



中国材料大会 2025

暨新材料科研仪器与设备展

7月5-8日, 2025

福建 厦门

D44-量子材料

D44-Quantum Materials

主办单位

中国材料研究学会

会议网址: <https://cmc2025.scimeeting.cn>



D44 量子材料

分会主席：俞大鹏、廖志敏、周杨波、付学文、倪莹

D44-01

晶体旋转对称性导致的自旋输运现象

夏钊

东南大学

反常霍尔效应通常被认为磁性材料中注入电流对自旋轨道相互作用的直接响应，霍尔电压处于垂直磁矩的方向。在有效质量近似下，反常霍尔效应的理论研究取得了极大成功。

本文采用基于散射波函数的第一性原理方法，研究了磁性-正常金属界面的反常霍尔效应，发现晶体对旋转对称性的破坏给出了平行于磁矩的霍尔电流，进一步的研究表明，这一结果与八极矩在某些晶体结构中恰好一致。基于类似原因，界面相关的自旋流也出现了非平凡的结果。

D44-02

量子材料性质分析与模拟软件包 PASP

向红军

复旦大学

磁性、铁电性和多铁性等量子材料在现代信息技术领域具有重要应用价值，本报告聚焦于这些材料系统的理论计算研究，介绍我们开发的材料性质分析与模拟软件包 PASP，该程序集成了对称性群论分析、有效哈密顿量方法、蒙特卡洛模拟、分子动力学（含自旋-晶格动力学）、机器学习方法等功能；在磁性材料研究中，我们发现二维体系可能存在特殊的 Kitaev 相互作用和强高阶磁性相互作用；在铁电性研究方面，我们建立了堆叠铁电性的一般性理论，突破铁电一定具有极性点群的传统认识提出了分数量子铁电性这一创新概念；对于多铁材料，我们建立了自旋序诱导铁电性的普适模型，成功澄清了多个体系中多铁性起源的长期争议，相关理论预测已得到实验证实。这些研究不仅拓展了基础物理认知，也为新型量子材料的设计与应用提供了理论指导。

D44-03

锗空穴量子比特材料设计

骆军委

中国科学院半导体研究所

兼容硅 CMOS 工艺的硅基量子计算将是后摩尔时代的重要技术路线，是实现大规模集成的通用量子计算机最佳平台，两个量子比特保真度已经实现容错所需的 99% 以上，Intel 和 IBM 等半导体巨头都已加入竞争行列。在此报告中将主要介绍我们发现锗等半导体量子阱的二维空穴气存在新型线性 Rashba 效应，改变了公认的三次方项理论，并揭示该线性 Rashba 效应是 Nature 报道平面锗空穴量子比特实现全电 EDSR 快速操控的物理根源。发现从[001]取向到[110]取向的锗量子阱其线性 Rashba 自旋轨道耦合效应强度可提升约 50 倍，受此启发，提出使用 CMOS 工艺的应变硅技术，让(100)取向的锗二维量子阱获得[110]方向的单轴应变，将二维空穴气线性 Rashba 效应提高 2 个数量级，把锗空穴量子比特的操控速度提升至史无前例的 40 GHz，超越所有量子比特平台。

D44-04

二维转角材料中的莫尔拓扑和莫尔磁性

陈岚

中国科学院物理研究所

二维范德华材料层间堆垛扭转角度的不同导致莫尔超晶格的出现，可以诱发生多种新型关联现象，包括超导性、铁磁性、莫特绝缘体、陈绝缘体、维格纳晶体等，展示了一个全新的、快速发展的研究领域——“转角电子学”，使得层间扭转角度成为调控少层二维材料的全新自由度。在本报告中我将介绍两个最新进展，通过控制二维材料堆垛扭转角度分别实现了二维量子自旋霍尔绝缘体和层内一维莫尔磁序。

第一个例子是构建了转角双层二维范德华半导体 InSe ，我们发现其形成了具有独特 p 轨道对称性的三角形莫尔超晶格。通过利用第一性原理计算和对称性分析，发现能带表现出 Z_2 拓扑金属态的非平凡拓扑特性。扫描隧道显微镜 (STM) 实验在转角双层 InSe 的莫尔畴界上发现了与 Z_2 拓扑金属态相关的拓扑边界态，而这些边界态在未扭转的双层中不存在。该工作为构建具有新型时间反转变拓扑相的转角二维半导体开辟了可能性，并推动了莫尔超晶格和转角电子学领域的发展。

第二个例子是在 $\text{Au}(111)$ 衬底上制备的单层 CrBr_2 ，该体系为一维链状结构，同时拥有周期为 1.44nm 的莫尔超晶格。通常转角堆垛的磁性二维材料中由二维莫尔超晶格诱导的磁有序态，由于弱的层间磁性相互作用导致磁畴尺寸通常在几十至数百纳米范围内，使得二维莫尔磁性难以在原子尺度上实现精准调控。而在 $\text{CrBr}_2/\text{Au}(111)$ 体系中， Cr 离子间的自旋相互作用依赖于 Cr-Cr 间距，可通过莫尔超晶格实现精确周期性调控原子间距，从而导致一种新型铁磁-反铁磁二聚体交替的八自旋一维莫尔磁序。理论计算和蒙特卡洛模拟进一步证实了由此为层内自旋相互作用主导的一维莫尔磁性。更进一步，在外加磁场作用下，我们成功实现了对此一维莫尔磁序在原子尺度上的调控，将其转变为三平行一反平行的四自旋磁序。

D44-05**面向 AI 时代的二维材料与器件**

王欣然

南京大学，苏州实验室

AI 时代的可持续性发展需要全新的高能效底层计算硬件。二维半导体材料具有超薄极限的沟道厚度和低温后端异质集成等特点，是延续摩尔定律的终极路线，也是我国实现集成电路技术突围的路径之一。本报告将围绕硅基融合的 AI 芯片这一目标，介绍团队在二维半导体单晶外延制备、高性能晶体管器件、以及 AI 类脑芯片方面的进展，梳理领域未来发展趋势和挑战，并介绍南京大学和苏州实验室在该方向的布局。

D44-06**二维材料：从石墨烯到 MoSi_2N_4 体系**

任文才

中国科学院金属研究所

以石墨烯为代表的二维材料具有多种独特的物理化学性质，为电子信息、新能源等领域的发展提供了新的机遇。如何实现二维材料的控制制备和应用，特别是发现二维极限下的新材料、新物性和新应用，是二维材料领域的重要挑战。报告将介绍团队自 2007 年以来针对上述挑战取得的主要进展：（1）发展了石墨烯的制备理论和方法，控制制备出高质量石墨烯单晶、薄膜、三维网络以及氧化石墨烯等材料；（2）提出了悬键配位创制二维材料的思路，开拓出二维 MoSi_2N_4 材料新体系，开辟了二维材料研究新方向；（3）开发了二维材料电子信息、新能源应用技术，研制出高性能石墨烯热管理材料应用于多个重点工程和领域。

D44-07**铋基二维量子材料的制备与界面调控**

彭海琳

北京大学

本报告将重点介绍课题组创制的高迁移率铋基二维半导体、高 κ （介电常数）原生氧化物栅介质以及外延界面异质集成方面的研究进展。新型二维铋基半导体氧化铋 $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{Se}$ 不仅具有超高迁移率、合适带隙、环境稳定，可与高 κ 自然氧化物 Bi_2SeO_5 栅介质形成高质量异质界面等独特材料优势，含铋重元素二维体系还具有很强的自旋轨道耦合和 $6S_2$ 孤对电子效应，能产生铁电、自旋极化和新奇量子态，有望构筑下一代高速低功耗电子及自旋器件。我们率先开发了超高迁移率二维半导体 $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{Se}$ 和高 κ 栅介电层 Bi_2SeO_5 ，实现了晶圆级二维半导体单晶制备和界面调控，构筑了高性能场效应晶体管、逻辑门器件、光电器件、偶数量子霍尔效应器件及首例外延高 κ 栅介质集成型二维鳍式晶体管和二维环栅晶体管，为未来高性能芯片的发展提供了一种可能的材料选择。

D44-08**面向物理计算的二维材料研究**

缪峰

南京大学

计算能力的持续突破是推动社会发展的核心驱动力。然而，随着晶体管集成度逼近物理极限，传统计算硬件的算力增长已显著放缓，难以满足人工智能时代对数据处理能力的指数级需求。这一瓶颈迫切要求我们突破传统计算范式，探索全新的信息处理机制。

区别于依赖抽象符号表征的经典数字计算，物理计算（Physical Computing）通过材料本征的物理效应在器件层面直接实现信息处理，为算力的持续提升提供了革命性路径。其中，二维材料凭借其原子级厚度和独特的外场调控特性，成为实现高效物理计算的理想载体。

