

2022年04月11日

电子元器件

光伏发电驱动功率半导体需求, SiC 器件渗透率有望持续提升

■国内厂商作为全球光伏逆变器行业领军者,为碳化硅器件国产化提供便利条件:近年来光伏逆变器市场格局发生巨大变化,国内逆变器厂商从追随者转变为领军者。根据伍德麦肯兹数据,2020年在全球逆变器出货排名前十中,有六家来自中国的供应商,分别是华为、阳光电源、古瑞瓦特、锦浪科技、上能电气和固德威。华为逆变器出货量占全球的23%,位列第一;阳光电源的出货量占全球的19%,位列第二。据Wood Mackenzie数据,华为和阳光电源均已累计出货超过100GW,逐渐走向领军地位。碳化硅功率器件是光伏逆变器中的关键部件,价值量占比较高,国内光伏逆变器市场的发展将带来碳化硅器件需求增长。

■采用碳化硅方案可有效提高光伏逆变器转换效率、提升功率密度、减少重量和体积:碳化硅光电性能优越,SiC的带隙宽度大约是硅的3倍,其导热率为硅的3.3倍,宽禁带使得其可在高温环境下稳定运行,较高的导热系数意味着碳化硅的器件可以缩小冷却结构,减小系统重量和体积,如碳化硅二极管在开通过程中可基本实现零正向恢复电压,在关断过程中没有过剩载流子复合过程,可以减小逆变器恢复损耗、提高开关效率。根据产业调研,采用碳化硅方案的光伏逆变器,整体系统效率可提升1%-2%左右,能量损耗降低50%以上,体积和重量减少40%~60%左右,大幅降低系统度电成本及安装维护成本。

■现阶段主要采用硅基IGBT+碳化硅SBD方案,碳化硅成本下降空间大,未来5年有望在光伏领域渗透率加速提升:碳化硅MOS方案能够明显提升发电效率,但由于目前碳化硅模块价格仍为硅基IGBT的3-4倍,成本高昂,现阶段业内多采用硅基IGBT+碳化硅SBD混合方案,以SiC SBD替换FRD来降低恢复损耗、提高电源效率。根据各光伏逆变器龙头公司官网,国际大厂纷纷布局碳化硅方案,如英飞凌、安森美、富士电机等国际大厂已经实现了规模化应用,国内阳光电源也在2014年推出第一款采用SiC MOSFET器件的光伏逆变器,并于2017年规模化应用。随着碳化硅生产技术的成熟,碳化硅成本将进一步下降,采用碳化硅方案提升转换效率所创造的价值将抵消碳化硅成本,提高碳化硅在光伏领域的渗透率。据产业调研,随着碳化硅成本的下降,2025年SiC在光伏逆变器领域的渗透率有望达30%-50%,我们预计其在光伏及储能领域有近七十亿级别市场,前景广阔。

行业深度分析

证券研究报告

投资评级 **领先大市-A**
维持评级

首选股票 目标价 评级

行业表现



资料来源: Wind 资讯

%	1M	3M	12M
相对收益	-10.01	-10.97	4.10
绝对收益	-11.76	-22.79	-11.88

马良

分析师

SAC 执业证书编号: S1450518060001
maliang2@essence.com.cn
021-35082935

相关报告

- 半导体交期不断拉长,台晶圆厂营收再创新高 2022-04-10
- SiC 景气度持续向上,半导体产业链安全应逐步重视 2022-04-05
- 电子元器件行业快报 2022-03-27
- 汽车芯片标准体系有望建立,国产汽车芯片迎来加速良机 2022-03-20
- 俄乌冲突致半导体氟气短缺,看好国内半导体产业发展 2022-03-13

■**相关标的：**建议关注斯达半导、时代电气、新洁能、扬杰科技、宏微科技、三安光电、天岳先进、露笑科技、凤凰光学。

■**风险提示：**SiC 技术难度大，产品研发不及预期风险；相关扩产项目不及预期风险；SiC 成本高居不下，渗透率不及预期风险。

内容目录

1. SiC：第三代半导体材料，光伏逆变器应用需求前景广阔	5
1.1. 光伏逆变器：光伏发电的核心器件.....	5
1.2. 储能逆变器：储能行业中的关键器件.....	8
1.3. 目前光伏逆变器主要采用硅基 IGBT 方案.....	9
1.4. 光伏逆变器行业国内企业市场份额持续提升.....	10
2. 碳化硅物理特性优良，满足光伏逆变器对高效率、高功率密度、高可靠性的要求	11
2.1. 光伏逆变器向高效率、高功率密度、高可靠性等方向发展.....	11
2.2. 碳化硅可有效提升光伏逆变器性能.....	11
3. “光伏逆变器+储能逆变器”双轮驱动，碳化硅市场空间广阔	12
3.1. 现阶段碳化硅 MOS 成本偏高，硅基 IGBT+碳化硅 SBD 混合方案渐成主流.....	12
3.1.1. 相比芯片结构设计，碳化硅 MOS 难点集中于制造工艺.....	12
3.1.2. 碳化硅 MOS 方案效率提升明显，但成本较高，回本时间长.....	13
3.1.3. 硅基 IGBT+碳化硅 SBD 混合方案是现阶段性价比较高的方案.....	14
3.2. 光伏发电市场维持高景气，为碳化硅功率器件带来持续发展动力.....	15
3.3. 储能逆变器的进一步放量为 SiC 带来增量市场空间.....	17
4. 碳化硅应用趋势明确，国内企业积极布局	18
4.1. 国家出台多项 SiC 产业发展鼓励政策.....	18
4.2. 国内企业积极投产，全力追赶国际龙头.....	19
4.3. 国际光伏逆变器大厂引领碳化硅应用，阳光电源等国内公司积极跟进.....	20
5. 相关标的	21
5.1. 斯达半导.....	21
5.2. 时代电气.....	21
5.3. 新洁能.....	22
5.4. 扬杰科技.....	22
5.5. 宏微科技.....	23
5.6. 三安光电.....	23
5.7. 天岳先进.....	24
5.8. 露笑科技.....	24
5.9. 凤凰光学.....	25
6. 风险提示	26

