# 国内外强磁场实验室 科研动态

### 2024 年第四季度

中国科学院强磁场科学中心

2025/1/17

### 强磁场科研动态 2024Q4



## 前 言

本科研动态的宗旨是为强磁场领域的科研技术人员提供国际上最新的科研 成果以及各强磁场实验室发展动向,每季度发布一期。以下是美国、欧洲、日 本和中国的强磁场实验室简介。

#### 美国国家强磁场实验室

National High Magnetic Field Laboratory 又称 MagLab, 是目前世界上 规模最大,实验设施最全,用户最多的强磁场实验室。其稳态场部分位于 Tallahassee,脉冲场部分位于 Los Alamos,另有一个 high B/T 组位于 Gainesville。MagLab 于 1994 年建成并不断升级改造,创造并保持了多项世 界纪录。

#### 欧洲强磁场实验室

European Magnetic Field Laboratory (EMFL) 是由法国 Grenoble 的 稳态场、Toulouse 的脉冲场、荷兰 Nijmegen 的稳态场以及德国 Dresden 的 脉冲场实验室于 2015 年组合而成,有统一的用户申请入口。

#### 日本强磁场实验室

日本的强磁场实验室主要有东京大学的 MegaGauss 实验室,东北大学的超导材料高场实验室(HFLSM)、大阪大学的先进强磁场科学中心(AHMF)和 NIMS 的筑波磁体实验室(TML)。

#### 中国强磁场实验室

中国的稳态强磁场装置建成于 2017 年, 法人单位是中国科学院合肥物质 科学研究院。该装置混合磁体产生了 45.22 T 的世界最高稳态磁场, 水冷磁体 产生了 42.02 T 的水冷磁体磁场世界纪录, 磁体技术和综合性能处于国际领先 地位。中国的脉冲强磁场装置建成于 2014 年, 法人单位是华中科技大学, 最 高脉冲磁场达到 94.8 T, 位居世界第三。



### 科 研 动 态

### 1. 美国国家强磁场实验室

#### 野火重塑土壤:对养分和微生物的影响

野火每年烧毁数百万公顷的土地,是适应火灾的生态系统的自然组成部分。 然而,在过去的 50 年里,野火变得更加频繁、严重和剧烈。随着野火的规模 不断扩大,了解野火如何影响土壤化学性质和特性对更好地把握野火对生态系 统的影响至关重要。



野火改变了为微生物提供养分的土壤分子的构成。众所周知,野火会杀死 许多土壤微生物,并产生更稳定的土壤分子,但这项研究表明,可生物降解的 分子和一些微生物在猛烈燃烧后仍然存活。存活下来的微生物仍然活跃,可以



处理被烧毁土壤中的各种有机物,这意味着这些环境并非完全无菌,也并非完 全由耐火材料主导。

*Cite: Jacob P. VanderRoest, et al. Environ. Sci. Technol. 58, 4167–4180* (2024)

装置: 21T ICR

#### • 磁体用高强度铜银导体

MagLab 研究人员通过比较整体和局部应力应变曲线,研究了高强度铜银 板的应变硬化行为。他们发现,虽然纵向和横向样品都表现出整体软化,但在 具有高应变滑移带的区域,横向样品表现出明显的局部应变硬化,而纵向样品 则表现出适度的应变软化。这种局部塑性的差异导致导体表现出整体各向异性。

这项工作的影响还超出了高磁场磁体,因为铜银导体可用于先进的电子、 电气和电网行业,以及航空航天和国防领域。该研究成果还获得 "2024 M&M 学生和博士后学者奖 "。



*Cite:* <u>Rongmei Niu, et al. J. Mater. Sci 58, 8981–8989 (2003)</u>; <u>Ke Han, et</u> al. IEEE Trans. Appl. Supercond. 34, 7000105 (2024)

作者信息:一作 Rongmei Niu,西安交大博士,先后在约翰霍普金斯大学和 MagLab 做博士后,2018 年后在 MagLab 任副研究员,组长 Ke Han。



