

中国科大提出钙钛矿太阳能电池新结构方案

中国科学技术大学教授徐集贤团队与合作者，针对钙钛矿太阳能电池中长期普遍存在的“钝化-传输”矛盾问题，提出了命名为PIC（porous insulator contact，多孔绝缘接触）的新型结构和突破方案，基于严格的模型仿真和实验给出了PIC方案的设计原理和概念验证，实现了p-i-n反式结构器件稳态认证效率的世界纪录，并在多种基底和钙钛矿组分中展现了普遍的适用性。2月17日，相关研究成果以《通过一种多孔绝缘接触减少钙钛矿太阳能电池中的非辐射复合》（Reducing nonradiative recombination in perovskite solar cells with a porous insulator contact）为题，发表在《科学》（Science）上。

“钝化-传输”矛盾问题在光电子器件中（如太阳能电池、发光二极管、光电探测器等）普遍存在。为了减少半导体表面的非辐射复合损失，需要覆盖钝化层来减少半导体表面缺陷密度。这些钝化材料的导电率一般较低，增加其厚度会增强钝化效果，但同时导致电流传输受限。由于这个矛盾，目前这些超薄钝化层的厚度需要极为精确的控制几个甚至一个纳米内（nm，十亿分之一米），载流子通过隧穿效应等厚度敏感方式进行传输，对于低成本的大面积生产不利。

钙钛矿太阳能电池技术近些年引起广泛关注，主要器件类型包括钙钛矿单结、晶硅-钙钛矿叠层、全钙钛矿叠层电池等，有望在传统晶硅太阳能电池之外提供新的低成本高效率光伏方案。钙钛矿电池中，异质结接触问题带来的非辐射复合损失已被普遍证明是主要的性能限制因素。由于“钝化-传输”矛盾问题的存在，超薄钝化层纳米级别的厚度变化均会引起填充因子和电流密度的降低。因此，各类钙钛矿器件亟需一种新型的接触结构能够在提高性能的同时大幅减少钝化厚度的敏感性。

科研团队经过长期思考和大量实验探索，提炼出这种PIC接触结构方案（图1）。该研究的主要思想是不依赖传统纳米级钝化层和隧穿传输，而直接使用百纳米级厚度的多孔绝缘层，迫使载流子通过局部开孔区域进行传输，同时降低接触面积。研究团队的半导体器件建模计算揭示了这种PIC结构周期应与钙钛矿载流子传输长度匹配的关键设计原理。PIC方案与晶硅太阳能电池领域的局部接触技术有异曲同工之妙，然而，不同的是，钙钛矿中的载流子扩散长度较单晶硅要短很多，从毫米级别大幅减小到微米甚至更短，这要求PIC的尺寸和结构周期要在百纳米级别。传统的晶硅局部接触工艺不能直接满足这种精度要求，而使用高精度微纳加工技术在制备面积和成本方面存在不足。面对这一挑战，科研人员巧妙地利用纳米片的尺寸效应，通过PIC生长方式从常规“层+岛”（Stranski-Krastanov）模式向“岛状”（Volmer-Weber）模式的转变，采用低温低成本的溶液法实现了这种纳米结构的制备（图2）。

研究在叠层器件中广泛使用的p-i-n反式结构中开展了PIC方案的验证，首次实现了空穴界面复合速度从~60cm/s下降至10cm/s（图3）以及25.5%的单结最高效率（p-i-n结构稳态认证效率纪录24.7%）（图4）。这种性能的大幅改善在多种带隙和组分的钙钛矿中均普遍存在，展现了PIC广阔的应用前景。另外，PIC结构在多种疏水性基底均实现了钙钛矿成膜覆盖率和结晶质量的提高（载流子体相寿命大幅提升），对于大面积扩大化制备颇有意义。

值得注意的是，PIC方案具有普遍性，可进一步在不同器件结构和不同界面中推广拓展；模拟计算指出目前实验实现的PIC覆盖面积未达到其设计潜力，可进一步优化获得更大的性能提升。

研究工作得到国家自然科学基金、科技部、合肥综合性国家科学中心能源研究院、中国科大碳中和研究院、上海同步辐射光源等的支持。美国科罗拉多大学博德分校科研人员参与研究。

