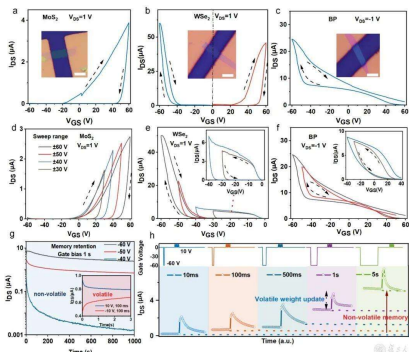


未来信息创新学院成果不断 连发顶刊



不同极性半导体层对晶体管铁电极化的影响

未来信息创新学院近日取得两项新突破,成果连发顶刊。

实现铁电异质结晶体管中极性依赖的铁电/缺陷调控

未来信息创新学院褚君浩院士/李文武教授团队提出了一种极性依赖的二维杂化钙钛矿异质结铁电晶体管新机制,近日以“Polarity-dependent ferroelectric modulations in two-dimensional hybrid perovskite heterojunction transistors”为题,发表于 *Nature Communications*。

该研究通过在有机无机杂化铁电层中引入电子俘获位点,并结合 TCAD 模拟和第一性原理计算,揭示了铁电异质结晶体管中铁电极化与电荷俘获之间的竞争关系及其半导体极性依赖的可逆转变规律。该策略实现了铁电极化与电荷俘获的异质协同,使单个器件同时具备多级非易失存储与突触权重调节的双重功能。

该研究通过 TCAD 数值模拟系统揭示了铁电极化(FE)与电荷俘获(CT)在铁电晶体管中共存与竞争的机理:在 n 型二硫化钨的沟道中,电子多数载流子增强俘获效应,形成反向去极化场,导致铁电极化被抑制,晶体管的转移曲线呈现 CT 主导的顺时针迟滞方向;在 p 型黑磷沟道中,载流子以空穴为主,俘获效应减弱,铁电极化得以实现翻转,晶体管表现出 FE 主导的顺时针迟滞特征。这一半导体极性依赖的转变揭示了沟道载流子极性可作为调控铁电表现的新自由度,为打破传统铁电—俘获二元对立提供了理论依据。

文章采用新型二维杂化铁电钙钛矿 (EATMP)PbBr₂ (简称 ETPB)。XRD、PFM 和 P-E loop 测试证实薄膜具有良好的结晶取向与可翻转的铁电畴结构;DFT 计算揭示 Br 空位为主要电子俘获中心,导致费米能级向导带移动并引入电子陷阱态,实现了铁电性与俘获中心的共存。该结果表明,EATMP 有机阳离子定向排列与卤素空位俘获作用协同,为构建可调控铁电行为的杂化体系提供了材料基础。

实验制备了三种二维异质

近零介电常数薄膜材料的长程光学耦合和量子隧穿效应的类比

结铁电晶体管,分别采用 n 型 MoS₂、p 型 BP 和双极性 WSe₂ 作为沟道层。结果显示:MoS₂ 器件呈现 CT 主导的迟滞曲线;BP 器件呈现 FE 主导的迟滞曲线;WSe₂ 器件在同一器件中实现 FE 与 CT 的双模共存,展现出由极性驱动的铁电调控效应。其中,WSe₂ 器件在 p 型区迁移率高达 195 cm² V⁻¹ s⁻¹,开关比超过 3 × 10⁶,性能位列同类铁电晶体管前列。

在双极性铁电异质结晶体管中,器件实现了非易失存储与易失权重调节的动态切换:大电压脉冲诱导铁电极化翻转,实现多级非易失存储;小电压脉冲激活俘获过程,实现短时突触权重更新。这一异质双模特性使得单个器件即可在神经网络中同时完成存储与学习功能。基于实测参数构建的迁移学习网络模拟表明,该器件使识别准确率由 80.9% 提升至 92.9%,训练效率提高 20.7 倍,显著优于传统存算分离架构。

该研究提出的极性依赖的铁电调制机制实现了铁电极化与电荷俘获两种对立物理过程的可控转变。通过在二维铁电杂化钙钛矿中嵌入电子俘获位点并引入不同极性的半导体沟道,器件实现了铁电极化与电荷俘获的异质协同,使器件在非易失与易失功能间自由切换,为面向智能计算的铁电异质器件设计提供了新思路。该成果为下一代可重构、低功耗、类脑铁电器件奠定了基础。

文章链接: <https://doi.org/10.1038/s41467-025-64387-x>

突破光学耦合的距离极限

未来信息创新学院青年研究员王丹青与美国加州大学伯克利分校吴军桥教授团队合作,近日在 *Nature Communications* 杂志发表了一项题为“Long-range optical coupling with epsilon-near-zero materials”的研究成果。该研究利用具有特殊电磁学特性的近零介电常数材料,首次实现了数百微米的长程光学耦合。这一距离相比传统光学耦合长度提升了三个数量级,相当于让两个仅有头发丝千

分之一厚的薄膜,隔着数倍于头发丝的宽度,完成高效的隔空对话。

在量子力学中,电子能够以一定概率穿过势垒,这就是著名的量子隧穿效应,也是 2025 年诺贝尔物理学奖的主要成果。当两层超导体被纳米厚度的绝缘层隔开时,库珀电子对会通过共振隧穿产生独特的耦合现象,这种现象在超导量子计算等领域具有重要价值。

研究团队在光学系统中类比并扩展了这一效应。他们构建了光学意义上的双势垒结构:两层仅 50nm 厚的氧化铟锡薄膜作为势垒,中间的二氧化硅层则作为绝缘隔板。氧化铟锡这种功能材料具有独特的光学特性,在特定近红外波长下,其介电常数的实部会趋近于零,因而被归类为近零介电常数材料。

