

安徽省科学技术奖提名项目公示内容

(自然科学奖, 2024 年度)

一、项目名称

强磁场高压下的拓扑电子材料研究

二、提名者及提名意见

提名者: 中国科学院合肥物质科学研究院

提名意见: (600 字以内)

强磁场、高压条件在探索拓扑材料奇异能带结构方面具有独特优势和重大意义: 磁场越强, 越容易达到揭示本征拓扑响应的量子极限, 压力越高, 对能带结构的调控越显著。这些研究手段对于理解拓扑物态的基本物理、验证理论预言以及探索新的物态(如拓扑超导)具有不可替代的作用, 是推动拓扑电子材料走向未来应用的关键前沿。

“强磁场高压下的拓扑电子材料研究”项目团队依托稳态强磁场大科学装置, 围绕“强磁场下发现新拓扑材料体系—高压下诱导拓扑材料新物态—强磁场高压协同操控拓扑序”的主线, 系统研究了拓扑电子材料的新奇量子态, 取得一系列创新性科学进展: 强磁场下发现了一批新的拓扑材料体系, 发现的巨大磁电阻值超过绝大部分拓扑材料; 高压实现拓扑材料电子结构的连续精细调控; 强磁场高压协同作用操控拓扑序, 澄清了材料的拓扑本质等。

项目一系列重要发现具有显著的原创性与重要科学价值, 研究成果发表于《Nature Communications》《Physical Review Letters》等顶级期刊, 5 篇代表作被他人引用 410 次, 获诺贝尔物理学奖得主 Andre Geim 等国际权威学者高度认可。本项目推动了拓扑电子学与极端条件物理的交叉融合, 为低功耗量子器件研发提供了理论与实验基础, 培养了一批优秀人才, 对凝聚态物理学科发展具有重要推动作用。

经审核, 同意提名该项目作为 2024 年安徽省自然科学奖候选项目。

三、项目简介

本项目属于凝聚态物理领域。项目组聚焦近年来凝聚态物理的核心领域之一——拓扑电子材料，基于强磁场、高压条件在探索拓扑材料奇异能带结构和量子输运性质的独特优势和迫切需求，依托稳态强磁场大科学装置，在科技部国家重点研发计划、国家自然科学基金等项目支持下，围绕“强磁场下发现新拓扑材料体系—高压下诱导拓扑材料新物态—强磁场高压协同操控拓扑序”的主线，系统研究了拓扑电子材料的新奇量子态，取得以下创新性科学进展：

1) **强磁场下发现新拓扑材料体系：电输运实验证实了多个理论预言的拓扑电子材料，发现了具有巨大磁电阻的拓扑材料体系，磁阻值超越绝大多数拓扑材料。**成功合成了一系列高质量的、理论预言的拓扑材料样品，实现了强磁场下量子化的电输运现象探测，证实了材料的拓扑非平庸特性，为理论预言提供了明确的电输运实验证据。发现了拓扑材料 PtBi_2 体系中 $1.12 \times 10^7\%$ 的磁电阻，磁阻值超越绝大多数拓扑材料，在高灵敏度传感器件方面有重要应用前景。研究工作获诺贝尔物理学奖得主 Andre Geim 等国际权威学者高度认可和积极引用。

2) **高压下诱导拓扑材料新物态：超高压在已经证实的拓扑电子材料中诱导出超导相、新拓扑相，实现了对拓扑材料电子结构的连续精细调控。**高压下晶格压缩实现了对拓扑材料电子结构的连续精细调控，诱导出超导相、新拓扑相等新物态。这些转变常伴随载流子浓度跃升或拓扑能带重构，且超导临界温度多呈压力不敏感性。高压技术规避了化学掺杂的复杂性，为探索拓扑超导等量子现象提供了纯净研究平台。研究工作获美国物理学家组织网专栏作家 Stuart Mason Dambrot 撰文专题追踪报道。

3) **强磁场高压协同操控拓扑序：多场协同作用确立了晶体对称性对拓扑态的核心保护作用，澄清了材料的拓扑本质，实现跨维度拓扑序精准操控。**强磁场下的电输运实验精准追踪拓扑序演化，高压破坏材料对称性或偶然狄拉克点，二者协同作用确立了晶体对称性对拓扑态的核心保护作用，澄清了 ZrTe_5 “偶然”狄拉克半金属态的拓扑本质。强磁场、高压与材料尺寸构成“维度剪刀”，实现“二维 $\leftrightarrow$ 三维”双向操纵电子态维度，为未来拓扑器件的设计提供了新自由度。

项目相关研究成果共发表了 100 余篇论文，包括 Nature Communications (5 篇)、Physical Review Letters (9 篇)、Physical Review X (1 篇)、Physical Review B (24 篇)、PNAS (3 篇)、Nano letters (8 篇)、ACS Nano (4 篇) 等。5 篇代表作论文被他人引用 410 次。

项目组成员应邀在国内外学术会议（如美国材料年会秋季会议、美国物理学会年会、极端条件下物质研究会议、IEEE 国际纳米电子学会议）等做邀请报告 30 余次。项目组成员张警蕾获第七届马丁·伍德爵士中国物理科学奖（2024 年），项目第一完成人田明亮荣获“第三届安徽省创新争先奖状”（2025 年）。本项目推动了拓扑电子学与极端条件物理的交叉融合，为低功耗量子器件研发提供了理论与实验基础，培养了一批优秀人才，对凝聚态物理学科发展具有重要推动作用。

