



光电功能材料与微纳器件北京市重点实验室

一、实验室简介

“光电功能材料与微纳器件北京市重点实验室”依托于中国人民大学物理学系组建，2013年6月被北京市科委正式认定，现任重点实验室主任为卢仲毅教授，学术委员会主任为薛其坤院士。本实验室实行实验室主任负责制，实验室主任直接对学校 and 学术委员会负责。实验室下设四个研究单元（研究团队），每个研究单元有若干个研究组，每个研究组采用课题组长负责制。课题组长负责本研究组的研究领域、研究课题的组织，组织一般科研项目的申请，以及配合团队负责人组织大型科研项目的申请和跨课题组甚至跨团队之间的合作等方面的工作。实验室主任和研究团队负责人组成一个执行委员会，起草和实施实验室发展规划，推动人才引进和实验室建设等重要工作，实验室主任通过三位专职秘书，提供实验室的日常支撑服务工作，从而形成了本实验室一套完整的管理支撑服务体制。实验室的运行采用专职秘书运行方式，包括行政主管、科研秘书和财务秘书。实验室主任将事务性工作分派到三位专职秘书。财务秘书负责实验室财务账目的管理，并负责实验室所有人员的经费使用与报销等支撑服务工作。

1. 历史沿革

2013年6月17日，北京市科学技术委员会发布《关于公布2012年度北京市重点实验室和北京市工程技术研究中心认定名单的通知》，中国人民大学申报的“光电功能材料与微纳器件北京市重点实验室”获得认定，并得到该年度科技创新基地专项的优先部署安排计划专项经费资助。

2017年和2021年，重点实验室在由北京市科学技术委员会主持的两次三年绩效考评中均获得“良好”的成绩，顺利通过考评。

2. 实验室主任

实验室主任：卢仲毅教授。至今，共发表了高水平国际期刊文章100余篇，其中学校A+类期刊20篇，包括《NATURE》2篇，《NATURE COMMUNICATIONS》1篇，《PHYSICAL REVIEW LETTERS》17篇，《JOURNAL

OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY》1 篇，学校 A 类期刊 70 余篇，包括《APPLIED PHYSICS LETTERS》3 篇，《PHYSICAL REVIEW B》40 余篇等；相应的，SCI 他引次数 3300 余次，其中有 7 篇文章他引次数超过 100 次，16 篇文章他引次数超过 50 次，并有多项国际会议邀请报告，关于非晶 SiO₂ 氧空位缺陷的研究成果获得 2002 年国际电子电气工程师协会年会论文奖 (2002 IEEE MERITORIOUS CONFERENCE PAPER AWARDS)。2019 年作为第一完成人获得国家自然科学奖二等奖（成果“铁基超导体的电子结构和磁性质的理论研究”）。2017 年获中国人民大学吴玉章优秀科研奖；获 2015 年度教育部自然科学一等奖（第一完成人），获 2015 年度中国物理学会叶企孙凝聚态物理奖，入选 2012 年度教育部长江学者奖励计划特聘教授，2010 年荣获香港大学 Daniel Tusi Fellowship，2009 年获国家人事部等七部委新世纪百千万人才工程入选者，享受国务院政府津贴，2007 年获国家自然科学基金委杰出青年基金。

3. 建设目标

重点实验室根据实验室规模和队伍结构的总体规划，充分利用学校给予的“学科特区”政策，持续实施体制与机制改革与创新，不断加大力度引进高层次人才和极具发展潜力的优秀人才，制定与落实科学的评价评估体系；同时，按照实验平台的建设规划来购置和研制先进实验设备系统，全面打造达到一流研究条件和研究实力的四个研究单元，建成一个国内一流、国际先进、有特色的北京市重点实验室，有效地面向北京市科技发展和区域经济发展的重大战略需求，为实现《国家中长期科学和技术发展规划》纲要中量子调控和纳米技术重大研究计划做出贡献。本实验室由光电功能新材料的合成、生长与制备，二维单晶薄膜制备、微纳加工与原型器件设计，物性表征与谱学研究，以及数值模拟和理论分析研究四个研究单元构成。

