清华团队以飞秒激光改写材料“基因”

作者：writer 来源：科学网

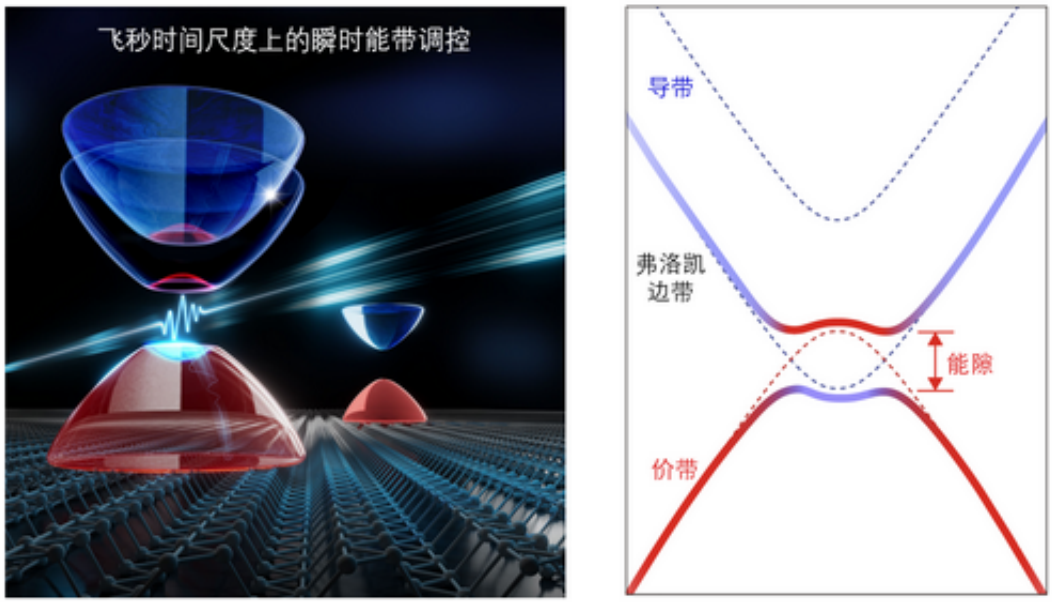
本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/21856.html

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！

清华团队以飞秒激光改写材料“基因”。

近日，清华大学物理系教授周树云研究组和合作者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，相关论文于2月2日在《自然》发表。

据了解，光与物质的相互作用是探究低维量子材料微观物理机制的重要探测手段，并且其中超短、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。



半导体材料弗洛凯能带调控示意图。清华大学供图

低维量子材料包括碳纳米管、石墨烯、过渡金属硫族化合物等，以其新奇的物理特性和全新的器件应用而广受关注。例如，相比于石墨的三维立体结构而言，石墨烯以其单原子级厚度可以被视作二维这样的低维材料，其中的电子结构也会因为维度的降低而发生剧烈的变化。我们研究的电子能带结构可以通俗地理解成这些材料的DNA，它决定了材料的各种属性，清华大学水木学者鲍昌华解释道，而我们所做的就是利用飞秒激光来调控这些材料的DNA，从而获得我们想要得到的一些性质。