本报告将系统阐述二维材料如何为新型物理计算开辟突破性方向：首先介绍在石墨烯莫尔体系中发现的维格纳晶体与铁电性，探讨如何利用这些特性构建固态量子模拟器【1】、莫尔突触晶体管和抗噪声类脑计算器件【2-3】；其次阐述如何通过调控二维材料范德华异质结（“原子乐高”）界面势垒，实现类脑视觉传感器【4-6】、视觉运动感知机【7】以及传感器内动态计算【8】；最后，结合上述创新器件，将展示我们在探索新型物理计算方案方面的初步成果【9-10】，并探讨该领域的前沿发展趋势。

D44-09**新型碳材料结构搜索与性质调控**

倪堃

中国科学技术大学

新型碳材料研究的发展面临着结构特征及界面性质难以精确调控的挑战。报告人针对该问题研究取得了系列创新成果：（1）利用神经网络势函数方法实现富勒烯衍生碳结构的百万量级结构搜索及势能面描绘，效率相比密度泛函理论方法提升三个数量级，并首次提出电荷注入作为一种普适的碳结构调控手段；（2）发现石墨烯层间界面作用为热电子弛豫提供了新通道，阐明了扭转角和压力对电子结构的协同调控机制；（3）利用石墨烯模型探索了离子与碳之间的相互作用过程，并构建了孔隙梯度结构和离子存储性能之间的多尺度构效关系。报告人的一系列工作为新型纳米碳材料的结构设计及性质研究提供了更广阔的空间。报告人作为（共同）第一作者或（共同）通讯作者，在 *Nature*、*Adv. Mater.* (6 篇)、*Phys. Rev. Lett.*、*Adv. Funct. Mater.* (3 篇) 等期刊发表论文 30 余篇，共被引用 1600 余次。报告人未来将进一步聚焦新型碳材料构效关系调控，发展“按需生构”的结构设计新范式，为碳材料领域开拓更广阔的发展空间。

D44-10**Nonlinear Hall effect in altermagnets**

宋成
清华大学

Altermagnets are characterized by non-relativistic alternating spin splitting in the band structure and collinear compensated magnetic moments in real space.[1,2] Besides the direct detection of the altermagnetic spin splitting band, the observation of altermagnetic spin-splitting torque and anomalous Hall/Nernst effect, as well as fine domain characterization were used to characterize altermagnets. Identifying distinct fingerprints of altermagnets is an ongoing and important task.

In this talk, I will present key fingerprints and experimental progress of altermagnets. I will begin with the observation of spin splitting torque in the altermagnet RuO_2 , which serves as a clear fingerprint of altermagnetism and provides a unique opportunity for the non-relativistic generation of pure spin current.[3,4] Based on a universal asymmetric energy barrier model, the deterministic 180° switching of the Néel vector in Mn_5Si_3 was achieved[5]. Furthermore, we show the manipulation of the altermagnetic order in CrSb via crystal symmetry, where the relative direction between the current-induced spin polarization and DM vector determines the switching modes of altermagnetic order[6]. Finally, I will introduce two types of nonlinear Hall effect (NLHE) in altermagnets: the magnetic NLHE (MNLHE) in Mn_5Si_3 and third-order NLHE (TNLHE) in RuO_2 .[7,8] MNLHE is characterized by a quadratic Hall conductivity dependence on magnetic field. This finding relies on an altermagnet, Mn_5Si_3 thin film, whose alternating-sign Berry curvatures ensure higher-order MNLHE clearly distinguishable from the first-order AHE. MNLHE is non-analytic, as reversing the magnetic field flips the alternating spin-splitting bands and reverses the hopping chirality, which is absent in traditional NLHE. TNLHE is characterized by a cubic dependence of Hall voltage and current. TNLHE shows strong crystal orientation dependence, as it can only emerge when the experimental setup breaks all relevant mirror symmetries. Beyond offering distinctive transport fingerprints, NLHE opens up new opportunities for altermagnets in both fundamental research and engineering applications.

[1] C. Song, et al. Nat. Rev. Mater. DOI: 10.1038/s41578-025-00779-1 (2025).

[2] L. Šmejkal, et al. Phys. Rev. X. 12, 040501 (2022).

[3] H. Bai, et al. Phys. Rev. Lett. 128, 197202 (2022).

[4] H. Bai, et al. Phys. Rev. Lett. 130, 216701 (2023).

[5] L. Han, et al. Sci. Adv. 10, eadn0479 (2024).

[6] Z. Y. Zhou, et al. Nature, 638, 645 (2025).

[7] L. Han, et al. arXiv:2502.04920 (2025).

[8] R. Y. Chu, et al. submitted.

D44-11**单层和双层二维材料中的笼目晶格电子态**

季威
中国人民大学

本报告将介绍利用缺陷构筑笼目(kagome)结构的策略。首先, 报告将展示基于密度泛函理论计算预测的一系列 MoTe_{2-x} 笼目结构单层材料。在缺 Te 条件下, MoTe_2 单层中通过共享 Te 原子线形成镜面孪晶边界 (MTBs), 这些 MTBs 可组装为有序排列、且尺寸均一的三角形阵列, 呈现多样化的笼目晶格[1]。计算表明, MTB 三角形环可在 MoTe_2 单层的本征带隙内诱导至少两组笼目平带。其中, 实验已成功合成的 Mo_5Te_8 单层[2], 一种着色三角形晶格。更有趣的是, 在手性笼目晶格 $\text{Mo}_{33}\text{Te}_{56}$ 中, 部分填充的平带和/或狄拉克态会引发铁磁性及关联电子态[3]。此外, 报告将进一步展示一种基于缺陷工程的“1+3”策略,

用于由 1T 相的 MO_2 (M 为过渡金属) 单层, 构筑新型笼目结构氧化物单层材料的理论进展[4]。最后报告将介绍利用面内梯度应变在双层非转角石墨烯中构造的笼目电子态[5]。

参考文献

- [1] Dai, J; et. al. arXiv:2408.14285 (2024).
- [2] Lei, L.; et. al. Nature Communi. 14, 6320 (2023).
- [3] Pan, Z.; et. al. Nature Communi. 16, 3084 (2025).
- [4] Wang, R.; et. al. Chin. Phys. B 34, 046801 (2024).
- [5] Liu, Z.; et. al. arXiv: 2311.17615v2 (2025).

D44-12

Artificial symmetry design for strongly correlated oxides

张金星
北京师范大学

Over the past decade, we have developed universal strategies (e.g. graded/varying strain, surface/interfacial chemistry, non-equivalent superlattice) to artificially control materials' symmetry and symmetry break for the emergent phenomena and functionalities, such as magnetoelectric phase transition or topological spin textures, etc. In this presentation, I will share with you one strategy for the symmetry design that can be extended into a broad variety of materials. We discover that space-inversion symmetry can be broken and accompanying "hybrid" Dzyaloshinskii-Moriya interaction can be driven by a graded strain in a correlated oxides, $(\text{La,Sr})\text{MnO}_3$. Such a symmetry design in this centrosymmetric ferromagnet results in the stabilization of multiple topological spin textures (skyrmions and spirals) at room temperature [1]. By further engineering the electronic and spin structures simultaneously, we observe that a chiral magnonic edge state can efficiently propagate through the spiral nanochannels of $(\text{La,Sr})\text{MnO}_3$ with a low magnetic damping at room temperature. The selective control of spin-wave propagation prospects the potentials for fabricating nanoscale magnonics devices [2].

参考文献

- [1] Y. Zhang et al., Strain-Driven Dzyaloshinskii-Moriya Interaction for Room-Temperature Magnetic Skyrmions, Physical Review Letters 127, 117204 (2021);
- [2] Y. Zhang et al., Switchable long-distance propagation of chiral magnonic edge states, Nature Materials 24, 69-75 (2025);

D44-13

Beyond altermagnetism: Unconventional magnetism

刘奇航
南方科技大学

With the advancement of antiferromagnetic (AFM) spintronics, magnetic materials with diverse magnetic structures have garnered widespread attention. Of particular interest are "unconventional magnets", which simultaneously exhibit AFM configurations while displaying properties reminiscent of ferromagnets (FMs). Exemplified by altermagnets, unconventional magnets promise to combine the advantages of both FM and AFM materials, offering, e.g., high storage capacity, low power consumption, electrical manipulation, and ultrafast dynamics. In this talk, we start with symmetry theory describing magnetic geometry—spin group theory—to discuss the symmetry design strategies and material pools for different facets of unconventional magnets, including spin splitting (altermagnets), anomalous Hall effect, multiferroicity, and topological magnons. We also introduce a homemade online program, FINDSPINGROUP (<https://findspingroup.com/>), which is applied to diagnose the symmetry classification of magnetic materials and related properties.

