

行业研究

薄膜电池：BIPV 助推产业发展，材料环节最为受益

——建筑建材行业“新基建”系列之四

要点

复盘薄膜电池发展历史和 First Solar 的成功经验

薄膜太阳能电池理论转化效率（基本在 32%+）较晶硅电池（不足 30%）更高，但在竞争过程中，其实际转换效率始终落后。在 1980-1988 年和 2004-2019 年这两个时间段内薄膜电池市场份额逐步提升，其核心在于制造成本的优势，同时伴随发电效率和使用寿命的持续提升，使得综合竞争力阶段性占优。

目前薄膜电池最主流的方向是碲化镉，First Solar 占据全球 95% 的市场份额。总结其成功经验，发现关键因素在于：选择最有前景的技术路径、持续技术进步推动降本增效、友好的生存土壤、坚守现金流底线。

我国薄膜电池实验室理论效率已达国际第一梯队，但产业化应用仍处于起步阶段，选择合适的路径并找到稳定的应用场景，对于促进产业良性循环至关重要。而钙钛矿薄膜电池理论转化效率更高，尤其 HJT+钙钛矿叠层电池可进一步提升转换效率和降低生产成本，未来具备较大发展空间。

BIPV 有望带动薄膜电池进入发展快车道，并将来的降本空间持续打开：

BIPV 可利用空间主要集中在屋顶和立面两个方向，屋顶光伏晶硅电池占据绝对优势，但更多采用光伏-建材模块形式，并不是 BIPV 的最终形态。诚然当前应用于屋顶的上述方式是主流途径和经济性最优解。但从城市空间而言，高层建筑立面面积逻辑上大于屋顶面积，意味着如果国家推动超低能耗建筑等路径，建筑立面发电也将是大势所趋和有效补充，而薄膜电池将是建筑立面发电较好的选择。主要由于：弱光性好；温度系数较小；可满足业主对于建筑物美观和异形的要求，且是典型的 BIPV 最终形态之一。此外，从建筑消防安全角度来看，薄膜电池更小的热斑效应优势应受到格外重视。

我们认为未来薄膜电池的“主战场”将主要在公共设施和商业建筑领域外立面。经测算，仅在该领域至 2030 年全国薄膜电池累计装机空间将达到 38GW，市场空间超 700 亿元。

我们以国际当前最先进的 First Solar Series 6 组件为例，测算其在建筑立面商业化应用的投资回收周期约为 3.8 年，极具吸引力。回收期较短的核心原因，是我们用传统玻璃幕墙建造成本进行了部分抵消，使得增量成本并不高。长期来看，薄膜电池产业链高度集成，原材料成本占比不高，未来仍有很大降本增效空间。

在政策催化下，BIPV 未来发展前景广阔，但从稀缺性及投资价值角度而言，材料环节或优于建造环节，具体如薄膜电池及相关配套产品等领域。

优先建议关注材料板块：推荐**洛阳玻璃**—已受托管理控股股东凯盛集团的部分碲化镉、铜铟镓锡薄膜电池资产，未来有望继续深耕薄膜电池领域。建议关注**金晶科技**—TCO 导电膜玻璃作为钙钛矿、碲化镉薄膜电池上游关键辅件，具有较高技术壁垒，公司在该领域技术已处于国内领先，并投产国内首条产线。建议关注**旗滨集团**、**南玻 A**—积极拓展光伏领域业务，超白浮法未来有望加快向薄膜电池领域应用。

其次考虑建筑施工板块，但弹性和价值量或稍弱：建议关注**中国建筑兴业**、**江河集团**—国内幕墙领域领军企业，具备更强的施工能力以满足 BIPV 的设计和施工要求，正在加大与薄膜电池企业合作力度，未来或受益于产业发展红利。

风险分析：政策推进不及预期；下游接受度不及预期；技术进步不及预期；行业标准出台不及预期。

非金属类建材
增持（维持）建筑和工程
买入（维持）

作者

分析师：孙伟风

执业证书编号：S0930516110003

021-52523822

sunwf@ebsecn.com

分析师：冯孟乾

执业证书编号：S0930521050001

010-58452063

fengmq@ebsecn.com

联系人：陈奇凡

021-52523819

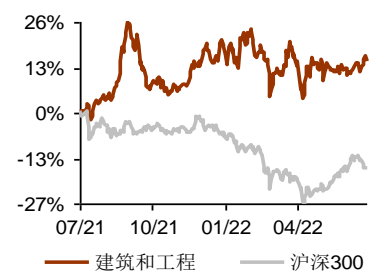
chenqf@ebsecn.com

联系人：高鑫

021-52523872

xingao@ebsecn.com

行业与沪深 300 指数对比图



资料来源：Wind

投资聚焦

我们的创新之处

1、薄膜电池和晶硅电池竞争过程中，实际转换效率始终落后，但在部分时间段综合竞争力阶段性占优，核心在于制造成本的优势，同时伴随发电效率和使用寿命的持续提升。我们总结国内薄膜电池产业化发展瓶颈：1) 集成化特性限制产业推动力量不足，制造工艺仍在不断改善；2) 晶硅电池凭借较低的成本和更高的转化效率，已牢牢占据下游主流市场；3) 尚未出现稳定的应用场景，以吸引资源快速投入。技术路线特点决定薄膜电池的转换效率上限更高，未来具备更大降本潜力。因此找到自身优势应用领域（如建筑立面），避开和晶硅电池的正面交锋，也是薄膜电池突破发展瓶颈的重要途径。

2、我们以国际当前最先进的 First Solar Series 6 组件为例，测算其在建筑立面商业化应用的投资回收周期。仅考虑增量成本，碲化镉薄膜电池系统实际初始投资成本为 287 元/平米，回收周期约为 3.8 年。回收期较短的核心原因，是我们用传统玻璃幕墙建造成本进行了抵消（因为不安装薄膜电池光伏系统仍需要安装玻璃幕墙），因此增量成本并不高。当然以上测算均为最乐观情况下的假设，实际上国内厂家薄膜电池组件的发电效率偏低、成本偏高，且并未考虑组件衰减以及运维费用，同时安装薄膜电池较普通玻璃幕墙费用也应更高。

3、我们对我国薄膜电池市场空间进行了测算，认为未来薄膜电池的主战场将主要在公共设施和商业建筑领域外立面。至 2030 年，薄膜电池组件可铺设面积有望达到 2.5 亿平米，假设平均装机量为 150w/平米，累计装机空间为 38GW，市场空间约 718 亿元。

投资观点

建筑光伏是实现建筑节能减碳的有效方式，BAPV 和 BIPV 是两种主要形式，可利用空间主要集中在屋顶和立面两个方向。目前主流的光伏屋顶路径更多介于 BIPV 与 BAPV 之间，即光伏发电模组并非建筑材料（或者能够承担建筑材料功能），更多是光伏材料与建筑材料组合形成模块，即光伏材料负责发电，而建筑材料负责载荷，但这并不是 BIPV 的最终形态。

在屋顶光伏应用场景下，当前晶硅太阳能电池板几乎占据绝对优势。而在外立面应用方向，薄膜太阳能电池则具有得天独厚的优势：1、弱光性好，因此对入射光角度适应性强；2、温度系数较小，高温下功率损失小，而立面通风条件差经常导致组件工作环境温度较高；3、热斑效应小，在被遮挡导致局部组件温度过高时，可有效降低功率损失（建筑立面更易被周围环境遮挡）；4、从美学角度考量，薄膜太阳能电池可根据需要制作成不同的透光率，并通过改变颜色和形状，满足业主对于建筑物美观和异形的要求。

诚然当前应用于屋顶的光伏-建材模块是现阶段的主流途径和经济性最优解，但从城市空间而言，高层建筑立面面积逻辑上大于屋顶面积，意味着如果国家推动超低能耗建筑等路径，建筑立面发电也将是大势所趋和有效补充。而且我们认为薄膜电池是较为典型的 BIPV 最终形态之一，对于建筑立面发电是较好的选择，其与晶硅电池并非绝对替代关系，而是协力将建筑物节能降碳做到最大化。

目 录

1、薄膜电池：“会发电的玻璃”	6
1.1、薄膜电池简介	6
1.2、碲化镉电池：当前主流薄膜电池路径	7
1.3、铜铟镓硒电池：理论光电转换效率更高	11
1.4、复盘薄膜电池发展历史，与晶硅电池之争的关键在于综合成本高低	13
1.5、薄膜电池具备更大降本潜力	14
2、他山之石可以攻玉：First Solar 启示录	16
2.1、全球薄膜电池市场规模仍然较小，其中 First Solar 占据主要份额	16
2.2、First Solar 发展复盘	16
2.3、First Solar 成功的关键因素	18
3、国内薄膜电池产业化发展尚在起步阶段	22
3.1、理论研究跻身前列，产业化尚待进一步突破	22
3.2、国内薄膜电池产业化发展瓶颈	22
3.3、国内企业正在用实际行动不断推动产业进步	24
4、不以短击长，而以长击短：有望借 BIPV 东风逐步放量	25
4.1、建筑行业作为“高耗能”、“高排放”行业，成为碳减排重点	25
4.2、分布式光伏系统（BAPV+BIPV），是建筑光伏的主要结合形式	26
4.3、建筑物立面或将成为薄膜电池的主要应用场景	26
4.4、碲化镉薄膜电池投资回收周期测算	28
4.5、我国薄膜电池市场空间测算	30
4.6、产业链合作正在加强，以期实现双赢	31
5、投资建议	34
6、风险分析	36
附录：当前 BIPV 推广所面临的问题及建议	37

图目录

图 1: 全球薄膜太阳能电池产量变化情况	6
图 2: 碲化镉薄膜电池原理图	7
图 3: 碲化镉薄膜电池生产工序	8
图 4: 近空间升华法 (CSS) 原理图	8
图 5: 碲化镉电池弱光性能优于多晶硅电池	9
图 6: 碲化镉薄膜电池温度系数较低	9
图 7: 碲化镉薄膜电池组件回收过程	10
图 8: 碲化镉薄膜电池实验室转化效率持续提升	10
图 9: 碲化镉组件性能优势	11
图 10: 铜铟镓硒薄膜电池原理图	11
图 11: CIGS 薄膜工艺制作流程	12
图 12: LCOE 公式解析	13
图 13: 全球光伏组件市场销售量占比	14
图 14: C-Si 组件售价组成拆解 (美元)	15
图 15: CdTe 组件售价组成拆解 (美元)	15
图 16: C—Si 组件(多晶硅 PERC 电池组件)技术路线	15
图 17: CdTe 组件技术路线	15
图 18: 各类薄膜电池组件销量市场占比	16
图 19: First Solar 2006~2020 年组件产量增长图	17
图 20: First Solar 与天合光能组件制造成本对比 (美分/瓦)	17
图 21: First Solar 薄膜电池组件发电功率规划蓝图	18
图 22: First Solar 碲化镉薄膜电池组件单位发电成本降低趋势	18
图 23: 晶硅电池组件成本变化图	19
图 24: 中国光伏企业入局加速晶硅电池成本下降	19
图 25: 薄膜电池组件成本与尺寸间关系	19
图 26: 薄膜电池组件成本与转化效率关系	19
图 27: 光伏组件衰减变化图	20
图 28: 美国光伏组件市场装机量变化趋势	20
图 29: First Solar 在手现金变化趋势	21
图 30: 薄膜电池产业正循环	23
图 31: 2019 年我国建筑全过程碳排放占比	25
图 32: 2019 年我国建筑全过程碳排放细分 (单位: 亿吨 CO ₂)	25
图 33: 全国建筑碳排放结构	25
图 34: 光伏发电系统结构图	26
图 35: 蚌埠市体育中心 (圆形屋顶为铜铟镓硒电池组件)	27
图 36: 潼湖科技小镇 (外立面采用铜铟镓硒电池组件)	27
图 37: 成都双流机场航站楼 (L1 通道采用碲化镉电池组件)	27
图 38: 中建材丽江水泥厂 (外立面选用碲化镉薄膜电池)	27
图 39: 世园会中国馆 (屋顶运用碲化镉薄膜电池)	28

图 40: 大同未来能源馆（外立面采用仿铝材型碲化镉薄膜组件） 28

图 41: 2021-2030 年，我国工商业分布式光伏系统初始全投资变化趋势（元/瓦） 29

图 42: 不同倾角下，晶硅电池发电效率 29

图 43: 我国公共设施与商业建筑竣工面积（亿平米） 30

图 44: 薄膜电池产业链情况 33

表目录

表 1: 主流薄膜电池分类 6

表 2: 美国商务部对华双反政策税率 21

表 3: 薄膜电池实验室转化率对比 22

表 4: 薄膜电池与晶硅电池转换效率对比 23

表 5: 2030 年，我国薄膜电池装机市场空间 31

表 6: 薄膜电池制造商与建筑企业合作案例 33

表 7: BIPV（薄膜）产业链相关公司 34

表 8: 洛阳玻璃盈利预测与估值简表 35

1、薄膜电池：“会发电的玻璃”

1.1、薄膜电池简介

薄膜太阳能电池主要指在绝缘的半导体玻璃表面涂覆一层串联的化合物薄膜电池组件（如碲化镉、铜铟镓硒及砷化镓薄膜等），在受到太阳光照射后，将光能转化为电能。薄膜电池通过将玻璃和光电材料有机结合，使得建筑材料实现自发电，因此被称为“发电玻璃”。

目前的薄膜太阳能电池市场中，碲化镉(CdTe)薄膜太阳能电池产量最高，商业化技术也最为成熟；铜铟镓硒(CIGS)薄膜太阳能电池近年来产量也在持续提升；而硅基薄膜电池和其他非晶硅薄膜电池由于转化效率较低在逐渐被市场淘汰。

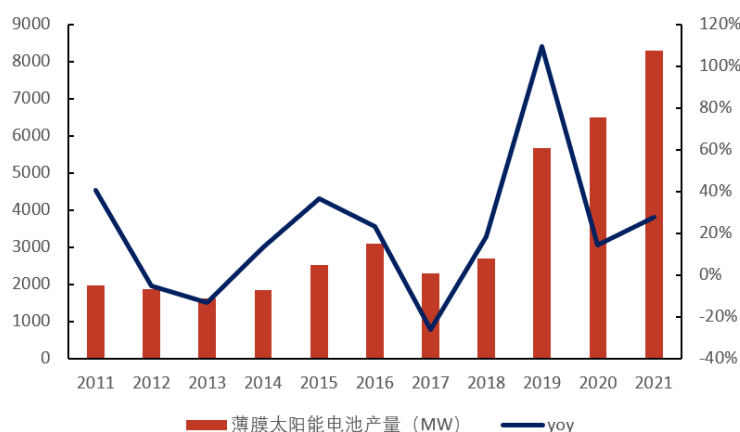
表 1：主流薄膜电池分类

产品	定义
碲化镉(CdTe)薄膜电池	碲化镉(CdTe)薄膜电池是以 P 型碲化镉(CdTe)和 N 型硫化镉(CdS)的异质结为基础的太阳能电池。
铜铟镓硒(CIGS)薄膜电池	铜铟镓硒 (CIGS) 薄膜电池是一种吸收层采用铜铟镓硒为材料的多元化合物多晶半导体薄膜太阳能电池。
硅基薄膜电池	硅基薄膜光伏电池是所有以硅为主要材料的薄膜类太阳能电池的总称。

