

追风逐光系列三：钙钛矿电池如何引领光伏技术迭代

电气设备

评级：看好

日期：2024.11.14

分析师 蔡紫豪

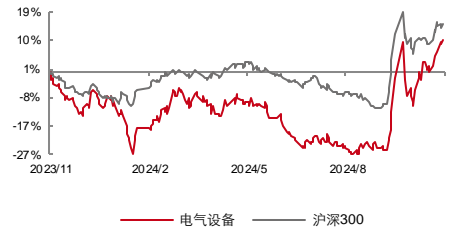
登记编码：S0950523070002

☎：0755-23375705

✉：caizihao@wzq.com.cn

行业表现

2024/11/13



资料来源：Wind，聚源

相关研究

- ▶ 《暖风起，锂电产业蓄势中》(2024/11/13)
- ▶ 《24Q3 锂电材料行业趋势：量价抵抗逐步显现，当前如何看待行业拐点？》(2024/11/12)
- ▶ 《绿电反转需关注碳排放双控政策进展——电力行业 24Q3 总结》(2024/11/12)
- ▶ 《攻守兼备，海内外电网投资增势持续——电网行业 24Q3 总结》(2024/11/12)
- ▶ 《储能企业出海迎来收获期——储能行业 24Q3 总结》(2024/11/12)
- ▶ 《碳市场趋势跟踪（202410）：全国碳市场履约临近，碳价站稳百元》(2024/11/8)
- ▶ 《可再生能源替代行动指导意见出台，中国将坚定推动能源转型》(2024/11/6)
- ▶ 《《关于做好 2023、2024 年度发电行业全国碳排放权交易配额分配及清缴相关工作的通知》点评：明确发电行业碳配额结转政策，履约周期变成“一年一履约”》(2024/10/25)
- ▶ 《光伏协会呼吁组件良性中标，底价竞争囚徒困境或打破》(2024/10/24)
- ▶ 《碳市场月报（202409）：钢铁、水泥、电解铝三大行业纳入全国碳市场，市场活跃度有望进一步提升》(2024/10/15)

报告要点

相比晶硅，钙钛矿转化效率天花板更高，量产成本更低。钙钛矿单节/叠层电池理论转化效率达到 33%和 45%，相比晶硅电池具备更高的天花板；成本方面，我们预计钙钛矿单节组件远期成本在 0.5~0.6 元/W，明显低于晶硅组件，可以显著降低光伏发电度电成本，是未来光伏技术的重点发展方向。目前钙钛矿电池产业化应用还在早期阶段，但是晶硅和非晶硅企业纷纷入局，各路资本也相继进入，产业化进程受到市场广泛关注。

钙钛矿目前还处于早期阶段，需要解决稳定性及工艺问题实现规模化量产。目前钙钛矿产业化还处于前期，企业产线还在小试/中试阶段，寿命（稳定性）和转化效率是钙钛矿产业化的主要阻力，需要各膜层材料以及工艺的相互配合提高产品稳定性。其中，阻水阻气材料、提高稳定性的添加剂、钝化膜层以及相关设备是产业化推进的重要核心，上述环节的突破会解决行业矛盾，加速产业化推进，分布式光伏以及 2C 端产品的包容性会率先成为钙钛矿电池的应用场景。

相比单节电池，叠层电池效率更高，硅钙四端叠产业化更快，硅钙两端叠是中期解决方案，全钙钛矿叠层是终极方案。钙钛矿效率需要持续提升，除材料性能推进外，叠层电池的提效作用更为明显。四端叠电池工艺相对简单，且叠加的钙钛矿层可以为晶硅电池实现效率增益，可能率先实现产业化应用，四端叠技术也可能是 TOPCON 电池提效的不错手段；两端叠电池工艺复杂但是电池结构简化，更适合 HJT 类型电池的叠加，但也有较多企业开始尝试 TOPCON 的两端叠电池技术。全钙钛电池由于更高的转化效率和低成本，可能是钙钛矿电池的终极解决方案。

非晶硅企业拓荒钙钛矿，晶硅企业随后入局，或出现企业整合。以协鑫光电、纤纳光电、极电光能、宁德时代等为代表的非晶硅企业是钙钛矿电池的拓荒者，他们加速了钙钛矿电池的产业发展，也希望通过这一新技术入局光伏行业；而传统晶硅企业发展钙钛矿在时间线上略晚，他们更重视两端叠技术的发展对晶硅电池带来的提效作用。非晶硅企业在资金上处于劣势，加速四端叠钙钛矿电池发展是不错的战略选择，可以加速现金循环；晶硅企业也会期待叠层电池对晶硅电池提效降本的作用，因此可能会采取收购的方式快速吸收优秀非晶硅钙钛矿企业，从而加速行业整合。

叠层电池是晶硅及非晶硅企业协作的交集。虽然晶硅和钙钛矿在技术上是竞争关系，非晶硅企业与晶硅企业有竞争和合作的因素在，但是可见的未来中，合作关系更为明显，因为实现钙钛矿的产业化应用是两者共同的目标。

风险提示：

- 1、光伏行业竞争加剧，盈利压力下会减缓新技术的发展；
- 2、钙钛矿技术无法突破稳定性问题，达不到晶硅光伏度电成本的水平。

内容目录

一、光伏钙钛矿发展空间广阔	4
1.1 钙钛矿简介.....	4
1.2 相比晶硅，钙钛矿效率和成本空间更为广阔.....	6
1.3 钙钛矿的材料稳定性是产业化的最大阻碍.....	7
二、钙钛矿赶超晶硅路径	9
2.1 晶硅与钙钛矿 LCOE 的对比.....	9
2.2 钙钛矿寿命提升路径.....	10
2.3 钙钛矿效率提升方式.....	11
三、钙钛矿可能会改变光伏竞争格局	15
3.1 钙钛矿的参与者及进展.....	15
3.2 两类参与者的博弈方式以及可能的结果.....	17
四、结论与建议	18
4.1 结论.....	18
4.2 建议.....	18
风险提示	18

图表目录

图表 1: 主要光伏电池技术转化效率演进.....	4
图表 2: 钙钛矿材料分子结构 ABX_3	5
图表 3: 钙钛矿电池的结构.....	5
图表 4: 钙钛矿电池结构.....	6
图表 5: 晶硅电池效率已经接近极限.....	6
图表 6: 钙钛矿与晶硅电池对比.....	7
图表 7: 影响钙钛矿稳定性的因素.....	7
图表 8: 钙钛矿电池寿命较短.....	8
图表 9: 钙钛矿转化效率与面积呈现反向相关.....	8
图表 10: 金属电极离子迁移对钙钛矿稳定性的影响及解决方案	9
图表 11: 钙钛矿成本构成及预测 (元/W)	10
图表 12: 钙钛矿与晶硅电池对比.....	10
图表 13: 钙钛矿稳定性决定因素.....	11
图表 14: 主要镀膜技术对比.....	11
图表 15: 钙钛矿带隙宽，可吸收短波高能光子.....	12
图表 16: 钙钛矿电池效率提升更快.....	12
图表 17: 钙钛矿提效方式.....	12
图表 18: 叠层电池受光原理.....	12
图表 19: 钙钛矿单节与叠层电池性能对比.....	13
图表 20: 叠层两端叠层电池.....	13
图表 21: 叠层四端叠层电池.....	13
图表 22: 四端叠层电池经济性测算.....	13

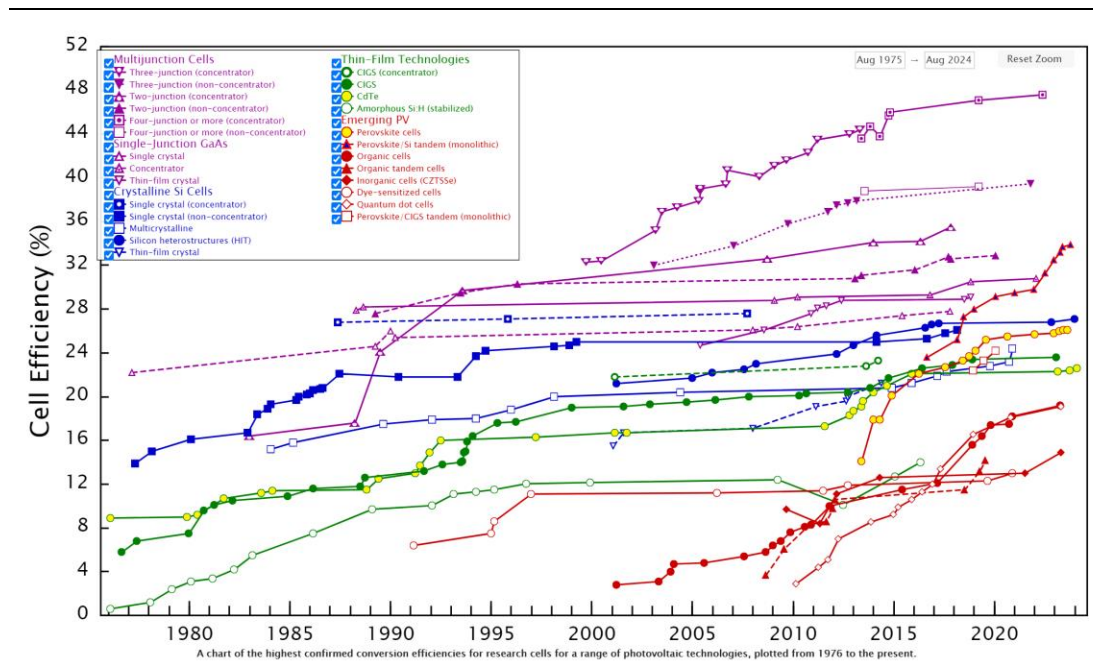
图表 23: 硅钙两端叠结构.....	14
图表 24: 全钙钛矿叠层电池结构.....	15
图表 25: 钙钛矿电池出货预测 (GW)	15
图表 26: 钙钛矿电池市场空间预测 (亿元)	15
图表 27: 钙钛矿电池发展.....	16
图表 28: 非晶硅钙钛矿企业进展.....	16
图表 29: 晶硅企业在钙钛矿的进展.....	17
图表 30: 资本市场融资依然紧张 (亿元)	17
图表 31: 钙钛矿企业的竞争关系.....	18

