



## 我国学者在黑磷中实现弗洛凯瞬时能带调控

日期 2023-02-20 来源：数理科学部 作者：姜向伟 齐静波 董斌 刘强 【大 中 小】 【打印】 【关闭】

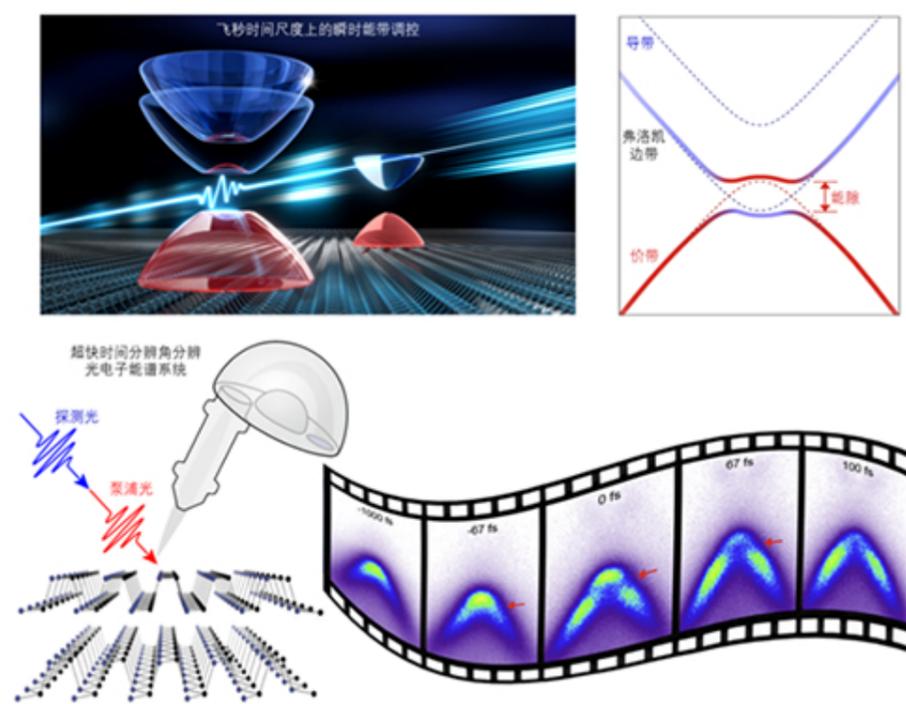


图 利用超快时间分辨角分辨光电子能谱在黑磷中实现弗洛凯瞬时能带调控

在国家自然科学基金项目（批准号：11725418、12234011、11427903）等资助下，清华大学物理系周树云教授与合作者（清华大学段文晖教授、北京航空航天大学汤沛哲教授等）在周期场驱动的弗洛凯调控研究中取得进展。他们首次在半导体材料黑磷中实现了脉冲激光诱导的弗洛凯瞬时能带调控，并发现其与黑磷的赝自旋具有独特的耦合作用及光学选择定则。该成果以“黑磷中的赝自旋选择弗洛凯能带工程（Pseudospin-selective Floquet band engineering in black phosphorus）”为题，于2023年2月2日在《自然》（Nature）杂志刊发，文章链接：<https://www.nature.com/articles/s41586-022-05610-3>。

光与物质的相互作用不仅是探究低维量子材料微观物理机制的重要探测手段，而且超短、超强脉冲激光还可作为电子结构及物态的有效调控手段，实现平衡态所不具有的新物态、新效应。在超快时间尺度（皮秒甚至飞秒， $10^{-12}$ 或 $10^{-15}$ 秒）上实现电子结构和物理特性的测量和调控，不仅能够拓展非平衡态物理知识的前沿，还将为未来新型、高速器件的开发和应用奠定重要的科学基础。其中，一个备受关注的研究方向是通过周期振荡的势场诱导量子物态的变化，进而实现对量子材料电子结构、对称性及拓扑性质的瞬时调控。上述利用周期场驱动的量子物态调控机制被称为弗洛凯工程

（Floquet engineering），该概念自提出后在凝聚态物理、冷原子物理、光晶格等领域中受到了广泛的关注。然而，目前为止凝聚态材料体系中弗洛凯调控的实验例子非常稀少，亟待实验上的突破。

清华大学周树云教授课题组多年来致力于低维量子材料的电子能谱和非平衡态超快动力学的研究，尤其是弗洛凯能带及物态调控的实验研究。在超快时间分辨角分辨光电子能谱（TrARPES）仪器研制方面和超快动力学研究方面取得了重要突破。在本工作中，他们巧妙地选取了黑磷这个具有小带隙、高迁移率的经典半导体材料，通过精细调节中红外激发光源的光子能量实现了黑磷能带的瞬时调控。他们发现，当光子能量与带隙接近共振时，黑磷的电子结构从平衡态的抛物线形状演化为在带顶打开能隙的“墨西哥帽”形状（图），并观察到了复制的弗洛凯边带。在此基础上，他们通过系统地探究该瞬时能隙对时间、光强和电子掺杂等变量的响应等，确认了所观测到的瞬时能隙是由弗洛凯能带工程所导致。更有意思的是，他们发现黑磷中的弗洛凯能带工程对激发光源的偏振具有强烈的选择性：只有当泵浦光偏振沿着黑磷的扶手椅型（armchair）方向时，才会出现瞬时能隙，结合理论分析，他们指出这一奇特的偏振选择效应来源于黑磷的赝自旋自由度（黑磷元胞中含有两个子晶格，对应的两能级系统可类比自旋）与光相互作用的耦合。

该工作首次在半导体材料中观测到弗洛凯瞬时能带调控，是弗洛凯能带及物态调控的关键的一步，不仅对在其它材料中的实现弗洛凯能带调控具有重要的指导意义，同时也为进一步探索拓扑物态、关联物态（磁性、超导等）等非平衡态瞬时物态调控奠定了重要的基础。

**机构概况：** 概况 职能 领导介绍 机构设置 规章体系 专家咨询 评审程序 资助格局 监督工作

**政策法规：** 国家科学技术相关法律 国家自然科学基金条例 国家自然科学基金规章制度 国家自然科学基金发展规划

**项目指南：** 项目指南

**申请资助：** 申请受理 项目检索与查询 下载中心 代码查询 常见问题解答 科学基金资助体系

**共享传播：** 年度报告 中国科学基金 大数据知识管理服务平台 优秀成果选编

**国际合作：** 通知公告 管理办法 协议介绍 进程简表

**信息公开：** 信息公开制度 信息公开管理办法 信息公开指南 信息公开工作年度报告 信息公开目录 依申请公开

[相关链接](#)

政府

新闻

科普



版权所有：国家自然科学基金委员会 京ICP备  
05002826号  
地址：北京市海淀区双清路83号 邮编：100085

京公网安备 11040202500068号

