

目录索引

- 一、BC 电池：光伏未来进一步降本提效的必由之路6
- 二、金属化降本：光伏未来提效降本的主力13
 - （一）铜浆料：有望成为光伏金属化降本的终极路线14
 - （二）0BB 技术：逐步走向成熟，有望进入大规模应用21
 - （三）叠栅技术：采用贱金属导电丝，更为极致的“0BB”技术24
 - （四）电镀铜：多方努力持续推进产业化27
 - （五）积极关注布局新技术的设备厂商30
- 三、风险提示31
 - （一）供给政策不及预期的风险31
 - （二）技术进步不确定的风险31
 - （三）产生坏账的风险31
 - （四）下游需求波动的风险31
 - （五）贸易摩擦的风险31

图表索引

图 1：晶体硅太阳能电池技术演变示意图	6
图 2：TBC 制备工艺.....	7
图 3：HJT 与 HBC 制备工艺.....	7
图 4：P-IBC 结构（结合 PERC、TOPCon、BC 技术）.....	8
图 5：全激光工艺路线的 P-IBC 工艺	8
图 6：激光作用机理	9
图 7：不同激光钻孔效果图	9
图 8：采用离子注入工艺的 POLO-IBC 技术.....	10
图 9：BC 电池连接方式	10
图 10：BC 电池焊带放置方式	10
图 11：BC 需要额外的绝缘胶.....	11
图 12：BC 需要额外的绝缘条	11
图 13：隆基绿能 BC 产品数据 1	12
图 14：隆基绿能 BC 产品数据 2	12
图 15：采用铜浆料的 ZEBRA 电池（TBC）结构	15
图 16：DH（Damp Heat）测试结果 1	16
图 17：DH（Damp Heat）测试结果 2	16
图 18：TC（Thermal Cycling）测试结果 1.....	16
图 19：TC（Thermal Cycling）测试结果 2.....	16
图 20：ZEBRA Gen2 IBC 电池结构横截面	17
图 21：镀铜的银接触点显微图（左图虚线部分）	17
图 22：铜浆料对比实验结果 1.....	17
图 23：使用 Al 浆料的 TOPCon 电池示意图.....	18
图 24：不同对照组转换效率（ η ）对比.....	18
图 25：不同对照组开压（Voc）对比	18
图 26：不同对照组填充因子（FF）对比	19
图 27：不同对照组短路电流密度（Jsc）对比.....	19
图 28：使用 Cu 浆料的 HJT 电池示意图	19
图 29：使用 Cu 浆料的 HJT 电池实物图	19
图 30：使用 Cu 浆料的 HJT 电池测试结果	20
图 31：激光转印主要流程.....	21
图 32：晶硅电池栅线发展趋势	21
图 33：小牛 IFC 直接覆膜技术	23
图 34：小牛 CHJ40 直接覆膜串连机.....	23
图 35：奥特维 0BB 工艺解决方案	24
图 36：奥特维 AM050K 光伏划焊联体串焊机	24
图 37：传统多主栅和无主栅技术电流收集示意图	24
图 38：叠栅技术电流收集示意图	24
图 39：不同焊带对太阳光线的反射路径图	25
图 40：新型的转印模板的结构示意图	26