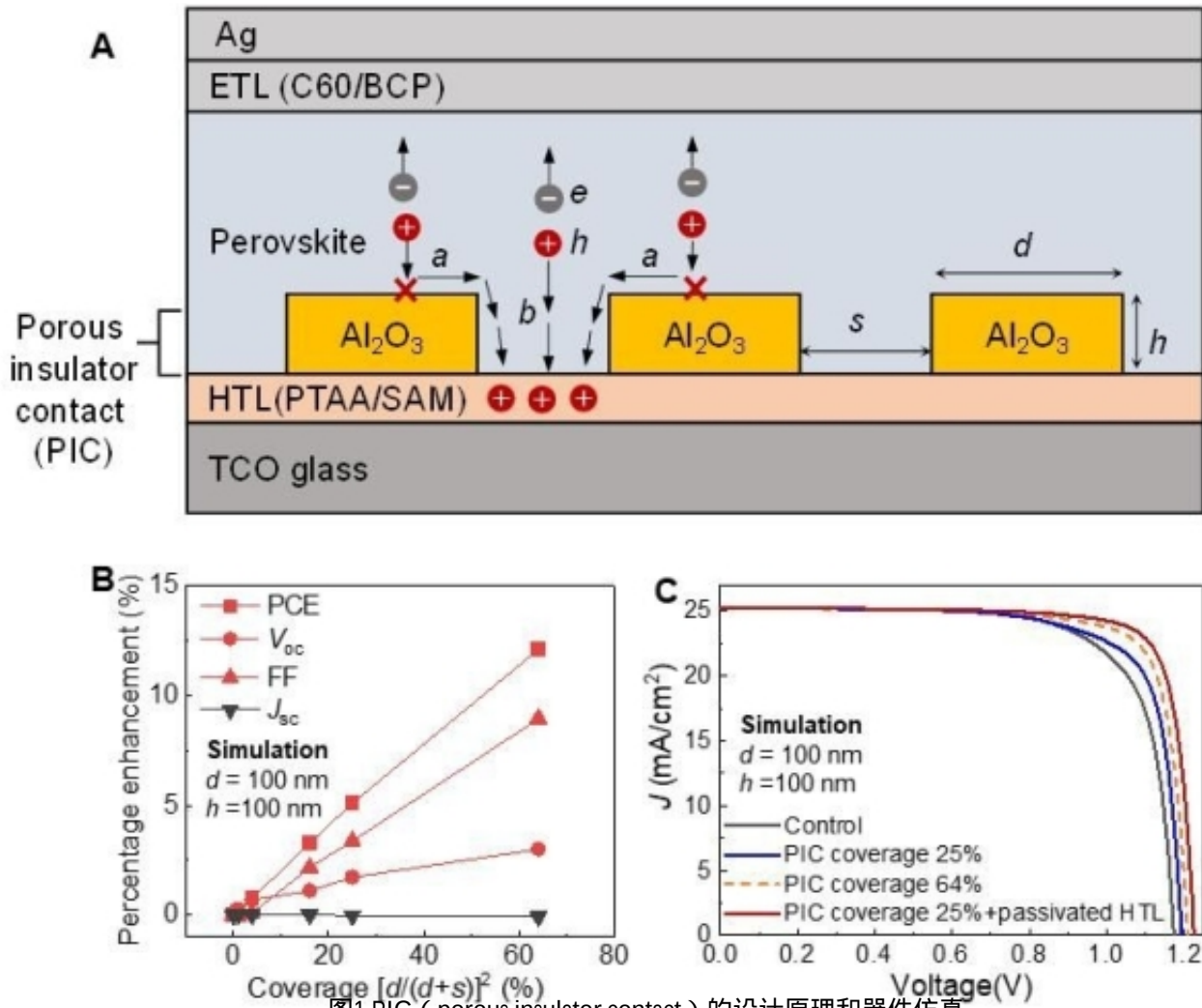


图1. PIC (porous insulator contact) 的设计原理和器件仿真

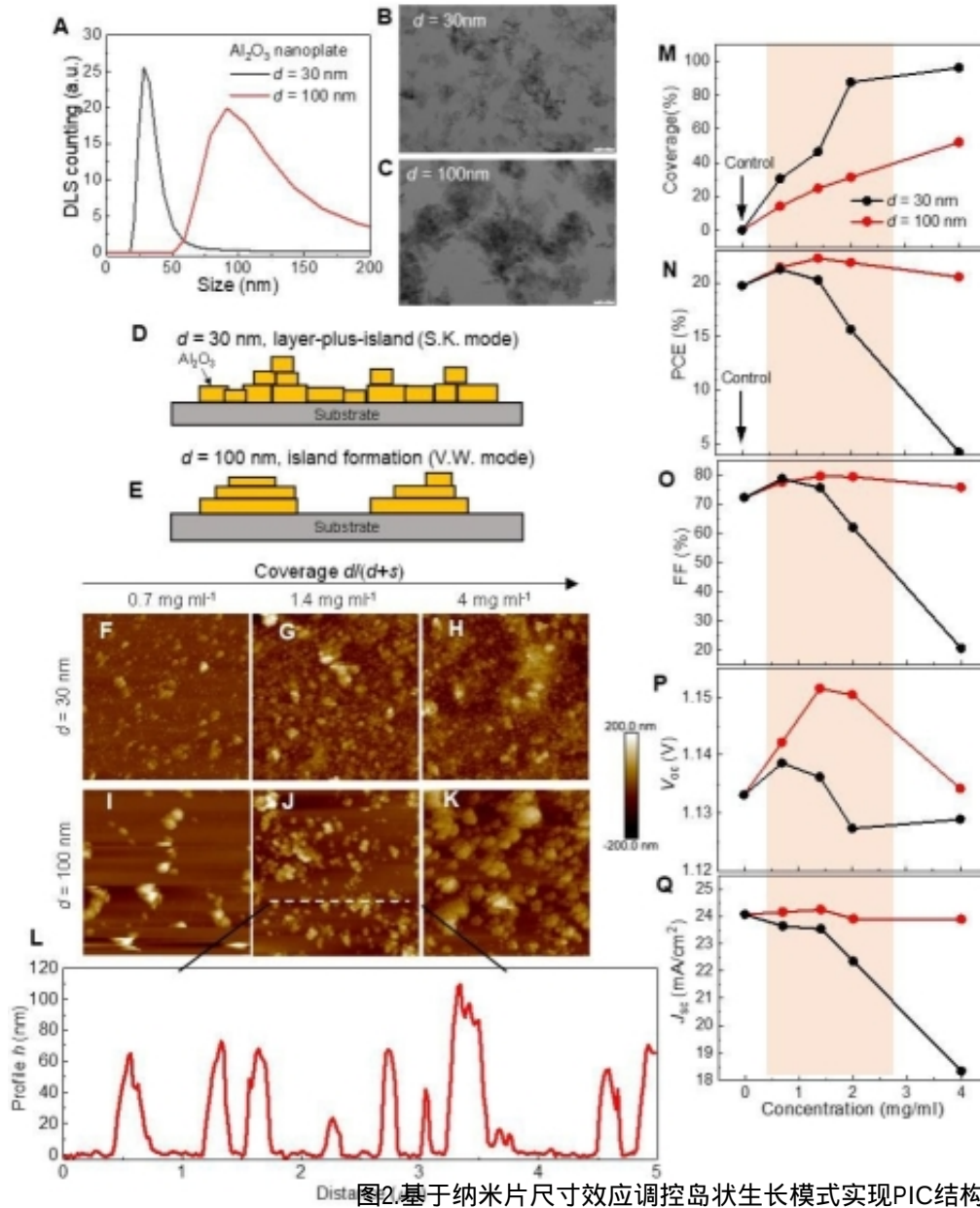