资料来源：OFweek 太阳能光伏网等，光大证券研究所整理

不同于晶硅光伏产业的快速发展，薄膜电池产业整体发展较为缓慢，且主要为美国 First Solar 一家拉动。2021 年全球薄膜太阳能产量约为 8.28GW，同比增长 27.7%。

图 1：全球薄膜太阳能电池产量变化情况



资料来源：Wind，光大证券研究所

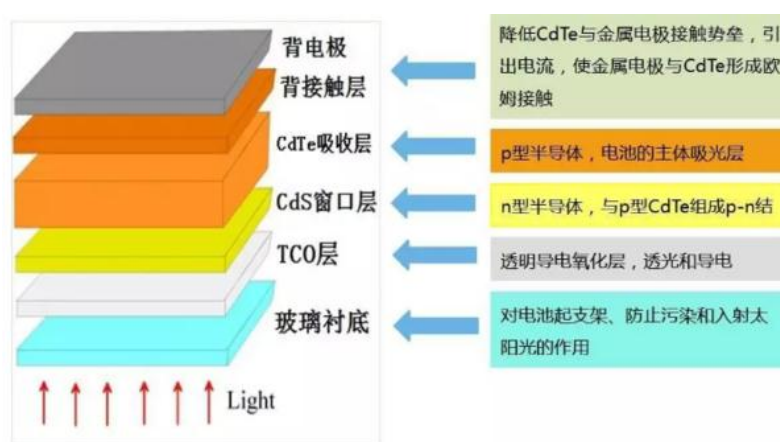
注：2019、2020、2021 年产能增加主要系 First Solar 扩充产能，其他薄膜太阳能电池生产企业产量无明显新增产线

1.2、碲化镉电池：当前主流薄膜电池路径

发电原理

碲化镉薄膜电池的基本原理是由太阳光子与半导体相互作用产生电势输出电能。主要由 5 层结构组成：玻璃层、透明导电氧化层(TCO 层)、硫化镉(CdS)窗口层、碲化镉(CdTe)吸收层、背接触层和背电极层。CdTe 吸收层和 CdS 窗口层结合形成 p-n 结，当光照到 p-n 结时吸收层电子跃迁到导带（固体结构内自由运动的电子所具有的能量范围）同时在价带（已充满电子的原子轨道能级所形成的低能量带）中产生空穴，致使 p-n 结产生电子-空穴对，空穴聚集将增强 p 型导电。此时将外电路与 p-n 结连通，就可将产生的电流通过由 TCO 层薄膜和玻璃背板连接的电极引出，实现发电。

图 2：碲化镉薄膜电池原理图



资料来源：索比光伏网，光大证券研究所

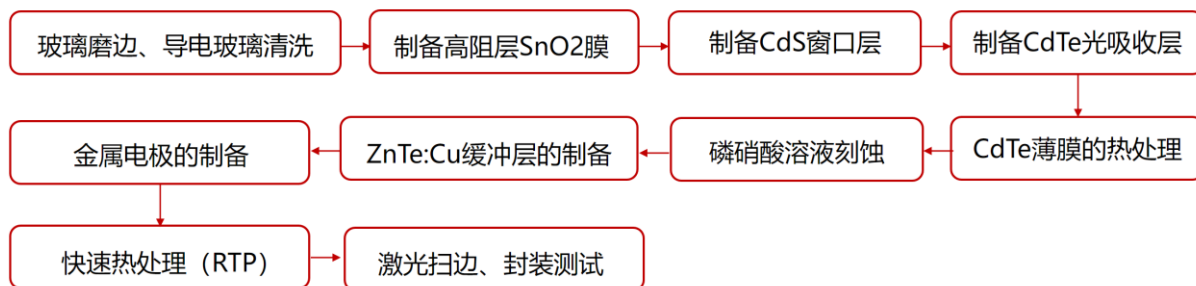
材料的带隙宽度和光吸收率决定了发电效率。带隙宽度是光子能被吸收的最低阈值；光吸收率决定了能被吸收的光子中得以利用的比率。阳光照射时仅有能量大于带隙宽度的光子能被半导体吸收，最佳带隙范围一般在 1.4eV 左右。

碲化镉作为 II-IV 族化合物半导体，直接带隙为 1.45eV，位于理想太阳能电池能隙范围，光吸收系数为 $10^5/\text{cm}^2$ ，因此其具备成为优秀发电材料的理论基础。制作碲化镉薄膜电池组件时仅需涂抹 2 微米厚的 CdTe 薄膜，就可以使得组件在 AM1.5 条件（组件温度 25°C，光照为每平方米 1000 瓦，大气质量为 AM1.5）下吸收 99% 的太阳光，最高理论转换效率高达 32.8%。

集成化程度较高，薄膜沉积和后处理工艺是关键

碲化镉薄膜电池生产集成化程度较高，多个制备进程可在同一个工厂完成，整个过程耗时较短，工序简单。而晶硅生产中从晶硅——硅片——电池片——组件过程往往需要在多个工厂经过多道工序。

图 3: 碲化镉薄膜电池生产工序



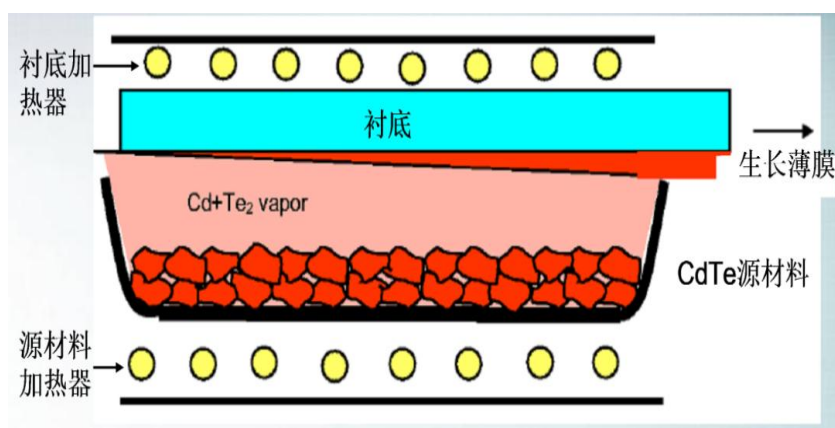
资料来源:《新型碲化镉薄膜太阳能电池能带调控及电池制备研究》(郑根华), 光大证券研究所绘制

为同时满足低成本生产和高沉积速率的商业化条件,碲化镉薄膜电池工业生产主要采用近空间升华 (CSS) 和气象传输沉淀 (VTD) 两种方法制备。两种方法理论上都可以满足技术和商业化应用要求,不过实际应用中需要积累生产经验不断优化生产工艺。

CSS 通过将 CdTe 固体原材料加热至 450°C 以上升华分解,再将其凝结至 450~600°C 的玻璃衬底上形成均匀的碲化镉薄膜,能够在约 1um/min 的沉积速率下得到高品质薄膜,是目前广为使用的方法。

VTD 前期步骤与 CSS 类似,通过加热 CdTe 固体使其受热挥发出 CdTe 蒸汽,但不同的是再利用传输气体(氦气、氧气等)将 CdTe 蒸汽于基板表面凝集成膜。此种方法沉积速率较快,为美国 First Solar 专利独有,亦构成其技术护城河。

图 4: 近空间升华法 (CSS) 原理图



资料来源: 太阳能光伏网, 光大证券研究所

由于发电效率与开路电压和短路电流成正比，可以通过对沉积薄膜的后处理增大电压电流实现效率提升，工业生产中主要使用含氯气氛处理和激光划刻处理两种方法。

含氯气氛处理通常指将所得 CdTe 薄膜置于 400°C 的 CdCl₂ 气氛之中使其发生反应实现再结晶。未经过含氯气氛处理的 CdTe 太阳能电池，产生的短路电流较小，无法满足效率需求。通过 CdCl₂ 再处理，一方面可以增大晶粒尺寸，减少晶界缺陷，另一方面通过热处理优化界面结构，提高吸收层的载流子寿命，从而提升电流大小和效率。

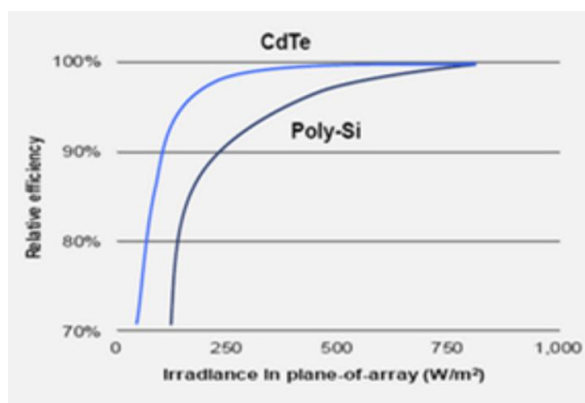
激光划刻处理通过把连续膜层分割成若干电池单体，再将电池串联集成实现开路电压和短路电流的提升。选用不同规格激光划刻 CdTe 薄膜时刻槽边缘形状不同，为令后续沉积层与接触层发挥良好的欧姆特性，应选用刻槽边缘较为平缓的激光进行划刻。

对标晶硅电池，碲化镉薄膜电池具备自身特有优点

与晶硅太阳能组件相比，除理论效率更高，碲化镉薄膜太阳能电池组件还具有很多潜在优点：

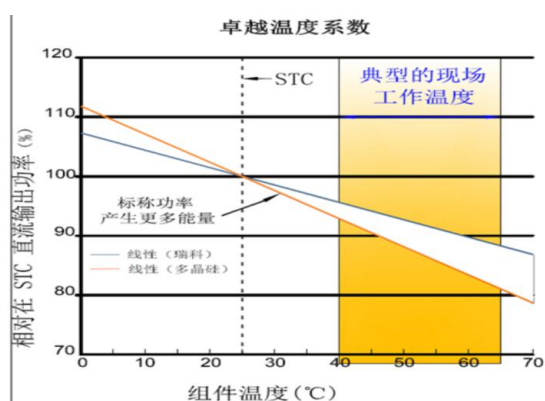
- 1) 温度系数低，碲化镉温度系数约为-0.25%/°C，比晶体硅太阳能电池低一半左右，可适用于高温、沙漠及潮湿地区等严苛应用环境。
- 2) 弱光效应好，由于碲化镉为直接带隙半导体，强弱光均可发电，拥有最好的光谱响应，在清晨、傍晚、积雪、积灰、雾霾等弱光条件下发光效果明显优于间接带隙材料的晶硅电池。
- 3) 热斑效应弱，通常光伏组件局部被遮蔽时会发热，该区域被偏置成负载消耗能量，薄膜电池的弱光性能使得其电力损失更低。
- 4) 强度高、易加工，由于碲化镉薄膜内含轻质化产品和纤维，其表面硬度高且具备类似木材的加工性能。
- 5) 回收期短，最高超过 90% 的组件可回收进行循环利用，欧洲 PV Accept Project 报告显示，碲化镉薄膜电池的能量回收期仅为 10.8 个月，而晶体硅电池则需要 2.5-3 年。
- 6) 美观、可灵活定制，碲化镉薄膜玻璃可改变透光率和颜色，且在建筑上属夹胶类安全玻璃范畴。

图 5：碲化镉电池弱光性能优于多晶硅电池



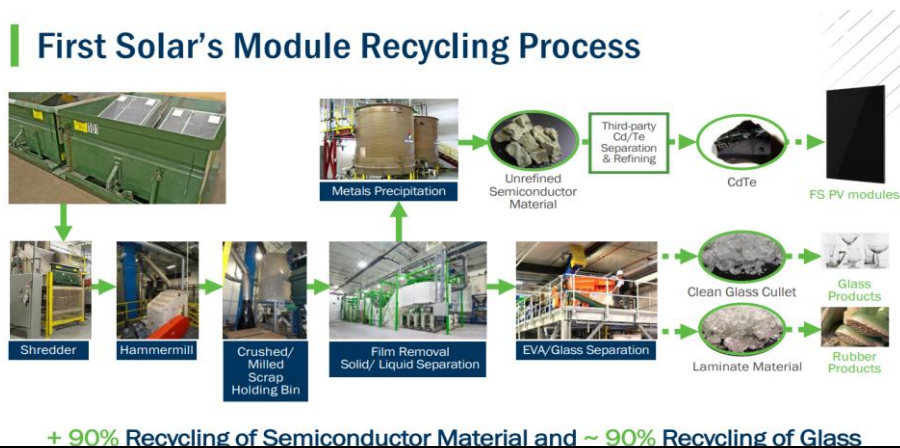
资料来源：瑞科新能源官网，光大证券研究所

图 6：碲化镉薄膜电池温度系数较低



资料来源：瑞科新能源官网，光大证券研究所

图 7: 碲化镉薄膜电池组件回收过程



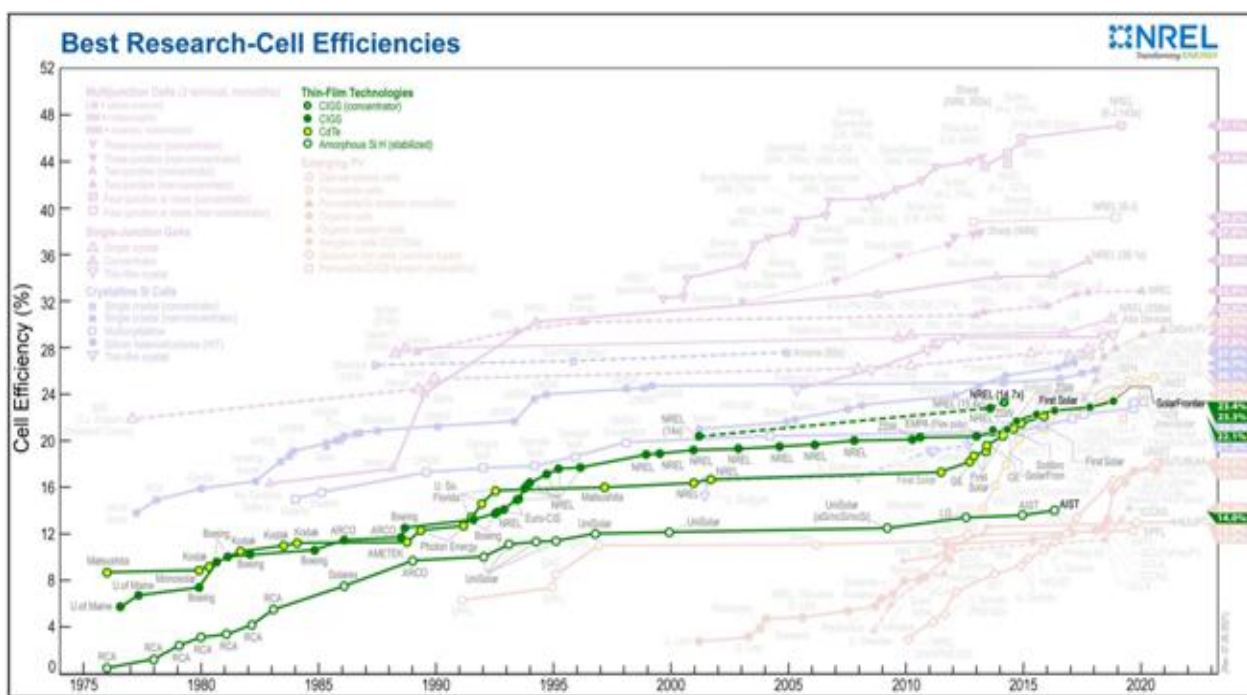
资料来源: FirstSolar 官网, 光大证券研究所

实验室转化效率已达较高水平, 部分应用领域具备差异化优势

根据碲化镉组件能量转化效率发展曲线, First Solar 公司在 2011—2016 年期间将实验室电池转化效率从 16% 提升至 22.1%。

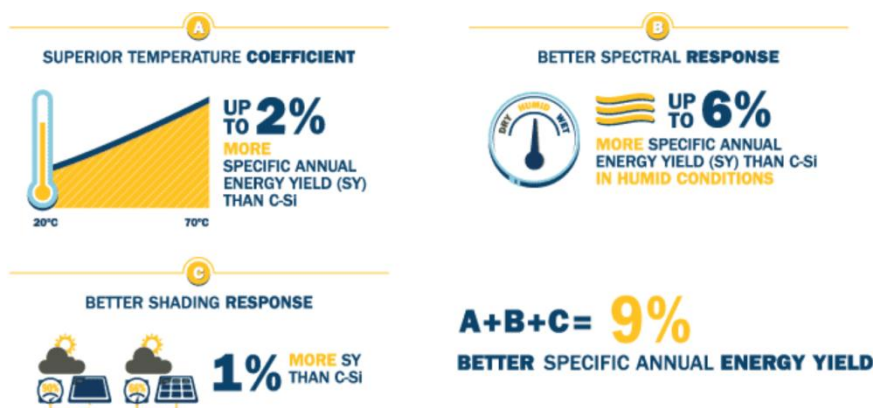
根据 First Solar 15 年官方提供的项目模拟模型——Energy Capacity Assessment Tool, 因为碲化镉薄膜电池具有弱光性能强、温度系数更低、光谱响应更优等特点, 在部分特定地区规模应用时, 项目发电量与晶硅产品相比领先幅度高达 9%。