图 41：新型的转印模板与电池片焊接时的结构示意图.....26

图 42：初步加热的设置位置示意图.....26

图 43：图 8 中 A-A 部位的详细示意图.....26

图 44：电镀铜 HJT 太阳能电池的结构示意图.....28

图 45：HJT 太阳能电池电镀铜技术流程.....28

图 46：镀膜后的 Ni/Cu 电极栅线细节图（其一）.....29

图 47：镀膜后的 Ni/Cu 电极栅线细节图（其二）.....29

表 1：各家厂商在 BC 电池的进展和布局情况12

表 2：光伏主产业链产品成本分析（2024 年 11 月）13

表 3：铜与银的对比.....14

表 4：铜浆料对比实验相关设定15

表 5：铜浆料对比实验结果 2.....17

表 6：现有主流 OBB 方案.....22

表 7：OBB 技术在各家的应用情况23

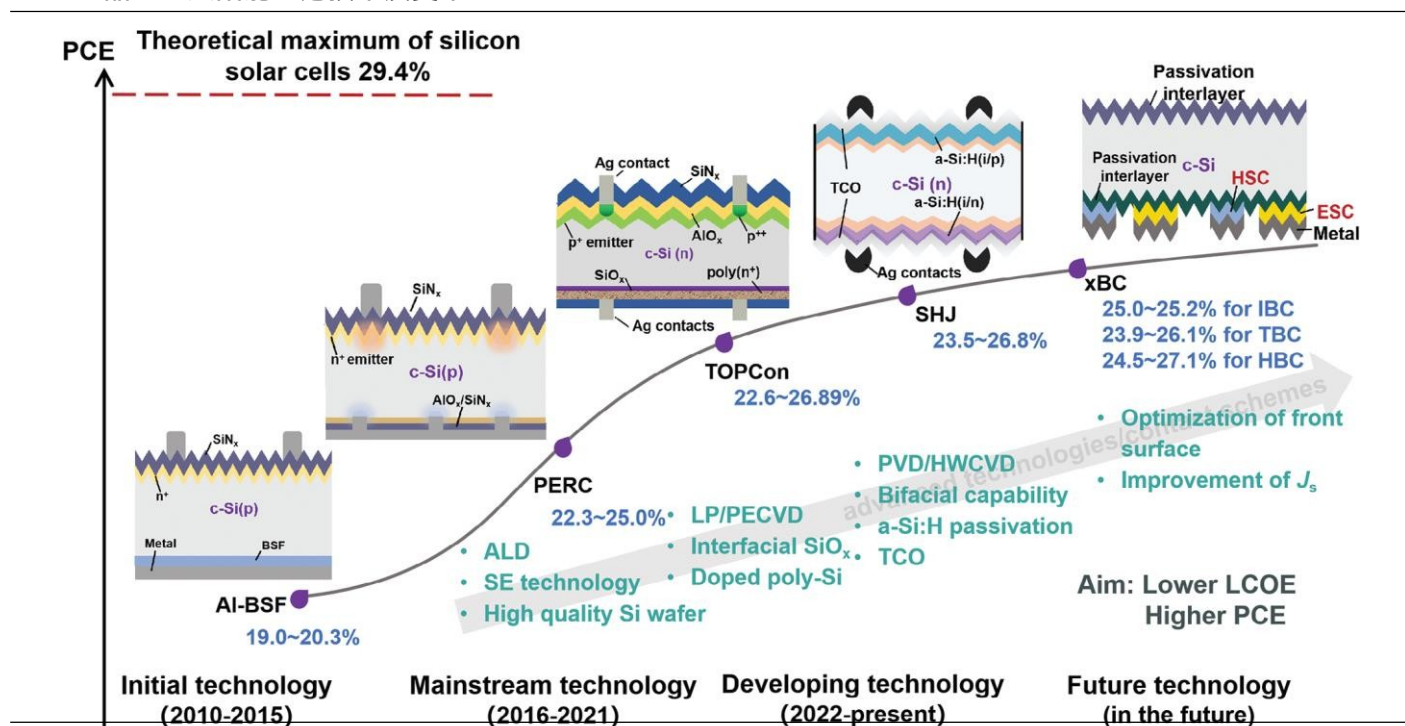
表 8：各家铜电镀的进展情况.....29

表 9：主要设备公司在新技术方面的布局情况.....30

一、BC 电池：光伏未来进一步降本提效的必由之路

BC电池技术是一种通用的平台型技术。作为一种电池结构，可以TOPCon、HJT、钙钛矿等叠加，目前常见的有HBC（HJT+BC）、TBC（TOPCon+BC）、HPBC（PERC+TOPCon+BC）、ABC（全钝化）等。

图 1：晶体硅太阳能电池技术演变示意图



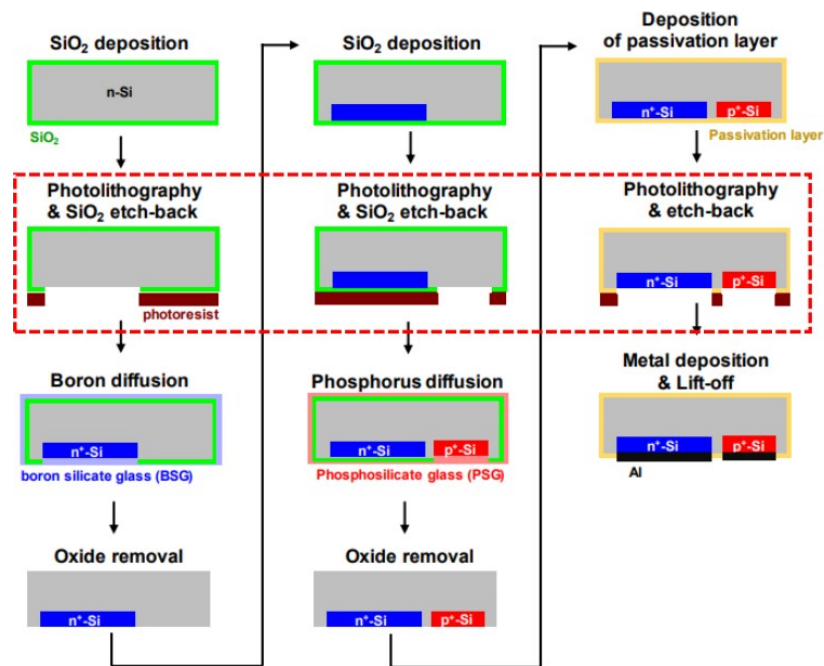
数据来源：《Passivating Contacts for Crystalline Silicon Solar Cells: An Overview of the Current Advances and Future Perspectives》（Wei Li 等），

