

面向自驱动物联网应用的新型硫化锑室内光伏技术

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/31895.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！

面向自驱动物联网应用的新型硫化锑室内光伏技术。 导读

近日，合肥工业大学电气与自动化工程学院周儒课题组联合牛津大学Robert Hoyer和中国科学技术大学陈洁洁课题组，在面向自驱动物联网应用的新型室内光伏技术研究方面取得新进展。该团队基于环境友好型硫化锑（ Sb_2S_3 ）半导体光吸收材料开发高效平面异质结薄膜太阳能电池，在一个太阳（AM1.5G， 100 mW cm^{-2} ）辐照下的光电转换效率为7.22%，在1000 lux WLED辐照下的室内光伏效率为17.55%；并进一步构建 Sb_2S_3 室内光伏电池模组，成功实现为低功耗物联网传感器供能。该工作展示出 Sb_2S_3 光伏器件应用于室内环境能量收集的广阔前景。

该工作以Additive engineering for Sb_2S_3 indoor photovoltaics with efficiency exceeding 17%为题，发表于国际顶级光学期刊《Light: Science Applications》。

研究背景

物联网技术的快速发展带来各类智能终端市场呈指数级增长。此类终端节点通常设计为循环运行且功耗较低（微瓦到毫瓦量级），可持续能源供给是物联网技术成功实施的重要保障。目前，自主物联网终端节点主要利用储能电池供电。然而，使用储能电池寿命有限，严重制约数据传输距离和频率；且应用范围也仅限于允许更换电池的场景。当物联网生态系统发展到终端数量达万亿设备的水平时，每天将需要更换或充电数亿块电池，从而产生大量的运营和维护成本。室内光伏（Indoor photovoltaics, IPVs）从环境照明（人工光源或日光）中收集能量，可为基于低功耗蓝牙、RFID标签、LoRa、无源Wi-Fi、Zigbee、ANT等通信协议的无线物联网节点提供可持续电力供给。室内照明无处不在，室内光伏依赖于辐射能量传输，使其部署范围广。此外，与其他环境能量收集技术相比，室内光伏可提供相对较高的能量密度。因此，发展先进室内光伏技术对于可持续物联网应用具有重要意义。

室内光源（如WLED和荧光灯）的发射光谱范围为400~700 nm，这决定了室内光吸收材料的最佳带隙为1.80~2.00

eV。在室外光伏市场占据主导地位的晶体硅（c-Si），由于其带隙太窄（~1.12 eV），不太适合用于室内能量收集。目前，室内光伏的商业解决方案是氢化非晶硅（a-Si:H）电池，然而，标准商用a-Si:H模组的光电转换效率通常仅在4.4%至9.2%之间，亟需探索新型高效室内光伏材料体系。 Sb_2S_3 是一种储量丰富、低毒性、理化性质稳定的半导体材料，其带隙约为1.75 eV，十分接近室内光伏应用的最佳带隙值。根据理论计算，在1000勒克斯WLED照明下，光谱限制极限效率高达约47%。然而，截至目前， Sb_2S_3 太阳能电池性能仍然远远落后于理论效率，有待进一步优化提升； Sb_2S_3 器件的室内光伏应用也亟需深入探索。

创新研究

1. 基于添加剂工程策略提升器件光伏性能

研究人员基于添加剂工程策略开发制备高性能平面异质结Sb₂S₃薄膜太阳能电池，如图1所示。添加剂工程是一种调控溶液法沉积半导体薄膜性质的有效策略。研究发现：通过在水热沉积Sb₂S₃薄膜的前驱体溶液中加入适量单乙醇胺（MEA）络合剂，能够有效调控薄膜成核和生长，沉积制备高质量Sb₂S₃吸收层薄膜，使晶界密度有效降低、能带排列获得优化、载流子浓度得到增加。结合第一性原理计算，揭示：MEA独特的分子桥接作用促进了Sb₂S₃在衬底上的非均相成核，使薄膜晶粒尺寸增大、沉积速率加快。在此基础上，构筑了平面异质结Sb₂S₃太阳能电池，器件结构为FTO/SnO₂/CdS/Sb₂S₃/Spiro-OMeTAD/Au。得益于器件内部载流子复合受到抑制、载流子输运增强，基于MEA调控制备获得的Sb₂S₃太阳能电池在一个太阳辐照下的光电转换效率达7.22%，比对照组器件效率提高约16%。且器件性能表现出良好的重复性和稳定性。