图 8: 碲化镉薄膜电池实验室转化效率持续提升



资料来源: NREL 官网, 光大证券研究所

图 9：碲化镉组件性能优势



资料来源：First Solar 官网，光大证券研究所

1.3、铜铟镓硒电池：理论光电转换效率更高

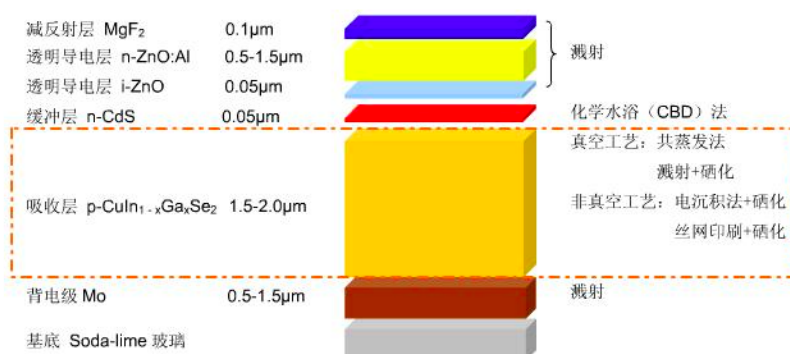
发电原理

铜铟镓硒（CIGS）薄膜电池是一种吸收层采用铜铟镓硒材料的多元化合物多晶半导体薄膜太阳能电池，结构与发电原理类似于碲化镉薄膜电池。

结构上包括：减反射膜（ MgF_2 ）、窗口层（ ZnO ）、过渡层（ CdS ）、吸收层（CIGS）、金属背电极（ Mo ）、玻璃衬底等。其中，吸收层 CIGS 为关键材料，发电以 P-N 异质结为基础。阳光照射时光子穿导电层、缓冲层到达吸收层载流子分离，负电荷走向顶电极，正电荷走向背电极，从而实现发电。

CIGS 电池可以通过向吸收层 $CuInSe_2$ 加入 Ca 元素并令其部分取代 In 原子实现带隙的调节，范围为 $1.04eV-1.72eV$ 。此外铜（ Cu ）、铟（ In ）、镓（ Ga ）、硒（ Se ）四种元素构成的吸收层可吸收波长范围较广，其中包括波长 $700nm-1200nm$ 的红外光。因此其可吸收光子发电的时间最长，是理论上转换效率最高的（居薄膜太阳能电池之首）的光伏材料。

图 10：铜铟镓硒薄膜电池原理图



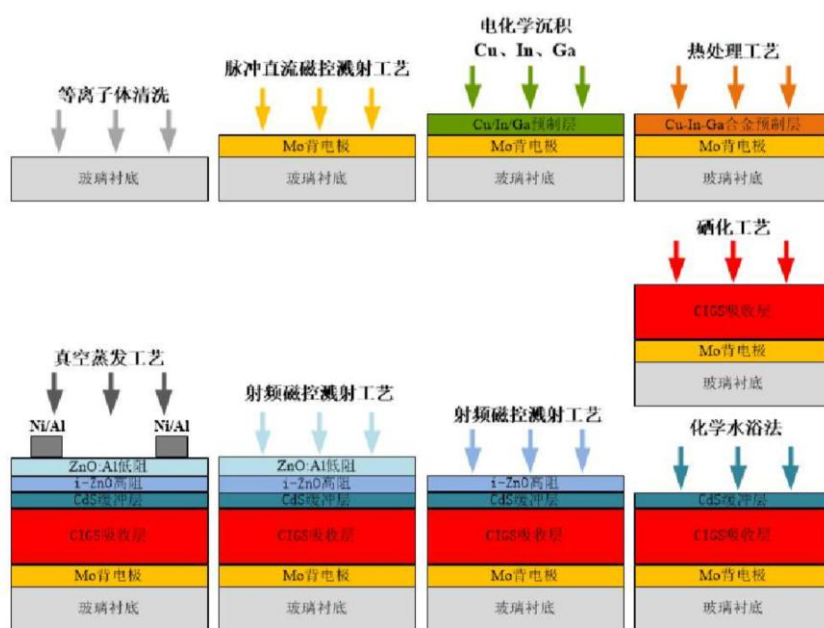
资料来源：索比光伏网，光大证券研究所

技术百家争鸣，大面积制备和成本问题是产业化瓶颈

铜铟镓硒薄膜电池制备路线主要分为真空工艺和非真空工艺，具体工艺路线多样。虽然非真空工艺初期投资成本较低，但由于关键核心技术未突破实际转化效率低的瓶颈，目前满足商业化要求的主要采用真空工艺中的溅射+硒化法。

溅射+硒化法主要包含“衬底制作—Mo 电极制备—铜铟镓硒薄膜溅射—高温硒化”四个步骤。溅射指利用高能投射粒子撞击引发靶粒子喷射飞向基片沉积成膜，硒化指将溅射步骤所得铜铟镓预制薄膜层在硒气氛中高温硒化，最终形成铜铟镓硒结构。由于整个制备过程在真空下进行，产线设备较为昂贵，前期投资成本较大，再加上溅射过程中镓元素掺杂浓度和硒化工艺中气流、加热器分布控制较难把控，导致大面积镀膜时均匀度有待提升，产业化放量过程仍有很长的路要走。

图 11: CIGS 薄膜工艺制作流程



资料来源：《铜铟镓硒薄膜太阳能电池关键制备工艺分析及性能测试》（黄云翔），光大证券研究所

应用场景类似碲化镉薄膜电池，未来发展值得期待

铜铟镓硒薄膜电池的优点与碲化镉薄膜电池类似，同样具有理论转换效率高、使用寿命长（可达 30 年）、不会产生光致衰退效应、弱光效应好、轻薄美观、污染小、太阳光谱响应范围大等特点。

由于大规模量产下的成本和效率有待进一步优化，目前铜铟镓硒薄膜电池应用推广尚不如碲化镉薄膜电池。随着以凯盛科技集团为首的企业不断进行技术研发攻关，以期实现降本增效，未来发展值得期待。2017 年，凯盛光伏材料在安徽省蚌埠投产首个铜铟镓硒光伏产业基地，年产能达到 300MW，目前已规划建设多条铜铟镓硒薄膜太阳能电池生产线。2021 年，经美国国家可再生能源实验室 (NREL) 测试证实，凯盛集团下属德国 Avancis 公司生产的 30 厘米×30 厘米铜铟镓硒太阳能电池组件的光电转换效率达到 19.64%，再次打破了铜铟镓硒太阳能电池组件光电转换效率的世界纪录，为工业化量产和规模化生产打下了坚实的基础。

1.4、 复盘薄膜电池发展历史，与晶硅电池之争的关键在于综合成本高低

考量光伏组件的经济性，我们首先要引入度电成本的概念，即对项目生命周期内的成本和发电量进行平准化后计算得到的发电成本（生命周期内的成本现值/生命周期内发电量现值）。通常用 LCOE（Levelized Cost of Electricity）表示，具体计算公式如下：

图 12：LCOE 公式解析

$$LCOE = \frac{P_{dynamic_cost} - \sum_{n=1}^{T_{O\&M}} \frac{D_{depreciation} R_{tax}}{(1+R_{discount})^n} + \sum_{n=1}^{T_{O\&M}} \frac{P_{O\&M}(1-R_{tax})}{(1+R_{discount})^n} - \frac{Y_{residual\ value}}{(1+R_{discount})^{T_{O\&M}}}}{\sum_{n=1}^{T_{O\&M}} \frac{E_{accrual}}{(1+R_{discount})^n}}$$

资料来源：北极星太阳能光伏网，光大证券研究所

从计算公式中我们可以看到，对度电成本影响最大就是初始资金投入、运维成本和发电量。初始投资成本可以进一步拆分为：组件生产成本、建安工程成本、一次土地成本、电网接入成本等；发电量可以进一步拆分为：发电效率和组件寿命。因此，我们认为影响光伏组件经济性的主要变量即**组件生产成本、发电效率和使用寿命**。

1980 年以来，薄膜电池路线曾在 1980-1988 年和 2004-2009 年这两个时间段内占据竞争优势，市场份额逐步提升。其中核心推动力在于组件生产成本的优势，同时伴随发电效率和使用寿命的持续提升，使其综合竞争力阶段性占优。

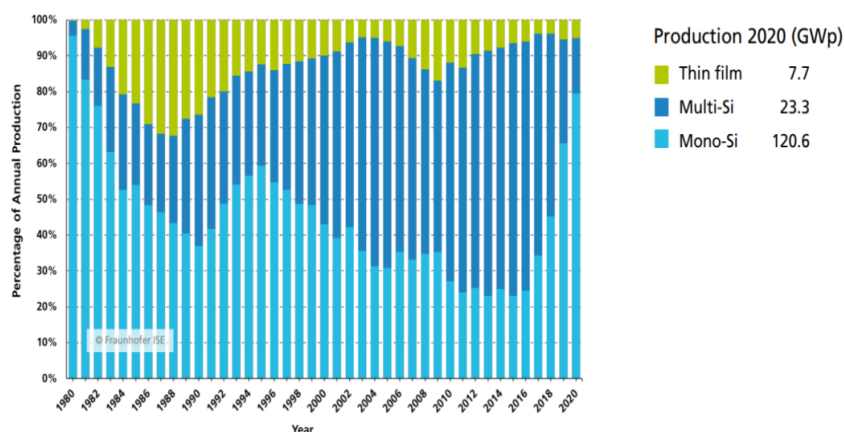
1、（1980-1988 年）硅基薄膜电池诞生，成本优势明显，需求快速放量

薄膜电池最初的技术路径即为硅基薄膜电池，诞生于 1976 年，美国 RCA 实验室的 D Carlson 等人研制出 p-i-n 结构的非晶硅(a-Si)太阳电池，实验室效率为 2.4%，并在 1980 年将其效率提升至 8%（摘自耿新华的期刊论文《硅基薄膜太阳电池技术的发展》）。此后硅基薄膜太阳电池迅速投入产业化，日本三洋电气公司在 1980 年使用其制成计算器，正式实现工业化生产。

硅基薄膜电池诞生之后快速得到推广，主要在于其显著的成本优势。1、节约材料成本：其厚度一般小于 1μm，不到晶体硅电池厚度的 1/100；2、低温工艺技术（200℃）：不仅实现节能降耗，同时可采用玻璃、塑料等廉价衬底；3、工序简捷。1988 年，硅基薄膜电池的市场销量份额一度达到 30%。

受制于光致衰退效应，硅基薄膜电池迟迟无法突破效率瓶颈，在竞争中逐渐处于下风。光致衰退的主要原因是本征非晶硅的 S-W 效应，即经较长时间的强光照射或电流通过，在其内部产生缺陷而使薄膜电池的使用性能下降。**由于硅基薄膜电池初期产品的效率较低再叠加 30%以上的衰退率，使得成本优势渐渐丧失。**而同期晶硅电池规模优势逐渐显现，成本也在持续降低，使得硅基薄膜电池竞争力下滑，1990 年之后产量停滞不前，市场份额开始持续走低。

图 13：全球光伏组件市场销售量占比



资料来源：Fraunhofer 官网，光大证券研究所

2、（2004-2009 年）碲化镉薄膜电池实现产业化，效率和成本进一步优化，同时受益于晶硅电池成本上涨

2004 年，First Solar 成功推动碲化镉薄膜电池并实现产业化。相比硅基薄膜电池，碲化镉薄膜电池不存在光致衰退效应，且转化效率更高。根据 First Solar 公司公告，2006 年量产转化效率达到 9.5%。薄膜电池制造成本在生产成本中占比较高，而 First Solar 通过自身技术优势，成功掌握关键制程设备，并通过规模扩张，持续降低碲化镉薄膜电池的制备成本，使其成为薄膜电池的主流路径。

2005 年，供不应求导致多晶硅价格大幅攀升，晶硅电池成本明显提高，这使得碲化镉薄膜电池成本优势逐渐显现，助力薄膜电池市场份额再度实现扩张。2005 年，硅料价格仅 100 美元/kg 左右，至 2008 年 9 月已高达 500 美元/kg 左右。借此机会，碲化镉薄膜电池的市占率由 2005 年的 6.5% 增加至 2009 年的 19.5%，达到新一轮扩张的高峰。

2008 -2009 年硅料价格高位回落，随后伴随我国厂商扩产，2010 年-2011 年再次迎来多晶硅料价格的断崖式下跌。连续两轮多晶硅价格的下滑，带动晶硅电池组件成本快速下降，并且此后持续下探。薄膜电池成本优势不断弱化，最终市场销量份额在 2020 年萎缩至 5% 以下。

通过两轮复盘，我们认为薄膜电池在与晶硅电池竞争过程中，实际转换效率始终落后，其阶段性的核心优势即制造成本较低。2012 年以后，随着晶硅电池持续降本，且发电效率亦在稳步提升，一直保持对于薄膜电池的竞争优势，最终成为光伏组件市场的主流，至今尚未被撼动。

