

光伏设备行业深度：
低氧型单晶炉迎新一轮技术迭代，
助力N型硅片优化&电池效率提升

证券分析师：周尔双

执业证书编号：S0600515090001

zhoues@dwzq.com.cn

证券分析师：刘晓旭

执业证书编号：S0600523030005

liuwx@dwzq.com.cn

2023年5月26日

目录



1 N型硅片存同心圆痛点，低氧型单晶炉助力降本增效

2 增加磁场为有效解决方案之一，具备一定经济性

3 光伏磁场借鉴半导体领域经验，有效抑制对流以降低氧等杂质

4 低氧型单晶炉迎新一轮技术迭代，市场空间广阔

5 本土相关公司介绍

6 投资建议

7 风险提示

- 随着N型电池片，尤其是TOPCon快速放量，N型硅片需求大幅提升。TOPCon 2022年实际扩产约110GW，2023年1-4月扩产约400GW，带动N型硅片需求快速提升，而N型硅片对晶体品质和氧碳含量要求很高，要求更高的少子寿命和更低的氧含量。
- N型硅片容易产生由原生氧造成同心圆、黑芯片问题。主要系高温的硅溶液在坩埚里进行相对高速的对流，因为外面热中间冷，底部热上面冷，硅溶液在坩埚内会形成类似“开锅”现象，造成硅溶液内部出现流动，不停冲刷石英坩埚，而石英就是二氧化硅，其中氧会在冲刷过程中融入硅溶液，造成晶体里含有较多的氧。
- TOPCon更容易发生同心圆问题。TOPCon在后续的高温工艺（如B扩散）下，氧容易沉淀形成氧环即同心圆，影响效率和良率，所以TOPCon对硅片氧含量更敏感；而HJT为低温工艺，出现同心圆概率不高，可以选择高氧含量硅片。

图：N型硅片要求更高的少子寿命和更低的氧含量

	掺杂元素	分凝系数	多数载流子	少数载流子	少子寿命	纯度要求	金属污染容忍度
P型硅片	硼	0.8	空穴	电子	低	6个9	高
N型硅片	磷	0.3	电子	空穴	高	9个9	低

P型和N型的区别，为何PERC对杂质要求不高？

● N型电池对硅料要求比P型高。

(1) 转换效率上，N型电池（TOPCon、xBC、HJT）均高于P型电池（BSF、PERC）。

(2) 电特性及纯度上，N型表金属、体金属、受主杂质和施主杂质含量比P型少50%，少子寿命也提高了。

(3) 含氧量上，现有的单晶炉技术可以实现12.5ppma左右的含氧量，再往下，良率就很低，如果降低到10ppma，良率可能不到10%。

表：N型和P型电池转换效率对比

导电类型	转化效率 (%)
P型	BSF 21.5
	PERC 23.5
N型	TOPcon >25
	xBC >25.5
	HJT >25

表：多晶硅料电特性及纯度

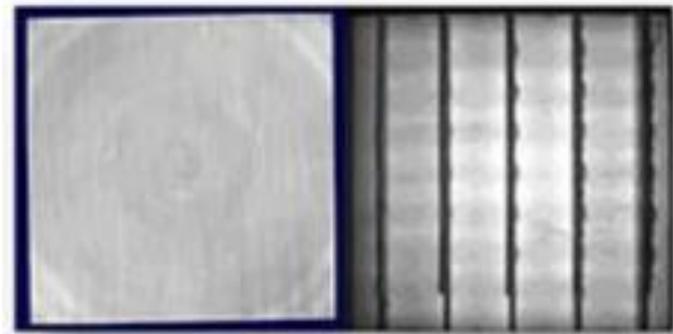
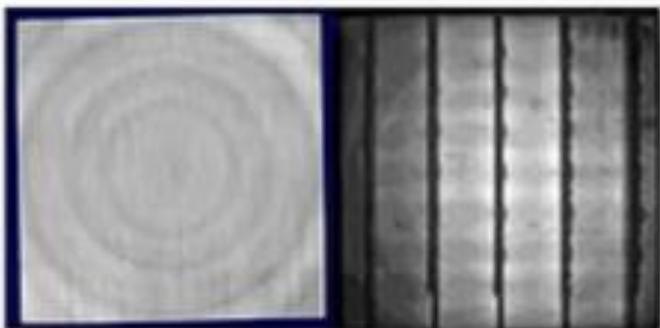
类型	电阻率 ($\Omega\cdot\text{cm}$)	少子寿命 (μs)	碳含量 (ppma)	受主杂质含量 (ppt)	施主杂质含量 (ppt)	体金属 (ppb)	表金属 (ppb)
P型	1000	1200	0.3	100	200	1	1
N型	1200	1500	0.2	50	100	0.5	0.5

表：单晶硅片电特性

导电类型	氧含量 (ppma)	少子寿命 (μs)	电阻率 ($\Omega\cdot\text{cm}$)
P型	≤ 13.5	≥ 80	0.4-1.1
N型	≤ 12.5	≥ 1000	0.65-1.25

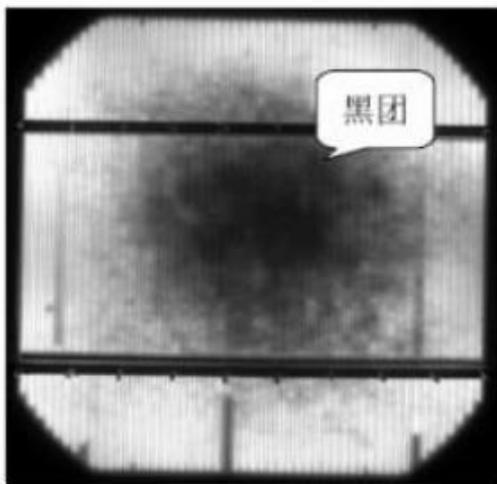
- TOPCon高温过程比较多（SE需要两次扩硼，温度在1050摄氏度以上，扩磷850摄氏度，LPCVD也是高温过程），高温过程会激发硅片内的氧原子形成同心圆，使效率下降。
- 缺陷分为空位缺陷和点缺陷，空位缺陷是原子来不及排列，所以中间出现了孔洞。高拉速情况下孔洞会多，掺杂磷之后孔洞缺陷会更多，过了7ppm之后，缺陷会急速上升。Topcon里的高温制程就会导致氧聚集形成缺陷，400度以上氧可以在硅片里活动，800~900度以上氧可以游动，一旦冷了凝固就不动了。氧喜欢CUP区域，氧原子堆积在一起，漏电大，一定就是不会发电的，如果氧和过渡金属复合之后，会引起局部的位错。从逻辑上，氧和杂质是N型硅片的敌人，杂质会复合掉少子，氧会聚集形成缺陷。

图：TOPCon的黑芯片问题

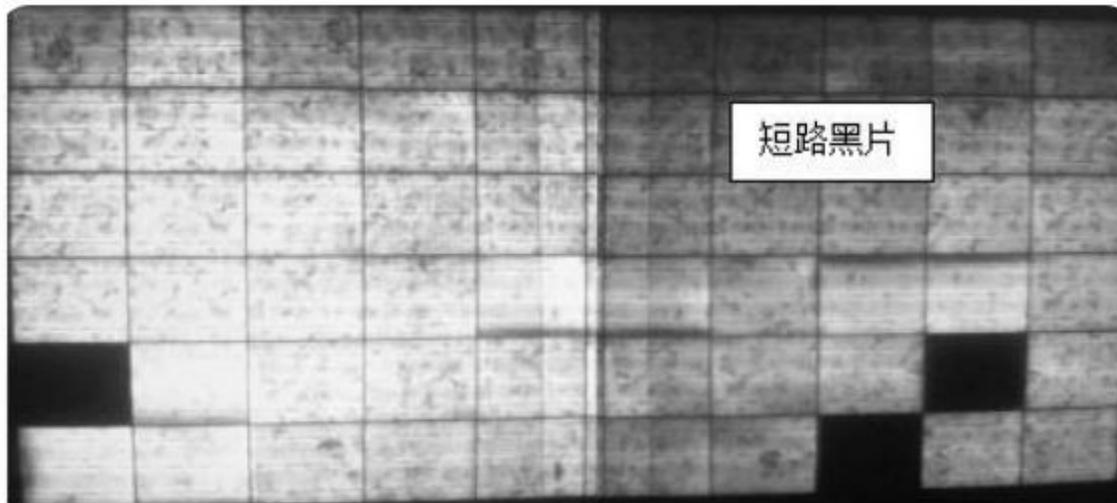


- **TOPCon黑芯片问题放大了HJT硅棒利用率优势：**目前TOPCon存在黑芯片的问题，硅片氧含量高且在高温下氧占位了硅，造成了电池片或组件在EL检测时中心发黑的现象。目前TOPcon黑芯片占比4-5%，在企业的可接受范围内，但随着未来TOPCon对良率的要求变高，黑芯片会使得TOPCon比HJT硅棒利用率低3%。

图：TOPCon芯片黑团问题



图：TOPCon短路黑片示意图



- 半棒半片技术为HJT带来的良率及硅棒利用率提升：①切割产能损失不到10%；②硅损不到0.7%；③电池端的效率可提升0.03-0.05%；④可以降低0.3%的电池端碎片率；⑤在130 μ m薄片的情况下良率提高近4%。其中：降低的0.3%电池端碎片率可以抵消0.4%的硅损，剩下的0.3%硅损还可以被电池端的效率增益部分抵消（即③+④可以基本抵消掉②）；剩下10%的切片产能损失微乎其微（即①可忽略不计），最后算下来可以带来近4%的良率提升（即最后只剩下⑤）。
- HJT除了可以利用半棒半片工艺带来良率上的收益之外，其优势还在于：⑥HJT本身比TOPCon高3%的硅棒利用率；⑦HJT对硅片的容忍度比TOPCon要高很多，可用TOPCon的头尾料进行生产，此优势又可以使HJT提升3%的硅棒利用率。因此，相较于TOPCon，HJT不仅良率提高了近4%，而且硅棒利用率还比TOPCon高6%（即⑥+⑦）。
- HJT薄片化更顺利且潜力大：HJT硅片厚度可以在100微米以上，厚度低于100微米可能效率下降，从原理上没有太大问题，问题在于碎片率、机械手之类需要改进。薄片化之后功率有提升，因为填充因子变大、电阻变小导电性变好。
- TOPCon中边皮的效率损失至少有0.15-0.2%，而HJT只有0.05%，HJT采用半片，先做半棒，切半棒的时候切一半，就可以在边缘弧度部分切半片（一个小块，很多半片），进而降低实际切割硅片成本。
- 湿法环节：N型电池片均具备退火吸杂工艺，奥特维专注TOPCon的光注入退火炉（设备价格约600-800万元/台），迈为专注异质结的链式吸杂（诱使金属杂质和氧杂质远离硅片正面的方法，可以大幅降低对硅料的要求），考虑到N型电池对硅片纯度的要求比对P型的要求更高，这进一步阐释了从硅料端降低纯度要求的可行性，异质结能用的硅料等级可能会比PERC等P型电池的硅料纯度更低。
- 因此，HJT可以比TOPcon多用5%的头尾料，降低了非硅成本。