一、光伏钙钛矿发展空间广阔

1.1 钙钛矿简介

光伏电池一共经历了三代技术：1) 第一代晶硅电池技术，以硅为基础制结形成，即我们所熟知的BSF、PERC、TOPCON、HJT、BC等电池技术；2) 第二代薄膜电池技术，以铜铟镓硒(CIGS)、碲化镉(CdTe)和砷化镓(GaAs)等材料为代表。薄膜电池技术由于效率低、成本高(单GW投资20亿以上，目前占比不足5%)，无法与晶硅电池性能媲美；3) 第三代是以钙钛矿太阳能电池为主导的有机太阳能电池等，近年发展非常迅速，有望成为超越晶硅电池的新一代光伏电池技术。

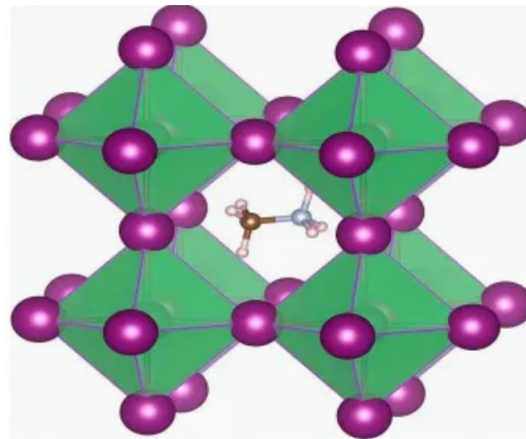
图表 1：主要光伏电池技术转化效率演进



资料来源：NREL，五矿证券研究所

钙钛矿电池是由分子式为 ABX_3 的钙钛矿材料构成的，其分为无机氧化物钙钛矿和卤族化合物钙钛矿，后者具备优异的载流子扩散距离、荧光量子效率和载流子迁移率等优势，且禁带宽度可以调节，这些性能特点适合其应用于光伏领域，目前光伏领域最常用的钙钛矿材料是 $CH_3NH_3PbI_3$ (A 表示 Cs^+ 、 $CH_3NH_3^+$ 或 $CH(NH_2)_2^+$ ；B 表示 Sn^{2+} 或 Pb^{2+} ；X 表示 Cl^- 、 Br^- 或 I^-)。

图表 2: 钙钛矿材料分子结构 ABX₃

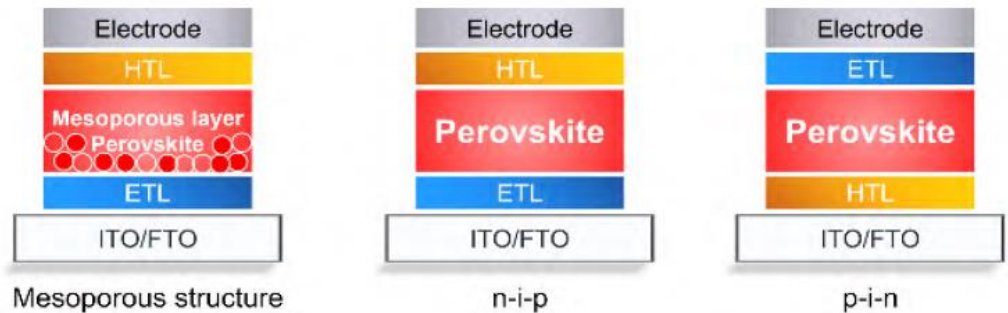


- 碘化铅八面体主导的电子结构
 - 直接带隙(1.2-2.5 eV)
 - 强吸收(10cm)
 - 微米级扩散长度
 - 弱激子结合能:电子-空穴易于分离
 - 缺陷容忍度高
- 极具可塑性的钙钛矿型晶体结构
 - 组分可调
 - 可溶液加工

资料来源: 隆基绿能, 五矿证券研究所

钙钛矿电池结构主要分为三类: 介孔 n-i-p 型、平面 n-i-p 型和平面 p-i-n 型。1) 介孔结构, 介孔结构可以支撑钙钛矿层的生长, 提升钙钛矿层与电子传输层的接触面积, 进而有利于载流子的传输, 介孔型器件表现出更佳的器件性能然而介孔层的制备需要高温锻烧, 不便于工业化的生产。2) 平面结构, 可以低温制备, 适合应用于光伏领域进行大面积制备。平面 n-i-p 型和平面 p-i-n 型的差异在于结构完全相反。

图表 3: 钙钛矿电池的结构



资料来源: 《大面积钙钛矿太阳能电池制备方法综述》梁振群等, 五矿证券研究所

单节钙钛矿电池核心膜层有 5 层, 导电基底、空穴传输层、钙钛矿层、电子传输层、背电极, 加上封装胶膜和玻璃就完成了组件的生产。

- 1、透明导电基底 (TCO 玻璃): 常见 TCO 玻璃材料主要是 ITO、FTO 和 AZO, 其导电材料不同, 制作方法也不同: 1) ITO, 为掺锡氧化铟, 技术成熟、透光性、导电性良好, 但是需要金属铟, 成本高, 常采用 PVD 方式制作 2) FTO, 掺氟二氧化锡, 导电性稍差, 但成本低, 多用于光伏薄膜电池, 主要采用 CVD 的方法 3) AZO, 掺铝氧化锌, 具备良好的透光性及导电性, 且价格便宜, 但量产难度较大, 工艺流程尚存在一些问题, 主要采用 PVD 方法制作。
- 2、电子传输层 (ETL): ETL 用于接收钙钛矿层传输的电子并输送到电极, 同时阻止空穴传输, 因此需要和活性层能带匹配且接触优良, 降低电子传输势垒; 目前 n-i-p 结构主要用 TiO₂、SnO₂、ZnO 等金属氧化物, 而 p-i-n 则选择有机材料富勒烯及衍生物。
- 3、钙钛矿层: 电池核心层, 薄膜质量决定光子的吸收、解离与运输, 常用材料为 FAPbI₃ (或 MAPbI₃), 其中 FAPbI₃ 具备优异光电性能与较小的离子迁移率, A 位有机的杂化钙钛矿相较于无机综合性能良好运用广。

4、空穴传输层 (HTL): 同 ETL 层一样, 钙钛矿层产生的空穴将传输至 HTL 再向 TCO 层输送, 也需要优质接触性能; n-i-p 结构材料是有机小分子与无机材料 Spiro-OMeTAD、NiO、CuO、P3HT 等, 而 p-i-n 中常使用有机聚合物 PTAA。

5、顶电极: 接受并传输电子, 材料导电性需优良, 如金属材料: 金、银、铜, 与非金属材料: 碳等, 同时也可以 TCO 做双面发电结构。

图表 4: 钙钛矿电池结构

结构	工艺	材料
玻璃		光伏玻璃
POE 胶膜	封装	POE+丁基胶
背电极	PVD	金属材料: 金、银、铜或非金属材料: 碳等。
电子传输层	RPD/ALD	目前 n-i-p 结构主要用 TiO ₂ 、SnO ₂ 、ZnO 等金属氧化物, 而 p-i-n 则选择有机材料富勒烯及衍生物 PCBM、C60。
钙钛矿层	涂布/蒸镀/喷墨打印	常用材料为 FAPbI ₃ 或 MAPbI ₃
空穴传输层	PVD/涂布	n-i-p 结构材料是有机小分子与无机材料 Spiro-OMeTAD、NiO、CuO、P3HT 等, 而 p-i-n 中常使用有机聚合物 PTAA。
TCO 玻璃	TCO 玻璃	常用刚性基底是透明导电玻璃掺杂氟氧化锡 (FTO) 与氧化铟锡 (ITO)。

