
超高选择比片上红外圆偏振光电探测器

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/24384.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！

超高选择比片上红外圆偏振光电探测器。

近日，中国科学院上海技术物理研究所周靖、胡伟达、陈效双和陆卫研究员团队在Light: Science Applications上发表了题为Configurable circular-polarization-dependent optoelectronic silent state for ultrahigh light ellipticity discrimination的原创研究。布勇浩、任显松、周靖和张振汉为本文的共同第一作者，周靖、胡伟达和陈效双研究员为本文的共同通讯作者。

研究团队提出了偏振相关的光电静默态的概念，设计并展示了一种单片集成的等离激元手性结构的红外圆偏振探测器，最终在近红外波段实验获得了接近无穷大的圆偏振消光比（CPER），和对光椭圆率（light ellipticity）变化的超高灵敏感知。超紧凑的尺寸和优越的性能有力地证明了光电静默态增强的片上圆偏振探测器是对普通集成式圆偏振探测器的一种很有前途的升级，显示出取代传统圆偏振探测器的巨大潜力。

偏振作为光的主要特征之一，几乎对所有与光相关的科学和技术都具有重要的意义。除了线偏振探测，圆偏振探测对于手性分子区分、视觉去雾、磁场感应、量子通信和密码学等众多关键领域具有不可替代的重要作用。传统的圆偏振探测依赖于包含偏振器和波片的外部光学系统，这毫无疑问增加了圆偏振光探测器的复杂性和空间尺寸。近年来，在器件小型化、集成化的发展趋势下，人们开展了许多将等离激元手性结构与光电检测材料直接集成以实现紧凑的圆偏振光探测器的研究。集成的等离激元手性结构不仅赋予了探测器圆偏振鉴别能力，而且通过增强局域光场提升了探测材料的吸收率。然而，这类器件最大的问题是圆偏振辨别能力不足。例如，CPER通常低于5。相比之下，传统的圆偏振器的CPER通常在1000以上。CPER通常的定义为器件在两个正交的圆偏振态照射下的光响应率比值。该类器件圆偏振辨别能力不足的关键问题是对于应当屏蔽的偏振态的光响应无法有效抑制。

本文提出了光电静默态的概念来解决集成式圆偏振探测器的圆偏振辨别能力不足的问题。作者设计并实现了光电静默态增强的片上红外圆偏振探测器，其可以被认为是两个普通集成式红外圆偏振探测器的组合。这两个普通集成式红外圆偏振探测器具有手性相反的圆偏振依赖性和相反的光响应极性。这样两个光响应的叠加诱导出了在某一个特定偏振状态下光电流为零且噪声被显著抑制的光电静默态。

图1展示了该集成式探测器的结构和优势。在Au-Al₂O₃衬底结构表面制备了源、漏电极区域，且两区域之间保持一定的沟道宽度，沟道材料是MoS₂。源、漏电极与MoS₂接触产生的两个方向相反的肖特基结提供了自驱动且方向相反的光响应。在近红外波段，由于光子能量小于MoS₂的带隙，MoS₂已经无法吸收，因此MoS₂-Au结处的自驱动光电流归因于等离激元共振诱导的热电子注入。在源、漏电极区域分别集成了对左旋光和对右旋光共振增强的Z形等离激元手性结构。Z

形结构不仅提升了肖特基结的光响应率，而且由于其对圆偏振光的选择性吸收，使得探测器的源、漏两电极区域的自驱动光响应出现了圆偏振相关的依赖性：源极对于左旋光的响应强于右旋光，而漏极对右旋光的响应强于左旋光。

通过改变入射光功率在源、漏两电极位置的分配，使得两个肖特基结在某个特定偏振态激发下产生大小相等、方向相反的光电流，在宏观上实现了有光照的情况下无光电流输出的光电静默态。当光电静默态出现在器件需要屏蔽的圆偏振态时，CPER趋于无穷。当光电静默态出现在偏振手性转变点（例如，水平或垂直偏振）时，器件能够对光椭圆率变化进行超高灵敏感知。

