
超快近场光学显微技术及应用

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/31972.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！

超快近场光学显微技术及应用。

ISSN 2662-8643(online)

CN 22-1427 / 04

ISSN 2097-1710(print)

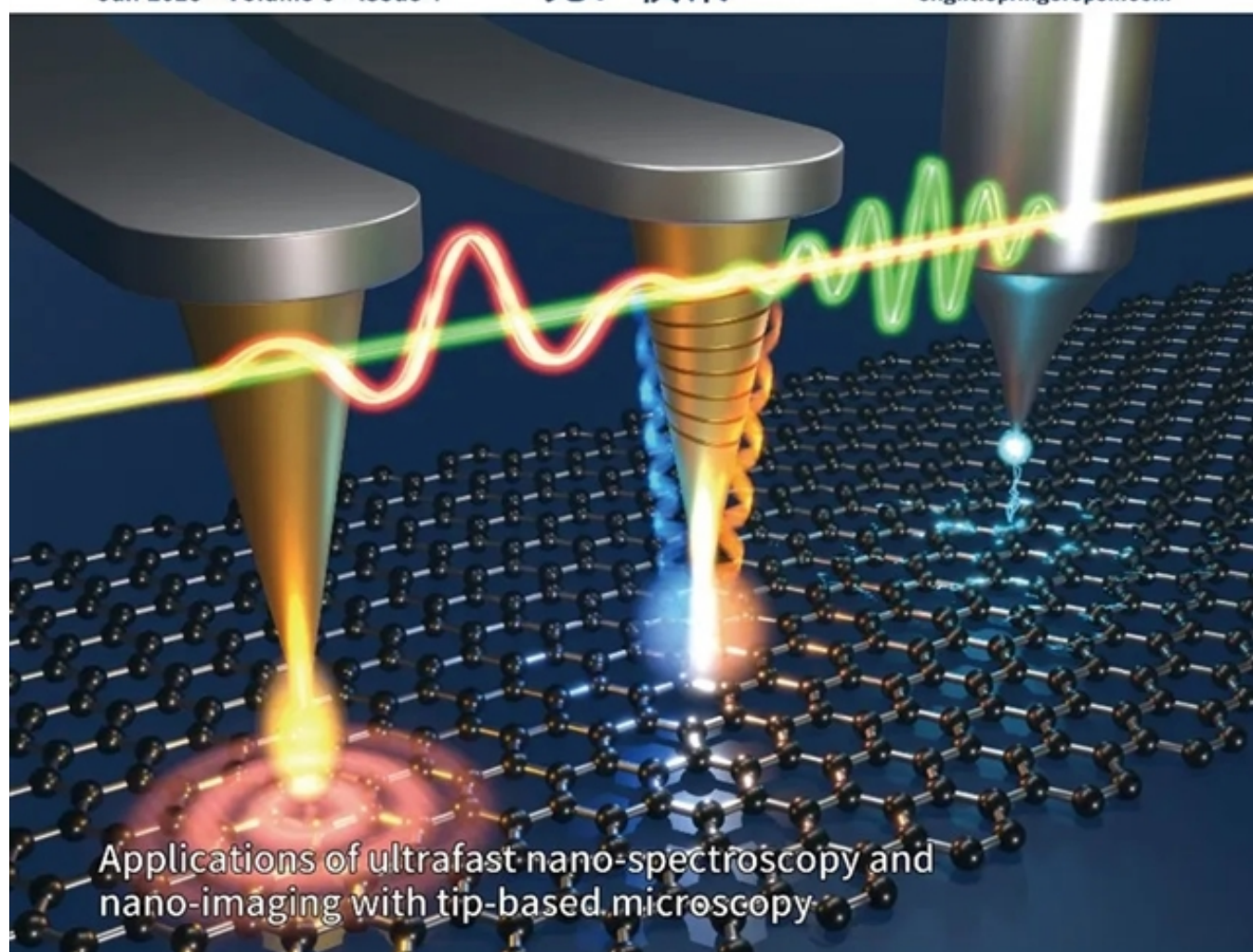
eLight



Jan 2025 · Volume 5 · Issue 1

光：快讯

elicht.springeropen.com



ISSN 2097-1710



中国科学院长春光机所
CIOMP

SPRINGER NATURE

导读

近年来，极化激元、莫尔物理和拓扑现象等光-物质相互作用及量子过程在纳米尺度下的研究受到了广泛关注。传统光学显微技术受到衍射极限的制约，难以有效解析亚波长尺度下光与物质相互作用的空间异质性和动力学特征，已无法满足研究人员对精细化表征的需求。这一局限性显著制约了相关基础研究和科学技术的发展。因此，开发能够突破物理现象特征时空尺度限制的光学显微技术，已成为当前的一个重要研究方向。