#### • 大型 REBCO 线圈以超过 70%临界电流运行

在 40T 全超导磁体项目的初步和最终设计中,已经设计、建造了几个中型 测试线圈 (由约 1 公里的 ReBCO 组成),并测试了它们的运行极限。ReBCO 带材是一种高温超导体 (HTS),宽几毫米,厚约 0.1 毫米,其中只有约 1 微米 是超导薄膜。早期的中型测试线圈提供了宝贵的技术进步,但没有一个能够成 功地运行到其临界电流 (lc) 的 70%。该指标是 40T 磁体设计成功与否的标志之



Large Scale Coil (40T Outer Coil Diameter)

最新的测试线圈 (TC2\_c) 由六个双饼模块 (即十二个碟片) 组成,并在 45T 混合磁体的 11.4T 背景场内产生 10.3T。亮点是线圈的工作电流 (lop) 约为 其 lc 的 70%。此线圈中使用的每条带材都经过了广泛的表征,以完全反映 lc 与



磁场和角度的关系。此外,对中间四个模块进行了单独测试,并分别达到了 lc 的 100%。

这一成就增强了我们对设计和制造超高场 ReBCO 缠绕螺线管所使用的综合方法的信心。下一个也是最后一个实验验证将是对大型(约 3.5 公里长带) 线圈 (LSC) 的测试,将演示磁体扩展到目前完整的 40T 全超导磁体设计中直径 最大的线圈组。

装置:混合磁体外超导磁体

#### • 科学基础设施助力国家量子计划

2024 年 12 月,美国国家量子计划(National Quantum Initiative, NQI) 发布 2025 财年预算补充报告。报告中指出:





"科学基础设施通过向更大的群体提供关键的共享技术和科学能力,加速 了从发现和探索到技术开发的进步周期。对基础设施的额外投资可以催化进步, 并实现原本不会发生的科学和技术突破。"

"国家强磁场实验室和高能 X 射线科学中心将继续作为量子材料前沿研究的关键平台设施。"

全文见: https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2024/12/NQI-Annual-Report-FY2025.pdf

### 2. 欧洲强磁场实验室

#### • 排斥束缚磁振子的实验观察

吸引力在稳定凝聚态多粒子束缚态方面的重要性已被普遍接受。相比之下, 人们认为通过排斥力来稳定的多粒子束缚态只是理论构造,因为在实际材料中 存在强大的耗散通道。

最近,多特蒙德工业大学 (TU) 物理系的王喆与多国研究人员合作,通过实 验证明了 Ising 类自旋链反铁磁体 BaCo<sub>2</sub>V<sub>2</sub>O<sub>8</sub> 中存在排斥束缚磁振子。为了证 明这一点,该团队采用了强磁场太赫兹光谱技术,在荷兰强磁场实验室 32 T 的 静磁场中进行了测量。该团队还在德国进行了高达 61 T 脉冲磁场的 ESR 实验, 采用 ELBE 自由电子激光作为可调太赫兹光源。

该图显示了在 BaCo<sub>2</sub>V<sub>2</sub>O<sub>8</sub> 中观察到的磁激发的特殊频率磁场相图。实验证 明了几种模式的存在,包括普通的单磁振子激发、排斥束缚的双磁振子和排斥 束缚的三磁振子激发。通过将太赫兹光谱测量结果与海森堡-伊辛(也称为 XXZ)



链反铁磁体的理论预测进行比较,研究人员可以通过排斥束缚磁振子激发来解释多粒子模式的出现。实验结果表明,这些高能态与连续体完全分离,表现出显著的动态响应,尽管存在耗散,但寿命足够长,可以进行实验观察。由于磁子束缚态可以改变自旋链的输运特性,我们设想这种态可以作为基于磁子学的量子信息处理技术的资源。



Cite: Zhe Wang, et al. Nature 631, 760–764 (2023)

装置:水冷磁体(荷兰)、脉冲磁体(德国)