4. 环境及设备

在学校的大力支持下，围绕四个研究单元，重点实验室已建成拥有一系列先进仪器设备。

在高端特色谱学设备方面，完成国家自然科学基金委 1.3 亿元项目，研制成功三轴中子谱仪，另外拥有低温 (mK) 凝聚态核磁共振系统 (NMR)、高精度角分辨光电子能谱系统 (ARPES)、低温强场拉曼光谱系统 (RAMAN)、分子束外延



及其扫描隧道显微系统 (MBE+STM)、离子阱量子物理实验系统 (Ion Trap) 及新型二维材料制备和研究系统 (CVD+Micro-Nano) 等先进仪器设备。

在教学科研公共平台方面, 建成拥有四镜光学浮区炉单晶制备系统 (TSFZ)、超导量子干涉仪 (MPMS)、物理性质测量系统 (PPMS)、变温 X 射线衍射仪 (XRD)、高分辨率原子显微镜系统 (AFM)、扫描电镜 + 能谱以及电子曝光系统 (SEM+EDX)、40T 脉冲强磁场测量系统 (PMF) 及理论计算峰值达百万亿次高性能集群等设备。

5. 成果概述

2016 年以来, 重点实验室共获得基金委、科技部、教育部等各类项目 60 余项目, 总计金额 4855 万元, 发表国际高水平期刊论文 426 篇, 总引用超过 1000 次, 并取得了一系列重要科研进展。

二、代表性成果与案例

1. 发现世界上首个单分子驻极体

中国人民大学物理学系季威教授、王聪博士与南京大学宋凤麒教授、厦门大学谢素原教授、伦斯勒理工学院史夙飞教授、耶鲁大学 Mark A. Reed 教授等研究团队合作, 通过理论计算和实验测量发现了世界上首个单分子驻极体 (electret) —— $\text{Gd}@C_{82}$, 在驻极体被人类合成 100 年后将其物理尺寸压缩到极致的单分子水平 (约 1nm, 十亿分之一米), 这是目前人类所知最小的驻极体。该分子中的 Gd (钆, 一种稀土元素) 原子可以被人为控制地在两个不同位置间移动而用于信息编码, 为未来存储器小型化提供了一种新方案, 也展现出作为一个新兴研究方向的巨大潜力。相关研究工作以 “A Gd@C₈₂ single-molecule electret” (一个碳 82 笼中钆原子的单分子驻极体) 为题发表在 10 月 12 日出版的《自然·纳米技术》(Nature Nanotechnology) 上。

该工作是首次在单分子水平上证明了单分子驻极体的存在, 并实现了存储操作, 也是当前所知最小的驻极体。该单分子电偶极矩的可控翻转, 实际是内嵌原子的位置移动, 即该器件是一种以单分子电偶极矩翻转模式运行的单原子存储器。正如下图所示的那样, 两个不同的原子位置可以用来编码信息, 为未来存储器件小型

化提供一种方案，展现出作为一个新兴研究方向的潜力。

物理学系博士后王聪博士（2019年吴玉章奖学金获得者）和南京大学博士生张康康、白占斌及张敏昊博士为论文的共同第一作者。物理学系季威教授和南京大学宋凤麒教授、厦门大学谢素原教授、伦斯勒理工学院史凤飞教授、耶鲁大学Mark A. Reed教授为论文的共同通讯作者。该工作的理论计算部分由人民大学完成，实验部分由合作单位完成。该工作得到了国家重点研发计划、国家自然科学基金委、中国科学院战略重点研究项目、中央高校基本科研业务费等项目的资助。



中国人民大学物理学系季威课题组

《自然·纳米技术》是《自然》期刊在纳米科技领域的子刊，也是该领域的旗舰期刊，年发文量仅约300篇，2019年影响因子31.5。这是物理学系2018年在该刊发文后，人民大学首次作为（共同）第一作者和（共同）通讯作者单位在该刊上发文。论文信息 DOI: 10.1038/s41565-020-00778-z

2. 发现准一维红磷半导体中的巨型各向异性光子学性质

中国人民大学物理学系季威教授课题组，阿尔托大学杜罗军博士、孙志培教授课题组和中国科学院物理研究所张广宇研究员课题组合作，发现了红磷（一种准一维纤维状材料）中的巨大的线性/非线性光学各向异性和高发射率，相关研究成果以“Giant anisotropic photonics in the 1D van der Waals semiconductor fibrous red phosphorus（一维范德瓦尔斯半导体纤维红磷中的巨型各向异性光子学）”为题于2021年8月10日发表在《自然·通讯》（Nature Communications）上。物理学系博士生伍琳璐、阿尔托大学博士后杜罗军博士及博士生胡雪绒，中国科学院物理研