成本对比：相比HJT，TOPcon成本更高、对硅片要求更高

图：不同硅片厚度下HJT硅片的单W硅耗

以166为例	150微米	130微米	120微米	110微米	100微米	90微米	80微米
每公斤方棒长度(毫米)①	16	16	16	16	16	16	16
金刚线线径(毫米)②	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033
砂径(毫米)③	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
硅片厚度(毫米)④	0.15	0.13	0.12	0.11	0.1	0.09	0.08
槽距(毫米)⑤=②+③+④	0.203	0.183	0.173	0.163	0.153	0.143	0.133
理论出片数(片/kg)⑥=①/⑤	78.82	87.43	92.49	98.16	104.58	111.89	120.30
切片良率(%)⑦	98.0%	97.0%	96.0%	95.0%	95.0%	95.0%	95.0%
实际出片数(片/kg)⑧=⑥*⑦	77.24	84.81	88.79	93.25	99.35	106.29	114.29
拉晶环节损耗⑨	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%
每公斤硅料对应的硅片数(片)⑩=⑧*(1-⑨)	72.61	79.72	83.46	87.66	93.39	99.92	107.43
硅片面积(平方毫米)⑪	27415	27415	27415	27415	27415	27415	27415
转换效率⑫	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%
硅片功率(W/片)⑬=⑪*⑫/1000	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
每公斤硅料对应的硅片功率(W)⑭=⑩*⑬	498	546	572	601	640	685	736
硅片单W硅耗(g/W)⑮=1000/⑭	2.01	1.83	1.75	1.66	1.56	1.46	1.36

图：不同硅片厚度下TOPCon硅片的单W硅耗

以166为例	150微米	140微米	130微米
每公斤方棒长度(毫米)①	16	16	16
金刚线线径(毫米)②	0.033	0.033	0.033
砂径(毫米)③	0.02	0.02	0.02
硅片厚度(毫米)④	0.15	0.14	0.13
槽距(毫米)⑤=②+③+④	0.203	0.193	0.183
理论出片数(片/kg)⑥=①/⑤	78.82	82.90	87.43
切片良率(%)⑦	98.0%	98.0%	97.0%
实际出片数(片/kg)⑧=⑥*⑦	77.24	81.24	84.81
拉晶环节损耗⑨	6%	6%	6%
每公斤硅料对应的硅片数(片)⑩=⑧*(1-⑨)	72.61	76.37	79.72
硅片面积(平方毫米)⑪	27415	27415	27415
转换效率⑫	24.5%	24.5%	24.5%
硅片功率(W/片)⑬=⑪*⑫/1000	6.7	6.7	6.7
每公斤硅料对应的硅片功率(W)⑭=⑩*⑬	488	513	535
硅片单W硅耗(g/W)⑮=1000/⑭	2.05	1.95	1.87

图：不同硅片厚度下PERC硅片的单W硅耗

以166为例	160微米	150微米
每公斤方棒长度(毫米)①	16	16
金刚线线径(毫米)②	0.033	0.033
砂径(毫米)③	0.02	0.02
硅片厚度(毫米)④	0.16	0.15
槽距(毫米)⑤=②+③+④	0.213	0.203
理论出片数(片/kg)⑥=①/⑤	75.12	78.82
切片良率(%)⑦	98.0%	98.0%
实际出片数(片/kg)⑧=⑥*⑦	73.62	77.24
拉晶环节损耗⑨	6%	6%
每公斤硅料对应的硅片数(片)⑩=⑧*(1-⑨)	69.20	72.61
硅片面积(平方毫米)⑪	27415	27415
转换效率⑫	24%	24%
硅片功率(W/片)⑬=⑪*⑫/1000	6.6	6.6
每公斤硅料对应的硅片功率(W)⑭=⑩*⑬	455	478
硅片单W硅耗(g/W)⑮=1000/⑭	2.20	2.09

成本对比：相比HJT，TOPcon成本更高、对硅片要求更高

- 若硅料降低至100元/KG、HJT硅片厚度为80微米时，硅片总成本约为0.24元/W，我们假设N型硅片毛利率约25%，则硅片售价约为0.31元/W，即HJT电池片的硅片成本约为0.31元/W。

图：不同硅片厚度下HJT电池片的硅片成本（单位：元/W）

以166为例		150微米	130微米	120微米	110微米	100微米	90微米	80微米	
硅片的硅料成本 (元/W)⑦=⑧*⑨ /1000	硅料价格 区间(元 /KG)⑧	50	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07
		100	0.20	0.18	0.17	0.17	0.16	0.15	0.14
		150	0.30	0.27	0.26	0.25	0.23	0.22	0.20
		200	0.40	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27
		250	0.50	0.46	0.44	0.42	0.39	0.37	0.34
		300	0.60	0.55	0.52	0.50	0.47	0.44	0.41
硅片的非硅成本(元/W)⑨		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
硅片总成本(元 /W)⑩=⑦+⑨	硅料价格 区间(元 /KG)	50	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17
		100	0.30	0.28	0.27	0.27	0.26	0.25	0.24
		150	0.40	0.37	0.36	0.35	0.33	0.32	0.30
		200	0.50	0.47	0.45	0.43	0.41	0.39	0.37
		250	0.60	0.56	0.54	0.52	0.49	0.47	0.44
		300	0.70	0.65	0.62	0.60	0.57	0.54	0.51
N型硅片售价(元 /W, 按照25%毛利 率, 比P型有溢 价)⑪=⑩/0.75	硅料价格 区间(元 /KG)	50	0.27	0.26	0.25	0.24	0.24	0.23	0.22
		100	0.40	0.38	0.37	0.36	0.34	0.33	0.31
		150	0.54	0.50	0.48	0.47	0.45	0.43	0.40
		200	0.67	0.62	0.60	0.58	0.55	0.52	0.50
		250	0.80	0.74	0.72	0.69	0.65	0.62	0.59
		300	0.94	0.87	0.83	0.80	0.76	0.72	0.68

图：不同硅片厚度下TOPCon电池片的硅片成本（单位：元/W）

以166为例		150微米	140微米	130微米	
硅片的硅料成本(元/W) ⑦=⑧*⑨/1000	硅料价格 区间(元 /KG)⑧	50	0.10	0.10	0.09
		100	0.21	0.19	0.19
		150	0.31	0.29	0.28
		200	0.41	0.39	0.37
		250	0.51	0.49	0.47
		300	0.62	0.58	0.56
硅片的非硅成本(元/W)⑨		0.1	0.1	0.1	
硅片总成本(元/W)⑩= ⑦+⑨	硅料价格 区间(元 /KG)	50	0.20	0.20	0.19
		100	0.31	0.29	0.29
		150	0.41	0.39	0.38
		200	0.51	0.49	0.47
		250	0.61	0.59	0.57
		300	0.72	0.68	0.66
N型硅片售价(元/W, 按照25%毛利率, 比P型 有溢价)⑪=⑩/0.75	硅料价格 区间(元 /KG)	50	0.27	0.26	0.26
		100	0.41	0.39	0.38
		150	0.54	0.52	0.51
		200	0.68	0.65	0.63
		250	0.82	0.78	0.76
		300	0.95	0.91	0.88

图：不同硅片厚度下PERC电池片的硅片成本（单位：元/W）

以166为例		160微米	150微米	
硅片的硅料成本(元 /W)⑦=⑧*⑨/1000	硅料价格区间 (元/KG)⑧	50	0.11	0.10
		100	0.22	0.21
		150	0.33	0.31
		200	0.44	0.42
		250	0.55	0.52
		300	0.66	0.63
硅片的非硅成本(元/W)⑨		0.1	0.1	
硅片总成本(元 /W)⑩=⑦+⑨	硅料价格区间 (元/KG)	50	0.21	0.20
		100	0.32	0.31
		150	0.43	0.41
		200	0.54	0.52
		250	0.65	0.62
		300	0.76	0.73
P型硅片售价(元 /W, 按照20%毛利 率)⑪=⑩/0.8	硅料价格区间 (元/KG)	50	0.26	0.26
		100	0.40	0.39
		150	0.54	0.52
		200	0.67	0.65
		250	0.81	0.78
		300	0.95	0.91

硅片设备发展趋势：从尺寸变大到质量升高

图：参考半导体发展经验：光伏硅片和半导体类似，尺寸朝着大尺寸演变。

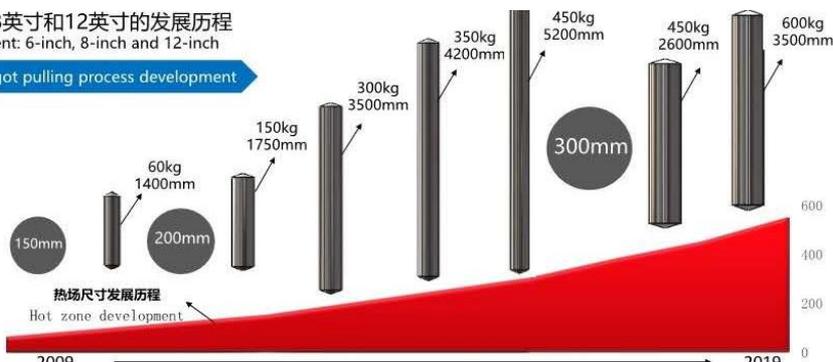


数据来源：索比光伏网，东吴证券研究所

图：光伏硅片尺寸发展

晶棒6英寸，8英寸和12英寸的发展历程
Ingot development: 6-inch, 8-inch and 12-inch

拉晶工艺历程 Ingot pulling process development

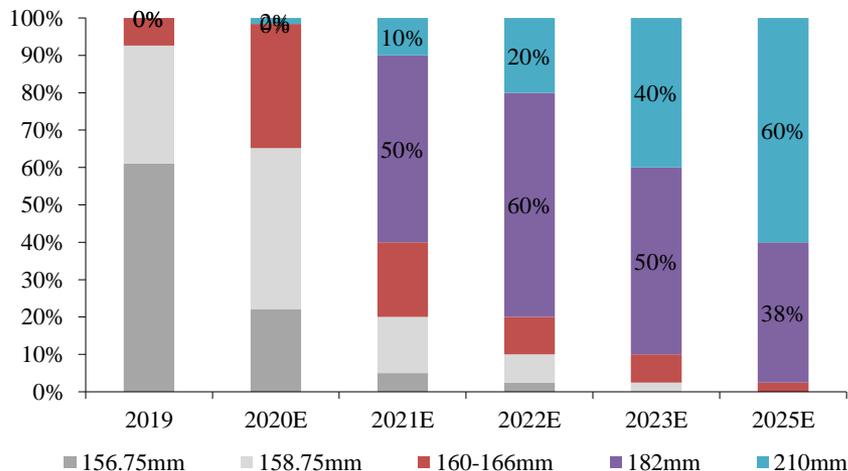


装料量 Charging volume	60kg	90kg	120-150kg	250-300kg	250-350kg	250-350kg	350-450kg	400-600kg
热场尺寸 Hot zone size	16"	18" - 20"	22" - 24"	26" - 28"	26" - 28"	26" - 28"	28" - 32"	28" - 36"

