

钙钛矿电池技术中激光设备应用梳理

2023年03月05日

➤ 本周关注：铁建重工、汉钟精机、郑煤机、建设机械

➤ **钙钛矿电池优势突出。**作为第三代光伏电池技术，钙钛矿电池因其材料特性，相比于晶硅与薄膜电池具备较强的理论优势。**理论效率更高**，单结钙钛矿电池理论效率极限可达 33%，高于第一代晶硅电池与第二代薄膜电池。同时，通过调整前驱体组分，钙钛矿带隙可调、透光性优异，可以制备钙钛矿/钙钛矿叠层（45%）与钙钛矿/晶硅叠层（43%），实现转换效率的飞跃；**理论成本更低**，材料纯度要求低、用量少、能耗理论成本低，规模化后设备投资仍有降本空间；**应用场景更加多元化**，组件可柔性化制备，具备轻量化优势，终端应用场景多样化；**弱光响应好**，吸光系数高，阴天及室内等弱光条件下，转换效率相对更高；**温度系数更低**，光生载流子迁移距离长、钙钛矿膜层厚度小，温度对效率影响低。

➤ **激光设备是钙钛矿制备过程中必须工序。**在形成钙钛矿电池的串联结构时需要对不同膜层在不同的位置进行划线。功能层的划线可以通过掩模版、化学蚀刻、机械或者激光划线完成。激光划线可以产生更细的划线区域，目前激光划线已逐渐取代其他划线方法成为主要的划线方法，同时激光设备还可以应用于钙钛矿的膜层清除工序环节。**P1 工艺：**通过激光设备分割底部的 TCO 衬底。在导电玻璃电极 TCO 层制备完成后，在制备空穴传输层、钙钛矿层和电子传输层之前通过激光设备进行划线，形成相互独立的 TCO 衬底。激光划线 **P2 工艺：**划开空穴传输层、钙钛矿层和电子传输层；**P2 工艺：**露出 TCO 衬底，为连接相邻两节子电池的正负电极提供通道。完成空穴传输层、钙钛矿层和电子传输层制备之后，通过激光设备刻蚀空穴传输层、钙钛矿层和电子传输层，暴露出 TCO 层，从而在下一步电极蒸镀过程中能够让子电池之间的正负极相互连接；**P3 工艺：**去除部分功能层以分割相邻子电池的正极，为了保证不损伤 P2 层，本道工艺对激光设备加工精度要求较高。**激光清边 P4 工艺：**封装前的清理工艺。激光清边是指利用激光技术清除掉电池边缘的沉积膜，而本工艺相对较为成熟，同样可以应用于薄膜电池。激光清边效率较高但是会产生膜层侧边互熔问题，从而导致短路，影响电池的效率 and 可靠性。业内已研发出两次清边法分别切除前电极和背电极的待去除边缘，避免互熔问题。

➤ **钙钛矿电泵浦激光设备问题及解决办法：**钙钛矿表面存在大量的缺陷，通过引入合适的钝化剂可有效削弱缺陷辅助的单分子复合；钙钛矿激光器中的热效应严重，可通过缩小器件面积、用短脉冲源激励、提高器件各功能层导电性、引入高散热电极等方法，缓解其中的热效应问题；电注入器件的结构设计方面：选用与钙钛矿能级更为匹配的载流子传输材料，提升各功能层的电荷传输能力，优化功能薄膜的质量与界面质量等；光学结构设计方面：降低散射损耗，在制备表面粗糙度低的薄膜的前提下，引入重结晶策略可有效降低表面粗糙度并减少针孔。降低金属电极的寄生吸收，通过增强载流子传输层的光限制能力或者纳米结构电极；促进粒子数反转是实现电泵浦激光的一个有益补充。

➤ **投资建议：**建议关注布局钙钛矿激光设备厂商：杰普特、德龙激光、帝尔激光、大族激光。

➤ **风险提示：**1) 钙钛矿电池稳定性验证进展不及预期；2) 大面积钙钛矿组件进展不及预期。

推荐

维持评级



分析师 李哲

执业证书：S0100521110006

电话：13681805643

邮箱：lizhe_yj@mszq.com

分析师 占豪

执业证书：S0100522090007

电话：15216676817

邮箱：zhanhao@mszq.com

相关研究

- 1.一周解一惑系列：叉车国内需求改善，锂电化加速全球竞争力-2023/02/26
- 2.一周解一惑系列：钙钛矿晶硅叠层电池的发展路径-2023/02/19
- 3.一周解一惑系列：换电行业及产业链梳理-2023/02/12
- 4.一周解一惑系列：钙钛矿技术细节及产业分析-2023/02/05
- 5.一周解一惑系列：人口压力&产业升级，机器人产业快速发展-2023/01/29

目录

1 钙钛矿电池	3
1.1 钙钛矿电池的定义	3
1.2 钙钛矿电池的优势	4
2 钙钛矿电池用激光设备	6
2.1 激光设备	6
2.2 钙钛矿电池激光工艺	9
3 钙钛矿激光设备厂商布局情况	12
3.1 德龙激光	12
3.2 帝尔激光	13
3.3 杰普特	14
3.4 大族激光	15
4 风险提示	16
插图目录	17
表格目录	17

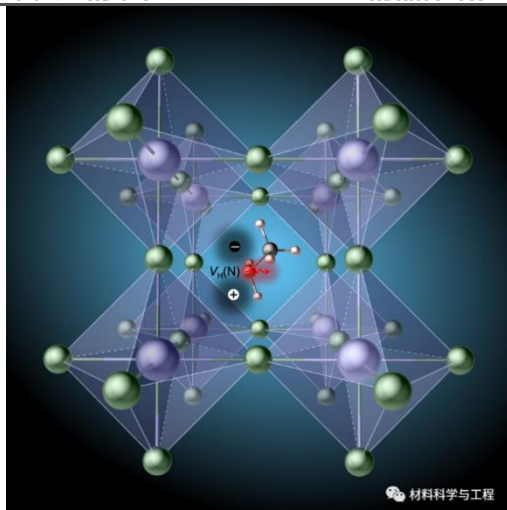
1 钙钛矿电池

1.1 钙钛矿电池的定义

钙钛矿（Perovskite）指一大类化合物，具有与矿物钙钛氧化物相同晶体结构。其化学成分简写为 AMX_3 ，其中 A 通常代表有机分子，M 代表金属（如铅或锡），X 代表卤素（如碘或氯）。其命名取自俄罗斯矿物学家 Perovski 的名字。钙钛矿晶体如今在超声波机器，存储芯片以及现在的太阳能电池中都可以找到。

