科学家发现微纳米结构雾度衬底可提升钙钛矿晶体质量和全天候光伏性能

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/31249.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！

科学家发现微纳米结构雾度衬底可提升钙钛矿晶体质量和全天候光伏性能。
武汉大学物理科学与技术学院方国家教授、柯维俊教授和洛桑联邦理工学院Michael Gr ä tzel教授发现基于微纳米结构有雾度的导电衬底生长的钙钛矿薄膜拥有更优的晶体质量，且基于该衬底制成的钙钛矿太阳能电池可实现更低的广角光反射损失，最终正置结构的钙钛矿电池实现了26.4%的光电转换效率同时全钙钛矿叠层电池实现了超过28%的光电转换效率。

北京时间2025年1月9日，上述研究成果以Suppressing wide-angle light loss and non-radiative recombination for efficient perovskite solar cells为题在线发表于Nature Photonics。

金属卤化物钙钛矿太阳能电池得益于近年来器件结构和材料方面的开发，已快速发展成为光伏技术中的有力竞争者，其光电转换效率已突破26%大关。然而，值得注意的是，多数报道中的效率数据均是在垂直模拟太阳光的条件下测得，未能考虑不同入射角度下可能产生的能量损耗问题。实际上，随着日间阳光入射角度的不断变化，尤其是当入射光线倾斜角度超过40°时，钙钛矿太阳能电池会出现短路电流密度及效率的显著损失的问题，这无疑为钙钛矿电池在大规模实际应用中设置了障碍。因此，如何有效减少钙钛矿电池中的广角光能量损失以及非辐射复合，成为了提升钙钛矿电池全天候光电转换性能的关键所在。

最近，武汉大学物理科学与技术学院方国家教授、柯维俊教授和洛桑联邦理工学院Michael Gr ä tzel教授发现基于高粗糙度（有雾度）的微纳米结构掺杂氟的二氧化锡导电薄膜衬底（NP-FTO）制成的器件相对常用的比较平整的衬底不仅有更低的广角光反射损失，具有全天候抗光反射的特性；而且基于该衬底生长的钙钛矿薄膜拥有更优的晶体质量和更高的载流子迁移率；结合先进的同质结界面调控技术，极大地抑制了钙钛矿电池器件中的光损失和非辐射复合，实现了光伏性能包括开路电压、填充因子、短路电流的全面提升，最终实现了26.4%光电转换效率的正置单节钙钛矿电池。同时该衬底技术具有普适性，基于该衬底制成的全钙钛矿叠层电池实现了超过28%的光电转换效率。该普适的技术也有利于推动其他薄膜光伏电池的发展。

研究亮点

1. 基于NP-FTO衬底制成的器件可实现更低的广角光反射损失

基于NP-FTO制成的器件相对其他较为平整的衬底器件具有更低的广角光损失，具有全天候抗光反射的特性。当160 nm的薄层钙钛矿薄膜沉积在衬底上时，带有保型沉积二氧化锡电子传输层的

粗糙NP-FTO与钙钛矿之间形成交错的结构，整体形成了梯度折射率的光学结构，从而减少光反射损失增大光透过率，使得当沉积大于160
nm厚度的钙钛矿薄膜时可以吸收更多的光，有利于提升钙钛矿电池的短路电流密度。