16寸到32寸、高成晶率、高稳定性、低功耗、低氧碳含量。 16" to 32", high crystallization rate, high stability, low power consumption, low oxygen and carbon content

数据来源：晶盛机电官网，东吴证券研究所

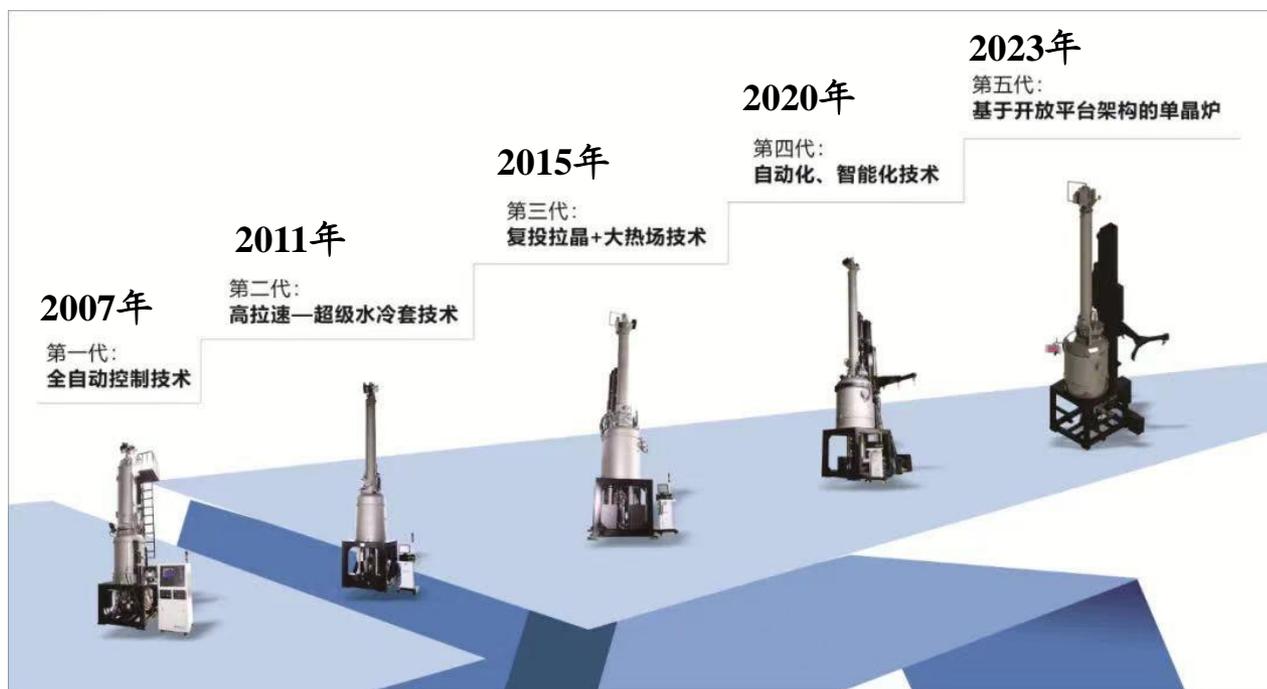
图：光伏硅片大尺寸占比逐步提升



数据来源：CPIA，东吴证券研究所

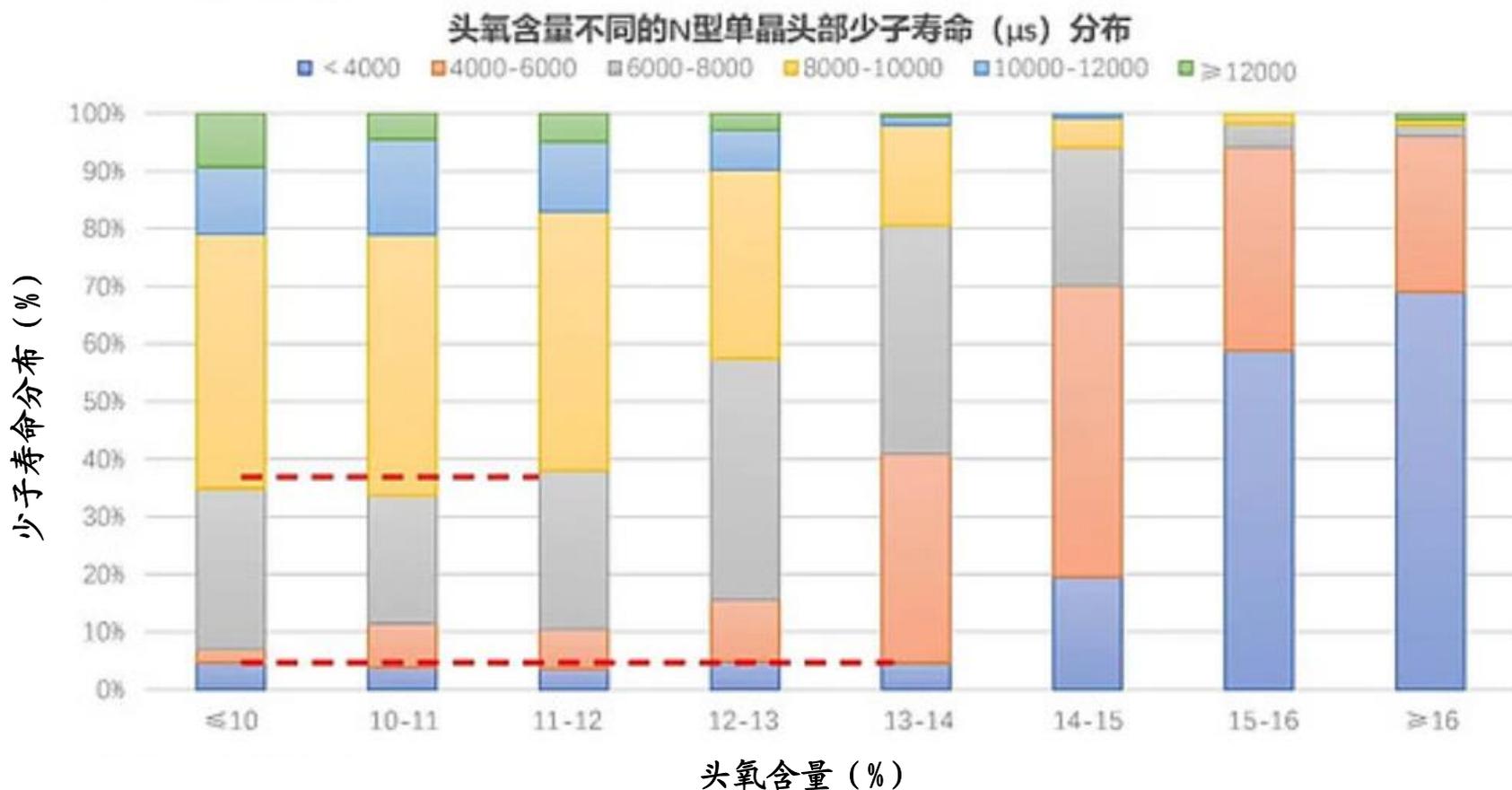
- 之前单晶炉的发展思路是：在所有变动成本一致的情况下，硅片尺寸越大，成本越低。当下的G10硅片，从尺寸角度看，已经是瓶颈，210是最符合集装箱尺寸的大小，自210推出后，硅片环节再无新的技术迭代。
- 晶盛机电持续推出单晶炉新品，由注重尺寸到注重质量。2007年晶盛机电推出第一代全自动单晶炉；2011年首推水冷套装置，实现高拉速第二代单晶炉；2015年首推复投器+大热场，开创第三代RCZ高产单晶炉；2020年首推基于工业互联网的第四代智能化单晶炉。2023年晶盛推出第五代新型单晶炉，最大的亮点在于改变了传统的封闭控制系统模式，配置了基于开放架构的用户可编程的软件定义工艺平台。

图：单晶炉从尺寸升级到质量升级



- 一般来说，头氧含量越低，少子平均寿命越长。当头氧含量在12%以下，50%的少子寿命在6000-8000 μs 以下，当头氧含量低于12%，60%以上少子寿命在8000-10000 μs 以上。当头氧含量小于等于10%，有10%的少子寿命大于12000 μs 。

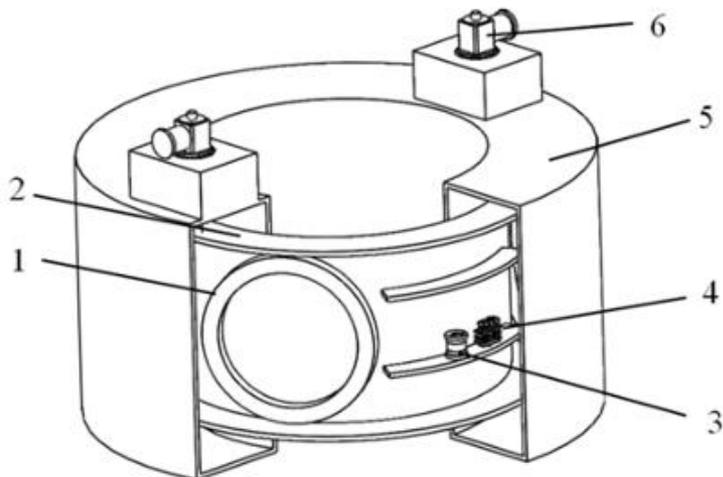
图：头氧含量越低，少子平均寿命越长



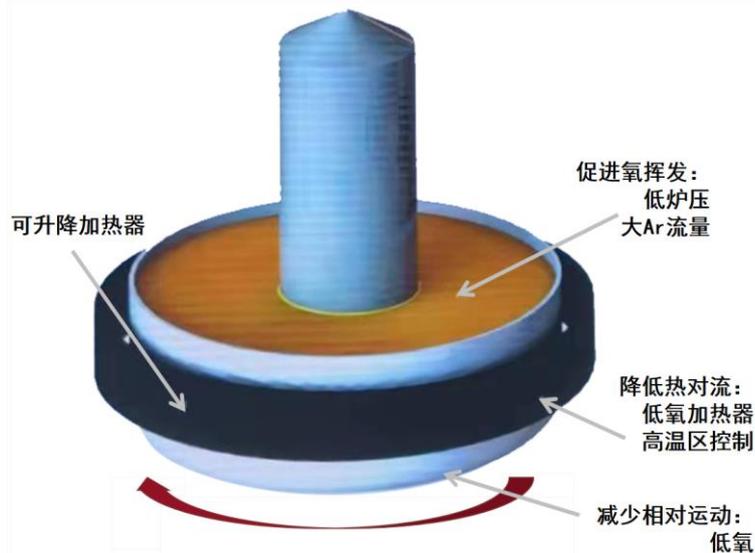
(1) 晶盛机电：增加超导磁场

- 超导磁场主要作用是可以减少对流，减少晶体材料里面的氧含量，还可以提升生晶体生长的稳定性，减少里面的cup缺陷。
- 光伏最早没有使用超导磁场，是因为早期的光伏对这些优势并不敏感，PERC电池并不关注氧碳含量等缺陷。近期做TOPCon电池，由于原生含氧量的问题，晶盛进行了加超导磁场的测试，发现超导磁场可以非常有效的抑制对流，对流减弱了之后，长晶过程中，硅溶液冲刷坩埚壁的强度就会下降，导致材料里氧含量会非常显著下降，N型硅片同心圆的问题能够缓解。