原子力显微镜（Atomic Force Microscopy, AFM）和扫描隧道显微镜（Scanning Tunneling Microscopy, STM）等扫描探针显微技术的出现，为突破衍射极限带了新的途径。通过这些技术与光学系统相结合，实现了原子级分辨率的近场光学显微镜。随着超快泵浦-探测技术的引入，研究人员能够进一步实现在纳米空间尺度与飞秒时间尺度的同时观测。

这篇综述聚焦于三种代表性的超快近场光学显微技术：超快散射型近场光学显微技术（Ultrafast scattering-type scanning near-field optical microscopy, Ultrafast s-SNOM）、超快纳米聚焦技术（Ultrafast nanofocusing）和超快扫描隧道显微技术（Ultrafast scanning tunneling microscopy, Ultrafast STM）。本文详细介绍了这些技术的工作原理，并重点分析了它们在超快纳米光谱与纳米成像中的实际应用，涵盖了范德华材料、有机分子以及多种复合材料在电学、力学和磁性等多个方面的动力学表征与分析。最后，从空间、时间和能量三个维度总结了当前的技术现状，深入探讨了应用中所体现的技术挑战与机遇，并展望了该领域的未来发展前景。

该综述文章以Applications of ultrafast nano-spectroscopy and nano-imaging with tip-based microscopy为题发表在SCI高水平eLight期刊，由科罗拉多大学博尔德分校Markus B. Raschke教授，同济大学程鑫彬教授、江涛教授及其团队共同撰写。