D44-14**Tescan ion Implantation tool**

Jeremie Silvent

泰思肯（中国）有限公司

本报告介绍了 TESCAN 两款专用于离子注入的聚焦离子束 Veloce 和 iVeloce 以及基于它们集成的确定性离子注入设备 QuiiN。并以高温辅助 FIB 离子注入法制备 NV 色心、SiV 色心等量子材料，和在不锈钢中进行氧离子注入为例，介绍了聚焦离子束离子注入法在量子科学和材料科学中的应用。

D44-15**量子研究中的纳米运动和纳米级位置传感**

丛君状

多场低温科技(北京)有限公司

量子研究的大部分场景和低温、高真空甚至和磁场紧密关联，研究手段中要大量使用极端环境下的原位运动控制技术。目前低温下原位精密运动主要以压电驱动为主，极端环境下的超精密运动主要挑战为低温磁场环境下原位的纳米级位置传感缺失，由此给低温高精度的重复定位和自动控制带来挑战。报告主要介绍了本团队在低温磁场等复杂环境下通过激光干涉技术，电容式位置传感等技术实现原位的纳米级重复定位精度，有望极大地提高有空间分辨需求的分析和测量手段的精度。

D44-16**超低温技术在量子科技中的应用及展望**

巢伟

中船鹏力（南京）超低温技术有限公司

主要汇报中船鹏力（南京）超低温技术有限公司在超低温技术和低温仪器国产化方面的研制进展，主要包括 GM 制冷机、脉管制冷机、稀释制冷机、液氦回收纯化液化系统、低温强磁场综合性测量系统、低温真空泵、稀有气体提取装置和低温恒温器等超低温设备在量子科技中的应用及展望。

D44-17**莫尔超晶格中莫特绝缘体相的动态成像研究**

邓时滨

南开大学

近期研究表明，由过渡金属硫族化合物(TMDC)所构筑的莫尔超晶格可以作为研究量子多体现象的良好平台。人们期待莫尔超晶格能够被用于探索量子模拟，这是对经典量子模拟体系，如光学晶格中捕获的超冷气体体系的有益补充。然而，当前已发表的工作主要围绕莫尔超晶格中激子-电子的稳态进行，对其相干性和动力学的研究还非常缺乏。为了填补这一空白，我们采用了瞬态荧光成像和瞬态反射成像方法对非平衡激子的相变过程进行研究。实验结果和理论模拟表明，莫尔激子之间的强长程偶极排斥使莫特绝缘体相的运动冻结了 70 纳秒，这一点与经典体系十分不同。而在电子-激子混合晶格中，偶极相互作用减弱，动力学冻结则明显减少。这些发现挑战了普遍的观念，即排斥力会分散粒子，而吸引力会将它们束缚起来。由于强烈的排斥力相互作用而观察到的冻结动力学现象是具有高度相干性的系统的特征，这一特征此前仅在超冷气体中被观测到。

D44-18

集成二维材料的室温太赫兹探测器

张凯

中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所

太赫兹波（定义频率为 0.1-10 THz）位于微波与红外波之间，具备分子指纹谱特征、高透射、高带宽等诸多优势，在生物医学、国家安全和大容量高速通信等领域具有广阔的应用前景，是各国竞相开发利用的重要频谱资源。太赫兹探测作为太赫兹核心技术之一，对于推动太赫兹系统的变革性发展与多场景应用具有重要意义。伴随着国防安全、大科学装置、智慧城市和大容量通信等领域对信息探测和智能感知的强烈需求，在以战略高性能及普适化应用为特点的 SWaP3（尺寸、质量、性能、功耗、成本）能力提升上凸显瓶颈。二维材料具有优于传统材料体系的内禀输运及光电性质，包括丰富的能带结构、非线性量子输运、易调控、高兼容集成等，成为太赫兹光电子的理想材料，为突破片上太赫兹探测关键技术与室温高性能探测难题提供了新契机。在本报告中我们从二维材料设计和输运性质等方面着手，开发了基于新型激子绝缘体和拓扑半金属的新型太赫兹光电器件并探究了其响应机制与高分辨成像应用，获得的进展包括（1）激子绝缘体相变增强型室温灵敏太赫兹探测；（2）II 型外尔费米子驱动的低功耗、高灵敏太赫兹探测；（3）弱局域化增强的太赫兹探测；（4）晶圆级无损化太赫兹阵列探测器及成像。

参考文献

1. Zhang K*, et al. Nat. Mater. 2023; 22(6): 717-724.
2. Zhang K*, et al. Nat. Commun. 2025; 16(1): 25.
3. Zhang K*, et al. IEEE Electron Device Lett. 2023, 44(4): 686-689.

D44-19

高迁移率拓扑绝缘体 β -Ag₂Te 中的新奇物理性质观测

吴金雄

南开大学

各向异性磁阻指的是材料的纵向电阻随着面内磁场与电流夹角变化而变化的一种材料本征性质，常见磁性材料中。目前，根据这种性质制成的各向异性磁阻传感器常被应用于地磁探测、航空航天等领域。然而现有基于单一材料的各向异性磁阻，譬如坡莫合金（Fe₈₀Ni₂₀）的室温各项异性磁阻较小（<2%），这大大限制了器件的探测灵敏度。因此，开发具有大的室温各向异性磁阻的材料意义重大。近期，我们在化学气相沉积（CVD）生长的拓扑绝缘体 β -Ag₂Te 中观测巨大的室温面内各向异性磁阻（-39% @ 9 T）及平面霍尔效应（520 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ ），这比目前几乎所有材料高 1~2 个数量级。通过理论计算，我们发现小的有效质量与低声速是其室温巨大各向异性磁阻的可能起源。此外，我们构筑了首个拓扑绝缘体强磁场、超灵敏角度传感器，其具有器件尺寸小、输出高（240 mV/V）且角度测量误差小（<1°）优势。此外，本报告还将简要介绍本课题组近期的其他工作，譬如首次在拓扑绝缘体中观测到栅压调制的拓扑相变，并构筑了首个拓扑相变晶体管。

D44-20

高压极端条件下的量子传感

刘刚钦

中国科学院物理研究所

基于金刚石氮空位(nitrogen-vacancy, NV) 中心的量子传感拥有探测灵敏度高、空间分辨率高等优势, 可在极其宽泛的条件下工作, 包括高压、低温、强磁等极端条件, 这为凝聚态物理、材料科学等领域前沿研究提供了独特的研究工具。面向高压极端条件的量子材料表征应用, 本报告主要介绍金刚石量子传感的工作原理和近期研究进展, 包括工作压强提升, 探测灵敏度提升, 高压下镍氧化物超导迈斯纳效应的直接测量等。

参考文献:

- (1) Junyan Wen, et al. Probing the Meissner effect in pressurized bilayer nickelate superconductors using diamond quantum sensors. arXiv: 2410.10275 (2024).
- (2) 刘刚钦. 极端条件下的金刚石自旋量子传感, 物理学报 71, 066101 (2022).

D44-21

 $\text{Eu}_2\text{CuM}_2\text{X}_3$ ($\text{M} = \text{Mn}, \text{Zn}; \text{X} = \text{P}, \text{As}$)层状交生结构的设计合成与物性研究王志成*¹, 陈西煜¹

1. 东南大学

近年来, 具有 CaAl_2Si_2 型结构的 EuM_2X_2 ($\text{M} = \text{Mn}, \text{Zn}, \text{Cd}; \text{X} = \text{P}, \text{As}$)和 SrPtSb 型结构的 EuCuX ($\text{X} = \text{P}, \text{As}$)两类层状化合物因展现出丰富的拓扑物态、复杂磁序以及非常规输运特性而备受关注。基于两类材料在晶体对称性和面内晶胞参数上的高度相似性, 我们通过沿晶体学 c 轴方向交替堆垛其结构基元 (block layer, 块层), 成功设计并合成了一系列新型层状交生化合物 $\text{Eu}_2\text{CuM}_2\text{X}_3$ ($\text{M} = \text{Mn}, \text{Zn}; \text{X} = \text{P}, \text{As}$)。该系列化合物的母体块层 EuM_2X_2 和 EuCuX 本身即具有多变的物性, 而交生结构进一步增强了磁性原子间相互作用的复杂度, 因而 $\text{Eu}_2\text{CuM}_2\text{X}_3$ 体系展现出包括多级磁相变、显著负磁阻效应等在内的丰富物理现象。本工作系统研究了三种典型化合物 $\text{Eu}_2\text{CuZn}_2\text{As}_3$ 、 $\text{Eu}_2\text{CuMn}_2\text{P}_3$ 和 $\text{Eu}_2\text{CuMn}_2\text{As}_3$ 的晶体结构、磁学及输运特性。在 $\text{Eu}_2\text{CuZn}_2\text{As}_3$ 中观测到 Eu 位的三重磁相变 (29.3 K, 18.7 K, 16.3 K), 此外其继承了 EuCuAs 的拓扑能带特征, 表现出显著的非线性反常霍尔效应。 $\text{Eu}_2\text{CuMn}_2\text{P}_3$ 同时展现出 Eu 位的多重反铁磁相变和 Mn 晶格的弱铁磁性。而 $\text{Eu}_2\text{CuMn}_2\text{As}_3$ 在霍尔效应测量中呈现出独特的多峰特征, 暗示可能存在非常规的载流子输运机制。本研究表明, 基于二维基元结构的交生策略不仅是探索新型层状材料的有效途径, 更为通过结构设计实现新颖物理现象的调控提供了创新范式。

D44-22**新型二维材料及异质结构的外延生长与物性研究**

王业亮
北京理工大学

The novel properties of graphene honeycomb structure have spurred tremendous interest in investigating other two-dimensional (2D) layered structures beyond graphene for nanodevices. In this talk, I will mentioned the fabrication and properties of several 2D materials such as silicene, antimonene, magnetic VSe₂, semiconducting PtSe₂, superconductor transition-metal-trichalcogenide HfTe₃, and charge density wave NbSe₂, as well as quantum properties for nanoelectronics and valleytronics will also be introduced. In addition, the stacking heterolayers for ultrahigh denisty information storage, Majorana bound states and quantum computing will be also presented. The precise structural configurations at atomic-resolution of these materials will also be introduced, based on the measurements by several advanced techniques like XPS, LEED, STM/STS, AFM and STEM.