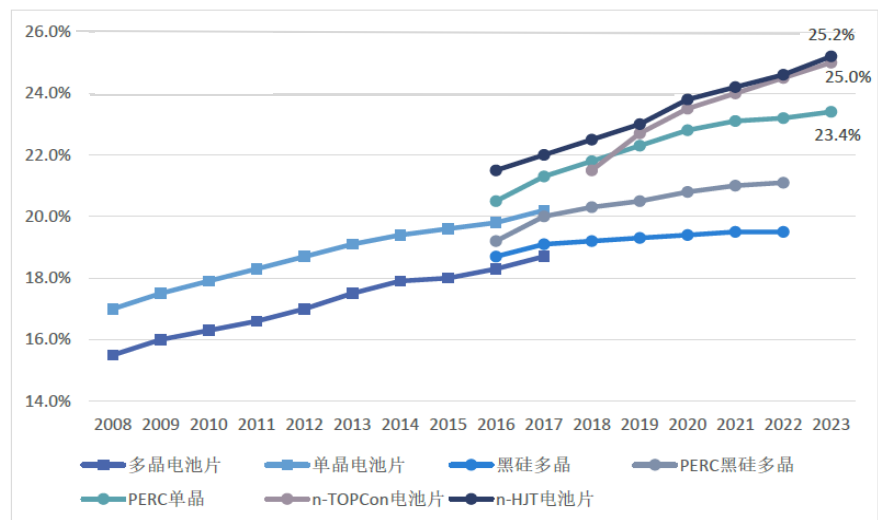
资料来源: 协鑫光电, 中国国际科技促进会, 五矿证券研究所整理

1.2 相比晶硅, 钙钛矿效率和成本空间更为广阔

光伏电池趋势在于提效降本, 相比晶硅, 钙钛矿具备高效、低成本的特性。

晶硅电池转化效率目前在逐步贴近其天花板。晶硅理论效率极限在 29%, 根据 CPIA, 目前主流光伏电池技术路线已经在 26%+, 接近于理论极限。而钙钛矿单节电池理论极限在 31%, 叠层电池理论效率极限在 45%, 具备更高的提升空间。

图表 5: 晶硅电池效率已经接近极限



资料来源: CPIA, 五矿证券研究所

钙钛矿生产成本, 也具备明显优势。投资金额上, 量产后 GW 级钙钛矿组件投资额在 5 亿元 /GW 左右, 约为晶硅电池组件投资额的一半, 同时也减少了中间产品的流转过程, 缩短生产

制造工艺；制造成本上，预期量产后的钙钛矿组件价格在 0.5~0.6 元/W 的价格，接近晶硅产品的一半。

图表 6：钙钛矿与晶硅电池对比

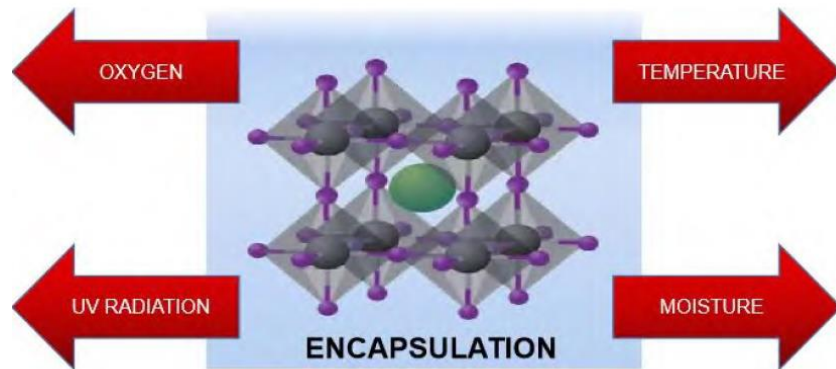
比较项目	晶硅	钙钛矿	钙钛矿是否占优势
结构	复杂	简单	✓
理论转化效率	最高：29.4%	最高：31%（单层），40-50%（叠层）	✓
工艺流程	硅料、硅片、电池、组件四个不同工厂	单一工厂	✓
原材料要求	硅料纯度 > 99.9999%	钙钛矿纯度 > 95%	✓
工艺最高温度	1700°C	150°C	✓
材料单耗	1Kg 硅/标准组件	2g 钙钛矿/标准组件	✓
生产能耗	1.52KWh/瓦晶硅组件	0.12KWh/瓦钙钛矿组件	✓
生产周期	3 天	45 分钟	✓
柔性可行性	不可行	可行	✓
单位产能投资	9~11 亿/GW	~5 亿/GW	✓
综合成本	1-1.5 元/瓦组件（晶硅占 60%）	0.5-0.6 元/瓦组件（钙钛矿仅占 5%）	✓
环境污染	18g 铅/标准组件	2g 铅/标准组件	✓
难点		大面积均匀钙钛矿薄膜的制备	×

资料来源：曼恩斯特，五矿证券研究所

1.3 钙钛矿的材料稳定性是产业化的最大阻碍

循环寿命和大面积制备是制约钙钛矿发展的重要因素，在微观结构以上，则体现为钙钛矿材料的稳定性问题。

图表 7：影响钙钛矿稳定性的因素



资料来源：《Perovskite Solar Cells Stability Factors And Encapsulaiton For Performance Enhancement》DAI Jiaqi 等，五矿证券研究所

使用寿命可能短于晶硅电池是钙钛矿面临的重要问题，晶硅电池使用寿命达到 25~30 年，目前看钙钛矿生命周期显著少于这一水平，寿命短与钙钛矿材料的性质有关，1) 光、热会影响钙钛矿材料的稳定性使其易于分解；2) 水、氧会与钙钛矿材料发生发应加速材料分解。

图表 8: 钙钛矿电池寿命较短

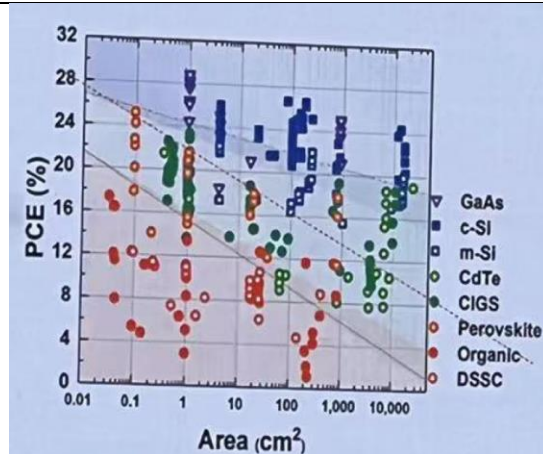
年份	论文	稳定性测试
2019	《A Eu ³⁺ -Eu ²⁺ ion redox shuttle imparts operational durability to Pb-I perovskite solar cells》Ligang Wang 等	在太阳连续照明或 85℃加热 1500 小时下, 电池分别保持了峰值 PCE 的 92%和 89%; 在最大功率点跟踪 500 小时后, 保持初始稳定 PCE 的 91%。
2021	《Intact 2D/3D halide junction perovskite solar cells via solid-phase inplane growth》Yeoun-Woo Jang 等	湿热测试(85℃&85%相对湿度)下, 电池在 1056h 后保持了 94%的初始效率, 在全光照下 1620h 后保持了 98%的初始效率。
2022	《Internal Encapsulation for Lead Halide Perovskite Films for Efficient and Very Stable Solar Cells》Yansong Ge 等	在最大功率点跟踪测量(55℃、100 mW cm ⁻² 白光照明、氮气环境)1000 小时后, 其初始 PCE 保持在 88%。
2024	《Enhanced passivation durability in perovskite solar cells via concentration-independent passivators》Sisi Wang 等	光照 2664 小时和加热 2976 小时, 电池分别保持初始 PCE 的 90%和 82%。

资料来源: 中国知网, 五矿证券研究所

钙钛矿的寿命问题, 微观结构上体现出的是稳定性。水、氧问题通过封装等方式可以较好的解决稳定性问题, 但是光、热问题需要钙钛矿材料配方的进步来解决, 钙钛矿材料的配方是企业核心壁垒。

对于钙钛矿, 生产难点在于大面积制备, 这主要与钙钛矿层结晶难度有关。钙钛矿结晶的时间很短, 但是在生产钙钛矿层的过程中, 无论涂布法还是蒸镀法, 均耗时较长, 会导致结晶度降低, 影响转化效率。

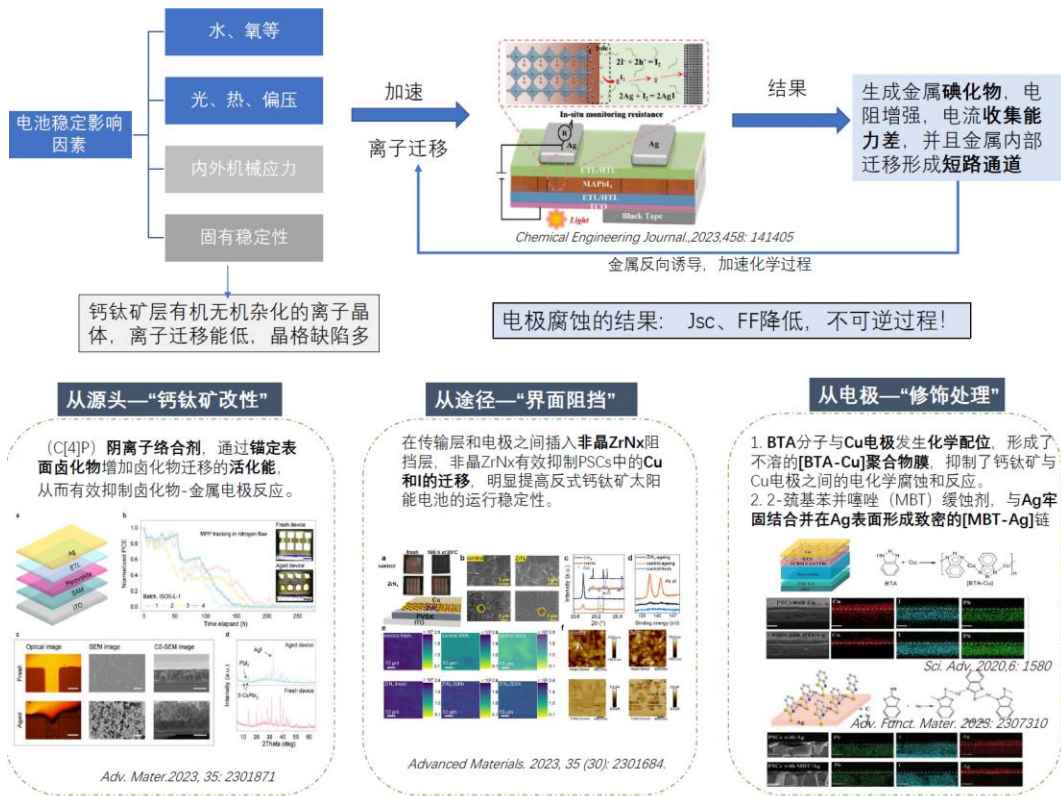
图表 9: 钙钛矿转化效率与面积呈现反向相关



资料来源: 脉络能源, 五矿证券研究所

另外, 在水氧光热等外部因素影响下, 电极材料与钙钛矿离子也会发生反应, 导致不稳定性。改进方式主要为钙钛矿材料的改性、增加钝化层阻挡离子迁移、或者对电极材料进行修改。

