
里德堡莫尔激子的实验发现研究获进展

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/23587.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

里德堡莫尔激子的实验发现研究获进展。

中国科学院物理研究所纳米物理与器件实验室许杨团队首次报道了对里德堡莫尔激子的实验观测，系统地展示了对于里德堡激子的可控调节以及空间束缚，为实现基于固态体系中的里德堡态在量子科学和技术等方向上的应用提供了潜在途径。6月30日，相关研究成果以《里德堡莫尔激子的实验发现》(Observation of Rydberg moiré excitons)为题，发表在《科学》(Science)上。

电影《绿巨人》假设，人受到强力辐射后，诱发身体里的神秘力量，变为拥有超强力量的绿巨人。这种现实中很难实现的事情，在固体中却可以通过构造精妙的材料来实现。

原子是构成物质的基本微观粒子。原子的电子具有分层排布的特性。当电子被激发到更外层的轨道上时，形成的原子称为里德堡原子。这种被激发的原子由于体型更为庞大，被形象地称为原子界的巨人。半导体材料中由正电荷和负电荷相互吸引组成的粒子称为激子，对应地，激子的激发态被称为里德堡激子，同样是激子界的巨人。像绿巨人有超强力量一样，里德堡态的激子具有较多特性，如可以在半导体里自由移动、能够对周围环境的改变产生较大的响应等。

20世纪50年代，科学家在半导体材料Cu₂O中首先发现一种处于激发态的电子-空穴对即里德堡激子。尽管这样的里德堡激子与现代半导体技术更加兼容，但在三维固体体系中，试图通过操纵里德堡激子的去构造稳定的实用器件仍面临激子态易缺失、调控参数少等挑战。而在二维半导体材料中的里德堡激子，由于维度的降低和界面效应的增强，为研究提供了新方向。

在过去几年中，中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心纳米物理与器件重点实验室N08课题组特聘研究员许杨与合作者，发展了一套光学里德堡激子探测的方法。该方法利用二维半导体WSe₂的里德堡激子态对周围环境介电屏蔽敏感的特性，实现对临近二维体系中新奇电子态的有效探测。使用这种方法，研究观测到WSe₂/WS₂中在莫尔超晶格分数化填充时广泛存在的电荷有序态，又称广义魏格纳晶体态；观察到石墨烯/六方氮化硼莫尔超晶格形成周期性介电环境对WSe₂带隙与激子响应的调控；探讨了双层转角WSe₂中两能带哈伯德模型的模拟和调控等。然而，在这些体系中，里德堡激子态与周围介电层的层间相互作用较弱，如何对里德堡激子进行调控形成强耦合态以及实现空间囚禁成为迫切需要解决的问题。