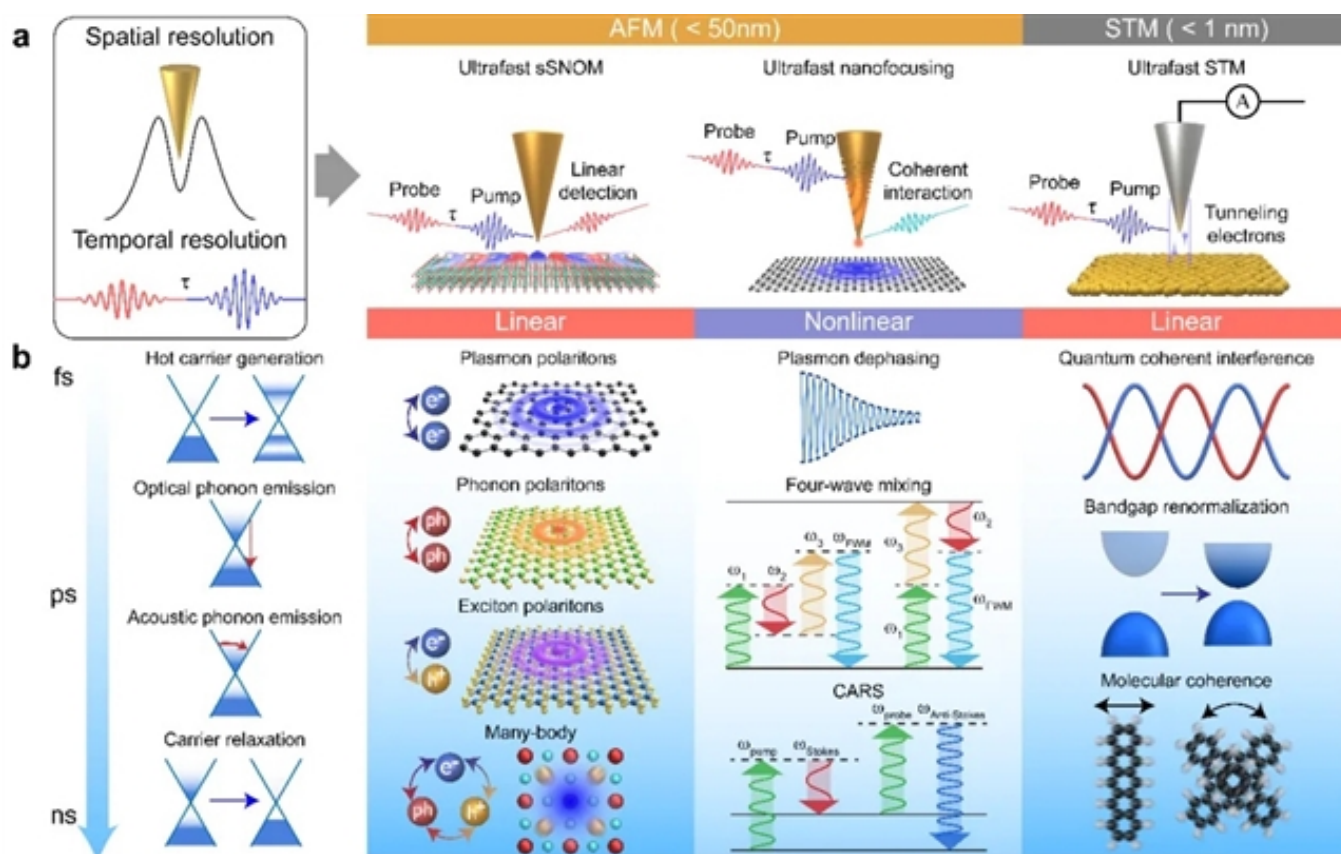


图1：超快纳米光谱和纳米成像技术及其应用总结。a 综述中聚焦的三种超快近场光学显微技术的示意图。b 举例描述了超快近场光学显微技术研究的几种物理过程，并按这些过程的特征时间顺序排列。

超快散射型近场光学显微技术

超快s-SNOM是一种兼容多种探测波段和材料类型的技术，广泛应用于纳米尺度下光与物质相互作用动力学的研究。该系统基于轻敲模式的AFM探针，通过超快激光脉冲照射，激发探针尖端局部电场与样品之间的相互作用。利用锁相技术解调探针振动调制的散射光信号，可以获取探针下方一定范围内的近场光学响应信息。近年来，随着技术的逐渐成熟，超快s-SNOM在极化激元、量子相、极化子以及多体相互作用等领域的动力学研究中取得了一系列重要研究成果。