图表 10：金属电极离子迁移对钙钛矿稳定性的影响及解决方案



资料来源：上海电气，五矿证券研究所

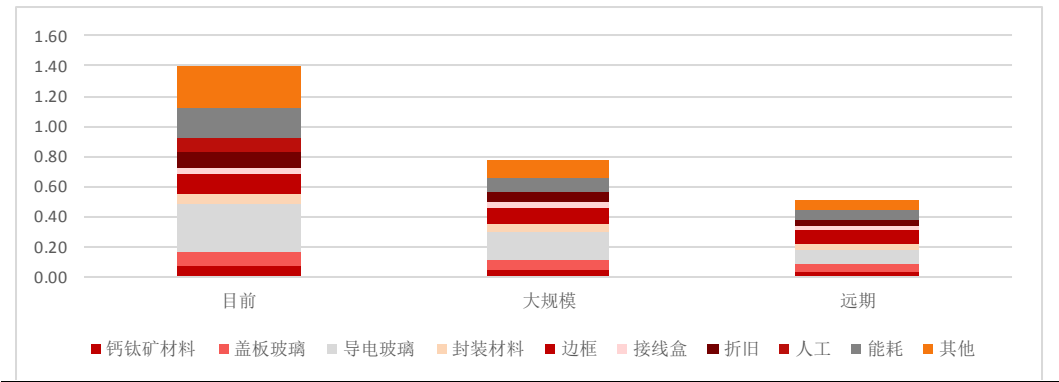
二、钙钛矿赶超晶硅路径

2.1 晶硅与钙钛矿 LCOE 的对比

晶硅组件价格已基本进入底部区间，制造端降本对降低光伏 LCOE 的贡献度越发有限，电池效率的提升成为 LCOE 降低的重要方式。钙钛矿效率提升非常快，从 2009 年的 3.8%，提升到 25.7% 的实验室效率，效率提升曲线比晶硅电池更为陡峭。协鑫光电已经量产 1 米*2 米的钙钛矿单节组件，效率达到 19.04%，钙钛矿较高的理论效率空间让钙钛矿拥有了替代晶硅电池的可能性。

目前钙钛矿成本还较高，未来会出现明显的成本下降。目前 100MW 钙钛矿组件成本约 1.4 元/W，未来规模化量产，成本降低有望降低到 0.5~0.6 元/W，相比目前晶硅 0.8~0.9 元/W 的组件成本，具备较明显的制造优势。

图表 11: 钙钛矿成本构成及预测 (元/W)



资料来源: 正点光伏, 五矿证券研究所测算

按照目前钙钛矿组件成本计算, 在 15/25 年寿命假设下, 其 LCOE 为 0.321/0.265 元/KWh, 与现有晶硅电池级相比还不具备经济性; 当钙钛矿进入 GW 级量产时, 其 15/25 年寿命下的 LCOE 为 0.285/0.238 元/kWh; 而远期实现大批量产业化应用时, 其 15/25 年度电成本为 0.265/0.224 元/W, 已经与目前晶硅组件度电成本相当, 实现对晶硅组件的替代。

图表 12: 钙钛矿与晶硅电池对比

项目	单位	TOPCON	单节-目前	单节-大规模	单节-远期
功率	W	590	314	363	413
效率		23%	19%	22%	25%
面积	平方米	2.38	1.65	1.65	1.65
单平 W 数	W/平	247	190	220	250
尺寸	mm	182	-	-	-
组件价格	元/W	0.80	1.49	0.83	0.55
BOS 成本	元/W	2.20	3.11	2.68	2.36
EPC 成本	元/W	3.00	4.60	3.51	2.91
LCOE-15y	元/kWh		0.321	0.285	0.265
LCOE-25y	元/kWh	0.226	0.265	0.238	0.224

资料来源: Taiyang News, 五矿证券研究所测算

可见, 效率、寿命是目前钙钛矿的重要制约, 这两个问题得到解决, 成本会随量产规模扩大而快速下降。

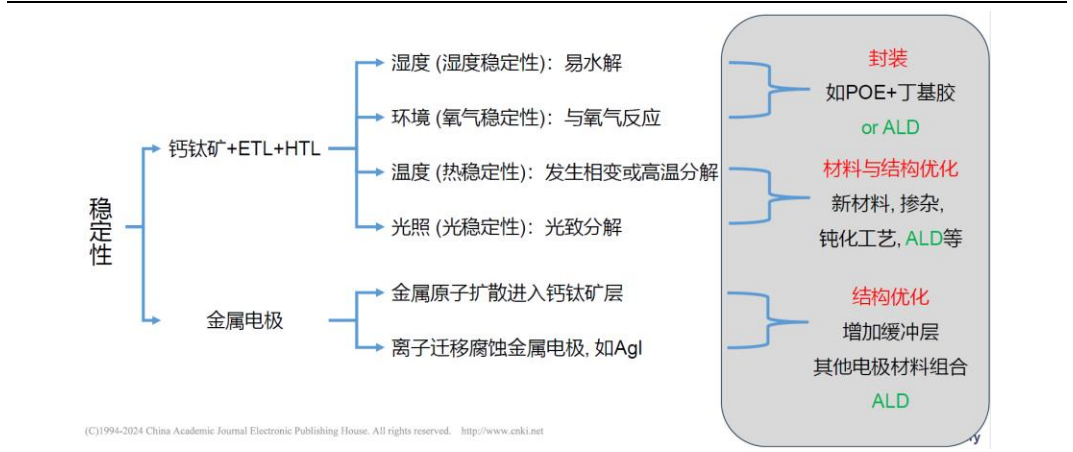
2.2 钙钛矿寿命提升路径

水汽/氧气混入组件导致钙钛矿材料分解, 可以通过严密的封装方式缓解, POE 胶膜和丁基胶可以作为封装材料良好阻挡水汽、氧气。POE 粒子已经在国产化道路上, 丁基胶还主要依赖于进口, 国产产品还有进步空间。

光: 紫外光照射是影响钙钛矿太阳能电池稳定性的另一个重要因素。钙钛矿活性层长期暴露于紫外光下会受到破坏, 导致钙钛矿层缺陷增加, 最终导致钙钛矿层降解。采用钝化膜层(钝化层在钙钛矿层两侧以形成膜层间分离)、添加剂、或过滤紫外光照可以解决这一问题。

热: 在电池工作过程中, 光和载流子运输、漏电等因素会使光伏组件的温度升高; 在未来的产业化过程中, 不同材料热膨胀系数的不匹配和运行过程中温度分布的不均匀, 将导致大面积钙钛矿太阳能电池产生不同的热应力, 导致热应力失效, 从而影响其稳定性。优化钙钛矿材料和配方可以解决这一问题。

图表 13: 钙钛矿稳定性决定因素



资料来源: 微导纳米, 五矿证券研究所

除材料配方外, 钙钛矿层、空穴层和电子传输层的制备工艺的完善也在工程上带来寿命的变化, 设备也再持续更新。

钙钛矿层目前的主流技术路线为涂布法, 蒸镀也具备发展潜力, 叠层电池也可能采用喷墨打印。狭缝涂布工艺类似锂电电极材料涂布, 将钙钛矿溶液通过涂布头均匀沉积在基底上, 属于湿法工艺, 性价比较高, 是目前单节电池制作的主流工艺, 其难点在于稳定性问题, 涂布后干燥、结晶可能出现裂纹、穿孔等问题, 导致成膜不均影响电池寿命, **主流设备厂商在干燥设备持续改进, 提升成膜率**; 蒸镀则因高精度和大面积制备优势, 在产业界也拥有些企业使用该技术; **喷墨打印主要针对叠层电池, 可以更好的缓解两端叠电池晶硅衬面问题。**

电子传输层, 主要采用 RPD/ALD 技术, 在光照下会产生空穴导致钙钛矿层分解; 空穴传输层, 主要采用 PVD 磁控溅射, 也有部分厂商采用涂布技术制作, 其可能与钙钛矿材料反应, 导致传输性能下降。因此, 需要在钙钛矿层两侧加上钝化层以减少膜层间的分解损伤, 而钝化层往往采用蒸镀/涂布工艺。