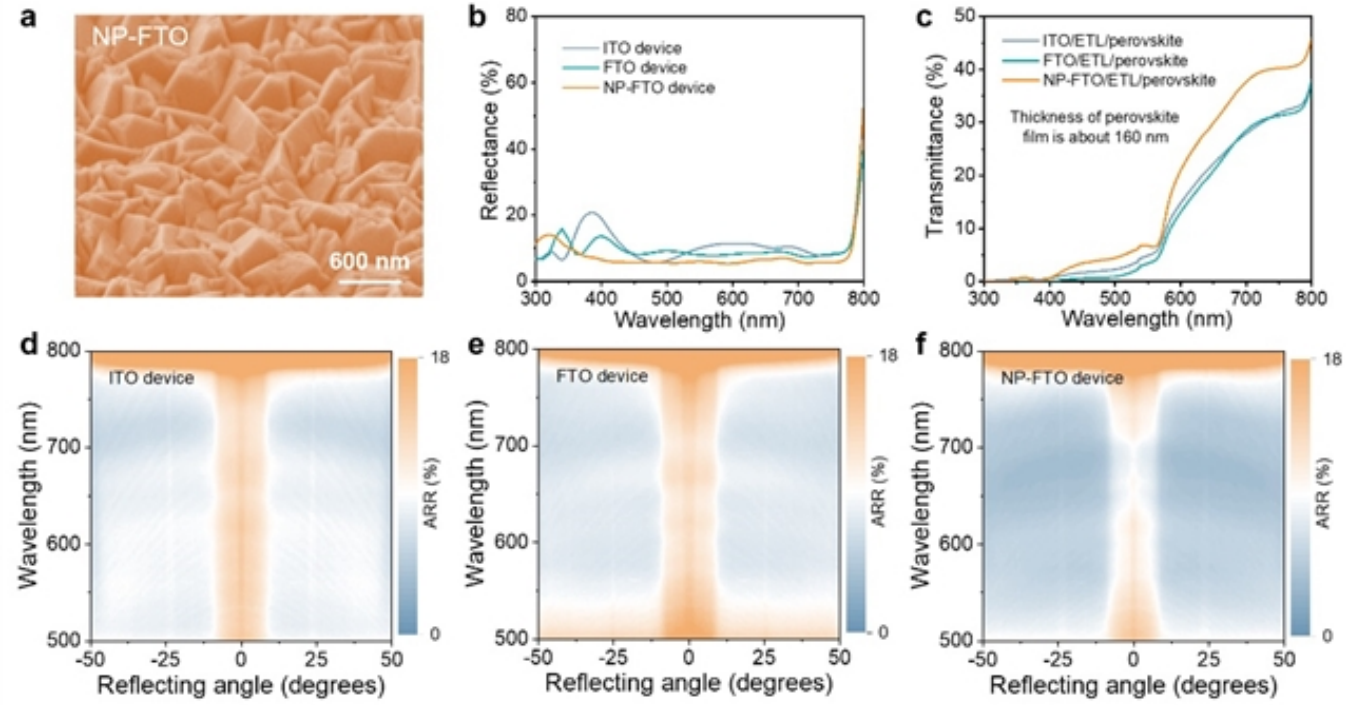


图1 a NP-FTO旋转35 ° 的截面SEM图；b 器件光反射图; c 沉积了160
nm钙钛矿薄膜的衬底透过率；d-f 器件角分辨光反射图。

2. 基于NP-FTO衬底生长的钙钛矿薄膜拥有更优的晶体质量

基于NP-FTO生长的钙钛矿薄膜拥有更优的晶体质量和更高的载流子迁移率，通过在NP-FTO上利用原子沉积技术沉积一层SnO2保型层再旋涂一层SnO2电子传输层形成全SnO2的同质结界面，进一步抑制了界面非辐射复合，使得沉积在NP-
FTO上的钙钛矿薄膜具有更高的费米能级分裂，有利于提升钙钛矿电池的开路电压和填充因子。

