



面向世界科技前沿, 面向国家重大需求, 面向国民经济主战场, 率先实现科学技术跨越发展, 率先建成国家创新人才高地, 率先建成国家高水平科技智库, 率先建设国际一流科研机构。

——中国科学院办院方针



官方微博



官方微信

首页 组织机构 科学研究 人才教育 学部与院士 资源条件 科学普及 党建与创新文化 信息公开 专题

搜索

首页 > 科研进展

物理所发现ZrTe₅中温度诱导Lifshitz转变及其拓扑本质

文章来源: 物理研究所 发布时间: 2017-06-23 【字号: 小 中 大】

我要分享

自上世纪70年代以来, 科学家们就发现过渡金属碲化物ZrTe₅和HfTe₅在电阻-温度曲线上表现出一个宽峰, 并且在宽峰温度的上下, 霍尔效应和热电势所测得的载流子发生变号。尽管许多研究组对这一奇异的输运性质做了研究, 但其起源一直是一个悬而未决的问题。近年来, 量子拓扑材料研究的兴起导致发现了一大批包括拓扑绝缘体、狄拉克半金属、外尔半金属等具有特殊电子结构和性质的材料。然而, 已证实的二维拓扑绝缘体(量子自旋霍尔绝缘体)极其稀少, 基本上还是局限于需要复杂制备工艺的人工材料如HgTe/CdTe和InAs/GaSb量子阱等。因此, 寻找并合成理想的大能隙二维拓扑绝缘体材料对于基础研究和高性能自旋电子学应用尤为重要。最近, 理论计算预言, 单层的ZrTe₅/HfTe₅是大能隙的量子自旋霍尔材料, 在体能隙中存在着受拓扑保护的边缘态。块材ZrTe₅/HfTe₅可能处于强弱拓扑绝缘体态的边界, 随着层间距的减小, ZrTe₅/HfTe₅有可能会由弱拓扑绝缘体转变为强拓扑绝缘体, 并且温度引起的层间距减小有可能诱导这种拓扑相变。理论预言引发了大量关于ZrTe₅的实验研究, 但对其拓扑本质仍然众说纷纭, 没有定论。高分辨角分辨光电子能谱对ZrTe₅电子结构的直接测量, 对理解其奇特输运性质以及拓扑性质具有重要意义。

中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家实验室(筹)周兴江研究组, 与中国科学院理化技术研究所陈创天研究组及许祖彦研究组合作, 在2013年研制成功了国际首台基于真空紫外激光和飞行时间电子能量分析器的高分辨激光角分辨光电子能谱系统。该系统具有同时探测二维动量空间电子结构信息、高能量动量分辨、体效应增强和低非线性效应等优点(图1)。

该研究组研究员刘国东及其的博士生张艳、王晨露、副研究员俞理, 以及研究员周兴江的博士生梁爱基、黄建伟等人, 利用以上基于飞行时间电子能量分析器的高分辨激光角分辨光电子能谱技术, 通过与方忠、戴希小组博士生聂思敏和研究员翁红明进行理论合作, 与研究员陈根富及其博士生赵凌霄进行样品合作, 系统地研究了ZrTe₅的完整电子结构及其随温度的演化情况。

实验获得了高质量的ZrTe₅的费米面结构和能带结构(图2), 发现ZrTe₅具有很大的费米速度(2 - 4 eVÅ), 并且表现出明显的各向异性。首次同时观察到导带和价带的能带结构, 并研究了其随温度的演变(图3)。在高温下费米能穿越价带, 形成空穴型费米面; 随着温度的降低, 能带向高结合能方向移动, 到135K时, 费米能正好处于导带和价带的中央; 温度继续降低, 费米能则穿越导带, 变为电子型费米面。这些结果表明在ZrTe₅中存在温度诱导的Lifshitz转变(图4)。而且该Lifshitz转变与ZrTe₅的输运性质直接对应, 自然地解释了ZrTe₅中出现的电阻宽峰以及载流子类型在电阻峰值温度上下的转变。