当前学界的研究主要聚焦在材料的平衡态特性，而对其非平衡态物理及超快动力学的研究尚处于发展阶段。

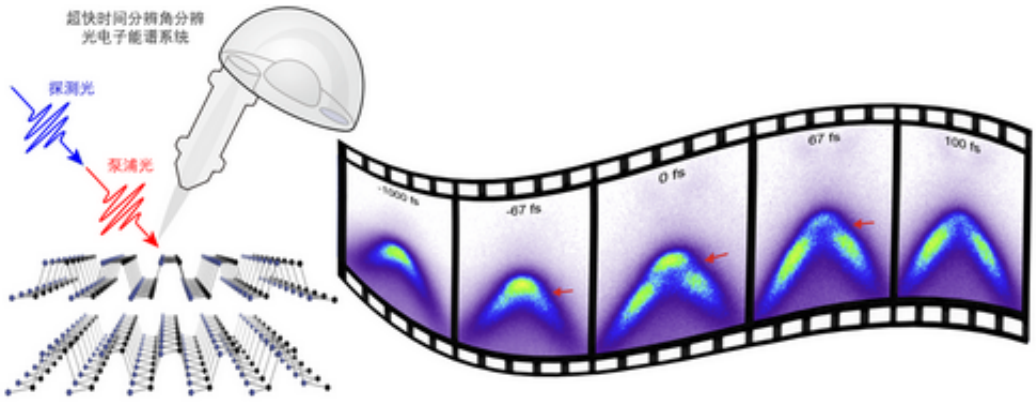
周树云团队利用脉冲激光，将时间精度控制到万亿分之一秒，迈出了实现瞬时调控材料特性的坚实一步。在超快时间尺度(皮秒甚至飞秒)上实现电子结构和物理特性的测量和调控，不仅能够拓展非平衡态物理知识的前沿，还将为未来新型、高速器件的开发和应用奠定重要的科学基础。

在非平衡态超快动力学和瞬时物态调控研究中，一个备受关注的重要研究方向是通过周期振荡的势场诱导量子物态的变化，进而实现对其电子结构的调控，该方案被称为弗洛凯工程。从材料的晶格结构出发，电子受到空间中周期性变化晶格的影响，形成在动量空间具有周期性的能带结构，导致整个材料呈现出金属、绝缘体、半导体乃至超导体的多种性质的可能。

与之相类比，外加的周期振荡势场将导致电子在能量空间出现能带结构的周期性复制，进而形成弗洛凯态。进一步地，通过电子与周期势场的相互作用对低维量子材料的能带结构、对称性及拓扑性质的瞬时调控，可实现平衡态所不具有的新物态，例如，将拓扑平庸的材料转变为拓扑材料，实现远离平衡态的拓扑超导态等。

目前，国际上这方面的研究还刚开始。一方面，我们希望弗洛凯能带工程可以在更加广泛的材料体系中被实现，从而为更加自由地调控材料的性质提供一种新的途径，对于该研究领域的发展前景和可能的应用，清华大学物理系2017级博士生周绍华介绍，另一方面则是在未来飞秒激光在材料物性调控作用上的应用，如在超快时间尺度上实现材料的非平庸拓扑、超导拓扑物态等。

弗洛凯态的概念自上个世纪初被提出后就引起了物理学家的广泛关注，并被应用于凝聚态物理、冷原子物理和光晶格等领域。近十年来，弗洛凯瞬时能带和物性调控已经发展成为国际上凝聚态物理和材料科学的一个重要科学前沿。然而，尽管理论方面涌现出丰富的预言，与之形成鲜明对比的是凝聚态体系中的实验进展非常少。很多关键的科学问题仍然有待实验的证实。



?

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。清华大学供图

周树云研究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。在研究其中的弗洛凯瞬时能带调控时，研究组使用了类似给电子拍电影的方法——在飞秒尺度上记录其在光的激发下，从光到来之前、刚好到达时以及光离开以后整个动态过程中的关键时刻，从而观察它是怎样演化的。在此基础上，他们通过系统性地探究

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，研究组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方向时，才会出现瞬时能隙，揭示出弗洛凯能带工程调控具有特定的光学选择定则。结合理论分析，研究组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)。这些研究结果不仅为弗洛凯能带调控提供了重要的思路，同时，飞秒激光调控的迅速开关特点也为进一步探索拓扑物态、关联物态(磁性、超导等)的瞬时调控奠定了重要的基础。此外，这一独特的偏振选择效应未来也有望应用于光学偏振相关的光电器件应用中。(来源：中国科学报 陈彬)

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41586-022-05610-3

作者：周树云等 来源：《自然》

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