图表目录

图 1：光伏逆变器基本结构.....	5
图 2：集中式逆变器方案示意图.....	5
图 3：组串式逆变器方案示意图.....	6
图 4：微型逆变器方案示意图.....	6
图 5：2015-2019 全球逆变器销量分类占比趋势.....	7
图 6：分布式光伏储能逆变器应用示意图.....	9
图 7：感性负载中 IGBT 与 FRD 并联.....	10
图 8：2020 年全球光伏逆变器出货量份额情况.....	10
图 9：SiC MOSFET 与 IGBT 开关特性比较图.....	12
图 10：逆变器内部电容器寿命和环境温度的关系.....	12
图 11：光伏逆变器成本占比情况.....	14

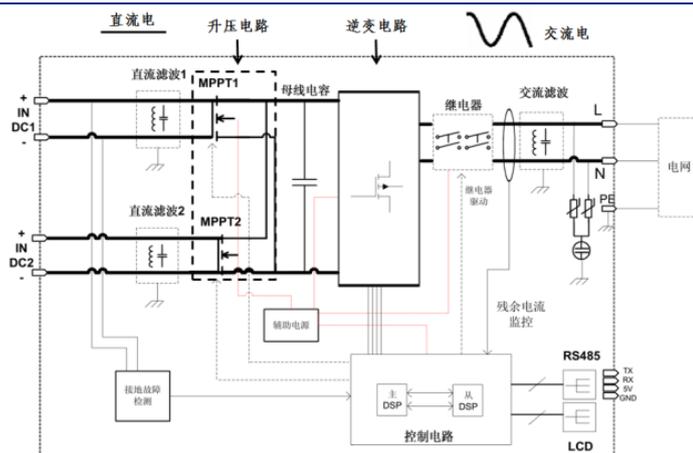
图 12: 英飞凌 650V 光伏逆变器混合方案.....	15
图 13: 2015-2021 年国内光伏新增装机容量及增长率.....	16
图 14: 2015-2021 年全国光伏发电累计装机容量及增速.....	16
图 15: 中国光伏新增装机预测 (GW)	16
图 16: 全球光伏新增装机预测 (GW)	16
图 17: 全球光伏储能逆变器出货量 (GW)	18
图 18: 全球储能累计装机容量预测 (GW)	18
图 19: 应用 SiC 器件的组串逆变器应用型谱.....	20
图 20: 斯达半导营业收入情况.....	21
图 21: 斯达半导归母净利润情况.....	21
图 22: 时代电气营业收入情况.....	22
图 23: 时代电气归母净利润情况.....	22
图 24: 新洁能营收情况.....	22
图 25: 新洁能归母净利润情况.....	22
图 26: 扬杰科技营收情况.....	23
图 27: 扬杰科技归母净利润情况.....	23
图 28: 宏微科技收入情况.....	23
图 29: 宏微科技归母净利润情况.....	23
图 30: 三安光电营业收入情况.....	24
图 31: 三安光电归母净利润情况.....	24
图 32: 天岳先进营业收入情况.....	24
图 33: 天岳先进归母净利润情况.....	24
图 34: 露笑科技营收情况.....	25
图 35: 露笑科技归母净利润情况.....	25
图 36: 凤凰光学营收情况.....	25
图 37: 凤凰光学归母净利润情况.....	25
表 1: 集中式逆变器、组串式逆变器、微型逆变器对比.....	7
表 2: 光伏逆变器其他分类方式.....	8
表 3: 现阶段主流逆变器产品相关参数.....	11
表 4: 2021 年 8 月主流光伏逆变器价格区间.....	13
表 5: 光伏逆变器 SiC 市场空间估算.....	16
表 6: 储能政策梳理.....	17
表 7: 部分地区储能“十四五”规划.....	18
表 8: 行业主要法律法规政策.....	19
表 9: 国内厂商产品及产能情况.....	19
表 10: 光伏逆变器中 SiC 应用方案梳理.....	20

1. SiC：第三代半导体材料，光伏逆变器应用需求前景广阔

1.1. 光伏逆变器：光伏发电的核心器件

光伏逆变器的主要功能为将太阳能电池组件产生的直流电转化为交流电，并入电网或供负载使用。光伏逆变器主要由输入滤波电路、DC/DC MPPT 电路、DC/AC 逆变电路、输出滤波电路、核心控制单元电路组成。光伏逆变器是实现光伏并网的关键技术，太阳能电池组件所发的电需要通过逆变器的处理才能对外输出，此外光伏逆变器还能够实现与电网的交互，使光伏发电系统能获得最大输出效率，并能够判断及处理光伏系统故障。

图 1：光伏逆变器基本结构



资料来源：锦浪科技招股说明书，安信证券研究中心

光伏逆变器根据技术路径不同可分为集中式逆变器、组串式逆变器和微型逆变器。集中式逆变器是将很多并行的光伏组串连到同一台集中逆变器的直流输入端，完成最大功率峰值跟踪以后，再经过逆变后并入电网。集中式逆变器单体容量通常在 500kW 以上，单体功率高、成本低、电能质量高，但最大功率跟踪电压范围较窄、组件配置灵活性较低、发电时间短，需要与光伏组串实现良好的匹配性，一旦出现多云、部分遮阴或单个组串故障，将影响整个光伏系统的效率和电能。集中式逆变器主要适用于光照均匀的集中性地面大型光伏电站等。

图 2：集中式逆变器方案示意图



资料来源：昱能科技招股说明书，安信证券研究中心

组串式逆变器是对几组（一般为 1-4 组）光伏组串进行最大功率峰值跟踪后再逆变并入交流电网，一台组串式逆变器可以有多个最大功率峰值跟踪模块。组串式逆变器的单体容量一般在 100kW 以下，体积小、重量轻，其优点是不同的最大功率峰值跟踪模块的组串间可以有

电压和电流的不匹配，当有一块组件发生故障或者被阴影遮挡，只会影响其对应的最大功率峰值跟踪模块少数几个组串发电量，对系统整体没有影响。组串式逆变器主要应用于分布式光伏发电系统。

图 3：组串式逆变器方案示意图



资料来源：昱能科技招股说明书，安信证券研究中心

微型逆变器是对每块光伏组件进行单独的最大功率峰值跟踪，再经过逆变以后并入交流电网。微型逆变器的单体容量一般在 1kW 以下，其优点是可以对每块组件进行独立的最大功率跟踪控制，相比集中式逆变器和组串式逆变器，在部分遮阴或者组件性能差异的情况下能获得更高的整体效率。