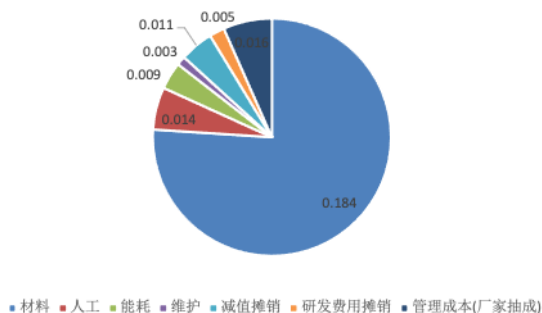
1.5、 薄膜电池具备更大降本潜力

我们不排除未来硅料价格再度超预期上涨，给予薄膜电池制造成本优势，但这种情况不可预期，且难以持续。从理论而言，技术路线特点决定薄膜电池的理论转换效率更高，且生产设备投入带来的制造成本占比也更高。因此薄膜电池竞争力提升的根本途径仍在于量产转换效率的提升。一方面可摊薄制造成本，另一方面发电量的增加亦可降低初始投资回收时间，从而带来综合度电成本的降低。

我们选取多晶硅-PERC 电池组件与碲化镉薄膜电池组件进行对比，根据 NREL 数据，2020 年 First Solar 的 Series 6 在亚洲销售价格为 0.28 美元/瓦，高于 C-Si 组件的 0.245 美元/瓦。按照销售价格的构成来看，Series 6 组件材料成本

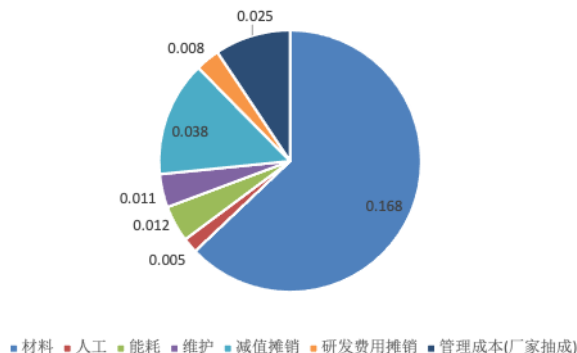
占比仅为 63%，低于 C-Si 组件的 76%，摊销和管理运维费用占比相对较高，理论上转化效率越高，降本空间越大。

图 14: C-Si 组件售价组成拆解 (美元)



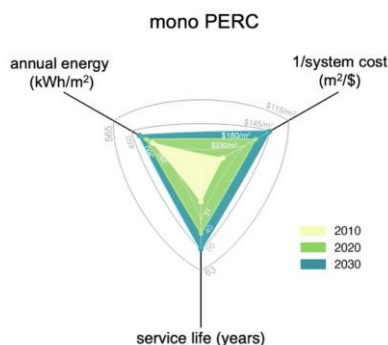
资料来源: NREL, 光大证券研究所 (2020 年)

图 15: CdTe 组件售价组成拆解 (美元)



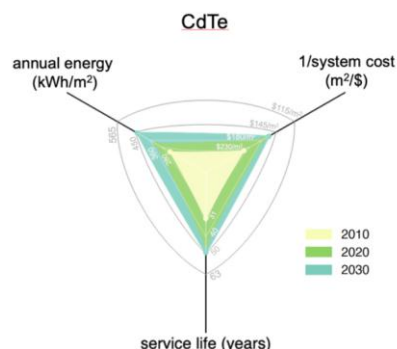
资料来源: NREL, 光大证券研究所 (2020 年)

图 16: C—Si 组件(多晶硅 PERC 电池组件)技术路线



资料来源: NREL, 光大证券研究所

图 17: CdTe 组件技术路线



资料来源: NREL, 光大证券研究所

First Solar 在 2018 年推出的 Series 6 组件量产转化效率已到达 18%，为全球同类产品最高，与晶硅发电 23% 的量产转化效率越来越接近。近年来，Series 6 组件出货量快速增加，First Solar 也在积极扩充产能。2018 年之后，薄膜电池的市场份额已再现提升趋势。此外，随着钙钛矿薄膜电池技术的发展，有可能成为推动薄膜电池发展的新动力。

此外，找到自身优势应用领域（如建筑立面），避开和晶硅电池的正面交锋，也是薄膜电池突破发展瓶颈的重要途径。这一部分我们将在本文第四章着重探讨。

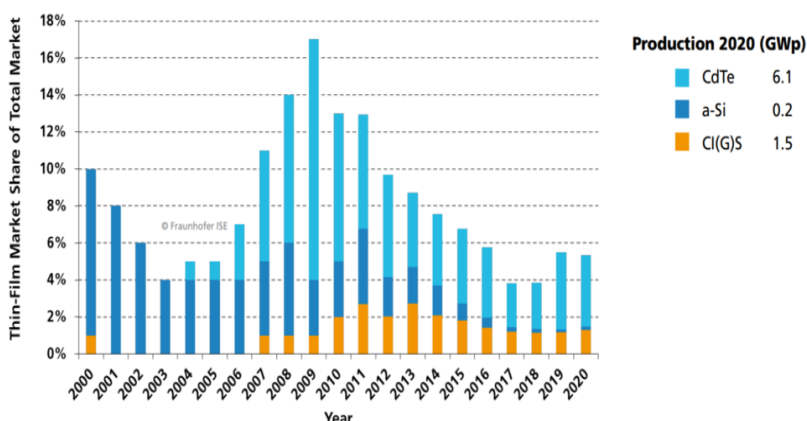
2、他山之石可以攻玉： First Solar 启示录

2.1、 全球薄膜电池市场规模仍然较小，其中 First Solar 占据主要份额

薄膜太阳能电池的产业化和商业应用正在持续得到推广验证，但当前光伏市场仍以晶硅电池主导。根据 Fraunhofer ISE 发布的全球光伏市场研究报告，2020 年全球薄膜电池市场份额仅为 5%，其中又以碲化镉为主，比例达到 78%。

First Solar 成立于 1999 年，目前是全球最大的薄膜太阳能电池组件生产商，占据碲化镉薄膜电池销量 95% 左右的市场份额。其拥有的 VTD 技术具备镀膜速度快、均匀度高、原材料无需更换、材料利用率高等优势，使其拥有全球产业化最高的碲化镉薄膜电池发电效率，在市场竞争中居于领先地位。

图 18：各类薄膜电池组件销量市场占比



资料来源：Fraunhofer 官网，光大证券研究所

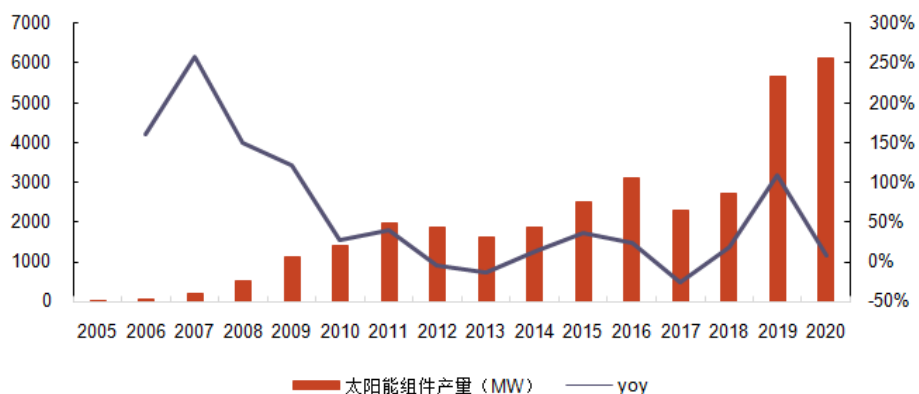
2.2、 First Solar 发展复盘

First Solar 公司于 2002 年建成世界最大的碲化镉薄膜电池组件自动化生产线，并在 2004 年将产品推入市场，此后凭借先进的技术和工艺优势，在 2016 年之后几乎垄断了全球碲化镉薄膜电池市场。

作为最早实现碲化镉薄膜发电商业化的企业之一，First Solar 的发展经历了：蓬勃发展——高压调整——蛰伏前行——重新崛起四个阶段。

1、蓬勃发展期（2000-2009 年）。First Solar 在 1999 年建设第一条碲化镉薄膜电池试生产线，2002 年产能扩大至 1.5MW。公司于 2006 年上市后，受益于全球太阳能电池产业市场需求拉动以及晶硅电池成本上升，产量快速增长，从 2006 年的 56MW 增长至 2009 年的 1113MW，CAGR 高达 170.88%。

图 19: First Solar 2006~2020 年组件产量增长图



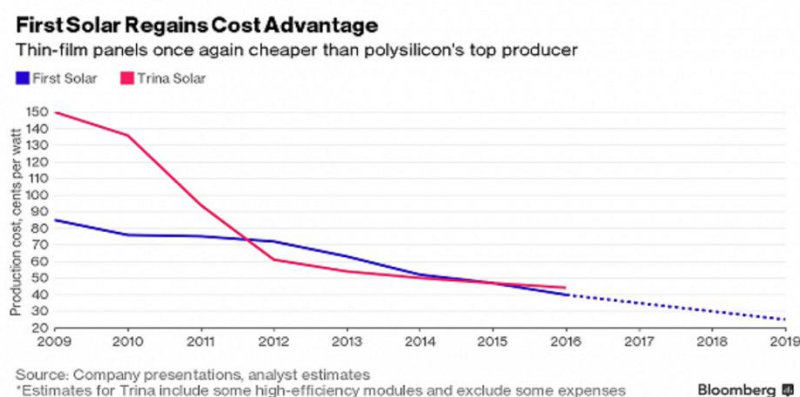
资料来源: Bloomberg, 光大证券研究所

2、高压调整期（2010-2014 年）。早前大规模的产能扩张，使得光伏产业出现严重的供给过剩，硅料价格暴跌带来晶硅电池成本下降，也在挤压薄膜电池的生存空间。2010 年至 2012 年，全球光伏组件现货价格自 1.99 美元/W 降至 0.72 美元/W。First Solar 在 2012 年关停了部分产能，其中包括德国法兰克福全部产线、马来西亚 4 条产线，最终留存 20 条产线。

3、蛰伏前期期（2015 年-2018 年）

在各国政府政策扶持下，光伏产业逐渐回暖，First Solar 装机量也呈增长态势。不过由于晶硅电池的商业化发电效率更高且成本优势逐渐显现，发展更为迅速。

图 20: First Solar 与天合光能组件制造成本对比（美分/瓦）



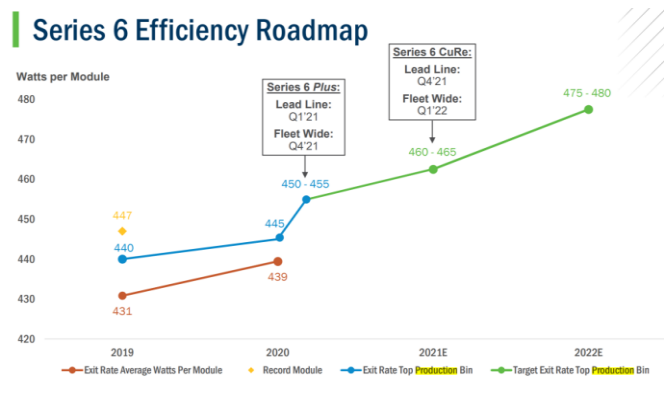
资料来源: Bloomberg, 光大证券研究所

4、重新崛起期（2019 年-至今）

First Solar 持续推动技术进步和产品更新，2019 年 Series6 正式商业化投放，进一步提升碲化镉薄膜电池竞争力。根据 First Solar 公司官方数据，Series6 薄膜电池组件发电量和单位发电成本进一步优化，推动了公司产能进入新一轮扩张周期。2019 年公司光伏组件产能扩建至 5.5GW，较上年同期增长约两倍，全年组件出货量达到 5.4GW，净订单量达到 6.1GW，为历史新高。

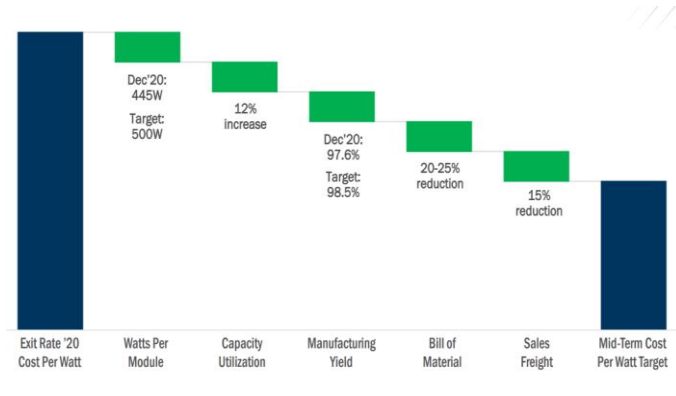
公司碲化镉薄膜电池供不应求，扩产动作加快。2020 年公司产能利用率达到了 117%，2021Q2 订单需求高达 9GW。未来公司将继续扩产，计划在总部美国 Ohio 州和印度均扩充 3.3GW 产能，预计在 2024 年产能有望达到 16GW。2021 年，公司组件出货量约为 7.7GW，2022 年出货指导提升至 9.4GW。

图 21: First Solar 薄膜电池组件发电功率规划蓝图



资料来源: First Solar 公司官网, 光大证券研究所

图 22: First Solar 碲化镉薄膜电池组件单位发电成本降低趋势



资料来源: First Solar 公司官网, 光大证券研究所

2.3、 First Solar 成功的关键因素

复盘 First Solar 的发展历程，我们认为公司在晶硅组件占主导的光伏市场中，仍能占据一席之地，主要有以下关键因素。

关键因素之一：进入市场时点合适，技术路径选择正确

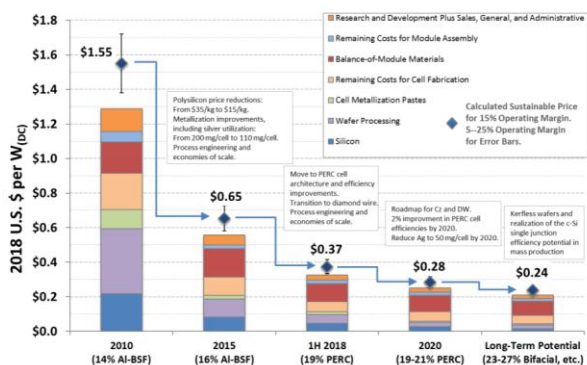
First Solar 进入光伏市场时，光伏市场仍处在起步期，市场对于不同类型产品的接受度较高，根据性能和成本进行综合评判。2005 年开始，随着晶硅成本的上涨，公司凭借产品稳定的性能和初期成本优势逐步提升市场份额，一度成为全球第一光伏组件厂。

First Solar 在切入薄膜电池领域之初就持续致力于发展碲化镉薄膜电池相关技术，并未涉足砷化镓、铜铟镓硒、高效硅异质结、非晶硅技术等其他路线，事实证明，直至目前碲化镉路线仍然是薄膜电池产业化较好选择。

关键因素之二：持续推动技术进步，带来效率提升、成本下降

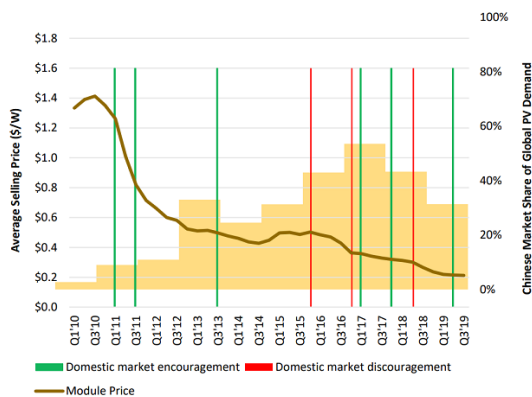
晶硅电池组件成本构成中，原材料占比最高，原材料价格的下行，可使得成本大幅降低。晶硅组件原材料由于技术壁垒和进入门槛较低，市场竞争激烈，尤其在中国企业凭借廉价劳动力和资源优势进入国际市场后，进一步拉低了行业整体成本。晶硅电池组件成本由 2010 年的 1.55 美元/W 降至 2020 年的 0.28 美元/W。