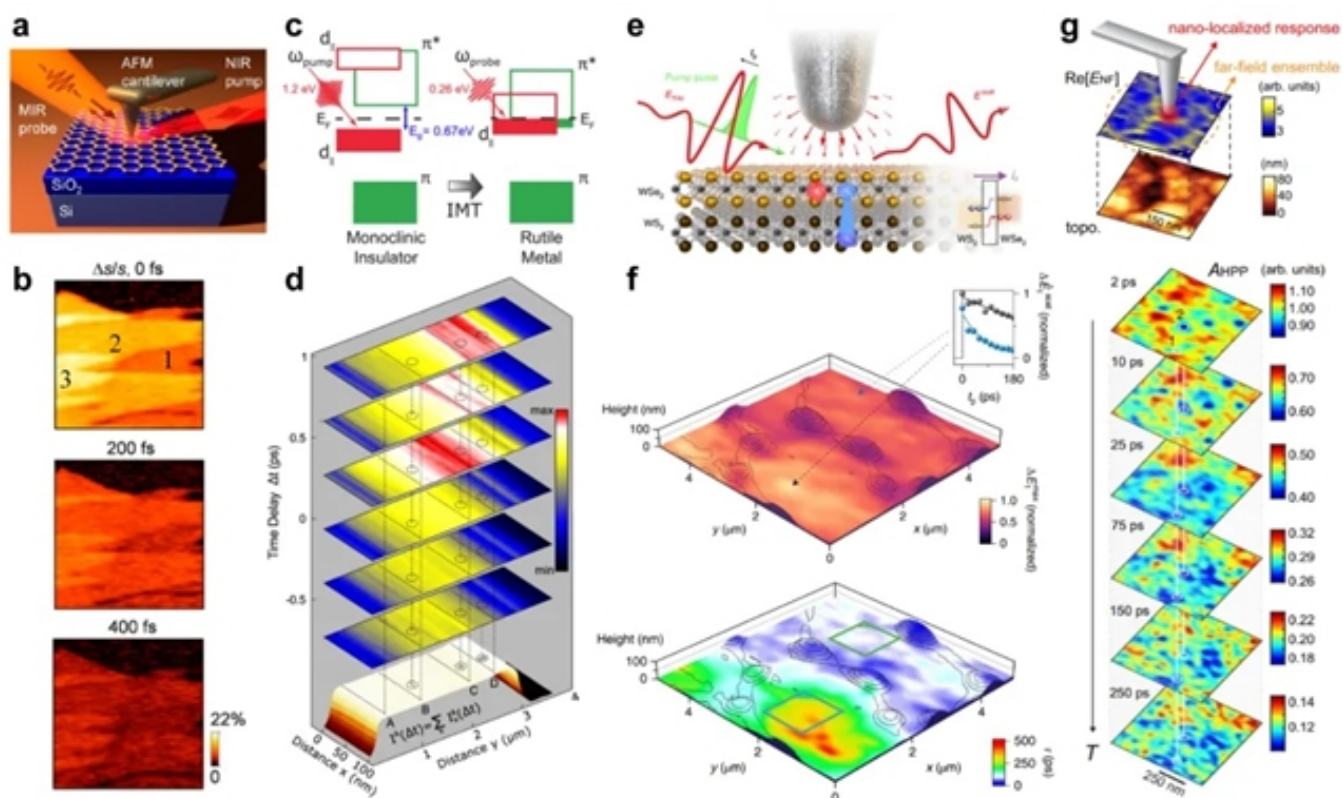


图2：基于超快s-SNOM的纳米尺度空间异质性研究。a-b 不同层数的石墨烯中等离激元响应的时空差异。c-d 强泵浦激发下二氧化钨微晶中的相变动力学和空间位置的关系。e-f 结合形貌特征，二硒化钨/二硫化钨所构成的异质结中激子动力学研究。g 强泵浦激发下钙钛矿中的多体动力学研究。

超快纳米聚焦技术

超快纳米聚焦作为一种新兴技术，弥补了超快s-SNOM在研究非线性光响应方面的不足，并具有飞秒量级的高时间分辨率。区别于传统超快s-SNOM，超快纳米聚焦采用了结合光栅结构的金属探针，通过光栅将超快激光脉冲高效耦合成表面等离极化激元，最终传播汇聚在探针尖端，实现纳米尺度局域的超快飞秒点光源。通过脉冲整形，该光源不仅具有足够的强度以支持非线性光学研究，而且还能进行相干探测。该技术可以极大避免传统近场技术中直接照射样品时产生的背景信号。目前，超快纳米聚焦技术已成功实现纳米尺度的二倍频、四波混频、反斯托克斯拉曼散射等相干光学探测，在研究纳米尺度相干动力学方面具有独特优势。