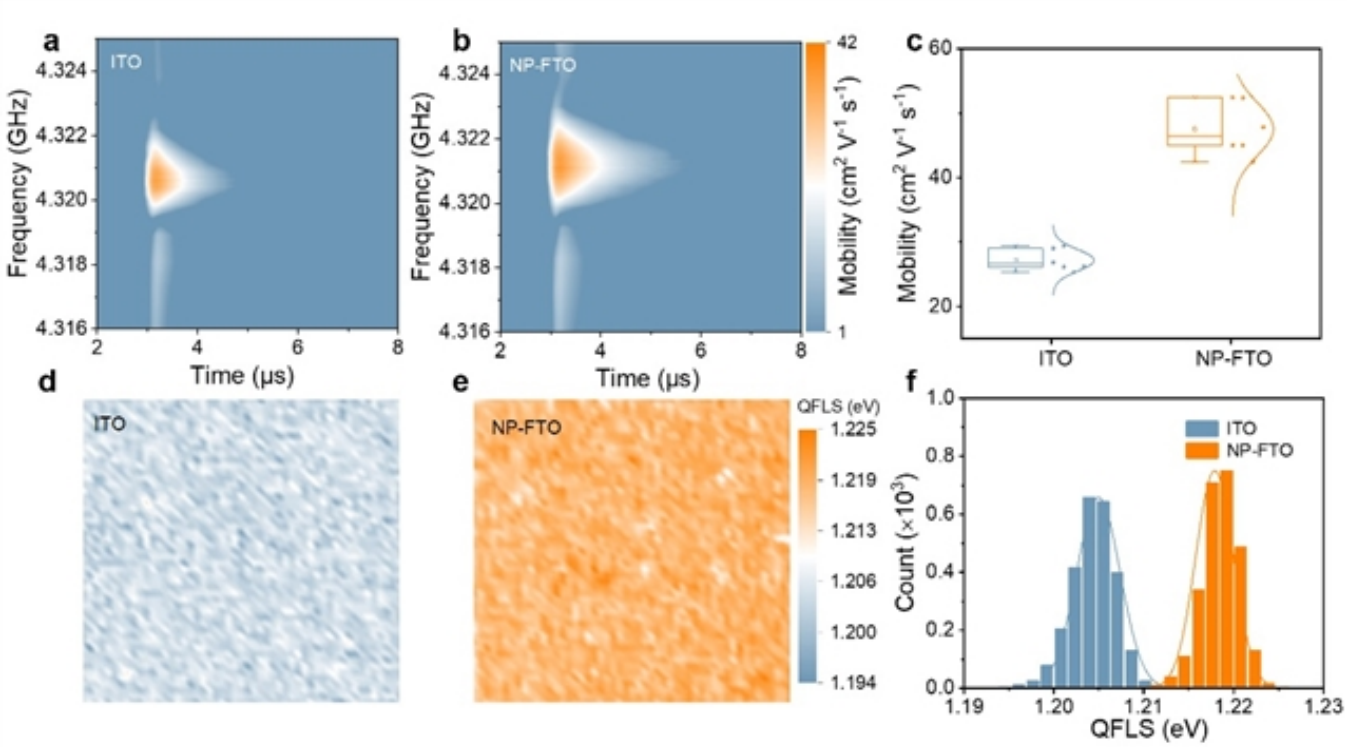


图2 a,b 微波电导率图谱；c 钙钛矿薄膜载流子迁移率统计图；d-f 钙钛矿薄膜费米能级分裂及其分布统计。

3. NP-FTO衬底有利于全面提升钙钛矿电池光伏性能

研究发现该微纳衬底不仅与钙钛矿薄膜之间形成梯度折射率光学结构有利于光电流提升，而且其本征性导致的高晶体质量也是提升光电流的重要因素。结合同质结界面工程，基于NP-FTO制成的钙钛矿电池可以实现光伏性能包括开路电压、填充因子、短路电流的全面提升，且实现了26.4%的高光电转换效率。