究所赵严舂博士为论文的共同第一作者。物理学系季威教授、阿尔托大学杜罗军博士和孙志培教授为论文的共同通讯作者。论文信息：DOI: 10.1038/s41467-021-25104-6

3. 发现新型高导热二维 COF

共价有机骨架 (COFs) 是由轻元素的分子有机结构单元构成并通过强共价键连接的晶体材料, 由于其可设计的结构和高孔隙率而成为一类有前景的多孔材料。近日, 中国人民大学物理系陈珊珊教授与中山大学郑治坤教授、德累斯顿工业大学戚浩远博士团队合作在水/空气界面上合成了一种新型的纳米多孔 COF (SYSU-7), 其导热性能超越传统 COF 材料两个数量级, 是迄今为止纳米多孔 COF、MOF 等材料的最高报道值。相关研究工作以 “Nanoporous and Highly Thermal Conductive Thin Film of Single-Crystal Covalent Organic Frameworks Ribbons” 为题于 2021 年 2 月 25 日发表在《美国化学学会杂志》(Journal of the American Chemical Society) 上。物理学系博士生韩烁和中山大学博士生谭方林为论文的共同第一作者。物理学系陈珊珊教授、德累斯顿工业大学戚浩远博士和中山大学郑治坤教授、为论文的共同通讯作者。该工作的热输运实验和计算部分由人民大学完成, 材料生长和表征部分由合作单位完成。相关工作得到了国家自然科学基金、北京市自然科学基金和中国人民大学的资助。论文信息: DOI: 10.1021/jacs.0c13458

4. 发现空气中稳定且层间磁性高度可调的二维原子晶体

中国人民大学物理学系王聪博士、季威教授等人与湖南大学段曦东教授、加利福尼亚大学段镶锋教授团队合作, 通过理论计算结合实验测试, 在国际上首次发现 CrSe₂ 是具有厚度依赖层间磁耦合转变特性且在空气中高度稳定的二维磁性材料。这初步克服了此前困扰科学界良久的二维磁性材料空气稳定性不足困难, 在发现磁性薄膜信息存储功能 (磁性薄膜的巨磁电阻效应) 33 年后, 将其功能单元薄膜厚度减小到不足 1 纳米 (十亿分之一米) 的原子极限, 实现了空气中稳定且磁性高度可调的二维原子晶体。这些研究结果为今后的基础科学研究提供了全新体系平台, 为实现更高密度的磁信息存储和更高灵敏度的磁性探测等自旋电子学应用提供了新材料选择。相关研究工作以 “Van der Waals epitaxial growth of air-stable CrSe₂ nanosheets with thickness-tunable magnetic order” (范德华外延生长 CrSe₂ 纳米薄片中的层厚调控的磁有序) 为题发表在 3 月 1 日在线出版的《自然·材料》。全

文信息：DOI:10.1038/s41563-021-00927-2。

5. 基于单离子的宇称时间对称系统奇异点探测

张威教授和张翔副教授课题组在离子阱量子模拟领域取得重要进展，该小组利用单个囚禁离子实现耗散系统并模拟了宇称时间反演对称性的非厄米模型，成功测量了其量子演化过程，并提出了通过测量直接确定奇异点（Exceptional Point, EP）的方法，同时引入了周期性的系统哈密顿量，建立并测得丰富的相图。该成果的研究论文《基于单离子的宇称时间对称系统奇异点探测》（Experimental Determination of PT-Symmetric Exceptional Points in a Single Trapped Ion）与2021年2月23日刊发于国际学术期刊《物理评论快报》（Physical Review Letters 126, 083604 (2021)）。

该论文第一作者为物理系博士生丁亮宇，通讯作者为张威教授和张翔副教授。其他作者包括物理系博士研究生施凯焯、张球新及已毕业硕士研究生申丹娜。该工作得到了国家重点研发计划、国家自然科学基金、北京市自然科学基金、教育部装备预研联合基金以及中国人民大学研究基金的资助与支持。

论文链接：<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.126.083604>