

中国科学家提出的钙钛矿电池新结构方案 创造了一项新的世界纪录

2月20日报导，中国科学技术大学徐集贤教授团队与合作者，针对钙钛矿太阳能电池中一直存在的“钝化—传输”矛盾，提出了一种名为PIC（多孔绝缘接触）的新结构和全新的突破方案，实现了p-i-n反式结构器件的稳定效率，创下了世界纪录，同时在多种基底、钙钛矿组分中展现出普遍的适用性。该研究成果于17日发表于《科学》杂志上。

“钝化-传输”矛盾问题在光电子器件中（例如太阳电池、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很低，增加其厚度会增强钝化效果，但同时会导致电流传输受限。因为这个矛盾，目前这些超薄钝化层的厚度需要极为精确的控制在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。

钙钛矿太阳电池技术近些年引起了广泛关注，其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经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都会引起填充因子和电流密度的降低。因此各类钙钛矿器件都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。

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）。其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

结构周期应该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，但是不同的是，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，这就要求 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够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。对此挑战，团队巧妙利用了纳米片的尺寸效应，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，成功由低温低成本的溶液法实现了这种纳米结构的制备（图 2）。

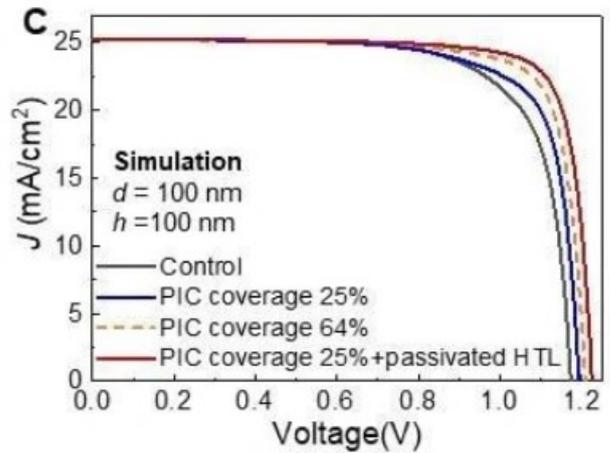
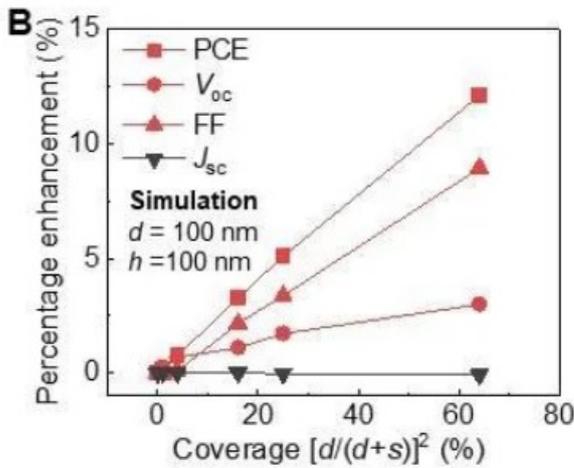
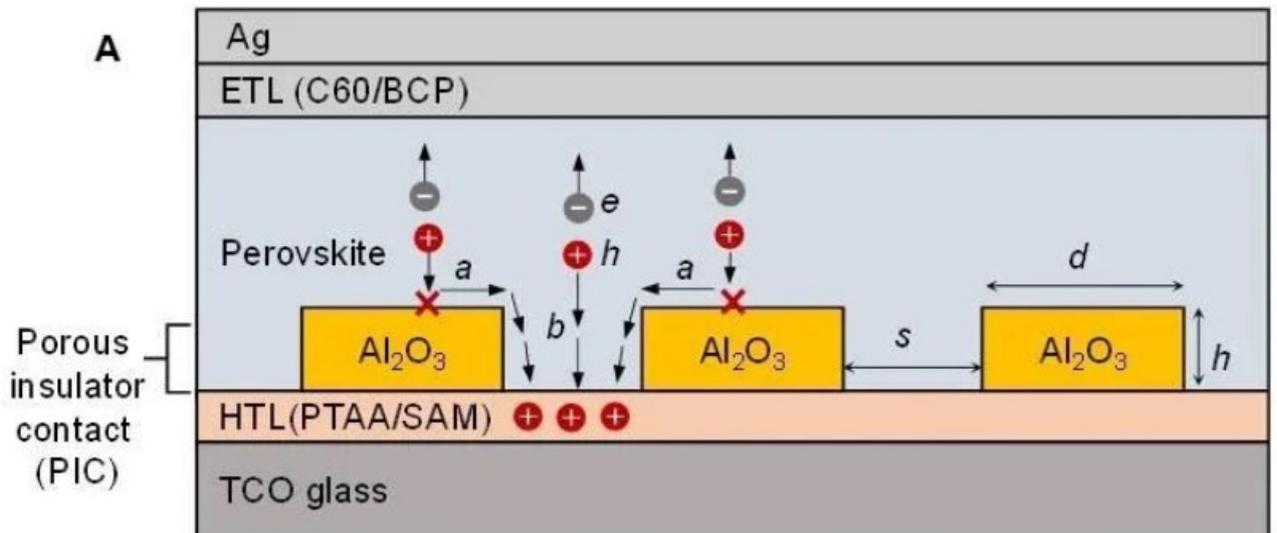