BC的工艺较为复杂。与典型的TOPCon、HJT制备工艺大体上比较类似，关键区别在于图形化的过程，涉及到开膜以及相对应的激光设备，相对应的，因为背面的膜层沉积需要两次，因此背面相关的热制程设备以及相对应的湿法设备需要进行相应的增加。

BC的工艺难点主要在于背面的图形化、金属化。P/N区的图形化需要用到掩膜，使得材料成本增加；其次，P/N区交替分布，容易产生漏电现象，对N/P区的基区精度以及绝缘层的设计提出了较高的要求；最后，背面金属电极需要开孔且对准扩散区，对工艺难度和精度提出了较高的要求。

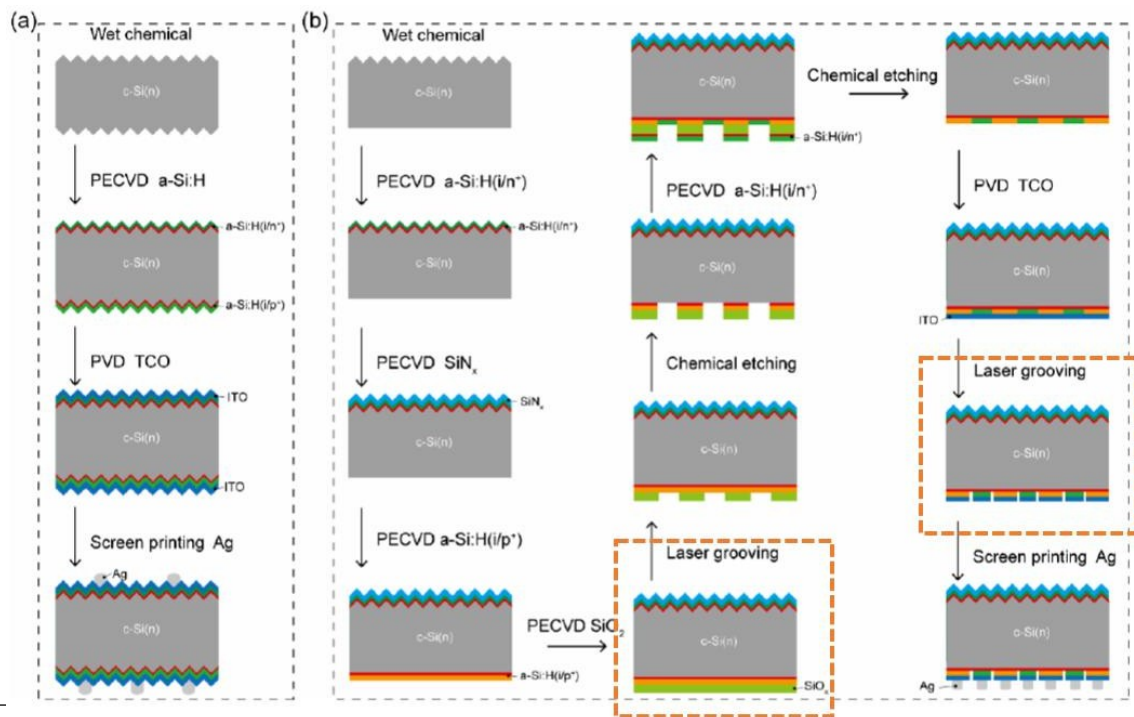
激光刻槽是BC中较为的常见的激光使用场景。具体来看，（1）在沉积掩膜层之后，使用激光打开掩膜膜层，使得P+和N+之间的形成间隔区域；（2）xBC 电池的电极均在背面，可以使用激光在电池背面P+和N+区域上方的减反射层形成开孔，然后可以在开孔处印刷形成对应P和N的金属电极。通过激光开孔进行电接触的方式，可以使得xBC电池获得较低金属接触复合，进而提高转换效率。

图 2：TBC 制备工艺



数据来源：《叉指背接触碳纳米管/晶体硅太阳能电池研究》（白钰骅），

图 3：HJT 与 HBC 制备工艺

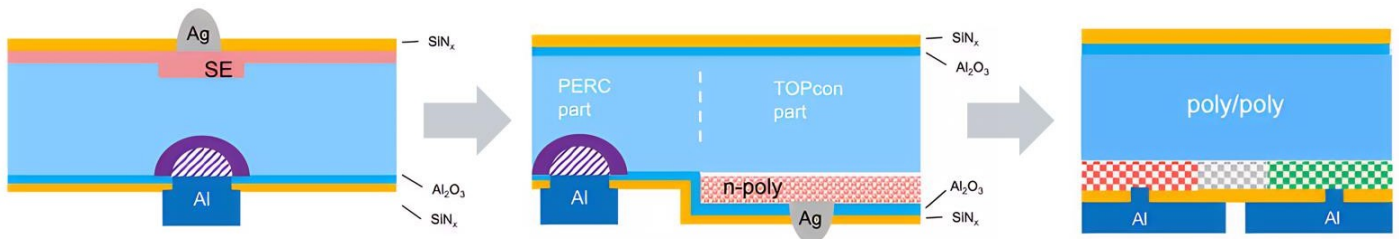


数据来源：《叉指背接触碳纳米管/晶体硅太阳能电池研究》（白钰骅），

P-IBC未来有望向少银化发展。根据沈文忠教授的《晶硅背接触太阳能电池技术及发展》，展示了一种结合了PERC、TOPCon的P-IBC技术，优势在于正面无遮挡、无硼扩、与PERC类似的金属化、多晶硅在背面可以减少寄生吸收、与PERC产线兼容