作者信息:一作王喆,南大本科,奥格斯堡大学博士,现为多特蒙德工业大学 教授。研究领域侧重于强关联量子材料中受多体相互作用支配的量子现象。善 于在温度和磁场等可调外部条件下使用各种光学方法研究材料。2018年也曾利 用荷兰强磁场实验室的太赫兹光谱发表一篇贝特弦方面的 Nature 文章。

#### ● 三层高 Tc 铜酸盐反铁磁量子临界点附近的电荷序

反铁磁 (AFM) 序、电荷密度波 (CDW) 和超导性之间相互作用的普遍性是 空穴掺杂铜酸盐的特征。AFM 序的作用仍存在激烈争论,尽管配对机制被广泛 认为是磁性起源。法国强磁场实验室最近的一项工作研究了三层铜酸盐 HgBa<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>8+δ</sub> (Hg1223),其内部 CuO<sub>2</sub> 面受到保护,免受面外无序的影



响,因此非常干净且无扭曲。

对于 p = 0.118 和 p = 0.101 的空穴掺杂,霍尔系数在约 10 K 以下突然 发生符号变化,而在较低掺杂时则不会观察到。在 YBCO 中,这种符号变化归 因于来自电荷序费米面重建的小封闭电子袋。在这里,转变的突然性和低温令 人惊讶。研究人员进一步测量了 p = 0.112 时不同温度下量子振荡的演变。在 4.2 K 时,存在强烈的低频振荡,其振幅随温度降低而减小。在 1.75 K 时,这 些振荡较弱,并且出现了较高频率的小幅振荡。这与 Lifshitz-Kosevich 理论不 一致,并表明费米面重建。振荡光谱的温度演变在数据振荡部分的傅里叶分析 中可见。

为了更深入地了解霍尔效应的这种突然变化和量子振荡光谱的演变,研究 人员用数字模拟了态密度的量子振荡。这些计算表明,内平面的费米面重构是 从 AFM 态 (空穴袋) 到双轴 CDW (电子袋)。该工作的一个显著意义是, AFM 和 CDW 相互竞争,因为它们共享相同的费米面"热点"。这种巧合是自 旋费米子模型的一个关键特征,在该模型中,电荷序由临界自旋波动介导,并 支持铜酸盐中磁介导的配对相互作用。



Cite: <u>V. Oliviero, et al. npj Quantum Mater. 9, 75 (2024)</u> 装置: 脉冲磁体 (法国)



#### • 拉伸和压缩--极端条件下的量子材料

量子材料通常对其物理环境的微妙变化表现出非凡的敏感性,这种特性可 以解锁新功能并推动创新应用。其中一个关键现象是磁弹电阻,当材料被拉伸 或压缩时,材料在磁场中的电阻会发生变化。荷兰强磁场用户对 ZrSiSe 材料进 行了研究,他们的发现为量子材料如何对单轴应变做出反应提供了新的见解。 近年来,使用单轴应变已被证明是探索各种量子材料(包括超导体和窄带隙材 料)中新现象的有力方法。单轴应变的一个主要优点是它可以连续变化,而且 与化学掺杂不同,它不会在被研究材料中引入额外的无序。

在该文中,研究人员探索了量子材料在强磁场下可能表现出的两个关键特性:磁阻(材料电阻的变化)和 SdH 量子振荡。实验发现,即使是很小的拉伸 (0.27%)也会导致材料在磁场中的电阻发生显著变化(7%)。分析表明,这 种效应主要是由电荷在材料中移动的难易程度所驱动的,而这种移动性的变化 与所施加的应变成正比。



![](_page_10_Picture_1.jpeg)

此外,研究人员还利用 SdH 振荡深入了解费米面的变化和准粒子的行为。 这种方法揭示了材料电子结构的更多细节,特别是位于不同电子和空穴中的准 粒子如何对应变和磁场做出反应。这些发现不仅证明了如何精确控制、描述和 理解 ZrSiSe 在单轴应变下的电子特性,而且突出表明单轴应变与强磁场的结合 是研究量子材料的有力工具。