图 23: 晶硅电池组件成本变化图



资料来源: NREL 官网, 光大证券研究所

图 24: 中国光伏企业入局加速晶硅电池成本下降

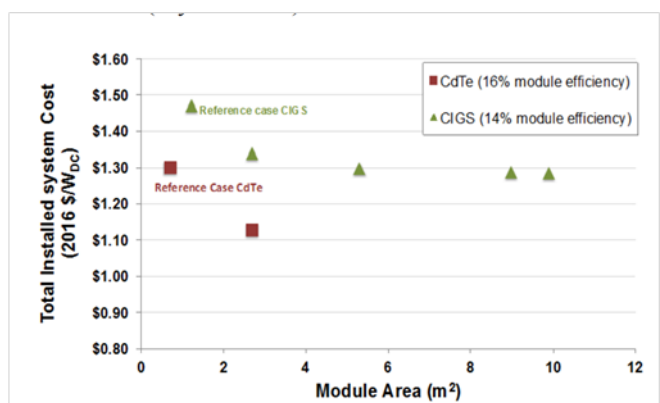


资料来源: NREL 官网, 光大证券研究所

注: 折线图对应右轴, 柱状图对应左轴

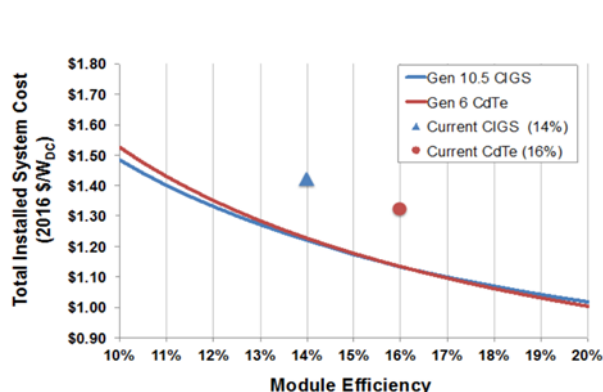
薄膜电池组件的技术原理决定了原材料成本占比较少, 而提升组件面积和转化效率是降低成本的关键。根据 NREL 官方研究数据测算, 提升组件面积可以很大程度降低 BOS 成本, 而通过技术工艺改进带来的转化效率提高可以很大程度地提升发电效率, 摊薄单位成本。

图 25: 薄膜电池组件成本与尺寸间关系



资料来源: NREL, 光大证券研究所

图 26: 薄膜电池组件成本与转化效率关系

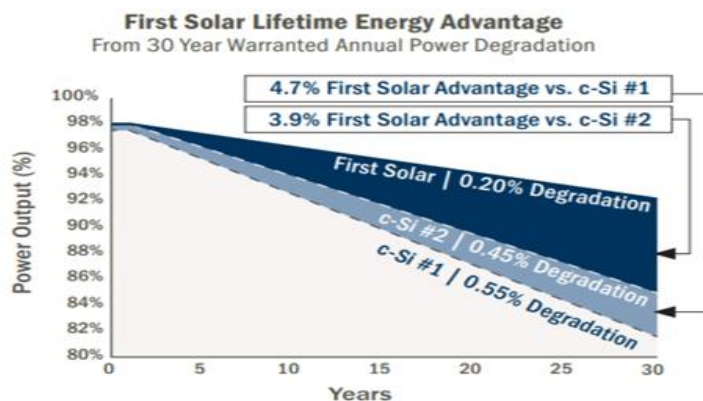


资料来源: NREL, 光大证券研究所

First Solar 碲化镉薄膜制造技术全球领先, 全球独有气象传输沉淀技术 (VTD), 并持续推动产品升级。公司 2018 年推出的 Series 6 组件量产转化效率已达到 18%, 相比之前产品, 采用铜替代 "Cu Re" 方案, 有效改善了组件的关键性能指标。组件衰减率仅有 0.2%, 在质保期 (30 年) 结束后, 仍能保持较好性能。此外, 组件的温度系数仅为 -0.28%/°C (低于行业平均的 -0.25%/°C), 并拥有更好的光谱响应, 可适应高温和潮湿环境。

如果考虑碲化镉薄膜电池整个项目周期更低的组件衰减率, Series 6 总共的能量输出或已不低于晶硅电池产品。碲化镉相关产品理论上的优势逐渐在现实中加以体现, 在差异化市场中与晶硅产品相比开始形成竞争优势。

图 27：光伏组件衰减变化图



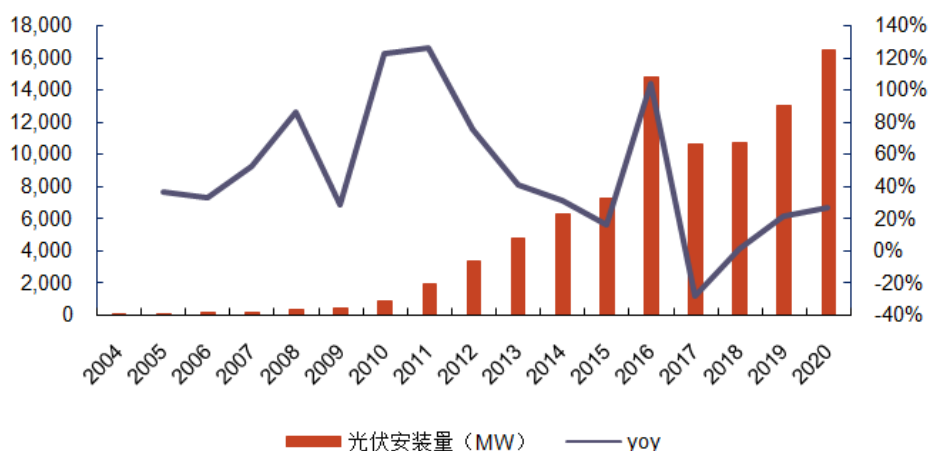
资料来源：First Solar 官网，光大证券研究所

关键因素之三：国家产业政策提供发展土壤

First Solar 公司的发展离不开美国政府的扶持，1990 年代，美国能源部先后发布“薄膜合作组织计划”和“高性能光伏计划”，其中即包括碲化镉薄膜电池研究，NREL 组织相关科研团队进行研发攻关，每年研发投入数百万美元。2004 年，公司作为全球唯一运行的碲化镉薄膜电池制造商，NREL 直接参与到公司产品技术攻关中，并给予专项资金支持，从而助力公司快速发展。

First Solar 开始是以欧洲市场作为主要销售区域，随着欧洲光伏补贴缩减，公司转而大力发展美国市场，美国地区快速增长的市场规模和保护性政策为公司提供发展契机。面对中国企业强大的市场竞争力，美国本土光伏企业盈利表现普遍较差，在 2011 年，美国约 86.66% 的光伏组件源自中国光伏企业制造。美国商务部于 2012 年 10 月 10 日发布反倾销、反补贴的“双反政策”，对中国相关光伏企业征收关税 23.75%-254.66%。与此同时，美国光伏装机量从 2010 年的 850MW 增加至 2016 年的 14762MW。

图 28：美国光伏组件市场装机量变化趋势



资料来源：Wind，光大证券研究所

在美国实施双反政策后的 2013 年上半年, First Solar 实现净利润 9274 万美元, 成功扭亏为盈。按北极星太阳能光伏网数据, 2012 年我国英利、天合光能、阿特斯等企业, 光伏电池组件平均成本约为 0.79 美元/W、0.78 美元/W、0.78 美元/W, 叠加关税溢价后成本上升至 1.03 美元/W、0.97 美元/W、1.02 美元/W, 较 First Solar 碲化镉薄膜电池组件成本 0.73 美元/W 高 37%左右。

表 2: 美国商务部对华双反政策税率

公司	反倾销关税	反补贴关税	合并关税
尚德太阳能	31.73%	14.78%	35.97%
天合光能	18.32%	15.97%	23.75%
英利集团、阿特斯等其他应诉企业	25.96%	15.24%	30.66%
其他所有未应诉企业	249.96%	15.24%	254.66%

数据来源: 美国商务部, 光大证券研究所

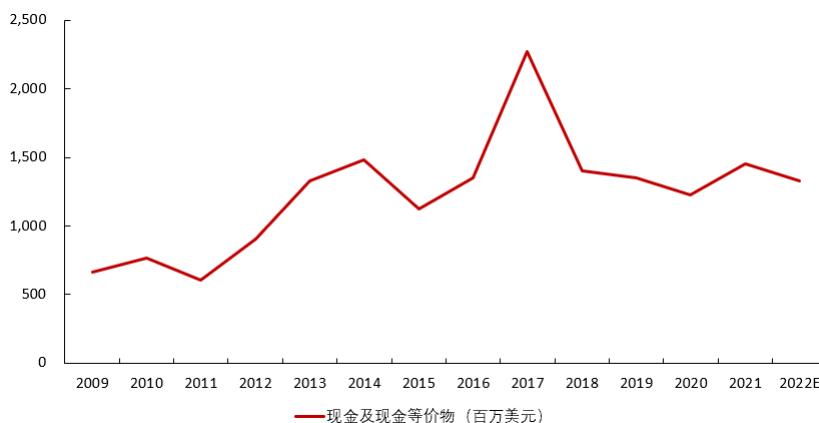
注: 为避免重复计算中国出口补贴, 在与反补贴关税合并时反倾销关税将扣除 10.54%

关键因素之四: 坚守现金流底线, 把握生存基石

在行业发展承压之际, 公司积极进行多元化战略布局, 包括向下游终端电站系统建设拓展等, 维持生存基本现金流。公司在 2007 年 11 月收购 Turner Renewable Energy 公司, 获得具备丰富电力项目开发及运营经验的团队, 开始向产业链下游的电站系统布局。2009 年至 2015 年, 公司光伏系统销售收入占比从 5.6% 上升至 95.1%, 至 2013 年, 公司已成为全球最大的电站 EPC 业务承包商。这为公司带来持续稳定的现金流, 缓解了薄膜电池组件经营的压力, 也为公司走出低谷打下了坚实基础。

不过随着公司碲化镉薄膜电池业务重新回归向上轨道后, 公司业务重心再次聚焦。2016 年, 公司宣布全面停产 Tetra Sun 单晶硅产品线, 将其改造为薄膜组件生产线; 2019 年宣布将 EPC 业务全面转手第三方经营。

图 29: First Solar 在手现金变化趋势



资料来源: Capital IQ, 光大证券研究所 注: 22 年数据为 Capital IQ 预测

3、国内薄膜电池产业化发展尚在起步阶段

3.1、理论研究跻身前列，产业化尚待进一步突破

我国薄膜电池理论研究起步较早，尤其在碲化镉薄膜电池领域目前已取得显著成果，与国际先进水平差距在缩小。四川大学从 20 世纪末就开始承担国家“九五”科技攻关及“十五”863 重点项目，开始从事碲化镉薄膜太阳能电池相关研究。此后包括中科大、暨南大学、中科院电工所在内的多家院校机构也投身于相关技术的研发。2001 年国际知名光伏专家吴选之带领团队创造了碲化镉薄膜电池光电转化效率 16.7% 的世界纪录，随后其于 2008 年回国创立杭州龙焱能源公司，于 2017 年完成了国家“十二五”863 重点课题，电池转化效率达到了 17.8%。2021 年，中建材采用的 CTF Solar 第二代发电玻璃技术将实验室转换效率提升到了 20.24%，基本与工业龙头 First Solar 持平。

在铜铟镓硒薄膜电池理论研究领域，南开大学于 1989 年开始承担国家“八五”、“九五”期间铜铟镓硒电池项目，随后深圳中科院先进技术研究院光伏中心、神华集团北京低碳研究院太阳能研究中心等研究机构相继加入。2012 年左右，汉能、中国建材等企业趁着全球 CIGS 整体寒冬之际成功收购一批先进技术。目前国内自主研发的 CIGS 实验室转化效率最高达到了 22.9%，接近由日本电池厂商 Solar Frontier 创造的 23.4% 的世界纪录，属于世界领先水平。

表 3：薄膜电池实验室转化率对比

	国内转换效率	国际纪录
碲化镉技术	20.24%	22.1%
CIGS 技术	22.9%	23.4%

资料来源：北极星太阳能光伏网等，光大证券研究所整理

虽然我国薄膜电池实验室转化效率已达国际第一梯队，但产业化应用仍处于起步阶段，规模化量产的转化效率仍具有较大提升空间。以碲化镉薄膜电池为例，电池量产时难点在于沉积薄膜时均匀性和稳定性的控制，衬底温度和腔内流体气氛决定了薄膜沉积的均匀性。如若保证产品在市场上具备一定竞争力，组件整体转化效率应达到 18% 以上，而国内主流企业——龙焱能源、中国建材等旗下产品均尚未达到此标准。

3.2、国内薄膜电池产业化发展瓶颈

瓶颈之一：行业特性限制产业推动力量不足，制造工艺仍在不断改善

薄膜电池产业链高度集成，技术进步推动力量单一。晶硅电池路线涉及产业链较长，通过对工艺分解，吸引众多参与者进入，各个环节协作联合推动技术进步和降本增效。而薄膜电池从设备设计、技术升级、生产，大都封闭在单一企业里，各个企业之间较少有技术合作分享，也缺乏供应链配套，所以技术进步和产业化进程局限于单一企业和有限资本推动。

薄膜电池产品技术路径具有非标性，各企业生产制造方法各不相同，国内主流企业技术尚有较大提升空间。以碲化镉薄膜电池为例，First Solar 运用气相输运沉积（VTD）法，且已将相关技术专利实现垄断。国内企业主要采用专利公开的近距离升华法（CSS）。从技术角度来看，两种方法都具备产业化生产基础，但市场普遍认为 CSS 法尚有较大追赶空间。近年来中建材和龙焱能源为首的改良 CSS

技术已经逐步解决技术稳定性控制的核心难题,后续重心将向量产效率的提升转移。

实际发电效率到理论最高发电效率的上升空间为薄膜电池带来了更多的降本增效空间。

瓶颈之二：晶硅电池凭借较低的成本和更高的转化效率，已牢牢占据下游主流市场

晶硅电池在我国发展较早，技术发展成熟，光电转化率高且经济性明显，已占据当前光伏市场的绝大部分份额。

根据 CPIA 数据，虽然薄膜电池的理论转换效率要优于晶硅电池，但量产组件转换效率晶硅电池平均 (23%左右) 要高于碲化镉 (15-18%)、铜铟镓硒 (15-17%) 电池。