D44-23**二维材料的外延构筑**

廖昭亮
中国科学技术大学

多外延生长的功能氧化物薄膜都存在死层效应，即其厚度小于一定的值时，其块体的功能会消失。死层的存在限制了功能薄膜的厚度。随着器件制程的不断缩小，对功能材料的尺寸也提出更高的要求。功能氧化物薄膜的极限厚度是多少，是否可以到达单个原胞尺寸？这些是迫切需要回答的问题。基于激光分子束外延原子级的材料精准制备能力，我们系统的探索了几种功能材料的功能薄膜极限问题。我们在铁磁金属 SrRuO₃ 以及半金属 SrIrO₃ 两种体系中都进行了系统的探索，研究了其性质与厚度之间的关系，以及各类调控方法对于功能的影响。通过大量样品的研究，我们成功在两种材料体系都实现了单原胞层功能性，即在 SrRuO₃ 和 SrIrO₃ 分别实现了单原胞层铁磁性和金属性。结合同步辐射谱学表征以及微观的球差校正 STEM 结构研究，我们揭示了其在单原胞极限下功能性存在的物理机制。

D44-24**AMX2: A New Family of Two-Dimensional Materials**

彭晶
中国科学技术大学

Non-van der Waals (non-vdW) two-dimensional (2D) materials, characterized by strong in-plane and interlayer covalent bonds, represent a new material paradigm in nanomaterial science. Unlike conventional vdW 2D materials (e.g., graphene, MoS₂), non-vdW systems exhibit unique surface chemistry, defect feature, and tunable electronic states, offering unprecedented opportunities in energy storage, catalysis, and quantum technologies. However, their synthesis remains challenging due to the absence of intrinsic cleavage planes, and their structure-property relationships are poorly understood compared to vdW counterparts. In this case, we try to addresses three critical gaps: (1) developing reliable synthesis strategies to overcome strong interlayer interactions, (2) uncovering atomic-level structural nature for surface/interface modulation, and (3) correlating structural motifs with emergent electrical transport behaviors.

D44-25**Controllable nonreciprocal transport in 2D quantum materials**

Song Peng

Nanyang Technological University

Conventional nonreciprocal electronic device, mostly semiconductor p-n junction, has been a cornerstone of modern electronics and optoelectronic technologies. With the emergence of cryogenic applications, for example quantum computing, similar nonreciprocal devices operating at low temperature is highly desired, because the semiconductor p-n junction is not going to work well at very low temperature. In this talk, I will present our recent research efforts in investigating nonreciprocal transport in 2D quantum materials, in which the nonreciprocity is an intrinsic material property, instead of interface effects. I will discuss in detail how the nonreciprocal properties can be actively controlled in various ways. Our results prove the versatile potential of utilizing novel physics in quantum materials to develop cryogenic nonreciprocal electronics.

D44-26**拓扑量子材料中的高阶非线性霍尔效应**

张帅

南京大学

在量子输运的研究中,非线性输运是探索材料性质的一种有效手段,可以反映出量子材料中的对称性、量子几何等性质。非线性霍尔效应作为非线性输运研究中的重要内容,受到了广泛的关注。前期,已经对低维量子材料中的二阶和三阶非线性霍尔效应开展了研究。但对于高阶的非线性霍尔效应,其研究还非常缺乏。我们在磁性拓扑绝缘体中观测到了高阶的非线性霍尔效应,这里呈现出的是奇数次的高阶非线性,其依次展现出三、五、七甚至更高的非线性霍尔效应。而在拓扑半金属中,我们则发现了偶数次的高阶非线性霍尔效应,这里观测到的是四阶非线性霍尔效应。理论分析指出,这里的高阶非线性霍尔效应与 Berry 曲率的多极子效应相关。

D44-27**界面热运输的原子尺度探测**

高鹏

北京大学

随着集成电路晶体管集成度持续提升，半导体器件功耗呈指数级增长，界面热运输能力已成为制约器件性能升级的关键瓶颈。由于界面热运输本质上由局域界面声子模式决定，发展具备纳米级空间分辨的界面声子探测技术，并实现温度场下界面模式动态演化的原位观测，成为突破当前困境的核心方向。

针对传统谱学技术难以兼顾高动量分辨与纳米级空间分辨的难题，我们创新性地基于扫描透射电子显微镜的非弹性电子散射机制，研发出“四维电子能量损失谱”技术；同时，结合自主设计的原位器件，开发了“纳米稳态热流法”。这两项技术突破实现了对单个纳米结构及异质结界面声子色散关系、振动谱投影态密度的精确测量，并创造了界面温度测量与声子演化原位表征的最高空间分辨率纪录，为原子尺度半导体界面热运输研究提供了革命性工具。

本报告将重点展示系列前沿研究成果：一是半导体异质结界面局域声子模式的增强与衰减对界面热导的调控机制；二是纳米尺度下半导体异质结热运输过程中的温度的直接测量，以及正反向热流中界面声子的非对称运输现象；三是缺陷、应力梯度等因素对半导体热输运行行为的影响规律。研究发现，半导体异质结界面模式与体模式存在强耦合作用，作为能量传递的中间态显著影响声子散射过程；在热运输中，界面模式倾向于与具有较高非平衡态的体模式耦合，有效缓解体系的非平衡程度。这些发现从原子尺度揭示了纳米器件微观结构对热导的影响机制，将为界面工程、缺陷工程和应变工程等提供理论指导，助力实现纳米尺度热运输性质的精准人工调控。

D44-28**从铌酸锂薄膜材料到大规模混合集成光量子芯片**

张加祥

中国科学院上海微系统与信息技术研究所

光量子芯片自 2008 年诞生发展至今，分别催生石英、硅和铌酸锂等诸多功能材料光子集成平台。过去短短十几年间，光量子芯片研究取得了许多重要突破和进展，已实现片上多光子量子态和各种复杂量子逻辑门制备、Shor 量子计算算法演示、芯片级量子密钥分发等；然而，光量子芯片的研究仍处于早期阶段，其研究的核心任务——大规模和扩展化应用，依旧任重道远。目前在光量子芯片领域研究存在普遍共识：单一材料无法实现所有功能器件集成，如高效率单光子源和高速可重构光子回路等等。为了实现未来通用光量子计算机（需要数百万个光量子比特）的变革性计算能力，最近人们越来越关注将全固态原子量子光源通过混合芯片构架方式集成到不具备光学增益的低损耗光子芯片上，以实现片上大规模和扩展化确定性单光子源的集成和量子互联。在所有固态量子材料当中，薄膜铌酸锂材料具有高电光系数、透光窗口宽、折射率和压电性能突出等重要物理属性，将其与固态原子材料结合（如自组装量子点）来制备混合构架集成光量子芯片可以解决当前大规模光量子芯片发展的核心瓶颈难题——片上多光子资源制备。

本报告将介绍基于铌酸锂薄膜量子材料的混合构架集成光量子芯片这一新兴领域发展状况，讨论片上铌酸锂薄膜材料在解决固态量子光源大规模扩展化发展存在的挑战，如高动态和超精细频率调控、微腔耦合、多光子互联等，以及针对这些技术重要应用潜力，介绍课题组近期在铌酸锂多材料多结构混合集成光量子芯片、构建具有面内局域场模式的混合腔量子电动力学系统、可扩展应用的混合微腔耦合量子点确定性单光子源、大规模混合集成光量子芯片等工作上的研究进展。

D44-29

Emergent Magnetic Skyrmions and Tunable Anomalous Hall Conductivity in a Topological Semimetal

李航

天津工业大学

Topological magnetic materials are expected to show multiple transport responses because of their unusual bulk electronic topology in momentum space and their topological spin texture in real space. However, such multiple topological properties-hosting materials are rare in nature. In this talk, we reveal the emergence of magnetic skyrmions in Mn_5Ge_3 single crystal through detailed electrical transport and Lorentz transmission electron microscopy (L-TEM) combined with ab initio calculations. First, we demonstrate that Mn_5Ge_3 is a topological ferromagnet with multiple nodal rings in its electronic structure. Second, our L-TEM experiments reveal that the magnetic skyrmions appear in the (001) plane when an appropriate magnetic field is applied along the [001] direction. Third, a large skyrmion-induced topological Hall resistivity up to $\sim 972 \text{ n}\Omega \text{ cm}$ is observed over a wide temperature-magnetic field region. Fourth, we find that the intrinsic anomalous Hall conductivity in Mn_5Ge_3 shows switchable anisotropy with magnetization moment along different axes, and a large intrinsic AHC of approximately $1053 \text{ }\Omega\text{-1cm}^{-1}$ is revealed when the current is along [120] and the magnetic field along [001]. These results suggest Mn_5Ge_3 as a rare magnetic topological nodal-ring semimetal with great significance to explore novel topological multifunctionality, which facilitate the development of spintronics.

