

# 广东省磁电物性基础学科研究中心 原创探索项目指南建议

(2025 年度)

2025 年 5 月 20 日 编制



| 序号 | 建议指南方向                                   |
|----|------------------------------------------|
| 01 | 二维磁性半金属-超导异质结的精准构筑与新奇量子态探索               |
| 02 | 小尺寸量子系统的构筑及量子态调控                         |
| 03 | 非常规超导体中的新奇量子物态及其产生机理                     |
| 04 | 基于手性材料的自旋光电器件                            |
| 05 | 镍氧高温超导材料的高压研究                            |
| 06 | 非常规反铁磁探索                                 |
| 07 | 量子磁性材料中非平庸量子态的构建与表征                      |
| 08 | 低维量子和功能磁性材料的设计和制备                        |
| 09 | 镍基高温超导机理                                 |
| 10 | 交错磁体上的拓扑和超导                              |
| 11 | 量子自旋系统中的高能磁激发                            |
| 12 | AI 驱动的超导和磁电材料预测                          |
| 13 | 低维磁电材料微结构动力学演化与功能物性多场耦合响应的多尺度建模          |
| 14 | 基于超宽禁带半导体的界面磁电物性研究                       |
| 15 | 基于二维滑移铁电的神经形态视觉器件研究                      |
| 16 | 铁性材料的原位多场调控与中子散射研究                       |
| 17 | 包含 III-V 族化合物半导体的多异质结叠层型光电器件的界面物性与光电特性研究 |
| 18 | 基于多源信息表征技术的有机功能薄膜多场耦合调控机理探究              |
| 19 | 拓扑磁电微结构的制备及其动力学特性研究                      |
| 20 | 功能薄膜多场耦合下微结构动力学调控与力学性能优化                 |
| 21 | 电磁场作用下的群体细胞动力学研究                         |
| 22 | 铁电极性拓扑畴的三维原子尺度研究                         |
| 23 | 铁磁/铁电拓扑畴结构的界面耦合与调控                       |
| 24 | 磁电微结构超快动力学及高频应用                          |
| 25 | 磁电微结构电输运特性及高性能类脑器件                       |
| 26 | 二维 Kitaev 磁性体系中拓扑自旋纹理调控的理论探究             |



# 广东省磁电物性基础学科研究中心（物理学）

## 原创探索项目指南建议征集表

填表时间： 2025 年 1 月 9 日

编号： XKZX-YCTSXM-ZN-2025\_001

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>建议所属领域</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <input type="checkbox"/> 高温超导强关联<br><input type="checkbox"/> 拓扑磁电微结构<br><input checked="" type="checkbox"/> 低维磁电表界面<br><input type="checkbox"/> 磁电多场强耦合 |
| <b>建议所属创新方式</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <input type="checkbox"/> 理论计算<br><input checked="" type="checkbox"/> 材料制备<br><input checked="" type="checkbox"/> 表征测量<br><input type="checkbox"/> 器件研发  |
| <b>建议指南方向<br/>(项目名称)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 二维磁性半金属-超导异质结的精准构筑与新奇量子态探索                                                                                                                              |
| <b>所属基金委<br/>学科代码</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | A2011.表面界面与低维物理                                                                                                                                         |
| <b>指南内容（100 字）</b><br><br>实现若干种新型二维磁性材料单层极限下的可控制备，研究元素掺杂、电荷掺杂、界面近邻等效应对其电子、自旋性质的调控，探索实现二维半金属性的可能性。构筑低维磁性-超导异质结并探索其中可能出现的新奇量子态。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                         |
| <b>建议理由与依据（500 字）</b><br><br>固体系统中的马约拉纳费米子被认为是实现容错拓扑量子计算的基本单元。近年来人们致力于在固体系统中寻找马约拉纳费米子，然而目前被证实存在此种新奇量子态的材料体系非常缺乏。自旋作为电子的内禀属性，当固体中存在较强的自旋相互作用时可形成多样的自旋序，呈现丰富的演生效应并显著影响体系的宏观磁电物理性质。另一方面，自旋序与晶格、轨道、电荷等基本要素的耦合，也是理解多种现象和效应的重要线索。低维与小尺度凝聚态体系由于量子限域效应，往往表现出与三维块材显著不同的物理性质。低维自旋量子功能材料为研究自旋相关行为和开发自旋相关的信息电子技术提供了崭新的平台。得益于优异的层间堆垛灵活性，二维磁性材料可以与金属、半导体、介电、铁电、超导、拓扑绝缘体等单层（层状）或块体功能材料构筑各种磁性异质结构。二维磁性半金属是一类特殊的铁磁金属，其费米面附近具有单一的自旋极化特性，基于二维磁性半金属的磁性异质结具有极高的自旋选择性。二维磁性半金属与超导、拓扑等量子材料形成的杂化系统有可能出现新奇的界面量子物态。其中，磁性半金属-s波超导 |                                                                                                                                                         |

异质结用于构建二维拓扑超导有极大的优势——不需要微调费米能级位置且具有更强的超导近邻效应，是实现马约拉纳零模的重要候选体系之一。

### 开展建议领域研究方向的可行性分析（400 字）

物理学院钟定永研究组开展低维与表面小量子系统的精准构筑与原子尺度电子学性质研究。近年来研究组聚焦于低维自旋量子系统，在低维量子材料和表面纳米结构外延生长方面积累了丰富的经验。由于STM/STS具有极高的空间和能量分辨率，是开展低维磁性结构原子尺度量子态研究最合适的实验手段之一。研究组前期在低维磁性结构的研究表明，STM/STS不仅可以获得低维磁性样品的形貌、原子结构和缺陷等信息，还可以得到局域电子态（包括边缘态，超导能隙、零能模等）和自旋序、自旋激发态等自旋相关信息。最近，研究组利用物理学院公共科研平台装备的分子束外延-低温矢量磁场扫描隧道显微镜系统等实验条件，成功实现了二维反铁磁 $\text{CrI}_2\text{-NbSe}_2$ 超导异质结的制备并观察到了超导能隙内边缘态和结构缺陷诱导的零能电导信号，这可能是二维拓扑超导的迹象。

# 广东省磁电物性基础学科研究中心（物理学）

## 原创探索项目指南建议征集表

填表时间： 2025 年 1 月 9 日

编号： XKZX-YCTSXM-ZN-2025\_002

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 建议所属领域                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <div><input type="checkbox"/> 高温超导强关联</div> <div><input type="checkbox"/> 拓扑磁电微结构</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 低维磁电表界面</div> <div><input type="checkbox"/> 磁电多场强耦合</div> |
| 建议所属创新方式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <div><input type="checkbox"/> 理论计算</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 材料制备</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 表征测量</div> <div><input type="checkbox"/> 器件研发</div>  |
| 建议指南方向<br>(项目名称)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 小尺寸量子系统的构筑及量子态调控                                                                                                                                                                           |
| 所属基金委<br>学科代码                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | A2011                                                                                                                                                                                      |
| <div>指南内容（100 字）</div> <p>聚焦低维材料体系原子级别可控生长及修饰，利用分子束外延术等方法在原子尺度构筑小尺寸量子系统，并研究其生长机制以及磁、电、拓扑等物性，为量子系统的构造、物性调控及应用等奠定基础。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                            |
| <div>建议理由与依据（500 字）</div> <p>新奇量子体系的制备和物性操控是量子科技发展的关键前沿领域，受到国家“十四五”规划的重点支持，并与广东省在量子技术发展的战略布局高度契合。尺寸效应是调控量子物态的有效途径，低维结构中丰富的电荷、自旋、轨道等量子序，以及它们之间的关联和竞争，会导致一系列新奇物态的出现。这些新奇物态涵盖了超导、拓扑、磁性和铁电等大量凝聚态物理中的重要研究课题。在单原子、单电子以及单自旋尺度上构筑材料体系，深入探索和利用低维度、小尺度上的量子效应，有助于揭示新奇物性的起源，并实现更为精准的调控，对开发具有优异性能的量子器件至关重要。</p> <p>目前，小尺寸量子系统的构筑与物态调控这一领域仍存在多个亟待解决的关键问题，包括材料体系的精准制备（精确度、尺寸与形貌控制、化学掺杂、化学稳定性、可扩展性等）；对此量子体系的多手段表征方法（磁学、电学、拓扑、光学等物性的探测）以及对此量子体系的量子态多方位的调控方式（应力、电场、磁场、掺杂等）。深入探讨和研究上述</p> |                                                                                                                                                                                            |

问题，发展原子级精确的材料体系制备和表征方法，实现部分新型量子体系的构筑，将有助于厘清小尺度量子系统的一些新奇物性，为量子器件的制备和应用提供材料基础及理论支持。

### 开展建议领域研究方向的可行性分析（400 字）

中山大学物理学院团队在低维材料体系的制备与表征方面具有深厚的技术积累，近期在石墨烯纳米结构、环形碳结构、聚合物自旋链等小尺度量子系统的原子级精确制备，以及电、磁、拓扑等特性表征与调控方面取得系列进展。研究团队拥有分子束外延生长系统两套，可通过表面合成法原位精准构筑以原子、分子为基本单元的量子系统；拥有低温超高真空扫描隧道显微镜 3 台，其中一台为极低温（400 mK）强磁场（2T- 2T- 9T）扫描隧道显微镜，可对小尺寸量子系统的物性和尺寸、形貌、掺杂等同时提供超高能量和空间分辨率的表征，以研究其关联，并可通过施加磁场、电场等研究和调控系统的量子态；拥有角分辨光电子能谱一套，可对系统的电子结构提供直接表征。此外，中山大学物理学院公共科研平台以及光电材料与技术国家重点实验室具有雄厚的技术力量和先进的实验设备，能满足各类样品生长、微纳加工、光谱和物性测试表征等需求。



# 广东省磁电物性基础学科研究中心（物理学）

## 原创探索项目指南建议征集表

填表时间： 2025 年 1 月 9 日

编号： XKZX-YCTSXM-ZN-2025\_003

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 建议所属领域                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <input checked="" type="checkbox"/> 高温超导强关联<br><input type="checkbox"/> 拓扑磁电微结构<br><input checked="" type="checkbox"/> 低维磁电表界面<br><input type="checkbox"/> 磁电多场强耦合 |
| 建议所属创新方式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <input type="checkbox"/> 理论计算<br><input checked="" type="checkbox"/> 材料制备<br><input checked="" type="checkbox"/> 表征测量<br><input type="checkbox"/> 器件研发             |
| 建议指南方向<br>(项目名称)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 非常规超导体中的新奇量子物态及其产生机理                                                                                                                                               |
| 所属基金委<br>学科代码                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | A2003                                                                                                                                                              |
| 指南内容（100 字）<br><p>制备高质量的非常规超导体，利用原位谱学和宏观输运测量技术并结合多场调控手段，对其非常规超导特性及演生物态进行表征，明确新奇量子物态随外场调控的连续演化规律及演化相图，加强理解非常规超导和高温超导机理。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                    |
| 建议理由与依据（500 字）<br><p>非常规超导体是当前凝聚态物理领域的重要研究课题之一，与传统超导体相比，它们展现出许多不同寻常的物理现象。1986年铜氧化物高温超导体被发现，其超导转变温度远远高于传统超导体，无法用BCS理论解释，从此揭开了非常规超导体研究的序幕。这一突破不仅推动了凝聚态物理学的进步，还引发了关于超导机理的新思考。随着研究深入，科学家发现了其他非常规超导体家族，如铁基超导体、重费米子体系、有机超导体及拓扑超导体等。非常规超导体因此成为探索物质科学和量子物理前沿的重要领域，也因广阔的应用前景成为引领未来材料科学与技术发展的重点方向之一。</p> <p>非常规超导体通常涉及电子关联、磁性、晶格和拓扑特性等复杂相互作用，揭示了丰富的物理现象和规律，为研究高温超导机理、关联电子行为以及新奇量子态提供了理想平台。非常规超导体中存在丰富的竞争序、量子涨落、杂质效应，其非常规超导特性及其新奇量子演生物态近年来引起了研究者的广泛关注，涌现了量子 Griffiths奇异性、玻色金</p> |                                                                                                                                                                    |

属态、配对密度波态等一系列重要发现，开创了超导研究的新方向。当前，在非常规超导体和高温超导体中发现的新奇量子物态的产生及调控机理尚未明确，许多有争议的问题仍然需要从实验和理论上深入探索。

### 开展建议领域研究方向的可行性分析（400 字）

中山大学物理学院在非常规超导和高温超导研究方面有悠久的历史 and 深厚的积累，尤其是近年来在镍基高温超导研究方面取得了一系列国际领先的成果，展现了强大的科研合作能力和在该领域的影响力。中山大学物理学院拥有公共科研平台和中子科学中心研究平台、广东省磁电物性分析与器件重点实验室、光电材料与技术国家重点实验室（共建）、高等学术研究中心等，依托中山大学国家超级计算广州中心，为非常规超导和高温超导的研究提供了坚实的硬件支持和良好的科研条件。其中，多台高温炉可以实现利用助熔剂、化学气相输运等完成高质量单晶材料的制备；光刻设备与电子束直写设备结合电子束蒸镀可以实现微纳结构和器件的设计加工；极低温强磁场扫描隧道显微镜和低温强磁场测试系统可以完成量子物态的微观谱学研究和输运表征等；中山大学在高温超导强关联方面的强大团队也可以实现实验和理论的紧密结合，从而为解决该方向的重要问题开展有创新性的研究。

