通过平衡正向与负向发光实现无光学特征的热辐射通信

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/41255.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！

通过平衡正向与负向发光实现无光学特征的热辐射通信。 导读

随着社会对信息安全需求的不断提升，隐蔽通信（covert communication）也成为了通信领域的研究焦点之一，隐蔽通信的目的不仅是对通信内容进行保密，更是要隐藏通信这一行为本身。近期，来自新南威尔士大学和莫纳什大学的研究团队提出并通过实验验证了一种全新的中红外无光学特征的通信方案。该方案通过在HgCdTe 光电二极管中平衡正向电致发光和负向发光，实现了时间平均辐射完全等同于黑体背景，且可在兆赫兹（MHz）级别快速传输数据的隐蔽通信方式，为构建安全且无法被探测的光通信技术开辟了新的方向。

该研究成果近日发表于国际顶级学术期刊《Light: Science Applications》，题为Balancing positive and negative luminescence for thermoradiative signatureless communications，新南威尔士大学的Michael P. Nielsen为论文第一作者，Nicholas J. Ekins-Daukes为论文的通讯作者。

研究背景

隐蔽通信技术研究的核心挑战在于让通信信号看起来像不存在。传统光学通信技术通过发射光子进行通信，因此即便信号经过加密，通信行为本身仍可被探测到。近年来，一些研究尝试利用热辐射噪声作为隐蔽信道，通过调控物体的温度或辐射率，使其辐射时间平均后与环境背景一致。然而这些方法普遍依赖慢速物理过程，例如热扩散或热电调制，使数据传输速率受限在100 – 1000 bps的范围内，难以满足高速通信需求。

因此，开发一种能够兼具通信隐蔽性和高数据传输速率的通信技术已成为进一步发展隐蔽通信技术的迫切需求。

创新研究

半导体光电二极管在正向偏置下会发光，辐射强度高于其热平衡辐射水平，而在反向偏置下可产生负发光，即辐射强度低于其热平衡辐射水平。基于这一物理机制，研究团队创新性地提出了通过平衡光电二极管的正负发光来实现中红外波段隐蔽通信。研究团队使用两种HgCdTe中红外光电二极管，通过调节正反偏置电压，使正向发光和负向发光的瞬时发光量在幅值上几乎对称，从而使得器件在快速调制下的时间平均辐射等同于无偏置的热辐射背景。

在此基础上，研究团队成功实现了100kbps的伪随机序列信号的传输，且对应的热像仪图像无法分辨任何亮度变化，展示出了该通信方案极高的隐蔽性。此外，研究团队对器件的频率响应进行了测量，结果表明其-3 dB带宽达到了5-7
MHz，远超所有已报道的基于热辐射调制的隐蔽通信技术（一般低于1kHz）。