Cite: J. F. Linnartz, et al. npj Quantum Mater. 9, 63 (2024)

装置:水冷磁体(荷兰)

### 3. 日本强磁场实验室

![](_page_10_Figure_6.jpeg)

#### ● 自旋 1/2 完美 Kagome 反铁磁体中演生的自旋间隙磁化平台

人们认为二维自旋 1/2 kagome Heisenberg 反铁磁体含有无磁序的量子 自旋液体 (QSL) 态,但其基态在很大程度上仍然难以捉摸。一个重要的悬而 未决的问题涉及 1/9 磁化平台的存在与否,在这个平台上有望出现奇异的量子 态。该文报告了最近发现的 QSL 候选材料 YCu<sub>3</sub>(OH)<sub>6.5</sub>Br<sub>2.5</sub>在 57 T 以下的磁化 情况。在 50 T 以上,在 Cu<sup>2+</sup>离子饱和磁矩的 1/3 处观察到一个明显的磁化平

![](_page_11_Picture_1.jpeg)

台, 证明这种材料为 kagome Heisenberg 反铁磁体提供了一个理想的体系。 值得注意的是, 20 T 附近还发现了另一个磁化平台, 这就是 1/9 平台。该平台 的温度依赖性揭示了自旋间隙的存在。对 1/9 和 1/3 平台的观察凸显了量子自 旋系统中演生的新态。

*Cite: <u>S. Suetsugu, et al. Phys. Rev. Lett. 132, 226701 (2024)</u> 装置: 脉冲磁体* 

#### • 电子掺杂 kagome 磁体 Mn<sub>3</sub>Sn 中的非共面磁相和反常霍尔效应

由于 kagome 晶格中的几何阻挫, Mn<sub>3</sub>Sn 显示出 120° 的面内三角形反铁 磁序,这是海森堡模型中交换相互作用的一种表现形式。该文展示了在电子掺 杂的 Mn<sub>3</sub>Sn 样品中通过高阶交换相互作用稳定形成的可调非共面磁基态。密度 泛函理论计算显示,高阶交换诱导了锰磁矩的部分面外排列,从而形成了一种 倾斜的磁态,中子衍射研究以及 60 T 下的磁性和霍尔电阻率测量进一步证实了 这一点。有趣的是,我们发现大标量自旋手性诱导的霍尔信号取决于锰磁矩的 非共面程度。此外,该文还展示了同时调控系统中的双分量序参量,使得两个 霍尔信号可以独立调控。

![](_page_11_Figure_6.jpeg)

![](_page_12_Picture_1.jpeg)

### 4. 武汉脉冲强磁场实验室

#### • 石墨的高场相变

1985 年, Nozières 和 Schmitt-Rink 指出强耦合极限(激子或库珀对的 Bose-Einstein condensation,即 BEC)到弱耦合极限(Bardeen-Cooper-Schrieffer,即 BCS)之间的过渡是平滑的[J. Low Temp. Phys.59, 195 (1985)]。 石墨是典型的补偿型半金属材料,其载流子浓度在低温下约为 3×10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup>,约 7.5T 磁场就能使整个系统进入量子极限,是研究强关联电子系统的理想材料。 朱增伟教授团队的前期研究丰富了石墨在低温强磁场下的相图[Phys. Rev. X 9, 011058(2019)],证实在石墨中有一个临界温度和一个临界磁场的激子的玻色-爱因斯坦凝聚[PNAS 117, 30215(2019)]。

此次,团队利用高达 1.7GPa 的静水压,研究了第一个穹顶(低于 60T 强 磁场的 A 相)的演化。研究发现,随着压力的增加,相位边界向更高的磁场移 动,但最大临界温度却保持不变。低场实验表明,压力增强了空穴和电子载流 子的密度和有效质量,但低磁场相边界却保持鲁棒的 BCS 行为。在 BCS-BEC 渡越区,穹顶的强耦合峰值处,由于层间 BCS 相干长度接近层间距离,但是层 间距离随压力变化很小,这是最大临界温度保持不变的原因。因此,BCS-BEC 渡越是可通过磁场和压力进行调节,但峰值是锁定的在穹顶的弱耦合边界。该 研究也揭示了一种新的机制:磁场或压力通过改变费米能级处的态密度(DOS) 来驱动 BCS-BEC 渡越,这与过去通过调节配对相互作用或粒子密度来实现渡越