# 广东省磁电物性基础学科研究中心（物理学）

## 原创探索项目指南建议征集表

填表时间： 2025 年 1 月 9 日

编号： XKZX-YCTSXM-ZN-2025\_004

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 建议所属领域                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <input type="checkbox"/> 高温超导强关联<br><input type="checkbox"/> 拓扑磁电微结构<br><input checked="" type="checkbox"/> 低维磁电表界面<br><input checked="" type="checkbox"/> 磁电多场强耦合 |
| 建议所属创新方式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <input type="checkbox"/> 理论计算<br><input type="checkbox"/> 材料制备<br><input type="checkbox"/> 表征测量<br><input checked="" type="checkbox"/> 器件研发                        |
| 建议指南方向<br>(项目名称)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 基于手性材料的自旋光电器件                                                                                                                                                      |
| 所属基金委<br>学科代码                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | F0405                                                                                                                                                              |
| 指南内容 (100 字)<br><p>探索并实现具有磁电光多场耦合性质的基于手性材料的自旋器件，观测电场和光对自旋物态的调控作用，以及材料对称性破缺引发的新奇自旋物性。实现新奇半导体材料中的电控磁以及光控磁效应，拓展自旋器件的应用。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                    |
| 建议理由与依据 (500 字)<br><p>自旋器件有望在未来信息技术、量子计算、传感器和智能制造领域占据重要地位。随着材料科学、纳米技术和量子物理的不断进步，自旋电子学将进一步推动新型器件的发展，助力信息产业迎接更加高效、低耗和智能的新时代，同时也是国家半导体产业发展战略的一个重要方向和广东省大湾区产学研重点布局的方向。目前，自旋器件在磁存储、自旋光电、磁传感器等领域有重大应用。二维材料、杂化钙钛矿和磁性拓扑绝缘体等新材料的引入，为自旋器件的设计和应用提供了更广阔的空间。这些材料在室温条件下表现出优异的自旋输运特性，推动自旋器件向更高温、更稳定的方向发展。其中，手性材料由于其自带的结构手性破坏了材料的中心反演对称性，使得其具有手性光学性质，手性自旋选择性等独特物性，其手性与自旋、光的圆偏率的耦合，使得基于该材料的器件可以实现光对自旋的调控，因而手性材料在诸如自旋 LED，自旋光电探测等自旋光电器件中有重要应用。另外，由于对称性的破坏，使得部分手性材料还具有铁电性等特性，在铁电和铁磁的异质结构中，能够实现磁电耦合以及自旋器件中的电控磁效应，有利于高效可控的磁存储器件的</p> |                                                                                                                                                                    |

开发。

## 开展建议领域研究方向的可行性分析（400 字）

中山大学物理学院具有丰富的自旋器件制备和表征的经验以及实验基础。物理学院具有完善的器件制备平台，可以实现镀膜、光刻、刻蚀等微纳加工手段。低温高磁场输运表征平台可以对器件的自旋输运进行完善的表征；磁光效应表征平台可以实现通过磁光效应、磁圆二色谱等研究材料的磁结构，以及器件中磁光和磁电耦合。此外，校内其它科研平台，如分析测试中心、光电材料国重室等，也具备材料手性结构、手性光效应的表征手段。另外，物理学院在本领域具备研究基础，多个科研团队一直从事先进半导体自旋电子学相关的理论以及实验研究。在研究工作中积累了大量关于先进半导体物性表征、自旋半导体器件制备和设计、自旋输运测量等方面的背景知识和工作经验。对于不同体系内的自旋弛豫、自旋输运机制以及自旋与其他外场的耦合有较深的理解。

广东省磁电物性基础学科研究中心（物理学）  
原创探索项目指南建议征集表

填表时间： 2024 年 11 月 28 日

编号： XKZX-YCTSXM-ZN-2025\_005

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 建议所属领域                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <input checked="" type="checkbox"/> 高温超导强关联<br><input type="checkbox"/> 拓扑磁电微结构<br><input type="checkbox"/> 低维磁电表界面<br><input type="checkbox"/> 磁电多场强耦合 |
| 建议所属创新方式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <input type="checkbox"/> 理论计算<br><input type="checkbox"/> 材料制备<br><input checked="" type="checkbox"/> 表征测量<br><input type="checkbox"/> 器件研发             |
| 建议指南方向<br>(项目名称)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 镍氧高温超导材料的高压研究                                                                                                                                           |
| 所属基金委<br>学科代码                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | A2008: 超导与超流                                                                                                                                            |
| <p><b>指南内容 (100 字)</b></p> <p>目前镍氧化物高温超导的研究已经成为全世界超导研究领域的热点，然而由于镍氧高温超导研究仍处于起步阶段，且需要在压力环境下进行物性测量，因此还有诸多物理问题尚且需要解决和解释。本项目拟利用多种高压表征方法研究镍氧化物高温超导材料的物性，为建立非常规超导机理的微观模型提供实验数据支持。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                         |
| <p><b>建议理由与依据 (500 字)</b></p> <p>高温超导材料及机理研究是凝聚态物理重要的研究对象之一，高温超导的微观机理研究于 2005 年和 2021 年两次入选《科学》杂志评选的“最重要前沿科学问题之一”。依托于广东省磁电物性分析与器件重点实验室发现的镍氧高温超导电性，目前已经成为全世界超导领域的研究前沿和研究热点。超导领域的发展对国家的科技进步具有战略意义，属于国家自然科学基金“十四五”发展规划优先发展领域之“11. 量子材料与器件”和“18. 非常规条件下的传递、反应及测量”，又与国家的“四个面向”战略导向中的“面向世界科技前沿、面向国家重大需求”相契合，高温超导领域的发展将对未来工业的发展带来变革性的影响。</p> <p>然而镍氧化物高温材料的研究尚处于起步阶段，镍氧高温超导电性的实现需要压力环境，很多问题尚且需要解决和解释，本项目拟通过化学掺杂和压力调控，寻找超导转变压力更低、超导临界温度更高的镍氧化物，并精确地确定镍氧化物超导材料的超导体积分数</p> |                                                                                                                                                         |

，判断超导本质是丝状超导还是块体超导；拟通过吸收谱等方法判断镍氧化物超导材料中镍-氧之间是否存在压力诱导的负电荷转移现象、自旋态随压力的转变、以及压力诱导的量子临界相变和演生序；拟利用高压拉曼谱学的方法研究与镍氧化物超导相关的超导能隙对称性、超导电子关联强度、晶格动力学、磁子激发和磁交换关联强度等性质；为建立高温超导机理的微观模型提供实验数据支持，高温超导机理解决将使得未来设计和优化适用于不同领域的高温超导材料与器件成为可能。

目前，广东省磁电物性分析与器件重点实验室在镍氧高温超导领域的理论和实验研究在世界上处于领先地位。在这个基础上，继续开展相关的研究有望在高温超导领域取得重大突破。

## 开展建议领域研究方向的可行性分析（400 字）

中山大学广东省磁电物性分析与器件重点实验室拥有国际一流的低温高压实验平台，目前可以实现0-200 GPa的高压结构及磁电物性研究，结合中山大学物理学院已配备的PPMS、MPMS、低温低波数拉曼光谱仪等先进的仪器设备可以进行高压下的电阻、霍尔、磁阻、交流磁化率、直流磁化率、拉曼及荧光研究，结合同步辐射光源，可以进行高压衍射和高压吸收谱研究，此外，中山大学广东省磁电物性分析与器件重点实验室有具有先进的材料生长平台，包括各种型号马弗炉、布里奇曼炉、高压反应炉、气相输运管式炉、高压光学浮区炉、激光光学浮驱炉等，为高压研究提供丰富的材料支持。国家超级计算广州中心（天河二号）也将为高压结构预测、高压能带结构计算、高压拉曼谱学分析、高压磁电物性相关的理论计算工作提供强大支撑。

# 广东省磁电物性基础学科研究中心（物理学）

## 原创探索项目指南建议征集表

填表时间： 2024 年 11 月 28 日

编号： XKZX-YCTSXM-ZN-2025\_006

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 建议所属领域                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <div><input type="checkbox"/> 高温超导强关联</div> <div><input type="checkbox"/> 拓扑磁电微结构</div> <div><input type="checkbox"/> 低维磁电表界面</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 磁电多场强耦合</div> |
| 建议所属创新方式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <div><input type="checkbox"/> 理论计算</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 材料制备</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 表征测量</div> <div><input type="checkbox"/> 器件研发</div>  |
| 建议指南方向<br>(项目名称)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 非常规反铁磁探索                                                                                                                                                                                   |
| 所属基金委<br>学科代码                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | A0402                                                                                                                                                                                      |
| 指南内容 (100 字)<br><p>探索并实现具有自旋能分裂的多种（包括共线及非共线磁结构的）非常规反铁磁材料。观测到其中自旋劈裂电子态，以及劈裂的磁激发色散谱。实现非常反铁磁畴实空间的直接成像观测，并实现其多物理场的原位调控及成像。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                            |
| 建议理由与依据 (500 字)<br><p>基于自旋的新一代器件，是后摩尔时代信息产业发展的主要方向之一，是国家芯片问题主要研究方向，也是广东省大湾区半导体、芯片产业集群，产学研重点布局的方向。在空间、动量和能量上操控电子的自旋是自旋电子学的基础和核心。传统的自旋电子学器件利用铁磁体作为自旋流的发生器和探测器，但存储密度不高，读写速度也相对较慢。与此相反，反铁磁材料的信息储存密度可以达到原子级，自旋动力学特性也可以实现皮秒级时间尺度的磁矩反转。理想的下一代自旋电子学材料需要具备铁磁体易于写入和读取信息的特性，也需要具备反铁磁体的高稳定性、高密度储存信息的能力和超快的自旋动力学性质。这可以在自旋轨道耦合为零的极限下的新型非常规反铁磁材料中实现。由于对成型保护、反铁磁诱导的自旋劈裂的出现，非常规反铁磁材料的能带能够实现巨大的、依赖动量的自旋极化，兼具铁磁体和反铁磁体的优点，从而有望取代铁磁体成为自旋电子学的材料基础。这不仅是磁学重大新领域的开辟，也会对相关磁性存储芯片产业带来变革性的影响。</p> |                                                                                                                                                                                            |

## 开展建议领域研究方向的可行性分析（400 字）

中山大学团队具有丰富的磁性量子材料探索经验，具有完整的材料制备平台和工艺，可以实现3000度，高压力浮区法，助熔剂，气象输运等多种单晶制备方法。物理学院也成功制备和生长了多种材料的高质量非常规反铁磁单晶，并被世界多个研究小组主动索要合作研究。中山大学在中子散射，自旋激发研究上具有丰富经验，依托中大谱仪，以及各种中子平台，可以实现反铁磁材料的动力学激发谱的详细研究。中山大学建设的微观磁性成像系统可以实现纳米级空间分辨和 $1\mu\text{THz}^{0.5}$ 的此分辨率的实空间成像，是目前观测反铁磁磁畴的为数不多的特色重要手段。中山大学搭建的角分辨光电子能谱可以观测到反铁磁材料表界面的自旋能隙分裂的电子结构，是确定非常规反铁磁的重要手段。此外中山大学还具有丰富完整的微纳加工和器件制备的平台和经验，以及极端条件多场调控输运测量的平台和经验，可以实现新型非常规反铁磁器件的制备及其自旋输运的表征。



广东省磁电物性基础学科研究中心（物理学）  
原创探索项目指南建议征集表

填表时间： 2024 年 11 月 28 日

编号： XKZX-YCTSXM-ZN-2025\_007

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 建议所属领域                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <input checked="" type="checkbox"/> 高温超导强关联<br><input type="checkbox"/> 拓扑磁电微结构<br><input type="checkbox"/> 低维磁电表界面<br><input type="checkbox"/> 磁电多场强耦合 |
| 建议所属创新方式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <input type="checkbox"/> 理论计算<br><input checked="" type="checkbox"/> 材料制备<br><input checked="" type="checkbox"/> 表征测量<br><input type="checkbox"/> 器件研发  |
| 建议指南方向<br>(项目名称)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 量子磁性材料中非平庸量子态的构建与表征                                                                                                                                     |
| 所属基金委<br>学科代码                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | A2009                                                                                                                                                   |
| 指南内容 (100 字)<br><p>依托中子源、强磁场等实验装置，开展阻挫磁性新材料研究；研究材料的磁基态、自旋涨落等性质；借助磁场、温度和压力来构建和调控非平庸量子态；结合多体理论计算，判定非平庸量子态的成因，探索非平庸量子态的应用。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                         |
| 建议理由与依据 (500 字)<br><p>超导及磁性关联材料等量子材料作为支撑国家量子科技发展的基石，对国家的科技进步具有战略意义，属于国家自然科学基金“十四五”发展规划优先发展领域之“11. 量子材料与器件”，又与国家的“四个面向”战略导向中的“面向世界科技前沿、面向国家重大需求”相契合。</p> <p>具体地，材料中海量的 (<math>\sim 10^{23}</math> 量级) 的磁矩、电荷等通过周期性势场、电子相互作用等方式相互关联、纠缠在一起，为实现各种宏观量子现象和奇异准粒子激发提供了丰富的土壤。强关联量子磁性的新材料探索、物性调控和理论研究蕴含着巨大的创新潜力和重大的科学意义及应用价值。在材料中构建非平庸量子态、理解并尝试操控电子的强关联相互作用对实现较高温度的拓扑量子计算、解决高温超导机理等难题具有极大的促进作用。</p> <p>目前，我国强关联量子磁性材料的理论和实验研究在世界上处于领先地位。在这个基础上，位于广东的大科学装置——散裂中子源为研究量子磁性材料中的非平庸量子自旋态</p> |                                                                                                                                                         |