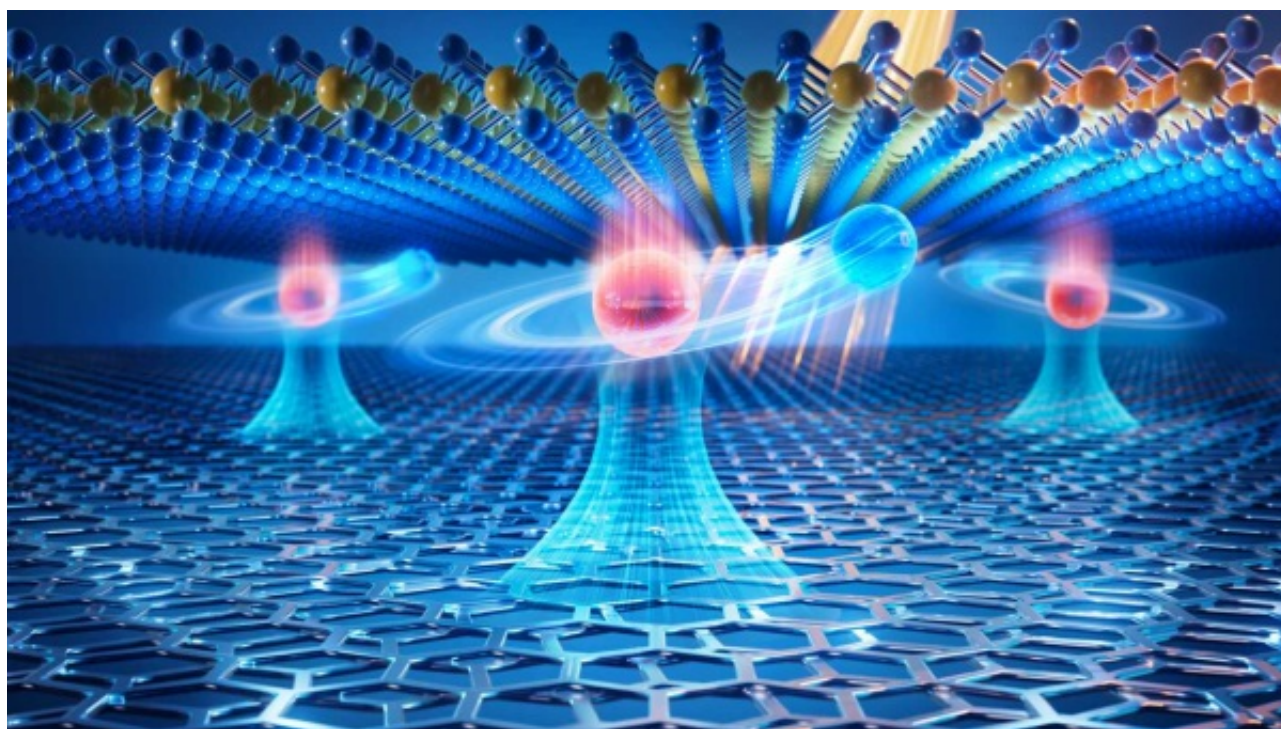
一种在凝聚态物理领域的二维材料魔角旋转方法，恰恰给操控里德堡激子态带来了新的机遇。近年来，N08组博士研究生胡倩颖在许杨的指导下，制备出单层WSe₂与转角石墨烯形成的二维范德瓦耳斯异质结器件样品，并通过低温微区反射光谱/光致发光光谱的方法对体系中的激子态进行测量和栅压掺杂调控的研究。实验发现，在大角度转角石墨烯和魔角石墨烯(~1.1°)的样品中，WSe₂

的光谱信号由里德堡激子探测机制主导，主要反映体系中介电函数的变化，例如在魔角石墨烯的样品中探测到一系列对称性破缺的关联电子物态(图2)。而在小角度的转角石墨烯样品($\sim 0.6^\circ$ ，莫尔周期24纳米)中，2s的里德堡激子态(尺寸约为7纳米)随栅压调控表现出多重劈裂和显著的红移，被称为里德堡莫尔激子态(图3)。研究通过结合武汉大学新发展的实空间大尺度计算物理方法发现，莫尔超晶格中随栅压调节的空间电荷分布可能对这一实验现象的产生起到关键作用。在该体系中，转角石墨烯中产生的周期性莫尔势场类似于冷原子体系中的光晶格，为里德堡激子提供了一个高度可调的束缚势场，并带来了电子-空穴严重不对称的层间库伦相互作用。

此外，该工作还研究了体系中随转角(或莫尔周期)演化的层间耦合强度(图4)。这种耦合强度直接反映在里德堡莫尔激子在能量红移的大小上，并可以用莫尔周期 l 与激子半径 r_B 之比来近似衡量(图1)。当 l/r_B 较小时，莫尔势场的作用较弱，激子的巡游特性保持不变，光学信号主要由激子探测机制主导。随着 l/r_B 增大，体系进入到强耦合极限，里德堡莫尔激子在光谱上表现为多个能量分裂峰、非单调的红移以及收窄的线宽。这些特征随着莫尔周期的增大(转角的减小)而变得更加显著，与空间束缚的里德堡激子物理图像相一致。

正如里德堡原子间可具有较强的相互作用和对外场的敏感性，它们形成的光悬浮阵列能够被用于量子模拟和量子计算一样，里德堡莫尔激子态的实验发现，系统地展示了对于里德堡激子的可控调节以及空间束缚，为实现基于固态体系中里德堡态在量子科学和技术等方向上的应用提供了潜在途径。

