超快响应的宽带热释电探测器

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/30954.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！

超快响应的宽带热释电探测器。 导读

红外探测技术因其在安防、军事侦察、医学检测和工业生产等方面的巨大潜力而受到广泛关注。

热释电探测器是一种热探测器，具有制造简单、稳定性高、无需冷却系统和外部偏置等优点。而且，热释电探测器的光电流是由热释电材料的温度波动引起的自发极化强度变化产生的，它不受半导体带隙的限制，因此表现出极宽的响应波段。

然而，热释电信号的产生涉及光、热、电之间的能量连续转换，其响应速度相对较慢，通常需要数十至数百毫秒，因而无法满足环境监测、实时成像、动态目标捕获等场景的需求。

近日，苏州大学李孝峰教授、刘小翼副教授团队通过在热释电探测器中引入非匀质的等离激元结构，对其光-热转换过程进行调控，在宽带范围内实现了具有超快响应能力的热释电探测器。相关成果以Ultrafast near-infrared pyroelectric detector based on inhomogeneous plasmonic metasurface为题发表在Light: Science Applications。

工作原理

热释电探测器工作时的光-热转换过程耗时较长，导致其响应速度较慢。针对此问题，研究人员在探测器表面引入了非匀质的Al颗粒结构来激发等离激元现象并加速光-
热转换的完成，如图1所示。

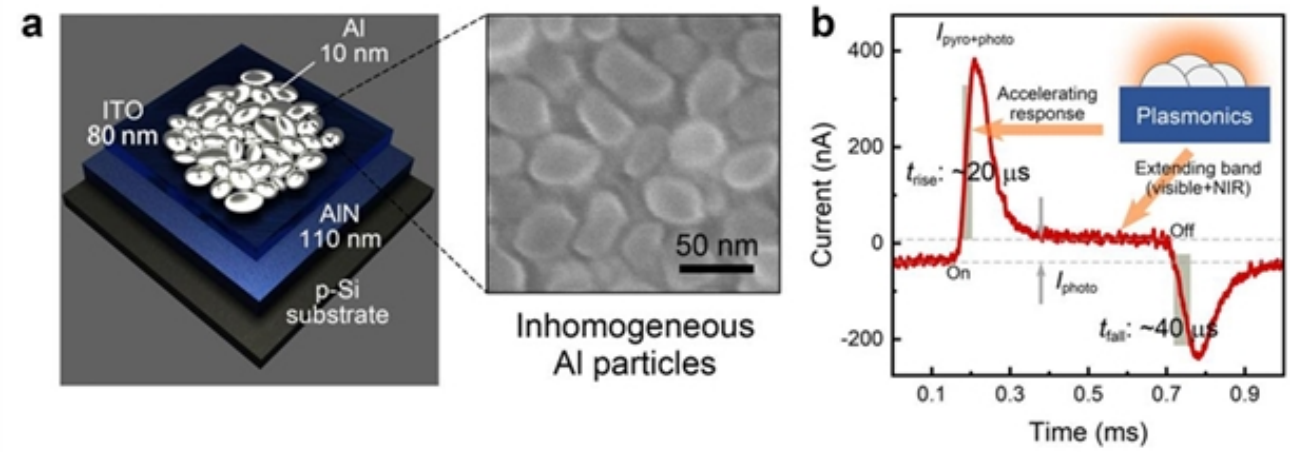


图1：（a）热释电探测器结构图，顶层为非匀质的Al纳米颗粒；（b）结合等离激元结构的探测器响应波形，具有极快的响应速度和拓展的工作带宽。

通过激发等离激元共振，入射光能量被迅速转换成局部电荷密度振荡，然后以飞秒时间尺度衰减，再通过皮秒量级的电子-声子散射转化成热量。这使探测器能够迅速完成光-
热转换过程，大幅提高探测器的响应速度。

除此之外，等离激元具有强烈的结构依赖性，当光照射到非匀质的Al纳米结构上时，激发的等离激元共振会有多种耦合模式，产生多个共振峰，从而实现从可见到近红外范围的宽带响应。

响应速度提升

为了进一步解释等离激元共振对响应速度的加速机制，研究人员制备了不含 Al 纳米颗粒的热释电探测器作为对照。如图2所示，带有Al纳米颗粒的热释电探测器响应速度比对照组快两个数量级，达到22 μs，充分展示了等离激元共振对探测器响应速度的提升效果。

