

宁波材料所等关于钙钛矿/晶硅叠层太阳电池的研究获进展

近年来，钙钛矿/晶硅叠层太阳电池具有超过单结电池Shockley-Queisser理论极限的超高效率和成本优势，而成为光伏领域的研究热点。通过近十年的发展，钙钛矿/晶硅叠层太阳能电池的光电转换效率已从最初的13.7%提升至目前的33.9%。然而，叠层器件效率的进一步提升，需要对钙钛矿顶电池、中间复合层以及晶硅底电池进行更高效的优化设计。目前，钙钛矿/晶硅叠层太阳电池通常采用透明导电金属氧化物薄膜（ITO）作为中间复合层，但ITO在制备过程中存在溅射损伤等问题。因此，开发高效的中间复合层，对提升钙钛矿/晶硅叠层太阳能电池的效率，加速产业化进程颇为重要。

近期，中国科学院宁波材料技术与工程研究所研究员叶继春带领的硅基太阳能及宽禁带半导体科研团队，在前期关于晶硅、钙钛矿和叠层电池研究的基础上，在钙钛矿/晶硅叠层太阳电池的中间层设计和制备方面取得了重要进展。

该团队创新性地具有隧穿特性的p型多晶硅/n型多晶硅结构引入到叠层电池，用以取代传统ITO中间层，制备出效率高达29.22%的钙钛矿/TOPCon叠层电池。这种叠层器件表现出良好的稳定性（图1）。相较于传统的ITO中间复合层，这种新型隧穿复合层具有如下优势。第一、通过有效抑制p型多晶硅中硼和/n型多晶硅中磷掺杂剂的相互扩散和补偿，新型隧穿结的TOPCon结构展示出优异的钝化和接触性能（图2）。此外，这种新型隧穿结的TOPCon电池与传统TOPCon电池相比，其开路电压提升了8mV，表明增加一层p型多晶硅可以保持TOPCon电池的高性能。第二、对于钙钛矿顶电池，通过第一性原理计算、红外和XPS等测试证实钙钛矿顶电池的MeO-2PACz空穴传输层更易吸附在p型多晶硅上（图3），有助于对顶电池载流子的提取。第三、UPS等测试证实p型多晶硅具有比传统ITO更高的功函数，可进一步增强载流子传输和提取能力（图4）。

此外，通过详细的有限元仿真，科研人员对这种隧穿叠层电池的载流子传输和复合机制，进行了全面剖析（图5）。研究表明，这种隧穿复合层以陷阱辅助复合隧穿和带带隧穿为主。当多晶硅的掺杂浓度较低时（ $< 4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ），p型多晶硅的价带和n型多晶硅的导带不会发生交叠，因而不会触发带带隧穿，此时陷阱辅助复合隧穿占主导。这种情况下，较高的缺陷浓度有助于陷阱辅助复合隧穿效应，从而提升叠层电池性能。当多晶硅的掺杂浓度较高时（ $> 4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ），p型多晶硅的价带和n型多晶硅的导带发生交叠，触发带带隧穿，此时带带隧穿占主导。相比于陷阱辅助复合隧穿，带带隧穿更利于获得更高的填充因子和效率。因此，如何通过掺杂控制中间层的隧穿和复合效率至关重要。上述关于中间层的设计及相关机理研究，为钙钛矿/晶硅叠层太阳能电池的性能提升提供了新途径。这一设计思路同样适用于以异质结作为底电池的钙钛矿叠层电池。

相关研究成果以Polycrystalline silicon tunnelling recombination layers for high-efficiency perovskite/tunnel oxide passivating contact tandem solar cells为题，发表在《自然-能源》（Nature Energy）上。研究工作得到国家自然科学基金、浙江能源集团、国家重点研发计划、宁波市“科技创新2025”重大专项、浙江省重点研发计划、辽宁省“揭榜挂帅”科技攻关项目和中国科学院青年创新促进会等的资助。该研究由宁波材料所和苏州大学合作完成。北京大学深圳研究生院的科研人员参与研究。