研究工作得到科学技术部、国家自然科学基金委员会、中国科学院、怀柔综合极端条件实验装置、武汉大学超算中心等的支持。南开大学和武汉大学的科研人员参与研究。(来源：中国科学院物理研究所)



里德堡莫尔激子的实验发现研究获进展

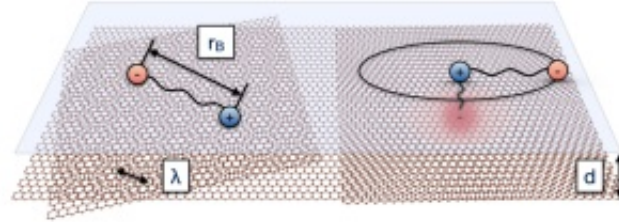


图1. 里德堡激子与莫尔超晶格之间的相互作用示意图

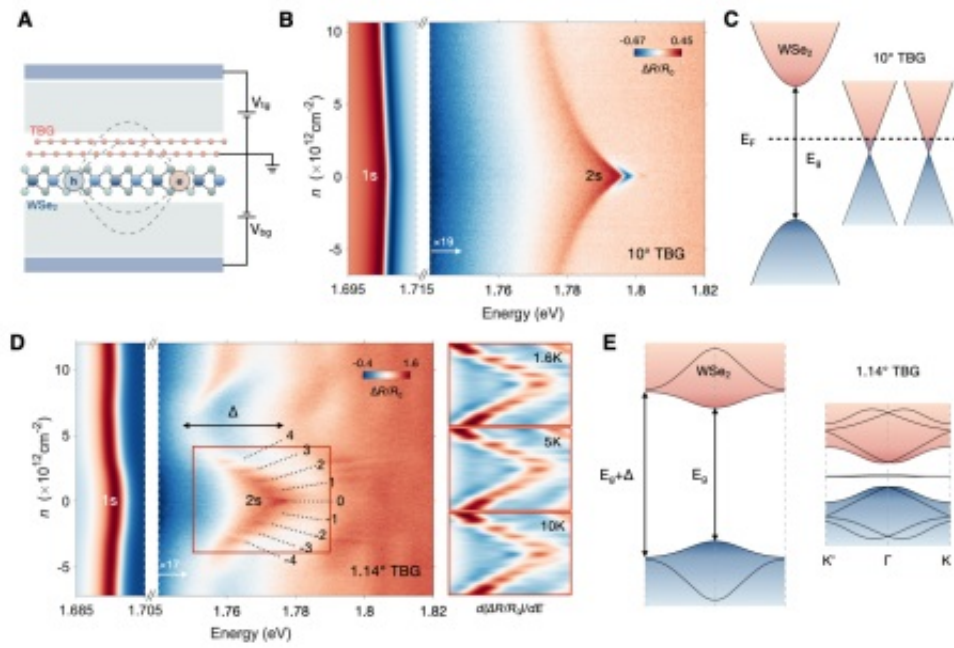


图2. 器件结构以及与10 ° 或1.14 ° 转角石墨烯相邻的WSe2的光学响应