![](_page_13_Picture_1.jpeg)

#### 的传统方法有所不同。

![](_page_13_Figure_3.jpeg)

Cite: Yuhao Ye et al. Nature Comm. 15, 9794 (2024)

装置:脉冲磁体

#### ● 装置用户揭示高温 Kagome 亚铁磁体的非平庸电子结构和费米拓扑

随着拓扑学的发展和引入,凝聚态物理领域也掀起对具有量子化电磁输运 现象拓扑材料的研究热潮。理论上具有 Kagome 结构的磁性拓扑材料,由于其 特有的共享顶角的三角结构带来的几何阻挫,使其具有丰富拓扑磁电性质。高 温 Kagome 磁性拓扑材料大多具有非常复杂的磁结构与磁相变,并且不同磁态 下其表现出的电输运性质也相当丰富,例如拓扑霍尔效应、反常能斯特效应等。 其中 RMn<sub>6</sub>Sn<sub>6</sub> 体系材料 (R 为稀土族元素)中出现的各种新奇输运行为都预示 着其作为研究量子拓扑效应平台的潜力,其丰富的磁性态可以成为调控诱导更 多拓扑态的重要工具,体系中的各种电磁输运行为将为下一代信息技术革新提 供更多的功能及材料候选。

该研究通过量子振荡效应中的 Shubnikov-de Haas 振荡 (SdH 效应) 测

13

![](_page_14_Picture_1.jpeg)

量,并结合第一性原理 (DFT) 计算,系统解析了高温层状 Kagome 磁体 HoMn<sub>6</sub>Sn<sub>6</sub>的非平庸电子性质。在58T 脉冲强磁场下观察到显著的 SdH 振荡, 揭示出该高温亚铁磁体具有 0.37 m<sup>2</sup>·V<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>的高量子迁移率。在低温下观察到 的多频率量子振荡表现出复杂的角度依赖性,与 DFT 计算结果一致,表明其复 杂的费米面拓扑结构由三个三维空穴型费米面和两个电子型费米面组成。量子 振荡中观察到的 Berry 相位的π相移揭示了 HoMn<sub>6</sub>Sn<sub>6</sub> 的非平庸拓扑性质,这 一特性进一步通过 DFT 计算得到的狄拉克费米子和较大的反常霍尔导电率得到 验证。

![](_page_14_Figure_3.jpeg)

Cite: Bin Wang et al. Nano Lett. 24, 16031–16038 (2024)

装置:脉冲磁体

#### • S=1 螺旋链化合物的磁有序转变

![](_page_15_Picture_1.jpeg)

量子磁性材料具有明显的量子涨落但最终仍可能呈现出长程磁有序。该工作中,研究团队报道了 S=1 螺旋链单晶 CaNi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>O<sub>8</sub>Cl<sub>2</sub>。该化合物具有单斜晶系结构(空间群 P21/n),沿易磁化轴的磁化率在 T<sub>max</sub>=11.41(5)K (a\*轴)和11.27(5)K (b 轴)处呈现出宽的最大值,随后在 T<sub>N</sub>= 9.08(5)K (a\*轴)和8.78(5)K (b 轴)处呈现出宽的最大值,随后在 T<sub>N</sub>= 9.08(5)K (a\*轴)和8.78(5)K (b 轴)处呈现出长程反铁磁有序,表明该材料发生了从一维量子无序向三维经典有序的转变。此外,比热数据表明,在温度高达~3T<sub>N</sub>仍存在一维无序或短程磁关联。通过密度泛函理论计算获得了两个链内耦合(-7.89K 和-6.95K)和一个平均的链间耦合(-3.56K),后者通过 Te 离子作为中介导致反铁磁有序的发生。温度-磁场相图暗示了磁场诱导的"有序-无序"转变的存在。