图：慧翔电液磁场专利



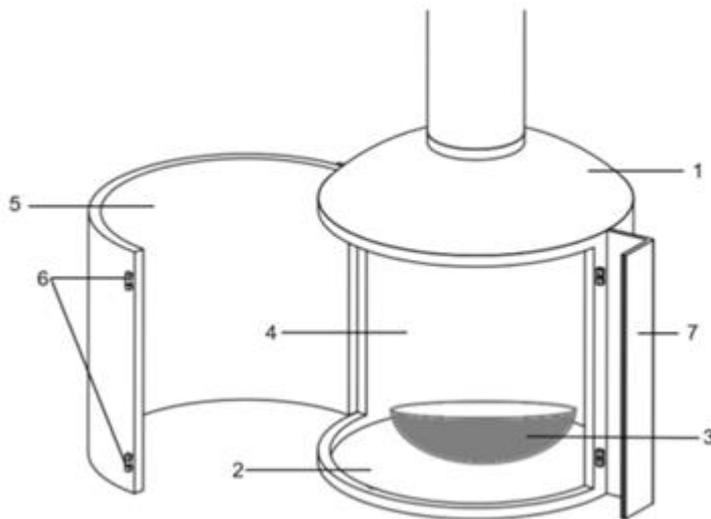
图：晶盛机电低氧方案



(2) 连城数控：MCCz技术，外加磁场+氩气吹扫方案

- 推出KX420PV新品单晶炉，采用MCCz技术，通过外加磁场的引入可有效抑制硅熔体热对流，降低氧的形成和传输，同时结合全新设计的氩气吹扫方案、大尺寸排气管道及低流阻设计，匹配大抽速真空干泵和可升降式加热器，最大程度带走氧杂质。
- 目前连城数控已深度掌握磁场模块（永磁场、勾型磁场及水平磁场、超导磁场）用于光伏单晶生长的一系列方案。

图：连城数控专利



(3) 奥特维：主要通过热场设计来降低氧含量，追求高性价比

- ▶ 通过热场工艺模拟，结合流体流通过路线，设计最佳匹配炉内管路开口位置及流体管路走向，最大化程度带走氧杂质。
 - ▶ 软控算法增加控氧功能模块，在不影响拉晶的前提下，不定时开启除氧功能；后续延续此思路增加其他除杂模块。
 - ▶ 调整工艺包部分内容，以提升工艺与硬件之间的匹配度。
- 同等条件下，奥特维的方案下同心圆可降低50%；相较于主流硅片氧含量水平，同等条件下低氧型单晶炉可实现氧含量降低24%以上，试验线验证数据电池片效率提升0.1%。

图：松瓷机电单晶炉



目录



1 N型硅片存同心圆痛点，低氧型单晶炉助力降本增效

2 增加磁场为有效解决方案之一，具备一定经济性

3 光伏磁场借鉴半导体领域经验，有效抑制对流以降低氧等杂质

4 低氧型单晶炉迎新一轮技术迭代，市场空间广阔

5 本土相关公司介绍

6 投资建议

7 风险提示

- 硅料降价+硅片10%~12%合理利润率下，行业整体利润仍然较高，单晶炉回本周期不到2年，其中N型设备回本周期比P型更短。
- (1) 单晶炉价格约140万/台，理论产值14MV/台，N型硅片利润率12%，P型硅片利润率10%。
- (2) 进口高纯石英砂短缺，坩埚更换频繁，单晶炉待机时间变长，间接造成产能损耗，其中N型单晶炉产能损耗约20%，P型单晶炉产能损耗约10%。
- (3) N型每GW所需单晶炉约90台，设备价值量1.3亿元，P型每GW所需单晶炉80台，设备价值量1.1亿元。以硅片价格0.6元/W测算，设备回本周期不到2年，其中N型设备回本周期更短。

不同硅片价格下，单晶炉设备回本周期

		0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
N型 硅片	硅片价格(元/W) ①	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
	单晶炉价格(万元/台) ②	140	140	140	140	140	140	140
	单晶炉理论产值(MV/台) ③	14	14	14	14	14	14	14
	石英导致的产能损耗(%) ④	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
	单晶炉实际产能(MW/台) ⑤=③*(1-④)	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2
	单晶炉所需数量(台) ⑥=1000/⑤	89	89	89	89	89	89	89
	每GW单晶炉设备价值(亿元) ⑦=③*⑥	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
	硅片利润率(%) ⑧	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%
	每GW硅片利润(亿元) ⑨=①*⑧*10	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2
	单晶炉设备回本周期(年) ⑩=⑦/⑨	2.6	2.1	1.7	1.5	1.3	1.2	1.0
P型 硅片	石英导致的产能损耗(%) ⑪	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
	单晶炉实际产能(MW/台) ⑫=③*(1-⑪)	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6
	单晶炉所需数量(台) ⑬=1000/⑫	79	79	79	79	79	79	79
	每GW单晶炉设备价值(亿元) ⑭=②*⑬	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
	硅片利润率(%) ⑮	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
	每GW硅片利润(亿元) ⑯=①*⑮*10	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
	单晶炉设备回本周期(年) ⑰=⑭/⑯	2.8	2.2	1.9	1.6	1.4	1.2	1.1

硅料降价+N型 12%利润率，单晶炉+超导磁场回本周期约3年

- N型硅片对含氧量和纯度要求比P型高，只有磁场才能将含氧量降低到7ppma（N型行业标准），在硅料降价+N型12%合理利润率下，行业整体利润仍然较高，单晶炉回本周期约3年。
 - （1）2023年晶盛超导磁场约150万元/台，2024年有望降到100万元/台（降低30%）。
 - （2）单晶炉+磁场可以有效提高硅片拉晶的良率、成晶率，提高10%单产。
 - （3）磁场可以减缓硅溶液对坩埚的冲刷，延长坩埚使用寿命，N型单晶炉产能损耗降低至15%。
 - （4）N型每GW所需单晶炉+超导磁场76台，设备价值量2.2亿元，以硅片价格0.6元/W测算，设备回本周期约3年，当超导磁场降低至100万元/台，回本周期约2.5年。

0.6元/W硅片价格下，单晶炉+超导磁体设备回本周期

超导磁体价格（万元/台）①	150	140	130	120	110	100
单晶炉价格（万元/台）②	140	140	140	140	140	140
单晶炉理论产值（MV/台）③	14	14	14	14	14	14
单晶炉+超导磁场（万元/台）④=①+②	290	280	270	260	250	240
单晶炉+超导磁场产能提升（%）⑤	10%	10%	10%	10%	10%	10%
石英导致的产能损耗（%）⑥	15%	15%	15%	15%	15%	15%
单晶炉+超导磁场实际产能（MW/台） ⑦=③*(1+⑤)*(1-⑥)	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1
单晶炉所需数量（台）⑧=1000/⑦	76	76	76	76	76	76
单晶炉+超导磁场（亿元）⑨=②*⑧	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8
硅片价格（元/W）⑩	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
硅片利润率（%）⑪	12%	12%	12%	12%	12%	12%
每GW硅片利润（亿元）⑫=⑩*⑪*10	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
单晶炉设备回本周期（年）⑬=⑨/⑫	3.1	3.0	2.9	2.8	2.7	2.5

硅片存在产能过剩风险，硅片质量为后续竞争的关键要素

- 从供给与需求角度来看，硅片产能未来存在过剩风险。供给端2022年底硅片名义产能达600GW+，考虑到落后产能淘汰、产能利用率等，我们测算实际有效产能约260GW+；需求端2022年全球新增装机量约230GW，考虑到容配比等，我们测算硅片需求约290GW+，硅片供需处于紧平衡状态。未来随着硅片技术变革减少、落后产能淘汰率下降，硅料等瓶颈因素消失、产能利用率提升，硅片名义产能存在过剩风险。
- 硅片质量为后续竞争的关键要素。硅片产能过剩将放大硅片质量的重要性，下游对质量优秀硅片的倾向性凸显。

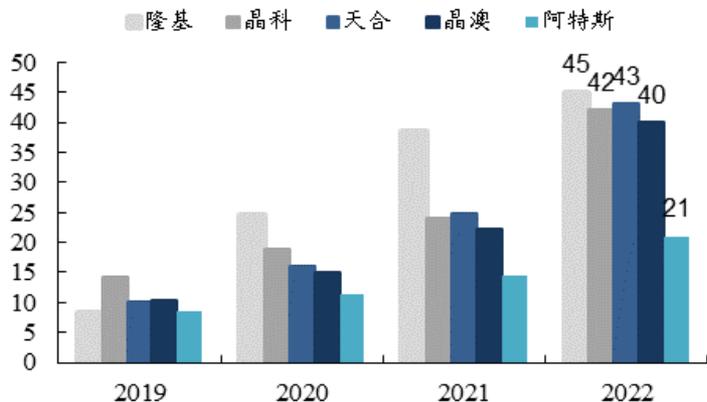
◆ 图：硅片产能未来存在过剩风险

		2021	2022	2023E	2024E	2025E
供给端	隆基股份	105.0	150.0	173.0	196.0	196.0
	中环股份	88.0	140.0	150.0	160.0	170.0
	上机数控	30.0	50.0	82.5	115.0	115.0
	晶科能源	32.5	55.0	70.0	85.0	85.0
	晶澳科技	30.0	40.0	42.5	45.0	45.0
	高景太阳能	20.0	35.0	65.0	100.0	120.0
	京运通	15.0	20.0	20.0	31.0	42.0
	双良节能	20.0	30.0	50.0	90.0	125.0
	通威股份	10.0	17.5	17.5	17.5	17.5
	阿特斯	10.0	15.0	15.0	15.0	15.0
	三一重工		15.0	30.0	30.0	30.0
	协鑫	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
	锦州阳光	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7
	环太	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	中润	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	宇泽	3.0	8.0	28.0	43.0	58.0
	亿晶	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	赛宝伦	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	豪安	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	东方希望	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	天合光能	0.8	0.8	10.8	20.8	35.8
	江苏晶品	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
	浙江砂盛	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	浙江东明	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	清电能源			10.0	30.0	50.0
美科股份	10.0	15.0	25.0	35.0	45.0	
名义产能合计 (GW)		406.5	623.5	821.5	1,045.5	1,181.5
落后产能淘汰率		30%	30%	20%	15%	10%
累计淘汰产能 (GW)		121.9	187.0	164.3	156.8	118.1
产能利用率		60%	60%	65%	70%	70%
实际有效产能 (GW)		170.7	261.9	427.2	622.0	744.3
需求端	全球新增装机量 (GW)	175	230	340	450	550
	容配比	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	损耗率	5%	5%	5%	5%	5%
	硅片需求 (GW)	221	291	429	568	695
	供需缺口 (供给-需求) (GW)	-50.34	-28.67	-2.31	53.63	49.58