如何精确探测被禁锢在纳米薄膜内部的光场及其相互作用,成为研究团队面临的关键挑战。团队创新性地采用二次谐波方法,通过用红外光照射样品,探测其发出的倍频可见光信号。这种非线性光学信号的强度与材料内部局域电磁场强度的四次方成正比,对纳米尺度下的微小场强变化具有极高的探测灵敏度。

实验结果显示,当改变两层薄膜的间距时,二次谐波信号表现出清晰的周期性振荡特征。当激光分别激发外层和内层薄膜时,信号强度呈现出典型的跷跷板效应——外层信号增强时内层信号相应减弱,反之亦然。这种精确的反关联振荡模式与理论预测很好吻合,为长程光学耦合的存在提供了有力证据。

在集成光子芯片方面,这项技术使光学元件在保持数百微米距离的情况下仍能实现高效耦合,为光子芯片的架构设计带来全新思路。在传感技术领域,基于这种对间距变化极度敏感的光学效应,可以开发出新一代超高精度光学传感器。在量子信息技术方面,这项研究为实现量子光源的长程耦合和大规模量子计算提供了潜在技术路径。

文章链接: <https://www.nature.com/articles/s41467-025-64504-w>

通讯员 张皓文

向红军团队提出有限磁场下固体第一性原理计算的通用办法

物理学系向红军教授课题组在含磁场的固体第一性原理计算领域取得重要进展。相关研究以“General First-Principles Approach to Crystals in Finite Magnetic Fields”为题,11月3日发表在 *Physical Review Letters* 上。

当今凝聚态物理和材料科学界愈发关注外场下的物质性质,然而,传统的第一性原理计算手段并不能简单拓展到外加磁场的情形,阻碍了磁场相关物态的进一步研究。其中的主要困难在于外磁场打破了体系原有的平移对称性,使得原先基于布洛赫定理和快速傅里叶变换技术的算法失效。尽管前人已注意到磁场下的周期性体系仍具有磁布洛赫定理的性质,但缺乏针对的高效算法,也不知如何将其与第一性原理计算中常用的非局域赝势结合。正因如此,前人不得不通过微扰等手段近似处理外磁场,而这些方法在

强较大时便会失效,并不通用。

本研究突破性地构建了适配于磁布洛赫定理的动能项、局域势项、非局域势项算法,其中:动能项算法借助辅助函数恢复某一方向的周期性,从而可以继续应用快速傅里叶变换技术;非局域赝势算法则采用了“含规范投影赝势”方法并将其首次拓展到了有限场情形;基于该算法用于计算分子和固体的磁化率和磁致电流,给出了与实验或微扰计算符合的结果;创新性地发现了磁场下的“强周期性”和“磁能带位移”现象,并给出了理论证明和数值验证,丰富了对磁场效应的基本理解。该方法已写入向红军教授自主开发的 Property Analysis and Simulation Package (PASP) 程序包的开发者版本当中。

文章链接: <https://doi.org/10.1103/74bb-qmp8>

来源:物理学系

张峰团队填补夜间灯光数据空白

大气与海洋科学系张峰教授课题组联合外单位,近日在 *Remote Sensing of Environment* 期刊上发表题为“Global reconstruction of three decades of fine-grained nighttime light data with analysis of large-scale infrastructure and landmarks”的论文。

该研究成功将低分辨率 DMSP-OLS 的卫星遥感夜间灯光数据,重构为与 NPP-VIIRS 质量相当的高分辨率卫星遥感夜间灯光数据,首次实现了全球范围 30 年尺度、0.5 公里分辨率夜间灯光数据的连续且一致的重构,有效填补了 2012 年前高分辨率夜间灯光数据的空白。

基于卫星遥感的夜间灯光强度是表征人类活动分布与强度的关键指标,被广泛应用于城市化监测、灾害评估等领域。构建一

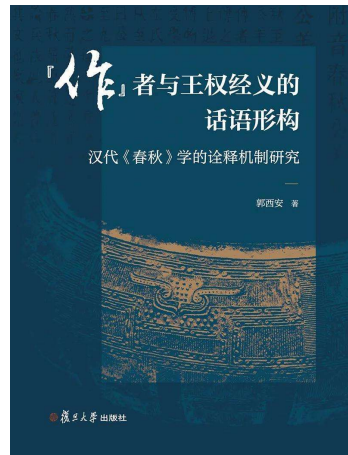
套覆盖全球、时间连续、分辨率高且质量稳定的长时序夜间灯光数据集一直是该领域的挑战,这严重制约了我们对人类活动进行精细化、长周期的动态追踪。

针对夜光的观测数据因传感器搭载平台更替和轨道漂移而存在年际、星间的 inconsistence 问题,团队提出一种基于时空变异系数的定标场自动选取方法,从空间均匀性、时间稳定性和非饱和性三个维度,从全球超 7.25 亿个像素中,精准筛选出约 9.4 万个分区域作为定标场。基于此,对 DMSP-OLS 数据进行了有效的连续性校正。校正后的全球总灯光值与全球 GDP 增长趋势高度吻合。

文章链接: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2025.115036>

来源:大气与海洋科学系

图片新闻



探索汉代《春秋》学

中文系副教授郭西安出版学术专著《“作”者与王权经义的话语形构:汉代〈春秋〉学的诠释机制研究》,以比较诗学的立场重访《春秋》在汉代的正典化进程。

来源:中文系