图 4：微型逆变器方案示意图



资料来源：昱能科技招股说明书，安信证券研究中心

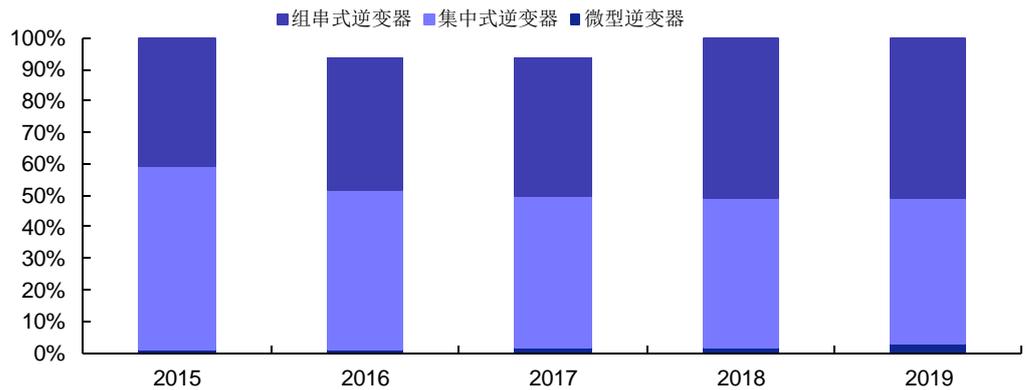
表 1: 集中式逆变器、组串式逆变器、微型逆变器对比

项目	集中式逆变器	组串式逆变器	微型逆变器
主要应用场景	集中式光伏发电系统	分布式光伏发电系统、集中式光伏发电系统	分布式光伏发电系统
单机接入组件	大量并行的光伏组串	单个或数个光伏组串	单块或数块光伏组件
系统发电效率	低	中	高
直流电压等级	高压	高压	低压
安装占地	需要独立机房	不需要	不需要
成本	较低	中	较高
室外安装	不允许	允许	允许

资料来源: 昱能科技招股说明书, 安信证券研究中心整理

目前市场中主要以集中式逆变器和组串式逆变器为主, 集中式逆变器原占比最高, 近年来随着技术的不断进步, 组串式逆变器成本迅速下降, 逐渐接近于集中式逆变器成本, 市场份额得到进一步提升。根据 GTM Research 调研报告, 2015-2019 年全球逆变器市场中组串式逆变器占比呈现不断上升的趋势。

图 5: 2015-2019 全球逆变器销量分类占比趋势



资料来源: GTM Research, 锦浪科技招股说明书, 安信证券研究中心

光伏逆变器根据输出交流电压的相数, 可分为单相逆变器和三相逆变器; 根据应用在并网发电系统或离网发电系统中, 可分为并网逆变器和离网逆变器; 根据是否含有隔离变压器, 可分为隔离型逆变器和非隔离型逆变器, 其中隔离型逆变器可以根据工作频率分为工频和高频两种, 非隔离型逆变器根据构成不同可以分为单级和多级两种。

表 2：光伏逆变器其他分类方式

分类依据	分类	描述	
输出电压的相数	单相逆变器	单相指一根相线（俗称火线）和一根零线构成的电能输送形式，必要时会有第三根线（地线）用来防止触电。在日常生活中多使用单相电源。	
	三相逆变器	三相是由三个频率相同、电势振幅相等、相位差互差 120° 角的交流电势组成的电源，三相交流电的用途很多，工业中大部分的交流用电设备（例如电动机）都采用三相交流电。	
应用在并网发电系统或离网发电系统中	并网逆变器	光伏并网逆变器需要检测并电网网情况后再进行并网，断开电网不能工作。因为需要向电网送电，必须在相位、频率、电压与电网一致时并网输出。	
	离网逆变器	可独立于电网工作，可带阻容性及电机感性等负载，应变快、抗干扰、适应性及实用性强，是停电应急电源和户外供电首选电源产品。	
是否含有隔离变压器	工频隔离型光伏逆变器	通过逆变器转换而成的交流电，需要再通过工频变压器，使其幅值与电网电压幅值相同后才能接入电网。	
	隔离型逆变器	高频隔离型逆变器	相比工频隔离型逆变器多了 DC-DC 环节，可以提高变压器的工作频率，不受电网频率的限制，并且能够减小变压器的体积和质量、增加逆变器的功率密度。
	非隔离型光伏逆变器	单级式非隔离型逆变器	将太阳能板输出直接逆变为电网电压，对逆变器输出电压的控制要求较高，达到直接并网的电压等级。
		多级式非隔离型逆变器	对于两级式光伏逆变系统，逆变电路之前有一级 DC-DC 电路，增加了对光伏阵列输出电压范围的适应性，经过解耦电容后再进行逆变，接入电网。解耦电容可以解决输入输出功率不匹配的问题。

资料来源：百度百科，Ofweek，搜狐网，安信证券研究中心

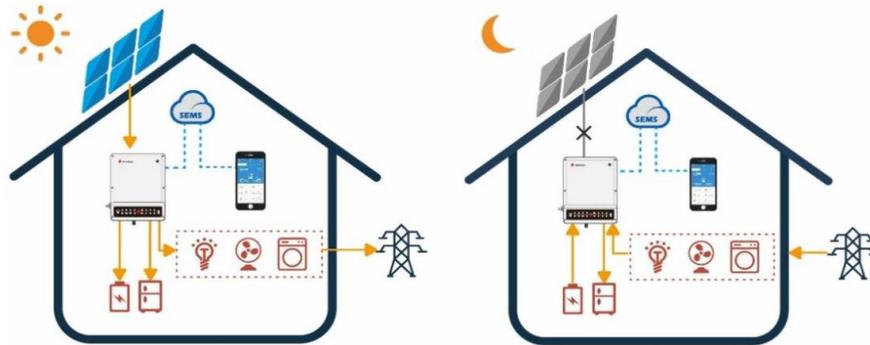
1.2. 储能逆变器：储能行业中的关键器件

储能是能源革命的重要环节，日益受到广泛关注。储能可以起到削峰填谷，提高风、光等可再生能源的消纳水平，基于化石能源的不可再生性，储能对全球能源转型至关重要。随着储能成本的逐年下降，技术不断进步，储能在全球范围内越来越受到重视。

储能逆变器能够实现储存和输出电能的双向过程，是储能行业中的关键器件。在阳光充足的情况下，光伏所发的电能优先供本地负载使用，多余的能量存储到蓄电池，电能仍有富余时可选择性并入电网；当光伏所发电能不足时，蓄电池放电提供电能供本地负载使用。储能逆变器集成了光伏并网发电和储能电站的功能，通过波谷储存电能，波峰输出电能，可以克服光伏组件受天气变化发电不稳定的缺点，提高电网品质和电网利用率。