图2. 基于纳米片尺寸效应调控岛状生长模式实现PIC结构

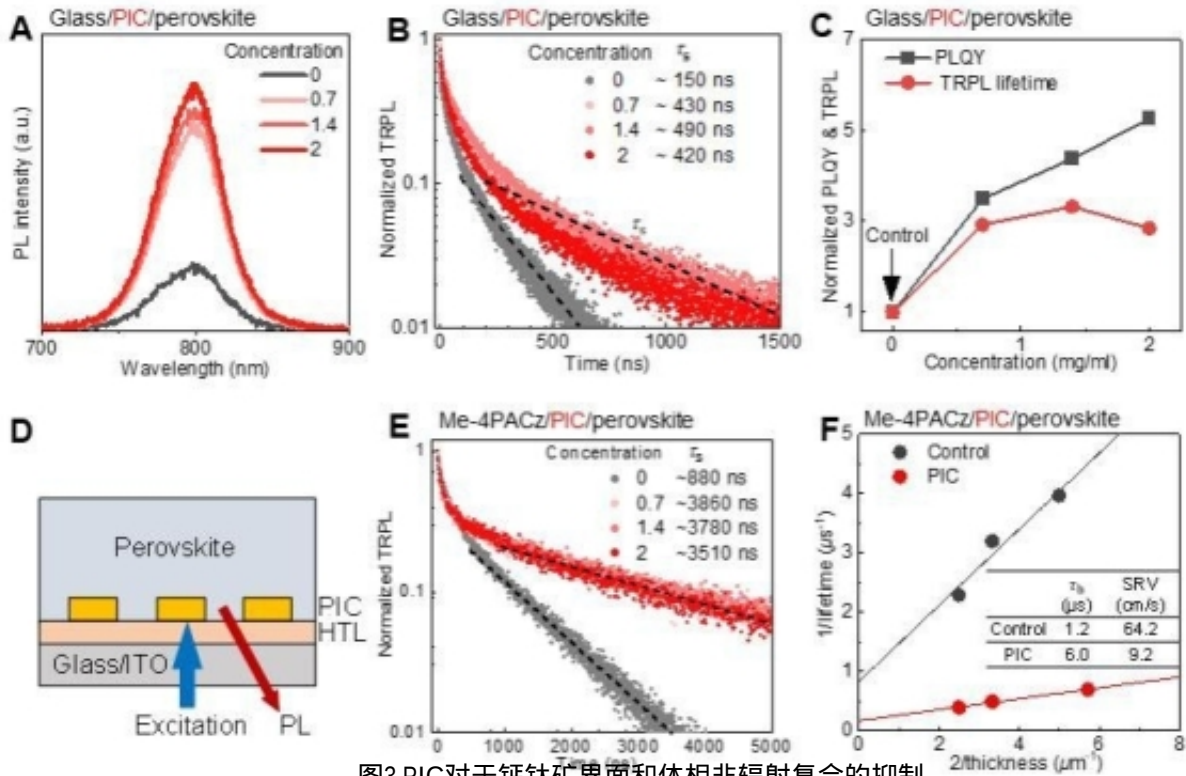


图3.PIC对于钙钛矿界面和体相非辐射复合的抑制