度高等优点，同时需要做的升级有双面氧化铝、增加隧穿/POLY层相关设备、增加图形化的相关设备以及对丝网印刷提出了更高的对准要求。此外，未有有可能向全铝浆丝网印刷p-IBC，成本比PERC更低，且解决了银耗的问题。

图 4：P-IBC 结构（结合 PERC、TOPCon、BC 技术）

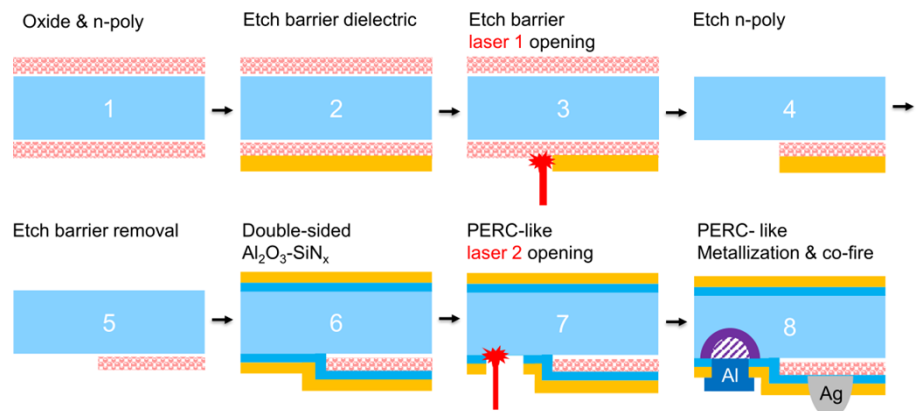


数据来源：《晶硅背接触太阳能电池技术及发展》（沈文忠），

注：上图左为 PERC 示意图，中为结合 PERC+TOPCon 的 BC 电池技术，右为全铝浆丝网印刷的 BC 电池

以P-IBC结构（结合PERC、TOPCon、BC技术）为例，第一道激光用来对SiN开膜，便于下一步对隧穿层和POLY层的刻蚀，第二道激光用来对SiN和AlOx的开膜，便于铝浆的印刷，形成欧姆接触。

