
我国团队研制出电驱动石墨烯超快热电子辐射光源

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/26450.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！

我国团队研制出电驱动石墨烯超快热电子辐射光源

。随着大数据和人工智能时代的来临，采用传统的集成电路处理巨量的数据已经越发捉襟见肘。半导体晶体管的发展正在逼近其物理极限，光电子集成芯片技术被公认为后摩尔时代最有潜力的信息技术发展路线之一。其中，微纳尺度的高性能电致发光器件是光电子集成芯片发展和应用的一个关键核心部件。研制具有电驱动、高速直接调制、易于片上集成等优异特性的微纳光源一直以来都是光电信息技术领域的重要前沿。

石墨烯具有超高的室温载流子迁移率和优异的光电性能，并且可以通过二维材料特有的范德华界面和硅基半导体实现异质集成和光电融合，是一种非常有潜力的下一代光电子芯片材料。目前，基于石墨烯的光电探测器速度高达500 GHz，石墨烯电光调制器的速度也超过了60 GHz。然而，在发光器件方面，由于本征石墨烯的带隙为零，无法像传统发光二极管半导体一样通过载流子带间复合发光，导致其辐射发光效率极低，从而极大地限制了石墨烯在高性能光电子集成芯片领域的应用突破。

面对这一挑战，由国防科技大学牵头的国际合作科研团队创造性地利用经典的焦耳热效应和黑体辐射原理，实现了石墨烯在电驱动下的高效、超快发光，研制出了目前国际上综合性能最优的石墨烯热电子辐射光源，其等效电子温度达到2800 K，发光波长覆盖红外波段和可见光波段，辐射效率传统石墨烯器件高出2个数量级，直接电学调制速率超过1 GHz，有望为高速片上光互连和超快电-热-光调制技术奠定器件基础。

为了克服传统衬底支撑器件等效温度低、辐射发光效率低，以及悬浮器件制备成品率低、稳定性差的缺点，研究团队发明了一种范德华直接集成技术，利用六方氮化硼（hBN，一种二维绝缘体）吸附石墨烯并将其精准转移到预制电极上，从而构筑悬浮石墨烯电致发光器件。这种方法简单有效，无需传统工艺中复杂的超临界点干燥过程，大大提高了悬浮石墨烯器件的样品质量和成品率，并且可以拓展到大规模阵列的可控制备。悬浮石墨烯器件在偏置电流的作用下，产生焦耳热，由于去除了衬底的散热通道，石墨烯中的热量迅速累积，温度迅速升高。在偏压小于5 V的情况下，悬浮石墨烯器件可以发出肉眼可见的明亮光。通过控制偏压，可以将石墨烯辐射发光光谱调控至可见光到红外波段，其中包含了重要的光通信1550 nm近红外波段。在此基础上，还可以通过设计和制造光学微腔来对石墨烯的发光光谱进行按需调控和增强，展现了波分复用的潜力。