此外, 实验发现价带与导带之间存在能隙。随着温度的降低, 能隙在不断减小, 到测量的最低温度仍然没有关闭(图3)。在表面有许多一维裂纹的样品中, 观测到了准一维的能带结构和费米面, 极有可能对应于理论预言的单层ZrTe₅中受拓扑保护的边缘态(图5)。这些结果表明, 随着温度降低层间距减小, ZrTe₅有从弱拓扑绝缘体向强拓扑绝缘体转变的趋势。但是即使在最低温2K下, 导带与价带之间的带隙仍然存在, 而且带隙中没有观测到对应强拓扑绝缘体表面态的狄拉克线性色散带, 说明ZrTe₅依然处于弱拓扑绝缘体状态。

这项工作首次观测到了ZrTe₅中存在的温度诱导Lifshitz转变, 解决了长久以来一直处于争论状态的反常输运行为的起源。首次给出了二维ZrTe₅边缘态的角分辨光电子能谱证据, 澄清了块材ZrTe₅的拓扑本质。该工作为推动量子自旋霍尔效应的进一步研究和实际应用, 以及对拓扑相变的相关研究, 提供了重要的信息。

这一研究成果发表在近期的《自然-通讯》上[Nat. Commun. 8, 15512 (2017)]。相关工作得到国家自然科学基金委(11574367)、科技部(2013CB921700, 2013CB921904, 2015CB921300)和中科院先导B(XDB07020300)项目等基金的资助。

文章链接

热点新闻

2018年诺贝尔生理学或医学奖、...

“时代楷模”天眼巨匠南仁东事迹展暨...
中科院A类先导专项“泛第三极环境变化与...
中国科大建校60周年纪念大会举行
中科院召开党建工作推进会
中科院党组学习贯彻习近平总书记在全国...

视频推荐



【新闻联播】“率先行动”计划 领跑科技体制改革



【新闻直播间】物种演化新发现 软舌螺与腕足动物有亲缘关系

专题推荐



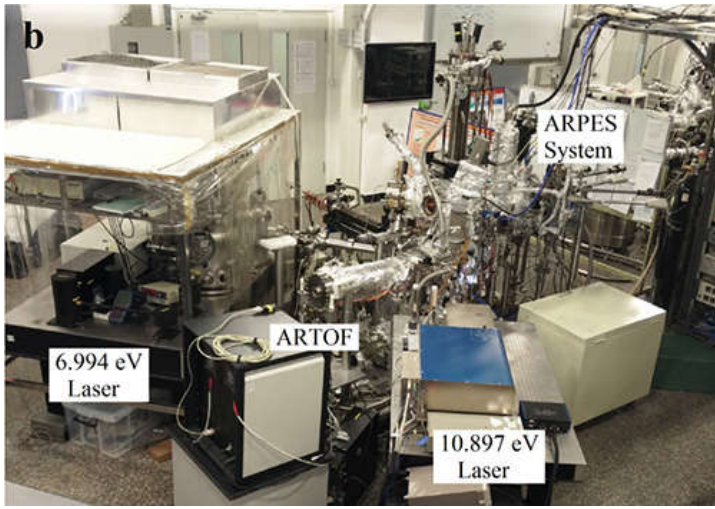


图1: 飞行时间电子能量分析型高分辨激光角分辨光电子能谱系统

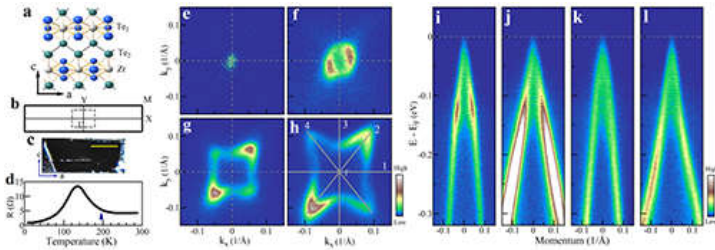


图2: (a-c) ZrTe₅中, ac面的晶格结构; ac面对应的布里渊区; 解理后ac面的形貌; (d) ZrTe₅的电阻温度曲线; (e-h) 195K下测量的, ZrTe₅的费米面及100meV, 200 meV, 300 meV结合能处的等能面; (i-l) 特征cut的能带结构, 分别对应图(g)中的cut 1-4。