D44-30

氧化物异质界面 Rashba 自旋轨道耦合与超导的结合

甘渝林^{1*}, 廖昭亮¹

1. 中国科学技术大学

Rashba 自旋轨道耦合 (RSOC) 与超导 (SC) 结合不仅拓宽了非常规超导的研究维度, 还为拓扑量子计算、低功耗电子器件提供了材料基础。其成功的研发与应用将突破传统半导体的发展瓶颈, 实现新型的量子器件来满足日益增长的高要求。目前, 基于 KTaO_3 强关联氧化物异质结界面二维电子系统 (2DES) 表现出优异的超导与自旋轨道耦合效应, 其耦合形成的 Rashba 超导具有实现拓扑超导、制备超导二极管的潜质。近期, 我们在 $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2/\text{KTaO}_3$ (110) 界面实现了 SC ($T_{c_mid}=0.62\text{K}$) 与强 RSOC 的耦合[1]。其 B_{so} 经光调控达到近 7 倍的增强 (从 1.9 T 到 12.6 T), 强度在世界上名列前茅。对更高超导温度与更强 RSOC 耦合的 $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2/\text{KTaO}_3$ (111) 界面 2DES 的研究发现, 超导态导致的弹性散射增强诱导了输运上更强的自旋轨道耦合散射, 其与自旋电子器件中自旋流与电荷流转换的效率密切相关。进一步的非互易电荷输运效应研究进一步观察到增强的自旋流与电荷流转换效率。同时, 非互易效应揭示了该 2DES 中典型的 Rashba 螺旋型自旋织构, 其可以用于研究有限动量配对的超导态, 扩宽对非常规超导体机制的研究与理解。我们的研究表明, $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2/\text{KTaO}_3$ 界面 2DES 具有研究拓扑超导与超导二极管效应的优异先决条件, 将促进低功耗高算力自旋电子器件、量子器件以及拓扑超导的研究。

参考文献:

[1] Y. Gan et al., Light-Induced Giant Rashba Spin-Orbit Coupling at Superconducting KTaO_3 (110) Heterointerfaces, *Adv. Mater.* 35, 2300582 (2023).

D44-31**磁诱导的高热电性能**周小元
重庆大学

基于 Seebeck/Peltier 效应的热电能源转换/热电致冷应用有助于能源利用效率的提升和双碳目标的达成，而高的热电性能是其中的关键。磁性拓扑半金属中磁与非平凡的能带之间的相互作用通常会带来大的横向热电效应，然而其半金属特征则往往带来较差的纵向热电性能。在本工作中，我们发现磁性外尔半金属 TbPtBi 可同时显示出大的横向热电性能及纵向热电性能：在 300K/13.5T 的条件下，其横向 Seebeck 系数与功率因子达 $214 \mu\text{V K}^{-1} / 35 \mu\text{W cm}^{-1} \text{K}^{-2}$ ，与传统的优秀纵向热电材料可比，其主要来源于双极化效应中电子/空穴的对横向 Seebeck 的共同贡献以及材料中大的霍尔角。该材料在 300K/13.5T 下也显示出较高的纵向磁热电性能，其纵向 Seebeck 系数及功率因子分别为 $251 \mu\text{V K}^{-1} / 24 \mu\text{W cm}^{-1} \text{K}^{-2}$ ，接近其零场下性能的两倍，主要源于该材料中非完美补偿的载流子。本工作展示了拓扑半金属在磁热电方面的巨大潜力。

D44-32**二维金属有机框架交错磁体的分子-对称性协同设计**吕海峰
中国科学技术大学

近年来，对称性工程在新型量子材料设计领域取得了重要突破，其中兼具自旋劈裂能带结构和共线补偿自旋排布特性的交错磁体 (Altermagnet) 尤为引人注目。这类材料凭借其独特的量子特性成为自旋电子学和谷电子学研究的理想载体。然而，目前实验报道的交错磁体几乎全部集中于无机材料体系，受限于其固有的结构刚性和调控难度，严重制约了该领域的发展。针对这一关键科学问题，本研究创新性地提出分子设计和对称性工程相结合，提出了基于二维金属有机框架 (Molecular Organic Framework, MOF) 的交错磁体设计策略。通过引入层空间群分析，我们成功构建了具有电控可调特性的双层金属有机框架交错磁体体系，实现了动量空间 \mathbf{K} 和 \mathbf{K}' 谷自旋极化方向的可逆调控。这种分子基交错磁体不仅解决了无机体系难以调控的难题，更展现出优异的自旋-能谷耦合特性，为开发新一代纳米尺度自旋电子器件和能谷器件提供了极具前景的材料平台。该研究突破了交错磁体研究的材料限制，发展了分子基量子磁性材料设计的新方向，对推动现代量子信息技术发展具有重要意义。

D44-33**块体材料中的滑移非常规二维超导电性**

郭艳峰

上海科技大学

晶体结构对称性对于晶体的物理性质起着重要作用。在天然或人工（比如引入滑移）破缺对称中心的超导体中，非常规超导通常会出现，当打破体系的时间反演对称，还有可能发现具有马约拉纳费米子的拓扑超导。因此探索非中心对称超导新材料是目前凝聚态物理研究领域一个重要且有相当挑战度的研究方向。本报告将介绍课题组最近通过滑移在块体材料中诱导非常规二维超导电性的研究进展。

D44-34**Sb₂Te₃单晶各向异性磁电阻及量子振荡研究**陈钟¹，徐明祥*²

1. 池州学院
2. 东南大学

近些年，拓扑绝缘体（TIs）因其独特的电子结构和新颖的物理性质而备受关注。在这项工作中，我们研究了拓扑材料 Sb₂Te₃ 的磁电阻（MR）和舒布尼科夫-德哈斯（SdH）振荡。研究发现，与角度相关的磁电阻表现出明显的各向异性。当磁场在 ab 面内旋转，在 2.5 K 和 9 T 时，最大磁电阻达到 220%。朗道能级扇形图表明，Sb₂Te₃ 具有非平庸的 Berry 相位。通过比较磁场在 bc 面和 ab 面旋转时测得的 SdH 振荡，我们发现振荡频率相近，且 Berry 相移非常小。第一性原理计算表明，Sb 空位的存在能够在费米能级附近引入额外的带结构，费米面的各向异性揭示了磁电阻各向异性的特征。

D44-35**稀土三角阻挫磁体的磁行为和绝热去磁制冷应用研究**郭抒*¹、林伟杰¹、赵南⁴、潘长钊²、闻波⁵、盛洁明³、吴留锁¹

1. 南方科技大学
2. 深圳国际量子研究院
3. 大湾区大学
4. 中国散裂中子源
5. 河南大学

稀土基三角晶格阻挫磁体由于具有强量子涨落和弱磁相互作用，通常能在极低温度下保持较大的磁熵，使其成为亚开温区磁制冷的候选材料。这类材料在量子临界点附近，表现出显著的磁热效应，因此磁熵发生显著变化。本研究报道了一系列的稀土三角晶格量子磁体的晶体生长、结构、磁性及其磁热效应研究。其中钷基材料，具有大的自旋量子数 ($S = 7/2$)，在零场比热测量中观察到连续的三个相变。此外，在磁比热相图分析中，有五个不同的相区和三个量子临界点。利用其特殊的比热特征和高密度的钷离子，我们通过自制的绝热去磁制冷机，在场诱导的量子临界点附近实现了 50 mK 的最低温度。我们研究结果显示该钷基三角晶格材料在 2 K 以下有显著的量子涨落，证明该三角晶格磁体在毫开温区磁制冷应用中的潜力。

D44-36**Spin-polarized p-wave superconductivity in the kagome material RbV_3Sb_5**

林本川

深圳国际量子研究院

The study of kagome materials has attracted much attention due to the presence of many electron-electron interaction-driven phases in a single material. In this work, we report the discovery of intrinsic spin-polarized p-wave superconductivity in the thin-flake kagome material RbV_3Sb_5 . A hysteresis in resistance as a function of the applied in-plane magnetic field is observed, indicating the emergence of an intrinsic time-reversal symmetry-breaking superconducting phase. Interestingly, a finite resistance state can be quenched to a zero-resistance state by applying a large current within the hysteresis loop. Moreover, a magnetic field-driven re-entrance of superconductivity is also observed. We suggest that the pairing symmetry, which is consistent with the crystal symmetry and the observed novel properties, is a time-reversal symmetry-breaking, p-wave pairing state with net spin polarization.