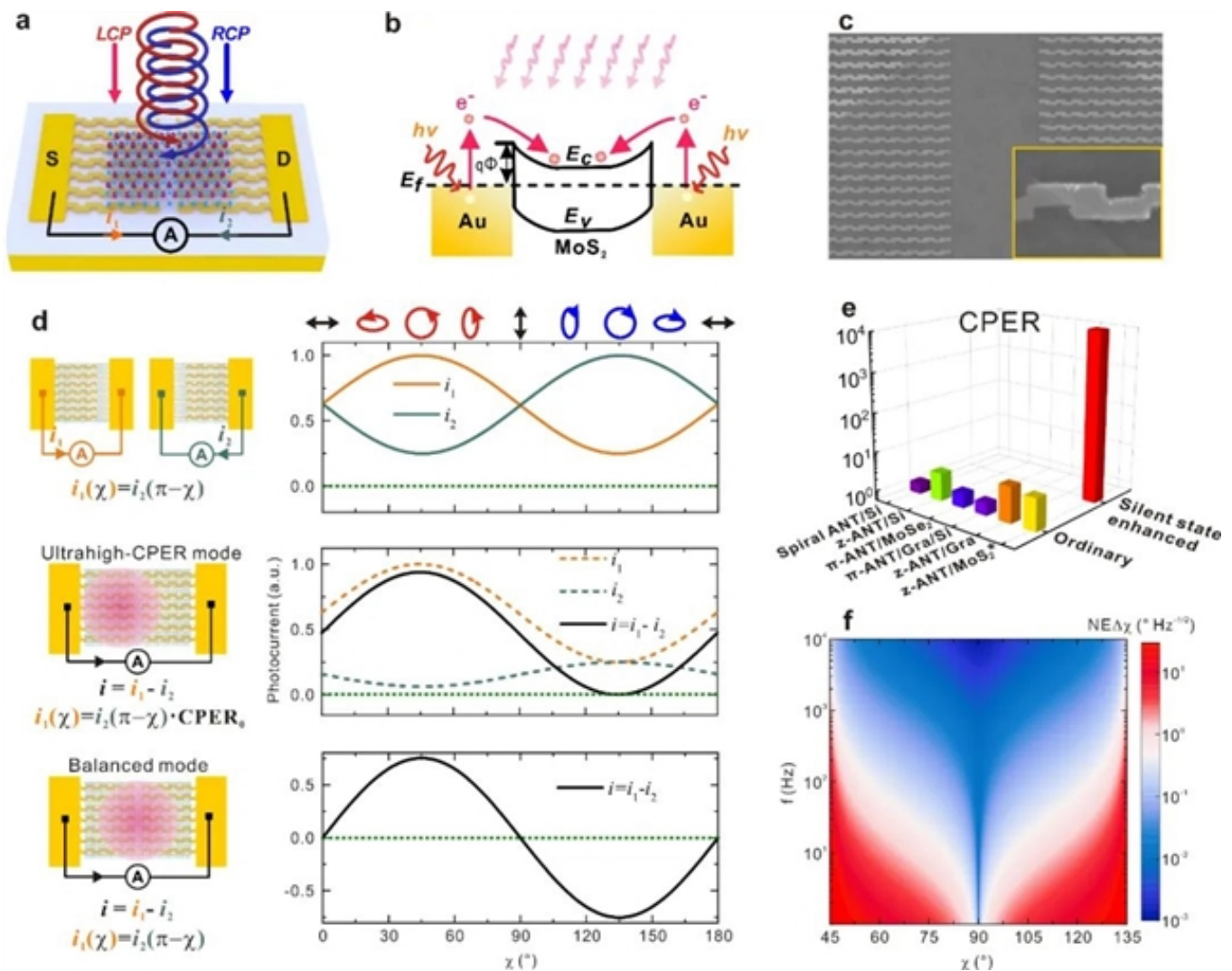


图1. 光电静默态增强的片上红外圆偏振探测器的结构和工作原理。(a) 器件结构示意图。(b) Au-MoS₂-Au结构的能带示意图。(c) 器件的SEM图。(d) 第一行：两个普通集成式红外圆偏振探测器（具有手性相反的圆偏振依赖性和相反的光响应极性）示意图及其随光椭圆率角变化的响应曲线；第二行：光电静默态增强的片上红外圆偏振探测器超高CPER模式示意图及其随光椭圆率角变化的响应曲线；第三行：光电静默态增强的片上红外圆偏振探测器平衡模式的示意图及其随光椭圆率角变化的响应曲线。(e) 普通集成式圆偏振探测器与光电静默态增强的集成式圆偏振探测器的 CPER 比较；(f) 噪声等效光椭圆率变化角度（NEΔχ (χ, f)）的理论分析结果。

图2展示了探测器的偏振光电性能。基于光电静默态的集成式圆偏振探测器表现出了超高的圆偏振辨别能力。由于实际的测试设备输出信号幅值不会是绝对的0，其下限是噪声（noise），因此作者重新定义了CPER，即器件所探测的主偏振态的光响应与器件在被需要屏蔽的偏振态激励时的噪声的比值，而非传统定义中的两个光响应比值。由于噪声与频率相关，新定义的CPER不仅被入射光的波长影响，而且是入射光调制频率的函数。在调制频率超过1 kHz时，展现出的CPER值超过了104。当器件工作在平衡模式下，光电静默态被设定在水平和垂直线偏振态的位置，表现出对光椭圆率变化的超高灵敏度。其噪声等效光椭圆率变化角度低至 $0.009^\circ \cdot \text{Hz}^{-1/2}$ 。值得注意的是，工作在平衡模式下的器件同时表现出了优秀的抗共模噪声能力，对于非目标波段的杂光具有明显的屏蔽能力。