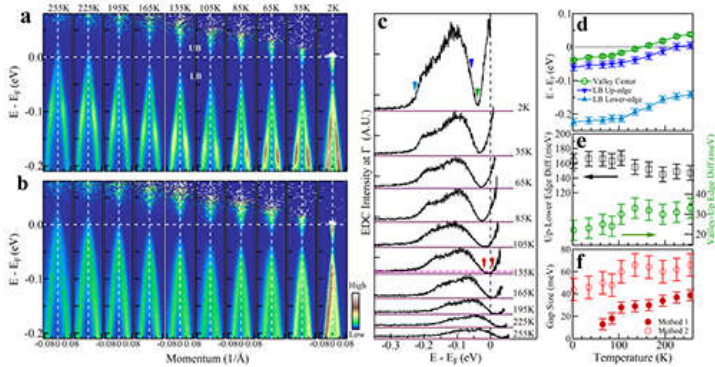


图3: ZrTe₅中能带随温度的变化。(a-b) Γ X, Γ Y方向能带随温度的演化; (c) 不同温度下, 过 Γ 点的能量分布曲线(EDC); (d) 下支能带(价带)的下边缘, 上边缘, 上下支能带中间谱重最小的位置三个量, 随温度的变化; (e) 下支能带的上下边缘差, 上边缘与中间谱重最小位置之差两个量, 随温度的变化; (f) 不同温度下, 价带和导带之间直接能隙的大小。

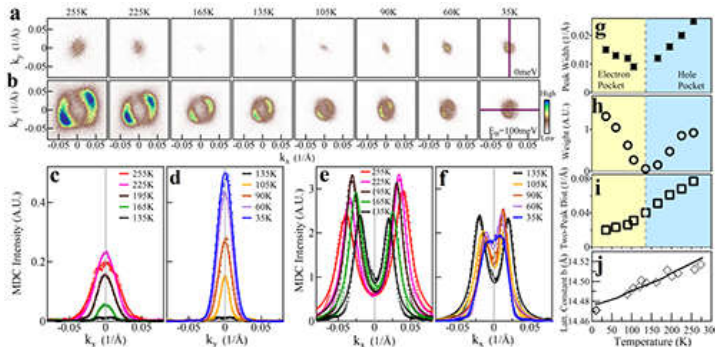


图4: ZrTe₅中温度诱导的lifshitz相变。(a-b) 费米面及100meV结合能处等能面随温度的变化; (c-f) 不同温度下, 费米面处及100meV等能面处过 Γ 的动量分布曲线(MDC); (g) 费米面大小随温度的变化; (h) 费米面谱重随温度的变化; (i) 100meV等能面处MDC两个峰位之差随温度的变化; (j) ZrTe₅晶格常数b随温度的变化。

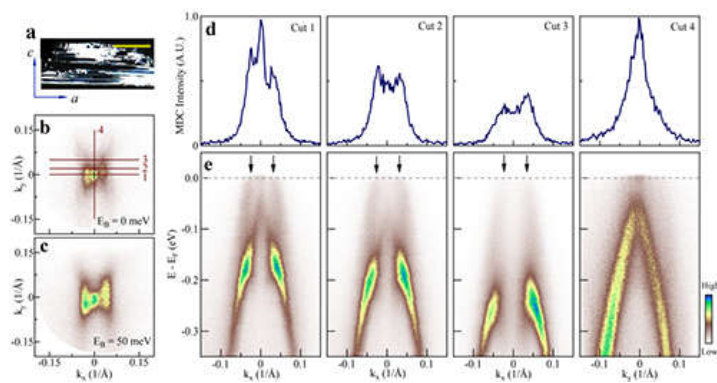


图5: (a) 解理后, $ZrTe_5$ 表面有一维裂纹样品的形貌; (b-c) 费米面及50meV结合能处的等能面; (d) 图 (b) 中cut 1-4费米能处的MDC; (e) 图 (b) 中对应cut 1 - 4 的能带结构。

(责任编辑: 叶瑞优)



© 1996 - 2018 中国科学院 版权所有 京ICP备05002857号 京公网安备110402500047号 联系我们
地址: 北京市三里河路52号 邮编: 100864