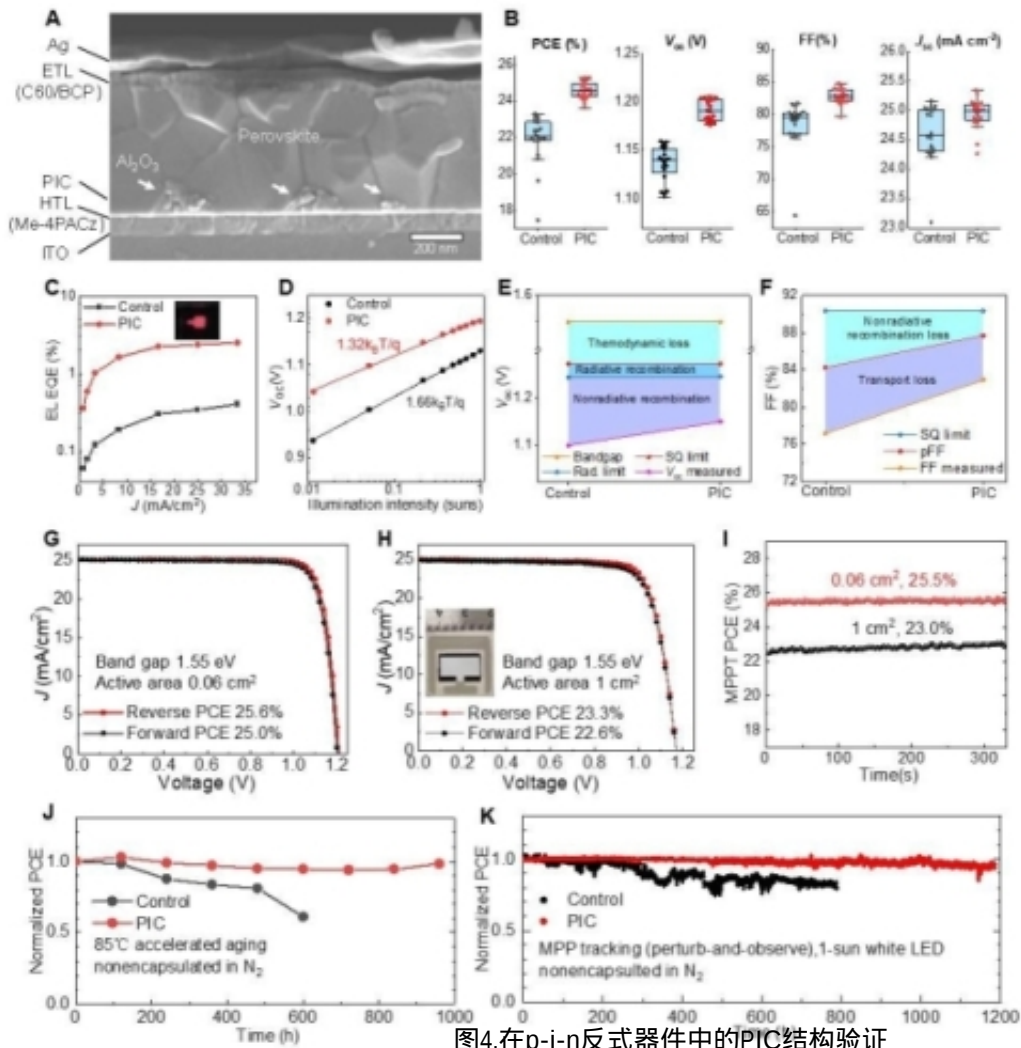


图4.在p-i-n反式器件中的PIC结构验证

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/192221.html>