

HCPD450 小型空心阴极离子镀 (RPD) 设备

钙钛矿背电极 TCO 低损伤实验室解决方案 让敏感层的最后一道工序不再受伤

为什么是 RPD：四个已被同行评议文献实测的数字

本节数据全部引自公开发表的期刊论文与专利，编号见第 2 页脚注

<30 eV

RPD 实测入射离子能量，低于 >35 eV 起始的结构损伤阈值，故可直接沉积于钙钛矿与 C₆₀ 表面 [19]

74–87 %

质谱 + Langmuir 探针实测的钨离化率；离化充分才能在低温下获得致密膜层 [35]

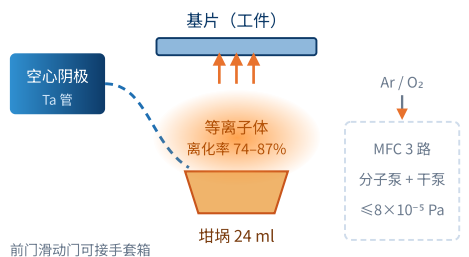
62.1 cm²/V·s

室温 RPD-ITO 霍尔迁移率；磁控溅射需衬底 >350 °C 才约 30 cm²/V·s [20]

0.33 nm

RPD-ITO 的 AFM 表面粗糙度，界面平整、底层钙钛矿结晶不被破坏 [15]

真空腔室



空心阴极弧光放电 → 电子束轰击坩埚 → 高离化率等离子体 → 低能离子在基片表面反应再结晶成膜

六种典型应用场景

每项均对应已发表器件数据

反式钙钛矿背电极

RPD-ITO 替代 BCP 有机缓冲层：认证 21.33%，88 °C / 1023 h 保持 >90% (BCP 对照 330 h 仅剩 45%) [15]

钙钛矿 / 晶硅叠层

约 10 nm 共形复合层：柔性叠层认证 33.6%、V_{oc} 2.015 V；无钢路线 33.2%、207.9 cm² 组件 31.0% [13,14]

HJT 异质结 TCO

金属 In-Sn 合金源替代陶瓷靶：μ 121.4 cm²/V·s，M6 尺寸 SHJ 效率 25.38%，源材料成本降半 [17]

钙钛矿 ETL (SnO₂)

金属 Sn 源反应氧化：正式结构 22.15%，迟滞因子由 24.04% 降至 3.69%，沉积后无需后退火 [30]

半透明 / 柔性顶电极

衬底 <60 °C 沉积 ICO 顶电极：μ 50.26 cm²/V·s，400–800 nm 透过 86.53%，器件 18.96% [33]

OLED / 有机半导体

室温 IWO 直接镀于 Spiro-OMeTAD 而无需保护层，器件 16.5%；PET 柔性基底 μ 59 vs 溅射 ITO 22.6 [32,48]

已发表文献验证的材料体系

ITO [15,17] SnO₂ / SnO_x [13,30] IZO [25] IWO [21]

GZO [24] ICO / ICO:H [14,33] NiO_x [36]

原料：金属、合金或氧化物，配合 O₂ / H₂O 反应气

与主流镀膜技术的对比

文献实测值对照，非厂商宣称

对比项	磁控溅射	原子层沉积 ALD	RPD (本设备)
到达基片的粒子能量	负氧离子能量“远高于 100 eV” [3]；>35 eV 即产生约 1 GPa 压应力 [4]	无高能轰击，但前驱体会夺取钙钛矿有机阳离子 [10]	有效能量 20–30 eV，几乎不产生 >40 eV 粒子 [36]；实测 <30 eV [19]
对敏感层的处置方式	必须预置 10–20 nm 缓冲层，否则钙钛矿无法在等离子体中存活 [8,10]	缓冲层厚度存在严格双边界：5 / 10 / 20 nm → 3.0% / 8.1% / 13.1% [9]	可直接沉积于 Spiro-OMeTAD、C ₆₀ 、钙钛矿之上，无需缓冲层 [15,32]
缓冲层的光学代价	缓冲层自身寄生吸收；去掉后叠层 J _{sc} +0.52 mA/cm ² [1]	同上，且 ALD 较厚功能层每批 >30 min [10]	无缓冲层即无寄生吸收，界面缺陷同步受抑 [15]
速率与产能	产线主流工艺，速率高	本征低产能：>30 min/批，长时受热致热损伤 [10]	170 nm/min [46]；金属源 ITO 约 2 nm/s [17]
低温与柔性基底	降功率可减少损伤，但方阻由 150 暴涨至 3000 Ω/□ [9,12]	不兼容柔性衬底与有机层 [10]	室温 ITO μ 62.1 [20]；PET 上 μ 59 vs 溅射 22.6 [48]
材料自由度	陶瓷靶组分烧结即锁定，改配方须重新开靶 [43]	前驱体种类有限，且化学兼容性受限 [10]	坩埚可换金属 / 合金源，数十克即换配方 [17]