光伏储能逆变器根据是否与电网连通分为并网型光伏储能和离网型光伏储能，其中以并网型光伏储能为主。在并网应用上，根据储能系统所处发、输、配、用不同环节，可以分为发电侧储能、配电侧储能和用电侧储能。发电侧储能主要解决可再生能源并网发电的波动性和消纳问题，配电侧储能则主要实现调峰调频功能，发电侧和配电侧储能系统应用通常具有容量大、占地面积大、投资成本高等特点，主要应用于大型集中式地面电站和电网变电站等领域。用电侧光伏储能可分为户用光伏储能和工商业光伏储能，主要用于提升发电收益、降低用电成本。近年来用电侧光伏储能系统的安装呈上升趋势，未来随着储能电池价格的下降，上述进程将逐步加快。

图 6：分布式光伏储能逆变器应用示意图



资料来源：固德威招股说明书，安信证券研究中心

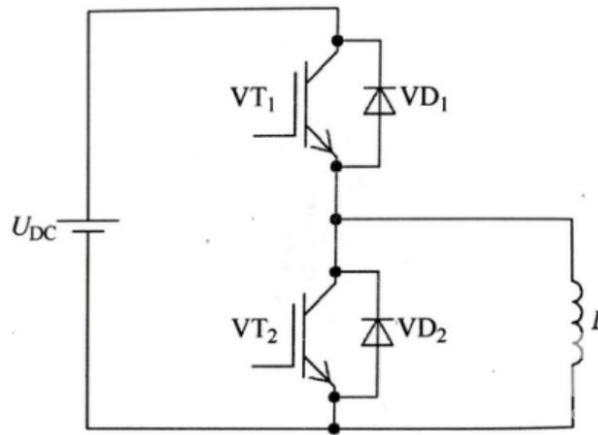
1.3. 目前光伏逆变器主要采用硅基 IGBT 方案

IGBT 广泛应用于光伏逆变器中，占逆变器价值量的 20%-30%。以往光伏逆变器中的功率器件一般采用 MOSFET，而 MOSFET 的通态电阻会随着电压的升高而增大，增加开关损耗，逐渐不适合使用于高压大容量的系统中。IGBT 因其通态电流大、耐高压、电压驱动等优良特性，在中、高压容量的系统中更具优势，目前已逐渐取代 MOSFET 作为光伏逆变器和风力发电逆变器的核心器件。

光伏逆变器不同应用场景，选择 IGBT 单管或 IGBT 模块方案。单台集中式光伏逆变器的功率范围通常为 600-1000kW，将多台光伏逆变器并联后，功率可达 3000kW，由于其功率较高，多采用 IGBT 模块。单相组串逆变器额定功率一般低于 15kW，大多使用 IGBT 单管；三相组串式逆变器额定功率范围广，单台功率为 5-200kW，需要根据具体情况选择 IGBT 单管或模块；微型逆变器的主要应用场景为小功率、组件级别的分布式光伏发电场景，功率一般为 1kW 以下，通常采用 IGBT 单管方案。

光伏逆变器中，IGBT 需要和快恢复二极管配合使用。由于大多数负载呈感性，在 IGBT 关断瞬间会产生较高的反向电压，有可能击穿 IGBT，通过将 IGBT 与二极管并联，可以为感性负载提供续流回路，从而起到保护 IGBT 的作用。由于普通 PN 结二极管电荷存储效应的存在，在 N 区积累的空穴和在 P 区积累的电子在反向电压作用下移动和返回需要时间，产生反向恢复时间 (trr)，这在一定程度上会带来反向恢复损耗、影响开关频率。快恢复二极管 (FRD) 的内部结构是在 P 型硅材料与 N 型硅材料之间加入一层低掺杂的本征半导体层 (基区 I) 构成 PIN 结型二极管，由于基区很薄，反向恢复电荷很小，能够大大减少反向恢复时间、提高开关速度，另一方面可降低瞬间正向压降、提高反向击穿电压。FRD 还存在软恢复的特性，能够减少电流震荡和电磁干扰，并能起到迅速转换导通与截止的作用，可提高元器件使用频率并平稳电流。

图 7：感性负载中 IGBT 与 FRD 并联



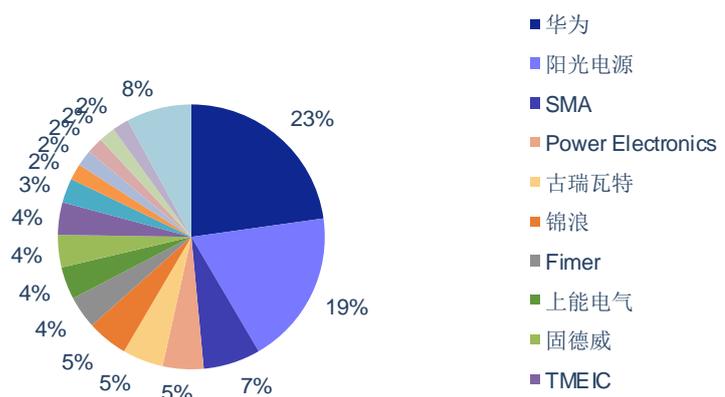
资料来源：炬芯微官网，安信证券研究中心

随着对 IGBT 开关速度、功耗、可靠性等性能要求的提升，IGBT 与 FRD 匹配技术有助于降低能耗、增加系统的稳定性与可靠性并减少射频和电磁干扰。此外，通过合理设计 IGBT 芯片结构与 FRD 的技术参数，有助于降低 IGBT 模块正向导通压降、减少开关损耗、形成更好的动态抗冲击性。

1.4. 光伏逆变器行业国内企业市场份额持续提升

近年来光伏逆变器市场格局发生巨大变化，国内厂商的市场份额不断提升。2009 年全球逆变器市场主要被 SMA、Fronius、Kaco、ABB、Schneider 等欧洲厂商占据，根据 Wood Mackenzie 数据，2020 年全球逆变器出货排名前十中，有六家来自中国的供应商，分别是华为、阳光电源、古瑞瓦特、锦浪科技、上能电气和固德威，合计占据 60% 市场份额。此外，特变电工、首航新能源和科华数据三家中国企业也进入了排名前二十。据 Wood Mackenzie 数据，华为和阳光电源均已累计出货超过 100GW，逐渐走向领军地位。