提供了天然的区位优势，相关的研究有望在该领域取得重大突破。

### 开展建议领域研究方向的可行性分析（400 字）

中山大学物理学院及中子科学与技术中心拥有经验丰富的新量子材料探索、中子散射谱学测量、脉冲强磁场测量、理论及数据模拟计算等研究团队。目前中山大学物理学院已与中国散裂中子源合作建设了中国首台直接几何非弹性中子散射飞行时间谱仪（简称“中大谱仪”）。“中大谱仪”作为我国目前唯一的一台用于非弹性中子散射飞行时间谱仪，将成为我国重要的物质动力学性质研究平台。“中大谱仪”已在 2023 年 11 月揭牌，目前“中大谱仪”的全部建设和调试工作已经完成，并初步投入使用，可满足能量范围在 5~500 meV 的中子散射测量工作。此外，中山大学物理学院公共科研平台还拥有探索材料所需的各种型号马弗炉、高压光学浮区炉、PPMS、MPMS、稀释制冷机、X 射线衍射仪、劳厄衍射仪、低温低波数拉曼光谱仪等先进的仪器设备。国家超级计算广州中心（天河二号）也将为相关的理论计算工作提供强大支撑。

# 广东省磁电物性基础学科研究中心（物理学）

## 原创探索项目指南建议征集表

填表时间：2024 年 11 月 27 日

编号：XKZX-YCTSXM-ZN-2025\_008

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 建议所属领域                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <div><input type="checkbox"/> 高温超导强关联</div> <div><input type="checkbox"/> 拓扑磁电微结构</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 低维磁电表界面</div> <div><input type="checkbox"/> 磁电多场强耦合</div> |
| 建议所属创新方式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <div><input type="checkbox"/> 理论计算</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 材料制备</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 表征测量</div> <div><input type="checkbox"/> 器件研发</div>  |
| 建议指南方向<br>(项目名称)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 低维量子和功能磁性材料的设计和制备                                                                                                                                                                          |
| 所属基金委<br>学科代码                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | A2007 磁学及自旋电子学                                                                                                                                                                             |
| <div>指南内容（100 字）</div> <p>理论设计和预言新型低维量子和功能磁性材料，实验探索和制备新型低维量子和功能磁体，利用电学、磁性等谱学技术研究其电磁耦合和表界面性质，探索发现新奇的磁电基态和元激发效应，实现功能增强的新磁体和新应用。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                            |
| <div>建议理由与依据（500 字）</div> <p>新颖独特的或量子效应、功能效应显著的新型材料的设计、发现和制备是世界科技的前沿，也满足我国重点攻关关键项目和技术，突破“卡脖子”的难点，占领量子科技、信息安全、清洁能源等重大领域科技制高点的需求。通过发掘和利用低维量子和功能磁性材料的低维度性、显著的量子效应和易调谐性，各种新材料和新效应不断被发现，从而极大地推动世界科技前沿的发展。我国科学家在低维磁性的持续性研究，在不少领域实现重大突破，如铁基材料最高 <math>T_c</math> 的发现、镍基高温超导的新突破、量子反常霍尔效应实现的新高度、单层与薄层室温二维磁体的制备和调控等。</p> <p>量子限域效应增强的低维磁体，不仅仅是实现新奇量子基态和奇异元激发的优良载体（如电荷密度波、超导、分数激发和拓扑等），也是满足面向未来的新一代电子与自旋器件等强功能效应需求的材料和解决方案，尤其在磁存储器件、自旋逻辑电路和自旋量子器件领域的应用潜力巨大。我国在低维量子和功能磁体的研究在部分领域已经取得了领先的</p> |                                                                                                                                                                                            |

地位，加速这些领域的研究，可以进一步巩固我国在相关领域的制高点地位。广东省拥有国际领先的基础研究单位和强大的电子信息产业基础。在低维磁性领域的进一步研究，可以加深国际合作和交流，推动我国电子信息产业的升级和科技突破。

### 开展建议领域研究方向的可行性分析（400 字）

中山大学物理学院从事低维量子和功能磁性材料领域的团队数目众多，研究手段各有特色且互补性强，涵盖不同方向的理论设计与计算团队、技术互补和研究特点交叉增强的实验团队。理论方面包括模型设计与分析、不同精度下的数值计算与模拟等，从而可以充分开拓和满足低维量子与功能磁性材料的多样性设计需求。实验方面涵盖各种材料制备的基础支撑和样品物性研究的各色技术手段。材料制备方面的支撑包括：各式马弗炉、单温区与多温区水平炉、光学浮区炉、布里奇曼炉、MBE 与 PLD 薄膜样品生长设备等。关键性的样品表征和物性研究技术包括（加压下）电子输运测量、超导量子干涉仪、扫描隧道显微镜、透射电子显微镜、原子力与磁力显微镜、中子与同步辐射散射、低维材料加工与转移平台等。理论和实验团队的研究兴趣广泛，交叉互补性强，在部分研究领域有坚实基础并取得了领先地位。因此，建议进一步加大低维量子和功能磁性材料的设计和制备领域的研究，巩固中山大学物理学院的优势，进一步实现新突破。

# 广东省磁电物性基础学科研究中心（物理学）

## 原创探索项目指南建议征集表

填表时间： 2025 年 1 月 1 日

编号： XKZX-YCTSXM-ZN-2025\_009

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>建议所属领域</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <input checked="" type="checkbox"/> 高温超导强关联<br><input type="checkbox"/> 拓扑磁电微结构<br><input type="checkbox"/> 低维磁电表界面<br><input type="checkbox"/> 磁电多场强耦合 |
| <b>建议所属创新方式</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <input checked="" type="checkbox"/> 理论计算<br><input type="checkbox"/> 材料制备<br><input type="checkbox"/> 表征测量<br><input type="checkbox"/> 器件研发             |
| <b>建议指南方向<br/>(项目名称)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 镍基高温超导机理                                                                                                                                                |
| <b>所属基金委<br/>学科代码</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                         |
| <b>指南内容（100 字）</b><br><br>新型镍基超导体 $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$ 是由中山大学主导发现,在压力下具有超过液氮温区的超导转变温度,引起了国内外的广泛关注。新型镍基超导体是典型的非常规超体,目前发现层间相互作用、多轨道特性、反铁磁关联、洪特相互作用等在其中起到重要的作用,对其高温超导机理的研究有重要的科学价值和实用意义。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                         |
| <b>建议理由与依据（500 字）</b><br><br>高温超导体由于其高临界温度、高临界磁场等方面的优点,使得其在超导发电机、超导输电、超强磁体,生物磁测量、地球物理勘探及军事探测等领域有着重要的潜在应用前景。理解和探索新的高温超导体是当今物理学届的最重要和最前沿的课题之一。自 1986 年以来,铜氧化物超导体、铁基超导体等相继被发现,然而其超导机理尚未被完全揭示,系统性提高超导临界温度的方法仍然不甚明晰。找到新的高温超导材料,以丰富高温超导研究体系,探索到可能具有高超导临界温度新材料的系统性方法。<br><br>2019 年斯坦福大学研究团队在掺杂的 $\text{Nd}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{NiO}_3$ 薄膜中发现了镍基体系的超导电性,然而该材料体系目前仅在薄膜样品中具备超导电性,体材料超导电性尚未被找到。2023 年,中山大学王猛、姚道新团队做出了突破性发现,在双层镍氧化物 $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$ 体材料中发现了 14Gpa 压力下的液氮温区的高温超导电性。随后,三层镍氧化物超导体 $\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{10}$ |                                                                                                                                                         |

也被发现。这一类镍氧化物具有多层镍氧面，多个 d 轨道参与超导，具有丰富的物理内涵和可调控性，也给从理论上理解镍基超导带来了挑战。

新型镍基超导体  $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$  由中山大学姚道新团队率先发现并构建了其首个理论模型。在探索  $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$  的研究中，中山大学联合广东省内多所高校和实验室，组建了一支在镍基超导领域具有国际领先水平的研究团队。依托现有的理论计算优势，充分发挥广东省研究团队在新型镍基超导体理论与实验方面的先发优势，有望在新型高温超导研究领域实现新的突破，进一步巩固广东省及中山大学团队在国际新型镍基超导研究前沿的地位。

**开展建议领域研究方向的可行性分析（400 字）**

中山大学姚道新团队团队参与了  $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$  的首次发现，并首次提出了该体系的双层两轨道物理模型，该物理模型成为研究新型镍基超导体  $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$  的标准范式，被后续不同实验和理论文章广泛关注和引用。其次，姚道新团队还利用重整化平均场研究了  $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$  中的超导电性，以及三层镍氧化物  $\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{10}$  的能带结构和有效物理模型等。该团队从实验分析、材料能带结构模拟、物理模型构建，以及超导电性数值计算等不同方面具备丰富的经验和研究能力，可以保证项目的顺利进行。物理学院其他老师，包括吴为、曹坤等老师也具备超导材料与理论模型计算方面的丰富经验。中山大学物理学院具备有近 1000 核的超算资源，可以为镍基超导理论计算提供充足的计算资源方面的保障。另外，在实验方面，姚道新教授团队与王猛教授实验团队建立了紧密的合作，理论计算方面的结果、突破可及时与实验团队交流，验证，可以保证研究项目的顺利推进。因此，从研究背景经验，理论合作，计算资源保障，以及实验验证等方面来看，该研究项目具备充分的可行性。

# 广东省磁电物性基础学科研究中心（物理学）

## 原创探索项目指南建议征集表

填表时间： 2025 年 1 月 1 日

编号： XKZX-YCTSXM-ZN-2025\_010

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 建议所属领域                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <input type="checkbox"/> 高温超导强关联<br><input checked="" type="checkbox"/> 拓扑磁电微结构<br><input type="checkbox"/> 低维磁电表界面<br><input type="checkbox"/> 磁电多场强耦合 |
| 建议所属创新方式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <input checked="" type="checkbox"/> 理论计算<br><input type="checkbox"/> 材料制备<br><input type="checkbox"/> 表征测量<br><input type="checkbox"/> 器件研发             |
| 建议指南方向<br>(项目名称)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 交错磁体上的拓扑和超导                                                                                                                                             |
| 所属基金委<br>学科代码                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | A2014 凝聚态新兴与交叉学科                                                                                                                                        |
| <b>指南内容 (100 字)</b><br><p>交错磁体是近年来新发现的磁体，在实空间具有反铁磁的结构，而在动量空间具有非相对论性自旋劈裂的能带特征，是磁电领域的一大新方向，具有丰富的物理内涵，同时在自旋电子学、超高密度信息存储、超快等方面具有应用潜力。对其拓扑电子能带、拓扑磁子激发、拓扑超导态、以及异质结等的研究，具有重要的基础和应用价值。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                         |
| <b>建议理由与依据 (500 字)</b><br><p>磁性是自然界中的一种基本现象，其应用范围一直伴随着人类社会的进步而不断延伸。量子理论的创建使得人类对磁性有了深刻的理解。上个世纪凝聚态物理的发展让人们认识到自然界中存在两类基本的共线型磁性，分别称为铁磁和反铁磁。其中铁磁对应局域磁矩共线地朝着一个方向排列，因而具有非零的宏观磁化；反铁磁对应局域磁矩在实空间共线但交错地排列，致使宏观磁化为零。这种二分的图像已成为凝聚态物理中的一个基本常识。然而，在 2022 年，物理学家从群论的视角发现反铁磁可以被进一步分类。这个理论突破导致了交错磁体的提出。交错磁体具有独特的铁磁和反铁磁二象性，这导致交错磁体迅速成为凝聚态物理研究的一个前沿方向。仅仅两年时间，关于交错磁体的论文已有大约 500 篇，而且论文出现的速度在进一步增长。这背后的主要原因是因为交错磁体有望能同时兼顾铁磁和反铁磁的优点，从而有望给很多基于磁体的应用方向（如自旋电子学）带来新的突破。在基础科学研究层面，交错磁体中对称性和能带劈裂的关联可以导致新奇的拓扑能带结构，</p> |                                                                                                                                                         |