图表 14: 主要镀膜技术对比

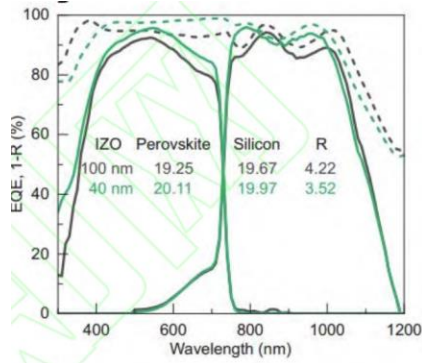
镀膜技术	PVD	RPD	ALD
沉积原理	物理气象沉积	等离子体沉积	表面饱和式反应
优点	1.沉积速度较快	1.离子能量低, 对电池损伤小;	1.薄膜厚度较薄
	2.镀膜具有单一方向	2.光透过率高, 电导率高	2.均匀性好
缺点	1.薄膜厚度较厚, 精度控制差	1.需多个靶平行放置, 影响产能	3.阶梯覆盖率好
	2.均匀性差	2.靶材利用率低, 成本较高	沉积速度较慢
	3.阶梯覆盖率差		
应用	1.方案成熟, 成本更优	1.电池转化效率更高	满足对薄膜厚度、精度的更高要求
	2.等离子轰击造成电池性能下降	2.量产难度较大, 生产效率较低	

资料来源: 前瞻产业研究院, 五矿证券研究所

2.3 钙钛矿效率提升方式

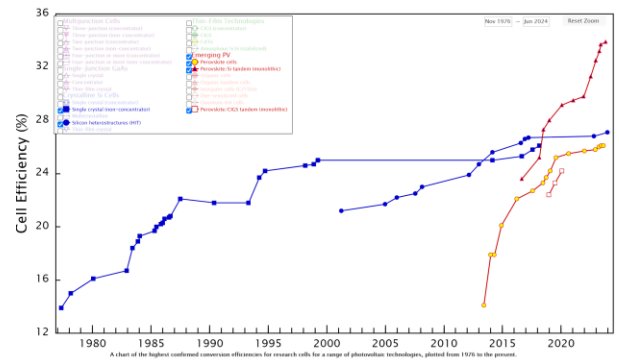
光伏发电过程是光电转化, 其提高转化效率的方式是 1) 减少光学损失; 2) 减少电学损失。钙钛矿电池的高转化效率优势来自于前者, 具体体现为高带隙、长的载流子寿命和扩散长度、低的激子结合能以及平衡的电子空穴传输。

图表 15: 钙钛矿带隙宽, 可吸收短波高能光子



资料来源: 《影响钙钛矿/异质结叠层太阳能电池效率及稳定性的关键问题与解决方法》姚美灵等, 五矿证券研究所

图表 16: 钙钛矿电池效率提升更快



资料来源: NREL, 五矿证券研究所

单节钙钛矿提升效率主要通过组份工程、添加剂工程、界面优化、光学性能优化等方式, 因此实验室效率也得到快速提升。

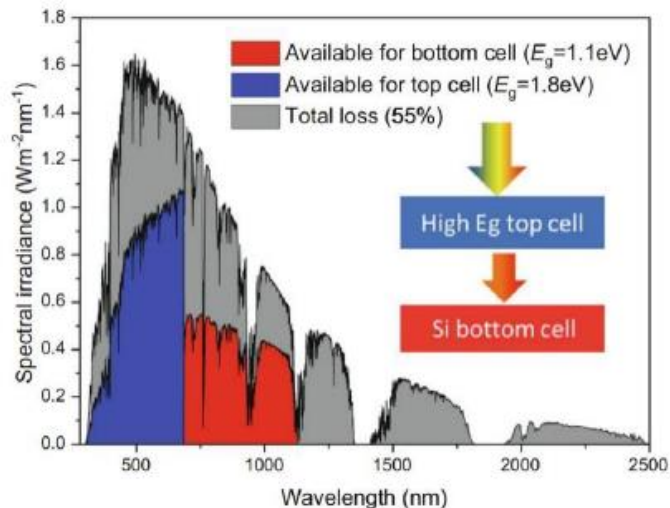
图表 17: 钙钛矿提效方式

具体方式	途径
添加剂工程	在钙钛矿层中掺杂各种添加剂, 如无机盐、有机卤化物盐、无机酸、富勒烯、聚合物甚至水。 一般来说, 通过在钙钛矿层中掺杂添加剂, 可以 增强杂化钙钛矿的结晶度 , 从而形成高纯度且光滑的钙钛矿层, 从而获得高效且更稳定的钙钛矿电池。 不同阳离子的组合可以 融合各组份的优点 , 提升钙钛矿电池的效率 and 稳定性。
界面优化	杂化钙钛矿太阳能电池的界面优化可以通过沉积在钙钛矿层上方或下方的夹层、电子缓冲层(EBL)和空穴缓冲层(HBL)来实现。 通过控制相关界面上的载流子行为, 可以追求太阳能电池的高性能。

资料来源: 《A Review on Morphology Engineering for Highly Efficient and Stable Hybrid Perovskite Solar Cells》Yang Li 等, 五矿证券研究所整理

此外, 叠层电池也成为高效利用光能提升电池转化效率的方式。由于钙钛矿与晶硅带隙范围不同, 可以实现不同带隙电池吸收不同波段光能的晶硅钙钛矿叠层电池, 其理论效率高达45%。

图表 18: 叠层电池受光原理



资料来源: 正泰新能, 五矿证券研究所

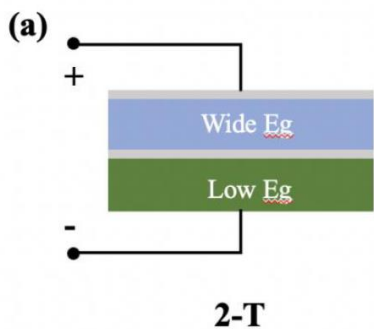
图表 19: 钙钛矿单节与叠层电池性能对比

对比项	单结	钙钛矿/晶硅叠层	钙钛矿/钙钛矿叠层
带隙宽度 (eV)	1.5-1.6	宽带隙: 1.65-1.75 窄带隙: 1.12	宽带隙: 1.75-1.8 窄带隙: 1.22-1.25
理论效率	33%	~43%	~45%
目前最高效率	26.10%	33.90%	29.10%
优势	技术难度稍小, 制备流程短, 度电成本本低	效率上限高, 晶硅底电池工艺及产业成熟稳定性好, 技术进展快	效率上限高、 度电成本最低 、顶底电池寿命匹配、兼容钙钛矿单结工艺
劣势	效率上限较低	绒面兼容工艺难度大 ; 基于晶硅底电池制备成本高; 顶底底电池寿命不匹配	需要解决窄带隙稳定性问题; 需要解决溶剂交互问题;

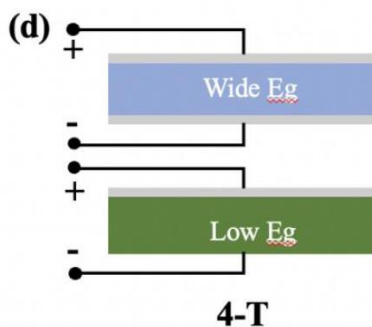
资料来源: 仁烁光能, 五矿证券研究所

叠层分为四端叠和两端叠, 四端叠类似并联, 是两个子电路, 拥有四个电极, 这种方案一般采用钙钛矿组件和晶硅组件叠加, 依然需要大面积钙钛矿电池; 两端叠类似串联, 拥有两个电极, 是将钙钛矿电池叠加在硅片上, 不需要大面积制备钙钛矿膜层, 这种方式虽然节省了一些电极和玻璃材料降低了成本, 但是串联结构需要更好的匹配特性和精巧设计, 且直接在晶硅上制造钙钛矿膜层的难度要远大于在玻璃上制造钙钛矿的难度。

图表 20: 叠层两端叠电池



图表 21: 叠层四端叠电池



资料来源: 《高效半透明钙钛矿太阳能电池的制备及其在四端叠层太阳能电池中的应用》江璐冰等, 五矿证券研究所

资料来源: 《高效半透明钙钛矿太阳能电池的制备及其在四端叠层太阳能电池中的应用》江璐冰等, 五矿证券研究所

四端叠结构中, 钙钛矿可以与任意类型晶硅电池并联叠加, 相比两端叠电池生产难度较小, 四端叠技术目前与 TOPCON 叠加是更好的钙钛矿叠层方案, 若 HJT 取得性价比的突破, 与 HJT 的叠加也会成为一个选择。

目前协鑫光电等企业已经推出四端叠产品, 按照 15/25 年使用寿命来看, 四端叠电池可以实现比 TOPCON 电池更低的度电成本, 同时也低于单节钙钛矿电池。

图表 22: 四端叠电池经济性测算

项目	单位	TOPCON	单节-目前	单节-远期	四端叠-目前	四端叠-远期
功率	W	590	314	413	451	650
效率		23%	19%	25%	26%	38%
面积	平方米	2.38	1.65	1.65	1.71	1.71
单平 W 数	W/平	247	190	250	264	380
尺寸	mm	182	-	-	182	182
组件价格	元/W	0.80	1.49	0.55	2.14	1.19
BOS 成本	元/W	2.20	3.11	2.36	2.24	1.55
EPC 成本	元/W	3.00	4.60	2.91	4.38	2.74

