

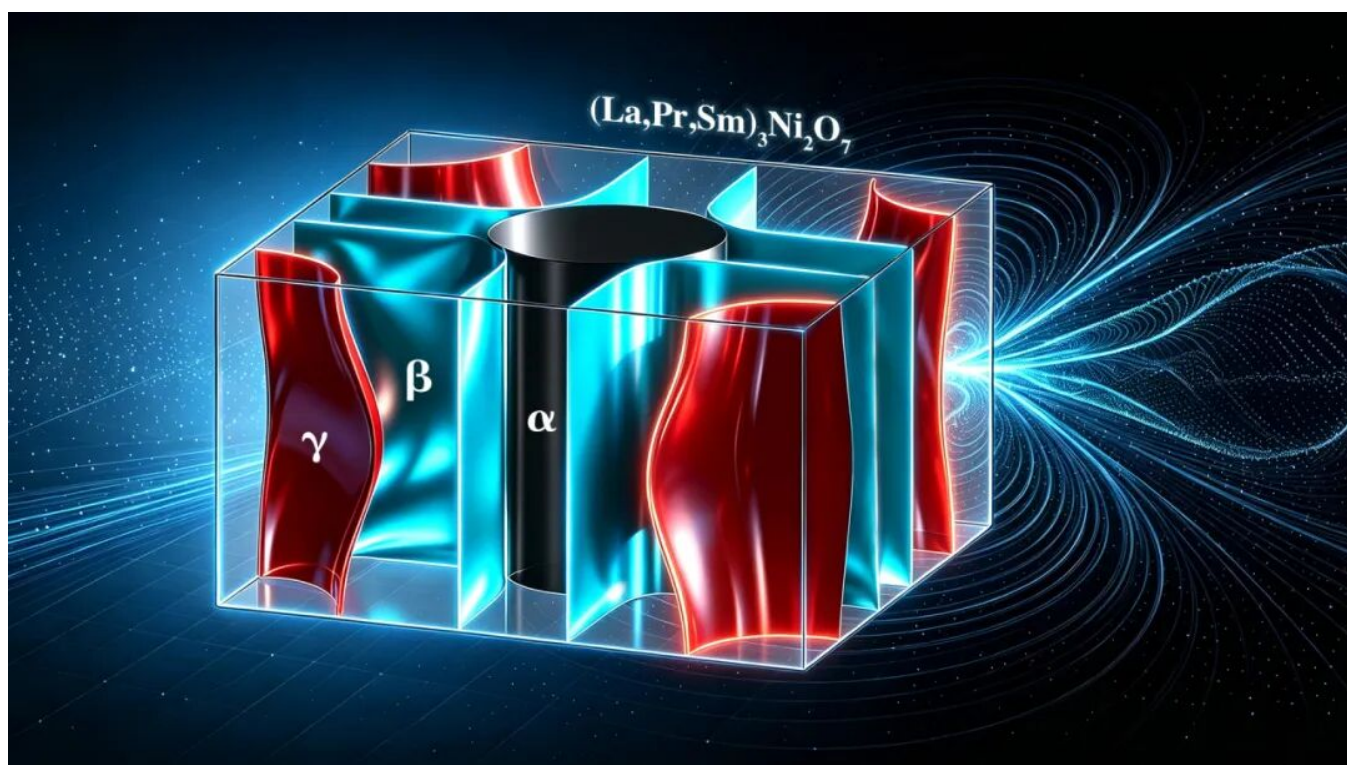
科学家揭示超导双层镍氧化物薄膜的三维电子结构

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/41964.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

科学家揭示超导双层镍氧化物薄膜的三维电子结构。近日，南方科技大学物理系、量子功能材料全国重点实验室、粤港澳大湾区量子科学中心联合研究团队，与中国科学技术大学、上海交通大学和清华大学合作《物理评论X》发表最新研究。团队利用变光子能量角分辨光电子能谱（ARPES），系统解析了常压超导 $(\text{La,Pr,Sm})_3\text{Ni}_2\text{O}_7$ 薄膜的三维电子结构，揭示了不同轨道具有不同的维度特性，并在 d_{z^2} 轨道主导的 γ 能带上发现约18毫电子伏特的超导能隙。



研究示意图。南方科技大学供图

铜氧化物高温超导体通常被视为典型的准二维体系。新近发现的Ruddlesden-Popper双层镍氧化物在费米能级附近同时存在 $\text{d}_{x^2-y^2}$ 和 d_{z^2} 轨道，其层间耦合可能直接参与超导配对。因此，第三维究竟只是微小修正还是不可忽略的自由度，成为理解其超导机制的关键问题。尤其是 d_{z^2} 轨道形成的 γ 能带是否穿过费米能、沿面外动量如何演化、是否直接参与超导，一直存在理论争议。传统单一光子能量的ARPES测量主要给出某个 k_z 截面的信息，难以回答完整的三维问题，且双层镍氧化物对氧损失十分敏感，样品在转移中容易发生退化。

为此，团队采用超强氧化原子层逐层外延方法生长高质量(La,Pr,Sm) $3\text{Ni}_2\text{O}_7/\text{SrLaAlO}_4$ 薄膜，并确认了薄膜的逐原子层生长和高结晶质量。输运测量显示，样品的超导起始温度约为48 K，生长后被迅速冷却至200 K以下，并通过低温超高真空转移腔送至同步辐射ARPES线站。该流程将转移期间的氧损失降到最低，为本征能带及能隙测量提供了可靠基础。

测量显示， $\text{dx}^2\text{-y}^2$ 轨道贡献的能带沿 k_z 方向变化很小，保持准二维特征；与之相反， dz^2 轨道主导的 γ 能带具有清晰的 k_z 色散，并在所测三维动量空间中持续穿越费米能级。这一轨道选择性的维度表明，双层镍氧化物不能被简化为严格二维体系，面外轨道耦合参与其低能电子结构。此外， γ 能带在某些光子能量下谱强变弱或近乎消失，主要来自随 k_z 变化的光电子矩阵元效应，并不意味着该能带从费米面上真正消失。薄膜中双层结构的空间周期使 γ 能带沿 k_z 呈现相应的周期性。

在超导能隙方面，团队沿多个高对称方向对 α 、 β 和 γ 能带进行系统测量，均观察到有限能隙，支持无节点配对图景。对 γ 能带开展的温度依赖分析显示，其在9.5 K时的能隙约为18毫电子伏特，由此计算出的约化能隙($2\Delta/k_B T_c$)约为8，显著高于传统弱耦合BCS超导理论预测的经典值3.5。这一结果确认了 dz^2 轨道参与了超导配对及强耦合配对图像。实验还发现， γ 能带在费米能级附近的谱权重压低在超过超导转变温度后仍持续，并延伸至约90 K，提示可能存在类似赝能隙的行为。

该研究建立了超导双层镍氧化物超导薄膜从三维费米面、轨道分辨色散到超导能隙的连续实验证据链。结果一方面揭示了不同轨道具有不同维度，另一方面通过 γ 能带上的超导能隙和谱学特征，说明了 dz^2 轨道与电子关联在镍基超导中的共同作用。这些发现要求相关理论模型超越严格二维近似，在统一框架中处理双层结构、面外轨道耦合及多轨道电子关联。（来源：中国科学报刁雯蕙）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1103/466c-8sl4>

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发