

电荷密度波材料 NbSe_3 高温隧道谱的意外发现*

张殿琳

(中国科学院物理研究所 中国科学院凝聚态物理中心 北京 100080)

摘要 对 NbSe_3 在第一相变温度上下的隧道谱测量,意外地发现在通过电荷密度波(CDW)相变温度时电子态密度没有反常.首次直接证明在远高于相变温度处赝能隙已存在.

关键词 电荷密度波,隧道谱,赝能隙

UNEXPECTED BEHAVIOR IN THE TUNNELING SPECTRA OF CHARGE DENSITY WAVE MATERIAL NbSe_3

Zhang Dianlin

(Institute of Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract Tunneling spectra of NbSe_3 between 77 K and room temperature have been measured. A charge density wave (CDW) pseudogap exists up to a temperature higher than ~ 260 K. While the gap parameter undergoes an accelerated change between ~ 130 and ~ 160 K, the junction conductance at zero bias does not show any anomaly around $T_1 = 145$ K, the upper CDW transition temperature.

Key words CDW, tunneling spectra, pseudogap

电荷密度波(CDW)相变是凝聚态物理中典型的电子集体凝聚现象之一.早在70年以前,Peierls就指出,一维导体的费米面对于波矢为 $2k_F$ 的任意小的干扰场都是不稳定的.这种不稳定性使得一维导体的电荷密度产生周期性的调整(电荷密度波,或CDW),并在费米能级附近形成一个能隙.由于一维导体中的涨落效应,这种CDW态只在 $T = 0$ K时才是稳定的.70年代前后,由于有机和无机准一维材料的发展,人们在许多材料中观察到CDW相变.这些相变出现在远高于 $T = 0$ K的温度区域.这是因为实际材料都不是理想一维的.三维耦合有效地抑制了CDW涨落,从而使CDW相在较高温度稳定下来.例如,无机准一维导体 NbSe_3 就在 $T = 145$ K和 $T = 59$ K发生两次CDW相变.在相变点都有电阻行为的明显变化(图1).

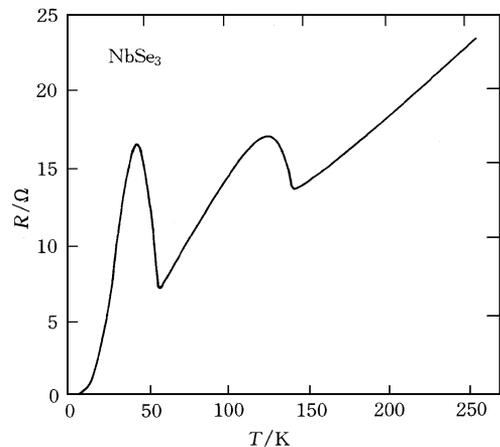


图1 NbSe_3 的电阻与温度关系

(注意在145 K和59 K时由于CDW形成而发现的电阻反常)

* 国家自然科学基金资助项目

1999-03-08 收到初稿,1999-05-04 修回

对 CDW 态研究的一个重要进展是,发现了 NbSe₃ 在 CDW 态的非欧姆电导,并证明这是由于 CDW 在电场作用下的滑移,此后对 CDW 的研究兴趣急速增长并观察到丰富多彩的各种现象^[1]. 相对地,对相变点附近的行为的研究要少得多. 按照准一维材料的 Peierls 相变的一般图像,人们相信在 CDW 相变点,体系损失了全部或部分费米面. 比如对于 NbSe₃,人们利用不同的测量手段,估计出差异甚大的费米面损失量.

最近,我们利用隧道谱的温度变化,仔细测量了 NbSe₃ 的 CDW 能隙在通过第一相变点 (145 K) 时的行为^[2],证明 CDW 能隙在远高于相变温度时已经出现 (图 2). 只是在相变温度上下,能隙参数有一个明显的增长. 最使人感到意外的是,在通过相变点时,电子态密度并没有发生预期的反常. 态密度的减少从远远高于相变温度处就开始了,并连续地通过相变点而延伸到低温 (图 3).

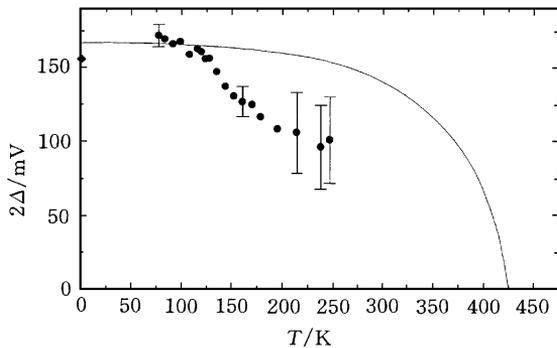


图 2 NbSe₃ 的能隙参数随温度的变化 (实线代表 BCS 型的能隙 - 温度关系,并令 $2\Delta(0) \sim 4.5kT_p$)

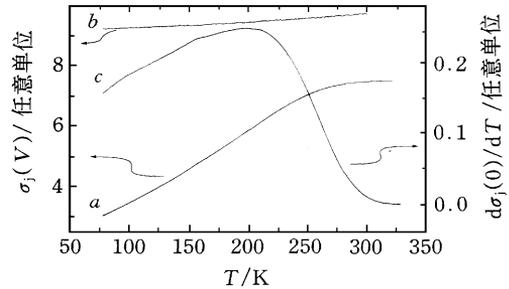


图 3 NbSe₃ 的隧道电导 $j_j(V)$ (正比于态密度) 随温度的变化

(a: 零偏置; b: $V = 110\text{mV}$; c: $j_j(0)$ 对温度的导数)

这一意外的结果要求我们重新审视 CDW 相变过程. 我们的测量表明, NbSe₃ 的第一 CDW 相变过程存在 4 个区域: 在 $\sim 100 \sim 130\text{K}$ 以下是完全钉扎于晶格的真正的三维 CDW 相; 在 $\sim 130 \sim 160\text{K}$ 之间, 是钉扎的 CDW 和移动的 CDW 的共存区; 在 $\sim 160 \sim 260\text{K}$ 之间涨落的、移动的 CDW 团簇造成一个能隙; 最后, 在 260K 以上, CDW 涨落虽仍然存在, 但已很难用隧道测量检测出来了.

本工作对深入了解准一维导体的相变过程“提供了非常重要的实验数据”(《Phys. Rev. Lett.》评审语).

参 考 文 献

- [1] Monceau P ed. Electronic Properties of Inorganic Quasi - One - Dimensional Compounds. Part 1 and 2. Reidel, Dordrecht, 1985; Gor'kov L, Gruner G eds. Charge Density Wave in Solids. Modern Problems in Condensed Matter Science Vol. 25. North Holland, Amsterdam, 1989; Gruner G ed. Density Wave in Solids. Addison Wesley, Reading, MA, 1994
- [2] He Haifeng, Zhang Dianlin. Phys. Rev. Lett., 1999, 82: 811—814