D44-37**狄拉克半金属 α -锡中的巨大的双线性磁电阻效应**

刘传普

南开大学

拓扑材料表面态的自旋-动量锁定特性可导致随磁场和电场线性变化的电阻，这种双线性磁电阻（BMER）效应为信息读取和磁场传感应用提供了新途径，但现有双线性磁电阻效应强度过弱或仅适用于低温环境。本研究首次报道了在拓扑狄拉克半金属中观测到的 BMER 效应：测量在室温下进行，且响应强度显著超越以往记录。实验采用硅基衬底上生长的拓扑狄拉克半金属 α -Sn 薄膜，其室温 BMER 响应强度较既往报道提升达 10^6 倍，甚至超越此前低温环境下的测量结果。这一突破使 BMER 实际应用迈出关键一步。尤为重要的是，实验数据首次揭示了 α -Sn 中拓扑表面态的费米能级三维自旋取向特征。

D44-38**外尔半金属中的非线性磁电效应**叶兴国^{*1}，廖志敏¹

1. 北京大学

最近观测到的非线性输运现象为深入理解电子波函数的几何特性提供了新工具。典型实例包括贝里曲率偶极矩、贝里联络极化率张量、量子度规偶极矩及其相关的非线性霍尔效应。值得注意的是，量子几何张量还能诱发非常规磁电效应，其特征表现为电流诱导的非线性磁化。这种诱导磁化对电流呈现二阶响应，即非线性磁电效应。

本文报道了在外尔半金属 WTe_2 中观测到的非线性磁电效应，该效应与量子几何张量具有密切关联。我们通过铁磁电极直接探测到电流诱导的非线性磁化现象。特别值得注意的是，当施加频率为 ω 的交流电流时，可观测到具有 2ω 二次谐波响应的诱导磁化，其强度与施加电流呈二次方依赖关系，这正是非线性磁电效应的特征表现。更值得注意的是，这种非线性磁电效应还能导致电流调控的反常霍尔效应。我们的研究通过量子几何张量揭示了电场调控的自旋/轨道纹理，为发展基于量子几何效应的非线性自旋电子学奠定了基础。

D44-39

插层菱方 ZrNCl 中涌现出的双带超导电性

谢圳楷¹, 张立源*¹

1. 南方科技大学

多带超导体因其能隙结构的多样性与带间相互作用的复杂性而受到人们的广泛关注, 典型的诸如二硼化镁、铁基高温超导体等, 为人们研究多带结构与超导配对机制的关系提供了理想的实验平台。最近, 我们通过创新性插层技术成功合成了有机无机杂化超晶格材料 $\text{Na}_{0.1}(\text{1,3-DAP})_{0.25}\text{ZrNCl}$, 钠离子和 1,3-二氨基丙烷分子插入菱方 ZrNCl 层间, 显著扩大了层间距从 9 Å 增至 13.9 Å, 并调制了费米面附近的电子结构, 诱导了绝缘体-金属-超导体转变。通过电阻测试和抗磁性测量确定其超导转变温度高达 15K, 抗磁体积分数接近 90%, 等温 $M(H)$ 磁化表明其属于 II 类超导体。我们通过测量超导态电阻对磁场的响应, 得到其上临界场随温度的变化曲线, 可用双带模型进行完美拟合, 计算得到其零温下面内和面外上临界场分别为 11.5 T 和 2.9 T。同时, 可逆磁化分析也侧面佐证其双带超导的特征, 偏离了各向异性单带超导模型的预测。综上, 我们首次在实验上证实了菱方 ZrNCl 体系中双带超导电性的存在。有趣的是, 其超导态电阻在面内磁场作用下表现出二重旋转对称性, 与三重对称的 ZrNCl 晶格脱钩, 可能暗示着超导序参量的混合。以上发现使得该高 T_c 插层菱方 ZrNCl 成为研究多带超导极具吸引力的新型材料平台。

D44-40

Kagome 超导体 CsV_3Sb_5 中电流诱导的时间反演对称性破缺娄晗歆¹, 廖志敏*¹

1. 北京大学

近年来, 准二维层状 Kagome 超导体 AV_3Sb_5 ($A = \text{K, Rb, Cs}$) 凭借奇异的电子态和丰富的相图而引起了研究者的广泛关注。其中复杂交织的电荷序与超导态共存, 为探索非常规超导电性和配对机制提供了一个新的平台。有趣的是, 在这类非磁性材料的超导态中观察到时间反转对称破缺, 表明存在手性超导的信号。理论研究提出了这种时间反转对称性破缺的几种机制, 包括手性电荷顺序和环路电流。实验上, KV_3Sb_5 中的零场 μ 子自旋弛豫实验揭示了在电荷密度波转变温度以下出现的局域磁矩, 并持续到超导状态。最近的研究还报道了 CsV_3Sb_5 中的零场超导二极管效应, 表明动态超导畴的存在。Kagome 材料中时间反转对称性破缺和超导性之间的相互作用为拓扑量子计算开辟了潜在的途径。

在这项工作中, 我们报告了 Kagome 超导体 CsV_3Sb_5 中电流诱导的磁阻回滞, 突出了磁阻回滞与超导态之间的共存关系。在施加直流电流的条件下, 在来回扫磁场的过程中观察到磁滞。值得注意的是, 这种迟滞可以通过电流和温度加以调节。此外, 在沿面外和面内方向施加的小磁场下, 观察到明显的超导二极管效应。我们讨论了时间反演对称性破缺的超导态的可能起源以及相关的调制机制, 支持环路电流和手性超导畴在 CsV_3Sb_5 中的作用。

D44-41

NbSe₂/铁磁异质结的磁电输运特性研究李治玥¹, 陈廷勇*¹

1. 南方科技大学

超导材料与铁磁材料间的相互作用因邻近效应和拓扑量子计算所需的自旋三重态超导特性而备受关注。自旋阀通过调控铁磁层平行/反平行构型, 为研究此类耦合机制提供了理想平台。然而, 自旋极化对超导相变的影响机制、低能耗自旋电子器件效率提升、界面效应优化及自旋输运稳定性增强仍是超导自旋阀应用的关键挑战。本研究基于超导体 NbSe₂ 构建了新型铁磁异质结 (Py/NbSe₂/Py/Co) 电流垂直平面型 (CPP) 自旋阀, 实现了磁阻效应与自旋相关超导特性的调控。实验发现, 在 2 K 低温下磁阻 (MR) 达到室温值的 12.6 倍, 超导转变温度以下 MR 的显著增强主要源于准粒子散射效应。当温度接近临界转变温度时, 铁磁电极的平行/反平行构型通过调控超导电子配对态, 导致超导转变温度改变和磁阻降低。该工作系统揭示了不同温度下 NbSe₂ 超导间隔层厚度对铁磁异质结耦合机制的影响规律, 为新型自旋电子器件的设计与性能优化提供了依据。

D44-42

Third-Order Nonlinearity Induced by the Quantum Metric in WTe₂

刘星宇

北京大学

The quantum geometric properties of topological materials underpin many exotic physical phenomena and applications. Quantum nonlinearity has emerged as a powerful probe for revealing these properties. Here, I will introduce our recent work on the quantum metric quadrupole induced third-order nonlinear electrical response in WTe₂. Angle-resolved third-harmonic current-voltage characteristics are found consistent with the intrinsic crystal symmetry of WTe₂. Through temperature variation and scaling analysis, we identify the quantum metric quadrupole as the physical origin of the observed third-order longitudinal nonlinearity. Additionally, we determine the anisotropy of the quantum metric quadrupole, establishing third-order nonlinearity as an efficient method for revealing the quantum metric structure.

D44-43

铁电极化反转调控二维 MnPSe₃/Ga₂Se₃交替磁性异质结的非相对论自旋劈裂

谢雅斌

南昌大学

近年来, 交替磁性材料因其独特的非相对论自旋分裂特性, 为探索量子材料中磁序与电子结构的相互作用提供了新平台。本文提出了一种通过设计二维范德华异质结构 (由交替磁性材料 MnPSe₃ 与铁电材料 Ga₂Se₃ 组成) 实现电控可调自旋分裂的创新策略。基于第一性原理计算, 研究发现 MnPSe₃/Ga₂Se₃ 异质结在不同极化态 (P+/P-) 下表现出显著各向异性的自旋分裂现象。通过铁电极化反转促使层间电荷重新分布, 异质结中产生自旋分裂的能带范围和分裂幅度可进行逆调控, 且能量壁垒 (<67 meV/f.u.) 表明极化切换的实验可行性。这种电控机制源于磁性亚晶格对称性、本征极化场及界面电荷重分布的协同作用。进一步构建的 Ga₂Se₃/MnPSe₃/Ga₂Se₃ 三明治结构通过对称性工程实现了多态磁电耦合, 并验证了滑动铁电对自旋分裂的增强效应 (达 31.5 meV)。本研究为开发兼具非易失性存储与逻辑功能的原子尺度自旋电子器件提供了理论依据, 凸显了二维异质结在磁电耦合与量子调控中的潜力。