钙钛矿太阳能电池（Perovskite Solar Cells），是采用具有钙钛矿晶体结构的有机无机杂化的金属卤化物半导体作为吸光层材料的电池，多用作太阳能电池，属于第三代太阳能电池，也称作新概念太阳能电池。钙钛矿太阳能电池世界最高光电转换效率记录已达到 25.2%，钙钛矿与晶硅叠层电池的效率已经达到 29.15%。

图1：最典型的杂化钙钛矿 $MAPbI_3$ 的晶体结构



资料来源：材料科学与工程，民生证券研究院

图2：钙钛矿电池结构示意图

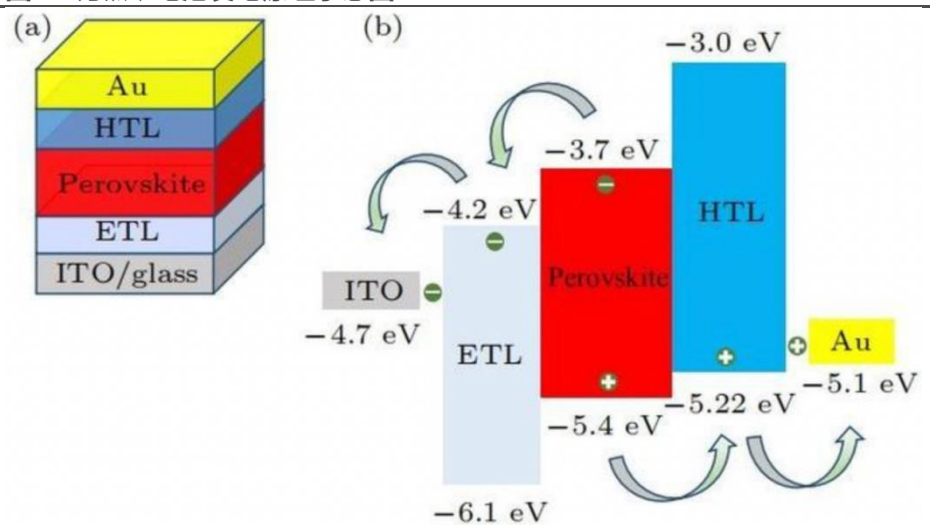


资料来源：材料科学与工程，民生证券研究院

现阶段的钙钛矿电池有三种典型结构，分别为：介孔结构，正式 n-i-p 平面结构和反式 p-i-n 平面结构。光入射到透明电极后先进入电子传输层的结构为正式结构，光入射到透明电极后先进入空穴传输层的结构为反式结构。正式结构又分为正式平面结构和正式介孔结构。

钙钛矿电池是使用具有钙钛复合氧化物晶体结构的化合物作为吸光半 导体材料的第三代光伏电池技术。钙钛矿电池的发电原理为：1) 钙钛矿层吸收光子产生电子-空穴对；2) 电子从钙钛矿层传输到电子传输层 并被透明导电氧化物（TCO，一般使用导电玻璃）收集，同时空穴从钙 钛矿层传输到空穴传输层并被金属电极收集；3) 通过连接 TCO 和金属 电极形成电流。

图3：钙钛矿电池发电原理示意图



资料来源：百度图库，民生证券研究院

1.2 钙钛矿电池的优势

钙钛矿电池理论优势突出。作为第三代光伏电池技术，钙钛矿电池因其材料特性，相比于晶硅与薄膜电池具备较强的理论优势。

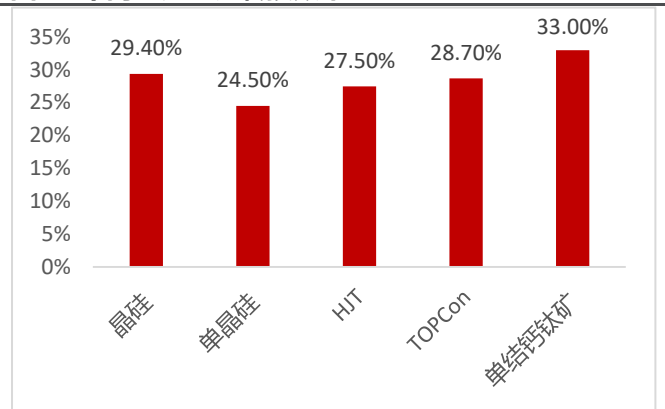
表1：钙钛矿电池优势

钙钛矿电池优势	具体内容
理论效率更高	单结钙钛矿电池理论效率极限可达 33%，高于第一代晶硅电池与第二代薄膜电池。同时，通过调整前驱体组分，钙钛矿带隙可调、透光性优异，可以制备钙钛矿/钙钛矿叠层（45%）与钙钛矿/晶硅叠层（43%），实现转换效率的飞跃。
理论成本更低	材料纯度要求低、用量少、能耗理论成本低，规模化后设备投资仍有降本空间。
应用场景更加多元化	组件可柔性化制备，具备轻量化优势，终端应用场景多样化。
弱光响应好	吸光系数高，阴天及室内等弱光条件下，转换效率相对更高。
温度系数更低	光生载流子迁移距离长、钙钛矿膜层厚度小，温度对效率影响低。