四、 代表性论文专著目录

序号	论文（专著） 名称/刊名 /作者	年卷页 码 （xx 年 xx 卷 xx 页）	发表 时间 年月 日	通讯作 者（含 共同）	第一作 者（含 共同）	国内作 者	论文 署名 单位 是否 包含 国外 单位
1	Extremely Large Magnetoresistance in a Topological Semimetal Candidate Pyrite PtBi2/ Physical Review Letters/ Wenshuai Gao, Ningning Hao, Fa-Wei Zheng, Wei Ning, Min Wu, Xiangde Zhu, Guolin Zheng,Jinglei Zhang, Jianwei Lu, Hongwei Zhang,Chuanying Xi, Jiyong Yang, Haifeng Du, Ping Zhang,Yuheng Zhang, Mingliang Tian	2017 年 118 卷 256601 页	2017-0 6-23	Wei Ning, Xiangde Zhu, Minglian g Tian	Wenshua i Gao, Ningnin g Hao,Fa- Wei Zheng	高文帅， 郝宁宁， 郑法伟， 宁伟，武 敏，朱相 德，郑国 林，张警 蕾，张红 伟，郝传 英，杨继 勇，杜海 峰，张平， 张裕恒， 田明亮	否

2	Transport evidence for the three-dimensional Dirac semimetal phase in ZrTe5/ Physical Review B/ Guolin Zheng, Jianwei Lu, Xiangde Zhu, Wei Ning, Yuyan Han, Hongwei Zhang, Jinglei Zhang, Chuanying Xi, Jiyong Yang, Haifeng Du, Kun Yang, Yuheng Zhang, Mingliang Tian	2016 年 93 期 115414 页	2016-03-09	Wei Ning, Mingliang Tian	Guolin Zheng, Jianwei Lu,	郑国林, 陆建伟, 朱相德, 宁伟, 韩玉岩, 张红伟, 张警蕾, 郝传英, 杨继勇, 杜海峰, 张裕恒, 田明亮	是
3	Pressure-induced superconductivity in a three-dimensional topological material ZrTe5/ Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America/ Yonghui Zhou, Juefei Wu, Wei Ning, Nana Li, Yongping Du, Xuliang Chen, Ranran Zhang, Zhenhua Chi, Xuefei Wang, Xiangde Zhu, Pengchao Lu, Cheng Ji, Xiangang Wan, Zhaorong Yang, Jian Sun, Wenge Yang, Mingliang Tian Yuheng Zhang, Ho-kwang Mao	2016 年 113 卷 2094 页	2016-02-29	Zhaorong Yang, Jian Sun, Wenge Yang, Mingliang Tian, Ho-kwang	Yonghui Zhou, Juefei Wu	周永惠, 吴珏霏, 宁伟李娜娜, 杜永平, 陈绪亮, 张冉冉, 迟振华, 王雪霏, 朱相德, 鲁鹏超, 万贤纲, 杨昭荣, 孙建, 杨文革, 田明亮, 张裕恒	是

4	Disruption of the Accidental Dirac Semimetal State in ZrTe5 under Hydrostatic Pressure/ Physical Review Letters/ Jinglei Zhang, Chunyu Guo, Xiangde Zhu, Long Ma, Guolin Zheng, Yongqiang Wang, Li Pi, Ye Chen, Huiqiu Yuan, Mingliang Tian	2017 年 118 卷 206601 页	2017-05-19	Mingliang Tian	Jinglei Zhang	张警蕾, 郭春煜, 朱相德, 马龙, 郑国林, 王永强, 皮雳, 陈晔, 袁辉球, 田明亮	否
5	Transport signatures of the topological surface state induced by the size effect in superconductor β -PdBi2 / SCIENCE CHINA Physics, Mechanics & Astronomy/ Ankang Zhu, Zheng Chen, Yuyan Han, Mengcheng Zhu, Huanhuan Wang, Minglong Han, Liang Li, Xue Liu, Guolin Zheng, Xiangde Zhu, Wenshuai Gao, Mingliang Tian	2023 年 66 卷 276813 页	2023-06-01	Xiangde Zhu, Wenshuai Gao, Mingliang Tian	Ankang Zhu, Zheng Chen	朱安康, 陈正, 韩玉岩, 朱梦成, 王欢欢, 韩明龙, 李亮, 刘学, 郑国林, 朱相德, 高文帅, 田明亮	否

五、主要完成人（按完成人顺序排列）

田明亮, 高文帅, 宁伟, 张警蕾, 郑国林

六、主要完成单位（按完成单位顺序排列）

中国科学院合肥物质科学研究院, 安徽大学

七、论证专家

姓名	工作单位	职称	专业领域
孟国文	中国科学院合肥物 质科学研究院	研究员	材料科学
张忠平	安徽大学	教授	材料科学
吴长征	中国科学技术大学	教授	无机化学
张海民	中国科学院合肥物 质科学研究院	研究员	材料科学
许 俊	合肥工业大学	教授	材料物理