从安装成本而言，根据北极星光伏网数据，2021 年国内分布式光伏 EPC 项目中标均价在 4 元/w 左右，成本逐年压缩。

表 4：薄膜电池与晶硅电池转换效率对比

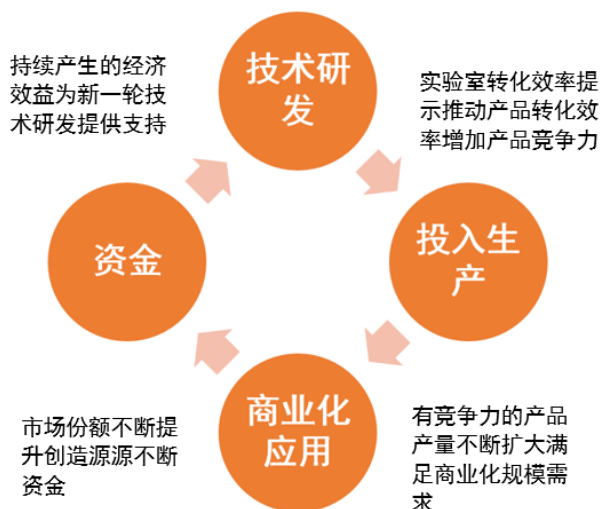
	碲化镉	铜铟镓硒	晶硅
理论转换效率	32.8%	33.6%	29.4%
实验室最高转换效率	22.1%	23.4%	26.3%
量产组件转换效率	15-18%	15-17%	23.0%左右

资料来源：NREL，《中国光伏产业发展路线图》等，光大证券研究所整理

瓶颈之三：尚未出现稳定的应用场景，以吸引资源快速投入

在晶硅电池的竞争高压下，薄膜电池缺乏稳定的应用场景，发展空间被大幅限制。而产业化发展的关键在于实现技术——生产——应用——盈利——技术的正循环。因此薄膜电池产业进步需要有稳定的盈利方向，在更为明确的发展前景下，吸引资源的持续投入，不断为产业赋能。

图 30：薄膜电池产业正循环



资料来源：光大证券研究所绘制

3.3、国内企业正在用实际行动不断推动产业进步

国内薄膜电池领军企业包括：凯盛科技集团（碲化镉+铜铟镓硒）、龙焱能源（碲化镉）和中山瑞科（碲化镉）。

凯盛科技集团选择碲化镉和铜铟镓硒电池两条路径并举。公司旗下成都中建材光电材料有限公司致力于碲化镉薄膜电池领域拓展，2018年4月投产世界第一条大面积碲化镉发电玻璃生产线投产，实现当年投产当年盈利，目前实验室转换效率突破20.24%，生产线转换效率达到15.8%，居国内领先水平。公司旗下凯盛光伏材料有限公司在安徽省蚌埠市拥有首个铜铟镓硒光伏产业基地，年产能300MW。2021年，经美国国家可再生能源实验室(NREL)测试证实，公司下属Avancis公司生产的30厘米×30厘米铜铟镓硒太阳能电池组件的光电转换效率达到19.64%，再次打破了铜铟镓硒太阳能电池组件光电转换效率的世界纪录。中国建材近年来已规划建设多条薄膜电池产能，先发优势下，随市场放量有望充分受益。

龙焱能源于2008年由国际光伏专家吴选之教授等人创建，一直致力于在中国实现高效碲化镉薄膜太阳能电池技术的产业化，成功打破国外技术垄断。2011年10月，龙焱能源建成国内第一条具有完全自主知识产权和规模量产能力的全自动化碲化镉电池生产线，搭建起了中国第一条全自动化、全国产化、年设计产能达40MW的碲化镉薄膜太阳能电池组件生产线。实现了碲化镉薄膜光伏电池产业化技术的全国产化。公司在2020年获得中国光伏行业首个绿色建材认证，标准0.72m²组件的稳定后输出功率达到107.8W，全面积光电转化效率15.0%，实验室小面积电池的转化效率已经达到20.3%。2021年，稳定后输出功率达到116.269W，全面积光电转化效率再度提升至16.1%。

中山瑞科成立于2015年8月，由明阳智能投资控股，是世界先进、中国领先的碲化镉薄膜太阳能电池制造商。公司于2018年年初建成年产100MW碲化镉薄膜组件生产线，设备研发团队研制出拥有自主知识产权的核心真空镀膜设备，其中GVD设备为国内首创，填补我国在该领域的空白。经过美国实验室（斯坦福大学创业团队）多年的研发、测试和实验，公司碲化镉薄膜电池组件小面积转化效率已达19%以上。2021年，公司碲化镉薄膜光伏组件单块功率突破120W，组件转换效率达到16.7%，是目前国内最高水平。

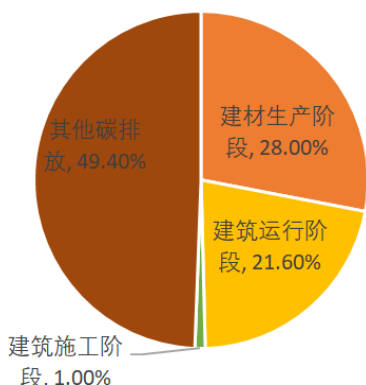
4、不以短击长，而以长击短：有望借 BIPV 东风逐步放量

当前我国薄膜电池产业化发展仍处于起步阶段，在目前主流的应用场景下与晶硅电池相比，尚不具备竞争优势。但是凭借其自身独有的优势，或可实现在某些特定场景下的突围，进而在整个市场占据一席之地，推动产业不断向前。现阶段，我们认为 BIPV 将会为薄膜电池提供良好的发展契机。

4.1、建筑行业作为“高耗能”、“高排放”行业，成为碳减排重点

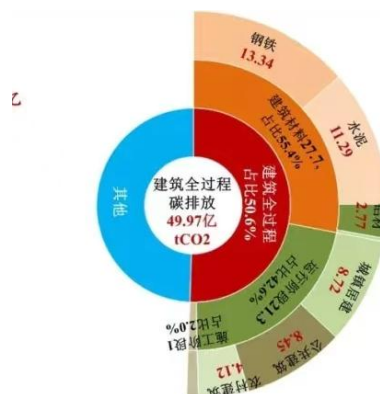
据中国建筑节能协会发布的《中国建筑能耗研究报告（2021）》数据，2019 年全国建筑领域全生命周期碳排放总量为 49.97 亿吨 CO₂，占全国碳排放总量比重为 50.6%。其中，建材生产阶段碳排放 27.7 亿吨 CO₂，占全国碳排放总量的比重为 28.0%；建筑施工阶段碳排放 1.0 亿吨 CO₂，占全国碳排放总量的比重为 1.0%；建筑运行阶段碳排放 21.3 亿吨 CO₂，占全国碳排放总量的比重为 21.6%。

图 31：2019 年我国建筑全过程碳排放占比



资料来源：中国建筑节能协会《中国建筑能耗研究报告（2021）》，光大证券研究所

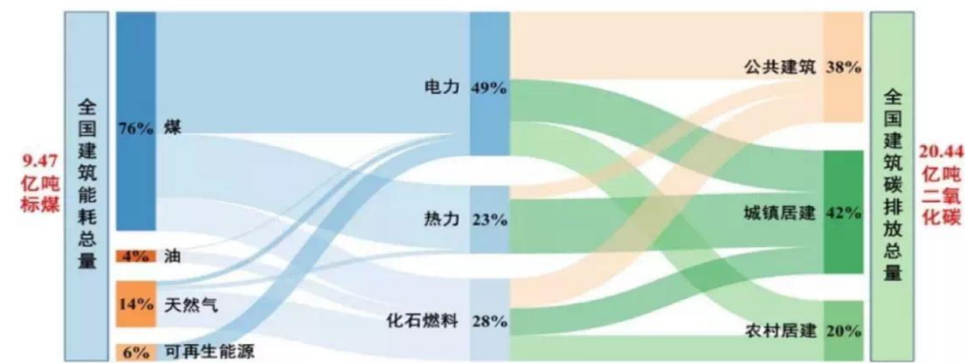
图 32：2019 年我国建筑全过程碳排放细分（单位：亿吨 CO₂）



资料来源：中国建筑节能协会《中国建筑能耗研究报告（2021）》，光大证券研究所

光伏发电是建筑运行阶段实现节能减碳的有效方式之一。根据《中国建筑能耗研究报告（2020）》数据，在全国建筑能耗和碳排放结构中，能耗总量中有 49% 来自于电力，碳排放总量中公共建筑占比 38%。若建筑物通过使用光伏组件吸收太阳能来进行自身供电，可以大幅减少传统能源的使用，则自身的能耗与碳排放量均能大幅减少。

图 33：全国建筑碳排放结构



资料来源：中国建筑节能协会《中国建筑能耗研究报告（2020）》，光大证券研究所

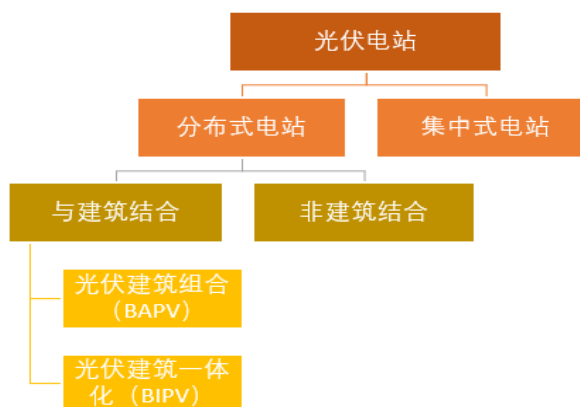
4.2、 分布式光伏系统（BAPV+BIPV），是建筑光伏的主要结合形式

当前能实现建筑与光伏有机结合的主流路径，即分布式光伏系统。光伏发电系统分为集中式和分布式：集中式光伏充分利用荒漠地区丰富和相对稳定的太阳能资源构建大型光伏电站，接入高压输电系统供给远距离负荷；分布式光伏主要依托于建筑物表面，就近解决用户的用电问题，通过并网实现供电差额的补偿与外送。根据国家能源局数据，2021年，分布式光伏新增装机规模占比达到55%。

在分布式光伏中，BAPV（建筑附着光伏）和BIPV（光伏建筑一体化）是建筑与光伏结合的两种主要方式。其中BAPV是将光伏组件通过夹具和檩条安装在金属屋面或墙面上，再连接发电装置从而利用建筑闲置空间发电以提高发电效率。该系统不影响原有建筑物的功能，是目前建筑光伏的主要结合形式，在我国的发展处于相对成熟阶段。而BIPV则是将光伏组件集成到建筑屋顶或墙面自身，成为建筑的组成部分，同时具备发电和建材的双重功能，实现光伏建筑一体化。该系统更注重光伏与建筑的融合，更具美观性，但同时技术难度也更大。

我们需要强调的是，目前主流的光伏屋顶路径更多介于BIPV与BAPV之间，即光伏发电模组并非建筑材料（或者能够承担建筑材料功能），更多是光伏材料与建筑材料组合形成模块，即光伏材料负责发电，而建筑材料负责载荷，但这并不是BIPV的最终形态。

图 34：光伏发电系统结构图



资料来源：光大证券研究所整理并绘制

4.3、 建筑物立面或将成为薄膜电池的主要应用场景

晶硅电池在我国发展较早，技术发展成熟，光电转化率高且经济性明显，已占据当前光伏市场的绝大部分份额。当前，我国薄膜电池产业化发展仍处于起步阶段，在主流场景下与晶硅电池相比有劣势。

随着BIPV的推进，薄膜电池有望占据一席之地；主要是在该场景下，业主或设计师对材料的“建筑产品”属性要求高于“发电”属性，而薄膜发电凭借其能与建筑材料更好地结合，以及不错的发电效率和耐久性等，有望在市场占据一席之地，并以此实现材料技术及应用的不断迭代。

建筑物与光伏发电系统结合的空间主要集中在屋顶和立面两个方向：

屋顶场景：晶硅太阳能电池板占据绝对优势。1、经济性：晶硅产品技术发展成熟，产品性能稳定，实际应用中成本低、效率高；2、屋顶场景对透光性（美观度）要求低，晶硅电池完全可满足需求。

立面场景：薄膜太阳能电池则具有得天独厚的优势。1、弱光性好，因此对入射光角度适应性强，而太阳光照射到立面具有一定倾角；2、温度系数较小，高温下功率损失小，而立面通风条件差经常导致组件工作环境温度较高；3、热斑效应小，在被遮挡导致局部组件温度过高时，可有效降低功率损失（建筑立面更易被周围环境遮挡）；4、从美学角度考量，薄膜太阳能电池可根据需要制作成不同的透光率，并通过改变颜色和形状，满足业主对于建筑物美观和异形的要求。近年来薄膜电池在国内的应用越来越多，如机场、运动场馆、厂房、办公大楼等场景下，均可见碲化镉、铜铟镓硒电池的身影。

诚然当前应用于屋顶的光伏-建材模块是现阶段的主流途径和经济性最优解，但从城市空间而言，高层建筑立面面积逻辑上大于屋顶面积，意味着如果国家推动超低能耗建筑等路径，建筑立面发电也将是大势所趋和有效补充。而且我们认为薄膜电池是较为典型的 BIPV 最终形态之一，且对于建筑立面发电是较好的选择，其与晶硅电池并非绝对替代关系，而是协力将建筑物节能降碳做到最大化。

图 35：蚌埠市体育中心（圆形屋顶为铜铟镓硒电池组件）



资料来源：中建材官网，光大证券研究所

图 36：潼湖科技小镇（外立面采用铜铟镓硒电池组件）



资料来源：国家能源集团官网，光大证券研究所

图 37：成都双流机场航站楼（L1 通道采用碲化镉电池组件）



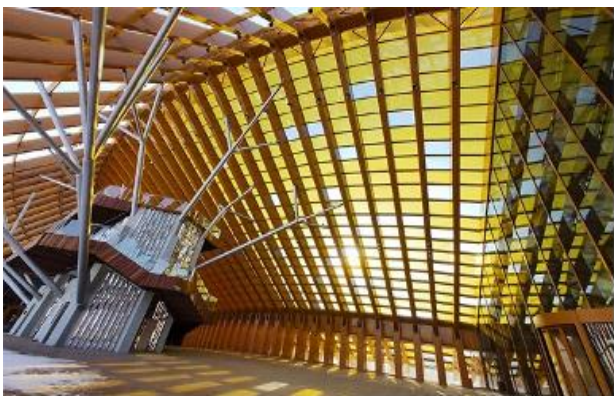
资料来源：中建材官网，光大证券研究所

图 38：中建材丽江水泥厂（外立面选用碲化镉薄膜电池）



资料来源：成都中建材光电，光大证券研究所

图 39：世园会中国馆（屋顶运用碲化镉薄膜电池）



资料来源：龙焱能源科技有限公司官网，光大证券研究所

图 40：大同未来能源馆（外立面采用仿铝材型碲化镉薄膜组件）



资料来源：龙焱能源科技有限公司官网，光大证券研究所

4.4、碲化镉薄膜电池投资回收周期测算

我们以国际当前最先进的 First Solar Series 6 组件为例，去探究碲化镉薄膜电池在建筑立面商业化应用的投资回收周期。注：本次测算以玻璃幕墙应用场景，业主投资建设，发电收益自用。不考虑组件功率衰减以及期间维护费用等，仅按照最终发电价值计算需要收回初始投资成本的时间。