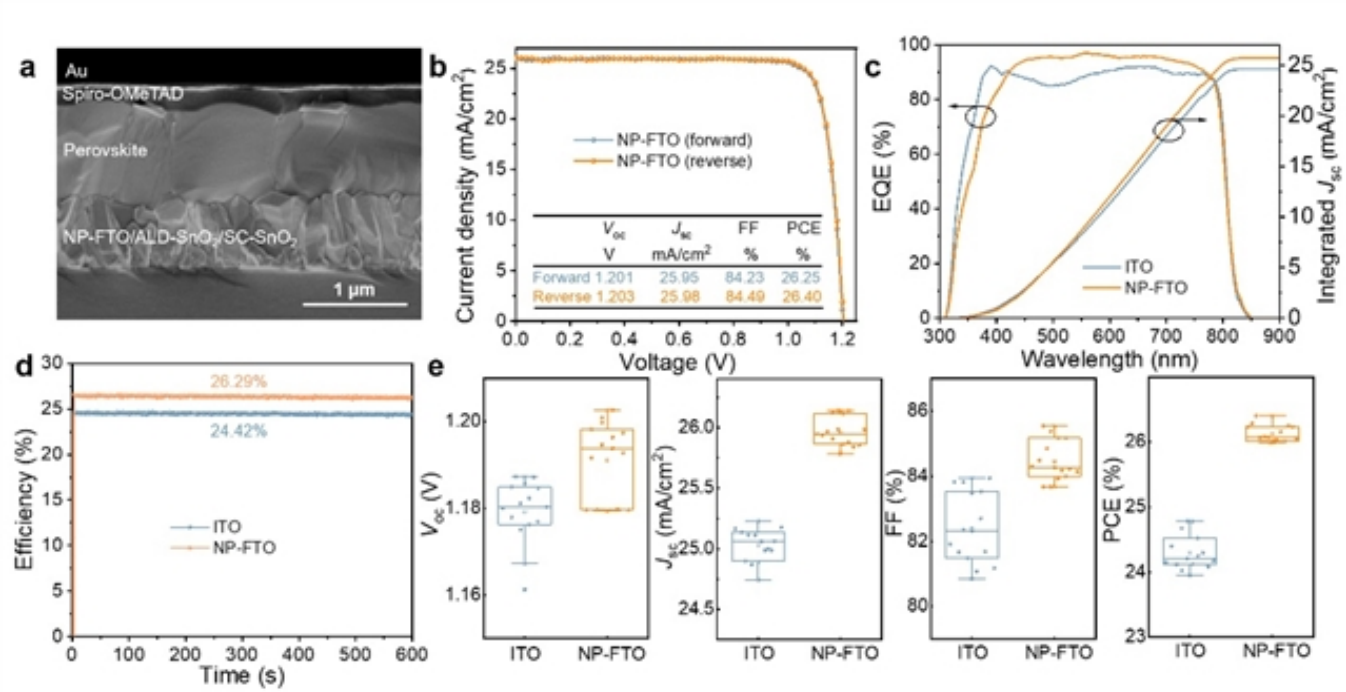


图3 a 正置器件截面SEM图；b J-V 曲线；c EQE 曲线; d 稳态输出效率；e 光伏性能参数统计。

4. NP-FTO衬底也普适于高效率宽带隙及全钙钛矿叠层电池的构筑

基于NP-FTO生长的宽带隙钙钛矿薄膜也拥有更优的晶体质量，同时沉积宽带隙钙钛矿薄膜后短波段和近红外波段的光反射损失更小，且近红外波段的光透过率更高，因此在制备全钙钛矿叠层电池时，窄带隙子电池的钙钛矿薄膜可以吸收更多的光，从而提升全钙钛矿叠层电池的短路电流密度。结合NP-
FTO对叠层电池光电性质的提升，最终叠层电池实现了超过28%的光电转换效率。

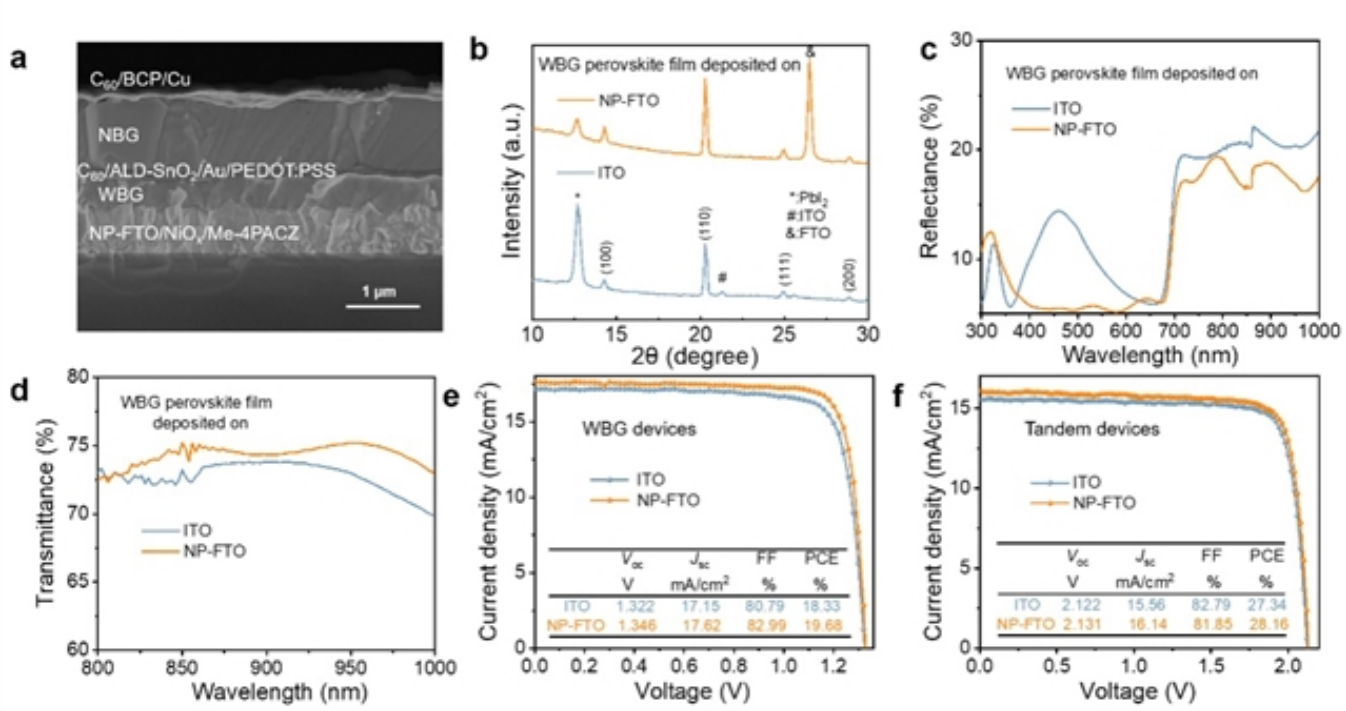


图4 a 全钙钛矿叠层电池截面SEM图；b 宽带隙钙钛矿薄膜XRD图；c 宽带隙钙钛矿薄膜的光反射图；d 宽带隙钙钛矿薄膜的透过率；e 宽带隙钙钛矿电池J-V曲线；f全钙钛矿叠层电池J-V 曲线。

本文研究工作得到了国家自然科学基金重点项目和湖北省自然科学基金和重点研发项目及武汉大学科研公共服务条件平台的支持。（来源：科学网）

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41566-024-01570-4

作者：方国家等 来源：《自然—光子学》

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