LCOE-15y	元/kWh	0.226	0.321	0.265	0.313	0.260
LCOE-25y			0.265	0.224	0.259	0.220

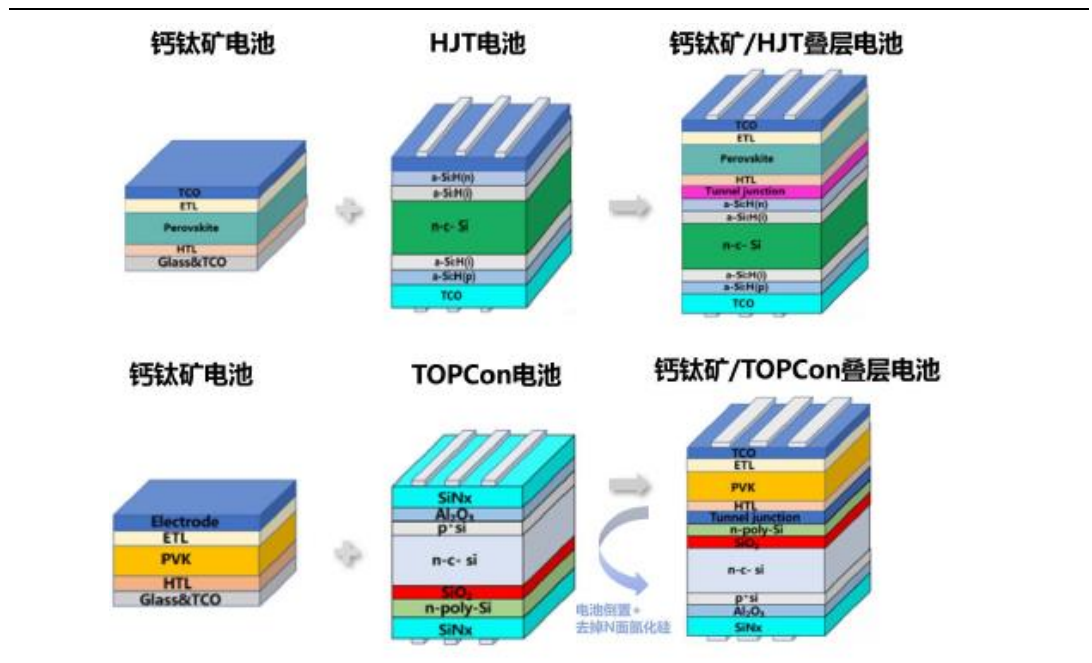
资料来源: Taiyang News, 五矿证券研究所测算

两端叠结构中, 钙钛矿更适合与 HJT 电池叠加: 1) 异质结电池表面本身就是 TCO, 异质结电池的产线无需做更改, 而 TOPCon 电池与钙钛矿电池进行叠层, TOPCon 正面的氮化硅和氧化铝由于是绝缘体不能导电, 需要先把氧化铝和氮化硅去掉, 或加入进一步掺杂和钝化工序。

2) TOPCon 电池与钙钛矿电池进行叠层的话自身基于电流高的效率优势会被浪费。如果做叠层电池, 异质结受光面 TCO 依然是 TCO, TOPCon 表面也需要变成 TCO, 那么 TOPCon 电池本身电流高的优势就没有了, 理论上钙钛矿-TOPCon 叠层电池的效率相比 HJT-钙钛矿叠层电池更低。

但实际上, 目前越来越多的企业进行 TOPCON 与钙钛矿的四端叠电池研发, 主要因 TOPCON 电池经济性明显好于 HJT。

图表 23: 硅钙两端叠结构



资料来源: 正泰新能, 五矿证券研究所

此外, 全钙钛矿叠层电池也是厂商的重点发力方向, 其更高的理论转化效率、更低的理论成本带来更低的度电成本、以及工艺简单可制备柔性组件等特性, 被认为是钙钛矿可能的终极解决方案, 但是叠层电池的底电池要求是窄带隙, 钙钛矿的窄带隙配方稳定性更差, 具备天然劣势, 所以全钙钛矿叠层实现的时间会更远。

图表 24：全钙钛矿叠层电池结构

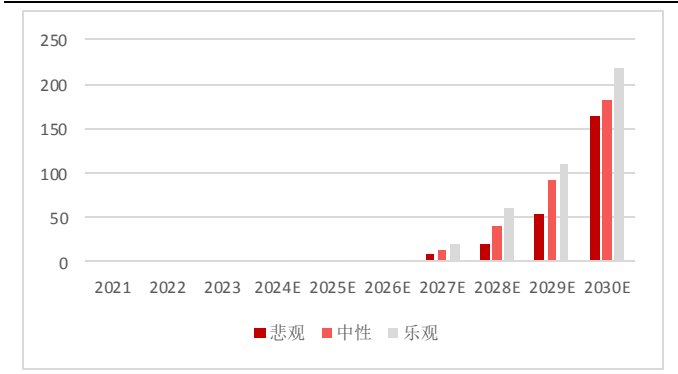


资料来源：仁烁光能，五矿证券研究所

整体来说，两端叠层电池虽然具备明显的效率优势，但在产业化方面也遇到困难：1) 晶硅绒面上生长钙钛矿有难度，需要保证钙钛矿层厚度一致、内部均匀；2) 晶硅与钙钛矿的生长速度不一致，晶硅出片速度较快，每小时超过 1000 片，钙钛矿生产效率还较低；3) 宽带隙钙钛矿存在光致相分离；4) 晶硅上涂覆钙钛矿溶液外溢污染背面。因此四端叠层电池是目前较快实现产业化的技术路线。

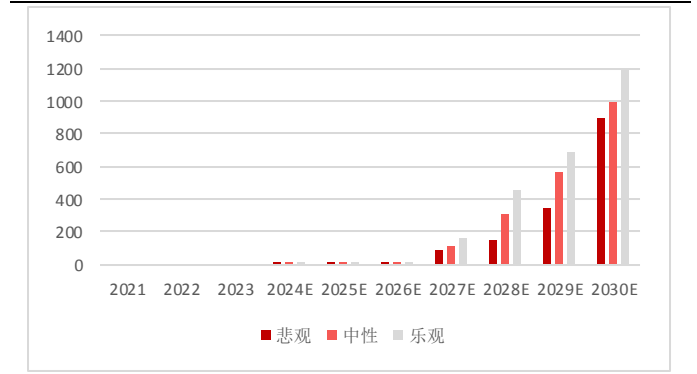
按照上述产业化进展，我们认为，钙钛矿在 2030 年市场空间可以达到 200GW 左右（包含叠层），CAGR6=191%，对应市场空间 1000 亿元，CAGR6=146%。

图表 25：钙钛矿电池出货预测 (GW)



资料来源：Infolink Consulting，五矿证券研究所测算

图表 26：钙钛矿电池市场空间预测 (亿元)



资料来源：Infolink Consulting，五矿证券研究所测算

三、钙钛矿可能会改变光伏竞争格局

3.1 钙钛矿的参与者及进展

光伏行业长坡厚雪，由于钙钛矿优秀的中长期效率潜力和成本优势，晶硅及非晶硅企业争相进入到这一技术领域进行前瞻性布局，但是参与者们的心态可能不尽相同。

非晶硅参与者期待新技术的出现可以改变原有光伏竞争格局从而找到光伏赛道的切入点，这一力量加速钙钛矿进入公众视野；而晶硅企业略显被动，担心钙钛矿对晶硅技术带来冲击，需要对钙钛矿做出反应，因此对钙钛矿同时抱有期待及恐惧，希望钙钛矿与原有技术尽量结合实现原有晶硅产能的寿命延续。

图表 27: 钙钛矿电池发展

时间	企业	效率	面积	产能	时间	企业	效率	面积	产能
Oct-24	杭州柯林			100MW 投产	Jun-23	隆基绿能	33.50%		
Oct-24	仁烁光能	28.20%	1.05 cm ²		Jun-23	耀能新能源	31.46%		
Aug-24	光晶能源			100MW	Jun-23	宝馨科技	30.91%		
Jul-24	中科院	26.70%			Jun-23	极电光能	17.18%	0.72m ²	
Jun-24	协鑫光电	27.34%	2050cm ²		Jun-23	极电光能	18.60%	809.9cm ²	
Jun-24	隆基绿能	34.60%	商业化 M6		May-23	隆基绿能	31.80%		
Jun-24	牛津光伏	26.90%	1.6m ²		May-23	杭萧钢构	28.00%		
May-24	晶科能源	33.24%			Apr-23	宝馨科技	30.26%		
May-24	仁烁光能	20.86%	927.5c m ²		Feb-23	万度光能			200MW 达产
Apr-24	协鑫光电	26.36%	1.71m ²		Feb-23	协鑫光电	16.00%	1*2m ²	
Mar-24	协鑫光电	19.04%	1*2m ²		Jan-23	纤纳光电		0.79m ²	
Feb-24	无限光能			100MW 投产	2023 年	光晶能源			100MW 建设
Dec-23	协鑫光电	26.34%	2048cm ²		Dec-22	极电光能			150MW 投产
Nov-23	奥联电子			50MW 建设	Nov-22	万度光能			200MW 投产
Nov-23	杭州柯林			100MW 建设	Nov-22	众能光电			100MW 投产
Nov-23	仁烁光能			150MW 投产	Nov-22	隆基绿能	26.81%	2278*1134mm ²	
Nov-23	隆基绿能	33.90%			Oct-22	仁烁光能	24.50%	20.25cm ²	
Nov-23	晶科能源	32.30%			Oct-22	协鑫光电	14.00%	1*2m ²	
Nov-23	中科院	26.10%			Aug-22	万度光能			200MW 建设
Nov-23	协鑫光电	18.04%	1*2m ²		Jun-22	仁烁光能	28.00%	0.049cm ²	
Nov-23	极电光能	18.20%	1.2*0.6m ²		Dec-21	纤纳光电			100MW 建设
Nov-23	协鑫光电	26.17%	279*370mm ²		Nov-21	极电光能			150MW 建设
Sep-23	奥联电子	24.20%	0.144cm ²		Sep-21	协鑫光电			100MW 建设
Aug-23	脉络能源	21.50%	30*30cm ²		Jun-21	极电光能	20.50%	64cm ²	
Jul-23	大正维纳			100MW 建设	Oct-19	纤纳光电	14.30%		
Jul-23	中科大	26.10%			Mar-19	纤纳光电			20MW 建设
Jul-23	现象光伏	25.51%			2017 年	协鑫光电			10MW 建设