组件行业格局重塑期，技术迭代+产能扩张为有效手段

- 组件TOP5产能逐渐扩大，行业集中度不断提升，2022年龙头组件出货量接近，是行业格局重塑的紧要关头。技术迭代，产能扩张是企业稳固自己行业地位的有效手段。
- 光伏产业链一体化明确，一体化组件企业（隆基，天合，晶科，晶澳，阿特斯）持续扩产，单晶炉+超导磁场既可以有效提高组件效率，又能构筑企业技术壁垒，存在替换需求。

◆ 2022年国内组件龙头出货量接近（GW）



◆ 2019-2022年国内组件出货量CR5



◆ 光伏产业链一体化明确，行业集中度较高

排序（按产能）	硅片	电池片	组件
1	隆基绿能	通威太阳能	隆基绿能
2	中环	隆基绿能	天合光能
3	协鑫	爱旭科技	晶澳科技
4	晶科能源	晶澳科技	晶科能源
5	晶澳科技	天合光能	阿特斯
6	京运通	润阳悦达	韩华
7	阿特斯	晶科能源	东方日升
8	环太	阿特斯	First Solar
9	阳光能源	江西展宇（捷泰）	尚德
10	高景	江苏中宇	正泰
CR10(全球)	95.80%	68.20%	78.90%

◆ 隆基重电池，天合补硅片，晶科、晶澳扩组件

扩产（GW）	年份	硅片	电池	组件	扩产重点
隆基	2022	133	50	85	
	2023E	190	110	130	
	增幅	42.9%	120.0%	52.9%	电池
晶科能源	2022	65	55	70	
	2023E	75	75	90	
	增幅	15.4%	36.4%	28.6%	组件
天合	2022	-	50	65	
	2023E	50	75	95	
	增幅	-	50.0%	46.2%	硅片
晶澳科技	2022E	40	40	50	
	2023	72	72	80	
	增幅	80.0%	80.0%	60.0%	组件

- **增效角度：**以182尺寸72片组件、转换效率24.3%为例，单晶炉+超导磁场可以有效的提高电池转换效率0.1~0.5%，进而提高组件功率。按照电池效率提升0.3%、组件1.6元/W估算，550W的组件溢价10.8元，每GW多盈利约1900万元。
- **降本角度：**单晶炉+超导磁场可多利用5%的头尾料，头尾料重新投料，相当于节省5%的电费。目前非硅成本是0.1元/W，其中电费约0.08元/W，则可节省电费0.004元/W，每GW节省电费成本约400万元。

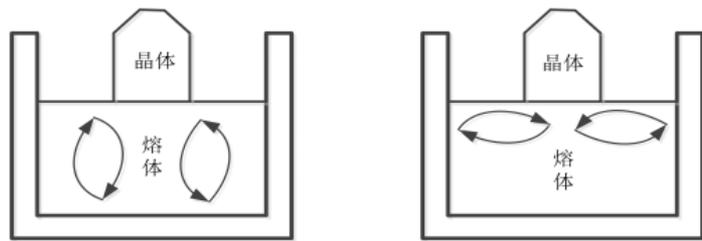
◆ 182尺寸72片组件，单晶炉+超导磁场方案的组件溢价和盈利增量预测

182板72片组件为例		单晶炉 (方案1)	单晶炉+超导磁场(方案2)					方案2-方案1 硅片增效/组件 溢价(效率提 升0.3%)	方案2-方案1 每GW盈利增 量(效率提 升0.3%)	
方案2效率提升①			0.1%	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%			
电池转换效率②		24.3%	24.4%	24.5%	24.6%	24.7%	24.8%			
硅片面积(mm ²)③		33015	33015	33015	33015	33015	33015			
光强损耗系数④		95%	95%	95%	95%	95%	95%			
组件功率(W/件) ⑤=②*③*④/1000		550	551	553	556	558	560			
组件价 格(元/ 件)⑦= ⑤*⑥	单W组 件区 间 (元/W) ⑥	1.4	768.2	771.4	774.6	777.7	780.9	784.1	9.5	1642
		1.5	823.1	826.5	829.9	833.3	836.7	840.1	10.2	1759
		1.6	878.0	881.6	885.2	888.8	892.5	896.1	10.8	1877
		1.7	932.9	936.7	940.6	944.4	948.2	952.1	11.5	1994
		1.8	987.7	991.8	995.9	999.9	1004.0	1008.1	12.2	2111
		1.9	1042.6	1046.9	1051.2	1055.5	1059.8	1064.1	12.9	2228
		2.0	1097.5	1102.0	1106.5	1111.0	1115.6	1120.1	13.5	2346

硅片同心圆无法避免只能改善，磁场是行之有效的办法

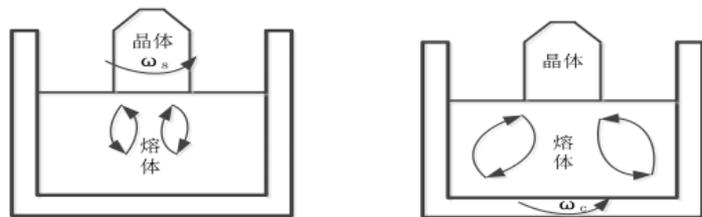
- **N型和P型单晶炉软硬件基本相同，没有本质区别。**N型和P型硅片主要是掺杂剂不同，P型用硼做掺杂剂，更容易长晶；N型硅片用磷硅合金做掺杂剂，伸展方面略难一些。
- **硅片同心圆问题无法避免只能改善。**石英坩埚内的硅熔体会在不同的驱动力作用下产生热对流（外热内冷、下热上冷），从而冲刷石英坩埚发生高温还原反应（ $\text{Si} + \text{O}_2 = 2\text{SiO}$ ），一部分SiO挥发，一部分留在硅溶液，氧含量过高且不均匀。因此同心圆问题无法避免只能改善。
- **磁场可以有效抑制热对流，降低硅片含氧量，改善同心圆。**磁场可以有效抑制硅溶液的流动，使硅溶液变得很粘稠，硅溶液流动变慢后，可显著降低硅单晶中氧的含量，且易于实现单晶氧含量的均匀分布，从而改善同心圆问题。

◆ 温度梯度和机械旋转产生的自然、强迫热对流



(a) 温度梯度引起的自然对流形态

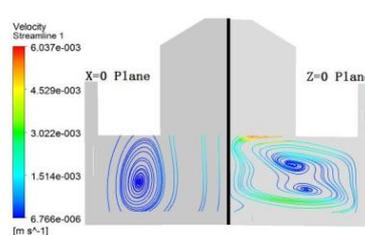
(b) 表面张力引起的表面张力对流形态



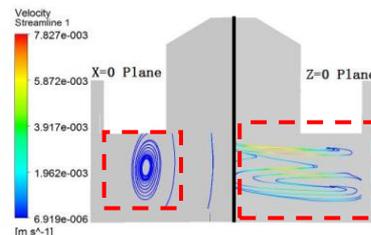
(c) 晶体旋转引起的强迫对流形态

(d) 坩埚旋转引起的强迫对流形态

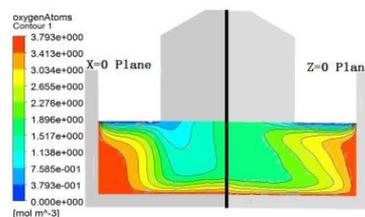
◆ 磁场可有效降低热对流（b，旋涡变小且变少），增加热均匀性（d，固液界面氧浓度降低且均匀）