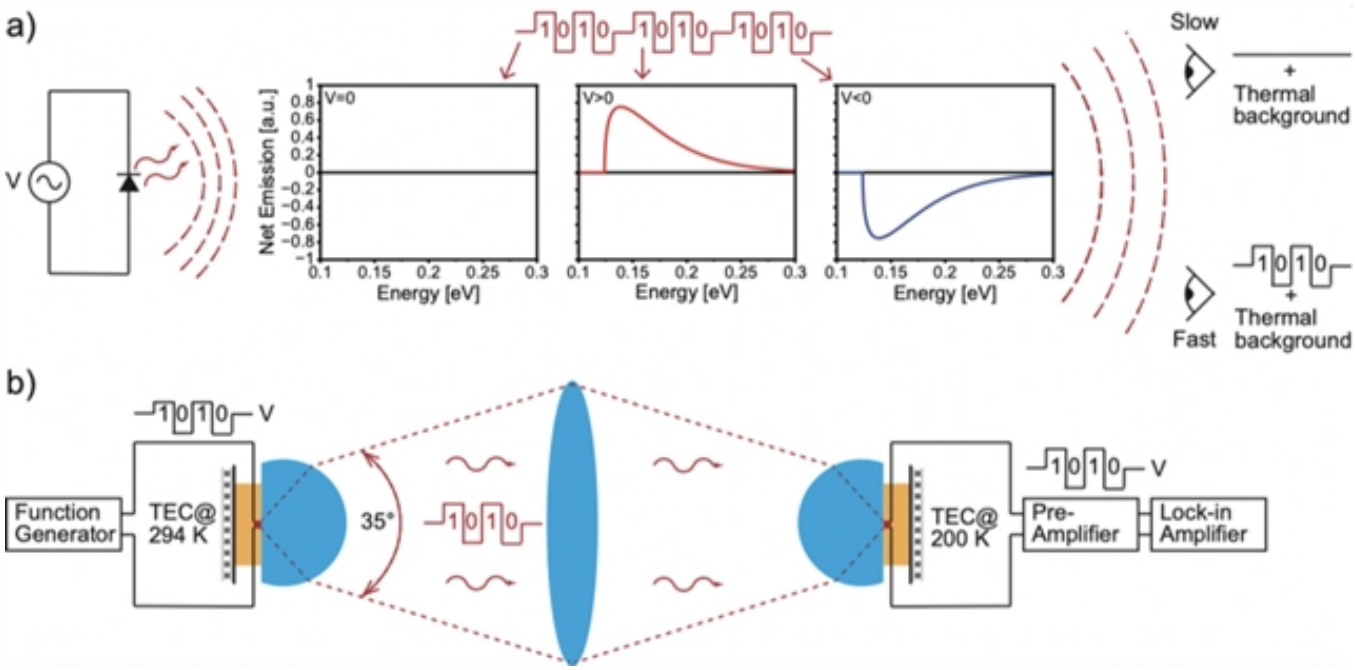


图1：(a) 热辐射无特征通信的概念图。对中红外发射器（本例中为光电二极管）施加快速调制的电压偏置，会产生一个信号，该信号要么比热背景更亮（二进制1），要么比热背景更暗（二进制0）。只有能够足够快地分辨出该信号的观察者才能将其与背景区分开来。图中显示了在无偏置 (V=0)、正向偏置 (V>0) 和负向偏置 (V<0) 下，带隙为 0.124 eV
的理想半导体扣除热背景后的净光子发射量。(b) 实验装置示意图。将温度为294
K的中红外光电二极管在正向和反向偏置下的发射光成像到温度为 200 K
的光电二极管上并进行记录。

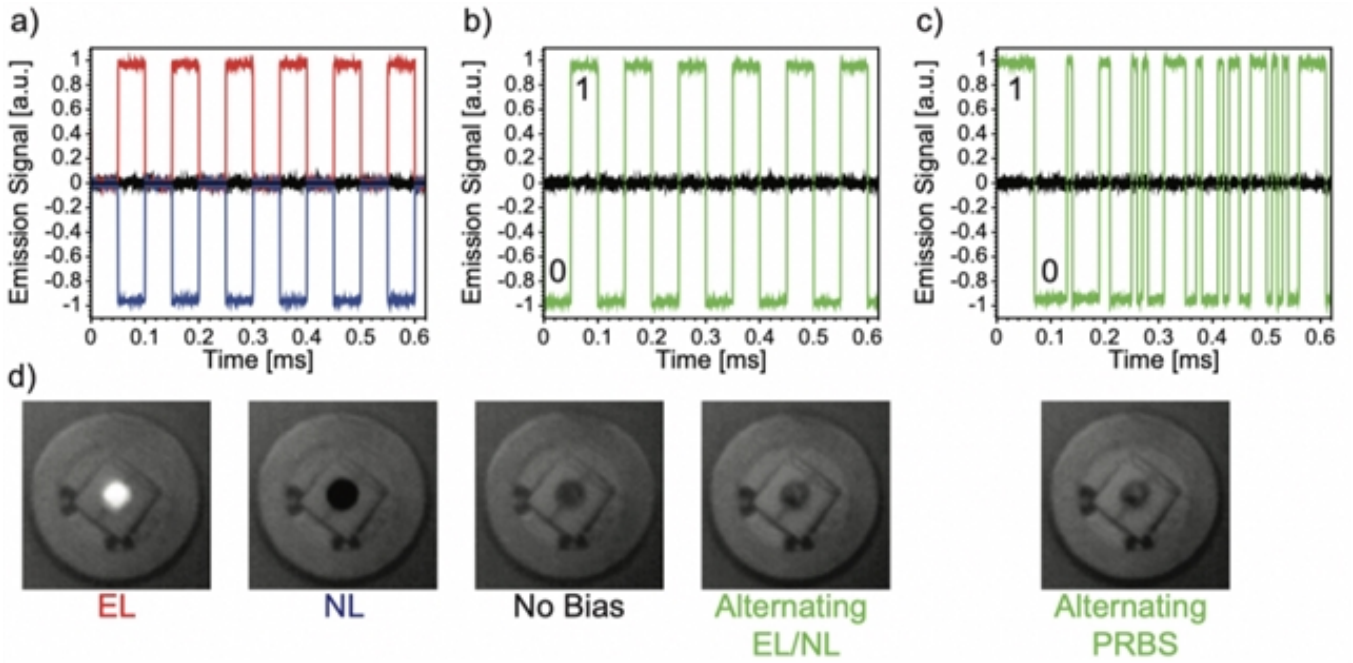


图2：PVI-6光电二极管在以下偏置条件下的检测发射信号：(a) 10kHz频率下，50%占空比，正向偏置电压28 mV（红色），与反向偏置电压-81 mV（蓝色）对比；(b) 10kHz频率下，50%占空比，交替偏置电压（28 mV vs -81 mV），无时间平均热信号；(c) 100 kbps伪随机比特序列，无时间平均热信号。背景扣除后的信号响应以黑色显示。(d) 使用FLIR X6540sc热像仪拍摄的相应热像仪图像，积分时间为3.4 ms（覆盖4.9-5.5 μm光谱范围）。

总结展望

这项研究利用热辐射二极管中正负发光的精确平衡，使通信信号在时间平均层面完全隐藏于热噪声背景之中，并通过实验实现了 100 kbps 数据率与 MHz 级调制速度，且在低带宽探测器上呈现零光学特征，首次证明了基于热辐射的隐蔽通信可以在不牺牲速度的前提下实现真正的不可察觉性。这一成果为未来构建高度安全的光通信系统提供了全新范式，并展示了其在自由空间通信、卫星间通信乃至中红外光纤网络中的广泛潜力。

展望未来，研究指出两条关键的发展路径：其一是通过引入 2D 材料（如黑磷、石墨烯）或其它超快光电材料，将器件的调制带宽从MHz量级推向GHz – THz区间，使隐蔽通信速率更高；其二是利用超表面等纳米光子结构提升发射方向性与多波长复用能力，扩大通信距离并增强安全性。此外，将该技术应用于中红外光纤也可能实现无视距、远距离的地面隐蔽通信，为未来军用、航天与高保密通信场景带来新的可能性。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41377-025-02119-y

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：Nicholas J. Ekins-Daukes 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