



您现在的位置：[首页](#) > [科学研究](#) > [研究进展](#)

## 新型界面超导的电场调控

编辑：时间：2021年05月17日 访问次数：700

复杂氧化物界面可以呈现出相应体材料所不具有的新奇物理现象。其中，界面超导现象尤为吸引科学家的关注。但在过去十多年里，氧化物界面超导仅在LaAlO<sub>3</sub>/SrTiO<sub>3</sub>界面中被发现，其超导转变温度0.2-0.3K，接近SrTiO<sub>3</sub>体材料掺杂后的超导临界温度。2020年初，美国阿贡实验室研究人员在(111)取向的KTaO<sub>3</sub>界面发现了超导转变温度超过2K(比LaAlO<sub>3</sub>/SrTiO<sub>3</sub>界面高近一个数量级)的二维超导，而KTaO<sub>3</sub>体材料掺杂后并不超导。研究还发现此新型界面超导与界面取向有关：(100)界面并不超导。这是相关领域的一个重要突破，引起广泛关注。

随后浙江大学物理系谢燕武课题组，联合中科院物理所孙继荣课题组、周毅研究员、以及浙大材料学院田鹤课题组等，发现了(110)取向KTaO<sub>3</sub>界面存在转变温度在0.9 K左右的超导，介于(111)和(100)取向界面之间【*Phys. Rev. Lett.* **126**, 026802 (2021)】。由于(100)、(110)和(111)是立方晶系中三个最重要的基本晶面，因此这一结果对全面认识KTaO<sub>3</sub>界面与晶面取向相关的超导，并最终理解其物理机制，具有重要意义。

最近，该研究团队在利用电场调控KTaO<sub>3</sub>界面超导方面取得新突破。他们利用类门电压技术，成功调控了(111)取向的LaAlO<sub>3</sub>/KTaO<sub>3</sub>界面超导，实现了连续调控超导态-绝缘态量子相变，并发现了在低温下可被电场连续调控的量子金属态。与通常磁场调控下在量子临界点处实现的量子金属态不同，该量子金属态在无外磁场时也存在，在相图中呈现为物质相而不仅是临界点。相关成果5月14日在《Science》杂志上线发表【*Science* **372**, 721-724 (2021)】。论文的共同第一作者为浙大物理系博士生陈峥、刘源和北京航空航天大学博士后张慧（原中科院物理所博士），共同通讯作者是浙大物理系谢燕武研究员，中科院物理所孙继荣研究员和周毅研究员。

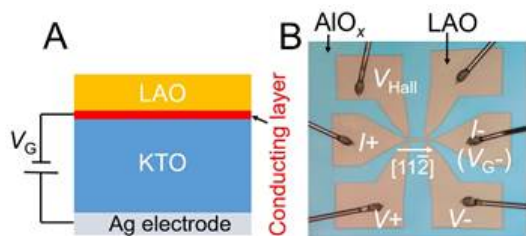


图1：(A) 电场调控示意图（横切视图），(B) 光学显微镜下的样品照片及测量说明（俯视图。中心通道宽20微米）。

目前已知的能被电场调控的超导体屈指可数，而经典的LaAlO<sub>3</sub>/SrTiO<sub>3</sub>界面便是其中之一。与此对比，新发现的LaAlO<sub>3</sub>/KTaO<sub>3</sub>界面载流子浓度高(约为LaAlO<sub>3</sub>/SrTiO<sub>3</sub>的2-3倍)，并且KTaO<sub>3</sub>的介电常数小(约为SrTiO<sub>3</sub>的1/4)，因此预期很难被电场调控。然而，令人惊讶的是，研究团队观察到了门电压对LaAlO<sub>3</sub>/KTaO<sub>3</sub>界面输运行为的强场调控(图2A)。研究团

队发现，与预期相吻合，载流子浓度对门电压并不敏感（图2C），然而载流子的迁移率却显著依赖于门电压（图2C）。由于在低温下迁移率是载流子所感受到的无序度的反映，因此，研究团队认为在该工作中门电压改变了载流子所感受到的有效无序度，是一种与以往研究完全不同的全新调控机制。

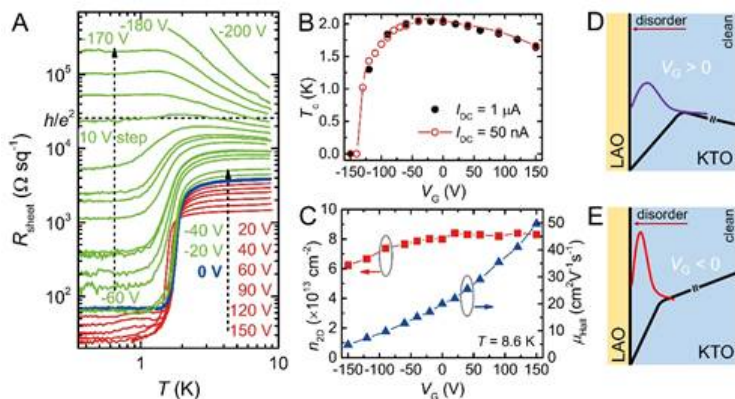


图2：在-200 V到150 V区间施加不同门电压时LaAlO<sub>3</sub>/KTaO<sub>3</sub>界面的(A)面电阻 ( $R_{sheet}$ )，(B)超导转变温度 ( $T_c$ )，(C) 载流子浓度 ( $n_{2D}$ )和迁移率 ( $\mu_{Hall}$ ) 随温度 ( $T$ ) 的变化。(D, E) 不同门电压对界面载流子分布的影响。

调控原理可如图2D和2E所示。在实际样品中存在一定晶格缺陷（“无序”），越贴近界面分布越密集，越远离界面则越稀疏。门电压产生的电场改变了界面载流子（电子或超导库珀对）“队形”的空间分布，让它们在更靠近或更远离界面的地方运动。当载流子被调控到靠近界面时，会受到更强的无序作用，电阻变大甚至绝缘。

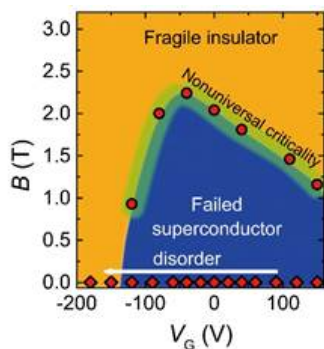


图3：LaAlO<sub>3</sub>/KTaO<sub>3</sub>界面随门电压和磁场变化的量子相图

由于在该研究中场效应的实质是调控载流子所感受到的有效无序度，因此其中蕴含了丰富的二维超导与无序相互作用物理。研究团队在低温下观察到新奇的、可被连续调控的量子金属态（图2A：电阻平台）。通过同时改变门电压（无序度）和磁场，研究团队得到了这一界面体系丰富的量子相图（图3）。

该研究得到了浙江大学量子交叉中心同仁在技术和设备等方面的全方位支持，同时还得到了浙江大学“双一流”建设专项经费、国家重点研发计划、国家自然科学基金、中科院战略性先导科技专项、和浙江省重点研发计划等支持。

相关论文链接：[Electric field control of superconductivity at the LaAlO<sub>3</sub>/KTaO<sub>3</sub>\(111\) interface | Science \(sciencemag.org\)](https://www.sciencemag.org)