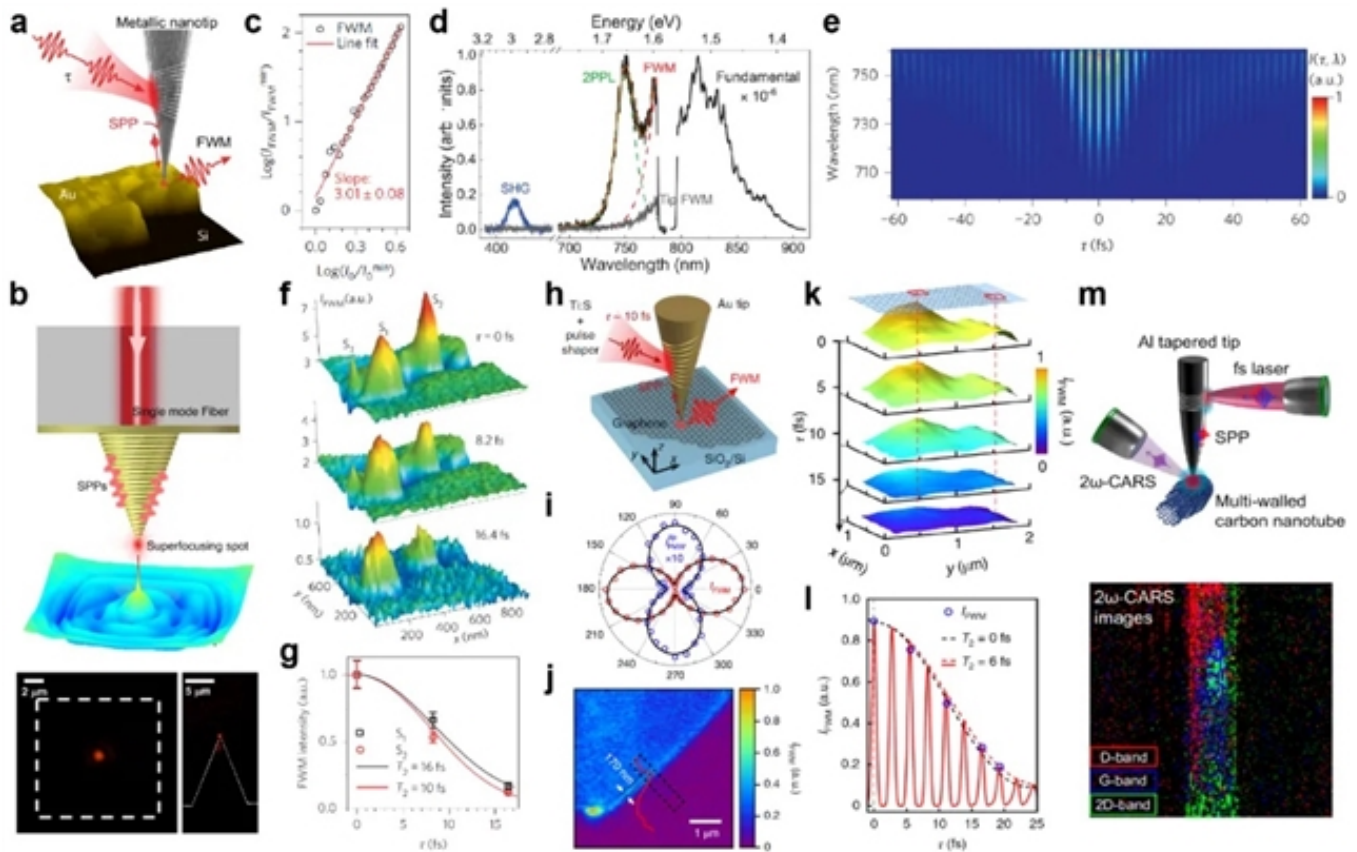


图3：超快纳米聚焦技术在非线性光学纳米成像中的应用。a-b 两种类型的超快纳米聚焦技术的示意图，a为超快脉冲直接入射在金属针尖的光栅结构上，b为结合光纤从内部入射实现纳米聚焦。c 纳米聚焦产生的四波混频信号和激发强度的关系。d 通过纳米聚焦技术在单层二硒化钨上测得的光谱。e 纳米聚焦针尖的四波混频干涉光谱。f-g 在金台阶结构的边界所进行的超快四波混频成像，并分析了不同位置下退相干时间的差异。h-j 纳米聚焦技术表征石墨烯，研究了针尖和石墨烯四波混频信号的偏振响应，并对石墨烯进行了四波混频成像。k-l 记录了不同时间延迟下石墨烯的四波混频成像，并分析了石墨烯边界处的退相干动力学。m 通过纳米聚焦技术对多壁碳纳米管进行了相干反斯托克斯拉曼散射成像。

超快扫描隧道显微技术

超快STM基于电子隧穿原理，结合超高真空和低温技术，能够将空间分辨率提升至亚埃米量级，是目前空间分辨率最高的显微技术之一。在该技术中，超快激光脉冲照射STM探针，探针尖端处的增强电场能够调制针尖与样品之间的隧穿结，从而使隧穿电流引入光学频率的超快分量。通过解调隧穿电流信号，可同时实现原子尺度的空间分辨率以及与激光脉宽相匹配的时间分辨率。超快STM在深入研究传统材料和量子材料中的电子行为方面发挥了不可替代的重要作用，而载波包络相位调控技术的引入，进一步推动了对电子隧穿这一量子过程的精确相干控制。