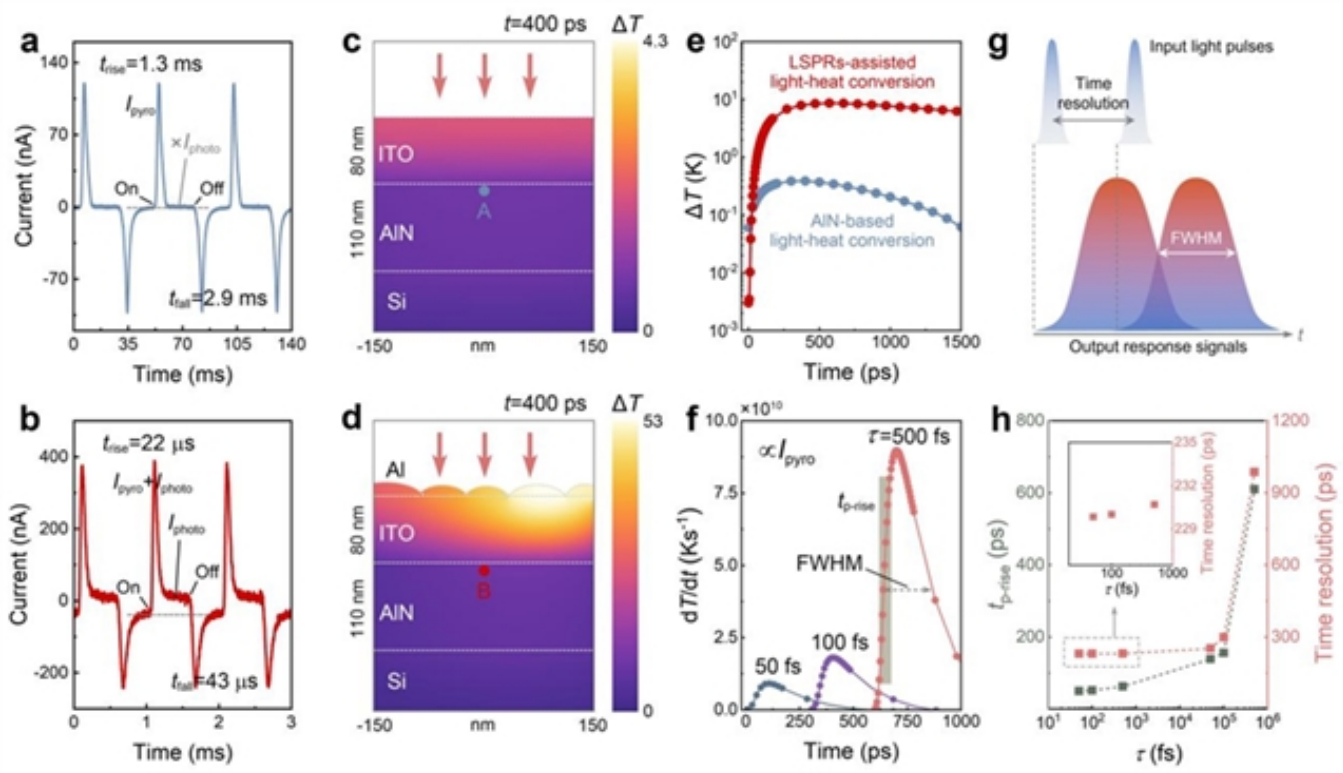


图2.（a）不带有和（b）带有等离激元结构的探测器响应波形；（c）不带有和（d）带有等离激元结构的探测器模拟温度变化分布；（e）两个探测器中AlN层的模拟温度差曲线；（f）探测器中AlN层在不同入射光脉冲下的模拟温度变化率图；（g）热释电探测器的时间分辨率概念示意图；（h）信号上升时间、时间分辨率与入射光脉冲宽度的关系。

此外，通过仿真发现，探测器在连续光源和脉冲光源下测得的响应信号上升时间是不同的，前者较为稳定，而后者会受入射光脉宽的影响，脉宽越短，信号上升时间越短（会由于器件结构限制而存在一个极限）。

为了把这两种响应时间区分开，研究人员将半峰全宽作为时间分辨率的概念引入到热释电探测器中。简单来说，连续光源下测得的响应时间反映了热释电探测器的响应速度，而脉冲光源下获得的时间分辨率则代表了探测器识别相邻多个快速移动目标的能力。

响应带宽拓展

等离激元效应具有强烈的结构依赖性，规则的等离激元结构通常会导致窄带的谐振频率。然而，研究者设计的非匀质Al纳米颗粒为实现宽带的工作波段提供了可能。

如图3所示，结合了非匀质等离激元结构的热释电探测器在近红外（1100-1800 nm）和可见光（550-700 nm）范围内均可实现清晰的响应波形。同时，通过计算探测器的响应率和比探测率发现，探测器在宽带范围内的性能均可维持在较高水平，即使在1800 nm处依旧没有下降的趋势。