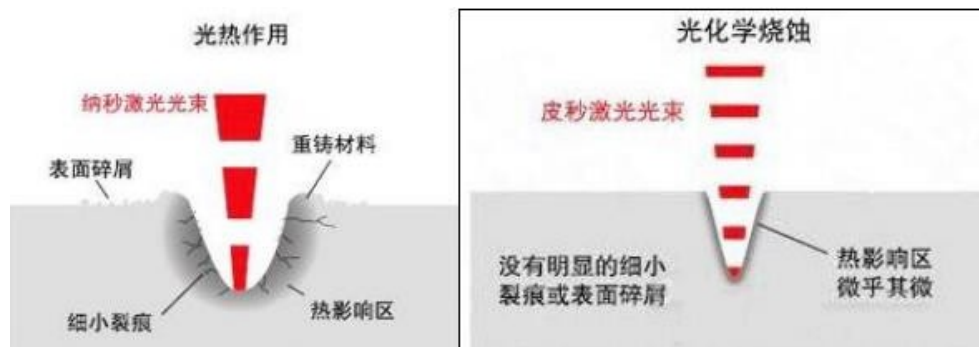
图 5：全激光工艺路线的P-IBC 工艺



数据来源：《晶硅背接触太阳能电池技术及发展》（沈文忠），

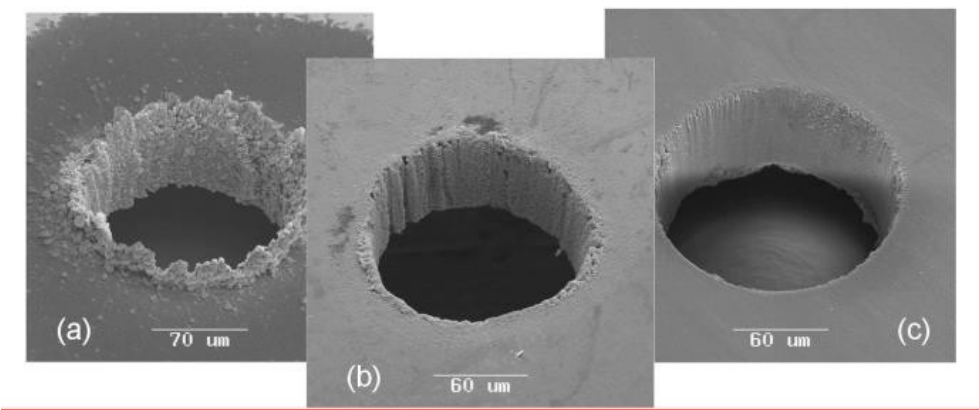
激光为BC电池设备中的关键工艺。对于纳秒激光，热熔加工，利用激光能量的热堆积，使材料熔化乃至挥发，脉冲持续时间长，材料中产生热堆积传导，加工材料边缘热影响大，容易产生残渣、碎屑、微裂纹等损伤；对于皮秒以及飞秒激光，气化消融或改质加工，脉宽极短，其依靠自身极高的峰值功率和强吸收，瞬间气化材料，热效应微乎其微，产生熔珠少，加工表面整齐。

图 6：激光作用机理



数据来源：《飞秒皮秒激光在 BC 电池高效刻蚀开膜应用研究》（盛雄激光），

图 7：不同激光钻孔效果图

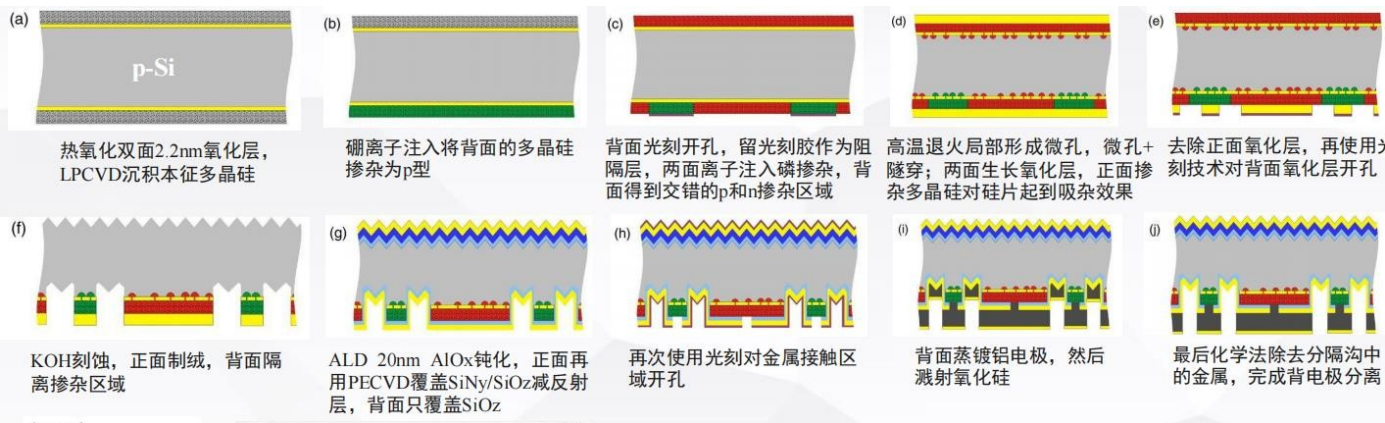


数据来源：《飞秒皮秒激光在 BC 电池高效刻蚀开膜应用研究》（盛雄激光），

注：（a）为纳秒激光钻孔效果图，（b）为皮秒激光钻孔效果图，（c）为飞秒激光钻孔效果图

离子注入或为BC电池工艺的重要发展方向。目前产业化的BC电池均采取了“激光+掩膜”为主的图形化工艺，所带来的问题就是背面的工艺复杂，需要重复的镀膜工艺以及湿法工艺，如果采取离子注入的工艺，则会省去大量的镀膜工艺、湿法工艺以及激光设备，目前难点在于离子注入的设备成本较高。