资料来源：德沪涂膜设备公众号，民生证券研究院整理

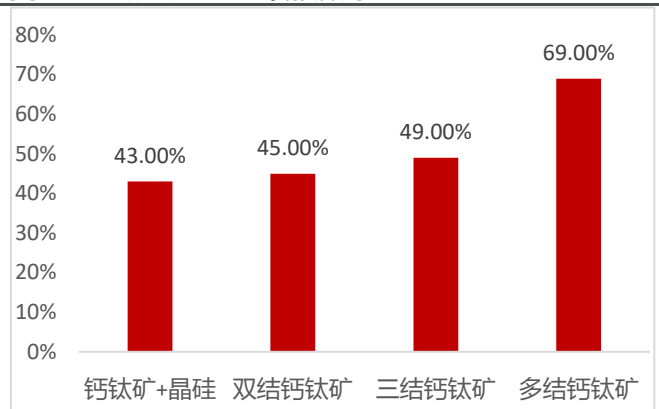
钙钛矿电池极限转换效率总体高于晶硅电池，优势突出。在理论极限上，晶体硅太阳能电池、普通单晶硅电池、HJT 电池、TOPCon 电池的极限转换效率为 29.40%、24.50%、27.50%、28.70%。

图4：不同电池理论转换效率



资料来源：《中国钙钛矿电池行业发展现状分析与投资前景研究报告》，民生证券研究院整理

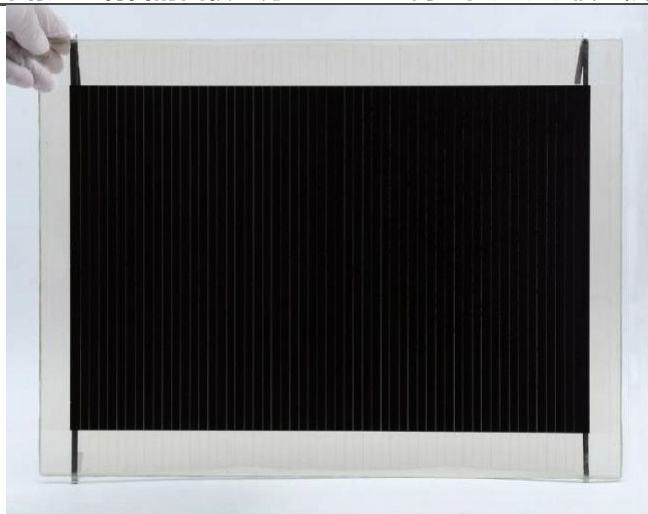
图5：叠层钙钛矿理论转换效率



资料来源：德沪涂膜设备公众号，民生证券研究院

钙钛矿太阳能电池（PSCs）除了转换效率在近年来有飞速的增长，材料成本低、制备过程简单等优势引起了广泛关注。一些基于成本和使用寿命的研究，更加证明了钙钛矿太阳能电池独有的优势。大面积钙钛矿模组的制备已逐步成熟，大于 800 cm² 的钙钛矿模组已开始成为行业主流。

图6：杭州纤纳光电制备的面积约为 800 cm² 商业化钙钛矿模组照片



资料来源：《钙钛矿太阳能电池的产业化进程与展望》，民生证券研究院

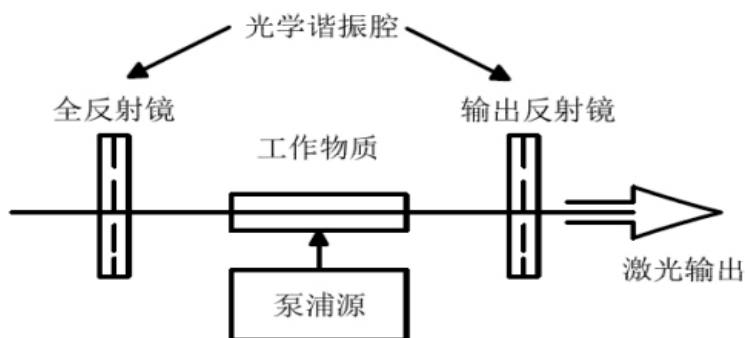
2 钙钛矿电池用激光设备

2.1 激光设备

激光器一般包括增益介质、泵浦源和谐振腔三个部分。激光器是激光的发生装置，主要由激励源和具有亚稳态能级的工作介质组成。激励源为实现并维持粒子数反转产生跃迁辐射创造条件，激励方式有光学激励、电激励、化学激励和核能激励等。具有亚稳态能级的工作介质使受激辐射占主导地位，从而实现光放大。激光器中常见的组成部分还有谐振腔，谐振腔为关键的组成部分，可使腔内的光子有一致的频率、相位和运行方向，从而使激光具有良好的方向性和相干性，而且谐振腔可以很好地缩短工作物质的长度，还能通过改变谐振腔长度来调节所产生激光的模式。简单来说：泵浦源为激光器提供光源，增益介质（也称为工作物质）吸收泵浦源提供的能量后将光放大，谐振腔为泵浦光源与增益介质之间的回路，腔内振荡选模输出激光。

激光按泵浦方式：可分为电泵浦、光泵浦、化学泵浦、热泵浦、核泵浦激光器。电泵浦激光器指以电流方式激励的激光器（气体激光器多以气体放电方式进行激励，而半导体激光器多采用电流注入方式进行激励）；光泵浦激光器指以光泵方式激励的激光器（几乎所有固体激光器、液体激光器均属于光泵浦激光器，而半导体激光器是光泵浦激光器的核心泵浦源）；化学泵浦激光器指利用化学反应释放的能量对工作物质进行激励的激光器。

