

如果2022年是钙钛矿电池投资热潮元年，那么2023年将可能成为其商业化元年。

钙钛矿电池： 通向碳中和的火热赛道

文 / 袁素

在稍显冷清的2022年一级市场，钙钛矿无疑是颇受资本关注的火热赛道之一。

根据不完全统计，2021~2022年，钙钛矿领域整体投资额已近百亿元，其中大部分风险投资发生在2022年。因此，2022年被业内称为钙钛矿投资热潮的元年。

2022年12月21日，协鑫科技旗下昆山协鑫光电材料有限公司（以下简称“协鑫光电”）宣布完成5亿元人民币B+轮融资，此轮融资由淡马锡投资、红杉中国、IDG资本三家联合领投，川流投资等机构跟投，大股东协鑫科技持续加码。本轮融资将用于完善协鑫光电100兆瓦大尺寸钙钛矿组件产线的工艺和设备开发。

这只是过去两年中几十起钙钛矿融资案例中的一例。据一位碳中和融资的资深财务顾问介绍，2022年一级市场整体偏冷，但碳中和方向却史无前例地火爆，而碳中和中最火的投资方向无疑就是钙钛矿。

他进一步表示：“几乎所有的人民币基金和美元基金都在看这个方向，就连此前看消费的基金也纷纷转行来看钙钛矿了。如果你没看过钙钛矿，都不好意思说自己在看硬科技了。”

在二级市场上，钙钛矿概念也同样火爆。上市公司纷纷布局钙钛矿，已经布局或正在布局钙钛矿的上市公司包括宁德时代、隆基绿能、天合光能、迈为股份、金风科技、捷佳伟创、龙佰集团、中节能太阳能、帝尔激光、东方日

升、奥联电子等。

钙钛矿为什么这么火

工信部网站1月17日消息，工信部、教育部、科技部、人民银行、银保监会、国家能源局六部门联合发布《关于推动能源电子产业发展的指导意见》，明确提出加快智能光伏创新突破，发展高纯硅料、大尺寸硅片技术，支持高效低成本晶硅电池生产，推动N型高效电池、柔性薄膜电池、钙钛矿及叠层电池等先进技术的研发应用，提升规模化量产能力。

“作为第三代太阳能电池的代表，钙钛矿蕴藏着结构性的市场机会，五年之内有望成为现在晶硅太阳能电池的颠覆者，这个赛道上有望跑出多家千亿元



尽管钙钛矿技术在过去十多年里进步很快，但目前仍处于中试验证阶段，主要面临大面积制备难、稳定性差、寿命短等挑战。

>> 1月29日，安徽合肥，庐阳经济开发区大恒能源科技有限公司光伏组件生产车间内，工人正在检查光伏面板。

值的公司，是典型的投资人喜欢的赛道，大家都想投出下一个隆基股份。”一位一线风险投资机构的合伙人介绍。

在最近的半个多世纪里，太阳能电池技术发展大致经历了三个阶段。第一代太阳能电池主要指单晶硅和多晶硅太阳能电池；第二代太阳能电池主要包括非晶硅薄膜电池和多晶硅薄膜电池；第三代太阳能电池主要指具有高转换效率的一些新概念电池，如钙钛矿电池、染料敏化电池、量子点电池以及有机太阳能电池等。

其中，钙钛矿电池最受人关注。需

要解释的是，钙钛矿（Perovskite）材料是以俄罗斯矿物学家列维·佩罗夫斯基（Lev Perovski）的名字命名的。最早被发现的钙钛矿材料是钙与钛的复合氧化物。

后来，钙钛矿的概念有了很大的延展，它已经不特指钙钛复合氧化物，而用来泛指一系列具有 ABX_3 化学式的化合物，在这里A可以是甲氨基等有机分子基团，B可以是铅原子（也可以是锡原子），X则一般含有卤素原子。