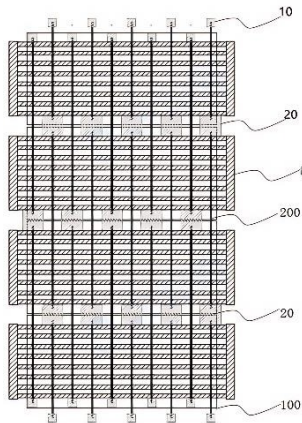
图 8：采用离子注入工艺的 POLO-IBC 技术



数据来源：《晶硅背接触太阳能电池技术及发展》（沈文忠），

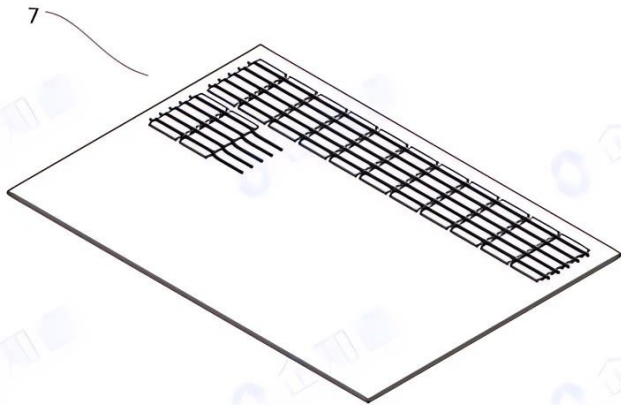
BC电池的焊接方式有所区别。由于n型BC电池的金属栅线均分布在背面，电池串焊可采用单面的“一”字型的焊接方式，BC组件也可以更方便地实现电池片负间距排布、电池串满屏布局，进一步减少组件“留白”，放大电池效率优势，实现单位面积组件的最大功率。

图 9：BC电池连接方式



数据来源：《一种背接触电池焊接设备、焊接方法、电池串及电池组件》（CN 118385688 A），

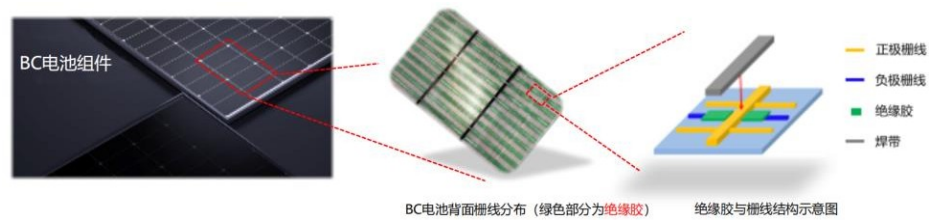
图 10：BC 电池焊带放置方式



数据来源：《一种太阳能电池组件激光焊接设备及其焊接方法》（CN 113843502 B），

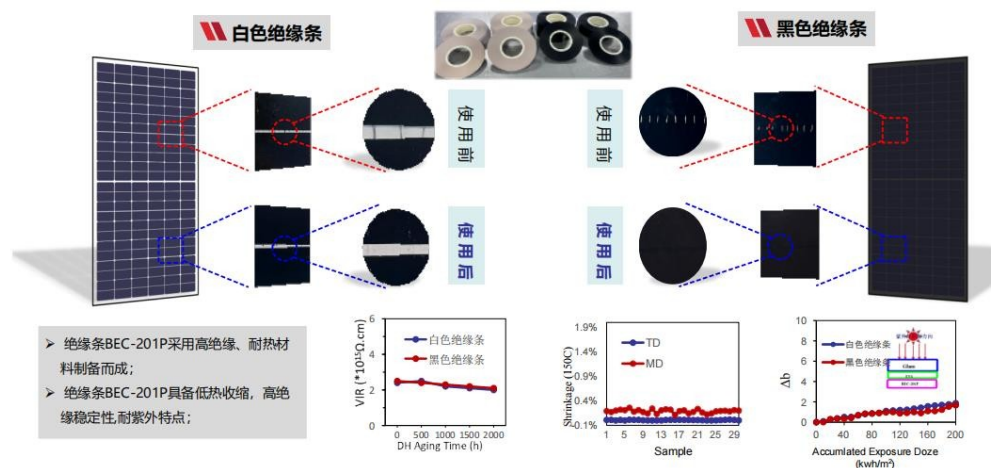
BC电池需要额外的绝缘胶与绝缘条。在PCB行业中，热固化阻焊油墨是成熟的绝缘方案，将其应用于BC电池中可以满足其绝缘需求，但是从光伏应用的角度看仍存在若干弱点急需改进，比如需要良好的耐UV性能、良好的透光性以及阻焊油墨老化以后的粘结力衰增大的问题，目前热固化绝缘胶已在BC组件中成功应用。

图 11：BC 需要额外的绝缘胶



数据来源：《高效电池组件用新型功能材料开发进展》（福斯特），

图 12：BC 需要额外的绝缘条



数据来源：《高效电池组件用新型功能材料开发进展》（福斯特），

BC技术降本提效路径较为明确。根据隆基绿能11月29日的推送，Hi-MO 9组件最高功率可达600W，比TOPCon提升约30W，组件效率高达24.43%，比TOPCon高约1.11pct，线性衰减0.35%，低于TOPCon 0.05pct，温度系统-0.26℃，优于TOPCon产品0.03pct；据隆基绿能12月3日的推送，根据公司董事长钟宝申的陈述，公司新的中试线跑出来的产品比TOPCon的组件效率高出10%，且隆基在贱金属方面投入巨大，致力于采用铝和铜，未来有望可能出现在市场上，对BC的竞争力会有一个显著的提高。BC技术有望从小众的分布式市场迈向包括集中式市场在内的主流市场。