需要完整论证材料？ 8 页《技术简报》含 52 条同行评议文献，逐项对照磁控溅射 / ALD / 溶液法的文献代价与 RPD 的实证数据，可随方案与报价单一并提供 —— tech@jiezaooe.com | 010-57780530

器件级实证：RPD 层在真实器件中做到的数字 均为第三方认证或作者报道值

21.33 %

反式宽带隙钙钛矿 (1.67 eV) 认证效率, RPD-ITO 作无机缓冲层^[15]

24.92 %

氧流量调控 RPD-ITO 反式 电池效率, 85 °C 长时老化 保持 >90%^[16]

33.6 %

柔性钙钛矿 / 硅叠层认证 效率, RPD-ICO:H 共形复 合层, V_{oc} 2.015 V^[14]

31.0 %

全无钨叠层 207.9 cm² 组 件认证效率, RPD-SnO_x 兼作复合层与电极^[13]

25.38 %

M6 尺寸 SHJ 电池效率, 所用设备即本司同系列 RPD450^[17]

产品矩阵：从实验室打样到中试验证 点击型号可查看官网产品页

HCPD450 · 本设备

100×100 mm (常规)
210×210 mm (定制卡具)
前门滑动门连手套箱, 后平开门便于 维护;
实验室钙钛矿背电极 TCO 首选
www.jiezaooe.com/hcpd450.html

HCPD500

更大工件尺寸与更多选项部件, 适合 中试产品验证与工艺调试
www.jiezaooe.com/hcpd500.html

HCPD550L-S/D

直线传输 In-Line 结构, 单 / 双端可 选, 适合 连续节拍的中试与量产验证
www.jiezaooe.com/category/hcpdseries.html

JSP 系列 300mm PVD

小型 In-Line PVD, 兼容平面溅射阴极与空心阴极离子镀 , 一套平台两种工艺
www.jiezaooe.com/jsp300.html

服务与支持

① 打样验证

客户提供基片, 打样出膜层数据与测试报告

③ 定制化设计

手套箱对接、公自转工件架、膜厚仪、扩展气路

⑤ 国产自主可控

整机国产化, 交付周期与运维成本显著优于进口设备

② 工艺联合开发

ITO / SnO₂ / IZO / GZO / NiO_x 配方与低损伤窗口调试

④ 交钥匙交付

安装调试、工艺培训、12 个月质保与备件快速响应

主要技术参数 (HCPD450)

真空内腔	450×510×600 mm	工件尺寸	100×100 mm (常规) 210×210 mm (定制卡具)	极限压力	$\leq 8 \times 10^{-5}$ Pa
工作压力	$1 \sim 5 \times 10^{-2}$ Pa	薄膜均匀性	$\leq 5\%$	基片加热	最高 200 °C (PID, 可选)
空心阴极枪	放电电流最大 100 A	水冷坩埚	24 ml, 电磁 + 永磁聚焦	工件架	旋转公转 5~30 rpm
主放电电源	DC 10 kW	气路	MFC 3 路 (Ar / O ₂) + 预留 1 路	真空系统	分子泵 + 机械泵
控制系统	工控机 + 西门子 PLC, 多级报警互锁	接口	前后开门, 前门滑动门 可连接手套箱	设备功率	380 V / 20 kVA

可选扩展: 晶体膜厚测量仪、定制倾角工件架 (提升大面积均匀性)、离子源、手套箱集成、H₂ 等工艺气路 · 并可提供 HCPD500 与 HCPD550L 直线传输式中试机型。

数据来源说明: 本页除“主要技术参数”为本司出厂规格外, 所有离子能量、离化率、迁移率、粗糙度、器件效率与稳定性数据均引自公开发表的同行评议论文或专利文本, 标注为上标方括号编号, 编号对应《钙钛矿与叠层电池研究中的 TCO / 金属氧化物工艺》技术简报 (Vol. 2, 2026) 第 7 页参考文献。未检索到 RPD 制备 AZO、FTO、Nb₂O₅、MoO₃、WO₃、Al₂O₃、SiO₂、SiN_x、TiN 的同行评议论文, 本司不就上述材料作能力承诺。