
SHMFF用户揭示基于外尔轨道的三维量子霍尔效应

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/3417.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！

SHMFF用户揭示基于外尔轨道的三维量子霍尔效应。科学家们对量子霍尔效应的研究一直停留于二维体系，从未涉足三维领域。近日，稳态强磁场实验装置(SHMFF)用户复旦大学物理系教授修发贤课题组首先在该领域实现突破，在拓扑半金属砷化镓纳米片中观测到由外尔轨道形成新型三维量子霍尔效应的直接证据，迈出了从二维到三维的关键一步。12月17日，相关研究成果在线发表于《自然》期刊。该工作高磁场实验部分在中国科学院合肥物质科学研究院强磁场科学中心稳态强磁场实验装置上完成。

量子霍尔效应是20世纪以来凝聚态物理领域最重要的科学发现之一，迄今为止已有四个诺贝尔奖(1985, 1998, 2010和2016年)与其直接相关。一百多年来，人们研究量子霍尔效应有一个重要前提是必须基于二维体系。拓扑半金属具有一个重要特征——费米弧表面态，常规没有达到布里渊区边界的费米面都是闭合的，而拓扑半金属的费米弧则是一段非闭合曲线。在磁场下，普通能带的电子在倒空间会沿着费米面截面的闭合曲线做回旋运动，而对于费米弧而言，其两个端点最终连接的是体态的外尔点，因此正常情况下不会形成回旋轨道。2017年，修发贤课题组利用稳态强磁场实验装置在砷化镓纳米片观测到量子霍尔效应，发表于《自然-通讯》(Nature Communications8, 1272 (2017))。由于当时研究磁场强度(20T)相对较低，该效应中的三维特性仍缺乏直接的实验证据。

强磁场中心副研究员张警蕾等人，通过不断改进测试方案，克服了水冷磁体噪声大、微纳器件容易损坏、测试效率低等困难，成功在更强的磁场下实现了对微纳器件电输运性质的高精测量。得益于更高的研究磁场条件，修发贤课题组研究团队创新性地进一步利用楔形样品实现可控的厚度变化，这样外尔轨道在不同厚度区域发生隧穿所需时间不同，导致对应轨道状态发生变化。通过测量对应的量子霍尔电阻，实验发现回旋轨道能量能直接受到样品厚度的调控，这和常规基于二维表面态的量子霍尔效应完全不同。同时，通过改变磁场方向，发现轨道能量也受到磁场和晶向相对位置的影响，打破了二维体系应该具有的镜面对称性。基于这两个重要证据，实验成功证明了砷化镓纳米结构中的量子霍尔效应来源于三维的外尔轨道。

这种新型外尔轨道量子霍尔效应产生的理论机制是由于两个表面的回旋部分符合正常量子霍尔效应所需的二维回旋，同时垂直方向的隧穿过程是基于外尔半金属特有的手性朗道能级，可以提供一个无耗散的通道，从而没有破坏原有的量子化边界态。另一方面，外尔轨道里特有的隧穿过程进一步提供了一个通过厚度调控电子态相位和能量的机制，使得这种新型三维量子霍尔效应具有更丰富的研究前景。相关研究成果在线发表于《自然》(Nature, DOI: 10.1038/s41586-018-0798-3)期刊。

