学报*, **40**(1991), 642.
- [10] 阮耀钟、王瑞平、黄伟、李强, *低温物理学报*, **10**(1988), 161.
- [11] C. Uher, A. B. Kaiser, E. Gmelin and L. Walz, *Phys. Rev.*, **B36**(1987), 5676.
- [12] A. B. Kaiser and C. Uher, *Aust. J. Phys.*, **41**(1988), 597.
- [13] 赵志贤, *物理*, **19**(1990), 385.

ANISOTROPIC THERMOELECTRIC POWER OF $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ SINGLE CRYSTAL

WANG RUI-PING¹⁾ HUANG DA-JIN²⁾ SHI QIN-WEI XU PENG CHEN QI

GU GEN-DA CAI WEI-LI ZHOU GUI-EN³⁾ RUAN YAO-ZHONG

*Department of Materials Science and Engineering, University of
Science and Technology of China, Hefei 230026*

(Received 11 July 1991)

ABSTRACT

The temperature dependences of the thermoelectric power of a single crystal $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ were measured in both the a and b directions. We discovered the anisotropy of thermoelectric power in the a - b plane of the crystal. Suggeste that the differences between S_a and S_b are caused by the modulate structure in the b direction. A satisfactory explanation is given by taking into account the contributions of the relatively mobile electrons S_d , the relatively localized electrons S_s and the phonon drag effect S_p .

PACC: 7430; 7215J

1) 2) Department of Physics, University of science and Technology of China, Hefei 230026

3) Structure Research Laboratory, University of Science and Technology of China, Hefei 230026