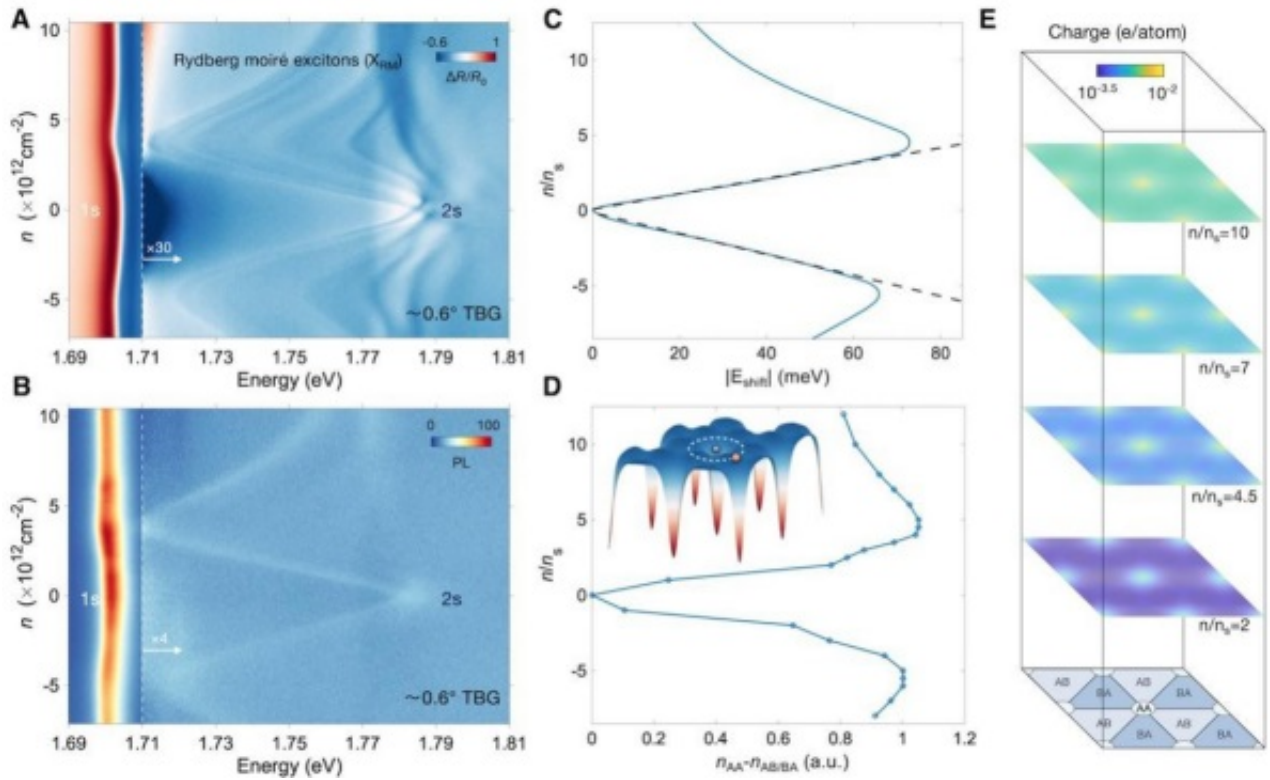


图3. 与 0.6° 转角石墨烯相邻的WSe₂中的里德堡莫尔激子及其栅压演化规律

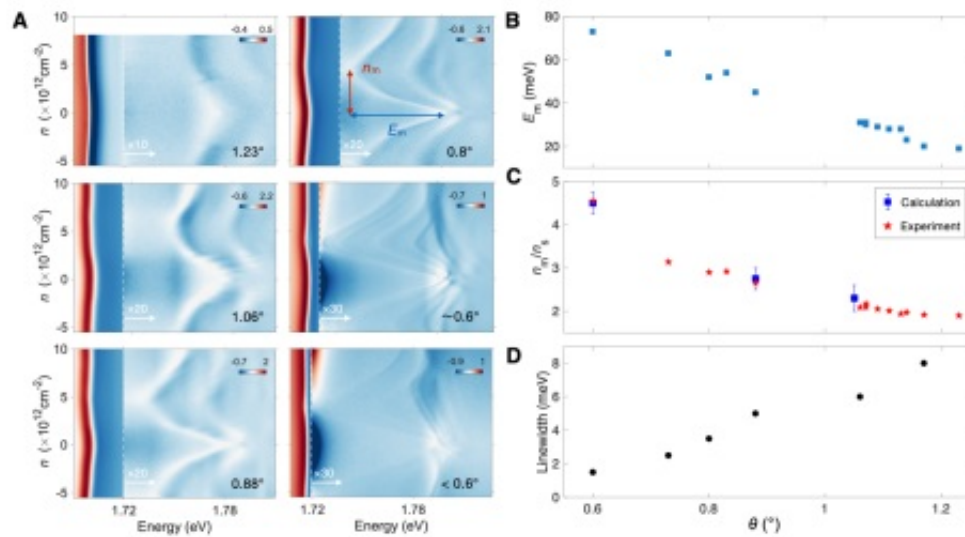


图4. 里德堡莫尔激子态随转角的演化规律

相关论文信息：<https://www.science.org/doi/10.1126/science.adh1506>

作者：许杨等 来源：《科学》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发