中国科学: 化学 2026 年 第 56 卷 第 8 期: 2701 ~ 2702
SCIENTIA SINICA Chimica chemcn.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS

亮点介绍

效率超15%的柔性大面积有机光伏模组

占肖卫*

北京大学材料科学与工程学院, 北京 100871
*通讯作者, E-mail: xwzhan@pku.edu.cn

收稿日期: 2026-04-16; 接受日期: 2026-04-23; 网络版发表日期: 2026-06-03

有机太阳能电池因其轻质、柔韧、可溶液加工等优势, 在可穿戴电子、便携能源和物联网等领域展现出广阔的应用前景. 近年来, 随着非富勒烯受体材料的发展[1,2], 小面积有机光伏器件的能量转换效率已突破21%, 为迈向实际应用奠定了坚实基础, 但柔性大面积有机光伏模组的效率仍有待于进一步提升.

柔性透明电极是实现高性能柔性有机光伏模组的关键组成, 银纳米线(AgNWs)电极因其优异的光电性能和机械柔性而受到广泛关注. 通过将AgNWs嵌入聚乙烯醇(AgNWs-em-*c*PVA)中, 大幅提升柔性透明电极的表面平整性, 有效抑制器件短路或漏电[3]. 然而, AgNWs本身为中空结构、非连续, 中空的非导电区域会阻碍电荷的有效收集. 以往研究依赖紫外光照射来提升电子传输层的电导率, 从而"桥接"这些非导电区域, 提升中空区域的电子收集. 但紫外光恰恰是导致器件效率衰减的主要因素之一, 在实际应用中通常需要将其滤除[4]. 因此, 如何在无紫外光条件下实现高效电荷收集, 成为柔性大面积有机光伏模组亟待解决的关键问题.

针对上述挑战, 华中科技大学周印华教授团队[5]通过引入非晶态铟锡氧化物(a-ITO)超薄层, 解决AgNWs电极中空区域的不导电问题, 实现效率高达15.77%的大面积柔性有机光伏模组. 该团队在AgNWs-em-*c*PVA电极表面沉积了一层厚度仅为2.5 nm的a-ITO薄膜(图1a). 该超薄a-ITO层通过反应性等离子体沉积技术制备, 无需高温退火, 避免了传统晶态ITO的脆性问题. a-ITO降低了AgNWs-em-*c*PVA电极表面方块电阻(图1b), 这一现象也通过导电原子力显微镜观察到(图1c). 沉积2.5 nm a-ITO后, 电极表面呈现出均匀的导电颗粒, 最大局部电流提升至2.05 nA (未沉积a-ITO的AgNWs-em-*c*PVA电极表面最大电流为58.7 pA)[5]. a-ITO填补了AgNWs之间的非导电空隙, 提升了AgNWs-em-*c*PVA电极横向电荷传输能力.

AgNWs-em-*c*PVA/a-ITO电极表面导电性提升, 使得柔性器件摆脱对紫外光的依赖. 基于AgNWs-em-*c*PVA/a-ITO电极制备的柔性小面积器件在无紫外光条件下展现出正常的电流密度-电压(*J*-*V*)特性曲线, 而基于AgNWs-em-*c*PVA制备的柔性器件展现出"S"形(图1d). 该研究团队进一步制备了有效面积达32.5 cm^2的柔性大面积有机光伏模组(图1e), 光电转换效率达到15.77% (图1f), 填充因子达74.6%, 在目前报道的大面积柔性有机光伏模组中处于领先水平. 除此之外, 该柔性模组展现出优异的长期光稳定性, 在100 mW/cm^2 发光二极管(LED)灯光照射下, 经最大功率点追踪1200 h后, 可保持初始最大输出功率的93.4%. 高效率、高稳定性的柔性大面积有机光伏模组将促进有机光伏向产业化迈进.

引用格式: Zhan X. Flexible large-area organic photovoltaic modules with efficiency exceeding 15%. *Sci Sin Chim*, 2026, 56: 2701–2702, doi: 10.1360/SSC-2026-0085