![](_page_15_Figure_3.jpeg)

为了解释 2D CsPbBr<sub>3</sub>纳米片中激子自旋极化增强的机理,与徐刚教授课题 组展开合作,利用 **k**•**p** 模型对 2D CsPbBr<sub>3</sub> 带边激子自旋极化进行了分析。计 算结果表明 2D 纳米片中 Rashba 能带会在磁场作用下在能量空间进一步劈裂, 利用跃迁矩阵元对圆偏振极化进行计算,理论计算得到圆偏振度与实验结果基 本一致。这表明 2D 纳米片中的 Rashba 效应对磁场下 PL 圆偏振度的增强起到 至关重要的作用。这项研究为深入理解强自旋轨道耦合效应下的自旋相关光学

![](_page_16_Picture_1.jpeg)

特性,开发基于 2D 钙钛矿的自旋光子器件奠定了坚实基础。 *Cite: <u>J. J. Cao et al. Phys. Rev. B 110, 134429 (2024)</u> 装置:脉冲磁体* 

#### • 装置用户发现具有高发光效率的磁性锰卤化物

过渡金属离子电子自旋间的相互作用可以影响其材料发光性质,是一种新 调控策略,在照明显示用发光材料、自旋-光子学具有潜在应用。早期在 Mn<sup>2+</sup> 掺杂的半导体材料中证实光可以诱导材料激子自发磁化,进而调控半导体中激 子和 Mn<sup>2+</sup>的光致发光行为。近年研究表明 Mn<sup>2+</sup>-Mn<sup>2+</sup>自旋交换作用可以有效 缩短 Mn<sup>2+</sup>的发光寿命,可缓解 Mn<sup>2+</sup>掺杂发光材料在高通量密度光子激发下的 发光饱和现象。同时, Mn<sup>2+</sup>-Mn<sup>2+</sup>自旋交换作用要求较高 Mn<sup>2+</sup>掺杂浓度和较 短的 Mn<sup>2+</sup>离子间距,这使得激发光能量易于迁移至猝灭中心导致 Mn<sup>2+</sup>发光猝 灭,严重阻碍了这类材料的应用。

有鉴于此,本论文通过变温光致发光和磁光光谱阐明了含一维 MnCl<sub>6</sub> 链的 金属卤化物杂化材料(CH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>NMnCl<sub>3</sub>(TMMC)中自旋有序排列对激发光能量迁移 的影响。该研究以具有孤立[Mn<sub>3</sub>Cl<sub>12</sub>]<sup>6-</sup>三聚体的(CH<sub>6</sub>N<sub>3</sub>)<sub>2</sub>MnCl<sub>4</sub>(GUA)和掺 Cd<sup>2+</sup>的 TMMC 为参照组,揭示 Mn<sup>2+</sup>自旋反铁磁有序排列对 Mn<sup>2+</sup>离子间能量 迁移具有明显的抑制作用,可以减少 Mn<sup>2+</sup>的无辐射跃迁损耗,提高材料发光效 率。实验表明 TMMC 在约 55K 发生反铁磁自旋有序转变。强自旋交换作用所 产生的内磁场使 TMMC 在低于 55K 下发生自发磁化,此过程在 Mn<sup>2+</sup>发光行为 中表现为发光峰位在自发磁化温区内不发生红移,即发生磁饱和。0-42T 磁光 光谱显示这种有序的自旋排列显著地影响 Mn<sup>2+</sup>发射能级及其辐射跃迁速率。结

![](_page_17_Picture_1.jpeg)

果表明自旋长程有序有效地抑制了 Mn<sup>2+</sup>离子之间的能量迁移,降低非辐射跃迁 损失,使 TMMC 表现出良好的发光热稳定性,即使在室温下仍保持高达 94% 的量子产率。本研究为开发用于光电器件和自旋-光子学领域的高性能 Mn<sup>2+</sup>发 光材料提供一种新策略,并为操控这些材料中的自旋与能量迁移提供一些参考。