图7：激光器光学原理示意图



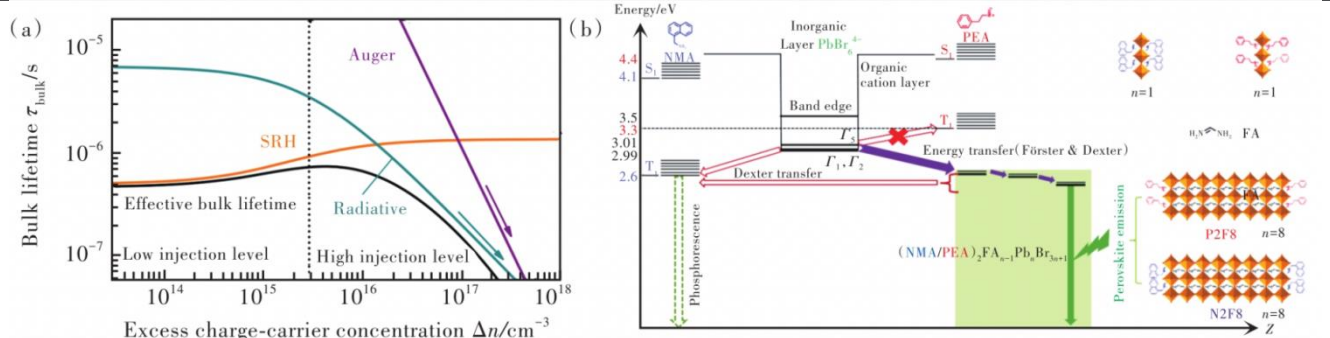
资料来源：闪鳄激光，民生证券研究院

目前要实现钙钛矿电泵浦激光，首先需要实现钙钛矿材料在连续（Continuous-wave, CW）光泵浦下的激光输出。钙钛矿 CW 光泵浦激光的实现，验证了该材料具有维持激光输出所需的极高光增益的能力。不过，同样暴露出了以**高非辐射复合损耗、大的热效应**为主的限制激光器件运转的问题。这些问题在电泵浦激光中变得更为严重。

钙钛矿表面存在大量的缺陷，通过引入合适的钝化剂可有效削弱缺陷辅助的

单分子复合。为了抑制钙钛矿中的俄歇复合损耗，可以通过掺杂重金属元素提升自旋-轨道耦合导致的分裂能，以降低由自旋-轨道耦合分裂诱发的俄歇复合，亦可利用组分工程获得更紧密的钙钛矿晶格结构，以弱化 Rashba 能带分裂，从而降低由此引发的俄歇复合。

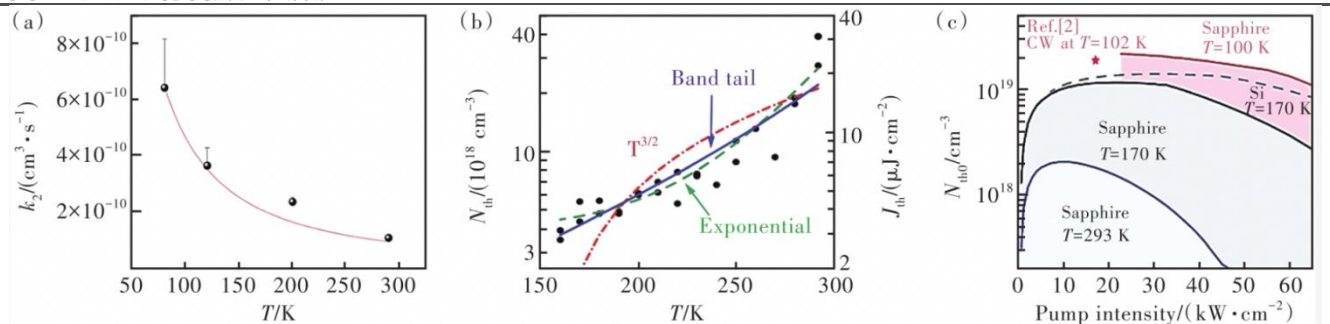
图8：钙钛矿材料激光高非辐射符合损耗



资料来源：《通向钙钛矿电泵浦激光的研究进展》，民生证券研究院

二维钙钛矿中的三重态激子复合损耗十分严重，利用不同载流子转移机制实现单重态激子与三重态激子在空间上的分离，是一种降低三重态激子复合损耗十分有效的措施。钙钛矿激光器中的热效应严重，可通过缩小器件面积、用短脉冲源激励、提高器件各功能层导电性、引入高散热电极等方法，缓解其中的热效应问题。

图9：钙钛矿材料激光热效应



资料来源：《通向钙钛矿电泵浦激光的研究进展》，民生证券研究院

针对钙钛矿电注入型发光器件中还面临电荷注入不平衡、光学损耗高、增益能力不足等问题，通过平衡电荷注入、降低光学损耗、促进粒子数反转等策略，有助于钙钛矿电泵浦激光器件性能的提升。