图 13：隆基绿能 BC 产品数据 1



数据来源：隆基绿能公众号，

图 14：隆基绿能 BC 产品数据 2



数据来源：隆基绿能公众号，

各家积极布局BC技术。BC技术目前以隆基等为主，其余龙头包括晶科、晶澳、通威等均有相关技术布局，随着技术可见度的提高，预计进行BC资本开支的玩家将越来越多。

表 1：各家厂商在BC电池的进展和布局情况

公司	时间	进展与布局
隆基绿能	2024 年 9 月	与金阳新能源合作将PERC 生产线升级为 HBC 生产线，具体产能未公布。
	2024 年 11 月	与英发德耀共同进行技术研发以提升 HPBC 电池性能和生产效率，预计 2025 年建设完成首期 6GW 产能，项目总规划 16GW HPBC 产能。
	2024 年 11 月	与平煤神马集团合作BC 电池技改项目，截至 2023 年底实际产能 10GW。
通威股份	2024 年 10 月	2023 年 11 月启动建设了通威全球创新研发中心，储备了包括 TOPCon、HJT、XBC、钙钛矿硅叠层电池及组件等新技术，并取得了丰硕的研发成果。
晶科能源	2024 年 10 月	公司持续加大研发投入，搭建了 BC 研发生产线，目前在评估未来产能投入规模。
晶澳科技	2024 年 4 月	对于背接触电池，研发中心一直在积极研究和储备，公司认为未来三年内市场最主流的技术还是 TOPCon，其他技术可能还是应用在细分市场。
一道新能	2024 年 8 月	公司早在 2020 年便着手研发 DBC 技术。2024 年，首次推出 DBC 组件，采用了背接触 N 型 BC 电池和 0BB 技术，并在电池背面叠加 TOPCon 4.0 plus 先进钝化结构，电池效率达 26%，组件效率超过 24%；预计到 2024 年底，公司将建成电池及组件产能各 50GW。
英发德耀	2024 年 11 月	11 月 5 日，英发德耀科技与隆基绿能签订年产 16GW HPBC 电池片项目战略合作协议，加入隆基绿能“朋友圈”。
TCL 中环	2024 年 10 月	目前的优势是BC 的技术专利，公司会把 BC 的生态做好。但是投电池厂可能不是当前最好的选择，更希望跟行业做好协同；公司已通过参股“BC 鼻祖”Maxeon，介入 BC 电池领域。

数据来源：各公司官网公告，光伏资讯，索比光伏网，

二、金属化降本：光伏未来提效降本的主力

银浆在整个组件成本中已经占据相当比例，已经成为光伏行业降本提效的重要方向。根据中国光伏行业协会（简称CPIA，下同）官方公众号11月20日的推送，当前在各环节不计折旧，硅料、硅片、电池片环节不含增值税的情况下，最终组件含税成本（含最低必要费用）为0.690元/W，其中，银浆(包含主副栅)的成本为0.070元/W，占组件成本的10.15%。

表 2：光伏主产业链产品成本分析（2024年11月）

产品种类	细分项	成本价（不含税）	单位
硅料	金属硅	12.150	元/KG
	蒸汽	0.335	元/KG
	硅芯	2.095	元/KG
	电力	14.620	元/KG
	人工	2.140	元/KG
	其他生产成本	3.280	元/KG
	成本合计(不含折旧)	34.620	元/KG
硅片	坩埚	0.010	元/W
	石墨用品	0.005	元/W
	电力	0.018	元/W
	人工	0.013	元/W
	金刚线	0.006	元/W
	其他生产成本	0.008	元/W
	硅料成本	0.070	元/W
	成本合计(不含折旧)	0.129	元/W
电池	<u>银浆(包含主副栅)</u>	<u>0.070</u>	<u>元/W</u>
	网版(网版包含主栅)	0.003	元/W
	电力	0.028	元/W
	人工	0.015	元/W
	其他生产成本	0.016	元/W
	硅片成本	0.131	元/W
	成本合计(不含折旧)	0.263	元/W
组件	玻璃	0.100	元/W
	胶膜	0.046	元/W
	边框	0.087	元/W
	人工	0.019	元/W
	其他生产成本	0.085	元/W
	电池成本	0.266	元/W
一体化组件成本合计(不含折旧)		0.603	元/W
一体化组件成本合计（含税、含最低必要费用）		0.690	元/W

数据来源：CPIA，

目前主流的少银/去银技术包括铜电镀、银包铜、铜浆料、0BB、叠栅等。铜电镀、银包铜以及铜浆料是从浆料本身切入，试图利于铜的低价降低金属化环节的成本；

OBB和叠栅则是通过电极主副栅组织形式的调整，来减少电池片整体的银耗，从而降低成本。

（一）铜浆料：有望成为光伏金属化降本の终极路线

对于金属化的降本方向，一个重要的方向是直接用非银材料取代传统的银栅线，如铜（Cu）、铝（Al）或镍（Ni）。

根据《Improvement of solder interconnections applied on back contact solar cells with low-T Cu paste busbars》（Dominik Rudolph）中的数据，金属铜的电导率仅次于金属银且仅有微小差距（<5%），且铜的成本远低于银，在碳排放、环保、地壳丰度均具备明显优势；导电铜浆的问题在于金属铜极易氧化，因此无论采用高温结或是低温固化的方式形成导电路路，都需要在惰性气体氛围中进行，大大增加了工艺难度和成本。