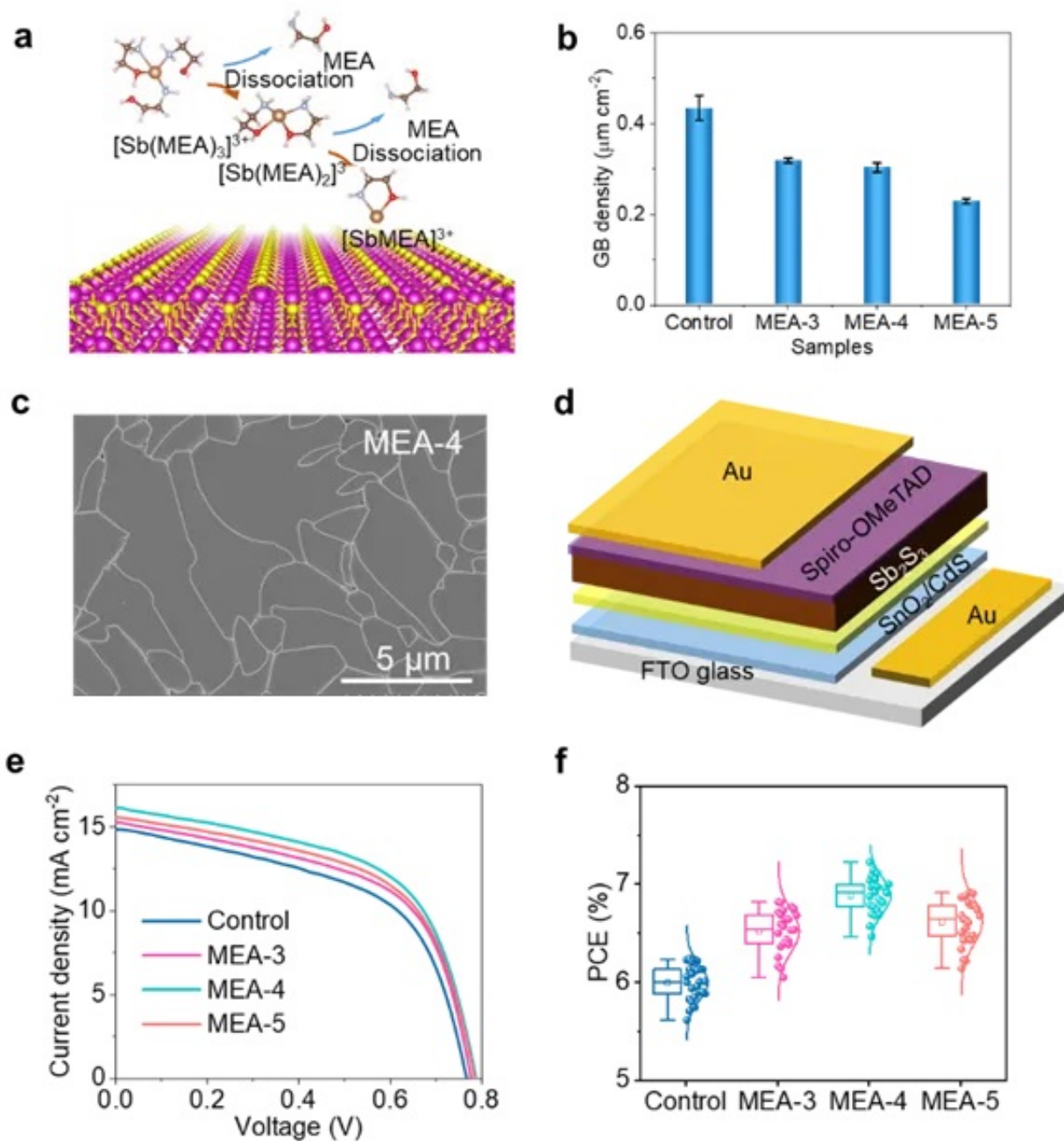


图1. Sb₂S₃薄膜性质与光伏器件性能。(a) MEA调控Sb₂S₃薄膜生长机理；(b) 不同MEA添加量沉积Sb₂S₃薄膜的晶界密度；(c) 溶液沉积Sb₂S₃薄膜表面SEM图片；(d) 平面异质结Sb₂S₃太阳能电池器件结构；(e) 1个太阳（AM1.5G, 100 mW cm⁻²）光照下Sb₂S₃太阳能电池的J-V曲线；(f) Sb₂S₃太阳能电池器件效率统计图。

2. 室内光伏性能与物联网应用探索

在获得Sb₂S₃太阳能电池性能提升的基础上，研究人员进一步研究了器件在常见室内光源辐照下的光伏性能。正如预期，Sb₂S₃太阳能电池在低照度室内光照下表现出优异的室内光伏性能，如图2所示。其中，在照度为1000 lux、500 lux和200 lux的WLED辐照下，器件效率分别为17.55%、17.17%和16.41%。与受到广泛研究的Ag-Bi-I、BiOI、空位有序钙钛矿等新兴室内光伏材料相比，该研究中Sb₂S₃太阳能电池超过17%的室内光伏效率是该领域的重要进展。进一步，研究人员首次

将高效Sb₂S₃太阳能电池应用于自驱动物联网。所制备面积为1 cm²的Sb₂S₃太阳能电池在照度为1000 lux的WLED辐照下的器件效率为15.77%。通过将5个子电池进行串联获得Sb₂S₃小型模组（5 × 1 cm²），该模组在照度为1000 lux的WLED辐照下的器件效率为12.82%，最大功率点的输出功率为187.17 μW。与商用氢化非晶硅室内光伏产品相比，该Sb₂S₃小型模块在光电转换效率和输出功率方面都表现出竞争优势。在日常办公室WLED照明条件下（~726 lux），利用该模组将室内环境光能转换为电能，成功驱动多传感器平台（RSL10-SOLARSENS-GEVK）稳定工作。传感器通过低功耗蓝牙与手机通信，实现实时监测和收集环境数据。研究表明Sb₂S₃模组能够在室内光照下连续稳定地驱动低功耗物联网电子设备。