© 2026 《中国科学》杂志社

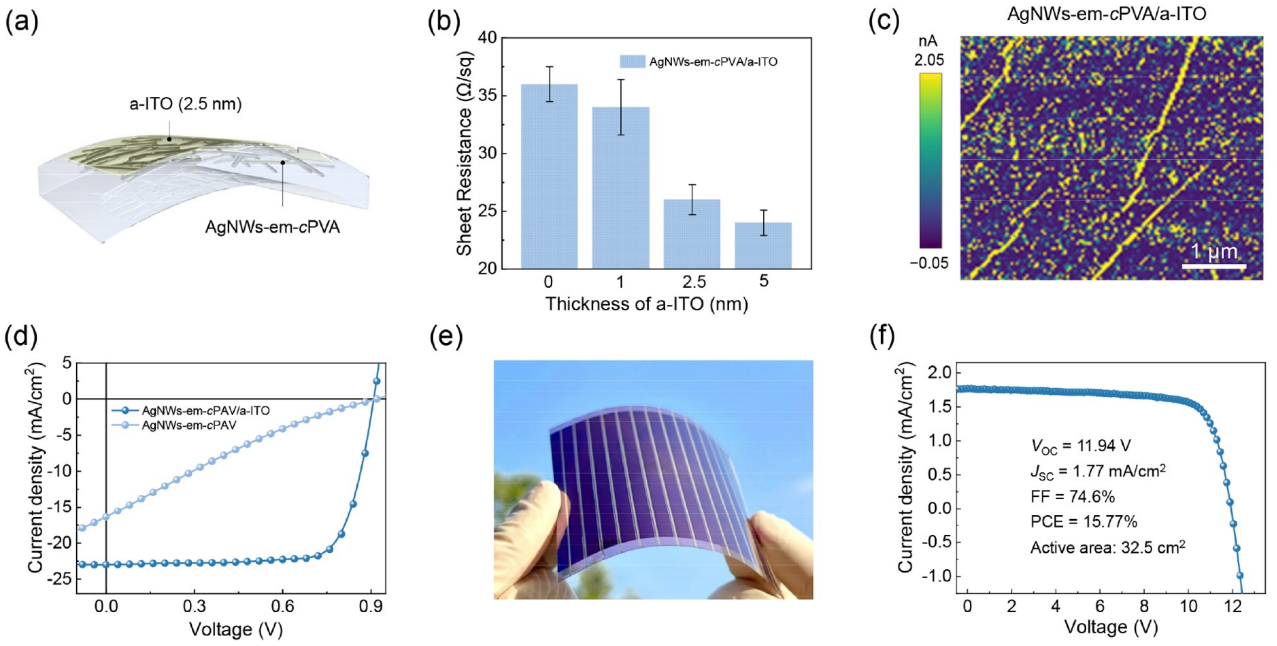


图 1 (网络版彩图) (a) AgNWs-em-*c*PVA/a-ITO电极结构示意图; (b) 覆盖不同厚度a-ITO的AgNWs-em-*c*PVA的表面方阻; (c) AgNWs-em-*c*PVA/a-ITO电极表面的导电原子力显微镜c-AFM)图像; (d) 基于AgNWs-em-*c*PVA/a-ITO和AgNWs-em-*c*PVA电极的柔性器件在无紫外光下(440 nm滤光片)的*J-V*特性曲线; (e) 柔性大面积有机光伏模组的实物照片; (f) 柔性模组的电流密度-电压曲线[5]

Figure 1 (Color online) (a) Schematic illustration of the AgNWs-em-*c*PVA/a-ITO (ITO, indium tin oxide) electrode structure; (b) effect of a-ITO thickness on the sheet resistance of AgNWs-em-*c*PVA electrodes; (c) Conductive atomic force microscopy (c-AFM) image of the AgNWs-em-*c*PVA/a-ITO electrode surface; (d) current density-voltage (*J-V*) characteristics of flexible devices based on AgNWs-em-*c*PVA/a-ITO or pristine AgNWs-em-*c*PVA electrodes measured under ultraviolet-free conditions; (e) picture of a flexible large-area module; (f) *J-V* characteristics of a flexible large-area module [5].

参考文献

1 Lin Y, Wang J, Zhang Z, Bai H, Li Y, Zhu D, Zhan X. *Adv Mater*, 2015, 27: 1170–1174

2 Yuan J, Zhang Y, Zhou L, Zhang G, Yip HL, Lau TK, Lu X, Zhu C, Peng H, Johnson PA, Leclerc M, Cao Y, Ulanski J, Li Y, Zou Y. *Joule*, 2019, 3: 1140–1151

3 Lu X, Xie C, Liu Y, Zheng H, Feng K, Xiong Z, Wei W, Zhou Y. *Nat Energy*, 2024, 9: 793–802

4 Hong J, Katsumata K, Matsushita N. *Acta Mater*, 2016, 103: 844–849

5 Lu X, Liu Y, Liu X, Wang Y, Xiong Z, Tian R, Zhou Y. *Sci China Chem*, 2026, doi: 10.1007/s11426-025-3184-y