

2023 年度江西省科学技术奖提名项目公示

项目名称：低维体系的极化和拓扑特性研究

提名者：江西省教育厅

提名等级：江西省自然科学奖一等奖

候选单位：华东交通大学、江西中医药大学、浙江理工大学

候选人：伍清萍、肖贤波、刘正方、陈爱喜

项目简介（不超 800 字）：

本项目深入研究了在低维材料中实现完全自旋极化、谷极化、巨磁电阻以及拓扑保护的电输运的理论依据。主要科学发现如下：1.提出在石墨烯中实现完全自旋极化和谷极化的理论方案。我们理论提出在打破时间反演对称性的条件下在石墨烯基材料中构建出自旋相关的能隙，则在自旋能隙中可以产生了完全自旋极化。进一步运用能带理论，通过同时打开自旋能隙和谷能隙，提出了一个基于应力石墨烯中考虑 Rashba 自旋轨道耦合和磁栅栏中同时实现完全自旋极化和谷极化的方案。2.提出在石墨烯中产生谷进动和谷相关的巨磁电阻的新的理论方案。我们对谷耦合作用下石墨烯的 K 和 K' 谷产生的谷进动、与谷相关的时间反演对称性、以及谷极化特性进行了细致研究，并提出通过谷耦合作用实现在石墨烯中的谷相关的场效应管和巨磁电阻的理论方案。进一步还理论提出了一种考虑 Y 形 Kekulé 晶格畸变和电子势垒的控制弹道石墨烯基谷场效应晶体管以及谷赝磁电阻的新方法。3. 揭示了拓扑狄拉克半金属的各向异性的量子受限效应，发现体系的电子结构、拓扑性质以及量子输运与受限的方向关联。进一步发现拓扑狄拉克半金属纳米结构表面态的输运可以通过改变侧向电极电压来调控。该项目解

决了铁磁石墨烯自旋极化低、无法同时产生自旋极化和谷极化、实现谷相关的巨磁电阻、谷场效应管以及低能耗拓扑电子晶体管器件的难题。

本项目研究理论获得了芬兰科学与文学学院院士 Antti-Pekka Jauho 和以国内长江学者姚裕贵等人的正面评价和肯定，取得了很好反响，其中部分理论还得到了多个国际一流实验组的评价和引用，并被他们的实验证实。项目 5 篇代表性论文均发表在凝聚态物理主流期刊上，其中发表在《Journal of Physics: Condensed Matter》的论文被选为当期封面亮点文章。本项目候选人由此获得国家自然科学基金 10 项，江西省杰出青年人才计划一人。

代表性论文专著目录 (*表示通讯作者)

[1] **伍清萍, 刘正方*, 陈爱喜*, 肖贤波, 刘志敏**, Full valley and spin polarizations in strained graphene with Rashba spin orbit coupling and magnetic barrier, Scientific Report 2016, 6: 21590.

[2] **伍清萍, 刘正方*, 陈爱喜*, 肖贤波, 刘志敏**, Generation of full polarization in ferromagnetic graphene with spin energy gap, Applied Physics Letters. 2014, 105(25): 252402.

[3] **伍清萍, 刘正方*, 陈爱喜, 肖贤波, 张恒, 苗国兴***, Valley precession and valley polarization in graphene with inter-valley coupling, Journal of Physics: Condensed Matter, 2017, 29(39): 395303 (当期封面亮点文章)

[4] **伍清萍, 常璐璐, 李昱增, 刘正方*, 肖贤波**, Electric-Controlled Valley Pseudomagneto-resistance in Graphene with Y-Shaped Kekulé Lattice Distortion, Nanoscale Research Letters, 2020, 15(1):46.

[5] 肖贤波, 杨声远*, 刘正方, 李会丽, 周光辉*, Anisotropic Quantum Confinement Effect and Electric Control of Surface States in Dirac Semimetal Nanostructures, Scientific Report, 2015, 5:7898.

主要完成人情况:

| 序号 | 完成人 | | | 对本项目贡献 |
|---------|-----|------|---------|---|
| 1 | 伍清萍 | 工作单位 | 华东交通大学 | 项目负责人, 提出项目科学思想和解决了相关科学问题, 制定了项目具体研究方案和路线方法。对提名书《主要发现点》中所列第一、二、三、四项发现做出了重要贡献。提出在铁磁石墨烯中构建出自旋能隙, 从而实现完全自旋极化的方案; 开创性地提出在石墨烯中同时实现自旋极化和谷极化的理论方案; 对谷耦合作用下石墨烯的传输本质进行了透彻分析和提出谷极化产生方案; 提出基于石墨烯中考虑 Y 形 Kekulé 晶格畸变实现电控的谷巨磁电阻。支撑材料见附件中代表性论文 1, 2, 3,4。 |
| 职务 / 职称 | | 教授 | | |
| 项目排名 | | 第一 | | |
| 2 | 肖贤波 | 工作单位 | 江西中医药大学 | 项目主要理论创新和项目主要完成人。参与项目整体规划和研究方案制定, 解决了项目关键科学问 |

| | | | | |
|---|---------|----------------|----------|--|
| | | 职务 / 职称 | 教授 | 题, 对提名书《主要发现点》中所列第一至五项发现做出了重要贡献。研究发现了拓扑狄拉克半金属材料各项异性量子受限效应, 提出了表面态电场调控方法和全电拓扑电子晶体管设计方案。合作研究发现了低维材料中实现完全自旋极化、谷极化、巨磁电阻等特性。支撑材料见附件中代表性论文 1, 2, 3,4, 5。 |
| | | 项目排名 | 第二 | |
| 3 | 刘正 方 | 工作单位 | 华东交通大学 | 项目主要理论创新和项目主要完成人。参与项目整体规划和研究方案制定, 解决了项目关键科学问题, 对提名书《主要发现点》中所列第一至五项发现做出了重要贡献。合作研究发现了石墨烯中实现完全自旋极化和谷极化的能带特征。尤其发现了在谷耦合作用下石墨烯的 K 和 K' 谷的时间反演对称性的打破产生了谷极化特性以及通过 Y 形 Kekulé 晶格畸变和电势垒实现通道中的谷操纵、拓扑表面态输运等特性的研究。支撑材料见附件中代表性论文 1, 2, 3,4, 5。 |
| | | 职务 / 职称 | 副教授 | |
| | | 项目排名 | 第三 | |
| 4 | 陈爱 喜 | 工作单位 | 浙江理工大学 | 项目主要理论创新和项目主要完成人。参与项目整体规划和研究方案制定, 解决了项目关键科学问题, 对提名书《主要发现点》中所列第一、二、三项发现做出了重要贡献。例如合作研究分析铁磁应 |
| | | 职务 / 职称 | 人事处处长/教授 | |

| | | | | |
|--|--|-------------|----|---|
| | | 项目排名 | 第四 | 力石墨烯的能带特征、特别是揭示了 Rashba 轨道耦合在石墨烯中产生自旋极化的重要作用, 以及谷耦合作用下的石墨烯的 K 和 K' 谷的布儒斯特角本质分析。支撑材料见附件中代表性论文 1, 2, 3。 |
|--|--|-------------|----|---|