

电子型掺杂超导体 $\text{Pr}_{0.88}\text{LaCe}_{0.12}\text{CuO}_4$ ($T_c = 24\text{K}$) 中明显的玻色激发模式

如何理解掺杂铜氧化物中高温超导电性的机理仍然是凝聚态物理领域里最容易让人气馁的问题之一. 而在这个领域中现在争议最大的问题可能就是超导“胶”的微观来源——正是这种“胶”让电子被束缚成超导电子对. 在传统超导体中, 导致电子对形成超导相的相互作用是以晶格振动(声子)作为媒介的. 而对于高温超导体来说, 热门的候选者中既包括晶格振动(声子)也包括自旋激发, 甚至有可能无需任何媒介^[1-3]. 我们在田纳西大学通过红外浮区炉的方法生长电子型掺杂的高温超导体 $\text{Pr}_{0.88}\text{LaCe}_{0.12}\text{CuO}_4$ (PLCCO), 然后和合作者一起通过一系列的综合手段来研究它的性质. 这些手段包括中子散射、输运测量、角分辨光电子谱, 还有扫描隧道显微镜(STM)^[4-8]. 我们的实验结果表明, 不管是电子型还是空穴型掺杂的铜氧化物, 其中都存在着被称为“共振峰”的一个集体磁激发, 它与电子配对和超导电性紧密相连^[5-7]. 通过高真空低温 STM, 我们报导了电子型掺杂超导体 PLCCO ($T_c = 24\text{K}$) 中可重复的空间分辨电子谱. 除了找到通常的超导能隙和相干峰之外, 我们还在电子激发谱中 $10.5 \pm 2.5\text{meV}$ 的地方发现了一个由超导能隙索引的集体激发模式, 和超导能隙的大小直接相关^[8]. 这个集体模式的能量大小和早期我们组在同一块样品上发现的磁共振峰是一致的. 相比之下, 之前在空穴型掺杂高温超导体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8-\delta}$ 里同样在扫描隧道谱中发现的相似的集体模式却有很强的氧同位素效应, 和氧的光学声子模式相吻合^[9]. 由于电子型掺杂材料中氧的光学声子模式位于远高于 10meV 的能量区间, 我们的结果意味着 PLCCO 中该模

式应该来源于电子. 因此, 如果高温超导体的电子配对和超导电性中存在着一个玻色激发模式来作为“胶”的话, 那么这种玻色模式就更应该和自旋激发关联在一起, 而不是声子. 为了进一步确定 STM 中观测到的玻色模式的微观来源, 我们计划研究 PLCCO 体系中扫描隧道谱的磁场倚赖关系, 因为最新的中子散射实验已经表明共振峰在适当的 c 方向磁场下会和超导电性一起消失^[7]. 封面图画出了磁共振峰的示意图. 它是以 CuO_2 层倒空间的 $(1/2, 1/2, 0)$ 位置为中心的一个尖峰. 我们的实验表明, 它是和共振峰附近的电子对(如一个向上一个向下的电子对所示意的)是相联系的.

参考文献

- [1] Lanzara A *et al.* Nature, 2001, 412: 510
- [2] Norman M R *et al.* Phys. Rev. Lett., 2007, 79: 3506
- [3] Anderson P W. Science, 2007, 316: 1705
- [4] Kang H J *et al.* Nature Materials, 2007, 6: 224
- [5] Stephen D Wilson, Dai P C, Li S L *et al.* Nature, 2006, 442: 59
- [6] Zhao J, Dai P C, Li S L *et al.* Phys. Rev. Lett., 2007, 99: 017001
- [7] Stephen D. Wilson *et al.* PNAS, 2007, 104: 15259
- [8] Niestemski F C, Kunwar S, Zhou S *et al.* Nature, 2007, 450: 1058
- [9] Lee J *et al.* Nature, 2006, 442: 546

(美国田纳西大学物理系 戴鹏程)