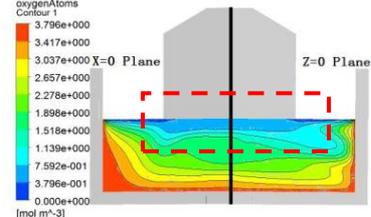
(a) 0.25T 熔体内速度分布



(b) 0.5T 熔体内速度分布



(c) 0.25T 熔体内氧浓度分布



(d) 0.5T 熔体内氧浓度分布

目录



1 N型硅片存同心圆痛点，低氧型单晶炉助力降本增效

2 增加磁场为有效解决方案之一，具备一定经济性

3 光伏磁场借鉴半导体领域经验，有效抑制对流以降低氧等杂质

4 低氧型单晶炉迎新一轮技术迭代，市场空间广阔

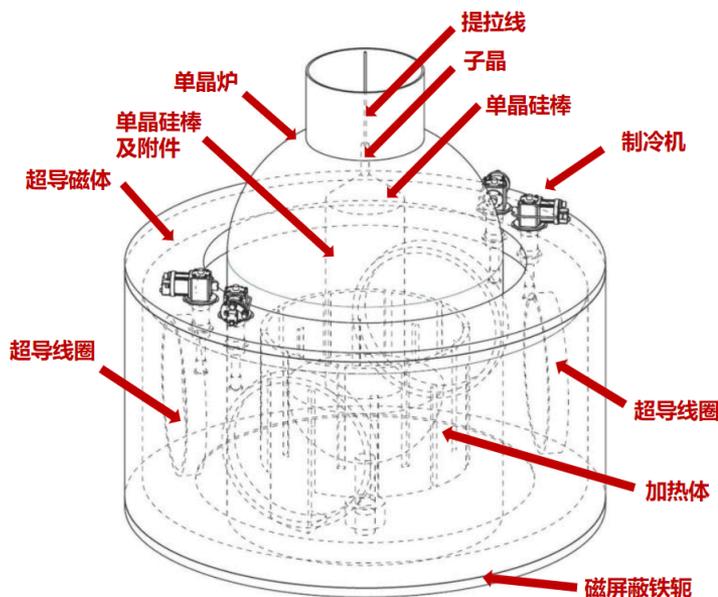
5 本土相关公司介绍

6 投资建议

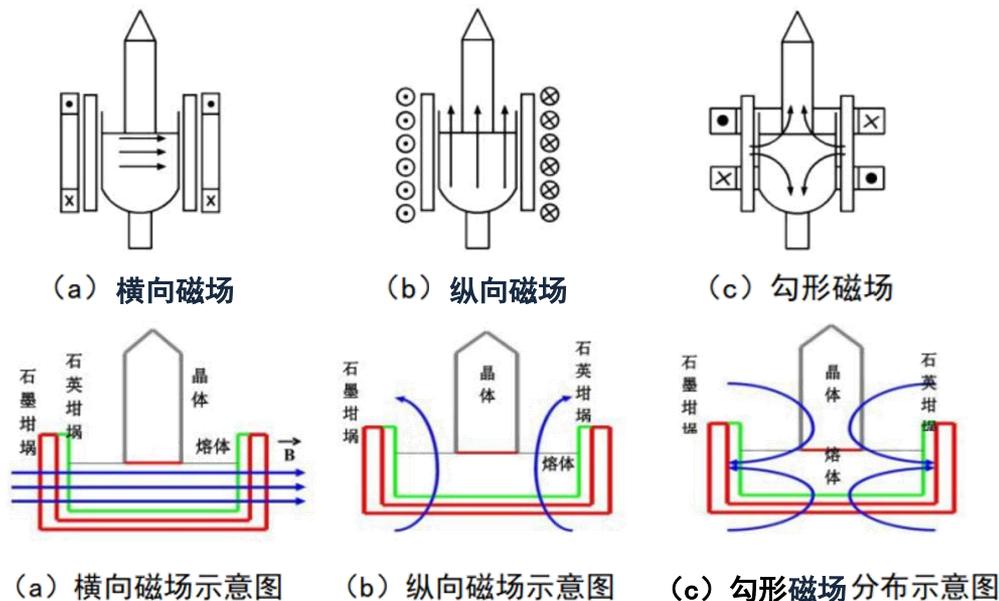
7 风险提示

- **超导材料**是指在低于其临界温度时，具有直流电阻为零和完全抗磁性（外磁场的磁力线无法穿透到内部）的材料，而**超导磁体**则是利用超导材料的特殊性质来产生强磁场的装置：一般由超导材料制成的**超导线圈**和**冷却系统**（液态氮）组成。超导线圈在超低温环境温度下达到超导状态，能够承载比常规线圈更高的电流，从而产生更高的磁场，具有**低功耗、高场强、重量轻、体积小**等优势特点。
- 基于所产生的强磁场，超导磁体能够应用于人体核磁共振成像仪（MRI）、**磁控直拉单晶硅（MCZ）**、超导磁体储能等领域。其中，**磁控直拉单晶技术即在直拉法（CZ法）单晶生长的基础上对坩埚内熔体施加超导磁场，从而抑制熔体的热对流**：熔体硅具有导电性，在磁场作用下，熔体流动必然引起感生电流从而产生洛伦兹力。在洛伦兹力的作用下，熔体内热对流得到抑制，熔体液面处的氧、点缺陷及其他杂质得到抑制。适当分布的磁场能改善单晶的均匀性，减少氧、硼、铝等杂质从石英坩埚进入熔体，从而提升单晶硅品质。
- **磁控直拉法中的超导磁体产生的磁场一般分为横向磁场、纵向磁场、勾形磁场**。其中纵向磁场由于抑制熔体热对流表现不好，已被横向磁场和勾形磁场所替代。而**横向和勾形两种磁场位型各有利弊，最优技术路线仍在摸索中**：慧翔电液专利中横向磁场和勾形磁场均采用过，中国科学院电工研究所专利中采用了横向磁场。

◆ 图：西部超导的磁控拉单晶设备的整体结构示意图



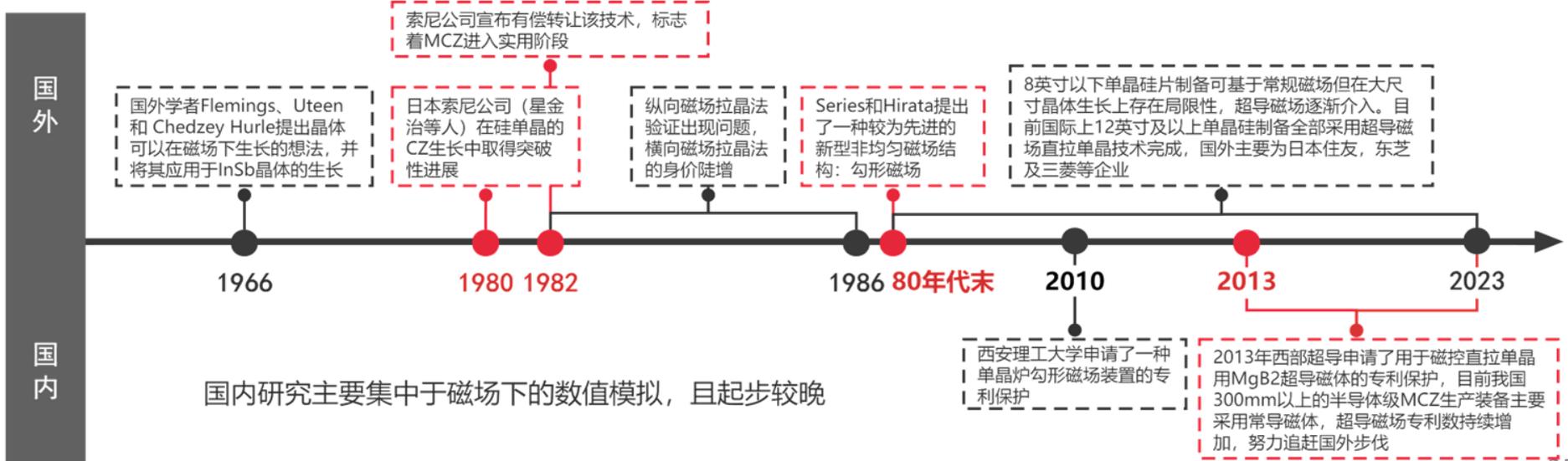
◆ 图：横向磁场、勾形磁场是目前使用的主流磁场类型



超导磁场优势明显，助力单晶硅品质进一步提升

- 磁场拉制晶体最早可以追溯到1966年，该方法最早由Utech和Fleming及Chedzey Hurle分别独立提出，并第一次把磁场引入水平生长InSb晶体，减小了热对流和界面温度波动，起到了抑制生长条纹的作用；控制硅中氧在70年代末至80年代初成为单晶生长技术中的重要课题，学者开始大规模研究磁场对晶体生长行为的影响。
- 日本索尼公司于1980年联合发表了“优质硅单晶的新制法”，开始将磁场应用到CZ硅单晶生长中，获得了适于VLSI和高反压大功率器件用的高质量硅单晶，引起了半导体行业的重视。1982年初，索尼公司宣布有偿转让该技术，标志着MCZ进入实用阶段。
- 传统的MCZ方法采用永磁体或铜线圈导流产生背景磁场，但永磁体稳定性较差，而铜线圈磁体具有磁场强度低、能耗大的缺点，无法满足晶棒尺寸持续增加的需求。随着超导磁体技术的发展，超导磁场提供了更有吸引力的解决方案：可使材料凝固液面更稳定，材料纯度更高；同常规磁体相比，超导磁体能够降低300mm单晶硅制造能耗20%、提高成品率30%。
- 由于技术门槛较高，磁控拉单晶用超导磁体技术被日、美、德等国完全垄断，**目前国际上12英寸及以上单晶硅制备全部采用超导磁场直拉单晶技术完成。**我国企业在10年前也开始了在该领域的研究，2013年初西部超导申请了用于磁控直拉单晶用MgB₂超导磁体的专利保护，相关研究经过多年的积累与发展正迎头赶上。

