物理所Bi系铜氧化物高温超导体电子结构研究获进展

在传统超导体中，电声子相互作用对超导电性的产生起到决定性作用。在铜氧化物高温超导体中，电子与声子或其他玻色子耦合是否存在，以及电声子耦合在产生高温超导电性中的作用尚不清楚。在对铜氧化物高温超导体多体效应的研究中，角分辨光电子能谱发挥了重要作用。前期对多种铜氧化物高温超导体的角分辨光电子能谱研究表明，其节点方向能带色散存在~70meV的扭折（kink）结构，在一些超导体的反节点附近能带色散存在~40meV的扭折结构，超导态反节点区域光电子能谱曲线中存在“ peak-dip-hump ”（峰-谷-包）结构。已有的实验结果比较零散，相互之间存在矛盾，特别是对这些结构起源的认识存在争论，集中在是归结于电子与声子的耦合，还是电子与磁共振模式的相互作用，或是电子与两种模式共同作用的结果。研究铜氧化物高温超导体中的多体相互作用，对探讨其中电子-玻色模相互作用的起源及其在产生高温超导电性中的作用具有重要意义。

中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心超导国家重点实验室SC7组研究员周兴江和博士研究生闫宏涛等，利用自主研制的真空紫外激光角分辨光电子能谱具有超高分辨率的优势，对Bi系铜氧化物高温超导体的电子结构进行深入研究，为探究其中的多体相互作用和电子-玻色模耦合提供了全新认识。

高精度测量发现，铜氧化物高温超导体光电子能谱曲线中存在着更为精细的结构（两个dip和两个hump），表现在能带上同时出现两套类似平带的电子结构特征，对应的能量尺度分别为~70meV和~40meV。 这些特征不仅表现在沿节点方向的能带结构中（图1），而且出现在反节点区域的能带结构中（图2）。进一步系统的测量发现，这两个共存的能量尺度在不同材料中（Bi2Sr2CuO6+δ、Bi2Sr2CaCu2O8+δ和Bi2Sr2Ca2Cu3O10+δ）、在从节点方向到反节点的所有动量空间中（图3）、 在超导转变温度之上和之下的不同温度下（图4），以及在不同掺杂浓度的样品中，均普遍存在。此前，只在Bi2Sr2CaCu2O8+δ超导态反节点区域发现的“ peak-dip-hump ”结构，实际上包含更为精细的“ peak-double dip-double hump ”结构，在不同材料、所有动量、不同温度和不同掺杂样品中无处不在。

不同铜氧化物超导体中~70meV和~40meV两个能量尺度表现出类似的动量、掺杂和温度依赖关系，说明这两个能量尺度对应相同的起源。电子同时和两个玻色模相互耦合的图像，可以很好地剖析观察到的精细电子结构及其随动量和掺杂的演变关系。目前，铜氧化物高温超导体中，已知可能存在的玻色模包括声子、磁共振模和自旋涨落。其中，磁共振模和自旋涨落强烈依赖于材料中的掺杂浓度和样品温度，这与实验观察到的结果不符。~70meV和~40meV共存电子-玻色模耦合的无处不在性，支持声子作为这两种玻色模的起源。进一步的实验发现，~70meV和~40meV两个共存的能量尺度在超导转变上下没有随着超导能隙的打开而出现明显的移动（图4）。这种行为在传统的电子-玻色模耦合图像中难以理解，表明铜氧化物高温超导体具有非常规的电子-玻色模耦合方式，需要发展进一步的理论来解析这两个玻色模的耦合行为。

该工作全面系统地研究了铜氧化物高温超导体中电子-玻色模耦合随材料、动量、掺杂和温度的演变，发现了更精细的电子结构，提供了铜氧化物高温超导体中多体相互作用的统一图像，对探索电子-玻色模耦合的起源及其在产生高温超导电性中的作用具有重要意义。