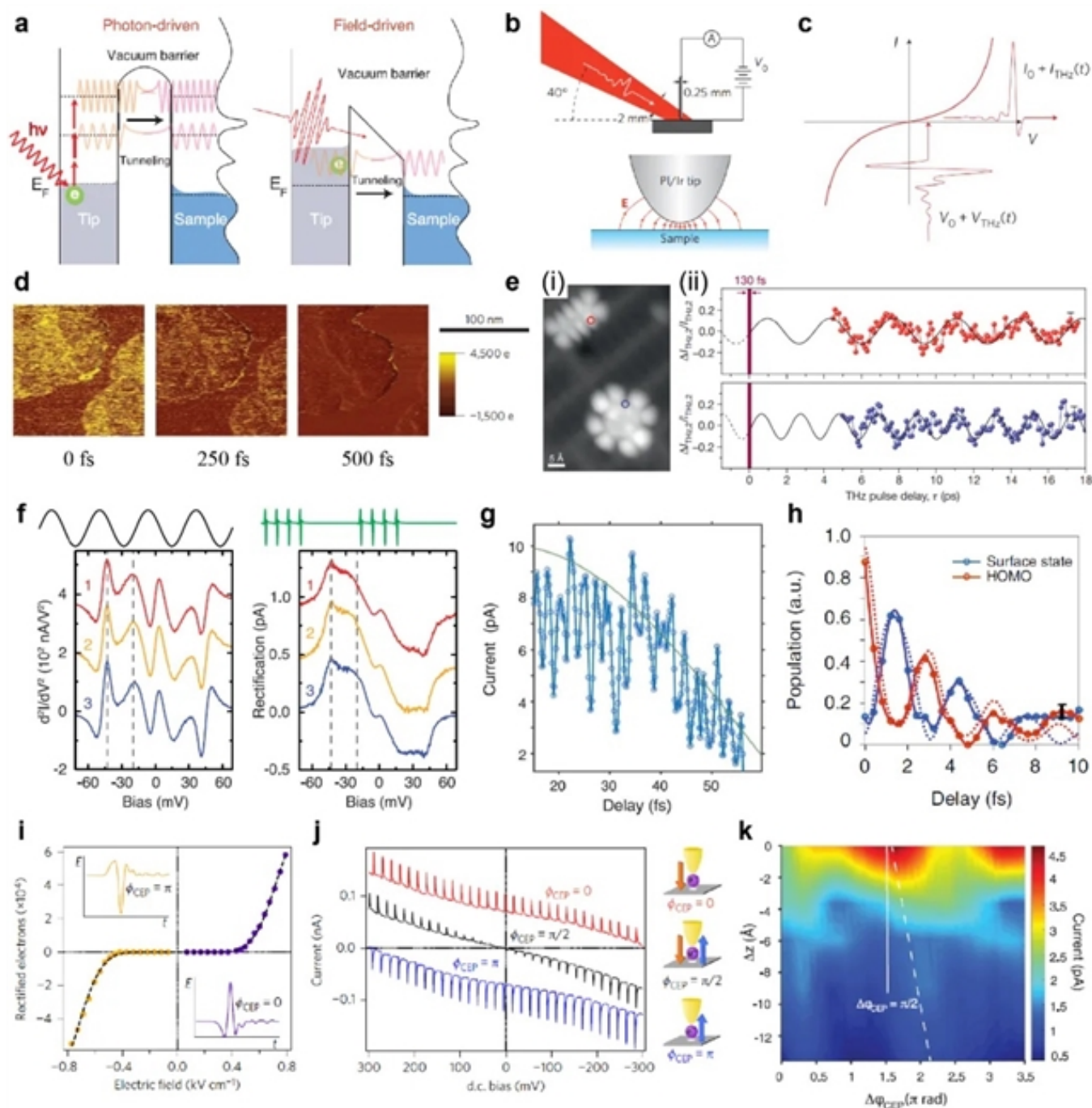


图4：具有时间-空间-能量分辨的超快扫描隧道显微表征与隧穿过程的相干调控。a 隧穿结中电子隧穿原理的概念图。b 太赫兹扫描隧道显微技术的示意图。c 隧穿结中隧穿电流和电压之间的非线性关系。d 高定向热解石墨上的金样品进行自相关成像。e 并五苯和酞菁铜分子的相干分子动力学研究。f 氮化铜表面和针尖之间的氢分子的非弹性电子隧穿谱（左）和太赫兹整流谱（右）。g 具有局域表面等离极化激元共振的金纳米棒的隧穿电流测量。h 分子轨道最高占据态和表面态之间的相干干涉。i-k 载波包络相位调控对于隧穿电流的影响。（来源：中国光学微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1186/s43593-024-00079-1>

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费事宜，请与我们联系。

作者：Markus B. Raschke 来源：eLight

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