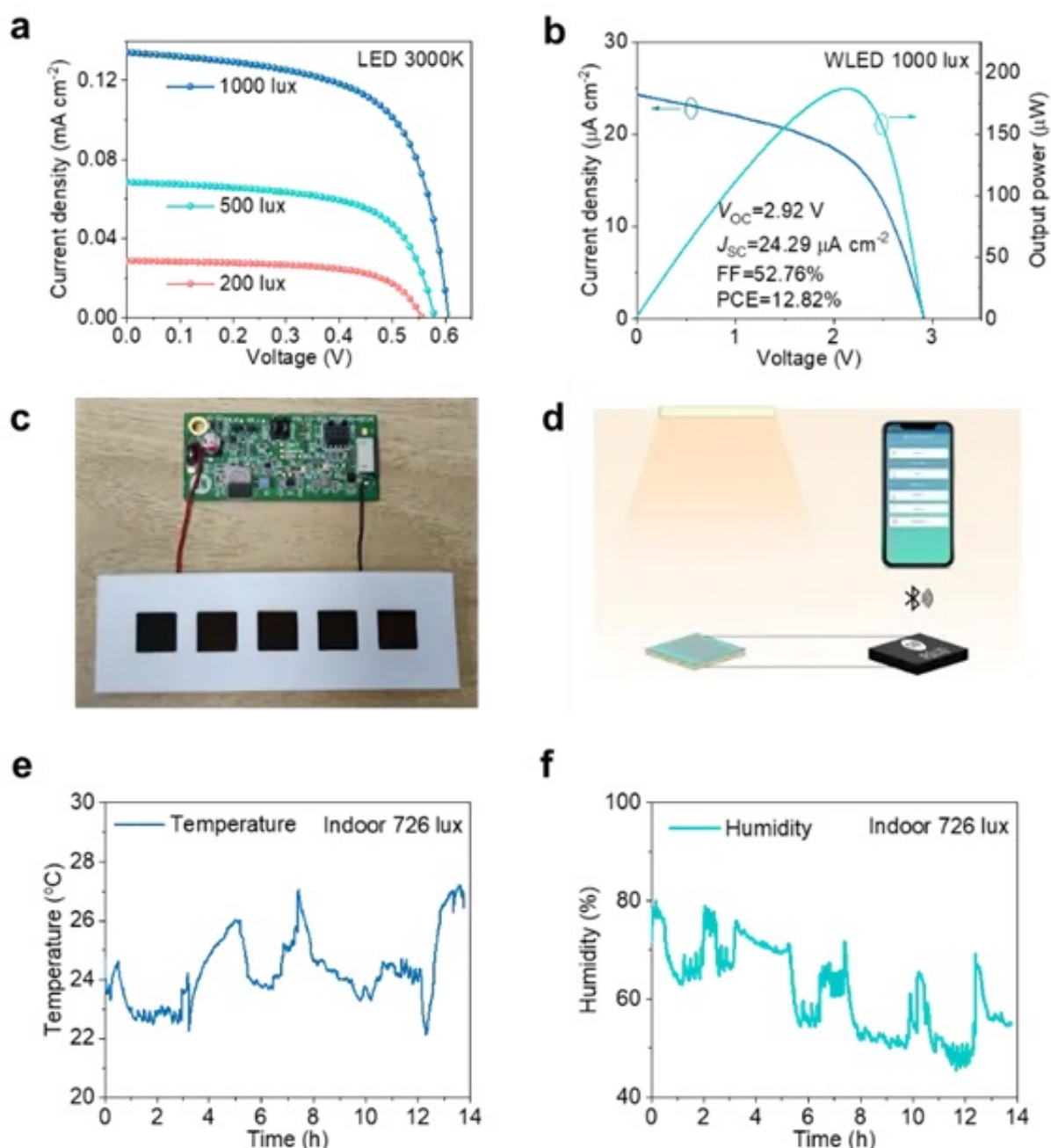


图2. Sb₂S₃室内光伏性能与物联网应用演示。(a) 室内WLED辐照下Sb₂S₃太阳能电池的J-V曲线；(b) 1000 lux辐照下Sb₂S₃小型模组的J-V曲线(5 × 1 cm²)；(c) 物联网传感器平台与Sb₂S₃模组的连接示意图；(d) 室内光伏驱动传感器工作原理图；(e, f) 日常办公室照明条件下室内光伏驱动传感器实现温度和湿度等环境参数长时监测。

总结与展望

室内光伏作为一种面向物联网应用的可持续环境能量采集解决方案受到越来越多的关注。Sb₂S₃是一种很有前途的环境友好型室内光伏候选材料。该工作开发了一种添加剂工程策略实现Sb₂S₃薄膜性质的有效调控，对于添加剂在薄膜成核与生长过程中所起多功能作用的深入探讨也可拓展至其他半导体材料体系。在此基础上，制备获得高效平面异质结Sb₂S₃太阳能电池，器件表现出优异的室内光伏性能。进一步构建Sb₂S₃电池模组，首次成功报道Sb₂S₃室内光伏在自驱动物联网方面的应用。该工作不仅为进一步提升Sb₂S₃太阳能电池光伏性能给出有益参考，同时也为面向物联网应用的环境能量采集提供了有效解决方案，有望推动新型室内光伏技术的快速发展。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-024-01620-0>

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：周儒等 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