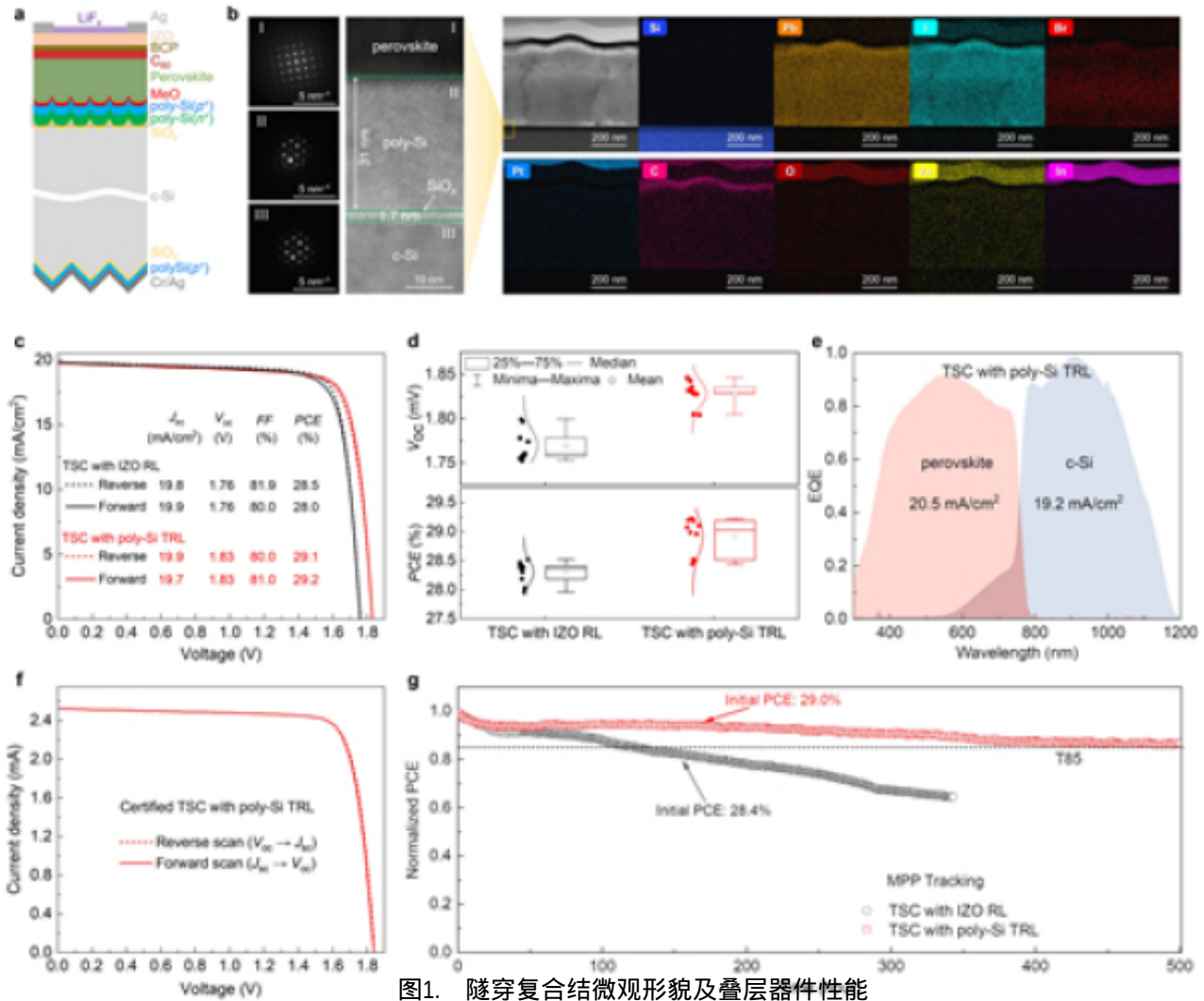


图1. 隧穿复合结构微观形貌及叠层器件性能

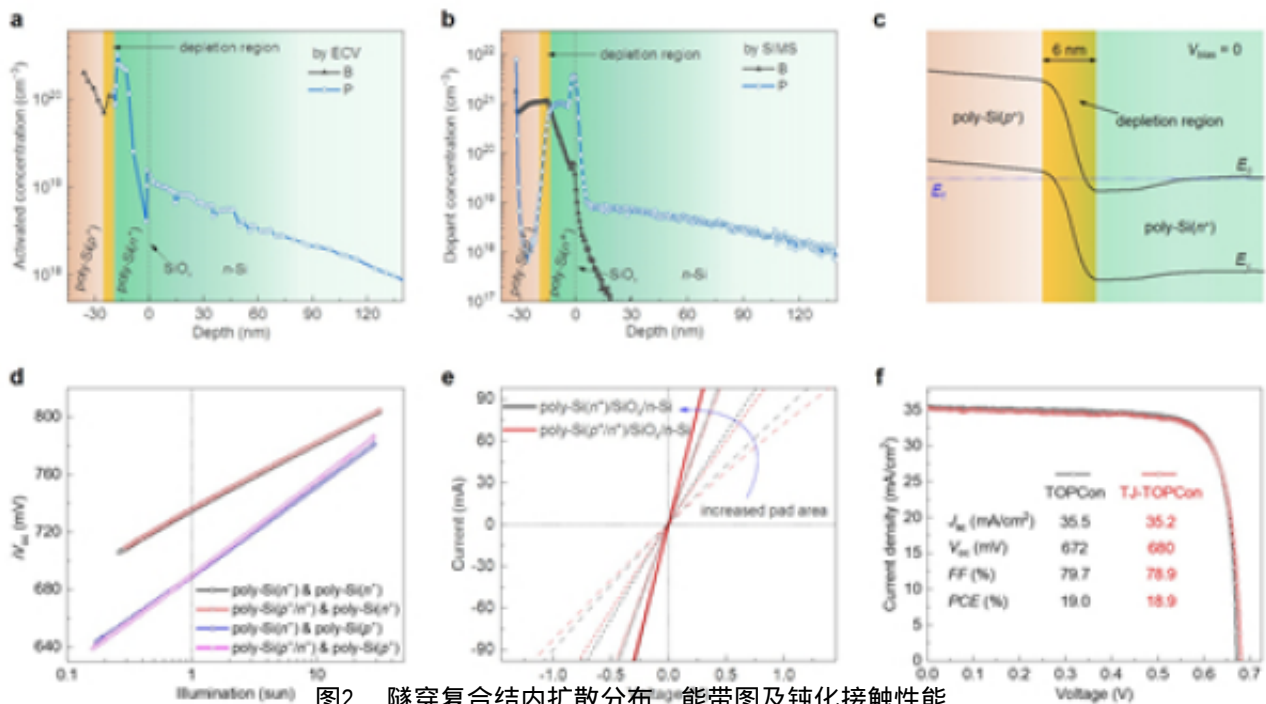