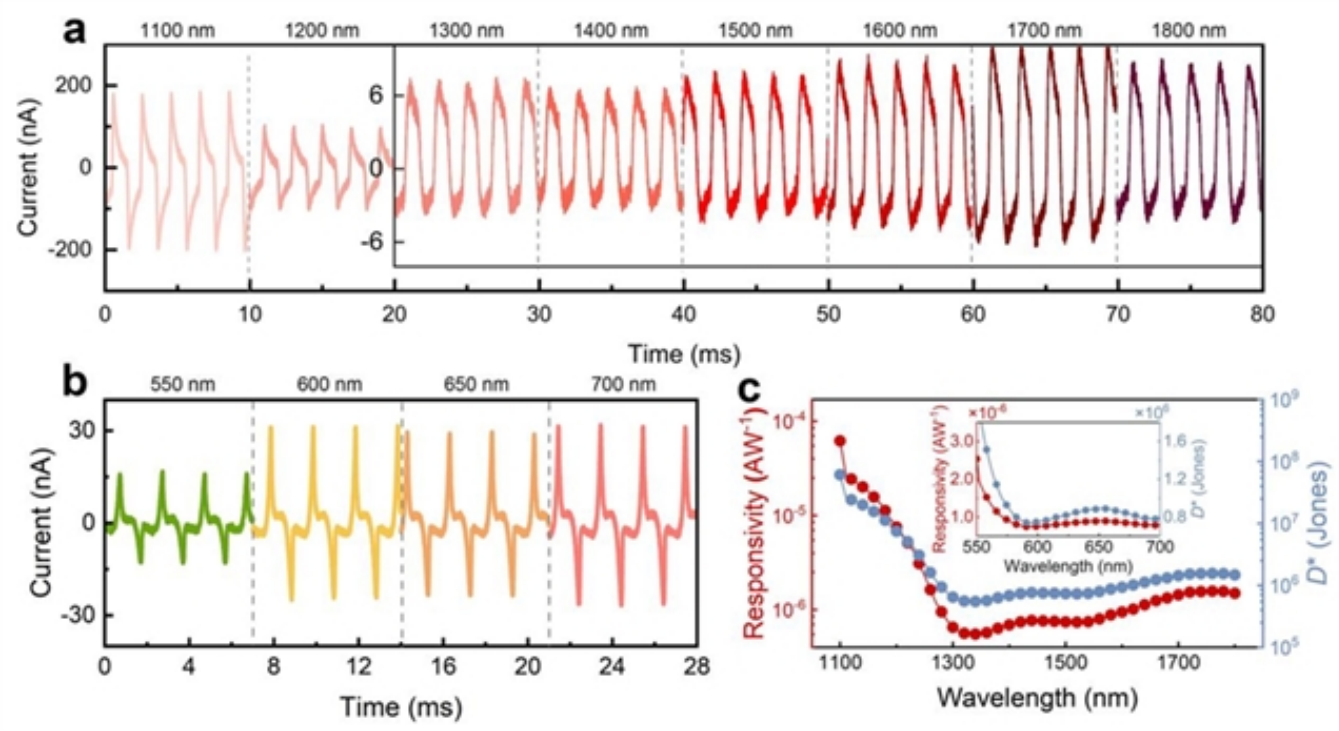


图3：热释电探测器在（a）1100-1800 nm和（b）550-700 nm的响应波形；（c）热释电探测器在550-700 nm和1100-1800 nm的响应率R和比探测率D*。

总结与展望

研究人员设计并制造了一种热释电探测器，通过与非匀质的等离激元表面相结合，显著加速了光热转换过程，使热释电探测器在近红外范围内的响应速度相较传统器件提高了2-4个数量级。

研究人员还在热释电探测领域创新性地引入了时间分辨率的概念，它代表了探测器分辨相邻多个快速移动目标的能力。

此外，非匀质的等离激元结构克服了规则等离激元结构的窄带响应限制，实现了从可见光到近红外范围内的宽带响应，这使得热释电探测器原本的优势得以保留。

这项研究为开发具有超快和宽带响应的下一代红外热释电探测器提供了一种有潜力的方法。（来源：中国光学微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41377-024-01572-5

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等事宜，请与我们接洽。
作者：李孝峰等 来源：《光：科学与应用》

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