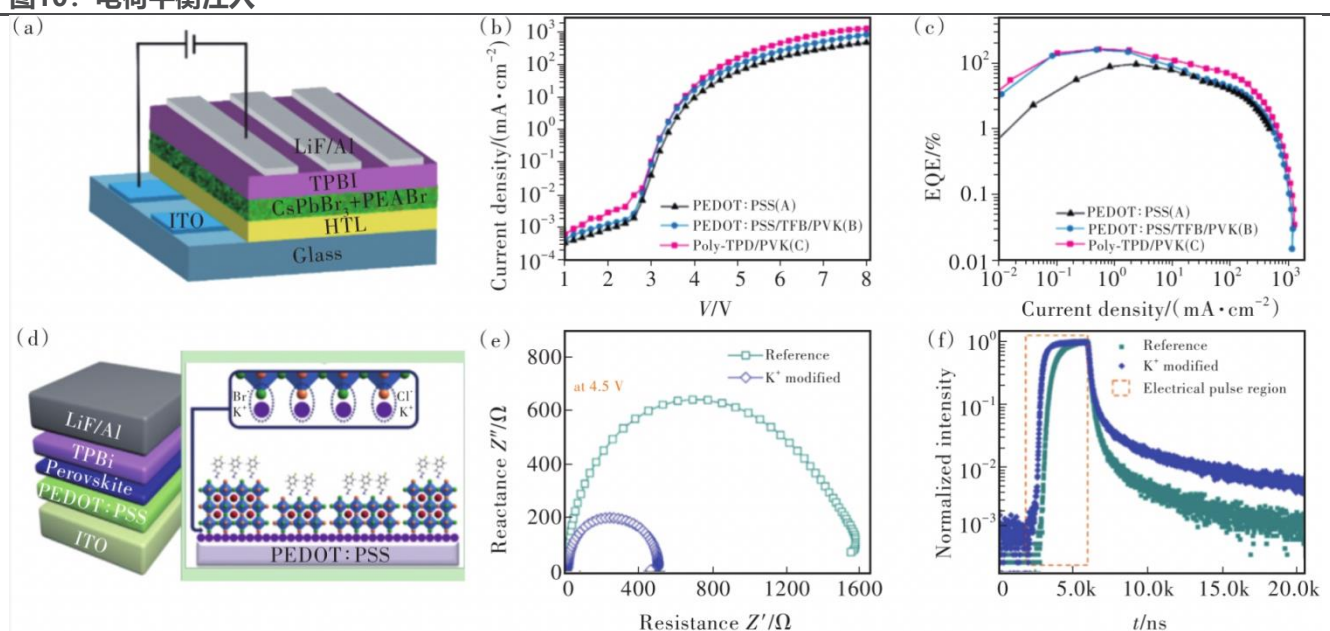
电荷平衡注入：

典型的电注入结构是由阳极、空穴传输层（HTL）、钙钛矿层、电子传输层

(ETL) 和阴极堆叠构成。理想的电注入效果是使载流子平衡、高效地注入至钙钛矿层中发生复合，当电子与空穴的注入不平衡时，具有低注入效率的那类载流子会在靠近钙钛矿与其传输层的界面处发生积聚，加剧非辐射复合损耗与器件升温。

注入平衡电荷，钙钛矿纳米晶的表面粗糙度也得到改善，明显降低了器件的漏电流，最终带来器件发光性能的显著改善。

图10：电荷平衡注入



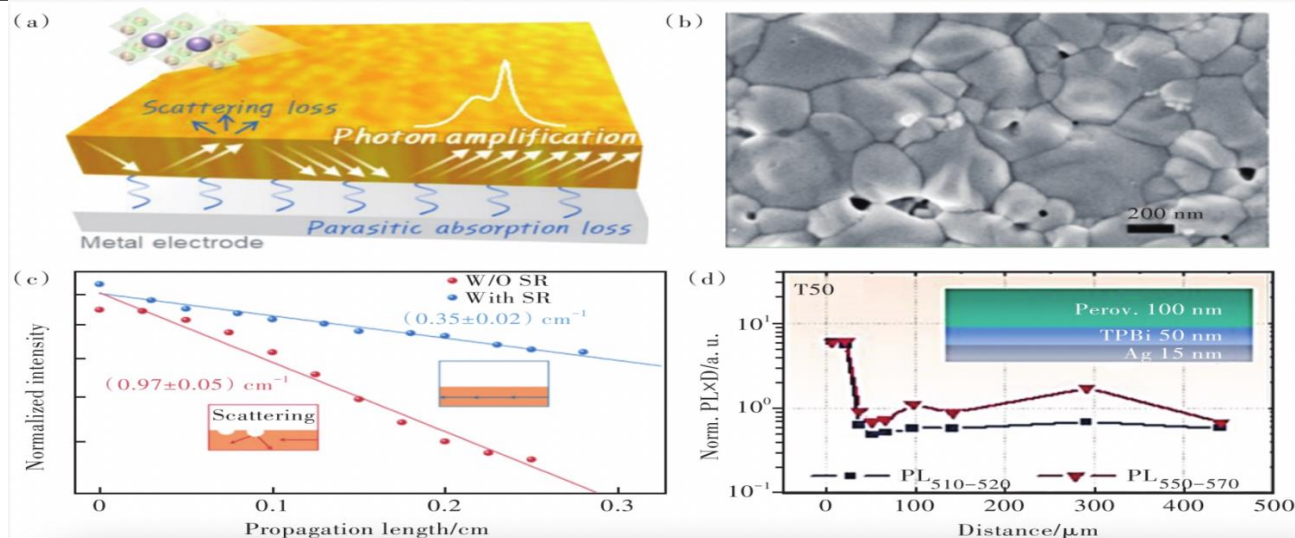
资料来源：《通向钙钛矿电泵浦激光的研究进展》，民生证券研究院

降低光学损耗：

在钙钛矿激光器件中，具有光滑表面的钙钛矿样品可以有效抑制光散射，提高器件的净增益。广泛使用的溶液旋涂法制备出的钙钛矿薄膜粗糙度比较高，且不可避免地出现针孔，引发相对严重的光散射损耗，不利于激光的实现。

适当增加波导光限制能力或者利用小接触面积的纳米结构电极，可以降低电极寄生吸收损耗。超快的逐级载流子转移弱化了缺陷对载流子的俘获效果，带来了器件净增益的提高，最终降低了激光阈值。