近期，相关研究成果发表在《美国国家科学院院刊》（PNAS）上。研究工作得到国家重点研发计划、国家自然科学基金委员会、科学技术部和中国科学院战略性先导科技专项（B类）等的支持。

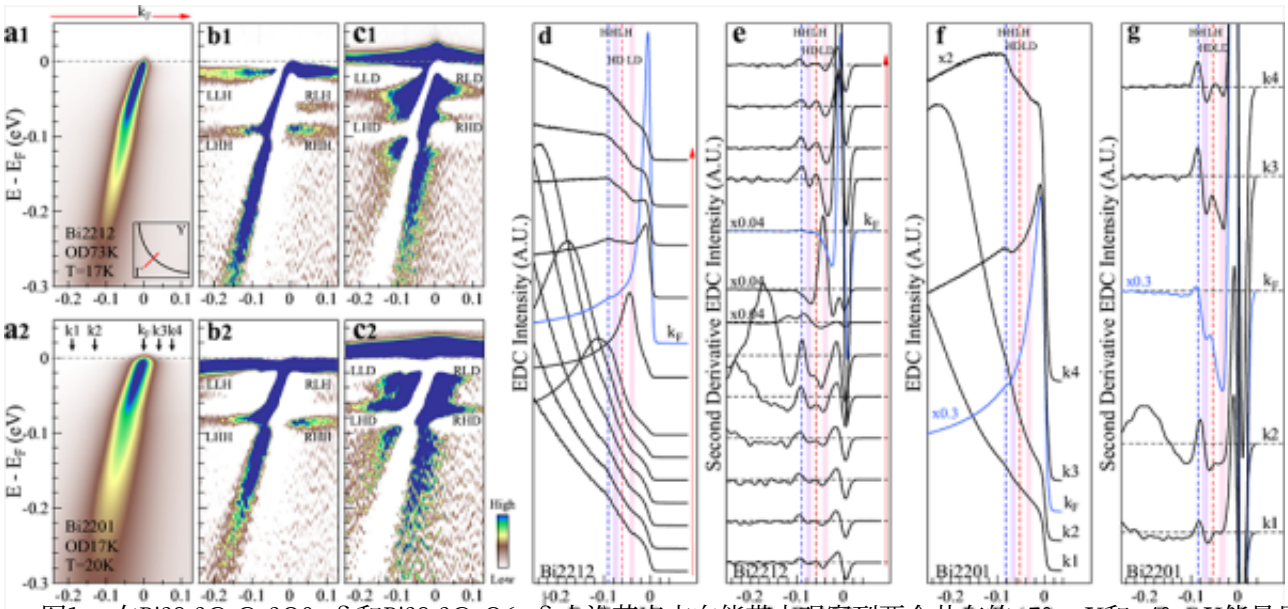

图1. 在Bi2Sr2CaCu2O8+δ和Bi2Sr2CuO6+δ中沿节点方向能带中观察到两个共存的~70meV和~40meV能量尺度