D44-44

对称电极下的范德华多铁隧道结输运特性研究

徐晴

南昌大学

由磁电极和铁电隧道势垒组成的多铁隧道结 (MFTJs) 已经成为非易失性存储器应用的很有前途的候选者。最近发现的上述室温范德瓦尔斯 (vdW) 铁磁体 Fe_3GaTe_2 和铁电体 $\alpha\text{-In}_2\text{Se}_3$ 为构建室温 vdW MFTJs 提供了可能性。在本研究中, 利用基本原理计算, 我们研究了具有 Fe_3GaTe_2 /单层 $\alpha\text{-In}_2\text{Se}_3$ /CuInP₂S₆/ Fe_3GaTe_2 结构的 vdW MFTJs 中的自旋相关输运。我们预测, 通过切换 Fe_3GaTe_2 的磁性排列, 隧穿电阻 (TER) 超过 11229.29 %, 通过控制中心区单层 $\alpha\text{-In}_2\text{Se}_3$ /CuInP₂S₆ 的铁电构型, 预测一个巨大的隧穿磁电阻 (TMR) 高达 1130001.63 %。因此, 在非对称 MFTJs 中应用磁场和电场可以实现多级电阻态。

D44-45

vdw 磁性隧道结的输运特性研究

袁加仁

南昌大学

本研究结合第一性原理计算与非平衡格林函数方法, 系统探究了由二维铁磁电极 ($\text{Fe}_3\text{GaTe}_2/\text{Fe}_3\text{GeTe}_2$) 和铁电/半导体势垒层 ($\alpha\text{-In}_2\text{Se}_3/\text{InSe}$) 构成的范德华磁性隧道结 (MTJ) 及多铁性隧道结 (MFTJ)。研究发现:

1. 多态存储实现—— $\text{Fe}_3\text{GaTe}_2/\alpha\text{-In}_2\text{Se}_3/\text{Fe}_3\text{GeTe}_2$ 非对称电极 MFTJ 通过调控势垒层极化方向与电极磁矩排列, 在单层势垒中实现 4 电阻态 (TMR= 1.13×10^4 %, TER=285%), 双层势垒中扩展至 8 电阻态 (TMR= 1.89×10^5 %, TER=1161 %); 插入 h-BN 绝缘层可进一步提升 TER 至 3241 %;

2. 超高磁阻效应—— $\text{Fe}_3\text{GaTe}_2/\text{InSe}/\text{Fe}_3\text{GaTe}_2$ 对称 MTJ 展现近 100% 自旋过滤效率, 单层 InSe 势垒产生 TMR= 7.48×10^5 % (电阻变化近 10000 倍), 双层势垒更使 TMR 跃升至 3.64×10^7 %;

3. 物理机制——巨 TMR 源于铁磁电极的高自旋极化率, 而 TER 增强归因于铁电势垒极化反转引起的能带重排。该工作证实了非对称电极范德华异质结在构建多态非易失存储器件的潜力, 为室温自旋电子器件应用提供新平台。

墙报

D44-P01

新型超构表面在量子精密测量中的技术研究

孙硕

北京航空航天大学

新型超构表面作为一种人工设计的二维亚波长结构材料，凭借其独特的光场调控能力和紧凑的物理尺寸，为量子精密测量领域带来了革命性机遇。本文将系统介绍超构表面在量子态调控、量子传感及高精度测量中的创新性技术研究成果，分析了其通过局域电磁场增强、量子态耦合优化及噪声抑制等机制提升测量精度的物理路径。研究表明，超构表面可通过定制化设计实现光子自旋、轨道角动量等量子自由度的精密操控，为磁强计提供高灵敏、小型化、集成化解决方案，为下一代量子精密测量技术的创新发展提供了理论框架和技术路径。

D44-P02

ZnO/ZnO-NiOx/NiOx 异质结结构对自供电 ZnO 薄膜型紫外光探测器性能的影响

张迪¹、曾广根*¹

1. 四川大学

为了充分发挥自供电宽禁带紫外光电探测器的潜力，必须提升探测器的整体性能且能够低成本制备。薄膜型紫外光电探测器成本较低，但存在响应率低下、暗电流太大等问题，为了解决这些问题，我们提出了基于 ZnO/ZnO-NiOx/NiOx 体异质结结构的薄膜紫外光电探测器，在传统薄膜型 ZnO/NiOx p-n 结中引入 ZnO-NiOx 纳米晶薄膜层形成体异质结结构，费米能级的提高和整体梯度能级结构能够改善电荷传输。这种体异质结结构较单一 p-n 结结构探测器在不加偏压条件下开关比提高 5 倍，外量子效率提升了 1.8%，响应率提高了 4.9mA/W，比探测率提高 1 个数量级，上升时间降低 35ms，下降时间降低 16ms。总的来说，本研究提供了一种简单低成本的方法来实现高性能的自供电型宽禁带紫外光电探测器。

D44-P03

应变锗量子阱输运测量

曹子文

北京大学

量子计算是“后摩尔时代”的一个可能的解决方案。基于硅 MOS 结构的半导体量子点量子计算因为其高工业兼容性，正逐渐吸引人们的注意。半导体材料锗 (Ge) 具备高迁移率、轻有效质量，大 g 因子、零核自旋同位素、硅基兼容性、易于形成欧姆接触等优势，目前 Ge 基量子器件的研究已经成为硅 MOS 量子结构的热门方向，而其中平面 Ge 异质结是可扩展性最好的一条技术路线。

墙报包括以下三个部分的内容：器件制备、电输运表征、强场输运。迁移率 μ 可达 $3.8 \times 10^5 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$ ，渗流密度 p_p 可达 $3.2 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ ，平均自由程 l 可达 $2.88 \mu\text{m}$ ，观测到 $\nu = 1$ 量子霍尔平台的最小磁场 B_{\min} 可达 $3.5 \sim 4 \text{ T}$ 。

D44-P04**高温离子注入金刚石 NV 色心研究**

周宁

泰思肯（中国）有限公司

在量子技术飞速发展的今天，氮空位（NV）色心因其卓越的物理特性，成为量子传感领域的明星材料。我们的研究团队通过聚焦离子束（FIB）技术，在钻石中精准植入 NV 色心，为室温磁感应开辟了新的可能性。利用先进的气体等离子源，带质量过滤的聚焦离子束和原位加热技术，我们不仅实现了高分辨率的纳米刻蚀，还显著提高了 NV 色心的产率，为量子技术的实用化提供了新的技术路径。

D44-P05**基于反铁电 CuCrP₂S₆ 的负电容场效应晶体管**

张佳钦

南昌大学

电子遵循的玻尔兹曼分布定律从根本上限制了金属氧化物半导体场效应晶体管（MOSFETs）在能耗降低方面的潜力。作为一种新型场效应晶体管设计，负电容场效应晶体管（NC-FET）展现出突破这一热离子壁垒的可能性，为开发极低功耗电子器件提供了新途径。本研究成功实现了以二维 CuCrP₂S₆（CCPS）/BN 作为栅介质的二硫化钼二维 NC-FET 器件。本研究展示了一种基于范德华异质结构的负电容场效应晶体管（NC-FET），该器件在漏极电流跨越一个数量级的宽范围内展现出突破传统玻尔兹曼极限的优异特性。实验结果表明，其平均亚阈值摆幅（SS）显著低于理论极限，最小 SS 值可达 50 mV/dec。值得一提的是，在通过调整 CCPS 和 BN 的厚度实现 CCPS 和 BN 电容匹配的条件下，该器件表现出 50mV 的小回滞现象。此外，在室温条件下，由于负电容效应引起的负漏极诱导势垒降低，可以在这种负电容场效应晶体管中观察到了负微分电阻现象。这些研究结果充分展现了范德华负电容场效应晶体管（vdW NC-FET）在实现超低功耗、高稳定性以及优异性能方面的显著潜力。

D44-P06**高质量碲纳米片中的非线性磁电和热效应研究**蓝莹莹¹、尹擎¹、王璞²、廖馨¹、董经纬¹、王安琪¹、廖志敏*¹

1. 北京大学物理学院

2. 松山湖材料实验室

Nonlinear transport in low-symmetry crystals is attracting growing interest. Tellurium (Te), with broken inversion and mirror symmetry, provides a promising platform for nonlinear conductivity and Hall effects. However, nonlinear magnetoelectric responses along two-fold rotation axis of Te remain largely unexplored, and thermal contributions are often overlooked.

In this study, we systematically investigate nonlinear responses in high-quality Te nanosheets under magnetic fields. Strikingly, the nonlinear signal reaches its maximum under out-of-plane magnetic fields, in contradiction with prior symmetry-based expectations. Moreover, in a 12-terminal disc device, we observe opposite nonlinear voltages on symmetric electrode pairs, highlighting the significant role of thermal effects.

Our findings reveal the intertwined nature of magnetoelectric and thermal effects in nonlinear transport, offering new insights into their coupling in low-symmetry materials.