图 8：2020 年全球光伏逆变器出货量份额情况



资料来源：Wood Mackenzie，光伏們，安信证券研究中心

2. 碳化硅物理特性优良，满足光伏逆变器对高效率、高功率密度、高可靠性的要求

2.1. 光伏逆变器向高效率、高功率密度、高可靠性等方向发展

为降低用电成本，光伏逆变器需不断提高运行效率。2019 年国家发改委、能源局推出光伏发电无补贴平价上网的政策，国内光伏市场的平价上网序幕拉开。用户侧平价的实现要求光伏发电成本低于售电价格，根据光伏十三五规划，2020 年电价为 2015 年的 50% 以下。另一方面，国内外光伏逆变器企业竞争激烈，国内逆变器企业在产品、技术和解决方案都已逐渐赶超国外。若国内企业开拓海外市场并保持领军地位，需大幅度降低系统度电成本，增强自身技术优势，高效发电是未来光伏逆变器的发展方向。

光伏逆变器生命周期短于光伏组件，需持续提高使用寿命和可靠性。目前光伏组件的使用寿命一般在 25 年左右，而光伏逆变器的使用寿命为 10 年左右。未来，光伏逆变器将致力于降低逆变器故障率，从而延长逆变器寿命、提高光伏系统的整体使用时间，以减少替换光伏逆变器的成本并降低系统全生命周期内每一度电的单位成本。

光伏逆变器需提高功率密度，减少体积和重量，以降低安装和维护成本。设备功率密度的提升可推动设备模块化设计，使设备间的通用标准接口能实现无障碍互联，并在不同场景内自由搭配，关键器件的模块化使设备维修能通过插拔替换完成，免去了专家维护，降低了运维成本。功率密度的提高还可减少体积和重量，便于安装人员维护。

表 3：现阶段主流逆变器产品相关参数

	产品型号	所属公司	最大输入电压	额定输出功率	效率	尺寸(宽×高×深)(mm)	重量
集中式逆变器	SG3125HV-MV	阳光能源	1500 V	3125 kW	最大效率：99.02% 中国效率：98.55%	5360×2600×2511	12.5T
	EP-3125-HC-UD	上能电气	1500V	3125kW	最大效率：99.02% 中国效率：98.56%	2205×2200×1405	2600kg
	EP-2500-A-OD	上能电气	1050V	2500kW	最大效率：99.02% 中国效率：98.51%	3291×2591×2438	6000kg
	SG320HX	阳光能源	1500 V	320 kW	最大效率：99.01% 中国效率：98.52%	1136×870×361	≤116 kg
组串式逆变器	SUN2000-196KTL-H3	华为	1500V	196kW	最大效率：99.0% 中国效率：98.4%	1035×700×365	86kg
	GW136K-HTH	固德威	1100V	136KW	最大效率：99.0% 中国效率：98.3%	1008×678×343	98.5kg
	MAX 125KTL3-X LV	古瑞瓦特	110V	135kw	最大效率：98.7% 中国效率：98.5%	970×640×345	84kg
	SG33CX-P2-CN	阳光能源	1100 V	33k W	最大效率：98.60% 中国效率：98.08%	605×575×245	35 kg
	SUN2000-12KTL-M1	华为	1100V	12kw	最大效率：98.6% 欧洲效率：98.2%	525×470×166	17 kg
微型逆变器	HM-1500	禾迈股份	60V	1500W	最大效率：96.70%	280×176×33	3.75kg
	HM-400	禾迈股份	60V	400W	最大效率：96.70%	182×164×29.5	1.98kg
	YC1000-3	昱能科技	60V	900W	最大效率：95.5%	259×242×36	3.5kg

资料来源：各公司官网，安信证券研究中心

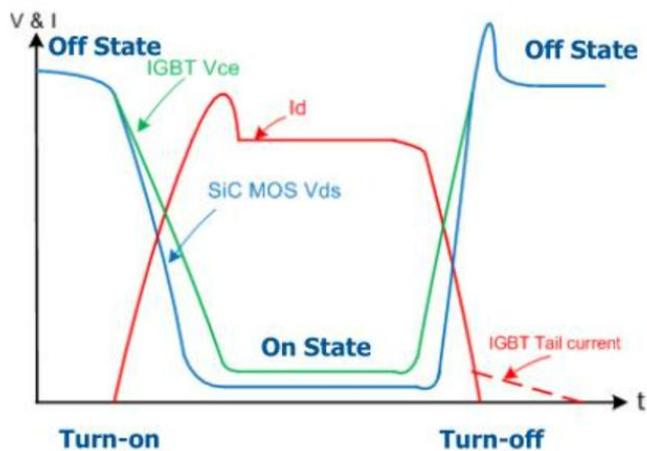
2.2. 碳化硅可有效提升光伏逆变器性能

碳化硅二极管恢复损耗小且不易受到电流、温度影响，可提高光伏逆变器发电效率。Si 基 PN 结功率二极管在从关断状态到正向导通状态的过渡过程中，其正向电压会随着电流的上

升出现一个过冲，然后逐渐趋于稳定。SiC 肖特基二极管由于不存在电导调制效应，只受寄生电感的影响，通过工艺改进能够基本实现零正向恢复电压，Si 基快恢复二极管是双极型器件，存在电导调制效应，反向恢复时间较长。SiC 肖特基二极管的反向电流尖峰较小，反向恢复时间较短，反向恢复损耗也要小得多，且 SiC 肖特基二极管的反向恢复特性几乎不随温度、正向电流变化，而 Si 基 PN 结快恢复二极管的反向恢复电流尖峰和反向恢复时间均随温度、正向电流的升高而恶化。

