

安徽省科学技术奖提名项目公示内容

(自然科学奖, 2025 年度)

一、项目名称

拓扑磁存储的基础物理问题研究

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)

该项目主要从事拓扑磁存储器开发过程中的关键基础物理问题研究,面向当今数据爆发式增长对变革性高速、低功耗磁存储器的重大需求,开创性发展并应用三维拓扑磁学新物理效应,解决器件应用所面临拓扑磁结构种类单一、电流可控性差等基础科学问题,发现了新型的拓扑磁结构,实现了拓扑磁结构的有效操控,构建了首个具有完整数据存储功能的低功耗原理性拓扑磁存储器,操控临界电流密度数值比常规值降低1-2个数量级。相关研究工作发表在Nature Nanotechnology、Physical Review Letters等期刊上,被Nature等期刊引用报道,被评价为“磁存储器发展的一大步”,“明显促进了本领域基础研究的发展”等。

同意提名该项目作为2025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。随着当今数据的爆发式增长,项目组面向国家对高速、低功耗、高密度变革性磁存储器的重大需求,在科技部国家重点研发计划、国家自然科学基金、中国科学院重点部署等项目支持下,针对构筑新型拓扑磁存储器所面临的拓扑磁结构种类单一、寻址过程不稳定以及操控电流密度高等基础物理科学问题开展研究,发现并应用拓扑磁结构三维新物理机制与效应,开发出具有完整功能的原理性拓扑磁存储器。主要创新和科学发现如下:

1) 拓扑磁结构稳定机制:提出厚度、边界限阈效应稳定拓扑磁结构的新物理机制,揭示拓扑磁结构三维物理新效应,为高稳定的拓扑磁存储器件提供支撑。对于块体材料,拓扑磁结构稳定温区窄。通过维度调控,发现通过边界辅助有利于拓扑磁结构的稳定和形核,扩展其稳定温度区间至全温区,揭示拓扑磁结构厚度维度自旋调制机制,首次实现新型三维拓扑磁结构——磁浮子,突破了器件数据编码受空间分布的限制。研究工作被评价为“磁存储发展的一大步”。

2) 新型拓扑磁结构构筑：构建了可准直运动的磁斯格明子束缚态——磁束子，解决了传统拓扑磁结构由于霍尔侧向偏转导致的数据丢失问题。提出边缘修饰调控拓扑磁结构特性的有效方案，自主搭建了洛伦兹电镜原位电流调控磁结构观测平台。发现斯格明子-斯格明子长程吸引作用等三维新物理效应与机制，并首次成功构筑多拓扑荷新型磁结构——磁束子，解决了常规拓扑磁结构在存储单元运动过程中由于霍尔偏转导致的数据易丢失问题。研究工作被评价为“明显促进了本领域基础研究的发展”。

3) 拓扑磁结构原型器件：展示了具有数据擦写及寻址功能的低功耗、高速原理性拓扑磁存储器。基于三维物理效应的电调控机制，实现了器件结构单元中拓扑磁结构写入、擦除、运动及电探测等一体化全电操控，首次实现了一维赛道器件中拓扑磁结构的高速电驱动，操控电流密度比操控传统磁畴所需的电流密度低1-2个数量级，展示了拓扑磁存储器的低能耗优势。

相关研究成果，项目组成员作为一作/通讯作者共发表70余篇论文，包括Nature系列子刊（7篇）、PRL（7篇）、PNAS（1篇）、National Science Review（1篇）、Science Bulletin（1篇）、AM（4篇）、AFM（3篇）、Nano Lett.（6篇）、ACS Nano（3篇）等。6篇代表作论文他引570次，ESI高被引论文2篇。

项目组成员应邀参与撰写了3本磁学专著章节和5篇综述论文，并在美国物理学会等国内外学术会议作邀请报告100余次。项目组成员田明亮获得第三届安徽省创新争先奖、安徽省教学成果奖一等奖；杜海峰在《物理学报》组织编辑了国内首个拓扑磁结构研究专题，获得2016年亚洲磁学联盟青年科学家奖、2017年安徽省青年科学家奖。