D44-P07

缺陷调控 PdSe₂ 的光电性能研究

张家玮
南昌大学

缺陷工程是调控二维材料性能的重要手段，在材料科学和纳米技术领域具有重要研究价值。通过调节缺陷类型和分布，可显著改变材料的电子结构、能带特性及光学行为，实现性能优化。研究表明，缺陷工程在提升二维过渡金属二硫族化合物的光电响应、载流子迁移率及催化效率方面效果显著。本论文以二维过渡金属二硫族化合物 PdSe₂ 为研究对象，通过氧等离子体引入可控缺陷，系统探索其光电性能的优化方法，具体研究内容如下：

首先，我们通过氧等离子体对二维 PdSe₂ 场效应晶体管进行处理。PdSe₂ 具有良好的环境稳定性，层厚对其带隙影响显著，带隙从块体的约 0.3 eV 增至单层的 1.6 eV，呈现典型半导体特性。然而，氧等离子体处理后，其源漏极电流显著增加四个数量级，达到 10⁻⁴ A。未处理的 PdSe₂ 表现为 n 型双极性特性，开关比约为 10²；处理后，半导体特性消失，源漏极电流不再受到栅极电压调控，表明 PdSe₂ 由半导体相转变为类金属相。结合拉曼光谱、原子力显微镜表征与密度泛函理论计算，本研究系统揭示了 PdSe₂ 在等离子体处理作用下金属化的过程及机理。

通过氧等离子体将 PdSe₂ 晶体管电极接触区域转化为类金属相，可显著降低场效应晶体管 (FET) 的接触势垒，使其开关比由 10³ 提升至 10⁵。同时，器件在可见光波段的光响应性能得到显著增强。在 520 nm 波长的入射光 (6 mW cm⁻²) 照射下，接触优化后的 PdSe₂ 光电探测器响应度达到 34.43 AW⁻¹，远高于未处理器件的 15.74 AW⁻¹。此外，我们还研究了等离子体处理技术对其他种类二维材料的作用，探索了其对 ReS₂、WSe₂、MoS₂ 性能的影响。

本研究提出了一种调控 PdSe₂ 性能的新策略，并为开发高性能器件提供了新思路，从而拓展了使用等离子体以及其他缺陷调控技术在二维材料及其器件中的应用前景。

D44-P08

热氧化 GaX(Se、S)制备高性能场效应晶体管

吴子健
南昌大学

栅极介电材料是制作金属-氧化物-半导体场效应晶体管 (MOSFET) 的重要组成部分，随着晶体管的尺寸不断减小，传统的栅极介电材料已经不能满足纳米尺度下集成器件的性能需求。二维介电材料因为其特别的物理、化学和机械性质，在制造和开发晶体管器件方面展现出了巨大的潜力。本研究基于过渡金属硫族化合物的可控氧化，以二维 GaSe、GaS 薄片为前驱体，通过热氧化法得到了二维高 k 介电材料 Ga₂O₃，并对其氧化工艺、介电性能和范德华异质结场效应晶体管进行了系统的研究。

对两种前驱体材料的热氧化研究表明，GaSe 和 GaS 薄片在优化温度区间 (450-550 °C) 可实现完全氧化，转化为非晶 Ga₂O₃ 薄片，其厚度可控于 ~5 nm，并展现出 4.25 eV 的宽禁带特性。介电性能表征显示，该薄片具有优异的介电常数 (k ≈ 10.7) 和高击穿场强 (7.3 MV/cm)，拥有良好的介电性能。

在此基础上，成功制备了以 Ga₂O₃ 作为底部栅介质、MoS₂ 为沟道的范德华异质结场效应晶体管器件。该器件表现出优异的电学性能，包括在 ±2 V 偏压下超过 10⁷ 的超大开关比、接近玻尔兹曼极限的亚阈值摆幅 (62 mV/dec)、极小的回滞窗口和 6.6 × 10¹¹ cm⁻² eV⁻¹ 的低界面态密度。同时器件还具有良好的循环重复性和稳定性。

本研究为二维高 k 介电材料的可控合成及高性能场效应晶体管的构筑提供了新的技术路径，为未来更小尺度、更高性能的集成电路提供关键支持，进一步拓展了二维材料在先进电子器件中的应用前景。

D44-P09**Nonlinear valley and spin valves in bilayer graphene**

Xin Liao, Xingyu Liu, Anqi Wang, Qing Yin, Tongyang Zhao, Zhimin Liao*

Peking University

Nonlinear transport plays a vital role in probing the quantum geometry of Bloch electrons, valley chirality, and carrier scattering mechanisms. The nonlinear Hall effect, characterized by a nonlinear scaling of Hall voltage with longitudinal current, has been explored to reveal the Berry curvature and quantum metric – related physics. In this work, we extend the study of nonlinear transport to spin and valley degrees of freedom. Using bilayer graphene devices with Fe_3GeTe_2 contacts, we observe a second-order nonlinear spin current exhibiting spin-valve-like behavior. By tracking magnetic moment precession under an inplane magnetic field, we identify a significantly enhanced critical magnetic field required for in-plane rotation, suggesting out-of-plane valley polarization induced by ferromagnetic proximity. These findings offer deep insights into the interplay of valley and spin in second-order nonlinear transport, opening avenues for promising device applications.

D44-P10**Charge density wave modulated third-order nonlinear Hall effect in 1T-VSe₂ nanosheets**

Zhaohui Chen, Xin Liao, Jingwei Dong, Xingyu Liu, Tongyang Zhao, Dong Li, Anqi Wang, Zhimin Liao*

Peking University

We report the observation of a pronounced third-order nonlinear Hall effect (NLHE) in 1T-phase VSe₂ nanosheets, synthesized using chemical vapor deposition (CVD). The nanosheets exhibit a charge density wave (CDW) transition at about 77 K. Detailed angle-resolved and temperature-dependent measurements reveal a strong cubic relationship between the third-harmonic Hall voltage and the bias current, persisting up to room temperature. Notably, the third-order NLHE demonstrates a twofold angular dependence and significant enhancement below the CDW transition temperature, indicative of threefold symmetry breaking in the CDW phase. Scaling analysis suggests that the intrinsic contribution from the Berry connection polarizability tensor is substantially increased in the CDW phase, while extrinsic effects dominate at higher temperatures. Our findings highlight the critical role of CDW-induced symmetry breaking in modulating quantum geometric properties and nonlinear transport phenomena in VSe₂, paving the way for future explorations in low-dimensional quantum materials.

D44-P11**Quantum spin Hall effect and correlation in TaIrTe₄**

Yilin He, Xingyu Liu, Jingzhi Fang, Zhimin Liao*

Peking University

The interplay between topological physics and correlated electron states has emerged as a pivotal research frontier in condensed matter physics. Here, we investigate monolayer TaIrTe₄, a quantum spin Hall insulator, where electron correlations induce novel electronic phases. Using metallic electrodes, we observe dual peaks in the longitudinal resistance—one at the charge neutrality point and another under electron doping—signaling an insulator-metal-insulator transition. This behavior suggests the formation of a correlated insulating phase mediated by an intrinsic charge density wave (CDW). Remarkably, with graphite electrodes, we detect a quantized resistance plateau of $h/2e^2$, consistent with the expected quantum spin Hall edge state. Our findings establish TaIrTe₄ as a unique platform that intrinsically integrates topology and strong correlations, where the CDW superlattice naturally generates topological flat bands without requiring intricate moiré engineering. This system offers new opportunities to explore correlated physics and topological phases.

D44-P12**Tunable non-relativistic spin splitting in 2D $\text{MnPX}_3/\text{Ga}_2\text{X}_3$ ($\text{X}=\text{S}, \text{Se}$) altermagnetic heterojunctions via ferroelectric polarization switching**

Yabin Xie

Nanchang University

Recent advances in altermagnetic materials have opened new avenues for investigating the interplay between magnetic ordering and electronic structures in quantum materials, owing to their unique non-relativistic spin-splitting characteristics. This study proposes an innovative strategy for achieving electrically controllable spin splitting through the design of a two-dimensional van der Waals heterostructure composed of altermagnetic MnPSe_3 and ferroelectric Ga_2Se_3 . First-principles calculations reveal that the $\text{MnPSe}_3/\text{Ga}_2\text{Se}_3$ heterostructure exhibits pronounced anisotropic spin splitting under distinct polarization states (P^+/P^-). Ferroelectric polarization reversal induces interlayer charge redistribution, enabling inverse modulation of both the energy-band range and splitting magnitude for spin splitting, with a low energy barrier (<67 meV/f.u.) suggesting experimental feasibility for polarization switching. This electrical control mechanism originates from the synergistic interplay among magnetic sublattice symmetry, intrinsic polarization fields, and interfacial charge redistribution. Furthermore, a symmetric-engineered $\text{Ga}_2\text{Se}_3/\text{MnPSe}_3/\text{Ga}_2\text{Se}_3$ sandwich structure demonstrates multistate magnetoelectric coupling, while sliding ferroelectricity is shown to enhance spin splitting by up to 31.5 meV. Our work provides a theoretical foundation for developing atomic-scale spintronic devices integrating non-volatile memory and logic functionalities, highlighting the potential of 2D heterostructures in magnetoelectric coupling and quantum manipulation..