



首页 所况简介 机构设置 研究成果 人才队伍 研究生教育 党群园地 科学传播 学术期刊 信息公开

新闻动态

当前位置: 首页 > 新闻动态 > 科研动态

所内新闻

科研动态

综合新闻

通知公告

媒体扫描

物理所公开课

中国科学院物理研究所 A06组供稿 第50期 2018年08月13日
北京凝聚态物理国家研究中心

二维CDW材料的量子隐含态及超快结构动力学研究取得进展

在低维关联体系中, 晶格、电荷、自旋和轨道自由度的耦合可以产生丰富的物理性能和结构现象, 包括电荷/轨道序、高温超导、庞磁电阻等。近年来, 借助超快脉冲激光, 诱发超导瞬态和量子隐含态 (Quantum hidden state) 的研究已经成为凝聚态物理中的一个新的研究热点。在热力学相图中, 这种量子隐含态是不存在的, 在一些非平衡条件下可以诱导产生。在电荷密度波 (CDW) 体系1T-TaS₂中, Stojchevska等人指出量子隐含态来源于飞秒激光诱导的非平衡量子相变, 晶格的超快响应和电荷密度波的重构是隐含态形成的基础 (Science 344, 177(2014))。另一方面, 由于在信息技术领域有重要应用前景, 量子隐含态的超快转变特性引起了光电子产业界的极大关注。

最近, 中科院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心先进材料与结构分析实验室李建奇研究小组, 利用自行研制的4D超快电镜, 针对多个体系的结构动力学, 超快相变和量子隐含态进行了研究, 取得了重要进展: (1) 博士生孙开和博士后孙帅等在低温下确定了1T-TaS_{2-x}Se_x的量子隐含态结构 (Sci. Adv. 4, eaas9660 (2018); Phys. Rev. B 92, 224303 (2015)); (2) 博士生张明、李中文和尉琳琳针对多个低维体系超快动力学进行了分析, 发展了超快时间分辨电镜实验分析技术, 为深入研究瞬态结构, 电子和声子诱导的超快相变奠定了基础。 (Nanscale 10, 7465 (2018); Phys. Rev. B 96, 174203 (2017); Struct. Dyn. 4, 044012 (2017))。

在飞秒激光诱导下, 1T-TaS₂发生超快量子转变进入量子隐含态, 低温电阻测量显示绝缘态转变为金属态, 并且在低温下具有非常稳定的物理性能。该量子态的形成机理以及关联CDW结构的动力学演化过程, 已经成为该研究方向的一个关键问题。在此研究过程中, 李建奇团队利用超快电子显微镜和激光原位电输运测量装置, 开展了一系列研究工作。首先, 在低温下确定了1T-TaS_{2-x}Se_x系统的量子隐含态存在范围为 $0 \leq x \leq 0.8$, 其低温下的热力学态为Mott绝缘体。针对超导组分TaS₂ (x=1)的研究表明, 虽然飞秒激光可以引起丰富的CDW瞬态结构变化, 但是并没有发现稳定的超导隐含态。

原位低温微结构分析表明, 在单脉冲飞秒激光激发下, 处于公度CDW态的1T-TaS_{2-x}Se_x (x=0, 0.5) 样品, 可以发生明显的CDW相变, 这一现象和电阻转变结果一致。脉冲激光驱动CDW态转化到了一个新型结构态, 这种结构在热力学相图中不存在, 即为量子隐含态 (Quantum hidden state)。借助原位激光激发, 系统地分析了隐含态的形成规律。低能量的飞秒激光, 可以诱导公度CDW态 (q_C) 转变为新的非公度CDW结构, 并表现出明显的空间反常调制结构, 量子隐含态的CDW波矢量变为 $q_H = (1-\delta)q_C$, 其中 δ 为光掺杂浓度, 也是隐含态的载流子浓度, 实验值为1/9, 与理论计算值一致。在高能量激光驱动下, 隐含态的电子结构可以发生进一步的转变, 其CDW波矢量产生了2°的旋转, 形成了一个取向反常的调制结构。这表明, 量子隐含态的形成具有多步量子相变的特征。研究人员基于以上实验结果提出了一个双势阱自由能模型, 很好的解释了隐含态的CDW调制结构和畴结构的形成与演化。另一方面, 物性测量实验表明, 飞秒激光诱发隐含量子态的局域结构和电阻率变化, 依赖于入射激光功率密度和温度, 例如, 在T=4K低温条件下的1T-TaS_{1.5}Se_{0.5}样品, 光致的量子相变可以使电阻率发生95%的下降。量子隐含态的形成伴随着剧烈的电阻变化, 具有发展为高速闪存器件的潜力。