图11：降低光学损耗

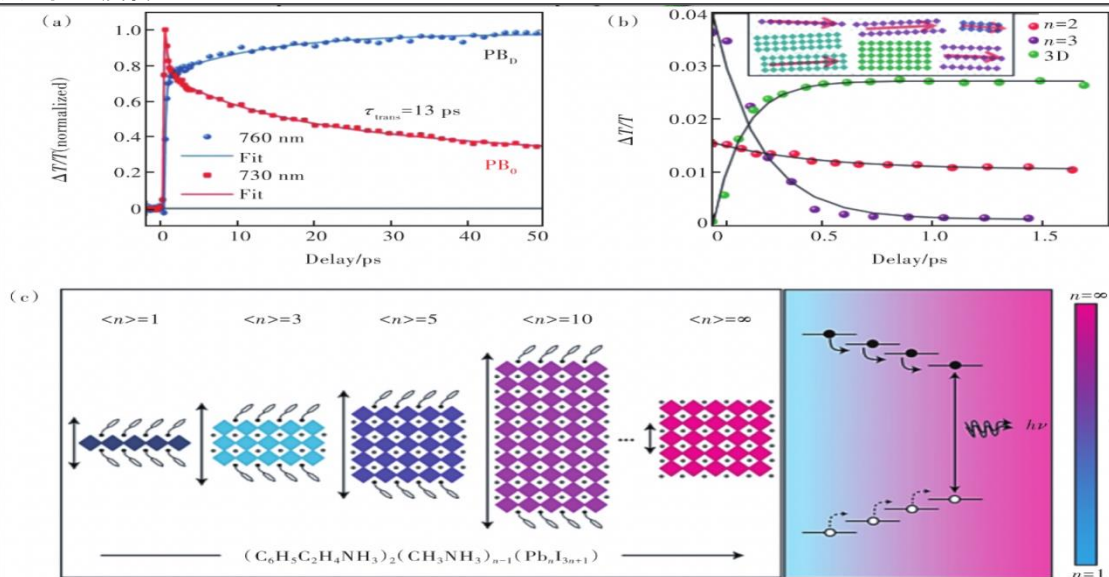


资料来源：《通向钙钛矿电泵浦激光的研究进展》，民生证券研究院

促进粒子数反转：

钙钛矿材料中存在一些新奇的载流子转移机制，对其加以利用，可提升局部激发态密度，促进粒子数反转。

图12：促进粒子反转



资料来源：《通向钙钛矿电泵浦激光的研究进展》，民生证券研究院

2.2 钙钛矿电池激光工艺

钙钛矿电池制作工艺中空穴传输层、钙钛矿薄膜层、电子传输层制备较为关键，其中涂布机、PVD、RPD、激光设备为核心设备。

图13：钙钛矿电池制作工序及工艺



资料来源：材新社，民生证券研究院

激光划线和清边是钙钛矿制备过程中的必须工序。在形成钙钛矿电池的串联结构时需要针对不同膜层在不同的位置进行划线。功能层的划线可以通过掩模版、化学蚀刻、机械或者激光划线完成。激光划线可以产生更细的划线区域，目前激光划线已逐渐取代其他划线方法成为主要的划线方法，同时激光设备还可以应用于钙钛矿的膜层清除工序环节。

钙钛矿电池制备工艺中的激光工艺：

P1 工艺：通过激光设备分割底部的 TCO 衬底。在导电玻璃电极 TCO 层制备完成后，在制备空穴传输层、钙钛矿层和电子传输层之前通过激光设备进行划线，形成相互独立的 TCO 衬底。激光划线 P2 工艺：划开空穴传输层、钙钛矿层和电子传输层；

P2 工艺：目的是露出 TCO 衬底，为连接相邻两节子电池的正负电极提供通道。完成空穴传输层、钙钛矿层和电子传输层制备之后，通过激光设备刻蚀空穴传输层、钙钛矿层和电子传输层，暴露出 TCO 层，从而在下一步电极蒸镀过程中能够让子电池之间的正负极相互连接；

P3 工艺：去除部分功能层以分割相邻子电池的正极。P3 工艺需要在蒸镀完电极后进行，本道工艺使用激光设备刻蚀部分电极，从而将子电池之间分离。为了保证不损伤 P2 层，本道工艺对激光设备加工精度要求较高。

激光清边 P4 工艺：封装前的清理工艺。激光清边是指利用激光技术清除电池边缘的沉积膜，而本工艺相对较为成熟，同样可以应用于薄膜电池。过往技术难点在于采用近红外激光进行一次清边，即一次性去除所有功能层的待去除边缘，该方法的效率较高但是会产生膜层侧边互熔问题，从而导致短路，影响电池的效率 and 可靠性。业内已研发出两次清边法分别切除前电极和背电极的待去除边缘，避免互熔问题。

图14：钙钛矿模组结构示意图



资料来源：《钙钛矿太阳能电池的产业化进程与展望》，民生证券研究院

3 钙钛矿激光设备厂商布局情况

钙钛矿光伏电池目前依然处于试验阶段，激光设备厂商积极布局，取得量产订单。与头部厂家的前期研发阶段的深度合作，能够为设备厂商构建先发优势。

表2：钙钛矿激光设备厂商布局情况

公司	设备及进展
德龙激光	钙钛矿电池激光刻蚀设备：目前设备已投入客户量产线使用，率先实现百兆瓦级规模化量产。
帝尔激光	钙钛矿电池激光设备：用于 TCO 层、钙钛矿层、电极层的钙钛矿电池激光设备。
杰普特	钙钛矿激光膜切设备：公司为江苏大正微纳科技有限公司定制首套柔性钙钛矿膜切设备，通过验收并正式投入生产使用。
大族激光	钙钛矿激光刻划设备：公司在钙钛矿技术领域自主研发的钙钛矿激光刻划设备 2015 年已实现量产销售，大尺寸整线激光刻划设备已在钙钛矿头部企业交付。
众能光电	钙钛矿激光划线刻蚀设备：2021 年已出货钙钛矿激光划线刻蚀设备 50 台套。
迈为股份	单结大面积钙钛矿电池激光设备：2021 年为客户定制的单结大面积钙钛矿电池激光设备已交付、钙钛矿设备处于研发阶段。

资料来源：蓝筹企业评论，民生证券研究院

3.1 德龙激光

国内激光精细微加工头部厂商。德龙激光聚焦于精密激光加工设备及激光器的研发、生产、销售，并为客户提供激光设备租赁和激光加工服务。2020 年中国大陆泛半导体激光设备销售额排名第三，市场占有率 15%；2016-2020 年中国大陆主要面板厂的激光切割类设备数量排名第三，市场占有率 12%；2020 年，国产纳秒紫外激光器的出货量为 21,000 台，国产皮飞秒超快激光器出货量为 2,100 台，德龙激光 2020 年纳秒紫外激光器的出货量为 683 台，市场占有率 3.25%，皮飞秒超快激光器出货量为 235 台，市场占有率 11.19%。