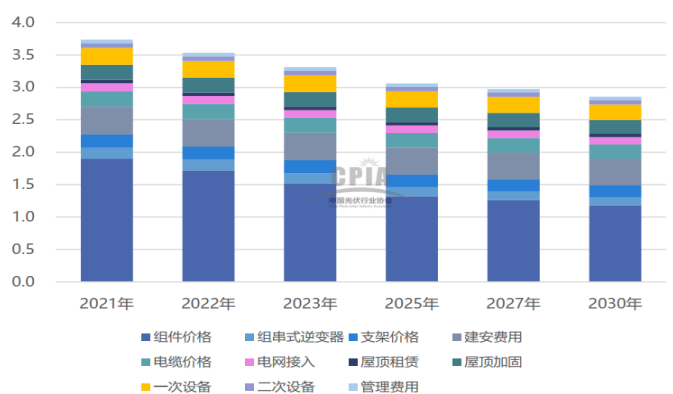
根据 First Solar 披露，其 Series 6 在东南亚售价为 0.28 美元/W，按照美元兑人民币汇率 6.74 计算（截至 2022.7.28），则对应人民币价格为 1.89 元/W。

根据中国光伏产业发展路线图（2021 年版），我国工商业分布式光伏系统的初始全投资主要由组件、逆变器、支架、电缆、建安费用、屋顶租赁、屋顶加固、电网接入以及一次设备（箱变、开关箱以及预制舱）、二次设备等部分构成，综合成本为 3.74 元/W。根据图 42 各部件投资占比，大致推断如下：光伏组件成本约为 1.8 元/W，支架、建安费用、屋顶租赁、屋顶加固费用约为 0.9 元/W，其他费用合计 1.04 元/W 左右。

综合来看，不考虑屋顶租赁、屋顶加固费用，以及支架、建安费用（幕墙安装本身即需要该项费用，并非薄膜电池增量费用），仅考虑其他费用和组件成本，则薄膜光伏组件投资成本为 2.93 元/W（组件价格 1.89 元/W+分布式光伏系统投资其他费用 1.04 元/W）。Series 6 组件面积为 2.47 平米，在标称测试条件（光强为 1000W/平米，电池温度为 25℃）下的标称功率（即设备的额定功率）为 430W，则 1 平米投资成本 510 元。

而实际上，碲化镉薄膜电池组件的安装还可节省传统幕墙玻璃成本，2021 年上海耀皮玻璃的建筑加工玻璃平均售价约为 223 元/平米。因此仅考虑增量成本，则碲化镉薄膜电池光伏系统实际初始投资成本为 287 元/平米。

图 41：2021-2030 年，我国工商业分布式光伏系统初始全投资变化趋势（元/瓦）

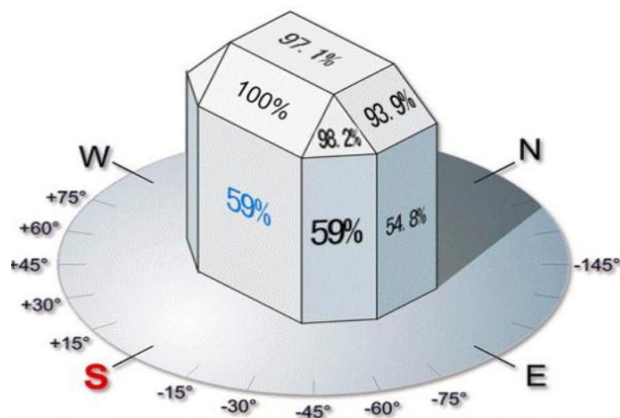


资料来源：《中国光伏产业发展路线图 2021 版》（中国光伏行业协会），光大证券研究所

根据蚌埠市城乡与住房建设局《薄膜太阳能发电系统与建筑一体化规程》，晶硅电池的发电系统综合效率系数¹在最佳倾角安装时可取值 0.75~0.85。而薄膜电池具有年衰减低、抗遮挡性能强、弱光发电性能突出、对安装倾角要求较低等适用于建筑光伏一体化应用的特点，因此在综合效率系数按照上限选用，即 0.85。

薄膜电池组件安装在建筑立面，考虑到照射倾角、外物遮挡等情况，实际发电功率应打折扣。目前朝南幕墙安装的晶硅组件效率为最佳倾角状况下的 59%，我们认为同样适用于薄膜电池，则 1 平方米实际发电效率为 $430/2.47 \times 0.85 \times 59\% = 87W$ ，则发一度电为 11.5 小时。

图 42：不同倾角下，晶硅电池发电效率



资料来源：光伏发电网，光大证券研究所

根据 2013 年国家发改委发布的《关于发挥价格杠杆作用促进光伏产业健康发展的通知》，将全国分为三类太阳能资源区，I 类资源区：年等效利用小时数大于 1600 小时；II 类资源区：年等效利用小时数在 1400-1600 小时；III 类资源区：年等效利用小时数在 1200-1400 小时。我们保守用 1200 小时计算，全年每平米

¹综合效率系数包括：光伏组件类型修正系数、光伏阵列的倾角、方位角修正系数、光伏发电系统可用率、光照利用率、逆变器效率、集电线路损耗、升压变压器损耗、光伏组件表面污染修正系统、光伏组件转换效率修正系数等。

碲化镉薄膜电池可发 104 度电。根据 2018 年度全国电力价格情况监管通报，我国一般工商业及其他用电平均电价为 0.73 元/千瓦时，一年则创造 76 元的发电价值，计算回收期约为 3.8 年。

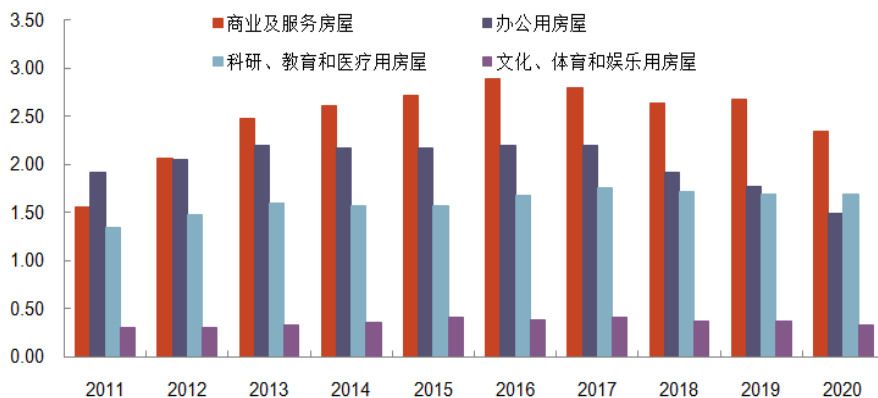
回收期较短的核心原因，是我们用传统玻璃幕墙建造成本进行了抵消（因为不安装薄膜电池光伏系统仍需要安装玻璃幕墙），因此增量成本并不高。当然以上测算均为最乐观情况下的假设，实际上国内厂家薄膜电池组件的发电效率偏低、成本偏高，且并未考虑组件衰减以及运维费用，同时安装薄膜电池较普通玻璃幕墙费用也应更高。

4.5、我国薄膜电池市场空间测算

虽然我国建筑外立面可应用空间较大，但根据薄膜电池目前展现出来优势场景，我们认为薄膜电池未来的“主战场”将主要在公共设施和商业建筑领域。此类建筑对于采光和美观度要求更高，且改造资金和动力较为充足。尤其对于高层建筑，其屋面可用空间相对较小、结构复杂，则对于外立面光伏发电的依赖度更高。此外，目前虽已有工业厂房使用薄膜电池的实例，但主要还是集中在中国建材（凯盛科技集团为其子公司）体系内部推广。从完全市场化角度而言，工业厂房屋顶面积与实际建筑面积匹配较高，空间资源较为充足，且薄膜电池的非发电属性吸引力在此场景较难发挥，推广难度较大。因此，我们在测算国内薄膜电池市场空间之时，仅考虑薄膜电池在公共设施与商业建筑场景的应用。

根据历年城乡统计年鉴，我国 2006 年-2020 年，房屋竣工面积合计为 509 亿平米。1985-2005 年部分数据缺失，根据现有数据的年均值为 3.8 亿平米，则大致可测得期间合计约有 80 亿平米，则 1985-2020 年我国房屋竣工面积合计为 589 亿平米，其中 2011-2020 为 396 亿平米，占比 67%。已知，2011-2020 年，我国商业建筑（商业及服务+办公）总竣工面积为 45 亿平米，公共设施建筑（科研、教育、医疗、文化、体育、娱乐等）总竣工面积为 20 亿平米；则按照 67% 的占比，推测 1985-2020 年商业建筑和公共设施建筑合计竣工面积分别为 67 亿和 30 亿平米。2020 年当年我国商业建筑竣工面积为 3.8 亿平米，公共设施建筑竣工面积为 2.0 亿平米。假设 2021 至 2030 年，年均竣工面积取 2020 年数值，则至 2030 年二者保有建筑面积总量将分别达到 105 亿和 50 亿平米。

图 43：我国公共设施与商业建筑竣工面积（亿平米）



资料来源：wind，光大证券研究所 注：商业及服务房屋、办公用房屋对应商业建筑、其余对应公共设施建筑

外墙面积通常占建筑面积的 65%左右，则至 2030 年商业建筑外墙总面积约为 68.3 亿平米；公共设施建筑外墙总面积约为 32.5 亿平米。

2021 年 6 月 20 日，国家能源局下发《关于报送整县（市、区）屋顶分布式光伏开发试点方案的通知》，要求：市镇机关建筑屋顶总面积可安装光伏发电比例不得低于 50%；学校、村舍、医院以及村委等公共建筑屋顶总面积可安装光伏发电比例不得低于 40%；工商业厂房屋顶总面积可安装光伏发电不得低于 30%。我们认为屋顶安装光伏逻辑顺畅、接受度更高，相对来说立面光伏推进难度或更大，则假设未来公共建筑立面的光伏安装面积比例为 20%，商业建筑立面的光伏安装面积比例为 15%。

由于光照原因，南立面的发电效率更高，虽然观察当前已建成项目，部分在东、西、南面均有安装，但保守测算，我们只考虑南立面安装，则可利用比例为 25%。不过建筑立面并非通体光伏组件，假设可安装组件空间比为 60%，则光伏组件铺设面积约占整体外墙面积的 15%。则商业建筑和公共设施建筑可铺设薄膜电池组件面积为 1.5 亿平米和 1.0 亿平米。

以龙焱科技中国建研院光电示范建筑为例，其建筑面积 3000 余平方米。通过对这座既有建筑改造，安装光伏系统 1500 平米，装机容量 235 千瓦，则单位面积装机量为 157W/平米。我们假设平均装机量为 150w/平米，则至 2030 年全国薄膜电池累计装机空间约 38GW，以 Series 6 售价 1.89 元/W 计算，市场空间约 718 亿元。

表 5：2030 年，我国薄膜电池装机市场空间

	保有建筑面积 (亿平米)	外墙面积 (亿平米)	渗透率	光伏组件铺设面积 (亿平米)	累计装机量 (GW)
商业建筑	105	68.25	15%	1.54	23.03
公共设施建筑	50	32.5	20%	0.98	14.63
合计	155	100.75		2.51	37.66

资料来源：住建部，光大证券研究所测算

上述测算仅考虑国内商业与公共设施建筑外立面带来市场空间。随着薄膜电池的持续降本增效，凭借其自身独有优势，有望持续向更多场景拓展，包括工业厂房、户外车棚，甚至是传统地面电站和屋顶分布式光伏领域等。

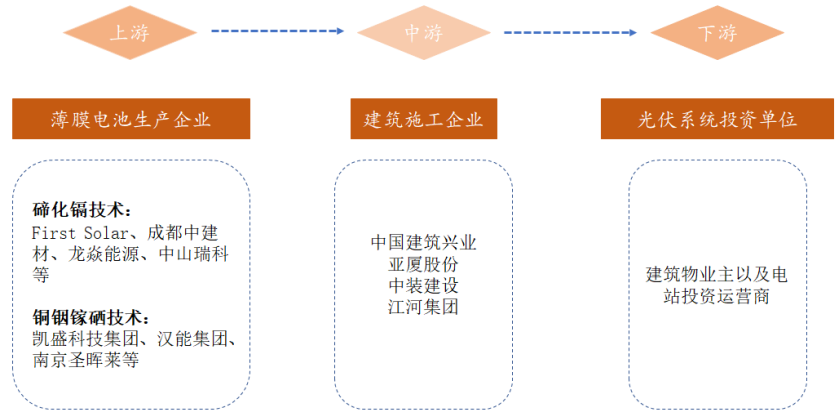
4.6、 产业链合作正在加强，以期实现双赢

在建筑立面应用场景，BIPV 产业链上游主要为薄膜电池生产企业，如：美国的 First Solar，国内的中国建材集团、龙焱能源、中山瑞科、汉能集团等；中游主要为建筑施工企业等系统集成商，如：江河集团、中国建筑兴业、亚厦股份等；下游则是建筑物业主单位以及电站投资运行商。

相对传统的幕墙施工，BIPV 具有更强大的定制化属性，因此对设计和施工精度要求更高，包括走线方式、内部串/并联设计等。因此对于施工单位的选择非常

重要，需要有相关资质和过硬的施工能力。此外，当前 BIPV 建设标准编制相对滞后，对工程指导作用有限，且使工程有无法通过验收的风险。

图 44：薄膜电池产业链情况



资料来源：光大证券研究所绘制

面对 BIPV 蕴含的重大机遇，薄膜电池制造商与建筑施工企业也在逐渐加强合作，在推进产业进步的同时，实现渠道和资源共享带来的双赢。国内薄膜电池制造商优势在于市场参与者较少，其在技术研发与产品制造方面具有一定稀缺性。而优秀的建筑施工企业可提供的价值在于，具备更强的施工能力以满足 BIPV 的设计和施工要求，同时业主单位资源和项目管理经验丰富。

表 6：薄膜电池制造商与建筑企业合作案例

薄膜电池制造商	建筑施工企业	内容	时间
龙焱科技	中国建筑兴业	签署战略合作协议。将中国建筑兴业在建筑幕墙、企业客户资源、项目管理等方面的领先经验，以及龙焱能源在技术研发、生产制造、电站建设运营等方面的技术优势相结合。携手推进技术研发、产品开发、市场拓展、方案设计和项目建设	2021.9.7
龙焱科技	亚厦股份	签署战略合作协议。将分别发挥各自在建筑施工、光伏发电领域的优势，在技术研发、产品开发、市场拓展、方案设计、项目建设等方面进行全方位交流与合作。开发适合市场需求的新一代产品。共同成立“亚厦-龙焱建筑光伏一体化联合实验室，对建筑资源进行整合，合作成果分享。	2022.3.21
中山瑞科	中装建设	建立长期稳定的战略合作伙伴关系，整合双方优势资源，推动光电建筑幕墙及分布式光伏发电项目的实施落地，拓展光伏幕墙及国内屋面光伏发电项目业务。	2021.12.1

资料来源：各公司公告，光大证券研究所整理

5、投资建议

在我国主流的光伏应用场景下，与晶硅电池相比，薄膜电池尚不具备竞争优势，产业化发展尚在起步阶段。因此寻找到稳定的应用场景，以吸引资源快速投入，从而促进整个产业发展的良性循环至关重要。我们认为 BIPV 将会为薄膜电池提供这一契机。