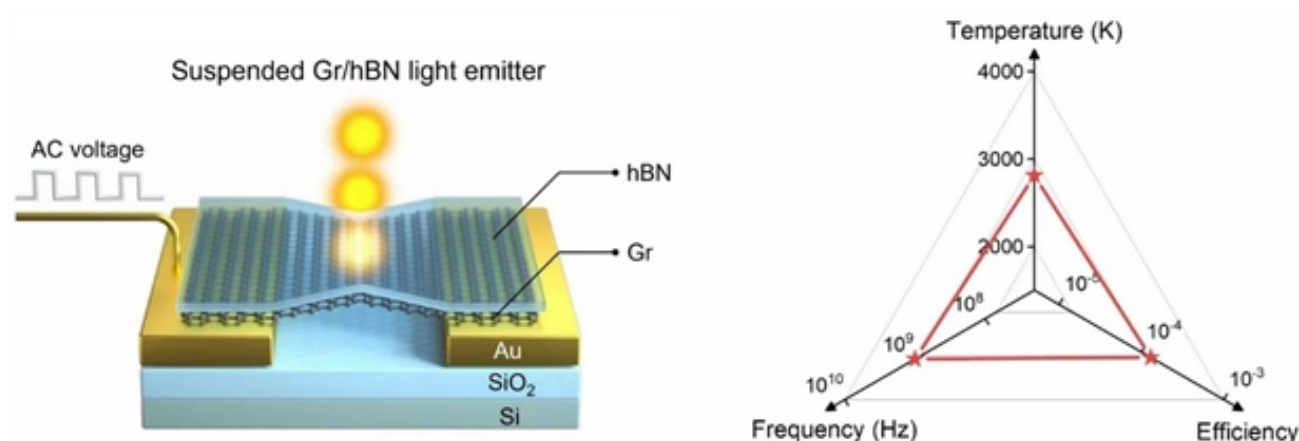


图 电驱动石墨烯超快热电子辐射光源

研究还细致深入地研究了悬浮石墨烯热电子发光的时间特性。在传统的认识中，物体的热辐射过程通常较慢，典型的例子包括关掉电源后白炽灯依然发烫，开水需要放置一段时间才能变凉，等等。这主要是因为物体的加热和冷却过程由其热容决定，热容越大，则加热和冷却越慢，而宏观三维物体的热容一般较大。石墨烯只有单层碳原子厚度，相当于头发丝的三十万分之一，是目前所有已知材料中热容最小的。这也就意味着基于焦耳热效应的石墨烯热电子辐射速度将远高于传统三维金属或者半导体。为了准确测量石墨烯器件的发光时间，研究团队搭建了一套时间相关单光子计数系统（TCSPC）。测试结果表明，在方波交流电压的驱动下，悬浮石墨烯器件的最短辐射脉冲宽度仅为不到1 ns（1 ns = 10⁻⁹ s），对应1 GHz以上的超高电学调制频率，比传统的微纳金属和半导体高出4~5个数量级，是目前最快的电-热-光调制器件。

研究进一步发现，在偏置电流的加热下，悬浮石墨烯中的电子温度显著高于其声学支声子温度。在偏压为8V时，电子温度可高达2800 K，而声学支声子温度为900 K，即石墨烯中的电子很热，而声子相对较冷。这一结果表明，在电场作用下悬浮石墨烯中电子和声子的能量处于非平衡状态。这时，器件的辐射发光光谱不能用基本的黑体辐射定律描述，必须要考虑电-声耦合的时空演化规律。在之前的文献报道中，研究人员只有在飞秒激光激发的石墨烯中观察到过这一现象，而在电学驱动的器件中观察到非平衡态热电子辐射的确凿证据尚是首次。这一独特的辐射发光机理也为进一步将石墨烯器件的发光速度提升至100 GHz以上提供了全新的思路。

近期，上述成果以《电驱动悬浮石墨烯/六方氮化硼异质结中的超快非平衡热电子发光》Electrical ly-driven ultrafast out-of-equilibrium light emission from hot electrons in suspended graphene/hBN heterostructures为题在线发表于国际著名期刊《极端制造》（International Journal of Extreme Manufacturing, IJEM）上，论文共同通讯作者为国防科技大学前沿交叉学科学院朱梦剑副研究员、罗芳副研究员和秦石乔教授，第一作者为国防科技大学前沿交叉学科学院硕士研究生刘强，主要合作者还包括国防科技大学朱志宏教授、徐威副教授，山西大学秦成兵教授、李小茜博士和张桐耀博士，以及2010年诺贝尔物理学奖得主，新加坡国立大学Kostya S. Novoselov教授等。

该研究工作得到了国家自然科学基金和湖南省湖湘青年英才项目的资助。

相关论文信息

Liu Q, Xu W, Li X X, Zhang T Y, Qin C B, Luo F, Zhu Z H, Qin S Q, Zhu M J, Novoselov K S. 2024.

Electrically-driven ultrafast out-of-equilibrium light emission from hot electrons in suspended graphene/hBN heterostructures. Int. J. Extrem. Manuf. 6 015501.

<https://doi.org/10.1088/2631-7990/acfb2>

International Journal of Extreme Manufacturing (中文《极端制造》), 简称IJEM。由中国工程物理研究院主管, 中国工程物理研究院机械制造工艺研究所(第一主办单位)、大连理工大学、复旦大学等单位共同主办, 入选2018年中国科技期刊国际影响力提升计划。期刊致力于发表极端制造领域相关的高质量最新研究成果。自2019年创刊至今, 期刊陆续被SCIE、EI、Scopus等20余个国际数据库收录。2023年JCR最新影响因子14.7, 位列工程/制造学科领域第一。中国科学院分区工程技术1区。

期刊网址: <https://iopscience.iop.org/journal/2631-7990>

联系我们: office@ijem.org

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: 朱梦剑等 来源: 《极端制造(英文)》

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