而其和超导的关联可以产生非常规超导甚至拓扑超导。综上所述，交错磁体是非常重要的前沿方向，对其的拓扑和超导性质的研究具有重要的科学意义。

### **开展建议领域研究方向的可行性分析（400 字）**

中山大学物理学院具备雄厚的师资、充足的计算资源和先进的实验设备，具备深入开展交错磁体方面的理论研究和实验研究的实力。在研究基础方面，团队成员姚道新长期在磁性和超导领域开展研究，对磁性和超导的微观机理、相互关联、物性表征等方面具备丰富的研究经验；团队成员严忠波长期致力于拓扑物态的基础理论研究，对拓扑理论有深刻的理解，且已在交错磁体的拓扑和超导性质研究方向做出有影响力的研究工作；团队成员曹坤长期从事指南相关方向工作。



广东省磁电物性基础学科研究中心（物理学）  
原创探索项目指南建议征集表

填表时间： 2024 年 11 月 28 日

编号： XKZX-YCTSXM-ZN-2025\_011

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 建议所属领域                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <div><input type="checkbox"/> 高温超导强关联</div> <div><input type="checkbox"/> 拓扑磁电微结构</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 低维磁电表界面</div> <div><input type="checkbox"/> 磁电多场强耦合</div> |
| 建议所属创新方式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <div><input checked="" type="checkbox"/> 理论计算</div> <div><input type="checkbox"/> 材料制备</div> <div><input type="checkbox"/> 表征测量</div> <div><input type="checkbox"/> 器件研发</div>             |
| 建议指南方向<br>(项目名称)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 量子自旋系统中的高能磁激发                                                                                                                                                                              |
| 所属基金委<br>学科代码                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | A2009 强关联体系                                                                                                                                                                                |
| <div>指南内容 (100 字)</div> <p>针对多聚体、阻挫磁体等低维量子自旋系统开展非弹性中子散射谱、共振非弹性 X 射线谱等的磁激发理论研究，发展高精度的量子多体计算方法研究磁激发谱，理论结合实验，理解自旋子、双重子、四重子等新型元激发物理。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                            |
| <div>建议理由与依据 (500 字)</div> <p>磁激发是当前凝聚态物理极其活跃的科学前沿，新现象、新思想不断出现，对探索物质的微观结构和动力学，理解高温超导机理，研发量子信息器件起着非常重要的作用。对于低维量子自旋系统，自旋子、双重子、四重子、弦激发等新型激发是目前重要的科学前沿，其中双重子、四重子的概念由中山大学主导提出，能够跟中山大学高能非弹性中子散射谱仪相结合，做出国际领先的成果。</p> <p>磁激发是揭示多自旋关联体系物理性质的关键要素，对于理解和开发各种量子现象(如超导等)至关重要，这一领域正在迅速发展，不断涌现出新概念和新效应，如量子自旋液体中自旋子、三聚体中的双重子和四重子、弦激发、拓扑磁子等，这些元激发在量子信息传输和量子计算领域具有潜在的应用价值。在实验层面，非弹性中子散射、共振非弹性 X 射线散射、拉曼散射等技术的进步为研究磁性材料的结构和激发特性提供了强有力的工具，例如，中山大学和中科院高能所在东莞散列中子源共建的高能直接几何非弹性中子散射飞</p> |                                                                                                                                                                                            |

行时间谱仪是研究量子材料磁激发性质的重大科学装置。在理论层面，针对磁激发性质的计算方法开发，为高精度计算磁激发提供了可靠的方案，这些方法仍在不断发展、提高结果的精度。通过实验与理论计算的紧密结合，研究者对磁激发中的关联和纠缠特性的认识不断深入推进，为下一步实用器件化做好理论铺垫。

## 开展建议领域研究方向的可行性分析（400 字）

中山大学和中科院高能所在东莞散列中子源共建了一台非弹性中子散射谱仪(中大谱仪)，围绕这个谱仪，学院在磁激发研究领域具有发展壮大的实验团队和理论团队。近些年来，以王猛为代表的实验团队在中子散射研究镍基超导等方面做出了重要的工作。以姚道新为代表的理论团队也在磁激发的理论模拟方面做出了重要特色的工作。例如，姚道新团队国际首次理论预言了三聚体海森堡链中的双重子和四重子新型激发，该理论被随后的非弹性中子散射实验所证实。近些年，团队不断对两种激发进行了系统的研究，这些工作跟中大谱仪高度契合，未来进一步跟实验结合，能够做出国际领先的成果。

# 广东省磁电物性基础学科研究中心（物理学）

## 原创探索项目指南建议征集表

填表时间： 2025 年 1 月 1 日

编号： XKZX-YCTSXM-ZN-2025\_012

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 建议所属领域                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <input checked="" type="checkbox"/> 高温超导强关联<br><input type="checkbox"/> 拓扑磁电微结构<br><input type="checkbox"/> 低维磁电表界面<br><input type="checkbox"/> 磁电多场强耦合 |
| 建议所属创新方式                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <input checked="" type="checkbox"/> 理论计算<br><input type="checkbox"/> 材料制备<br><input type="checkbox"/> 表征测量<br><input type="checkbox"/> 器件研发             |
| 建议指南方向<br>(项目名称)                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | AI 驱动的超导和磁电材料预测                                                                                                                                         |
| 所属基金委<br>学科代码                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | A2014 凝聚态新兴与交叉学科                                                                                                                                        |
| <b>指南内容（100 字）</b><br><p>AI 驱动的计算物理通过处理海量物理数据并识别出隐藏的模式和关系，可以快速识别超导和重要磁电系统中的关键特征，为超导和磁电材料发现开辟新途径。通过结合 AI 与物理理论，开发具有较高预测精度和可解释性的 AI 模型，用于超导和磁电材料的预测和分析。</p>                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                         |
| <b>建议理由与依据（500 字）</b><br><p>当前，AI 驱动的计算物理正迅速成为高温超导与强关联电子体系研究的前沿方向。高温超导与磁电材料作为凝聚态物理中的核心问题，涉及强电子关联、自旋轨道耦合、多体相互作用等复杂物理机制，传统理论计算在高精度预测和材料筛选方面面临巨大挑战。人工智能技术具备强大的模式识别和特征提取能力，可在多源实验与理论数据基础上识别影响超导临界温度、磁电耦合强度等关键因素，从而加速材料的发现与性能优化。在国家“双碳”战略、高性能计算、量子信息等重大科技需求推动下，发展 AI 驱动的超导和磁电材料预测平台不仅契合绿色低碳器件、信息处理新材料等技术方向，也是支撑我国在前沿基</p> |                                                                                                                                                         |

础研究中抢占制高点的必由之路。该方向紧密结合理论物理与人工智能两大技术体系，具有交叉融合、快速响应的优势，适合以广东为代表的粤港澳大湾区发展智能制造与先进材料的战略定位。同时，项目依托国内已有的高通量第一性原理平台和丰富实验数据库，有望在提高预测精度、增强可解释性方面取得突破，打造具有自主知识产权的材料设计范式，体现我国在材料科学、人工智能及高性能计算的协同优势，对引领强关联材料研究和实现超导器件工程化具有重要支撑作用。

### 开展建议领域研究方向的可行性分析（400 字）

中山大学物理学院在高温超导与强关联电子体系研究方面拥有坚实的理论与计算基础，近年来在强关联系统、自旋涨落机制、量子多体计算方法等方向取得了多项高水平成果，具备深入开展 AI 驱动的超导与磁电材料研究的良好基础。学院拥有多名长期从事第一性原理计算、强关联电子结构理论及磁性材料模拟的科研骨干，积累了丰富的研究经验和高质量的数据资源，同时建有完善的高性能计算平台，能够支撑大规模数据训练与复杂模型模拟。此外，学院积极推进人工智能与物理的交叉融合，已在机器学习辅助材料预测、神经网络势能构建等方向开展了前期探索，具备发展可解释、高精度 AI 模型的技术储备。依托中山大学在粤港澳大湾区的区位优势，项目还可联合材料、人工智能、计算机等多学科力量开展协同攻关，推动形成从理论设计到实验验证的完整创新链条。总体而言，物理学院在研究团队、学科交叉及区域协同等方面已形成明显优势，可为开展 AI 驱动的超导与磁电材料预测研究提供良好的平台。

# 广东省磁电物性基础学科研究中心（物理学）

## 原创探索项目指南建议征集表

填表时间： 2024 年 11 月 28 日

编号： XKZX-YCTSXM-ZN-2025\_013

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 建议所属领域                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <div><input type="checkbox"/> 高温超导强关联</div> <div><input type="checkbox"/> 拓扑磁电微结构</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 低维磁电表界面</div> <div><input type="checkbox"/> 磁电多场强耦合</div> |
| 建议所属创新方式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <div><input checked="" type="checkbox"/> 理论计算</div> <div><input type="checkbox"/> 材料制备</div> <div><input type="checkbox"/> 表征测量</div> <div><input type="checkbox"/> 器件研发</div>             |
| 建议指南方向<br>(项目名称)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 低维磁电材料微结构动力学演化与功能物性多场耦合响应的多尺度建模                                                                                                                                                            |
| 所属基金委<br>学科代码                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | A2015 计算物理学                                                                                                                                                                                |
| <div>指南内容（100 字）</div> <p>围绕低维磁电功能材料的微结构演化和功能物性的多物性在多场耦合激励下的动力学响应，建立动力学与热力学统一的多尺度模拟框架，并完善现有的低维磁电材料计算模拟方法的非线性与非绝热的物理力学基础和非平衡统计热力学基础。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                            |
| <div>建议理由与依据（500 字）</div> <p>低维磁电功能材料可通过原子级的晶体结构设计，实现丰富的微结构与功能物性调控，是下一代新型智能器件的基础材料之一。大量研究表明，低维磁电材料具有独特表面结构降低翻转势垒又保证热稳定性，还可使信息写入高速低耗且抗疲劳，并与低维材料磁、光、超导、谷电子、拓扑性质、声子手性等丰富物性的耦合使它们可以被非易失性电控，相关的莫尔铁电、金属铁电、非线性霍尔效应等也极大丰富了铁电物理，为探索新奇物理现象和开发新型电子器件提供了广阔平台。在具有高时空分辨率的实验技术的支持下，国内外针对磁电功能材料的研究逐步深入：在空间尺度上，从铁电畴到畴壁，现在是原子尺度上的晶胞电偶极子；在时间尺度上，从准静态到太赫兹偏振动力学，甚至在某些光电应用中到飞秒尺度。相应地，还开发了理论和多尺度模型来描述和表征这些新的超快和原子过程。在理论发展过程中，研究人员希望借用宏观物理量、概念和图片来描述原子级磁电系统中的微观过程。因此，当人们将描述准静态过程的模型推广到非平衡过程时，应该仔细检查和讨论所开发模型的有效性和合理性。建立描述磁电功能材料微结构动力学</p> |                                                                                                                                                                                            |

演化及其多物性在多场耦合作用下动态响应的多尺度模拟框架，不仅为新材料在工业中的广泛应用带来了现实希望，也将为国家与大湾区在未来智能产业的布局与发展提供坚实的理论支撑。

## 开展建议领域研究方向的可行性分析（400 字）

中山大学物理学院在低维磁电功能材料微结构物性的多尺度建模具备了坚实的基础与优势。首先，学院长期致力于光电材料与器件开发，积累了大量的经验，也取得了丰硕的成果。依托中山大学物理学院公共平台及广东省磁电物性分析与器件重点实验室，已经建成了包括电子尺度密度泛函、原子尺度动力学、介观尺度相场理论以及连续介质力学理论的研究队伍以及相应的软硬件条件；同时，学院还建成了完备的跨多个时间空间尺度的磁电微结构与物性表征测试平台，包括高空间分辨的多场耦合加载微纳米探针类及原子尺度电子显微原位技术的多物性实验表征测量平台，高时间分辨的磁光克尔测量平台等的综合物理力学物性测试平台，为理论建模提供了坚实的实验数据的支持与保障。

# 广东省磁电物性基础学科研究中心（物理学）

## 原创探索项目指南建议征集表

填表时间： 2024 年 11 月 28 日

编号： XKZX-YCTSXM-ZN-2025\_014

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 建议所属领域                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <div><input type="checkbox"/> 高温超导强关联</div> <div><input type="checkbox"/> 拓扑磁电微结构</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 低维磁电表界面</div> <div><input type="checkbox"/> 磁电多场强耦合</div>           |
| 建议所属创新方式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <div><input type="checkbox"/> 理论计算</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 材料制备</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 表征测量</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 器件研发</div> |
| 建议指南方向<br>(项目名称)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 基于超宽禁带半导体的界面磁电物性研究                                                                                                                                                                                   |
| 所属基金委<br>学科代码                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | E0307. 智能与仿生材料<br>E1303. 材料多功能集成与器件                                                                                                                                                                  |
| <div>指南内容（100 字）</div> <p>深入发掘超宽禁带半导体在磁电功能物性上的应用潜力，发展相应的功能器件。具体将研究 Ga2O3、GaN、金刚石在不同界面终端上的电极化特性以及其诱导的二维电子\空穴气特征，研究金刚石 NV 色心的磁性及其与界面的相互作用。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                      |
| <div>建议理由与依据（500 字）</div> <p>我们国家作为全球最大的半导体高声，对半导体产品需求巨大，我国站在国家战略高度，通过各种政策持续大力扶持国内宽禁带与超宽禁带半导体的发展，如《中国制造 2025》国家战略，以及面向“十四五”新兴产业发展规划中，均布局了宽禁带半导体相关的内容。目前珠三角与粤港澳大湾区也形成了第三代半导体的集聚产业，相关产品也开始在新能源汽车、光伏、消费类电子产品、轨道交通、半导体照明、5G 射频等方面实现优势明显的应用。新一代的超宽半导体材料的发展也成为中美大国博弈的科技制高点。</p> <p>超宽禁带半导体的禁带宽度大于 3.4eV,这使得它们在耐高压、耐高温、高频、抗辐射能力等方面优于现在的 Si 基与宽禁带半导体，主要包括金钢石、氧化镓、氮化镓等，在超高压电力电子器件、射频电子发射器、深紫外光电探测器、量子通信和极端环境应用等领域有巨大的应用前景，是支撑未来产业发展和转型升级的重点核心材料。</p> <p>本项目将基于广东省磁电物性基础学科中心在磁电功能材料上的布局，先行性地研究</p> |                                                                                                                                                                                                      |