![](_page_17_Figure_3.jpeg)

Cite: Xinglu Zhu et al. Angew. Chem. Int. Ed. online (2024)

装置:脉冲磁体

### 5. 合肥稳态强磁场实验室

● SHMFF 助力发现新反常霍尔效应产生机制

时间反演对称性破缺的磁性材料中,本征反常霍尔电导由非零的贝里曲率

![](_page_18_Picture_1.jpeg)

产生,通常正比于磁化强度,因此反铁磁材料中一般不表现出反常霍尔效应。 但是,当反铁磁材料具有非共线磁结构时,也会产生非零的贝利曲率,从而表 现出反常霍尔效应,如近几年广泛研究的非共线反铁磁材料 Mn<sub>3</sub>Sn,在室温下 表现出与很多铁磁材料相比拟的大于 100 S cm<sup>-1</sup>的反常霍尔电导。另一方面, 本征反常霍尔效应因为与贝利曲率相联系,具有很高的可控性,因此成为下一 代自旋电子学应用的重要选择。

![](_page_18_Figure_3.jpeg)

在该研究中,为了确认 EuAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> 的非平庸拓扑性,研究团队利用 SHMFF 水冷磁体 WM5 开展了磁输运测量,揭示在 2 K 及 31 T 磁场下该材料表现出 1.37×10<sup>3</sup>%的不饱和磁阻。而当磁场大于 4 T 时,Eu<sup>2+</sup>磁矩沿着外磁场方向完 全自旋极化后则表现出明显的磁阻量子振荡。对量子振荡数据分析表明了非平 庸拓扑态的存在。与宁波材料研究所钟志诚团队,中国科学技术大学沈大伟团

![](_page_19_Picture_1.jpeg)

队合作利用自旋极化态能带计算及角分辨光电子能谱测量,进一步证明了该材料的非平庸拓扑性质,并发现自旋极化外尔态的外尔点在费米能级以下仅 57 meV 处。

Cite: Wei Xia et al. Phys. Rev. Lett. 133, 216602 (2024)

装置:水冷磁体

#### ● SHMFF 用户在高迁移率二维半导体中观测到分数量子霍尔效应

寻找实现高迁移率二维半导体的方法或材料体系并观测其中如量子霍尔态 等物理效应,是凝聚态物理以及纳米电子学的重要研究方向之一。量子霍尔效 应首次在量子阱二维电子气中被发现已逾40年,但可实现量子霍尔,尤其是分 数量子霍尔效应的二维电子体系依然非常有限。其中,高迁移率二维本征半导 体的分数量子霍尔态在电输运上尤为难以实现,主要瓶颈在于获得较低载流子 浓度欧姆接触极具挑战。

该研究团队将硫化钼少层晶体在手套箱中用氮化硼进行封装,其中顶部氮 化硼薄层采用预图案化的二维微米尺寸窗口进行铋电极热蒸发接触。所得器件 在较低载流子浓度即可具有全温区(毫开尔文至室温)欧姆接触和高迁移率。 在 SHMFF 34 T 水冷磁体下,利用低噪声极低温输运实验测试系统,观测到填 充系数 niu=1 的量子极限和<sup>3</sup>/<sub>5</sub>、<sup>4</sup>/<sub>5</sub>填充的分数量子化横向电导平台。这是目前 能够通过电输运(非拓扑平带体系)观测到分数量子霍尔效应的首个二维本征 带隙 n 型半导体材料。实验结果为基于二维半导体的低温高迁移率电子晶体管 (HEMT)、低温放大器等纳米电子学器件提供了可能方案。

### 强磁场科研动态 2024Q4

![](_page_20_Picture_1.jpeg)

![](_page_20_Figure_2.jpeg)

Cite: Siwen Zhao et al. Nature Electr. 7, 1117–1125 (2024)

装置:水冷磁体