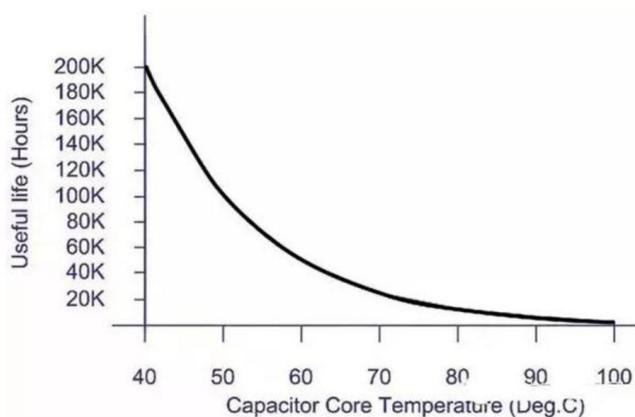
相比于硅基 IGBT，SiC MOS 具有更低的导通损耗、更低的开关损耗、无 Si 器件的电流拖尾显现、高开关频率等优点，还有利于提高光伏逆变器使用寿命。硅基 IGBT 由于在切换时需要等待电子和空穴重新结合以及耗散重组能量，开关速度较慢；硅基 MOSFET 虽开关速度较快，但其在高于 300V 的开关应用中，器件的导通电阻上升。而 SiC 的高击穿电压意味着它可以用来制造比硅基材料电压高得多的 MOSFET，同时保留了低压硅器件的快速开关速度优势。开关性能也相对独立于温度，从而在系统升温时实现稳定的性能。器件封装内部产生的温度循环和应力交变是影响逆变器寿命的主要因素，器件环境温度每升高 10°C，寿命减少一半。碳化硅的高效率，意味着可以降低损耗、减少温度循环，从而提升器件寿命。

图 9：SiC MOSFET 与 IGBT 开关特性比较图



资料来源：世强硬创电商，安信证券研究中心

图 10：逆变器内部电容器寿命和环境温度的关系



资料来源：古瑞瓦特官网，安信证券研究中心

碳化硅材料热导率以及禁带宽度高于硅材料，采用碳化硅器件可减小逆变器的体积和重量。开关频率越高，无源元件的体积越小，碳化硅的高频特性大大减小逆变器体积和重量。碳化硅的导热率是硅的 3.3 倍，且带隙宽度为 Si 的 3 倍，保证碳化硅可以在更高温度环境下工作。半导体材料的禁带宽度决定其器件的工作温度，材料禁带宽度的值越大，器件的工作温度也就越高。在高达 600 的温度下，SiC 器件仍然可以正常工作。并且，碳化硅的导热系数较高，硅在 175°C 左右就无法正常运行，在 200 摄氏度时会变成导体，而 SiC 直到 1000°C 左右才发生这种情况。利用碳化硅的热特性，碳化硅器件所需的冷却系统要少于等效的硅系统，并在高温下稳定运行。根据 Carbontech 数据，由于 SiC 散热快，缩小了系统的冷却结构，采用碳化硅器件可使逆变器的体积和重量减少 40%~60% 左右。

3. “光伏逆变器+储能逆变器”双轮驱动，碳化硅市场空间广阔

3.1. 现阶段碳化硅 MOS 成本偏高，硅基 IGBT+碳化硅 SBD 混合方案渐成主流

3.1.1. 相比芯片结构设计，碳化硅 MOS 难点集中于制造工艺

工艺难点包括但不限于掺杂工艺、欧姆接触、封装材料的耐温性等，目前国内暂时只有时代电气、新洁能、华润微、瞻芯电子、基本半导体、世纪金光、泰科天润等少数几家公司推出

SiC MOSFET 产品。

掺杂工艺：由于 SiC 材料具有牢固而稳定的 Si-C 化合键，扩散温度需要达到 2000℃ 左右才能够获得合理的扩散系数，而此时 SiC 材料本身也会面临不稳定因素，因此 SiC 材料很难通过热扩散方法实现掺杂，而需要采用高温离子注入工艺来完成掺杂。如果采用相比碳原子更大的铝原子进行离子注入，会因入射离子与晶格原子碰撞造成晶格损伤，而大部分碰撞后的入射离子会随机静止在晶格间隙，导致离子未激活情况更为严重，因此为消除晶格损伤并激活杂质离子，往往需要更高的退火温度，对 SiC 的稳定性同样会带来不利影响。因此，高温离子注入工艺的杂质选择、注入浓度、退火温度等一系列参数都需要进一步考量和优化。

欧姆接触：金属与半导体间形成的欧姆接触有助于电子的移动扩散，对于器件与外部电路的信号转换至关重要。欧姆接触一直是 SiC 器件制成工艺的难点之一，其要求接触电阻必须非常小（低于 $10^{-5}\Omega\text{cm}^2$ ），否则将会损失系统效率。对于离子浓度在 $1\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 以上的 n 型 SiC，使用 Ni 基金属作为电极材料，经过 900-1000℃ 退火并在过程中采用惰性气体防氧化可以形成欧姆接触。对于 p 型 SiC，需采用 Al/Ni/W/Au 复合电极才可以获得更高的热稳定性，但接触电阻仍高达 $10^{-3}\Omega\text{cm}^2$ ，存在较大改善空间。

配套材料的耐温性：Si 器件工作温度一般在 150℃ 以下，而 SiC 器件工作温度可以达到 300℃ 以上，因此在高温环境下传统配套材料的可靠性受到挑战。寻找耐高温的电极材料、焊料、外壳、绝缘材料、封装材料，并进一步提升配套材料的散热性，对 SiC MOSFET 的稳定应用至关重要。

3.1.2. 碳化硅 MOS 方案效率提升明显，但成本较高，回本时间长

一个 10MW 的中型光伏电站，假设在平均有效日照时长为 5.5 小时的西北地区，一年发电量约为 1600 万度。大型地面光伏电站的寿命通常在 20 年左右，逆变器受内部电子元器件（IGBT、电容、电感等）所限，使用寿命一般不超过 10 年，在光伏组件的全生命周期中，至少要消耗 2 个逆变器。根据阳光电源数据披露，目前我国地面光伏电站整体的系统效率为 80% 左右，工商业光伏系统效率为 82% 左右，户用光伏系统效率为 85% 左右，保守估计各类型系统效率为 80%，对于一个 10MW 的电站，每年可以发 $10\text{MW} * 5.5\text{H} * 365 * 80\% \approx 1600$ 万度电。

采用碳化硅方案可使电站每年约增加 9.6 万元收入。根据 Wolfspeed 数据，使用碳化硅方案可使得系统效率提高 1%-2%，功率密度提高 3 倍。假设采用新的逆变器方案后，逆变器转换效率提升 1.5% 左右，纯碳化硅方案新增年发电量是 $1600 * 1.5\% = 24$ 万度电，上网电价按平均 0.4 元每度计算，每年约增加 $24 * 0.4 = 9.6$ 万元收入。