该研究结果最近发表在Science Advances (Sci. Adv. 4, eaas9660 (2018))。

文章链接: <http://advances.sciencemag.org/content/4/7/eaas9660>

近几年, 中科院物理所李建奇研究组一直致力于高端超快电子显微镜研发和超快结构动力学研究, 发展出了自己的核心技术, 成功研制出了国内首台超快电子显微镜和场发射超快电镜。申请了多项国内外授权专利 (国际专利号: PCT/CN2014/076846/US9,558,909B2; 中国专利: ZL201410007910.2)。同时, 为了满足对生命科学中重大结构问题的研究需求, 该团队与中科院生物物理所展开合作, 开始了世界上首台冷冻超快电子显微镜的研制工作。另外, 该团队积极推动国际超快研究合作, 围绕磁结构激光调控和自旋超快动力学与德国于利希电镜研究中心合作, 取得了初步成果 (Phys. Rev. Lett. 120, 167204 (2018))。

上述研究工作得到国家自然科学基金项目(11474323, 11774391), 973项目(2015CB921304)、国家重点研发计划

(2016YFA0300303, 2017YFA0504703, 2017YFA0302904), 中国科学院前沿科学重点研究计划先导B培育项目(XDB07020000)和中国科学院重大科研仪器研制项目(ZDKYYQ20170002)的支持。

量子隐含态, 结构动力学以及4D超快电镜研究进展论文连接:

Science Advances (Sci. Adv. 4, eaas9660 (2018)):

<http://advances.sciencemag.org/content/4/7/eaas9660>

Nanscale ((Nanscale 10, 7465 (2018)): <http://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2018/nr/c8nr00432c>

PRB (Phys. Rev. B 96, 174203 (2017)):

<https://journals.aps.org/prb/pdf/10.1103/PhysRevB.96.174203>

Structural Dynamics (Struct. Dyn. 4, 044012 (2017)):

<https://aca.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.4979643>

PRL (Phys. Rev. Lett. 120, 167204 (2018)):