公司首套钙钛矿薄膜太阳能电池生产整段设备（包括 P0 激光打标设备，P1、P2、P3 激光划线设备及 P4 激光清边设备）2022 年已交付客户并投入使用，为客户在国内率先实现百兆瓦级规模化量产提供了助力。目前公司正在开发针对钙钛矿薄膜太阳能电池的新一代生产设备，对设备的加工幅面、生产效率等都进行了迭代升级。公司也一直在配合头部客户的新工艺开发，并不断开拓新客户。

图15：德龙激光薄膜激光蚀刻设备



图16：德龙激光精细微综合加工设备



资料来源：德龙激光招股说明书，民生证券研究院

资料来源：德龙激光招股说明书，民生证券研究院

3.2 帝尔激光

光伏激光设备领军企业。帝尔激光成立于 2008 年，公司主营业务为精密激光加工解决方案的设计及其配套设备的研发、生产和销售。公司主要产品包括 PERC 激光消融设备、SE 激光掺杂设备、MWT 系列激光设备、全自动高速激光划片/裂片机、LID/R 激光修复设备、激光扩硼设备等激光设备。同时公司正在积极研发高端消费电子、新型显示和集成电路等领域的激光加工设备。

图17：帝尔激光主要激光产品



资料来源：帝尔激光官网，民生证券研究院

表3：帝尔激光产品及使用场景

产品	用途及特点
激光消融设备	该激光系统用于 PERC 电池背钝化量产线，采取激光消融电池背面的钝化膜，可提供在线或离线两种生产方式；可提供两激光、三激光、四激光等多种生产方式，从而实现低产能至高产能的全面化覆盖。
激光掺杂设备	激光系统用于磷掺杂选择性扩散工艺，可支持离线或在线两种生产方式；该支持 AOI 检测、硅片翻面、方阻检测等功能扩展。
激光打孔设备	全自动卷对片激光加工系统，对比传统设备可节省 50%人力成本；针对薄膜打孔自主研发的激光加工系统，加工效率大幅提升，可满足客户不同的切割需求；支持金属或非金属等多种薄膜材料的激光加工。
激光划片设备	设备布局简单稳定：采用线性传递及在线加工；减少搬运次数及设备复杂程度，提高稳定性；在线快速裂片：可实现在流水线上快速裂片及分离；裂片结构通用：裂片快速变换，即可快速在 1 分 2 与 1 分 N 之间切换；兼容/拓展性极强：单机运行&可升级集中供料、离线料盒&在线片传；后期可升级在线片传对接串焊机、在线盒传，或对接 AGV、集中供料等方式。
激光修复设备	用于电池片抗光衰工艺，使太阳能电池具备抗光照衰减的能力，降低太阳能电池在使用过程中由于光照引起的功率损失；支持离线或在线式生产方式可选，并能兼容 156-230 尺寸硅片的激光加工，生产灵活性高，兼容性强；硅片传输全部采用带线性传递，避免了机械手搬运带来的故障报警，设备稳定性和稼动率极高。

资料来源：帝尔激光官网，民生证券研究院

钙钛矿的膜层往上依次为 TCO 层、钙钛矿层、电极层，公司激光在每一层都有相应的应用，同时，公司还考虑在边绝缘上的应用。公司一直保有钙钛矿激光技术储备，2022 年公司已有钙钛矿工艺设备订单的交付。

公司的 TOPCon SE 激光硼掺杂设备精度高、损伤小，掺杂曲线可以根据客户前后道工艺自由优化，在提高光电转换效率方面成效显著；且一次掺杂工艺流程简单、能耗低、耗时短，无需化学清洗工艺，经济效益优势明显，为 TOPCon 电池降本增效发挥关键作用。

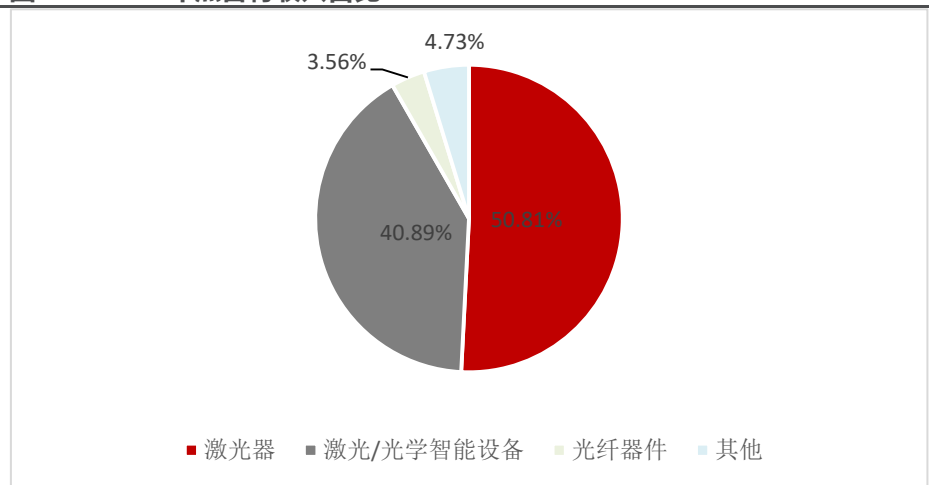
3.3 杰普特

国内首家商用“MOPA 脉冲光纤激光器”生产制造商。杰普特主营业务为研发、生产和销售激光器以及主要用于集成电路和半导体光电相关器件精密检测及微加工的智能装备。公司是中国首家商用“脉宽可调高功率脉冲光纤激光器（MOPA 脉冲光纤激光器）”生产制造商和领先的光电精密检测及激光加工智能装备提供商。公司主要产品包括激光器、激光/光学智能装备和光纤器件。公司的激光器产品包括脉冲光纤激光器、连续光纤激光器、固体激光器和超快激光器等。公司自主研发的 MOPA 脉冲光纤激光器在国内率先实现了批量生产和销售，填补了国内该领域的技术空白。