“双碳”和“能耗双控”政策有望推动我国分布式光伏快速发展，同时建筑领域也在寻找低碳环保的发展路径，BIPV 是推行绿色建筑的有效手段。在建筑立面 BIPV 应用方向，薄膜太阳能电池则具有得天独厚的优势。诚然晶硅电池在建筑屋顶的应用，仍将是建筑物与光伏结合的主流路径。我们认为在建筑立面推行薄膜电池是很好的补充，二者并非绝对替代关系，而是协力将建筑物节能降碳做到最大化。

我们认为未来薄膜电池的“主战场”将主要在公共设施和商业建筑领域外立面。经测算，仅在该领域则至 2030 年全国薄膜电池累计装机空间在 38GW，市场空间达到 718 亿元，未来具备较大发展空间。

随着 BIPV 风口来临，薄膜电池产业链有望迎来新的发展机遇。薄膜电池产业链相关公司包括：国内薄膜电池制造领军企业，如凯盛科技集团、龙焱能源、中山瑞科等；BIPV 工程建筑施工企业，如江河集团、中装建设、亚厦股份、中国建筑兴业等。

表 7：BIPV（薄膜）产业链相关公司

企业	亮点
凯盛科技集团	碲化镉与铜铟镓硒电池路径并举。旗下成都中建材光在 2018 年 4 月投产世界第一条大面积碲化镉发电玻璃生产线投产，目前实验室转换效率突破 20.24%，生产线转换效率达到 15.8%，居国内领先水平。旗下凯盛光伏材料有限公司在安徽省蚌埠市拥有首个铜铟镓硒光伏产业基地，年产能 300MW。公司下属 Avancis 铜铟镓硒太阳能电池组件的光电转换效率达到 19.64%，再次打破世界纪录。
龙焱能源	2011 年，公司建成国内第一条具有完全自主知识产权和规模量产能力的全自动化碲化镉电池生产线，实现了碲化镉薄膜光伏电池产业化技术的全国产业化。2021 年，公司标准 0.72 m ² 组件全面积光电转化效率达到 16.1%。
中山瑞科	公司由明阳智能投资控股，公司碲化镉薄膜电池组件小面积转化效率已达 19% 以上。2021 年，公司碲化镉薄膜光伏组件单块功率突破 120W，组件转换效率达到 16.7%，是目前国内最高水平。
江河集团	国内领先乃至全球知名的高端幕墙建筑商，已在光伏幕墙领域进行布局，拥有较为成熟的技术和方案。
中国建筑兴业	中国建筑集团旗下的专业幕墙公司，深耕行业五十余年。2021 年 9 月，公司与龙焱能源签署战略合作协议，未来双方将围绕建 BIPV 开展紧密战略合作。
亚厦股份	与龙焱能源签署战略合作协议，双方将分别发挥各自在建筑施工、光伏发电领域的优势，进行全方位交流与合作。
中装建设	与中山瑞科签署战略合作协议，未来将整合双方优势资源，推动光伏幕墙及国内屋面光伏发电项目业务拓展。

资料来源：各公司官网等，光大证券研究所整理

推荐：

洛阳玻璃(600876.SH/1108.HK)：凯盛科技集团打造“3+1”战略布局，即三大业务板块：显示材料与应用材料、新能源材料、优质浮法玻璃及特种玻璃；一个中央应用研究院研发平台。公司被定位为其中的“新能源材料”平台，持续获注集团的光伏玻璃资产，并已将信息显示玻璃业务剥离。洛阳玻璃已受托管理凯盛集团的部分薄膜电池资产，具有广阔发展前景。*注：公司受托成都中建材光电材料有限公司 55% 股权、瑞昌中建材光电材料有限公司 45% 股权，主要业务为碲*

化镉薄膜太阳能电池相关业务的运营；受托凯盛光伏材料有限公司 60% 股权，主要业务聚焦铜钢铎硒薄膜太阳能电池。

盈利预测、估值与评级：我们预测 22-24 年公司归母净利润为 3.28/5.59/ 8.54 亿元。公司产能处在加快投放阶段，由于基数较低，盈利弹性或更大。随着产能释放，规模效应或将进一步显现，从而打开降本空间。公司已托管集团薄膜电池资产，在资本市场具有稀缺性，维持 A/H 股“买入”评级。

风险提示：光伏玻璃供给超预期；原燃材料价格上涨超预期；公司光伏玻璃产能投放进度不及预期。

表 8：洛阳玻璃盈利预测与估值简表

指标	2020	2021	2022E	2023E	2024E
营业收入（百万元）	3,046	3,606	5,193	7,463	11,519
营业收入增长率	64.20%	18.39%	44.01%	43.72%	54.35%
净利润（百万元）	327	265	328	559	854
净利润增长率	506.23%	-19.17%	23.97%	70.34%	52.92%
EPS（元）	0.60	0.41	0.51	0.87	1.32
ROE（归属母公司）（摊薄）	20.13%	6.88%	7.86%	11.81%	15.30%
P/E（A 股）	39	57	46	27	18
P/E（H 股）	17	25	20	12	8

资料来源：Wind，光大证券研究所预测，股价时间为 2022-07-28；汇率：按 1HKD=0.8596CNY 换算 注：股本 20 年末为 5.49 亿股，21 年末及以后为 6.46 亿股

建议关注

金晶科技(600586.SH)：公司业务涵盖浮法玻璃、光伏压延玻璃、纯碱等方向，更是在 TCO 导电膜玻璃领域技术处于国内领先，在国内外均有产线布局，主要预期为 First Solar 及国内部分企业提供产品配套。由于薄膜电池组件中间半导体层几乎没有横向导电性能，因此须使用 TCO 玻璃有效收集电池的电流。而国外则仅有旭硝子、板硝子与美国 AFG 少数企业能够生产 TCO 导电膜玻璃，公司在该领域的先发布局，未来有望带来新的成长点。风险提示：TCO 导电膜玻璃业务推进不及预期、浮法和纯碱价格上涨不及预期。

中国建筑兴业 (0830.HK)：公司是中国建筑集团旗下的专业幕墙公司，深耕行业五十余年，在全球玻璃幕墙行业内规模实力排名前列，2021 年 9 月，公司与龙焱科技签署战略合作协议，依托公司在建筑幕墙、企业客户资源、项目管理等方面的领先经验，与龙焱科技在技术研发、生产制造、电站建设运营等方面的优势相结合，未来双方将围绕建 BIPV 开展紧密战略合作，公司有望受益于 BIPV 和薄膜电池行业的快速发展。风险提示：薄膜电池推广不及预期、BIPV 项目拓展不及预期。

江河集团 (601886.SH)：公司业务主要分为建筑装饰和医疗健康两大类，而建筑装饰板块中建筑幕墙是其核心业务。江河幕墙已成为全球高端幕墙领先品牌，并在光伏幕墙领域已有突破，拥有较为成熟的技术和方案。2022 年 2 月，公司中标北京工人体育场改造重建光伏建筑项目，显示出市场对公司的认可。我们认为，公司未来将同样享受到 BIPV 和薄膜电池产业发展红利，进一步打开增量市场。风险提示：薄膜电池推广不及预期、BIPV 项目拓展不及预期。

6、风险分析

政策推进不及预期：薄膜电池市场空间的打开离不开政府 BIPV 政策的推动，若政策支持力度不及预期，将会使得行业成长速度放缓。

下游接受度不及预期：薄膜电池在建筑物中的应用具有其独特优势，但在市场培育过程中，若下游接受度不及预期，则将影响产品推广。

技术进步不及预期：薄膜电池目前在量产转化效率方面与晶硅电池仍有差距，且下游应用成本较高，若技术瓶颈未能有效突破，则会影响行业发展空间。

行业标准出台不及预期：薄膜电池在 BIPV 中是作为建筑材料应用，新型建材的准入需要相关行业标准出台，若标准出台不及预期，将会拖累应用进度。

附录：当前 BIPV 推广所面临的问题及建议

(引自中国工程院院士彭寿先生在 2022 年“两会”期间访谈)

目前我国 BIPV 推广较为滞后，仍以试点示范为主，距离规模推广还存在较大差距，彭院士认为主要问题在于：

- 1、BIPV 强制性要求的上位法缺失。BIPV 的发展离不开法律的规制、保障和激励，但我国在立法层面，无论是法律还是行政法规均未直接对 BIPV 做出规定，相关文件主要集中在鼓励支持层面。由于缺乏相应的强制性规定和法律责任，导致实践中相关政策执行力度降低，形成不了有力推动。
- 2、权责统一的相关法律规定缺乏。相关法律政策缺乏对 BIPV 建设、推广过程中的违法行为方面的法律责任和处罚规定，对建筑可再生能源利用和新型技术材料应用明显缺少强制性。法律条款中没有设置具体条款来保障法律的实施，导致实践中无法明确界定法律责任归属，光能建筑可落地性、可操作性、可执行性低。
- 3、BIPV 相关材料、工程标准体系不健全。BIPV 的发展是光伏和建筑在商业模式、专业技术等方面跨领域融合，需要全新的行业与国家标准来对产品技术作出相关规定引导。国际电工委员会（IEC）和国际标准化组织（ISO）推出两部标准，对建筑光伏组件和光伏系统规范要求。但目前，国内 BIPV 标准化还处于光伏标准和建筑标准初步融合阶段，专门针对 BIPV 的评价标准、设计规范仍存在部分缺失，光伏材料与部件结构承受力、抗风、防火、防水等方面的标准规范尚未完善，定额标准已发布十年亟需废止更新。

建议：

- 1、修订《中华人民共和国建筑法》《中华人民共和国节约能源法》《中华人民共和国循环经济促进法》等法律法规。规定从规划设计阶段抓光伏一体化应用，要求在新建筑规划中强制采用光伏材料产品，明确建筑立面至少四分之一或等量面积实现光伏覆盖，或者强制性规定新建筑耗能必须实现 20% 以上能源自给，并对主体、期限、程序、法律责任等均作出明确规定。
- 2、建议修订《中华人民共和国政府采购法实施条例》以及地方政府采购条例。在政府采购工程中强制性要求采购发电玻璃、新型光伏电池、光伏部品部件等光伏材料产品，积极应用装配式、智能化等新型建筑工业化建造方式，充分发挥政府采购的引导作用，从需求端推动 BIPV 发展，引导产业转型升级、向绿而行。
- 3、建议加快修订与完善 BIPV 标准。加速制定出台发电玻璃等新型光伏材料与建筑材料集成的光电建筑构件标准，在已有 BIPV 发电系统验收标准基础上，尽快出台针对强度、安全性、防水、防火等建筑本体性能的 BIPV 验收标准，尽快修订发布 BIPV 定额标准，形成与技术发展和市场相匹配的标准体系，覆盖材料设计、产品认证、工程建设、检测验收等各环节，让 BIPV 发展有据可依，推动行业向规范化方向发展。

行业及公司评级体系

	评级	说明
行业及公司评级	买入	未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 15%以上
	增持	未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 5%至 15%；
	中性	未来 6-12 个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差-5%至 5%；
	减持	未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 5%至 15%；
	卖出	未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 15%以上；
	无评级	因无法获取必要的资料，或者公司面临无法预见结果的重大不确定性事件，或者其他原因，致使无法给出明确的投资评级。
基准指数说明：		A 股主板基准为沪深 300 指数；中小盘基准为中小板指；创业板基准为创业板指；新三板基准为新三板指数；港股基准指数为恒生指数。

分析、估值方法的局限性说明

本报告所包含的分析基于各种假设，不同假设可能导致分析结果出现重大不同。本报告采用的各种估值方法及模型均有其局限性，估值结果不保证所涉及证券能够在该价格交易。

分析师声明

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注册为证券分析师，以勤勉的职业态度、专业审慎的研究方法，使用合法合规的信息，独立、客观地出具本报告，并对本报告的内容和观点负责。负责准备以及撰写本报告的所有研究人员在此保证，本研究报告中任何关于发行商或证券所发表的观点均如实反映研究人员的个人观点。研究人员获取报酬的评判因素包括研究的质量和准确性、客户反馈、竞争性因素以及光大证券股份有限公司的整体收益。所有研究人员保证他们报酬的任何一部分不与、不与，也将不会与本报告中具体的推荐意见或观点有直接或间接的联系。

法律主体声明

本报告由光大证券股份有限公司制作，光大证券股份有限公司具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格，负责本报告在中华人民共和国境内（仅为本报告目的，不包括港澳台）的分销。本报告署名分析师所持中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格编号已披露在报告首页。

中国光大证券国际有限公司和 Everbright Securities(UK) Company Limited 是光大证券股份有限公司的关联机构。

特别声明

光大证券股份有限公司（以下简称“本公司”）创建于 1996 年，系由中国光大（集团）总公司投资控股的全国性综合类股份制证券公司，是中国证监会批准的首批三家创新试点公司之一。根据中国证监会核发的经营证券期货业务许可，本公司的经营范围包括证券投资咨询业务。

本公司经营范围：证券经纪；证券投资咨询；与证券交易、证券投资活动有关的财务顾问；证券承销与保荐；证券自营；为期货公司提供中间介绍业务；证券投资基金代销；融资融券业务；中国证监会批准的其他业务。此外，本公司还通过全资或控股子公司开展资产管理、直接投资、期货、基金管理以及香港证券业务。

本报告由光大证券股份有限公司研究所（以下简称“光大证券研究所”）编写，以合法获得的我们相信为可靠、准确、完整的信息为基础，但不保证我们所获得的原始信息以及报告所载信息之准确性和完整性。光大证券研究所可能将不时补充、修订或更新有关信息，但不保证及时发布该等更新。

本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次发布时光大证券研究所的判断，可能需随时进行调整且不予通知。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。客户应自主作出投资决策并自行承担投资风险。本报告中的信息或所表述的意见并未考虑到个别投资者的具体投资目的、财务状况以及特定需求。投资者应当充分考虑自身特定状况，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，本公司及作者均不承担任何法律责任。

不同时期，本公司可能会撰写并发布与本报告所载信息、建议及预测不一致的报告。本公司的销售人员、交易人员和其他专业人员可能会向客户提供与本报告中观点不同的口头或书面评论或交易策略。本公司的资产管理子公司、自营部门以及其他投资业务板块可能会独立做出与本报告的意见或建议不相一致的投资决策。本公司提醒投资者注意并理解投资证券及投资产品存在的风险，在做出投资决策前，建议投资者务必向专业人士咨询并谨慎抉择。

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、财务顾问或金融产品等相关服务。投资者应当充分考虑本公司及本公司附属机构就报告内容可能存在的利益冲突，勿将本报告作为投资决策的唯一信赖依据。

本报告根据中华人民共和国法律在中华人民共和国境内分发，仅向特定客户传送。本报告的版权仅归本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式、任何目的进行翻版、复制、转载、刊登、发表、篡改或引用。如因侵权行为给本公司造成任何直接或间接的损失，本公司保留追究一切法律责任的权利。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。

光大证券股份有限公司版权所有。保留一切权利。

光大证券研究所

上海

静安区南京西路 1266 号
恒隆广场 1 期办公楼 48 层

北京

西城区武定侯街 2 号
泰康国际大厦 7 层

深圳

福田区深南大道 6011 号
NEO 绿景纪元大厦 A 座 17 楼

光大证券股份有限公司关联机构

香港

中国光大证券国际有限公司
香港铜锣湾希慎道 33 号利园一期 28 楼

英国

Everbright Securities(UK) Company Limited
64 Cannon Street, London, United Kingdom EC4N 6AE