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 x 卷 x 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	Magnetic skyrmion bundles and their current-driven dynamics/ Nature Nanotechnology/ Jin Tang, Yaodong Wu, Weiwei Wang, Lingyao Kong, Boyao Lv, Wensen Wei, Jiadong Zang, Mingliang Tian, and Haifeng Du	2021 年 16 卷 1 086 页	2021- 08-02	Haifeng Du	Jin Tang	汤进， 吴耀东，王 伟伟， 孔令尧，吕 伯尧， 韦文森，田 明亮， 杜海峰	是

2	Edge-mediated skyrmion chain and its collective dynamics in a confined geometry/Nature Communications/Haifeng Du, Renchao Che, Lingyao Kong, Xuebing Zhao, Chiming Jin, Chao Wang, Jiyong Yang, Wei Ning, Runwei Li, Changqing Jin, Xianhui Chen, Jiadong Zang, Yuheng Zhang & Mingliang Tian	2015年6卷8504页	2015-10-08	Renchao Che, Mingliang Tian	Haifeng Du, Renchao Che	杜海峰, 车仁超, 孔令尧, 赵雪冰, 金驰名, 王超, 杨锦宏, 宁伟, 李润伟, 靳长青, 陈仙辉, 张裕恒, 田明亮	是
3	Interaction of Individual Skyrmions in a Nanostructured Cubic Chiral Magnet/Physical Review Letters/Haifeng Du, Nikolai S. Kiselev, Yuheng Zhang, Renchao Che, Stefan Blügel, Mingliang Tian	2018年120卷197203页	2018-05-11	Nikolai S. Kiselev, Renchao Che, Mingliang Tian	Haifeng Du	杜海峰, 赵雪冰, 王莎莎, 汤进, 金驰名, 王超, 韦文森, 张裕恒, 车仁超, 田明亮	是
4	Electrical manipulation of skyrmions in a chiral magnet/Nature Communications/Weiwei Wang, Dongsheng Song, Wensen Wei, Pengfei Nan, Shilei Zhang, Binghui Ge, Mingliang Tian, Jiadong Zang, and Haifeng Du	2022年13卷1593页	2022-03-24	Dongsheng Song, Jiadong Zang, Haifeng Du	Weiwei Wang	王伟伟, 宋东升, 韦文森, 南鹏飞, 张石磊, 葛炳辉, 田明亮, 杜海峰	是

5	Two-dimensional characterization of three-dimensional nanostructures of magnetic bubbles in Fe ₃ Sn ₂ / National Science Review/ Jin Tang, Yaodong Wu, Lingyao Kong, Weiwei Wang, Yutao Chen, Yihao Wang, Y. Soh, Yimin Xiong, Mingliang Tian, Haifeng Du	2020年8卷: nwaa220	2020-08-28	Haifeng Du	Jin Tang	汤进, 吴耀东, 孔令尧, 王伟伟, 陈禹滔, 王一浩, 熊奕敏, 田明亮, 杜海峰	是
6	Steady motion of 80-nm-size skyrmions in a 100-nm-wide track//Nature Communications/ Dongsheng Song, Weiwei Wang, Shuisen Zhang, Yizhou Liu, Ning Wang, Fengshan Zheng, Mingliang Tian, Rafal E. Dunin-Borkowski, Jiadong Zang, Haifeng Du	2024年15卷 5614页	2024-07-04	Dongsheng Song, Haifeng Du	Dongsheng Song	宋东升, 王伟伟, 张水森, 刘艺舟, 王宁, 郑风珊, 田明亮, 杜海峰	是

五、主要完成人（按完成人顺序排列）

田明亮、杜海峰、汤进、宋东升、王伟伟

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
陈仙辉	中国科学技术大学	教授/院士	凝聚态物理

孟国文	中国科学院合肥物质科学 研究院	二级研究员	材料物理
王守国	安徽大学	二级教授	磁性材料
张增明	中国科学技术大学	教授	凝聚态物理
高伟清	合肥工业大学	教授	光学