目前主流的太阳能电池仍为晶硅电池，P型PERC（发射极钝化和背面接

触) 光伏电池技术在2021年市场占有率高达91.2%，而其规模化发电效率为23.1%，已接近24.5%左右的极限值，效率提升空间有限。

被市场寄予厚望的N型电池同样面临P型PERC的挑战。转换效率比P型更高的N型电池——主要包括TOPCon (Tunnel Oxide Passivated Contact, 隧穿氧化层钝化接触) 和HJT (Heterojunction Technology, 异质结) 电池, 这两款走向量产的电池实际平均转换效率分别为24%、24.2%，理论发电效率分别达到28.7%、27.5%。

虽然N型电池比P型PERC效率提升空间略大, 但几年之内同样会面临效率达到极限的问题。

相比第一代电池, 钙钛矿电池的光电转换效率的天花板更高, 效率提升速度也更快。钙钛矿电池的理论转换效率达到30%以上, 其中单层钙钛矿、晶硅叠层钙钛矿 (在普通晶硅电池上涂一层钙钛矿薄膜) 理论效率分别可达33%、43%。

2009年, 日本横滨大学教授Akihiro Kojima首次将甲胺铅碘和甲胺三溴铅酸盐制备成吸光层用于染料敏化太阳能电池, 得到3.8%的效率, 后来由于液态电解质导致钙钛矿材料很快分解, 从而使电池效率很快衰减。但到2022年, 钙钛矿单结和叠层的实验室最高效率已经分别提升至25%、31%以上。要知道, 晶硅太阳能电池走完同样的效率提升过程, 历

时近半个世纪。

据中国光伏行业协会专家介绍, 除了光电转化效率天花板更高外, 钙钛矿还具备两大优势。

其一是成本低。钙钛矿电池原材料丰富, 不受稀有金属元素的储量限制, 光吸收系数高, 1微米的厚度即可吸收超过90%的太阳光, 原材料成本是传统晶硅的1/20。

其二是易制备。钙钛矿组件制备仅需单一工厂, 生产耗时短、能耗低, 生产成本仅为晶硅的50%, 彻底颠覆了晶硅冗长、复杂的生产工艺。

钙钛矿量产的成本价格优势已得到业界公认。中金资本预测, 钙钛矿组件的垂直一体化成本极限为: 在百兆瓦生产线下, 生产成本有望降至1.1元/瓦左右 (基于16%的转换效率); 远期生产成本有望降至0.68元/瓦左右 (基于25%的转换效率), 远低于晶硅组件0.94元/瓦的垂直一体化极限成本。

2023年是商业化元年

正因为钙钛矿技术的先进性, 我国才在碳中和政策体系中大力支持其发展。

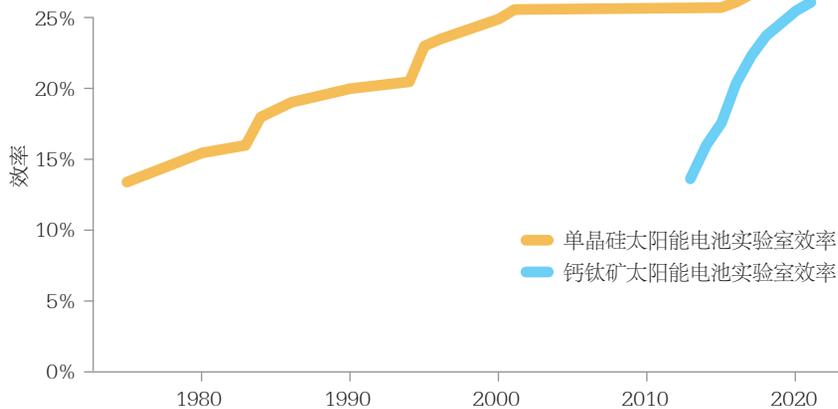
2022年4月发布的《“十四五”能源领域科技创新规划》指出, 要开展高效钙钛矿电池制备与产业化生产技术的示范试验: 研制基于溶液法与物理法的钙钛矿电池量产工艺制程设备, 开发高可靠性组件级联与封装技术, 研发大面积、高效率、高稳定性、环境友好型的钙钛矿电池。开展