资料来源: 协鑫光电, 隆基绿能, 极电光能, 纤纳光电, 杭州柯林, 仁烁光能, 万度光能, 脉络能源, 五矿证券研究所

非晶硅参与者是钙钛矿的拓荒者, 他们以单节钙钛矿或者纯钙钛矿叠层为主, 如钙钛矿的最初产业化进程以协鑫光电、纤纳光电、极电光能、宁德时代、仁烁光能等企业引领。同时, 非晶硅企业也不会直接进入硅钙叠层领域, 因为其在晶硅领域没有任何优势, 直击硅钙叠层要同时解决晶硅和钙钛矿的问题, 降低自身竞争力。

若采用叠层方案, 非晶硅企业也主要采用四端叠技术, 将大面积钙钛矿电池与采购的晶硅电池并联叠加即可, 适用于所有晶硅电池, TOPCON 目前在晶硅中更具备吸引力, 因此可能会成为四端叠电池的首选叠加方式。

图表 28: 非晶硅钙钛矿企业进展

公司	产品	扩产计划
协鑫光电	单节/硅钙叠层	钙钛矿 GW 级生产基地奠基, 24-25 年建成投产
极电光能	单节	23 年 4 月建设 GW 级产线, 预计 24 年年底投入生产, 已出片
纤纳光电	单节	已投产 100MW 中试线, 3-5 年内投产 5GW 产线
仁烁光能	全钙钛矿叠层	拥有 150MW 中试线, 规划 GW 级产线建设
光晶能源	单节	拥有 10MW 小试线, 预计 24 年投产 100MW 中试线

脉络能源	单节	拥有 10MW 小试线，预计 24 年投产 100MW 中试线
宁德时代	-	中试线搭建

资料来源：协鑫光电，极电光能，纤纳光电，仁烁光能，光晶能源，五矿证券研究所

晶硅类参与者进入钙钛矿领域较晚，晶硅企业努力将钙钛矿与自身晶硅电池的技术进行堆叠，如晶科能源将 TOPCON 与钙钛矿堆叠研发，隆基绿能、通威股份将 HJT 与钙钛矿堆叠等，尽量延长现有产能寿命。

晶硅企业的叠层方案主要以两端叠为主，直接在晶硅表面覆盖钙钛矿层，如何处理在晶硅绒面上均匀涂覆钙钛矿是主要问题，技术难度较大，同时不同晶硅技术路线在制造钙钛矿叠层时也存在较大差异。

图表 29：晶硅企业在钙钛矿的进展

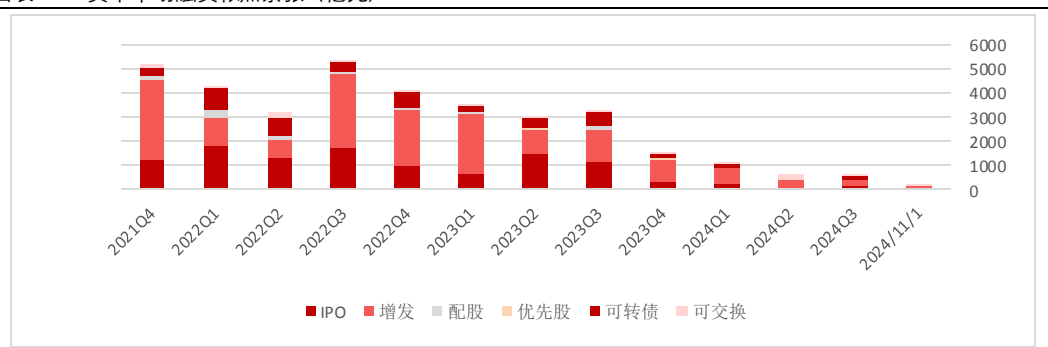
公司	产品	扩产计划
隆基绿能	钙钛矿/HJT 叠层	23 年 11 月实现效率 33.9%
通威股份	钙钛矿/HJT 叠层	研发效率 31.68%，2024 年建成叠层电池中试线
天合光能	硅钙叠层	两端叠实验室效率 29.2%
晶澳科技	硅钙叠层	2024 年推动中试，2~3 年完成大尺寸叠层
晶科能源	钙钛矿/TOPCON 叠层	实验室效率达到 32.33%
爱康科技	钙钛矿/HJT 叠层	2023 年 12 月投资 10 亿元用于研发硅钙 HJT 叠层电池
华盛新能源	钙钛矿/HJT 叠层	中试线建设中，计划 2027 年建设 GW 级产线

资料来源：隆基绿能，通威股份，天合光能，晶澳科技，晶科能源，爱康科技，华盛新能源，五矿证券研究所

3.2 两类参与者的博弈方式以及可能的结果

目前新能源行业融资相对紧张，虽然目前已有有所缓解，但对于非上市企业，融资难度依然较大，非上市公司也因目前光伏主产业链亏损，银行授信多少也会受到约束，融资压力对非晶硅企业弯道超车进入光伏行业非常不友好。

图表 30：资本市场融资依然紧张（亿元）

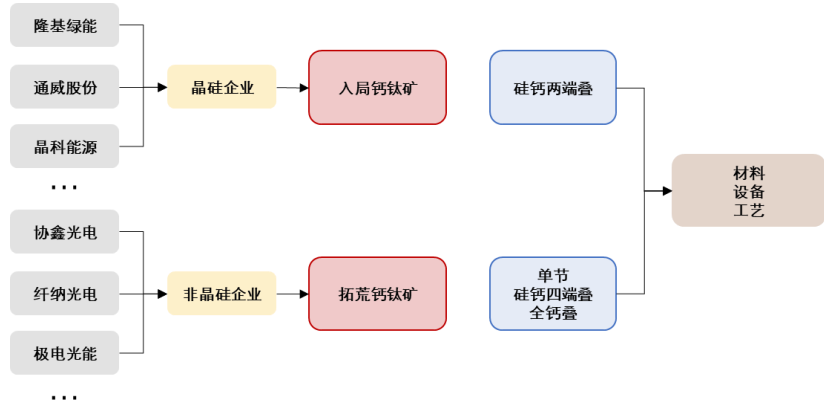


资料来源：Wind，五矿证券研究所

晶硅企业肯定想做硅钙两端叠电池，以延伸自身在晶硅领域的优势；非晶硅企业没有晶硅的优势或者束缚，则更倾向于单节或者全钙钛矿叠层，尽量减少晶硅产品在自身产品中出现。但是无论如何，都避免不了钙钛矿单节电池的推进，会带动材料体系以及生产工艺的优化，单节钙钛矿电池在光伏领域的应用是必经之路。

在产能充裕的背景下，非晶硅企业独自推动单节电池替代晶硅电池难度很大，与晶硅企业形成对立竞争是不理性的，因此推动叠层电池技术的快速进步，是目前晶硅与非晶硅钙钛矿电池企业的共赢局面，晶硅企业更重视晶硅与钙钛矿叠加的界面问题，钙钛矿企业更重视钙钛矿材料本身的性质。推进四端叠层电池的产业化，会先形成研发导入生产的正反馈，带动钙钛矿技术继续推进。

图表 31：钙钛矿企业的竞争关系



资料来源：五矿证券研究所整理

在可见的未来中，钙钛矿与晶硅是并行的，晶硅需要钙钛矿实现效率突破，钙钛矿也需要晶硅企业推动钙钛矿产业链的配套发展，硅钙叠层电池大概率是中期内最好的解决方案，硅钙四端叠率先产业化、硅钙两端叠克服工艺问题后规模量产、最终全钙钛矿叠层是可能的终极解决方案。受到资本青睐的非晶硅企业可能在长期走向全钙钛矿叠层，不具备资本优势的非晶硅企业可能被晶硅企业收购或者被淘汰。

四、结论与建议

4.1 结论

- 1) 钙钛矿目前依然处于早期研发阶段，距离大规模量产还需较长时间，需要解决钙钛矿材料受到光、热、水、氧导致的稳定性问题以及规模化量产的工程问题，同时，也需要继续提升效率实现 LCOE 与晶硅达到平价。
- 2) 除改善材料配方以及增加表面钝化技术外，多节电池也可以有效提升效率，预计硅钙四端叠可以率先实现产业化，硅钙两端叠则需要晶硅企业解决叠层界面问题后逐渐产业化，远期来看，全钙钛矿叠层可能是不错的解决方案。而四端叠技术可以帮助钙钛矿产品更快实现产业化应用，是所有参与者共同的诉求，发展速度会介于单节和两端硅钙叠之间。
- 3) 钙钛矿参与者众多，非晶硅企业涌入后促进其发展，晶硅企业随后重视。非晶硅企业倾向于单节和全钙钛矿叠层技术，而晶硅企业倾向于硅钙两端叠。非晶硅企业融资压力大的情况下，晶硅企业依然是钙钛矿产业化推动的主力军，未来或将看到晶硅企业收购具备技术优势但不具备资本优势的钙钛矿企业。