该工作强磁场中心实验部分得到中科院合肥大科学中心高端用户培育基金、中科院青年促进会等

的大力支持。

文章链接

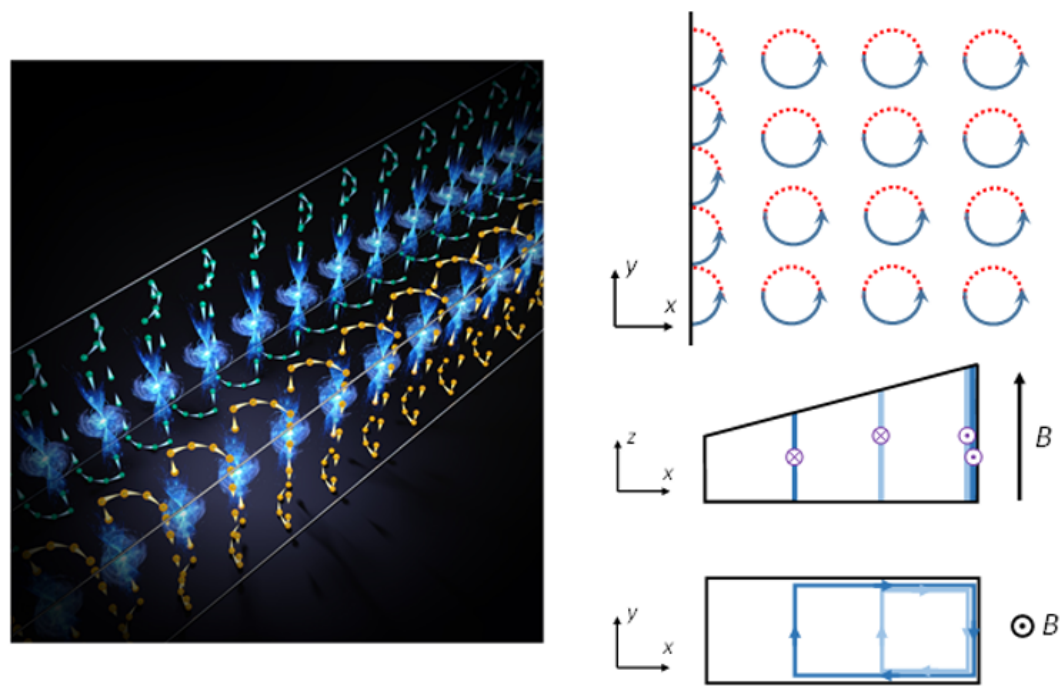


图1 基于外尔轨道的三维量子霍尔效应物理机制

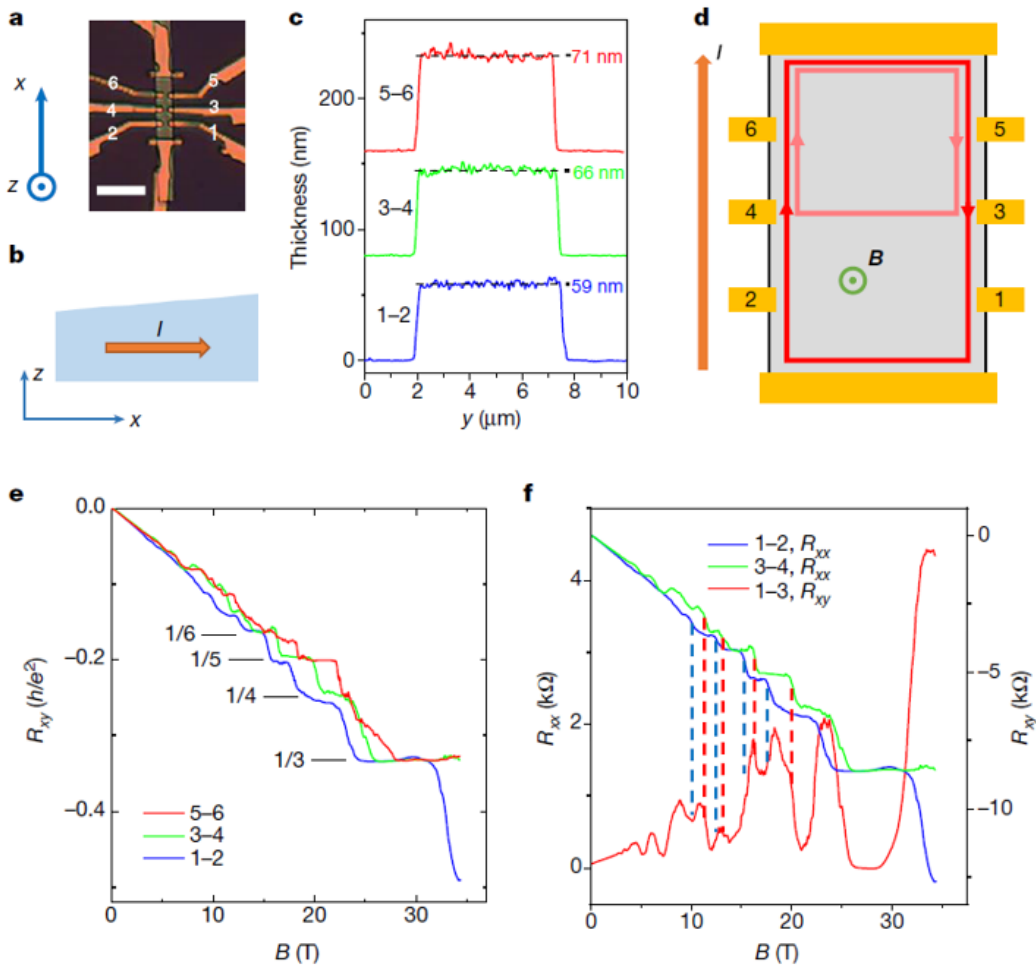


图2 Cd₃As₂强磁场下的量子霍尔效应

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