图2. 隧穿复合结内扩散分布、能带图及钝化接触性能

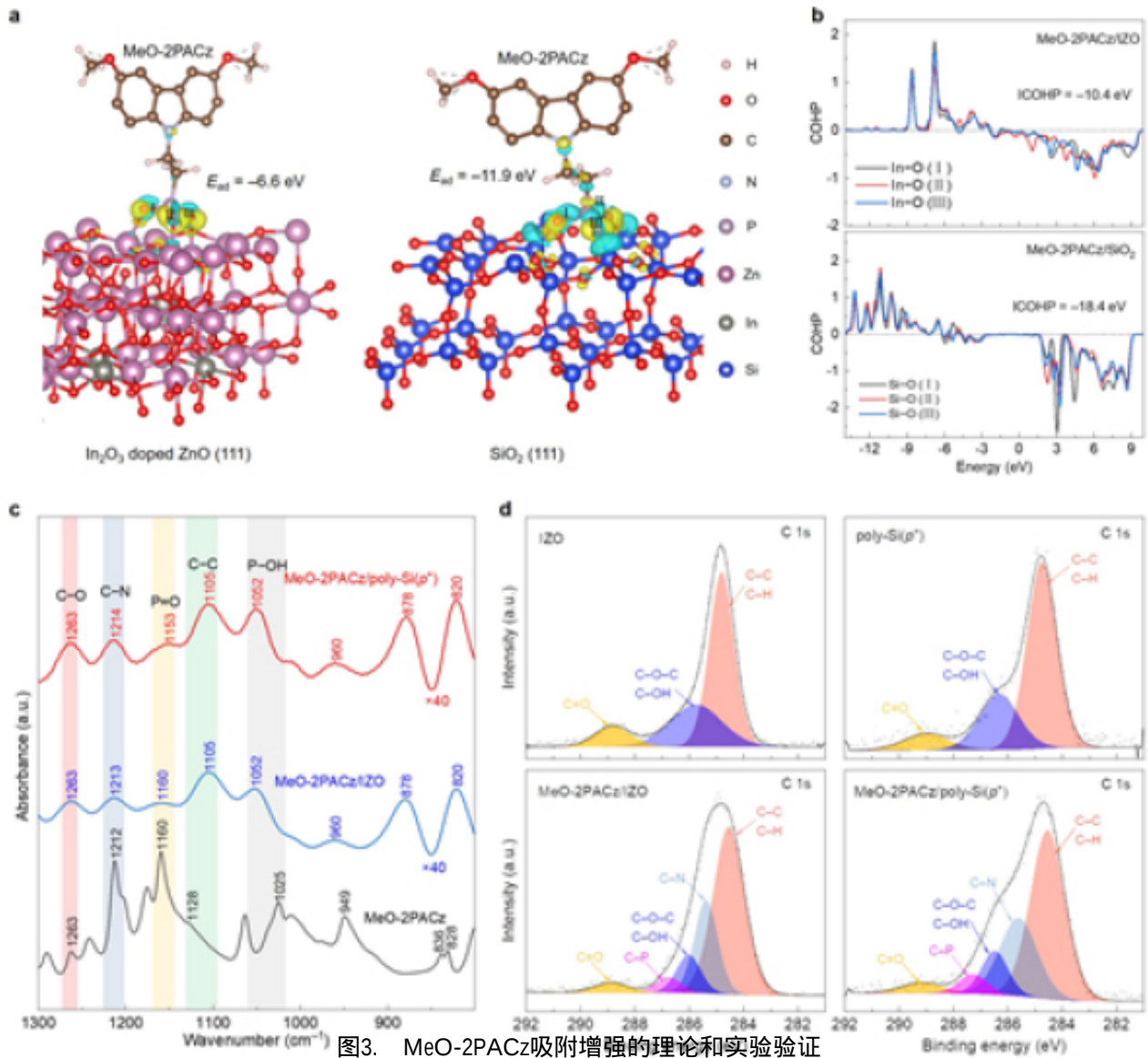


图3. MeO-2PACz吸附增强的理论和实验验证