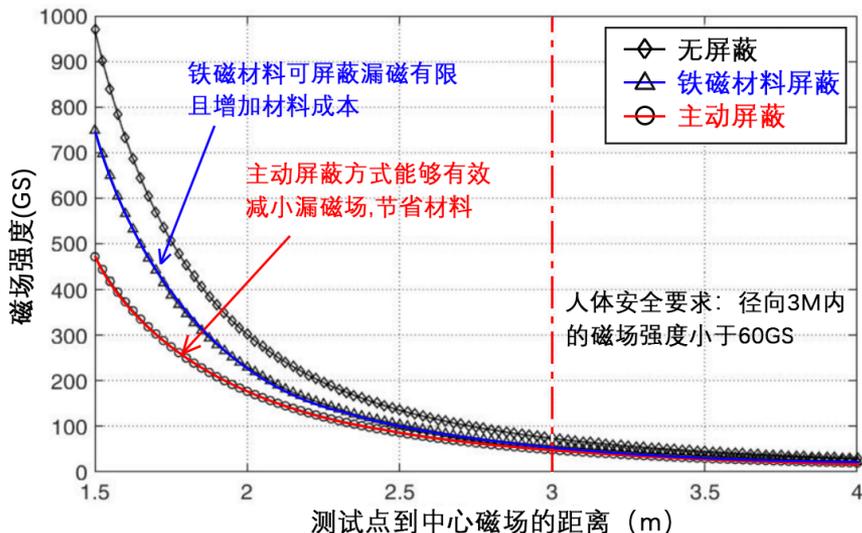
◆ 图：国内MCZ技术未来将由常规磁场转向超导磁场



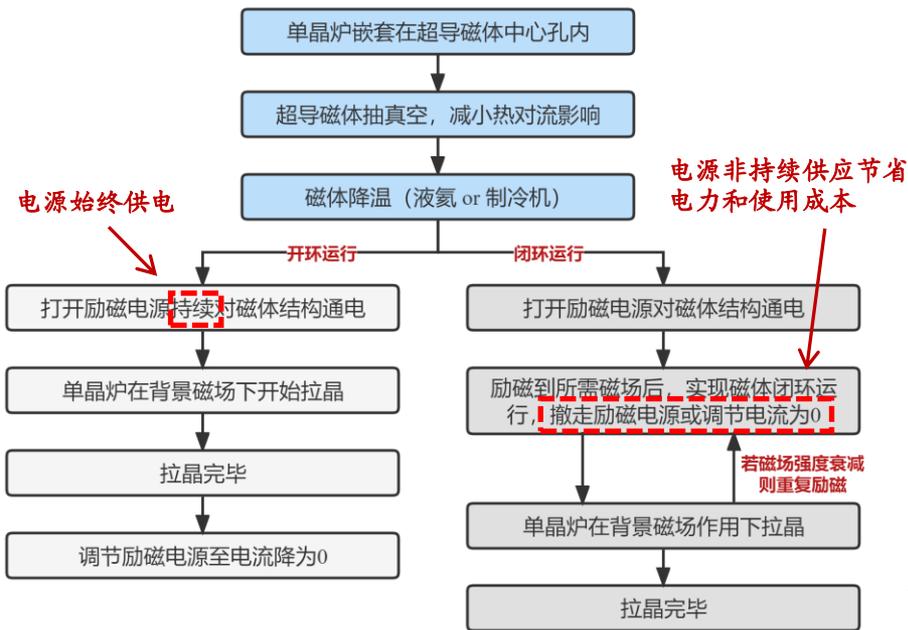
超导磁场目前仍存在降本+单晶生长质量控制的难点需突破

- 根据已公开专利，目前应用于半导体长晶领域的超导磁场主要克服难点包括降本、单晶生长质量控制等。
 - (1) 能源成本：超导磁体对温度要求高，传统使用液氮制冷，但液氮资源稀缺、价格昂贵。目前主要采用制冷机传导冷却以规避对液氮的依赖；
 - (2) 励磁电源：根据已有专利，目前国内超导磁体主要分为**闭环运行模式（超导磁体内部电流独立于电源运行）**和**开环运行模式（持续由电源供电）**，开环模式下电源需持续供电，通电成本无法忽视；同时，电源运行阶段产生的纹波将引起磁场波动和单晶炉振动，从而破坏晶体生长的稳态环境，影响晶体品质；
 - (3) 超导线材成本：磁体线圈结构复杂，磁场利用率不高，尤其是4线圈及以上结构存在线圈间磁场相互抵消的问题，因此相同磁场需求下超导线材的用量较多；
 - (4) 漏磁屏蔽成本：因为要考虑磁场与单晶生长设备的电磁兼容问题，单纯线圈产生的漏场一般较大，需要较厚的铁轭作为屏蔽材料；
 - (5) 失超保护：开环下意外断电或巨大电磁力导致的线圈变形等将造成磁体失超或损坏，磁体失超后温度上升较多，重新降温励磁时间久，将影响单晶生产质量；
 - (6) 外加磁场技术：目前螺线管勾形磁场和横向磁场的磁场利用率低，鞍形横向磁场的非对称线圈结构强度低、绕制工艺复杂，技术方面仍存在进步空间。

◆ 图：主动屏蔽方式（优化线圈设计）能够有效减小漏磁，降低铁轭等屏蔽材料成本



◆ 图：闭环运行较开环运行对通电成本和磁场稳定性影响小



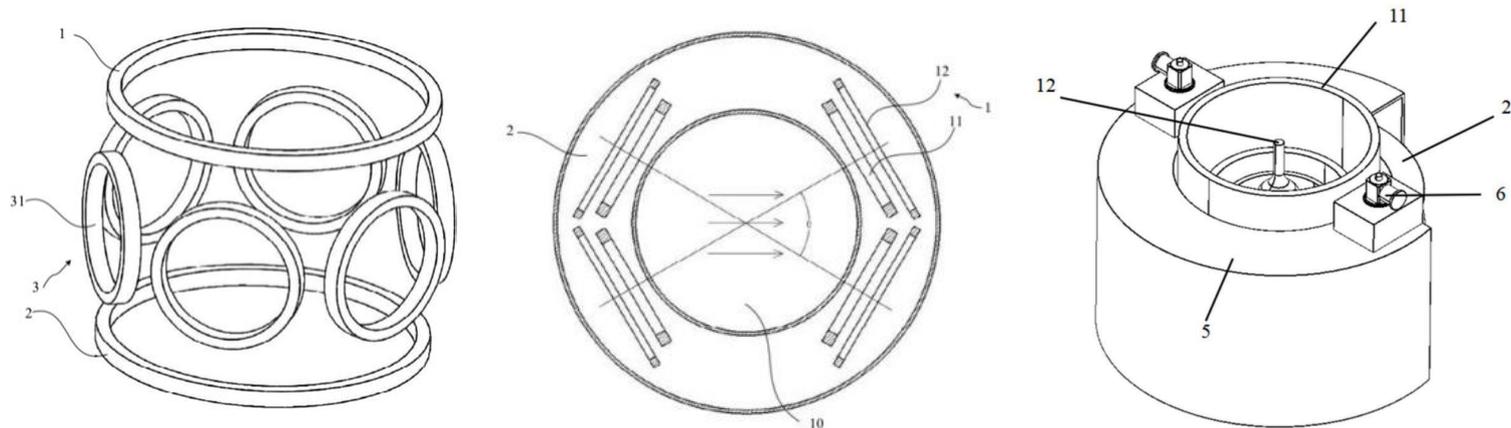
- 超导磁场在半导体行业的应用已相对成熟，自2013年起，西部超导、中国科学院电工研究所、慧翔电液等单位均陆续推出了外加超导磁场的单晶硅生长方案，但在光伏行业并未同步出现技术迁移；**晶盛机电于2017年已成功开发12英寸硅片用半导体级超导磁场单晶硅生长炉，并开始研发第五代光伏单晶炉**，至今也经历了近6年时间。我们认为技术迁移节奏缓慢主要系**N/P型硅片质量要求不一致、成本较高**等原因：
- 随着N型电池取代P型电池成为主流，对硅片质量的要求愈发严格
 - **PERC时代对硅片质量要求不高**。早期光伏基于P型硅片实现大规模量产时对硅片品质提高等优势不敏感：P型硅片要求单晶纯度<200ppm，氧碳含量等缺陷对PERC影响不大。
 - **TOPCon对硅片氧含量更敏感，低氧型单晶炉需求大**。N型电池相比P型电池对硅片的质量要求更高，而TOPCon又因采用高温工艺，较HJT对硅片氧含量更敏感，对现有工艺水平提出更高要求。目前晶盛机电、联创光电（高温超导）、连城数控、隆基电磁等均积极展开超导磁场布局，推动单晶炉核心零部件国产化。
- **超导磁场一次性采购成本目前仍处于较高水平，2024年有望降至100万/台**
 - **目前采购成本仍较高**：目前主要国外供应商为日本住友和三菱，国内西部超导做的较好；
 - **使用成本相对较低**：超导磁场凭借低功耗、高场强优势较常规磁场耗电量更少，同时超导线材、降温励磁等成本可通过闭环模式、提高磁场利用率等加以控制，挖掘降本新潜力。

◆ 图：2023年光伏级超导磁场价值量预计在150万元+/套

产品		价值量
半导体级	12英寸超导磁场（进口）	500-600万/套
	12英寸超导磁场（国产）	400-500万/套
	8英寸超导磁场（进口）	400万/套
	8英寸超导磁场（国产）	200-300万/套
光伏级	超导磁场	23年150万+/套 24年预计100万+/套

- **坚实客户基础助推研发正反馈循环：**晶盛机电作为光伏单晶炉龙头企业，客户量大且覆盖面广，因此有充足的客户资源供公司进行技术验证，形成客户端-设备端正反馈循环，助力研发过程推进和关键技术优化。
- **全资子公司慧翔电液经历多年技术积累，先发优势铸就行业领先地位：**晶盛机电初期超导磁场主要为外采，其2017年开发的半导体级超导磁场单晶硅生长炉的超导磁场由日本住友提供，但由于价格较为昂贵，晶盛在此之后逐渐由外采转向自研，晶盛全资子公司慧翔电液主要支持超导磁场的国产化。
 - **布局：**根据专利申请时间，慧翔电液对超导磁场的布局可以追溯到2018年：先后研发了能够主动屏蔽漏磁的磁体结构，以及能够增加磁场强度的优化线圈结构；到2019年，慧翔电液的开发范围由局部扩展到整体，申请了磁控直拉单晶设备的专利保护，不断完善晶盛机电在半导体级超导磁场单晶炉的布局。
- **晶盛机电盈利模式演化挖掘公司业绩发展新潜力：**我们预计晶盛机电通过自研将最终利好。
 - **早期利好超导磁场供应商：**供应商例如西部超导自2013年开始布局超导磁场，价格质量均有保证，客户倾向购买其产品；
 - **中期过渡阶段：**磁场价格逐渐下降，部分客户选择向西部购买磁场后自行集成，部分客户直接向晶盛购买集成后的炉子+超导磁体；
 - **后期晶盛机电利好：**凭借慧翔电液的成熟技术储备+较低设备价格，客户更愿意向晶盛购买集成后的设备。

◆ 图：慧翔电液的半导体级超导磁场专利数量不断增加，夯实技术基础



2018年专利：线圈结构（左）；磁体结构（右）

2019年专利：超导磁体和磁控直拉单晶设备

目录



1 N型硅片存同心圆痛点，低氧型单晶炉助力降本增效

2 增加磁场为有效解决方案之一，具备一定经济性

3 光伏磁场借鉴半导体领域经验，有效抑制对流以降低氧等杂质

4 低氧型单晶炉迎新一轮技术迭代，市场空间广阔

5 本土相关公司介绍

6 投资建议

7 风险提示

我们预计到2025年低氧单晶炉市场空间超200亿元

● 模型基本假设:

- (1) 2023-2025年新增产能中低氧单晶炉渗透率分别为5%/15%/30%;
- (2) 超导磁场的增加能够提升单晶炉单产, 2023-2025年单产分别为14/15/15MW;
- (3) 2023-2025年超导磁场价格分别为150/120/100万元;
- (4) 2023-2025年存量产能更新为低氧单晶炉的比例分别为4%/10%/15%。

		2018A	2019A	2020A	2021A	2022A	2023E	2024E	2025E	
新增装机量 (GW) (1)		104	110	130	175	230	340	460	600	
硅片出货 (GW) (2)=(1)*1.3		135	143	169	228	299	442	598	780	
产能利用率 (3)		70%	70%	70%	60%	60%	65%	70%	75%	
存量产能 (GW) (4)=(2)/(3)		193	204	241	379	498	680	854	1040	
行业新增产能 (GW, 对应设备投资) (5)=(4)-上一年			11	37	138	119	182	174	186	
新增扩产	新一代低氧单晶炉	新增产能中, 新一代低氧单晶炉渗透率(6)					5%	15%	30%	
		新一代低氧单晶炉扩产量 (GW) (7)=(5)*(6)					9	26	56	
		单晶炉单产 (MW) (8)					14	15	15	
		1GW需要台数(9)=1000/(8)					71	67	67	
		炉体单价 (含税, 万元) (10)					140	140	135	
		超导磁场单价 (含税, 万元) (11)					150	120	100	
		低氧单晶炉单价 (含税, 万元) (12)=(10)+(11)					290	260	235	
		新一代低氧单晶炉单GW价值量 (亿元/GW) (13)=(9)*(12)/10000					2.1	1.7	1.6	
	新一代低氧单晶炉市场空间 (亿元) (14)=(7)*(13)					19	45	87		
	传统单晶炉	新增产能中, 传统单晶炉扩产量 (GW) (15)=(5)-(7)		11	37	138	119	173	148	130
传统单晶炉单GW价值量 (亿元/GW) (16)			1.6	1.4	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	
传统单晶炉市场空间 (亿元) (17)=(15)*(16)			18	52	165	143	190	163	143	
新增产能市场空间合计 (亿元) (18)=(14)+(17)			18	52	165	143	209	208	230	
存量更新	2020-2022年, 存量小尺寸单晶炉更新为大尺寸	2019年的存量小尺寸产能在各年更新比例(19)			10%	20%	30%			
		存量更新产能 (GW) (20)=2019年存量产能*(19)			20	41	61			
		大尺寸单晶炉单GW价值量 (亿元/GW) (21)			1.4	1.2	1.2			
	存量更新为大尺寸单晶炉的市场空间 (亿元) (22)=(20)*(21)			29	49	74				
	2023-2025年, 存量产能更新为低氧单晶炉	2022年的传统单晶炉产能在各年更新比例(23)						4%	10%	15%
		2023-2025年存量更新低氧单晶炉产能 (GW) (24)=2022年存量产能*(23)						20	50	75
低氧单晶炉单GW价值量 (亿元/GW) (25)							2.1	1.7	1.6	
存量更新为低氧单晶炉市场空间 (亿元) (26)=(24)*(25)						41	86	117		
存量市场中, 低氧单晶炉产能 (GW) (27)=(7)+(24)							9	76	130	
存量市场低氧单晶炉渗透率(28)=(27)/(4)							1%	9%	13%	
低氧单晶炉市场空间 (亿元) (29)=(14)+(26)							60	132	204	
同比增速%								119%	55%	
单晶炉市场空间合计 (亿元) (30)=(18)+(22)/(26)			18	81	214	217	250	295	347	
同比增速%								18%	18%	