<https://journals.aps.org/prl/pdf/10.1103/PhysRevLett.120.167204>

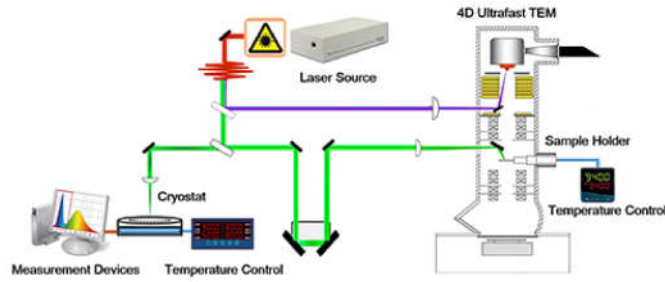


图1. 超快电子显微镜和激光原位电输运测量装置, 结构表征与物性测量共用同一光源。

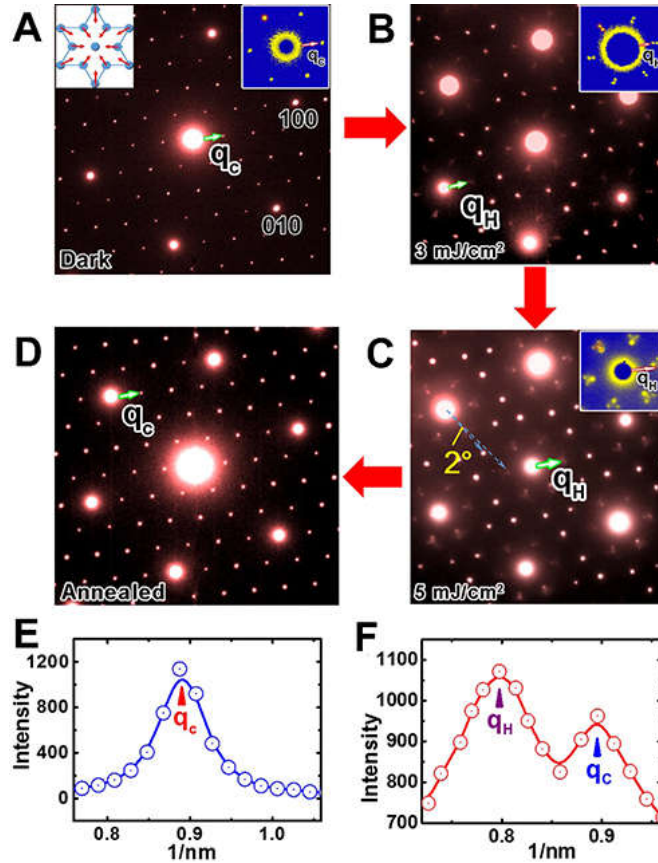


图2. 低温下1T-TaS₂在不同光激发条件下的电子衍射图, 展示了其超快光诱导的结构演化过程。

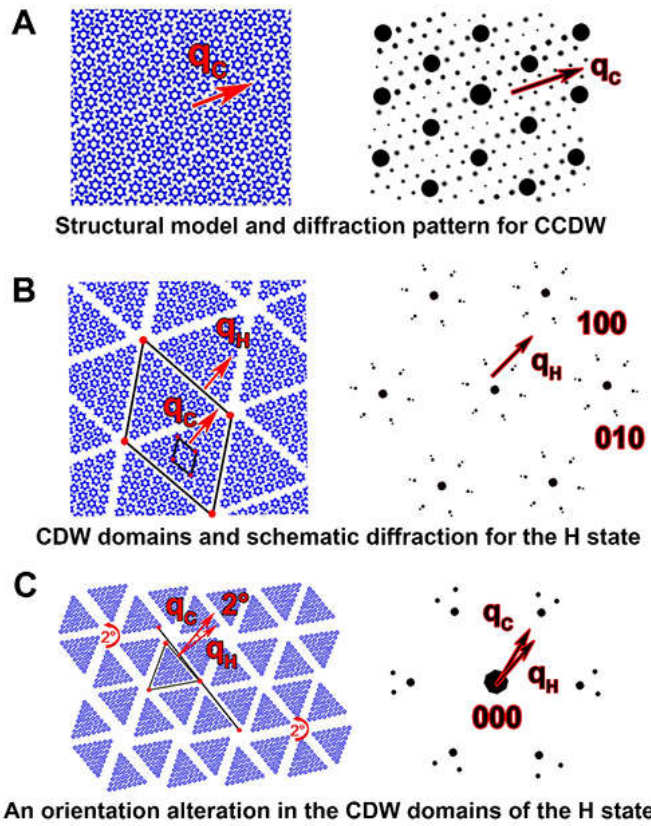


图3. 1T-TaS_{2-x}Se_x体系中公度CDW和两种光致隐含CDW的六角形格子排布示意图，以及对应的电子衍射模拟图。

图4. 1T-TaS_{2-x}Se_x (x=0,0.5)本征的电阻率的曲线以及在低温下不同功率密度的光诱导绝缘体金属相变。

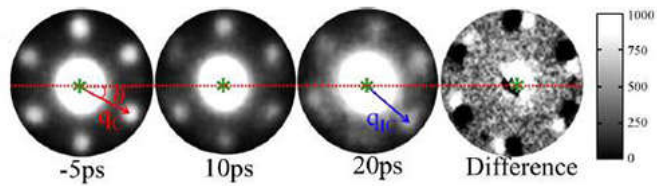


图5. 1T-TaSe 2的时间分辨超快电子衍射图，展示了其在超快光激发条件下皮秒尺度内的CDW调制结构演化过程。

» 附件列表：

- [下载附件>> Nanoscale,10,7465\(2018\).pdf](#)
- [下载附件>> Phys.Rev.B.96.174203\(2017\).pdf](#)
- [下载附件>> Phys.Rev.Lett.120,167204\(2018\).pdf](#)
- [下载附件>> Sci.Adv.4, eaas9660\(2018\).pdf](#)
- [下载附件>> StructuralDynamics4,044012\(2017\).pdf](#)

[电子所刊](#)

[公开课](#)

[微信](#)

[联系我们](#)

[友情链接](#)

[所长信箱](#)

[违纪违法举报](#)