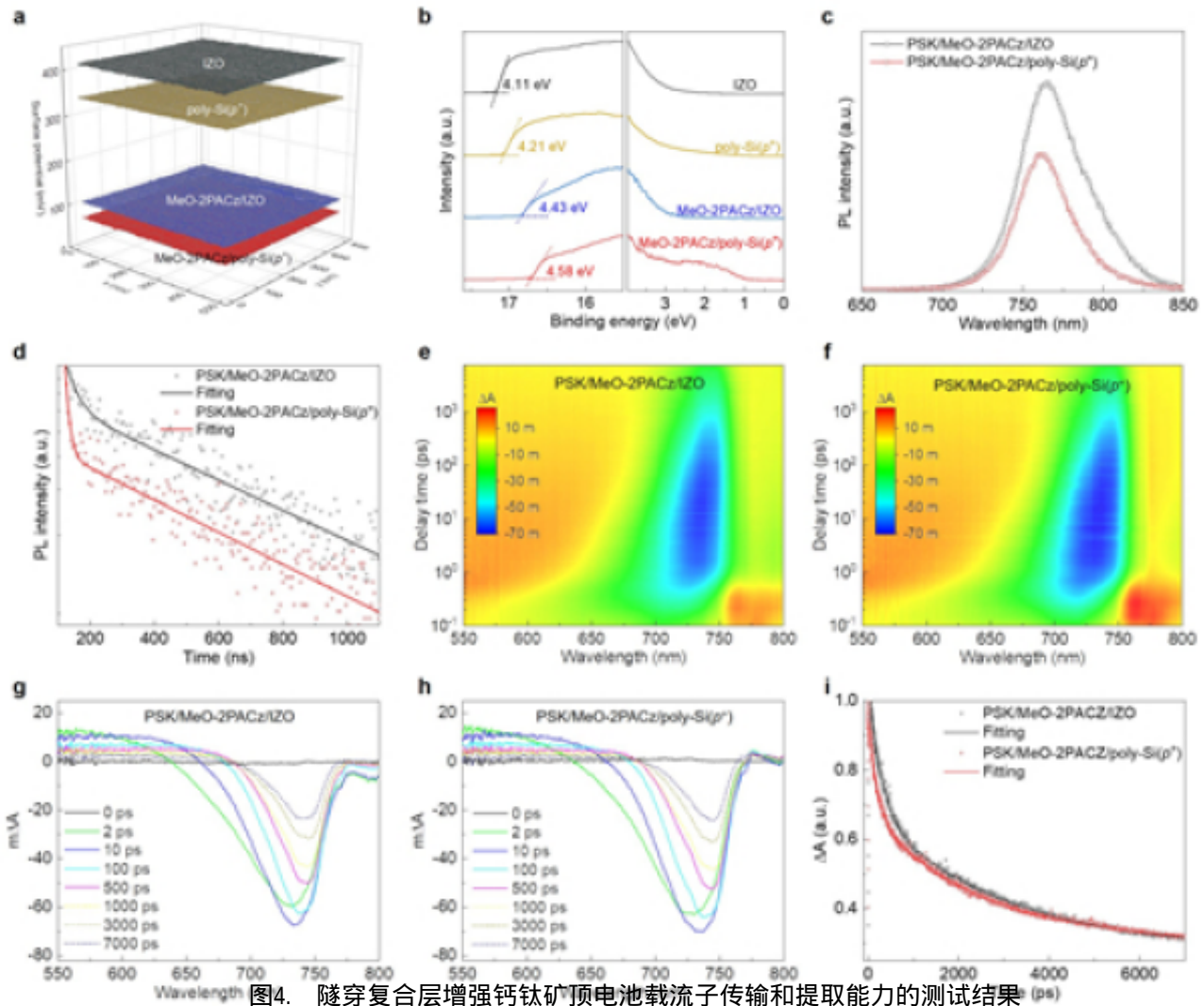


图4. 隧穿复合层增强钙钛矿/硅叠层太阳能电池载流子传输和提取能力的测试结果

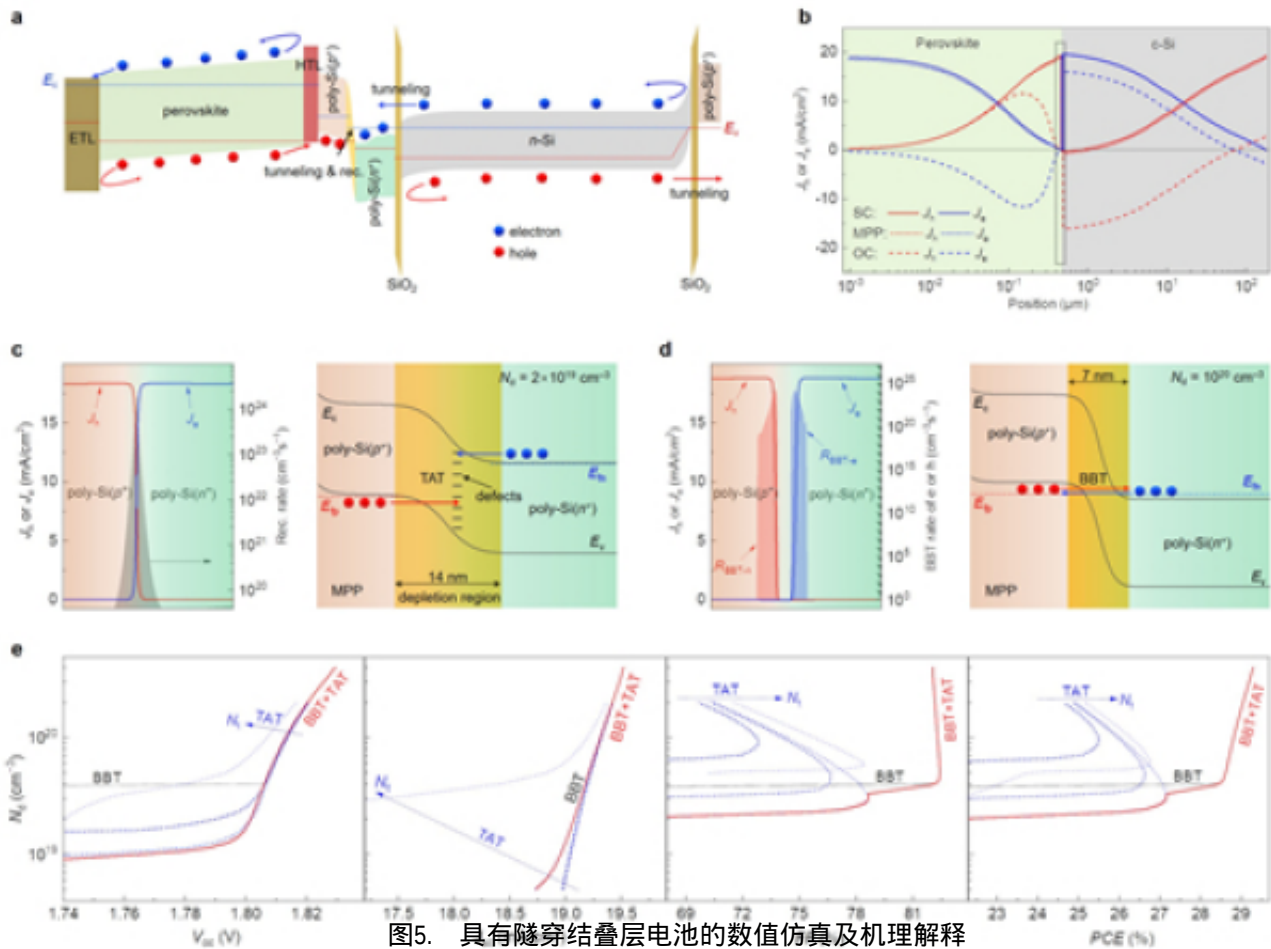


图5. 具有隧穿结叠层电池的数值仿真及机理解释

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/203341.html>