表 3：铜与银的对比

Raw material comparison	Silver（银）	Copper（铜）	Copper vs. Silver
Price per kg in US Dollar	818	8.9	~100x cheaper (12.04.23)
Conductivity in 10 ⁻⁸ Ω m	1.59	1.68	5% less conductive
Carbon footprint in kgCO ₂ /kg	155	3.97	40x better
Max level in drinking water (EPA) in mg/liter	0.1	1	10x less toxic
Abundance in Earth's crust in ppm	0.08	68	~1000x more abundant

数据来源：《Improvement of solder interconnections applied on back contact solar cells with low-T Cu paste busbars》（Dominik Rudolph），

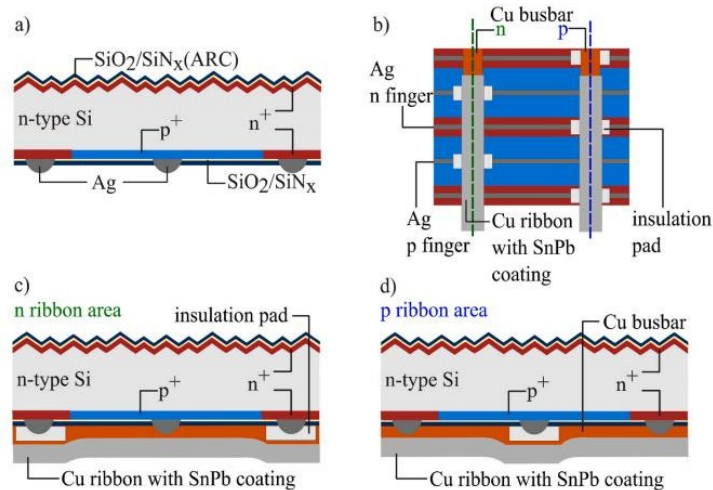
铜浆料在降本的同时，而且可以使用丝网印刷技术，相比电镀，工艺流程更简单、生产工艺成本更低，但是铜因为较为活跃抗氧化性能不佳，固化过程以及长期暴露在空气中，可能形成不导电的氧化铜，影响电池发电效率及使用寿命。

由于铜的电阻比较高，因此用铜浆只做电极，为了达到与银栅线相同的导电性，铜栅线就需要更大的横截面积，这就会增加遮光面积从而导致光学损失增大，影响电池转换效率。同时，铜还可能导致铜原子渗入硅片，对载流子寿命造成不利影响，使得电池片性能退化及组件失效。

1. 铜浆料在BC电池上的应用

参照《Improvement of solder interconnections applied on back contact solar cells with low-T Cu paste busbars》（Dominik Rudolph），铜可以替代副栅线（finger）、主栅线（busbar）以及焊带（ribbon）。

图 15：采用铜浆料的 ZEBRA 电池（TBC）结构



数据来源：《Improvement of solder interconnections applied on back contact solar cells with low-temperature copper paste busbars》（Dominik Rudolph 等），

注：（a）（b）为采用铜浆料的 ZEBRA 电池的截面图和背面图，（c）（d）为 N 型和 P 型汇流条的截面图，表明铜汇流条与 SiNx、Ag 栅线、绝缘层接触。

在论文《Improvement of solder interconnections applied on back contact solar cells with low-T Cu paste busbars》（Dominik Rudolph）中采用对照试验的方法，对不同浆料、不同封装形式下的组件进行了相关测试。

其中，组合1为对照组，组合1-3为实验组，组合2与3所采用的铜浆料型号不一样（组合2为LF371，组合3为LF320），组合2与组合4封装材料不一样（组合2为POE，组合4为EVA）。

表 4：铜浆料对比实验相关设定

Group	BB paste	Soldering setting	Encapsulati on material	Flux	Modules for TC	Modules for DH
G1	Low T Ag	Set 6	POE	Low residue flux	#4	#3
G2	Cu LF371	Set 6	POE	Low residue flux	#4	#4
G3	Cu LF320	Set 6	POE	Low residue flux	#4	#4
G4	Cu LF371	Set 6	EVA	Low residue flux	#4	#4

数据来源：《Improvement of solder interconnections applied on back contact solar cells with low-T Cu paste busbars》（Dominik Rudolph），

DH（Damp Heat，湿热）测试结果1显示：对于所有组，Jsc可以满足DH3000的要求；对于Voc，组合4可以满足DH3000的要求，其余组合可以满足DH2000的要求。

DH（Damp Heat，湿热）测试结果2显示，所有组的pFF测试均满足DH3000的要求；对于FF和Pmpp，组合1-3只能满足DH2000的要求，组合4可以满足DH3000的要求。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/168007124050007010>