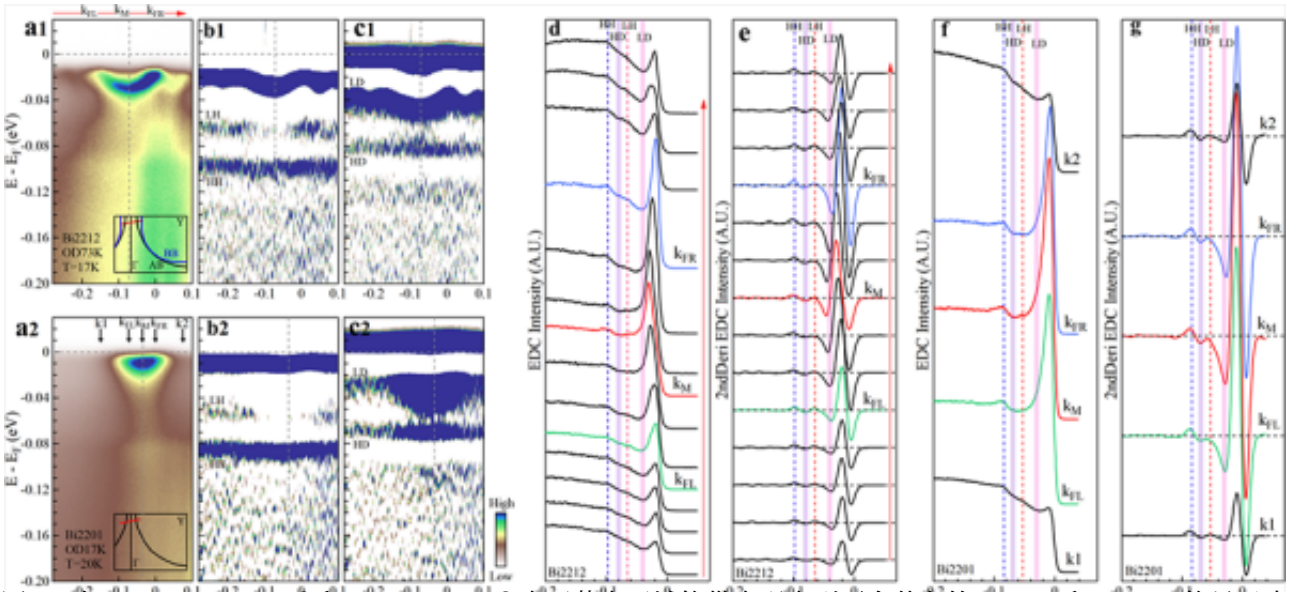

图2. 在Bi2Sr2CaCu2O8+δ和Bi2Sr2CuO6+δ中反节点区域能带中观察到两个共存的~70meV和~40meV能量尺度

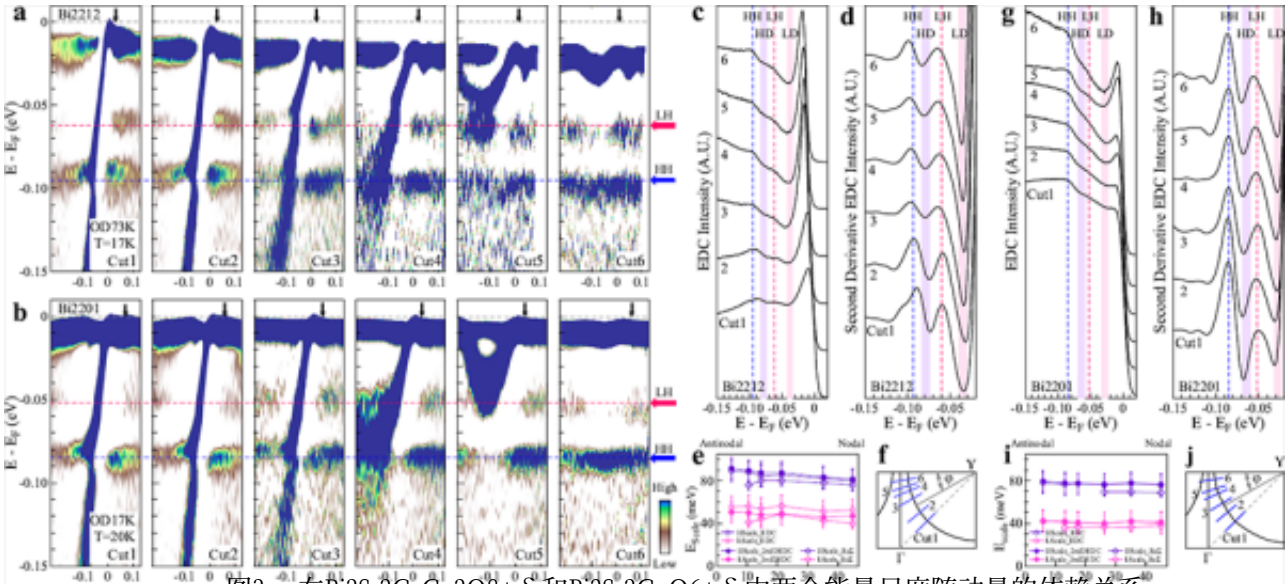