表 4：2021 年 8 月主流光伏逆变器价格区间

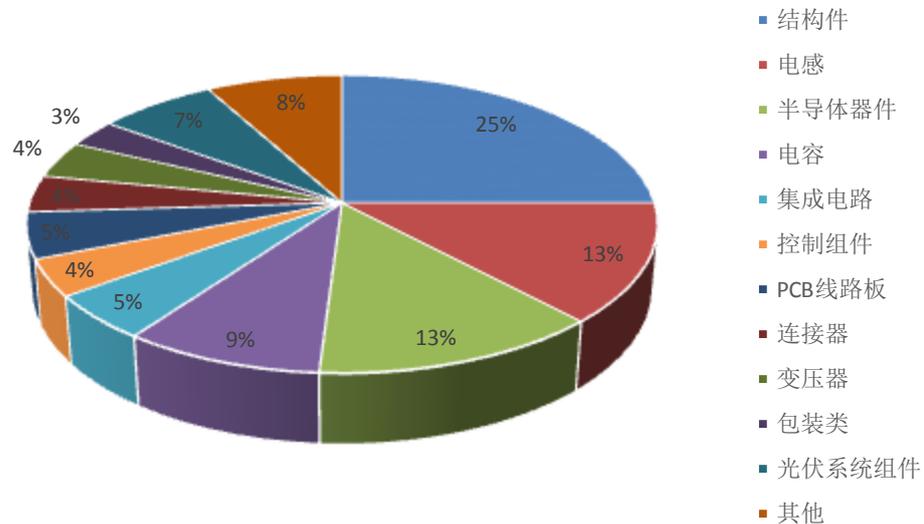
类型	型号	价格范围 (元/瓦)
单相	5 千瓦	0.47-0.62
单相	8 千瓦	0.36-0.40
三相	10 千瓦	0.32-0.37
三相	25 千瓦	0.19-0.20
三相	50 千瓦	0.18-0.23
三相	80 千瓦	0.20-0.21
三相	100 千瓦	0.14-0.19

资料来源：光伏咨询，安信证券研究中心

采用纯碳化硅方案，短期内成本仍然较高，约需要 5-6 年回本。据产业调研，1GW 光伏逆变器的 IGBT 模块采购额约 2000-2500 万元，10MW 发电站所需 IGBT 模块约 20-25 万元，

目前碳化硅的价格大约是硅基 IGBT 的 3-4 倍，取 3.5 倍，则碳化硅功率器件的新增成本约为 50-62.5 万元，采用碳化硅方案后约需 5-6 年回本。

图 11：光伏逆变器成本占比情况



资料来源：碳化硅芯观察，安信证券研究中心

3.1.3. 硅基 IGBT+碳化硅 SBD 混合方案是现阶段性价比较高的方案

碳化硅 SBD 工艺成熟，替换硅基 FRD 可明显降低恢复损耗。 SiC SBD 在原理上不会发生少数载流子的积聚现象，只产生基本不随温度和正向电流而变化的小电流，因此用 SiC SBD 替换 FRD，同样可降低恢复损耗、提高电源效率，并降低由恢复电流引发的噪音，同时可以通过高频化实现机器的小型化，可广泛用于新能源汽车充电、电源、光伏发电系统等领域。据 ROHM 官网信息，ROHM 拥有 650V/1200V TO-220ACG、TO-247N、TO-220ACP 等一系列 SiC SBD 产品，并已发布第 3 代 SiC SBD 的 SCS3 系列，能够提供更大的浪涌电流容量并进一步降低正向电压。Wolfspeed 同样拥有种类广泛的 SiC SBD 产品，电压范围覆盖 600V/650V/1200V，Wolfspeed 官网显示，公司二极管采用特殊的 MPS（合并后的 PIN 型肖特基）设计，比标准肖特基二极管更可靠。据时代电气招股说明书，公司掌握具有自主知识产权的 SiC SBD 芯片设计和制造技术，“高性能 SiC SBD、MOSFET 电力电子器件产品研制与应用验证”项目已经通过科技成果鉴定，公司 SiC SBD 芯片覆盖 650V-3300V 电压，能够满足高频/大功率密度系统需求。据新洁能公司公告，公司目前已具备“高耐压低损耗碳化硅二极管技术”、“碳化硅二极管浪涌电流能力提升技术”等核心技术，相关产品研发、面市进程已开展。

从性价比角度，以英飞凌为代表的行业龙头大多采用硅基 IGBT+碳化硅 SBD 混合方案。以英飞凌 650V 混合 SiC、IGBT 户用光伏逆变器为例，硅基 IGBT 结合内置 SiC 二极管，可对二者进行电流最佳匹配，充分发挥各自优势，能在最短时间内达到系统效率的提升和增加开关频率的目的。在不变更 PCB 和电路情况下，可以实现单一器件的直接替换。同时，由于器件带来系统损耗减少的优势，可以降低散热设计要求和成本；开关频率提升可以有效降低并网电感的尺寸和大小，减少电流谐波对电网的污染。

图 12: 英飞凌 650V 光伏逆变器混合方案

TRENCHSTOP™ 5 & CoolSiC™ Gen 6 Duopack					
	IGBT I _{C,nom} 100°C [A]	Gen 6 SiC Diode I _{f,nom} 100°C [A]	TO-247-3pin	TO-247-4pin	Application
IGBT H5 + „half“ rated diode	40	16	IKW40N65RH5	IKZA40N65RH5	Solar
	50	20	IKW50N65RH5	IKZA50N65RH5	Solar
	75	30	IKW75N65RH5	IKZA75N65RH5	Solar / UPS
IGBT S5 + „full“ rated diode	50	40	IKW50N65SS5	IKZA50N65SS5	Solar / UPS
	75	60	IKW75N65SS5	IKZA75N65SS5	Solar / UPS