光伏激光技术水平再创新高，TOPCon 电池 SE 掺硼激光光源批量出货。继

研制成功世界首台钙钛矿激光膜切机之后，杰普特利用自身激光光源研发优势在光伏行业再创佳绩。2022 年杰普特实现 TOPCon SE 激光一次硼扩的激光光源研发并完成交付，为光伏行业头部设备商客户提供高效的激光硼掺杂解决方案。杰普特新研激光器可实现近无损、高效率掺杂，能有效提高电池效率。未来，随着杰普特激光技术的持续发展，优异的激光方案将提升激光 SE 硼掺杂的渗透率，有望成为 TOPCon 高效产线标配工艺。

图18：2021 年杰普特收入占比



资料来源：wind，民生证券研究院

3.4 大族激光

大族激光是国内激光行业规模最大的厂商之一，已交付激光刻划设备。大族激光是一家提供激光、机器人及自动化技术在智能制造领域的系统解决方案的高端装备制造企业，业务涉及消费电子、PCB、动力电池、光伏、半导体等多个下游行业，未来，公司将坚持“基础器件技术领先，行业装备深耕应用”的发展战略，加大对基础器件和行业专用设备的研发和投入，不断强化和确立公司在相关产品市场的主导地位，推动公司业务实现持续高质量增长。

公司 2007 年进入薄膜电池行业从事研发、生产和销售，公司激光设备在该领域国内市占率一直位于市场前列，在钙钛矿电池行业几家龙头、前沿研究机构均取得激光设备的交付销售，及大尺寸激光加工设备的整线交付。

4 风险提示

- 1) **钙钛矿电池稳定性验证进展不及预期。**钙钛矿电池长期使用的稳定性仍在验证，如果钙钛矿的稳定性无法实现突破，将影响钙钛矿组件的经济性。
- 2) **大面积钙钛矿组件进展不及预期。**钙钛矿组件面积扩大后将产生材料不均匀的问题，影响组件效率。如果无法在保证效率稳定的前提下扩大面积或将对钙钛矿产业化进展造成影响。

插图目录

图 1: 最典型的杂化钙钛矿 MAPbI ₃ 的晶体结构	3
图 2: 钙钛矿电池结构示意图	3
图 3: 钙钛矿电池发电原理示意图	4
图 4: 不同电池理论转换效率	5
图 5: 叠层钙钛矿理论转换效率	5
图 6: 杭州纤纳光电制备的面积约为 800 cm ² 商业化钙钛矿模组照片	5
图 7: 激光器光学原理示意图	6
图 8: 钙钛矿材料激光高非辐射符合损耗	7
图 9: 钙钛矿材料激光热效应	7
图 10: 电荷平衡注入	8
图 11: 降低光学损耗	9
图 12: 促进粒子反转	9
图 13: 钙钛矿电池制作工序及工艺	10
图 14: 钙钛矿模组结构示意图	11
图 15: 德龙激光薄膜激光蚀刻设备	13
图 16: 德龙激光精细微综合加工设备	13
图 17: 帝尔激光主要激光产品	13
图 18: 2021 年杰普特收入占比	15

表格目录

表 1: 钙钛矿电池优势	4
表 2: 钙钛矿激光设备厂商布局情况	12
表 3: 帝尔激光产品及使用场景	14

分析师承诺

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并登记为注册分析师，基于认真审慎的工作态度、专业严谨的研究方法与分析逻辑得出研究结论，独立、客观地出具本报告，并对本报告的内容和观点负责。本报告清晰准确地反映了研究人员的研究观点，结论不受任何第三方的授意、影响，研究人员不曾因、不因、也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

评级说明

投资建议评级标准		评级	说明
以报告发布日后的 12 个月内公司股价（或行业指数）相对同期基准指数的涨跌幅为基准。其中：A 股以沪深 300 指数为基准；新三板以三板成指或三板做市指数为基准；港股以恒生指数为基准；美股以纳斯达克综合指数或标普 500 指数为基准。	公司评级	推荐	相对基准指数涨幅 15%以上
		谨慎推荐	相对基准指数涨幅 5% ~ 15%之间
		中性	相对基准指数涨幅-5% ~ 5%之间
		回避	相对基准指数跌幅 5%以上
	行业评级	推荐	相对基准指数涨幅 5%以上
		中性	相对基准指数涨幅-5% ~ 5%之间
		回避	相对基准指数跌幅 5%以上

免责声明

民生证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。

本报告仅供本公司境内客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。本报告仅为参考之用，并不构成对客户的投资建议，不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要，客户应当充分考虑自身特定状况，不应单纯依靠本报告所载的内容而取代个人的独立判断。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容而导致的任何可能的损失负任何责任。

本报告是基于已公开信息撰写，但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的资料、意见及预测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，且预测方法及结果存在一定程度局限性。在不同时期，本公司可发出与本报告所刊载的意见、预测不一致的报告，但本公司没有义务和责任及时更新本报告所涉及的内容并通知客户。

在法律允许的情况下，本公司及其附属机构可能持有报告中提及的公司所发行证券的头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或正在争取提供投资银行、财务顾问、咨询服务等相关服务，本公司的员工可能担任本报告所提及的公司的董事。客户应充分考虑可能存在的利益冲突，勿将本报告作为投资决策的唯一参考依据。

若本公司以外的金融机构发送本报告，则由该金融机构独自为此发送行为负责。该机构的客户应联系该机构以交易本报告提及的证券或要求获悉更详细的信息。本报告不构成本公司向发送本报告金融机构之客户提供的投资建议。本公司不会因任何机构或个人从其他机构获得本报告而将其视为本公司客户。

本报告的版权仅归本公司所有，未经书面许可，任何机构或个人不得以任何形式、任何目的进行翻版、转载、发表、篡改或引用。所有在本报告中使用的商标、服务标识及标记，除非另有说明，均为本公司的商标、服务标识及标记。本公司版权所有并保留一切权利。

民生证券研究院：

上海：上海市浦东新区浦明路 8 号财富金融广场 1 幢 5F；200120

北京：北京市东城区建国门内大街 28 号民生金融中心 A 座 18 层；100005

深圳：广东省深圳市福田区益田路 6001 号太平金融大厦 32 层 05 单元；518026