超宽禁带半导体的表界面带来的电极化，以及相关的界面掺杂引起的电学特性，关注新型材料中界面能级特征，界面掺杂、空位对自旋、极化的影响，探索超宽禁带半导体在磁电物性上的崭新应用，为未来适应极端环境下的功能器件应用打下基础。

## 开展建议领域研究方向的可行性分析（400 字）

在国家重大项目的支持下，广东省磁电物性分析与器件重点实验室和“物理力学与生物物理研究中心”在宽禁带半导体与超宽禁带半导体材料的制备与器件开发方面积累了丰富的经验，目前在设备上已经具有 MOCVD、PLD、MPCVD、HVPE、提拉单晶炉、磁控溅射、电子束曝光系统、原子层沉积系统、ICP 刻蚀机、无掩模板光刻系统与高功率电输运测量系统等材料制备和加工设备，可顺利实现项目中氧化镓、氮化镓、金刚石薄膜等超宽禁带半导体材料的制备和微加工；实验室也拥有 AFM/PFM/CAFM/SKPM、SEM、球差电镜、Nano IR、PPMS、XRD、DLTS、TEM、Raman、铁电分析仪、半导体特性分析仪等设备，以及自主设计与整合发展的一套固体微结构多态特性测量平台，完全有能力进行材料微观形貌、极性微结构及其光电物理特性的表征和调控。

在器件层面，目前可以进行宽禁带半导体的器件模拟与仿真，在器件的制备以及后期动态失效性能测试方面开展了大量的研究，在 SiC 功率器件新结构，器件物理模型、SiC 芯片工艺与制备、以及性能分析等方面取得了多项成果，已经形成集器件结构设计、理论机理研究、芯片研制、性能测试分析的研究团队，开发出 6500V SiC MOSFET 器件和 2000V 氧化镓 MOSFET 等系列产品与样品，部分产品性能已经接近国内外先进器件技术水平。



# 广东省磁电物性基础学科研究中心（物理学）

## 原创探索项目指南建议征集表

填表时间：2024 年 11 月 28 日

编号：XKZX-YCTSXM-ZN-2025\_015

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 建议所属领域                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <div><input type="checkbox"/> 高温超导强关联</div> <div><input type="checkbox"/> 拓扑磁电微结构</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 低维磁电表界面</div> <div><input type="checkbox"/> 磁电多场强耦合</div>           |
| 建议所属创新方式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <div><input type="checkbox"/> 理论计算</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 材料制备</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 表征测量</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 器件研发</div> |
| 建议指南方向<br>(项目名称)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 基于二维滑移铁电的神经形态视觉器件研究                                                                                                                                                                                  |
| 所属基金委<br>学科代码                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <div>A040204. 表面、界面和低维系统的电子结构及电学性质</div> <div>A040103. 凝聚态物质的力学、热学性质，相变和晶格动力学</div>                                                                                                                  |
| <div>指南内容（100 字）</div> <p>探讨具有滑移铁电特性的二维磁电材料在集感知、存储与计算于一体的神经形态视觉器件中的应用潜力。具体将分析光场对二维铁电、铁磁材料滑移极性的影响，探究其光信息感知和存储功能，并进一步研究低维磁电功能材料在不同的极性状态下与光响应之间的关系。</p>                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                      |
| <div>建议理由与依据（500 字）</div> <p>随着人工智能、物联网和边缘计算等技术的快速发展，传统计算架构已逐渐暴露出性能瓶颈。神经形态计算作为一种模仿大脑神经网络的信息处理模式，凭借其低功耗和高并行处理能力，能够突破现有架构的限制，满足日益增长的计算需求。国际上，尤其是欧美国家，在人工智能芯片、脑-机接口及智能视觉系统领域的投入不断加大。国家战略在“十四五”规划中明确提出对下一代信息技术和智能硬件设备的巨大需求，并持续加强对相关技术研发的支持力度。随着产业的转型升级，国家对智能制造、自动化设备以及高效计算平台的需求愈加迫切。作为多功能集成器件，神经形态视觉器件能够有效提升智能视觉系统的处理能力，推动自动化生产、机器人视觉感知、无人驾驶等高新技术的进步，具有广泛的应用前景。</p> |                                                                                                                                                                                                      |

与传统铁电材料相比，基于二维材料的滑移铁电利用“层间滑移”机制显著提升了抗疲劳性，使得其能够在极低的功耗下实现多次读写操作。主要包括具有范德华层状结构的材料，如  $\gamma$ -InSe、3R-MoS<sub>2</sub>、BN、3R-WS<sub>2</sub>等，这些材料具备良好的导电性、稳定性和可调的极化特性。因此其在神经形态计算领域具有广泛的应用前景，特别是在低功耗、高并行计算的神经形态器件中，如记忆存储单元、忆阻器以及集成感知与处理功能的视觉传感器中，这些器件可以实现高效的信息存储和处理

本项目将依托广东省磁电物性基础学科中心在神经形态器件领域的布局，开展对二维磁电功能材料的滑移极性在电场和光场共同调控作用下极性和光响应特性之间相互影响的研究，揭示其感知和存储特性，以及应用于在神经网络计算中的优势，为其在神经形态视觉器件中的应用奠定基础。

## 开展建议领域研究方向的可行性分析（400 字）

在广东省磁电物性基础学科中心的支持下，广东省磁电物性分析与器件重点实验室和“物理力学与生物物理研究中心”在二维半导体铁电器件的开发方面积累了丰富的研究经验和技术优势。目前，实验室配备了电子束曝光系统、原子层沉积系统、无掩模板光刻系统、高功率电输运测量系统及半导体光电流设备平台等先进材料制备和加工设备，可以顺利实现二维功能材料器件的制备、微结构加工及性能测试。

此外，实验室还拥有 AFM/PFM/CAFM/SKPM、SEM、球差电镜、XRD、Raman、铁电分析仪等先进表征设备，能够全面表征二维磁电材料的微观形貌、极性微结构及其光电物理特性，表明了实验室具备强大的材料分析表征能力，能够为二维磁电材料在光电场下的物理分析相关研究提供强有力的技术支持，确保项目的顺利开展。

在理论层面，中心针对范德华层状材料的滑移铁电相关已有深入的研究基础。滑移铁电兼具极低翻转势垒和较高居里温度，可使信息写入高速低耗且抗疲劳，目前都被实验证实。我们将滑移铁电与二维材料的丰富物性相结合，并基于此展开了一系列的理论研究。如二维材料铁磁、铁谷、光学、超导等丰富物性的耦合，并取得了一定的研究成果。理论上揭示了应变工程来控制滑移铁电双层材料中的自旋-能谷耦合机制、以及多层范德华材料滑移铁电特性的多场调控，并积累了大量的理论计算经验；针对多层滑移铁电体系，进一步通过机器学习势能函数（DeePMD），揭示了滑移铁电材料畴壁运动的动力学特性。已初步形成理论机理分析、机器学习测试、器件性能测试分析的综合研究团队。

广东省磁电物性基础学科研究中心（物理学）

原创探索项目指南建议征集表

填表时间： 2024 年 11 月 28 日

编号： XKZX-YCTSXM-ZN-2025\_016

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 建议所属领域                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <div><input type="checkbox"/> 高温超导强关联</div> <div><input type="checkbox"/> 拓扑磁电微结构</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 低维磁电表界面</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 磁电多场强耦合</div> |
| 建议所属创新方式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <div><input type="checkbox"/> 理论计算</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 材料制备</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 表征测量</div> <div><input type="checkbox"/> 器件研发</div>             |
| 建议指南方向<br>(项目名称)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 铁性材料的原位多场调控与中子散射研究                                                                                                                                                                                    |
| 所属基金委<br>学科代码                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | A2006, A3005                                                                                                                                                                                          |
| 指南内容 (100 字)<br><p>基于高能非弹中子谱仪,对于具有磁电耦合的多铁性材料和具有光电特性的新型铁电材料,发展原位力学和原位电/磁场加载方法,研究磁序、极化、晶格等多种序参量的耦合机理,实现有效地调控。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                       |
| 建议理由与依据 (500 字)<br><p>铁性材料,包括磁电耦合的多铁性材料与铁电-光电等耦合的新型功能材料和相关耦合机理,是凝聚态物理和功能材料近年来发展的热点领域。其在磁电传感、非易失光电存储、类脑与人工智能器件等众多信息技术和控制领域有着十分广泛的应用前景,是我国和大湾区地区重点发展的领域。</p> <p>当前已有材料性能难以完全满足产业和国家需求。新材料的寻找处在试错法,经验寻优等多种较为原始低效的层次。在机理层面,磁电耦合多铁材料中自旋和晶格(极化)序参量之间的耦合和新型钙钛矿等铁电材料中的声子与电极化耦合的研究都涉及到从原子层次理解晶格和自旋在外场作用下如何响应和演化的核心问题。对多种铁序耦合机制及对外场的响应规律把握不清,导致新材料的研究和器件性能提升缺少理论有效指导。</p> <p>传统方法对晶格和自旋序在微观尺度和加载条件的表征在技术上受到较大限制。中子散射技术作为一种对晶体和自旋结构及动力学都具有深度表征能力的表征技术,同时由于</p> |                                                                                                                                                                                                       |

其强穿透等特性而对样品环境和原位加载有着天然优势，为原位研究铁性材料的微观序演化和外场调控提供了一个强有力的工具。依托中大谱仪，发展原位调控和加载方法，并在原位条件下对多种序参量演化和耦合进行表征，对深入理解铁性材料和指导优化提升材料器件性能具有重要意义。

## 开展建议领域研究方向的可行性分析（400 字）

中山大学物理学院在中国散裂中子源建设了国内首台也是唯一一台高能中子非弹性散射谱仪，并建立了完整的基于中子散射装置建设、方法研究和科学研究的团队，为本项目的实验提供了重要的保证。同时依托广东省磁电物性分析与器件重点实验室，在铁性材料的样品制备和测试表征、理论计算模拟等方面有着完备的实验和研究条件。这些条件包括用于多铁性材料和新型铁电材料制备所必需的光学浮区炉、X 射线衍射及劳厄衍射、原子力显微镜、综合物性测量系统、铁电材料分析系统等。理论计算方面有完备的从原子尺度的第一性原理计算、分子动力学，到微结构尺度的相场分析软件和方法，实验室在该方面有着深厚的积淀。

在任务导向方面，实验室在原位多场加载下利用中子谱学开展物质动力学研究方向承担了国家基金委重大仪器研制任务。本课题研究围绕该方向，可以充分发挥装置作用，同时本课题的可行性将得到极大地保证。

广东省磁电物性基础学科研究中心（物理学）  
原创探索项目指南建议征集表

填表时间： 2024 年 11 月 28 日

编号： XKZX-YCTSXM-ZN-2025\_017

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 建议所属领域                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <div><input type="checkbox"/> 高温超导强关联</div> <div><input type="checkbox"/> 拓扑磁电微结构</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 低维磁电表界面</div> <div><input type="checkbox"/> 磁电多场强耦合</div>           |
| 建议所属创新方式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <div><input type="checkbox"/> 理论计算</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 材料制备</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 表征测量</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 器件研发</div> |
| 建议指南方向<br>(项目名称)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 包含 III-V 族化合物半导体的多异质结叠层型光电器件的界面物性与光电特性研究                                                                                                                                                             |
| 所属基金委<br>学科代码                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                      |
| <div>指南内容（100 字）</div> <div>深度发掘包含 AlInGaAs、AlInGaP、AlGaAs 等 III-V 族三、四元化合物半导体制备而成的多带隙叠层结构在电、光、磁性器件中的应用潜力，并开发出可耐低温、抗辐照环境下的光电功能器件，具体将包含多异质结叠层型光电器件的表界面、内部缺陷及光电特性之间的量化关联，以及在极端环境下的材料物性与器件性能劣化规律。</div>                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                      |
| <div>建议理由与依据（500 字）</div> <div>III-V 族化合物半导体材料，具有电子迁移率高、大尺寸晶体均匀性好、光学特性优异等诸多优势，已广泛用于功率器件、微波通信、激光器、光电探测器等高端芯片领域。若将组分不同的 III-V 族三、四元化合物依序生长在同一单晶衬底上，可形成一组禁带宽度可变的多异质结叠层结构，通过合理的材料与结构设计，可覆盖紫外-近红外波段的宽波段光谱响应和优异的光电转换特性，兼具高稳定性、耐低温、轻质等突出优点，现已成为各类航天型光伏器件、光电探测器的核心设计。其中，以航天型光伏器件为例，其叠层的材料组合与结构设计严重制约着芯片在太空环境下的光电转换效率和在轨寿命。因此，开发面向航天应用的具有创新性的多结叠层型光电器件，并探索表面态、界面态、叠层应力、缺陷分布对器件特性的影响规律，以及在极端环境下的器件性能的劣化规律的相关研究，是符合《国家“十四五”发展规划》中面向航空航天领域的国家重大需求，是代表高端半导体器件领域的前沿性基础研究课题。</div> |                                                                                                                                                                                                      |