晶体硅/钙钛矿、钙钛矿/钙钛矿等高效叠层电池制备及产业化生产技术研究。2022年9月发布的《科技支撑碳达峰碳中和实施方案 (2022—2030年)》提出, 研发高效硅基光伏电池、高效稳定钙钛矿电池等技术。2022年8月发布的《关于推动能源电子产业发展的指导意见 (征求意见稿)》中也提出, 加快智能光伏创新突破, 支持钙钛矿及叠层电池等先进技术的研发应用, 提升规模化量产能力。

尽管钙钛矿电池技术在过去十多年里进步很快, 但目前仍处于中试验证阶段, 主要面临大面积制备难、稳定性差、寿命短等挑战。

据中国光伏行业协会数据, 目前小规模试验线量产的玻璃基钙钛矿组件, 实际量产的大尺寸组件的最高转换效率仅为17%, 与我们日常新闻看到的小尺

钙钛矿太阳能电池与单晶硅电池效率提升历程



>> 信息来源：协鑫光电、中信建投

寸组件世界纪录相差很远。

前述一线风险投资机构合伙人介绍，钙钛矿行业始终卡在大面积制备即百兆瓦量产这一道坎上，目前全球尚无一家企业实现18%以上效率的百兆瓦稳态量产。因为随着钙钛矿组件面积的扩大，其光电转化效率会下降。

根据中金资本的研究，钙钛矿组件实验室效率纪录与测试面积、寿命都成反比。钙钛矿在0.1平方厘米的测试面积下创造了25.7%的实验室效率纪录，随着测试面积提升至20平方厘米以上，实验室认证效率下降至22%以下；随着测试面积进一步提升至和传统晶硅组件相同的平方米级别，实验室效率再次下降至15%左右。同时，受材料体系制约，转换效率大于20%的材料体系电池寿命较短（小于1000小时），效率低于18%的材料体系电池寿命更长（大于

10000小时）。

2022年7月28日，成立于2015年的杭州纤纳光电科技有限公司在浙江衢州举行了首批 α 组件的发货仪式，此次发货数量为5000片，用于省内工商业分布式钙钛矿电站。但他们并未公布其测试面积和光电转换效率。

2010年成立的协鑫光电则在量产上略显保守。2021年9月，协鑫光电建成全球首条100兆瓦钙钛矿组件量产线，组件尺寸为1米×2米。目前该产线处于工艺开发和设备改造阶段，下线组件效率已实现稳步提升。协鑫光电创始人范斌表示，2023年9月这条产线实现满负荷运转，钙钛矿的转换效率能达到18%以上，良品率达到95%以上。

2022年12月8日，2017年成立的无锡极光电能科技有限公司宣布150兆瓦钙钛矿组件生产线正式投产运行，这是

目前全球最大的已投产钙钛矿光伏生产线，同时具备光伏建筑一体化产品和标准组件的生产能力，达产后年产值可达3亿元。该公司联合创始人邵君介绍，极电光能将在2023年上半年开工建设首条1吉瓦线，预计2024年投产。后续生产线的建设会加快，预计2026年年底达到10吉瓦产能。

在这些创业公司之外，上市公司宁德时代也在解决中试难题。2022年5月，宁德时代董事长曾毓群在业绩说明会上表示，该公司钙钛矿电池研究进展顺利，正在搭建中试线。

除了大面积制备，钙钛矿组件还面临着稳定性差、寿命短的难题，远未达到晶硅组件20年寿命的阶段。

根据中金资本的研究，一方面，钙钛矿材料本身具有物理不稳定性，离子键相比晶硅共价键更易分解和发生离子迁移；另一方面，钙钛矿材料和空穴传输层材料具有化学不稳定性，对水汽、光、热等环境条件较为敏感（如遇水容易分解，遇200摄氏度以上高温会分解），由此会造成钙钛矿组件发电效率随运行时间增加而下降，极端情形下易导致组件损坏。

磐谷创投投资总监张弛表示：“2023年有望成为钙钛矿商业化的元年，因为继纤纳光电之后，协鑫光电和极电光能都有望在2023年实现百兆瓦及以上组件的规模化量产，业内期待他们能解决大面积制备、稳定性、寿命等方面的问题，但寿命问题很难一蹴而就，需要逐步提高。”