目录



1 N型硅片存同心圆痛点，低氧型单晶炉助力降本增效

2 增加磁场为有效解决方案之一，具备一定经济性

3 光伏磁场借鉴半导体领域经验，有效抑制对流以降低氧等杂质

4 低氧型单晶炉迎新一轮技术迭代，市场空间广阔

5 本土相关公司介绍

6 投资建议

7 风险提示

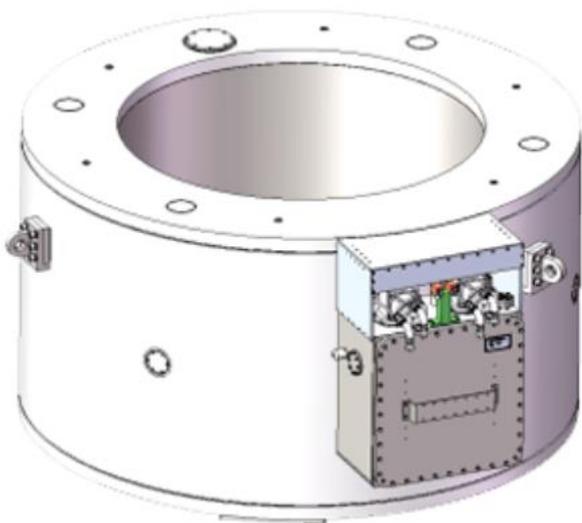
- 2023年5月22日晶盛机电发布第五代单晶炉，通过引入超导磁场解决TOPCon的同心圆问题。晶盛机电为单晶炉龙头，市占率为除隆基外的90%，持续推进单晶炉优化升级，目前晶盛已推出第五代单晶炉，亮点之一便为附加超导磁场来解决TOPCon硅片的同心圆问题，其子公司慧翔电液具备磁场供应能力，是国内超导磁场市占率最高的玩家，截至目前已经出货超200个。我们认为晶盛机电作为传统单晶炉龙头，在新型低氧单晶炉前瞻性布局，具备领先优势，随着N型硅片持续扩产&低氧单晶炉渗透率提升，晶盛机电订单有望维持高增。
- 风险提示：下游扩产不及预期，研发进展不及预期。

◆ 图：晶盛机电的超导磁场



- 西部超导主业为司、高端钛合金、超导产品（超导线材、超导磁场）、高性能高温合金，公司持续开发超导材料和磁体技术在半导体、光伏、医疗及电力领域的应用，并与相关单位形成了实质性合作。目前公司自主研发了国内第一台专门用于磁控直拉单晶硅的高磁场强度超导磁体，传导冷却类型MCZ，已实现批量出口；满足面向工程的电磁场设计需要，开发了大型超导磁体绕制、固化及低温杜瓦设计和制造、制冷机直接冷却快速降温等全套超导磁体设计制造核心技术；公司还研发出特种磁体制备新技术并实现产业化，批量应用于国内外高能加速器制造领域，实现中国首次向美国能源部稀有同位素加速器项目批量出口超导磁体；公司还具备鞍型和制冷机直冷低温超导磁体、大型高温超导磁体关键制备技术，为兰州重离子加速器、上海光源、广东电网超导限流器提供了核心的超导磁体，保障了国家重点工程建设。
- 风险提示：下游扩产不及预期，市场开拓不及预期。

◆ 图：西部超导的8英寸MCZ直拉单晶硅磁体



名称：8英寸MCZ直拉单晶硅磁体

型号：XSMT-0.3T1420MCZ

制冷机数量：2台

磁场方向：水平

中心磁场强度：0.3T

励退磁时间：< 30分钟

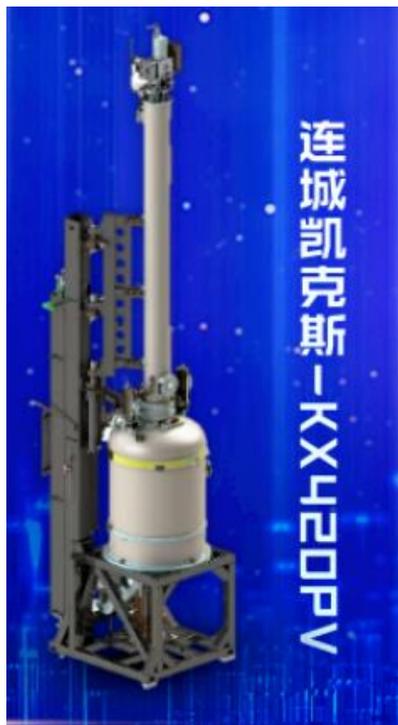
磁体漏场：< 50Gauss（X方向距中心3米）

< 50Gauss（Y方向距中心2米）

连城数控：推出新品单晶炉，MCCz+外加磁场降氧

- 推出KX420PV新品单晶炉，采用MCCz技术，通过外加磁场的引入可有效抑制硅熔体热对流，降低氧的形成和传输，同时结合全新设计的氩气吹扫方案、大尺寸排气管道及低流阻设计，匹配大抽速真空干泵和可升降式加热器，最大程度带走氧杂质。目前连城数控已深度掌握**磁场模块（永磁场、勾型磁场及水平磁场、超导磁场）**用于光伏单晶生长的一系列方案。
- 风险提示：下游扩产不及预期，研发进展不及预期。

◆ 图：连城数控的KX420PV单晶炉



◆ 图：连城数控的KX420PV单晶炉添加了磁场



- 松瓷研发团队掌握了同心圆缺陷出现的机率与单晶氧含量存在的相关关系，结合低氧拉晶技术，优化单晶炉软硬件设计，显著降低同心圆缺陷比例：（1）通过热场工艺模拟，结合流体流通过路线，设计最佳匹配炉内管路开口位置及流体管路走向，最大化程度带走氧杂质；（2）软控算法增加控氧功能模块，在不影响拉晶的前提下，不定时开启除氧功能，后续延续此思路增加其他除杂模块；（3）调整工艺包以提升工艺与硬件之间的匹配度。在同等条件下同心圆可降低50%，相较于主流硅片氧含量水平，同等条件下低氧型单晶炉可实现氧含量降低24%以上，试验线验证数据电池片效率提升0.1%。松瓷低氧型单晶炉设备在保证效率提升的同时，可帮助客户提高效益，有利于客户快速收回成本。目前有多家客户在松瓷实验室进行验证。
- 风险提示：下游扩产不及预期，研发进展不及预期。

图：松瓷机电单晶炉



目录



1 N型硅片存同心圆痛点，低氧型单晶炉助力降本增效

2 增加磁场为有效解决方案之一，具备一定经济性

3 光伏超导磁场借鉴半导体领域经验，有效抑制对流以降低氧等杂质

4 低氧型单晶炉迎新一轮技术迭代，市场空间广阔

5 本土相关公司介绍

6 投资建议

7 风险提示

- 重点推荐晶盛机电、奥特维，建议关注西部超导、连城数控。

表：相关公司估值表（截至2023.5.25收盘价）

股票代码	公司	市值 (亿元)	股价 (元)	归母净利润（亿元）				PE			
				2022A	2023E	2024E	2025E	2022A	2023E	2024E	2025E
300316.SZ	晶盛机电	955.36	73.00	29.24	47.03	58.05	70.09	33	20	16	14
688122.SH	西部超导	389.24	83.88	10.80	13.85	17.67	22.00	36	28	22	18
688516.SH	奥特维	289.42	186.93	7.13	11.25	15.78	21.56	41	26	18	13
835368.BJ	连城数控	127.96	54.80	4.52	7.87	10.24	12.44	28	16	13	10

注：晶盛机电、奥特维均为东吴预测，连城数控、西部超导为 Wind 一致预期

目录



1 N型硅片存同心圆痛点，低氧型单晶炉助力降本增效

2 增加磁场为有效解决方案之一，具备一定经济性

3 光伏磁场借鉴半导体领域经验，有效抑制对流以降低氧等杂质

4 低氧型单晶炉迎新一轮技术迭代，市场空间广阔

5 本土相关公司介绍

6 投资建议

7 风险提示

- **TOPCon扩产不及预期：**低氧单晶炉技术更适用于TOPCon硅片同心圆问题的解决，若TOPCon扩产不及预期，则会影响低氧单晶炉的市场空间。
- **低氧单晶炉产业化进程不及预期：**增加超导磁场会带来成本的上升，若低氧单晶炉无法实现降本、满足下游客户需求，存在渗透率不及预期的风险。

东吴证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

本研究报告仅供东吴证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。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，本公司不对任何人因使用本报告中的内容所导致的损失负任何责任。在法律许可的情况下，东吴证券及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供投资银行服务或其他服务。

市场有风险，投资需谨慎。本报告是基于本公司分析师认为可靠且已公开的信息，本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性，也不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，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。

本报告的版权归本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。如引用、刊发、转载，需征得东吴证券研究所同意，并注明出处为东吴证券研究所，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。

东吴证券投资评级标准：

公司投资评级：

买入：预期未来6个月个股涨跌幅相对大盘在15%以上；

增持：预期未来6个月个股涨跌幅相对大盘介于5%与15%之间；

中性：预期未来6个月个股涨跌幅相对大盘介于-5%与5%之间；

减持：预期未来6个月个股涨跌幅相对大盘介于-15%与-5%之间；

卖出：预期未来6个月个股涨跌幅相对大盘在-15%以下。

行业投资评级：

增持：预期未来6个月内，行业指数相对强于大盘5%以上；

中性：预期未来6个月内，行业指数相对大盘-5%与5%；

减持：预期未来6个月内，行业指数相对弱于大盘5%以上。

东吴证券研究所
苏州工业园区星阳街5号
邮政编码：215021
传真：（0512）62938527
公司网址：
<http://www.dwzq.com.cn>

东吴证券 财富家园