单像素成像结果有力地展示了该器件在圆偏振光电探测领域的潜力。在普通模式下，由于器件的CPER较低，无法对右旋光进行完全屏蔽。而超高CPER模式在成像时可以几乎完全屏蔽右旋光携带的信息。平衡模式的成像特点则是能够感知偏振态的手性（左旋正响应，右旋负响应，）而且对于垂直和水平方向上的线偏振光不敏感。

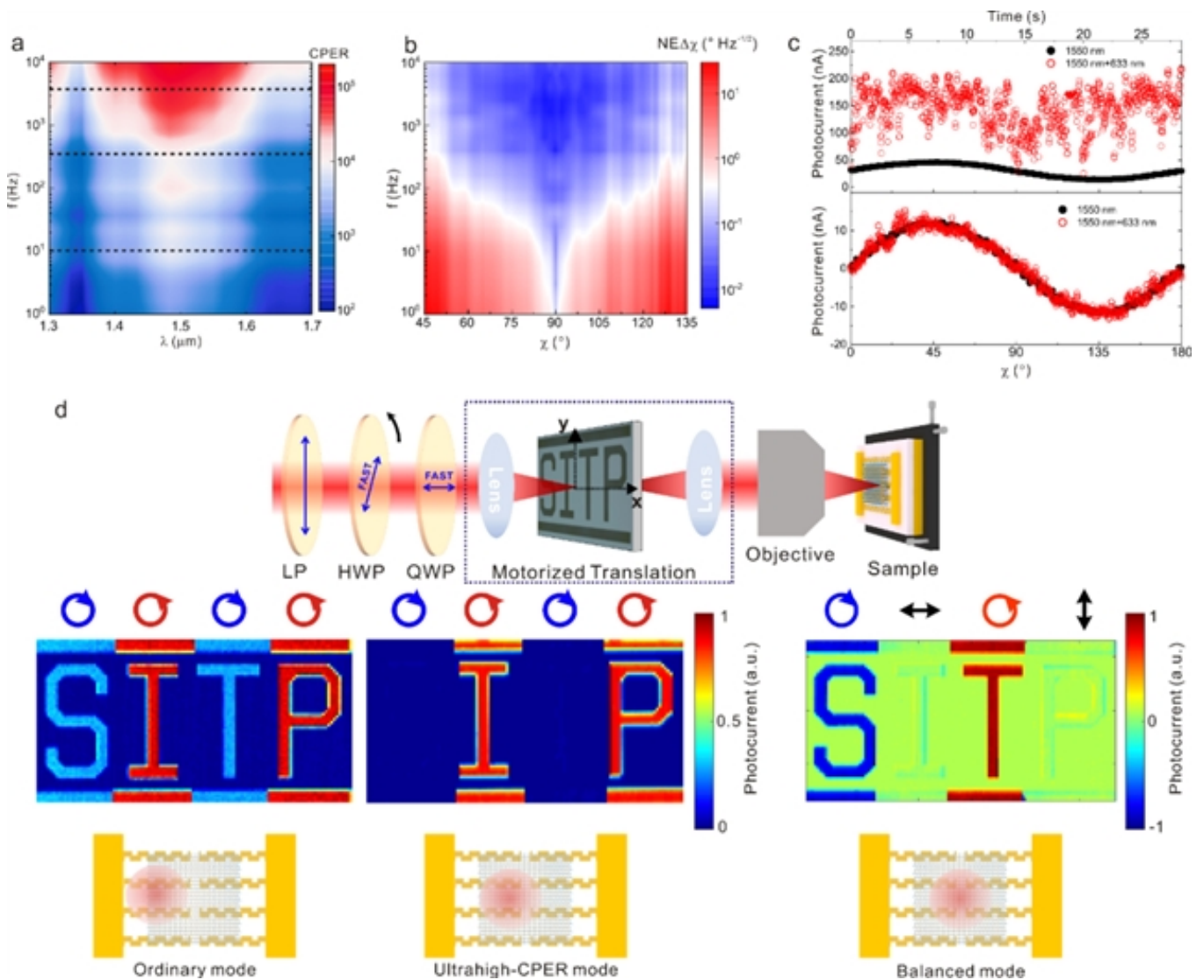


图2. 光电静默态增强的集成圆偏振探测器的实验测试和成像演示。（a）超高CPER模式下，器件的CPER随与射光波长和调制频率的关系；（b）平衡模式下NE $\Delta\chi$ (χ, f)的试验测试结果；（c）

）平衡模式下的抗共模噪声性能；（d）分立圆偏振探测器件、超高CPER模式和平衡模式下的成像演示。

该研究在基于光电静默态增强的片上红外圆偏振探测器中实现了超高CPER以及超高灵敏的光椭圆率变化的感知。低于50 μm 的超紧凑尺寸和优越的性能有力地证明光电静默态增强的片上圆偏振探测器是对普通集成圆偏振检测器的一种很有前途的升级，显示出取代传统圆偏振探测器的巨大潜力。（来源：中国光学微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-023-01193-4>

作者：周靖等 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](https://www.iikx.com)转发