双层-双层转角石墨烯中的关联绝缘态研究获进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/9516.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！

由于其较高的载流子迁移率和狄拉克电子能带结构，石墨烯被视为理想的二维电子气输运研究载体。当两层石墨烯按照小角度堆叠时，碳原子疏密排列形成摩尔超晶格结构，导致较强的周期性层间耦合。2011年，德克萨斯大学奥斯汀分校的Allan H. MacDonald团队利用连续模型预测，当转角为“魔角”（约1.1°）时，周期性层间耦合会使得该体系中出现“平”的能带结构。Hubbard模型下，电子平带带来不可忽略的库伦相互作用，会导致莫特金属—绝缘体相变。2018年，麻省理工学院的Pablo Jarrilo-Herrero团队首次在实验上观测到魔角石墨烯（“1+1”）中平带半填充时的电子关联绝缘态以及由关联绝缘态掺杂诱导的非常规超导现象。这种关联绝缘态和超导相共存的特征非常类似于铜基高温超导，有望作为一个新的平台去研究电子强关联和高温超导机理。转角低维材料体系迅速吸引了大量理论和实验工作者的关注，一个新研究领域——转角电子学，应运而生。寻找其他的转角强关联体系、增加新的电子态调控自由度，成为该领域的前沿问题之一。

近期，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实验室N07课题组博士沈成和研究员张广宇等从AB堆垛的双层石墨烯出发，研究了双层-双层石墨烯（“2+2”）魔角体系。考虑到单个AB堆垛的双层石墨烯会在垂直原子平面的位移电场作用下在零能量费米面处打开能隙，形成“墨西哥帽”式的能带结构，他们提出，由AB堆垛的双层石墨烯构筑的转角双层-双层石墨烯体系，同样存在电子平带且平带结构可以受到位移电场的调控。

利用转移堆叠技术，他们制备出许多转角在1.06°-1.33°区间的样品，通过顶栅和底栅来独立调控载流子浓度和垂直电场强度，利用电输运测量的手段系统性地研究了该体系中的电子强关联效应。如图1所示，他们发现转角双层-双层石墨烯体系中的确会在第一支导带半填充时发生金属—绝缘体相变，证实该体系中平带带来的强关联效应，相关实验结果与紧束缚模型的能带计算结果吻合。此外，他们还验证了位移电场对半填充关联绝缘态的调控作用。在有限的位移电场(0.2V/nm<D/ ε_0<0.6 V/nm)下，关联绝缘态经历由出现到增强并最终消失的非单调性变化。位移电场下关联绝缘态的响应，来源于位移电场对平带带宽和平带两侧单粒子能隙大小的调控。这些结果表明，在“2+2”的魔角石墨烯中，位移电场可以作为除载流子浓度和转角角度之外调控电子关联强度的又一个自由度。

电子强关联作用往往会引发电子的对称性破缺。例如，绝大部分莫特绝缘体会呈现出电子自旋的反铁磁排列。在“2+2”的魔角石墨烯中，他们通过施加平行磁场观测半填充关联绝缘态的响应，来探测电子平带半填充时的自旋基态。如图2所示，平行磁场下塞曼效应诱导和增强半填充关联绝缘态的结果，支持该体系平带半填充时电子自旋极化的观点。这些结果为实验和理论上研究铁磁莫特绝缘体和铁磁超导提供了可能。

“2+2”的魔角石墨烯作为一个新的量子材料，展现了多自由度调控的电子强关联效应。该体系下的许多重要问题，如关联绝缘态的起源、超导态和陈绝缘体的存在等，仍尚待进一步研究。“2+2”的魔角石墨烯正在成为国际上多个理论和实验团队的重点研究对象，有望揭示更加丰富的电子关联和拓扑量子物态。

该研究工作获得瑞士洛桑联邦理工学院博士吴泉生、教授Oleg V. Yazyev，日本国立材料科学研究所研究员Kenji Watanabe、Takashi Taniguchi和T03课题组研究员孟子杨等人的密切合作和帮助，以及科技部（2016YFA0300904，2016YFA0300502）、国家自然科学基金委（11834017，61888102，11574359）、中科院（XDB30000000，QYZDB-SSW-SLH004，XDB28000000）等有关项目的支持。相关成果发表在近期的《自然-物理》（*Nature Physics* 16, 520-525 (2020)）上。

文章链接

图1. 转角双层-双层石墨烯中的半填充关联绝缘态 a, 转角双层-双层石墨烯摩尔超晶格和器件结构示意图；b, 能带示意图；c, 紧束缚模型的能带计算结果；d, 双栅调控下的电阻行为；e, 低温下平带半填充时的变温绝缘体行为；f, 变温拟合的半填充关联绝缘态能隙随垂直电场的响应。

图2. 平行磁场下半填充关联绝缘态的增强效应 a, b, B=0T和B=9T时双栅调控下的电阻响应；c, 平行磁场对半填充关联绝缘态的诱导和增强；d, 半填充绝缘态能隙和平行磁场的关系。

研究团队单位：物理研究所

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转发