图 1. PIC (porous insulator contact) 的设计原理和器件仿真

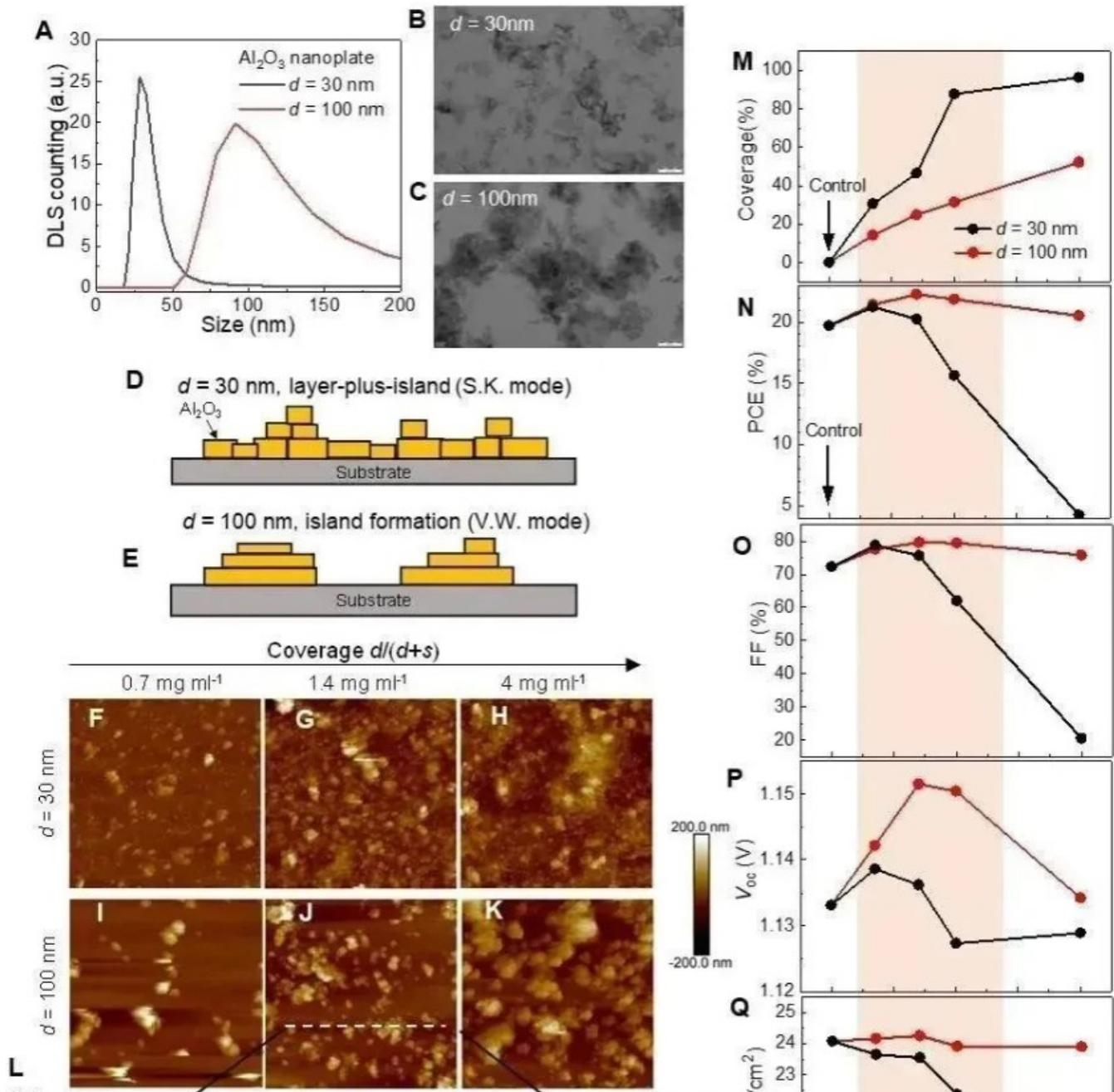
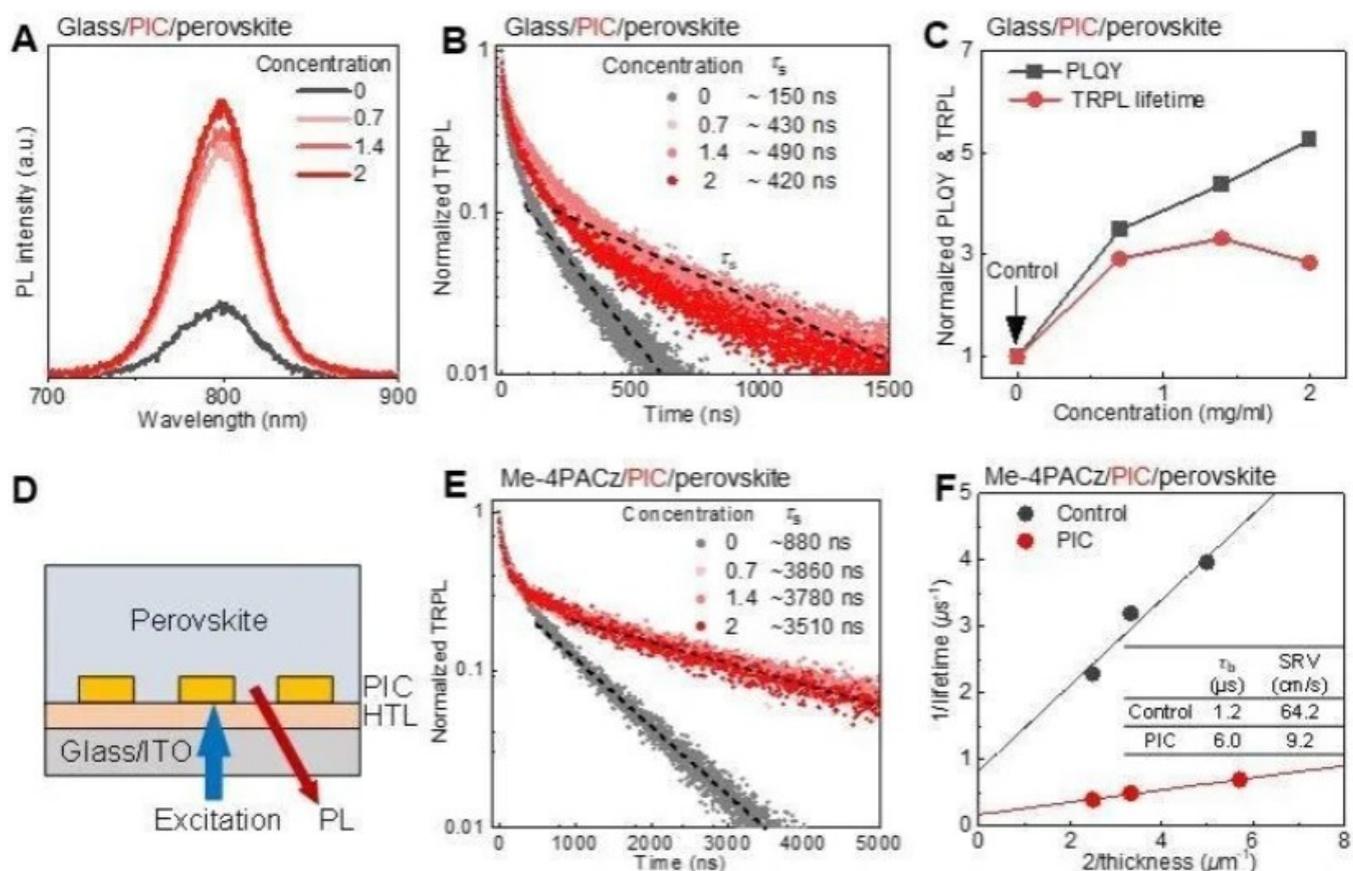
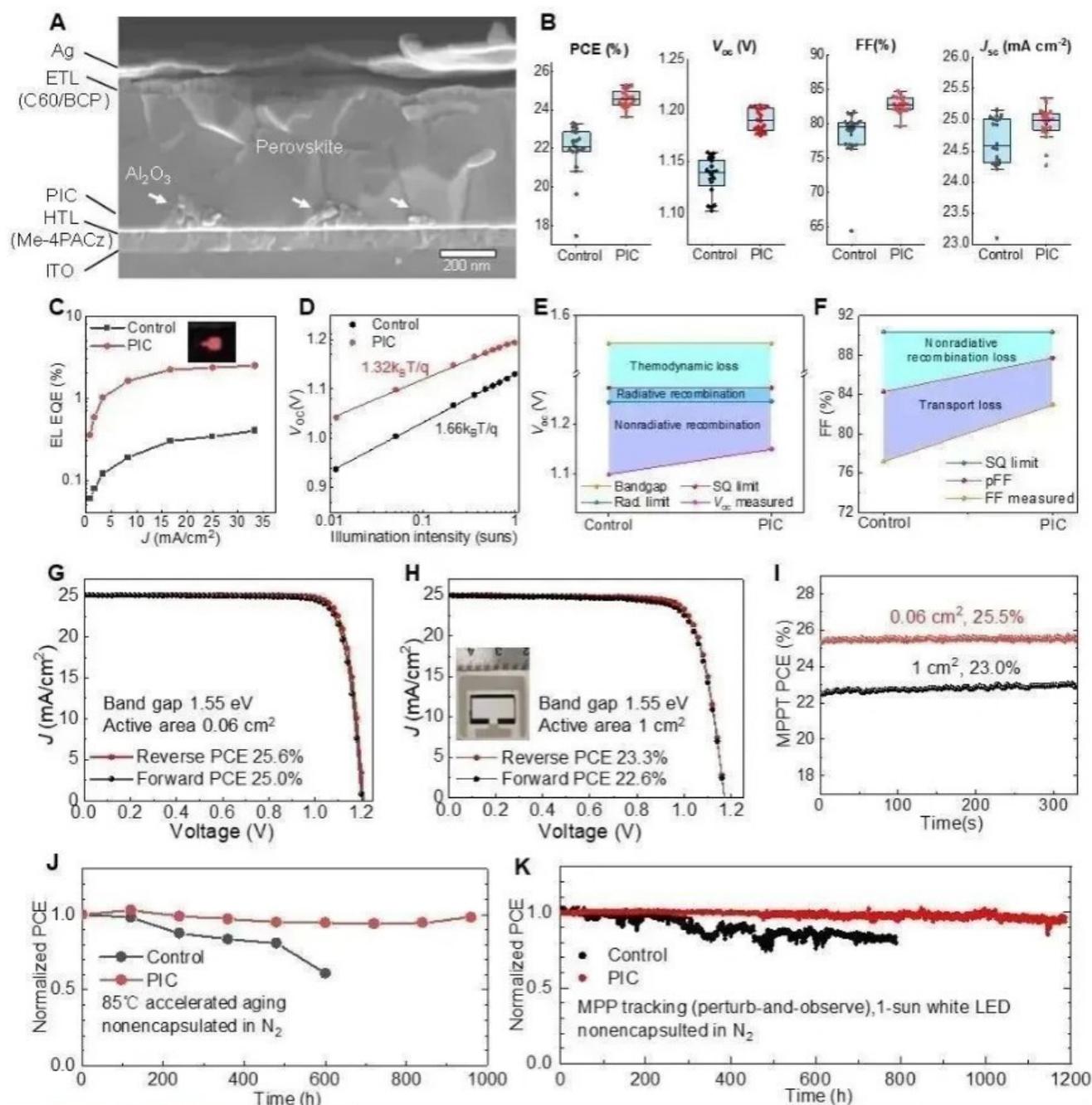


图 2. 基于纳米片尺寸效应调控岛状生长模式实现 PIC 结构

团队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 ~ 60 cm / s 下降至 10 cm / 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都普遍存在, 展现了 PIC 广泛的应用前景。另外, PIC 结构在多种疏水性基底都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也很有意义。





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；同时模拟计算指出目前实验实现的 PIC 覆盖面积还远未达到其设计潜力，可进一步优化获得更大的性能提升。

本文链接：<https://dqcm.net/zixun/16768582489583.html>