本项目将基于广东省磁电物性基础学科中心在光电功能材料上的布局，先行研发面向航天应用的包含多异质结叠层结构的高端光电芯片，并探索其在极端环境下的材料物性和器件特性，研究内容包括：不同组分的叠层结构的表面态、界面态对载流子输运、复合等机制的影响；叠层组合、缺陷分布、应力分布、与光电特性的量化规律；极端低温及宇宙射线辐照后器件物性的劣化机制与规律；提升器件抗辐照、耐低温性能的新设计与新工艺；以及多异质结叠层结构在光、电、磁物性上的崭新应用等，为未来适应极端环境下的光电器件的应用打下基础。

### 开展建议领域研究方向的可行性分析（400 字）

广东省磁电物性分析与器件重点实验室具有完备的高端半导体的制备、测试与分析设备：1）具有 MOCVD、磁控溅射、电子束曝光系统、原子层沉积系统、ICP 刻蚀机、无掩模板光刻系统等外延生长和流片设备，可实现 III-V 族化合物半导体多异质结叠层型光电器件的外延生长、流片和微加工工艺；2）拥有 AFM、SEM、PPMS、XRD、TEM、UV-可见光分光光度计等测试设备，团队也自主设计开发了针对多结叠层型光电器件的可见光区的电致发光测试系统，可进行多结叠层型器件的表界面微观形貌、应力及其光电物理特性的表征和测试研究。

团队已在多结叠层型光伏器件的器件物理、仿真建模、测试分析、及抗辐照研究等领域具备丰富的研究基础：1）已系统地建立了包含叠层内光电耦合效应的多结叠层型光伏芯片的全器件光电模型；2）曾参与德华芯片公司外延部针对航天型 InGaP/GaAs/ InGaAs 三结光伏芯片的研发并顺利结题，具有丰富的三、四元化合物半导体的外延及流片经验；3）研发了针对多结叠层型光伏器件内部光电性能诊断的测试方法，并精准地解析出了 InGaP/GaAs/Ge 三结、AlGaInP/AlGaInAs/GaAs/InGaAs/Ge 五结光伏芯片内部子单元的光电特性和功率分布；4）对遭受质子束、电子束辐照后的 InGaP/GaAs 双结光伏芯片进行了内部子单元的光电特性的退化机理研究。上述针对多结叠层型光伏器件研究经历，将为本项目中的新型光电器件的设计与研发提供了扎实的理论基础和丰富的实验分析经验，可保证本项目的顺利进行。

广东省磁电物性基础学科研究中心（物理学）  
原创探索项目指南建议征集表

填表时间： 2024 年 11 月 26 日

编号： XKZX-YCTSXM-ZN-2025\_018

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 建议所属领域                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <div><input type="checkbox"/> 高温超导强关联</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 拓扑磁电微结构</div> <div><input type="checkbox"/> 低维磁电表界面</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 磁电多场强耦合</div> |
| 建议所属创新方式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <div><input type="checkbox"/> 理论计算</div> <div><input type="checkbox"/> 材料制备</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 表征测量</div> <div><input type="checkbox"/> 器件研发</div>                        |
| 建议指南方向<br>(项目名称)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 基于多源信息表征技术的有机功能薄膜多场耦合调控机理探究                                                                                                                                                                           |
| 所属基金委<br>学科代码                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                       |
| <div>指南内容（100 字）</div> <p>有机材料具备天然的柔性特征，而其磁电性能相对欠缺，调控及提升其磁电性能是有机电子及柔性器件的研究重点。本指南旨在结合多源信息联合表征有机功能薄膜内在结构及外在磁电功能关联特性，为有机功能薄膜耦合调控提供机理支撑。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                       |
| <div>建议理由与依据（500 字）</div> <p>有机功能薄膜的研发与应用对于提升我国在全球高新材料领域的竞争力具有重大意义。它是实现节能减排、绿色发展的重要支撑，特别是在新能源、电子信息等战略性新兴产业中，有机功能薄膜发挥着举足轻重的作用。在显示技术、电子封装、生物医学传感器等多个细分领域，有机功能薄膜都是关键的核心材料，其性能的提升直接关乎器件质量。</p> <p>而有机功能薄膜的磁电性能仍有待提升。在有机功能薄膜领域，材料筛选和分子结构改良对于薄膜的磁电特性影响至关重要。若要调控有机功能薄膜的磁电特性，则需要明晰其磁电性能及内在的材料分子结构之间的关系。本指南将发展联合表征的方式，通过多尺度的表征测量方法，厘清外场调控如何影响有机功能薄膜的聚集态结构、分子结构、动力学等微结构。进一步地厘清微结构的改变如何影响材料电导、载流子迁移率、电极化强度等磁电物性。利用中子散射技术，将能够探究在外场加载下有机功能薄膜的动力学性质进行研究，包括其内部的分子运动、振动、扩散等。同时联用纳米红外及微波的测量方式，</p> |                                                                                                                                                                                                       |

将能够原位表征材料的组分对其电导、载流子类型及迁移率的影响。最终实现对结构-功能关系的进一步研究。

## 开展建议领域研究方向的可行性分析（400 字）

中山大学物理学院与中科院高能物理研究所合作建设了中国首台高能直接几何非弹性中子散射飞行时间谱仪，提供高通量、宽能谱的中子束流输运。物理学院具有丰富的中子散射研究基础和资源。由于中子具有同探测物质相当的动量和能量，穿透能力强，电中性、有磁矩、与原子核作用，使得中子成为探测有机功能薄膜动力学及内在结构的有力工具。依托非弹性中子谱仪平台，搭建力、电、热、光等多场耦合平台，探究有机功能薄膜多场耦合调控机理，必将推动有机功能薄膜迈向实用化、产业化道路。

中山大学物理学院搭建了具备多场加载能力的红外/微波扫描探针系统。物理学院具备多台大型扫描探针设备，具备多年的研究基础，拥有丰富的分析及测试经验。红外与微波具有穿透力强的特点，能无损得对材料的组分及磁电特性进行测量。同时依托开放式扫描探针系统，搭建多场耦合平台，将能够原位表征有机功能薄膜的调控机理。



# 广东省磁电物性基础学科研究中心（物理学）

## 原创探索项目指南建议征集表

填表时间： 2024 年 11 月 26 日

编号： XKZX-YCTSXM-ZN-2025\_019

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 建议所属领域                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <input type="checkbox"/> 高温超导强关联<br><input checked="" type="checkbox"/> 拓扑磁电微结构<br><input checked="" type="checkbox"/> 低维磁电表界面<br><input type="checkbox"/> 磁电多场强耦合 |
| 建议所属创新方式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <input type="checkbox"/> 理论计算<br><input checked="" type="checkbox"/> 材料制备<br><input checked="" type="checkbox"/> 表征测量<br><input checked="" type="checkbox"/> 器件研发  |
| 建议指南方向<br>(项目名称)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 拓扑磁电微结构的制备及其动力学特性研究                                                                                                                                                |
| 所属基金委<br>学科代码                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | A0808                                                                                                                                                              |
| 指南内容 (100 字)<br><p>面向后摩尔时代器件应用，提出新颖磁电拓扑微结构的高通量设计新原理，发展多场下磁电微结构的高时空分辨表征方法，建立拓扑微结构中磁电耦合新机制，开发磁电耦合新器件结构，为低功耗、高密度器件的发展奠定基础。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                    |
| 建议理由与依据 (500 字)<br><p>国家“十四五”规划和“2035 年远景目标纲要” 强调加强原创性引领性科技攻关，集中优势资源突破关键元器件和基础材料等领域的核心技术。随着新一代人工智能、集成电路、脑科学与类脑研究等领域的迅猛发展，电子器件持续朝小型化、集成化、低功耗和智能化方向发展。基于传统半导体材料的电子器件发展面临瓶颈，如器件微型化进程迟缓、能耗降低难度增大、器件功能单一、缺乏调控性等，亟需探索新材料、新结构和新工艺设计全新一代高集成、低能耗及多功能化电子器件，以支撑这些领域的持续性、变革性发展。近年来，在铁电/介电异质结、甚至铁电单层膜中陆续发现了多种纳米尺度极性拓扑微结构，包括通量闭合畴、涡旋、斯格明子等，这些独特的拓扑形态具有尺寸小、稳定性高、负电容效应和独特的高频等特性。此外，铁电极化反转可能导致界面电荷或电子轨道的重构，进而控制界面导电性或者磁性。因此，拓扑微结构作为新型功能单元，在发展高密度、低能耗、多功能磁电器件方面具有重要前景。然而，当前拓扑微结构的可控制备工艺相对匮乏，</p> |                                                                                                                                                                    |

磁电微结构的调控与演化机理还不明确，极大阻碍了磁电拓扑微结构在器件中的应用。因此，提出磁电拓扑微结构的高通量设计新原理，并发展磁电微结构的高时空分辨表征方法，建立拓扑微结构中磁电耦合新机制，开发磁电耦合新器件结构，对磁电拓扑微结构在低功耗、高密度器件的应用具有重大意义。

## 开展建议领域研究方向的可行性分析（400 字）

中山大学物理学院物理力学与生物物理研究中心，长期致力于低维铁电、多铁、压电等功能材料的微结构设计 with 性能调控的实验和理论研究工作。已经在该领域发表论文 100 余篇，其中包括 Jmps、PRL、Nature Nanotechnology、Advanced Materials、PRB、PNAS、Acta Materialia 等一系列材料科学、力学及物理学等领域的国际著名期刊。团队已经具备大面积高通量脉冲激光沉积系统、高时空分辨原位 TEM 表征平台、磁光克尔表征平台、PFM 以及多尺度原位力学加载平台，实现原位力电精细加载、观测和测量分析等前沿制备与表征系统。研究团队已经在拓扑微结构的制备与调控、性能表征以及器件制备方面积累了大量的经验。在理论模拟方面，团队在挠曲电效应作用下磁电微结构演化方面做了一系列的开创性工作，给出了弯曲加载下铁电畴演化过程及稳定性相图，并且发现了基于探针力学加载下畴可逆反转的可能性。

基于前期工作和目前国内外关于磁电拓扑微结构和器件的研究现状，我们提出利用高通量脉冲激光沉积系统探索磁电微结构可控制备的成套工艺，发展高时空分辨原位透射电镜表征平台，揭示磁电拓扑微结构多物理场下的演变行为和耦合规律，总结拓扑磁电拓扑畴的物性与非线性复杂动力学行为调控的系统方案，为磁电拓扑微结构的低功耗、高密度器件应用铺平道路。

# 广东省磁电物性基础学科研究中心（物理学）

## 原创探索项目指南建议征集表

填表时间： 2024 年 11 月 26 日

编号： XKZX-YCTSXM-ZN-2025\_020

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 建议所属领域                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <div><input type="checkbox"/> 高温超导强关联</div> <div><input type="checkbox"/> 拓扑磁电微结构</div> <div><input type="checkbox"/> 低维磁电表界面</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 磁电多场强耦合</div> |
| 建议所属创新方式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <div><input type="checkbox"/> 理论计算</div> <div><input type="checkbox"/> 材料制备</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 表征测量</div> <div><input type="checkbox"/> 器件研发</div>             |
| 建议指南方向<br>(项目名称)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 功能薄膜多场耦合下<br>微结构动力学调控与力学性能优化                                                                                                                                                               |
| 所属基金委<br>学科代码                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | A0805/A0808/A0812                                                                                                                                                                          |
| <div>指南内容（100 字）</div> <p>功能薄膜在多场耦合服役下的微结构动力学行为对宏观力学性能具有重要影响。本指南旨在探索材料微结构如晶粒晶界、铁性畴及畴壁、表界面等相互作用及演化机制，揭示微观结构与宏观力学性能之间的关联，为功能薄膜高性能与可靠性设计提供理论与技术支持。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                            |
| <div>建议理由与依据（500 字）</div> <p>功能薄膜在现代信息、能源、光电等领域具有广泛应用，承载国家科技前沿突破和产业升级的重大需求。我国在《第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》中着重强调加强原创性引领性的科技攻关，在面向新一代人工智能、航空航天、先进制造、新能源等战略新兴领域中对功能材料优异力学性能、特殊功能、新结构设计提出重大需求，重点研究材料多场耦合和多功能物性之间的新原理、新设计、新概念。广东省作为中国新材料产业的前沿阵地，亟需突破功能薄膜材料多场耦合微结构动力学与宏观力学特性调控与优化难题，提升功能薄膜器件的服役稳定性与效率。</p> <p>功能薄膜在多场耦合服役下力学特性和性能可靠性显著受微结构形核演化影响。如铁电、铁磁氧化物中氧空位及缺陷形核与迁移、金属绝缘相变材料中铁性畴结构演化对力学本构影响，以及有机无机杂化材料物质流动引起的粘弹性行为与低断裂韧性之间的</p> |                                                                                                                                                                                            |