4.2 建议

非晶硅企业可以加速推进单节/硅钙四端叠技术或者钙钛矿在 C 端应用场景，实现钙钛矿技术的快速突破，从而加强自身造血能力；

晶硅企业可以自研或者收购有技术优势的钙钛矿企业，加速硅钙两端叠电池研发，提高产品竞争力。

风险提示

光伏行业竞争加剧，盈利压力下会减缓新技术的发展；

钙钛矿技术无法突破稳定性问题，达不到晶硅光伏度电成本的水平。

分析师声明

作者在中国证券业协会登记为证券投资咨询(分析师),以勤勉的职业态度,独立、客观地出具本报告。作者保证:(i)本报告所采用的数据均来自合规渠道;(ii)本报告分析逻辑基于作者的职业理解,并清晰准确地反映了作者的研究观点;(iii)本报告结论不受任何第三方的授意或影响;(iv)不存在任何利益冲突;(v)英文版翻译与中文版有所歧义,以中文版报告为准;特此声明。

投资评级说明

投资建议的评级标准		评级	说明
报告中投资建议所涉及的评级分为股票评级和行业评级(另有说明的除外)。评级标准为报告发布日后6到12个月内的相对市场表现,也即以报告发布日后的6到12个月内的公司股价(或行业指数)相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准。其中:A股市场以沪深300指数为基准;香港市场以恒生指数为基准;美国市场以纳斯达克综合指数或标普500指数为基准。	股票评级	买入	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报在20%及以上;
		增持	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报介于5%~20%之间;
		持有	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报介于-10%~5%之间;
		卖出	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报在-10%及以下;
		无评级	预期对于个股未来6个月市场表现与基准指数相比无明确观点。
	行业评级	看好	预期行业整体回报高于基准指数整体水平10%以上;
		中性	预期行业整体回报介于基准指数整体水平-10%~10%之间;
		看淡	预期行业整体回报低于基准指数整体水平-10%以下。

一般声明

五矿证券有限公司(以下简称“本公司”)具有中国证监会批复的证券投资咨询业务资格。本公司不会因接收人收到本报告即视其为客户,本报告仅在相关法律许可的情况下发放,并仅为提供信息而发放,概不构成任何广告。本报告的版权仅为本公司所有,未经本公司书面许可,任何机构和个人不得以任何形式对本研究报告的任何部分以任何方式制作任何形式的翻版、复制或再次分发给任何其他人。如引用须联络五矿证券研究所获得许可后,再注明出处为五矿证券研究所,且不得对本报告进行有悖原意的删节和修改。在刊载或者转发本证券研究报告或者摘要的同时,也应注明本报告的发布人和发布日期及提示使用证券研究报告的风险。若未经授权刊载或者转发本报告的,本公司将保留向其追究法律责任的权利。若本公司以外的其他机构(以下简称“该机构”)发送本报告,则由该机构独自为此发送行为负责。

本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断,本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入或将产生波动;在不同时期,本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告;本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时,本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改,投资者应当自行关注相应的更新或修改。

本报告的作者是基于独立、客观、公正和审慎的原则制作本研究报告。本报告的信息均来源于公开资料,本公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证,也不保证所包含信息和建议不发生任何变更。本公司已力求报告内容的客观、公正,但文中的观点、结论和建议仅供参考,不包含作者对证券价格涨跌或市场走势的确定性判断。在任何情况下,报告中的信息或意见不构成对任何人的投资建议,投资者据此做出的任何投资决策与本公司和作者无关。在任何情况下,本公司、本公司员工或者关联机构不承诺投资者一定获利,不与投资者分享投资收益,也不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。本公司及作者在自身所知范围内,与本报告中所评价或推荐的证券不存在法律法规要求披露或采取限制、静默措施的利益冲突。

五矿证券版权所有。保留一切权利。

特别声明

在法律许可的情况下,五矿证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易,也可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。因此,投资者应当考虑到五矿证券及其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突,投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一参考依据。

联系我们

上海	深圳	北京
地址:上海市浦东新区陆家嘴街道富城路99号震旦国际大厦30楼 邮编:200120	地址:深圳市南山区滨海大道3165号五矿金融大厦23层 邮编:518035	地址:北京市东城区朝阳门北大街3号五矿广场C座3F 邮编:100010

Analyst Certification

The research analyst is primarily responsible for the content of this report, in whole or in part. The analyst has the Securities Investment Advisory Certification granted by the Securities Association of China. Besides, the analyst independently and objectively issues this report holding a diligent attitude. We hereby declare that (1) all the data used herein is gathered from legitimate sources; (2) the research is based on analyst's professional understanding, and accurately reflects his/her views; (3) the analyst has not been placed under any undue influence or intervention from a third party in compiling this report; (4) there is no conflict of interest; (5) in case of ambiguity due to the translation of the report, the original version in Chinese shall prevail.

Investment Rating Definitions

The rating criteria of investment recommendations		Ratings	Definitions
The ratings contained herein are classified into company ratings and sector ratings (unless otherwise stated). The rating criteria is the relative market performance between 6 and 12 months after the report's date of issue, i.e. based on the range of rise and fall of the company's stock price (or industry index) compared to the benchmark index. Specifically, the CSI 300 Index is the benchmark index of the A-share market. The Hang Seng Index is the benchmark index of the HK market. The NASDAQ Composite Index or the S&P 500 Index is the benchmark index of the U.S. market.	Company Ratings	BUY	Stock return is expected to outperform the benchmark index by more than 20%;
		ACCUMULATE	Stock relative performance is expected to range between 5% and 20%;
		HOLD	Stock relative performance is expected to range between -10% and 5%;
		SELL	Stock return is expected to underperform the benchmark index by more than 10%;
		NOT RATED	No clear view of the stock relative performance over the next 6 months.
	Sector Ratings	POSITIVE	Overall sector return is expected to outperform the benchmark index by more than 10%;
		NEUTRAL	Overall sector expected relative performance ranges between -10% and 10%;
		CAUTIOUS	Overall sector return is expected to underperform the benchmark index by more than 10%.

General Disclaimer

Minmetals Securities Co., Ltd. (or "the company") is licensed to carry on securities investment advisory business by the China Securities Regulatory Commission. The Company will not deem any person as its client notwithstanding his/her receipt of this report. The report is issued only under permit of relevant laws and regulations, solely for the purpose of providing information. The report should not be used or considered as an offer or the solicitation of an offer to sell, buy or subscribe for securities or other financial instruments. The information presented in the report is under the copyright of the company. Without the written permission of the company, none of the institutions or individuals shall duplicate, copy, or redistribute any part of this report, in any form, to any other institutions or individuals. The party who quotes the report should contact the company directly to request permission, specify the source as Equity Research Department of Minmetals Securities, and should not make any change to the information in a manner contrary to the original intention. The party who re-publishes or forwards the research report or part of the report shall indicate the issuer, the date of issue, and the risk of using the report. Otherwise, the company will reserve its right to taking legal action. If any other institution (or "this institution") redistributes this report, this institution will be solely responsible for its redistribution. The information, opinions, and inferences herein only reflect the judgment of the company on the date of issue. Prices, values as well as the returns of securities or the underlying assets herein may fluctuate. At different periods, the company may issue reports with inconsistent information, opinions, and inferences, and does not guarantee the information contained herein is kept up to date. Meanwhile, the information contained herein is subject to change without any prior notice. Investors should pay attention to the updates or modifications. The analyst wrote the report based on principles of independence, objectivity, fairness, and prudence. Information contained herein was obtained from publicly available sources. However, the company makes no warranty of accuracy or completeness of information, and does not guarantee the information and recommendations contained do not change. The company strives to be objective and fair in the report's content. However, opinions, conclusions, and recommendations herein are only for reference, and do not contain any certain judgments about the changes in the stock price or the market. Under no circumstance shall the information contained or opinions expressed herein form investment recommendations to anyone. The company or analysts have no responsibility for any investment decision based on this report. Neither the company, nor its employees, or affiliates shall guarantee any certain return, share any profits with investors, and be liable to any investors for any losses caused by use of the content herein. The company and its analysts, to the extent of their awareness, have no conflict of interest which is required to be disclosed, or taken restrictive or silent measures by the laws with the stock evaluated or recommended in this report.

Minmetals Securities Co. Ltd. 2019. All rights reserved.

Special Disclaimer

Permitted by laws, Minmetals Securities Co., Ltd. may hold and trade the securities of companies mentioned herein, and may provide or seek to provide investment banking, financial consulting, financial products, and other financial services for these companies. Therefore, investors should be aware that Minmetals Securities Co., Ltd. or other related parties may have potential conflicts of interest which may affect the objectivity of the report. Investors should not make investment decisions solely based on this report.

Contact us

Shanghai

Address: 30/F, Zhendan International Building, No.99 Fucheng Road, Lujiazui Street, Pudong New District, Shanghai
Postcode: 200120

Shenzhen

Address: 23F, Minmetals Financial Center, 3165 Binhai Avenue, Nanshan District, Shenzhen
Postcode: 518035

Beijing

Address: 3/F, Tower C, Minmetals Plaza, No.3 Chaoyangmen North Street, Dongcheng District, Beijing
Postcode: 100010