图3. 在Bi2Sr2CaCu2O8+δ和Bi2Sr2CuO6+δ中两个能量尺度随动量的依赖关系

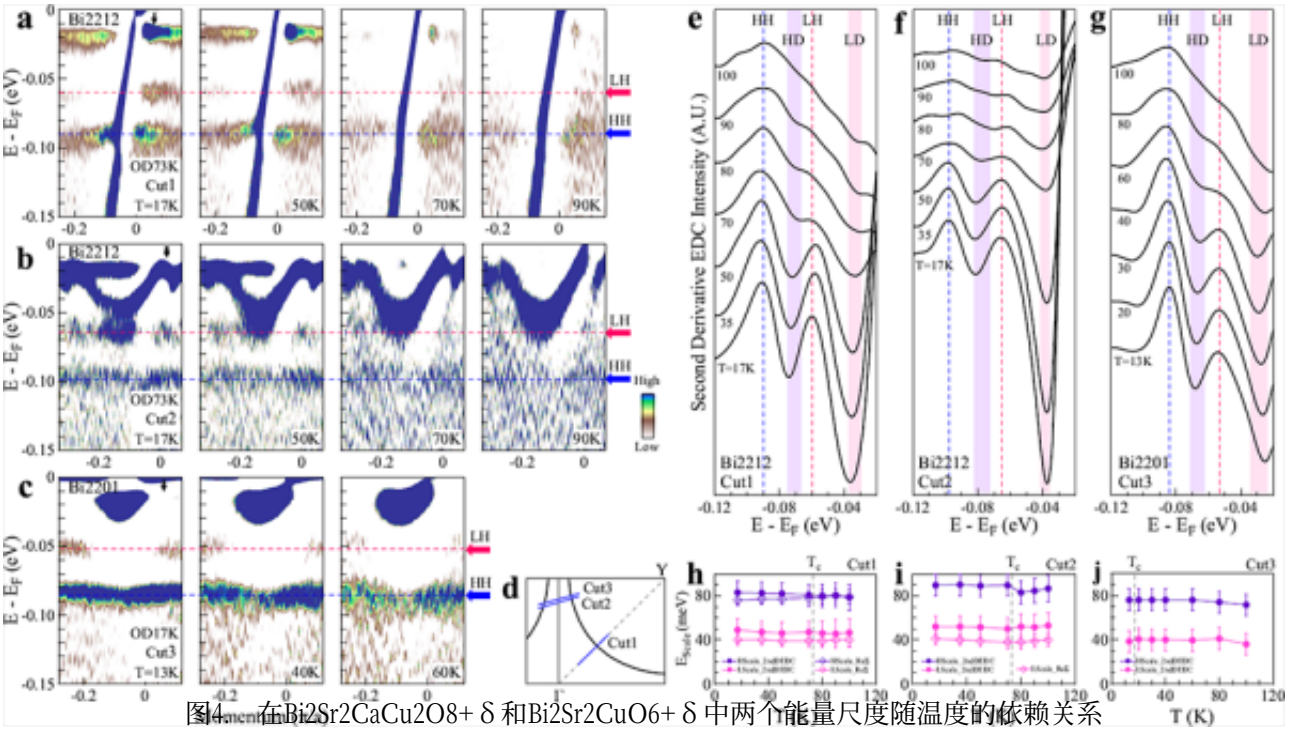

图4. 在Bi2Sr2CaCu2O8+δ和Bi2Sr2CuO6+δ中两个能量尺度随温度的依赖关系

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/202393.html