相互矛盾等，直接关系到薄膜宏观力学特性和服役寿命。然而目前在微结构动态演化与宏观力学特性方面的基础研究仍显薄弱，缺乏统一理论框架和精确调控策略。在此背景下，开展多场耦合条件下功能薄膜的微结构动力学调控研究，将有助于揭示材料在复杂环境中的力学调控与力学失效机理，为高性能功能薄膜设计提供科学依据，支撑我国在先进薄膜材料领域实现科技引领。

**开展建议领域研究方向的可行性分析（400 字）**

中山大学物理学院在功能薄膜材料制备及多场耦合性能调控研究方面具备坚实的基础与优势，在力、热、光、电、磁等多场耦合功能材料薄膜力学研究方面有丰富的理论及实验基础。学院长期致力于功能氧化物、相变材料及钙钛矿薄膜的结构与性能研究，形成了从材料设计、薄膜制备到性能表征的完整设备群。

依托于中山大学物理学院公共平台及广东省磁电物性分析与器件重点实验室，已建成包括激光脉冲沉积、原子层沉积、微波等离子体化学气相沉积技术等功能薄膜制备平台，多场耦合加载微纳米探针类及原子尺度电子显微原位技术的多物性实验表征测量平台，拥有可搭载多外场条件的原子力显微镜、纳米压痕仪、纳米红外光诱导共振分析系统、双球差透射电子显微镜等关键设备。同时建有跨尺度理论计算平台，拥有逾千 CPU 的超级计算集群。以上条件对功能薄膜多场耦合服役条件模拟，微纳米力学测试、微结构表征等研究提供了重要支持和保障。

# 广东省磁电物性基础学科研究中心（物理学）

## 原创探索项目指南建议征集表

填表时间： 2024 年 12 月 20 日

编号： XKZX-YCTSXM-ZN-2025\_021

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 建议所属领域                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <div><input type="checkbox"/> 高温超导强关联</div> <div><input type="checkbox"/> 拓扑磁电微结构</div> <div><input type="checkbox"/> 低维磁电表界面</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 磁电多场强耦合</div> |
| 建议所属创新方式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <div><input checked="" type="checkbox"/> 理论计算</div> <div><input type="checkbox"/> 材料制备</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 表征测量</div> <div><input type="checkbox"/> 器件研发</div>  |
| 建议指南方向<br>(项目名称)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 电磁场作用下的群体细胞动力学研究                                                                                                                                                                           |
| 所属基金委<br>学科代码                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                            |
| <div>指南内容（100 字）</div> <p>本项目旨在探究电磁场作用下的细胞群体动力学行为。研究电磁场对细胞极化、增殖、运动和形貌演化等的影响规律，揭示其作用机制。进而探究电磁场对伤口愈合、肿瘤生长演化等生理或病理过程的调控，服务于临床应用。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                            |
| <div>建议理由与依据（500 字）</div> <p>电磁场对生物组织形貌演化具有重要作用，主要通过电场和磁场的相互作用在细胞水平上调节生物过程，影响细胞生长、粘附、分化和运动等方面。群体细胞运动是生物体发育、免疫反应和创伤修复等过程中的一个必要环节。因此，电磁场在组织修复、再生医学以及癌症治疗中具有广阔的应用前景。研究电磁场对群体细胞运动的调控具有重要科学意义。</p> <p>当前的研究仍面临机制不清晰、电磁场参数选择难题、安全性评估不足等挑战。例如，虽然已有研究表明电磁场对细胞运动和组织形貌演化有影响，但其内在的生物物理机制尚不清楚。这是一个涉及生物、物理、医学等多个领域的前沿科学问题。</p> <p>本项目旨在探究电磁场作用下的细胞运动规律以及群体动力学行为，揭示其作用机制，进而服务于生物组织工程和临床应用。本项目属于国家重点项目领域中的软物质与生物体系中的力学和物理问题。本项目既符合国家自然科学基金“十四五”发展规划的几个</p> |                                                                                                                                                                                            |

优先发展领域，又与“四个面向”国家战略导向紧密契合，还体现了磁电物性分析在细胞群体动力学研究应用的广东优势特色。本项目与广东省磁电物性基础学科研究中心（物理学）的学科发展方向紧密契合，有助于提升研究中心在软物质物理和生物物理领域的国际影响力。

## 开展建议领域研究方向的可行性分析（400 字）

申请人将依托广东省磁电物性基础学科研究中心（物理学）开展项目研究。该中心实施实验研究大平台战略，统筹学校和国家重点实验室设备资源，从制备、调控、表征到测量，建设软物质物理和生物物理实验室，形成相关学科完整的实验配备。重要设备已有细胞和生物分子培养平台、囊泡制备操控仪器、光镊设备、原子力显微镜 AFM、原位力学加载系统等。此外，中山大学仪器设备共享平台拥有活细胞工作站、多种激光共聚焦显微镜等更为全面的生物物理实验设备，可为申请人提供强大的实验支撑。国家超级计算广州中心“天河二号”坐落于中山大学东校区，可为申请人提供强大的计算资源保障。

此外，申请人在力学和物理方面具备扎实的基础知识，同时对于生物、化学具有一定的了解和掌握，在软物质物理、生物物理领域具有丰富的研究经验，具备出色的独立自主科学研究能力以及与不同学科的课题组合作研究的经验。申请人拥有丰富的物理建模和数值模拟经验，同时具有一定的实验基础。

# 广东省磁电物性基础学科研究中心（物理学）

## 原创探索项目指南建议征集表

填表时间：2024 年 11 月 25 日

编号：XKZX-YCTSXM-ZN-2025\_022

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 建议所属领域                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <div><input type="checkbox"/> 高温超导强关联</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 拓扑磁电微结构</div> <div><input type="checkbox"/> 低维磁电表界面</div> <div><input type="checkbox"/> 磁电多场强耦合</div> |
| 建议所属创新方式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <div><input type="checkbox"/> 理论计算</div> <div><input type="checkbox"/> 材料制备</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 表征测量</div> <div><input type="checkbox"/> 器件研发</div>             |
| 建议指南方向<br>(项目名称)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 铁电极性拓扑畴的三维原子尺度研究                                                                                                                                                                           |
| 所属基金委<br>学科代码                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | A2001                                                                                                                                                                                      |
| <div>指南内容 (100 字)</div> <p>铁电极化矢量具有复杂的三维结构。目前，铁电畴的三维结构以及畴动力学的微观物理图像仍不清晰，限制了对铁电物理的底层理解与器件应用。因此，亟需发展具有三维原子分辨的铁电体表征技术。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                            |
| <div>建议理由与依据 (500 字)</div> <p>铁电材料是指在一定温度范围内具有自发极化，且极化方向能被外加电场改变的材料。由于铁电体晶格中的正负电荷中心不重合，因此即使没有外加电场，也能产生电偶极矩，并且其自发极化可以在外电场作用下改变方向。铁电材料在外部物理场的作用下会发生复杂的耦合复合协同作用，在此基础上的铁电畴动力学是决定铁电器件功能特性的基础。尤其是近年来新发现的铁电拓拓扑畴结构，有希望实现高密度非易失性存储。对铁电材料的表征与操控对于理解其物理本质和实现性能调控具有重要意义。</p> <p>然而，由于铁电极化矢量具有复杂的三维结构，铁电畴的三维结构以及畴动力学的微观物理图像到目前仍不清晰，限制了在基础层面对铁电物理的理解与器件应用。基于此，我们提出结合原位多物理场、三维重构技术以及 4D-STEM，解决以下铁电材料中的重要科学问题：</p> <p>(1) 使用三维重构技术对铁电极化及铁电旋涡畴的三维极化与电荷分布进行表征。</p> |                                                                                                                                                                                            |

这项工作将在原子水平揭示铁电极化及铁电旋涡畴中铁电特征参数与结构的对应关系，是当前铁电研究的前沿；

（2）使用原位多物理场引导铁电材料的极化反转，并对其原子结构进行三维重构，在三维原子水平揭示极化反转的动力学过程，以及微观极化与应力、缺陷等因素的多重耦合效应。

### **开展建议领域研究方向的可行性分析（400 字）**

中山大学物理学院与广东省磁电物性分析与器件重点实验室在铁电拓扑结构的研究中取得了国际瞩目的前沿研究成果，从铁电拓扑结构的基础理论，到铁电薄膜的原子制造与物性测量，乃至铁电性能的特征与器件构造，都具有良好的研究基础，能有力保障该项目的顺利实施。



广东省磁电物性基础学科研究中心（物理学）  
原创探索项目指南建议征集表

填表时间： 2024 年 11 月 26 日

编号： XKZX-YCTSXM-ZN-2025\_023

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 建议所属领域                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <div><input type="checkbox"/> 高温超导强关联</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 拓扑磁电微结构</div> <div><input type="checkbox"/> 低维磁电表界面</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 磁电多场强耦合</div> |
| 建议所属创新方式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <div><input type="checkbox"/> 理论计算</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 材料制备</div> <div><input type="checkbox"/> 表征测量</div> <div><input type="checkbox"/> 器件研发</div>                        |
| 建议指南方向<br>(项目名称)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 铁磁/铁电拓扑畴结构的界面耦合与调控                                                                                                                                                                                    |
| 所属基金委<br>学科代码                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | A2007. 磁学及自旋电子学                                                                                                                                                                                       |
| <div>指南内容（100 字）</div> <p>针对磁、电拓扑微结构的调控能耗仍较高的基础物理问题，研究铁电/铁磁异质结 PbTiO<sub>3</sub>/SrRuO<sub>3</sub> 中极性与磁性拓扑微结构之间的耦合与调控，总结磁电拓扑微结构的形成与动态行为规律，并探索 PbTiO<sub>3</sub>/SrRuO<sub>3</sub> 超晶格在存算一体器件中的应用。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                       |
| <div>建议理由与依据（500 字）</div> <p>现代半导体存储器件主要利用载流子的电荷调节器件的功能,其高能耗阻碍了器件向高速、高密度和高的能量利用效率的进一步发展，因此下一代的器件设计需要突破电荷调节器件功能的机制。基于电子自旋的非易失存储器具有低能耗和高稳定性的优势，在开发新一代的存储器的研究中具有很大的吸引力。</p> <p>铁磁和铁电材料中的拓扑微结构，具有尺寸小、稳定性高和可操控性好等特性，在构建高密度、高速度、低能耗、非易失性存储器件方面具有潜在的应用价值。虽然理论预言了低的驱动磁斯格明子的电流密度约为~10<sup>6</sup> A/m<sup>2</sup>，但是目前实验中调控磁性斯格明子所需的电流密度（~10<sup>9</sup> A/m<sup>2</sup>）仍远大于理论值。因此，需要进一步的研究磁性拓扑畴结构的形成、稳定性和动态行为等特性，并优化调控手段。其次，铁电材料具有和磁性材料类似的拓扑畴结构，可以通过微观参数（晶格畸变、界面电荷、应变和缺陷等）有效调制铁电畴结构的构型，为实现铁磁/铁电拓扑畴结构的耦合提供了基础；采用应变、电场等方式</p> |                                                                                                                                                                                                       |

调控铁电/铁磁异质结的拓扑微结构可以有效的降低能耗。

铁电/铁磁异质结中拓扑微结构的研究集成了自旋电子学、材料科学和半导体等多个领域的特色和功能，提供了研究新物理现象的平台并具有很好的应用前景。

### 开展建议领域研究方向的可行性分析（400 字）

依托光电材料与技术国家重点实验室、磁电物性分析与器件广东省重点实验室等科研基础条件，中山大学物理学院长期开展铁电、铁磁功能材料物性分析与器件研发的基础建设，形成了从理论、计算到实验，从制备、表征到测量，从基础研究到器件应用完备的、具有国际先进水平的科研平台。具备与本项目指南研究方向高度相关的硬件支持，包括样品制备、器件加工、分析表征和计算仿真等，可以充分保障项目的顺利推进。

中山大学物理学院相关人员长期从事强关联氧化物功能材料、纳米复合体系界面耦合方向的研究，尤其是钙钛矿结构的磁性氧化物及其磁电功能特性；在铁电-半导体器件理论研究和铁电-半导体集成等方面具备坚实的研究基础和丰富的研究经验。具有丰富的磁电功能氧化物外延薄膜的制备经验积累，在表征和分析薄膜材料的晶体结构（ $BO_6$ 八面体转动，氧空位占据及其有序性等）和电子结构（ $d$ 轨道的占据和调节等）等方面开展了创新性的工作，具有完成项目的坚实基础。

# 广东省磁电物性基础学科研究中心（物理学）

## 原创探索项目指南建议征集表

填表时间： 2025 年 1 月 9 日

编号： XKZX-YCTSXM-ZN-2025\_024

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 建议所属领域                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <input type="checkbox"/> 高温超导强关联<br><input checked="" type="checkbox"/> 拓扑磁电微结构<br><input type="checkbox"/> 低维磁电表界面<br><input checked="" type="checkbox"/> 磁电多场强耦合           |
| 建议所属创新方式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <input checked="" type="checkbox"/> 理论计算<br><input checked="" type="checkbox"/> 材料制备<br><input checked="" type="checkbox"/> 表征测量<br><input checked="" type="checkbox"/> 器件研发 |
| 建议指南方向<br>(项目名称)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 磁电微结构超快动力学及高频应用                                                                                                                                                              |
| 所属基金委<br>学科代码                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | A0808                                                                                                                                                                        |
| <b>指南内容（100 字）</b><br><p>重点研究时变载荷下，特征时间尺度在 ns 级及以下的磁电微结构多场耦合动力学现象和响应行为，探索新型传感、通讯和存算器件的新概念，发展高频应用低损耗、可调谐磁电介质材料，为发展新一代高频应用器件提供理论和技术支撑。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                              |
| <b>建议理由与依据（500 字）</b><br><p>国家《第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》强调加强原创性引领性科技攻关，发展壮大新一代信息技术等战略性新兴产业。当前无线通信系统主要基于微波技术（300MHz-30GHz）。为了满足日益增长的带宽和整体性能的需求，毫米波（30GHz-300GHz）和太赫兹（&gt;1THz）技术正成为关注的焦点。信息技术的高频化在通信、雷达、制导、遥感技术、射电天文学、临床医学和波谱学等领域均有重大意义。与此同时，为了满足未来更为复杂多变的应用需求，相关系统性能要求具有可适应、可重构、可调谐等特点，以及新的功能性。这些发展需求对底层的基础材料研发提出了新的挑战。受制于材料体系与机理，传统的微波材料已难以满足未来发展需求，亟需探索新效应和新机理，开发新一代面向毫米波和太赫兹波段的可调谐、可重构材料。以铁电、铁磁为典型的磁电介质具有多场耦合特性，其极化或磁化对外场响应呈现非线性，且能形成丰富多样的磁电微结构，能对材料的磁电物性形成有效调制和诱发新颖的高频响应特性，在发展可调谐、可重构毫米波</p> |                                                                                                                                                                              |

和太赫兹器件极具前景。然而，发展高频磁电介质材料，存在诸多科学问题亟待解决。首先，磁电微结构的超快动力学效应决定材料的高频响应特性，目前针对磁电微结构超快动力学的研究仍较为匮乏，相关理论和实验研究手段也有待发展。其次，磁电微结构的空间不均匀性导致响应的相位不一致，由此带来损耗，极大限制了材料的可选范围和工作条件。如何解决磁电微结构带来的高失调性、可重构性和高损耗之间的矛盾，是极具挑战的基础性问题。此外，磁电微结构可展现新奇的高频响应特性，由此可开发新型的高频应用，然而目前研究大多针对微结构单元的响应特性。如何从微观到宏观、从微结构单元到材料整体的高频响应特性，是领域十分关注的问题。

## 开展建议领域研究方向的可行性分析（400 字）

中山大学物理学院长期致力于铁电、铁磁等磁电介质的微结构多场耦合演化调控及其器件机理的实验和理论研究工作，已经在该领域发表论文 100 余篇，其中包括 Rep. Prog. Phys., Jmps, PRL, PRB, PRAppl., npj Comput. Mater. 等一系列力学、物理及材料等领域的国际著名期刊，并在材料制备、测试方法、设备研发、器件设计等方面获授权国家发明专利 10 余项。以团队为核心建设的“磁电力多场物理及动力学实验室”致力于高频磁电介质材料与器件的系统研究，在磁电介质领域已承担过多项国家级和省部级重大、重点项目。近年来在微波磁场下磁性斯格明子输运行为 (PRB2019、PRApp12020、PRApp12022)、脉冲力电载荷下铁电极化翻转动力学 (JAP2021、PRB2022、Nano Letters2024、发明专利 2024 等)、拓扑磁电微结构超快动力学 (PRB2024) 等研究方面取得系列研究成果，为本项目的实施奠定了坚实的研究基础。

# 广东省磁电物性基础学科研究中心（物理学）

## 原创探索项目指南建议征集表

填表时间： 2025 年 1 月 9 日

编号： XKZX-YCTSXM-ZN-2025\_025

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 建议所属领域                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <input type="checkbox"/> 高温超导强关联<br><input checked="" type="checkbox"/> 拓扑磁电微结构<br><input type="checkbox"/> 低维磁电表界面<br><input checked="" type="checkbox"/> 磁电多场强耦合           |
| 建议所属创新方式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <input checked="" type="checkbox"/> 理论计算<br><input checked="" type="checkbox"/> 材料制备<br><input checked="" type="checkbox"/> 表征测量<br><input checked="" type="checkbox"/> 器件研发 |
| 建议指南方向<br>(项目名称)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 磁电微结构电输运特性及高性能类脑器件                                                                                                                                                           |
| 所属基金委<br>学科代码                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | A0808                                                                                                                                                                        |
| <b>指南内容（100 字）</b><br><p>重点研究铁性材料磁电微结构电输运特性，充分发挥铁性材料多功能、高速、高稳定性、低功耗等优点，研制高性能类脑器件，实现视听感知等生物智能神经网络实现精细模拟，探索大脑信息处理与感知智能机理，为发展新一代人工智能与类脑技术提供原理支撑。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                              |
| <b>建议理由与依据（500 字）</b><br><p>国家《第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》强调加强原创性引领性科技攻关，瞄准新一代人工智能、脑科学与类脑研究等前沿领域，集中优势资源攻关关键元器件零部件和基础材料等领域关键核心技术。类脑计算是人工智能的一个重要方向，是指在硬件和软件上类脑或仿脑，具有存算一体、高并行运算、高容错率、自我学习等优点。目前，主流的人工智能芯片仍延用传统冯·诺依曼架构和 CMOS 技术，存储与计算在空间上分离导致信息效率很低、能耗很高。硬件层面的限制还带来结构工艺复杂、工艺复杂、成本高等缺点。这使得此类芯片远远达不到真实模拟人脑进行类脑计算的水平，难以满足通用智能、群体智能、边缘智能等对高能人工智能芯片的需求。颠覆传统冯诺依曼架构，借鉴人脑结构和信息处理机制，利用结构和工作机制与生物单元更为相似的新型忆阻器件来模拟人脑突触和神经元，在硬件层面实现与大脑结构相似的类脑芯片，有望实现接近人脑</p> |                                                                                                                                                                              |

能效的人工智能。在多种人工突触候选材料中，铁电、铁磁、金属-绝缘相变等铁性材料展现丰富可调的磁电微结构、多场耦合响应及忆阻特性，有望开发高均匀性、低能耗、高集成及多功能的人工突触和神经元类脑器件，实现视听感知等生物智能神经网络实现精细模拟。然而，目前铁性类脑器件的研究仍处于初级阶段，仍存在如下问题需要加以深入研究，包括：磁电微结构在脉冲载荷下的形态变化、磁电微结构与电输运特性耦合机制、基于磁电微结构的人工突触与神经元器件设计与实现、基于磁电微结构的神经网络构建及性能仿真等。对上述问题开展深入、系统研究，有望充分发挥铁性材料多功能、高速、高稳定性、低功耗等优点，为发展新一代人工智能与类脑技术提供原理支撑。

### 开展建议领域研究方向的可行性分析（400 字）

中山大学物理学院长期开展铁性材料物性分析与器件研发的基础建设，依托广东省磁电物性分析与器件重点实验室和物理学院公共平台条件，形成了从理论、计算到实验，从制备、表征到测量，从基础研究到器件应用完备的科研平台。在铁电材料物性理论研究和铁电类脑器件设计与性能测试等方面具备坚实的研究基础和丰富的研究经验，与本项目相关成果在物理、材料、电子、力学等领域期刊发表 SCI 论文 100 余篇，在铁电材料与器件制备工艺、测试方法/设备、器件设计方面，获授权国家发明专利 10 余项。近年，团队围绕铁电类脑功能器件与芯片研究，在类脑芯片潜在材料搜索与物性调控机制、铁电薄膜及器件极性翻转动力学研究、类脑芯片原型器件设计/制备与性能优化、商用 FeRAM 兼容的存算一体架构设计与电路实现等方面取得了一系列成果，为本项目的实施奠定了坚实的基础。

广东省磁电物性基础学科研究中心（物理学）  
原创探索项目指南建议征集表

填表时间： 2025 年 1 月 21 日

编号： XKZX-YCTSXM-ZN-2025\_026

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 建议所属领域                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <div><input type="checkbox"/> 高温超导强关联</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 拓扑磁电微结构</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> 低维磁电表界面</div> <div><input type="checkbox"/> 磁电多场强耦合</div> |
| 建议所属创新方式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <div><input checked="" type="checkbox"/> 理论计算</div> <div><input type="checkbox"/> 材料制备</div> <div><input type="checkbox"/> 表征测量</div> <div><input type="checkbox"/> 器件研发</div>                        |
| 建议指南方向<br>(项目名称)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 二维Kitaev磁性体系中拓扑自旋纹理调控的理论探究                                                                                                                                                                            |
| 所属基金委<br>学科代码                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | A2015（计算物理）， A2007（磁学及自旋电子学），<br>A2010（拓扑凝聚态体系）                                                                                                                                                       |
| <div>指南内容（100 字）</div> <p>拓扑自旋纹理是受拓扑保护的磁结构，有望用于下一代自旋电子学器件。针对二维Kitaev磁性体系强自旋耦合和低维度的特性，探究多场（比如电场、应力、磁场）和界面工程等调控其拓扑自旋纹理的新物理机制和理论方案。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                       |
| <div>建议理由与依据（500 字）</div> <p>拓扑自旋纹理如手性磁畴、双半子、磁斯格明子等是受拓扑保护的磁结构，具有易操控、尺寸小、驱动速度快等优点。所以，基于拓扑自旋纹理的自旋电子学器件有望满足未来器件对高容量、高速度、低功耗等性能要求。特别是，磁斯格明子被认为是未来自旋电子学存储和逻辑运算器件的理想信息载体。但是，这些拓扑自旋纹理在实际器件的应用中面临的重要难题之一是对其实实现精准的调控。</p> <p>自2017年在范德华磁性材料CrI3和Cr2Ge2Te6中发现二维铁磁以来，目前基于二维磁性体系的拓扑自旋纹理受到了广泛的关注和研究。比如，实验上在Fe3GeTe2薄膜及其与二维拓扑绝缘体的异质结中发现了磁斯格明子；理论上，在二维磁性体系与其它二维功能材料体系如二维铁电体的异质结中，拓扑自旋纹理的调控机制和规律得到了深入的研究。这些研究表明，二维磁性体系及其异质结是探究拓扑自旋纹理的极佳平台，为发现精准调控拓扑自旋纹理的新机制提供了新的可能性。</p> |                                                                                                                                                                                                       |

由于拓扑自旋纹理的形成需要强的自旋轨道耦合效应，而Kitaev磁性体系本身就体现出强的自旋轨道耦合特点，因此Kitaev磁性体系如 $\alpha$ -RuCl<sub>3</sub>、CrI<sub>3</sub>单层等为探索拓扑自旋纹理提供了天然的体系平台。另一面，随着空间维度的降低，各种物理场（如电场、应力、磁场）和界面工程（如Janus结构工程、异质结工程）对物态的调控是非常显著的。基于此，本指南提出在二维Kitaev磁性体系中探究多场和界面工程等精准调控其拓扑自旋纹理的新物理机制、规律和理论方案。

## 开展建议领域研究方向的可行性分析（400 字）

中山大学物理学院在拓扑磁电微结构和低维磁电表界面的实验和理论研究方面都具有深厚的研究基础。在拓扑磁电微结构方面，磁斯格明子在电流与线缺陷共同作用下的形变与运动问题、铁电薄膜中的斯格明子稳定性和局域电/力加载下的演化问题得到了深入的理论研究。在低维磁电表界面方面，二维铁磁绝缘体FeCl<sub>2</sub>单层、磁超导异质结等在扫描隧道显微镜和磁光克尔效应的实验探测研究等方面取得了重要进展。针对本指南，该学院相关课题组在理论计算方面具有如下的独特优势：

1) 在国际上首次提出通过控制磁各向异性精准调控磁斯格明子的产生与湮灭，并给出了有利于在二维多铁异质结中寻找磁斯格明子的描述符，为未来基于磁斯格明子的自旋电子学器件设计提供了有参考价值的理论指导。

2) 在第一性原理框架下解决了强自旋轨道耦合磁性体系在第一性原理计算中收敛差的关键问题，是研究具有轨道磁矩磁性物理的强有力工具，为Kitaev磁性体系的理论研究提供了重要的计算方法基础。

3) 通过理论计算和异质结、Janus结构修饰结构工程，预言了多种高磁转变温度的、具有拓扑性质和良好磁学性质的新型二维磁性体系。