资料来源: 英飞凌, 安信证券研究中心

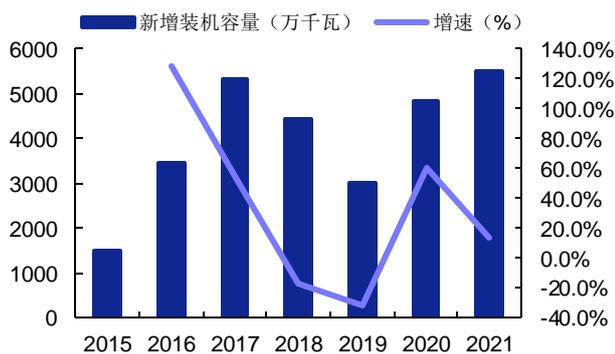
以英飞凌 650V CoolSiC™ Hybrid IGBT+SiC 混合方案为例, 现阶段性价比较高。根据 CASA 的统计, SiC SBD 实际的批量采购成交价已经降至 1 元/A 以下, 耐压 600-650V 的产品业内批量采购价约为 0.6 元/A, 约是硅基快恢复二极管的 3-4 倍, 对于年发电量 1600 万度的 10MW 电站, 使用 650V CoolSiC™ Hybrid IGBT 方案, 我们测算碳化硅二极管的用量约为 9230 元, 新增成本约 6600 元。根据英飞凌数据披露, 使用 650V CoolSiC™ Hybrid IGBT 方案能提升 0.3% 的系统效率, 上网电价按照 0.4 元/度计算, 相当于采用英飞凌 650V 混合方案每年新增 1600 万*0.3%*0.4=1.92 万元收入, 性价比较高。

碳化硅在光伏逆变器市场的渗透率将逐步提升, 预计最晚 2025 年左右, 碳化硅将大规模应用。从碳化硅成本降低的角度看, 假设碳化硅成本每年降低 10%, 预计到 2025 年左右碳化硅成本有望降到目前硅基 IGBT 成本的 2 倍, 同时考虑光伏发电各方面技术的提升, 届时采用碳化硅方案有望在 2-3 年左右回本, 如果同时考虑碳化硅在空间、散热、功率密度对系统整体成本的优化, 渗透进展有望加速。

3.2. 光伏发电市场维持高景气, 为碳化硅功率器件带来持续发展动力

我国光伏发电市场持续维持高景气度, 光伏平价上网进一步释放逆变器需求。发展可再生能源是我国长期战略目标, 光伏发电作为重要的绿色环保发电方式, 发展前景广阔。根据国家能源局数据, 2021 年我国光伏发电量为 3259 亿千瓦时, 同比增长 25.1%, 占总发电量比重 3.9%, 截至 2021 年我国光伏市场新增装机 54.88GW, 累计装机量为 306GW, 我国光伏累计装机量连续六年居全球首位。受益于原材料成本的下降以及光伏发电技术的快速迭代, 全球光伏发电成本持续下降, 各国陆续进入光伏平价时代, 助推光伏逆变器市场增长。根据 BNEF 统计, 自 2007 年开始的十年时间内, 光伏发电组件、光伏发电系统成本分别下降 88.3% 和 91.6%, 度电成本累计下降约 90%, CPIA 数据显示, 在全投资模式下, 2019 年地面光伏电站在 1800/1500/1200/1000 小时等效利用小时数的 LCOE 分别为 0.28、0.34、0.42、0.51 元/kWh, 其中 1800h 的 LCOE 已经低于煤电上网价格, 光伏发电成本的大幅下降使得光伏发电的市场渗透率提高。

图 13: 2015-2021 年国内光伏新增装机容量及增长率



资料来源: 国家能源局, 安信证券研究中心

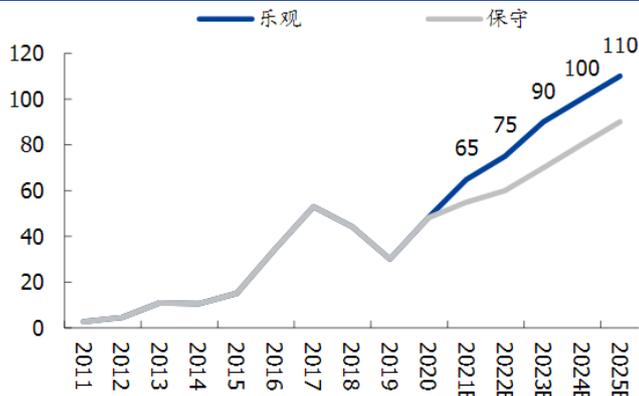
图 14: 2015-2021 年全国光伏发电累计装机容量及增速



资料来源: 国家能源局, 安信证券研究中心

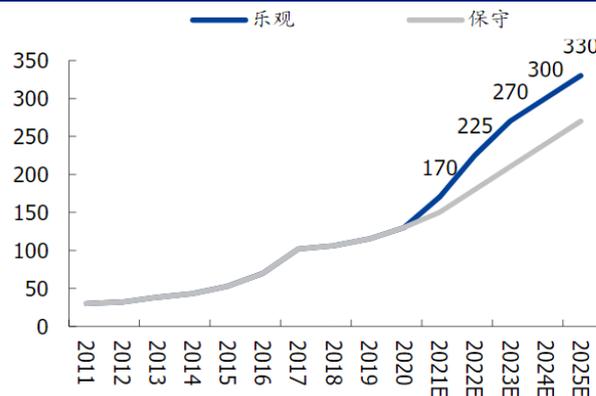
光伏市场装机量: 根据 CPIA 预计, 2025 年我国光伏新增装机量为 90-110GW, 乐观情况下年复合增长率达 18%; 全球光伏新增装机量有望达到 330GW, 年复合增长率达 20%。

图 15: 中国光伏新增装机预测 (GW)



资料来源: CPIA, 安信证券研究中心

图 16: 全球光伏新增装机预测 (GW)



资料来源: CPIA, 安信证券研究中心

光伏逆变器 SiC 市场空间推算: 根据 CPIA 预测, 2021 年-2025 年, 我国光伏装机容量持续上涨。根据产业调研, IGBT 单位成本大约为 2000-2500 万元/GW, SiC 方案成本是 IGBT 方案的 3.5 倍即 7000-8750 万元/GW, 假设碳化硅成本每年降低 10%。据产业调研, 预计 2023 年下半年是导入碳化硅的小高潮, 目前碳化硅在光伏中的渗透率是 2%, 2025 年碳化硅在光伏逆变器领域的渗透率有望达 30%-50%, 取中值按 40%测算。粗略估计, 2025 年全球光伏逆变器 SiC 市场规模达到 69.96 亿元。

表 5: 光伏逆变器 SiC 市场空间估算

	2021E	2022E	2023E	2024E	2025E
光伏新增装机量 (GW)	170	225	270	300	330
SiC 在光伏市场中的渗透率	2%	15%	30%	35%	40%
SiC 单位成本 (亿元/GW)	0.8	0.72	0.65	0.59	0.53
对应的 SiC 市场空间 (亿元)	2.72	24.3	52.65	61.95	69.96

资料来源: CPIA, 安信证券研究中心

3.3. 储能逆变器的进一步放量为 SiC 带来增量市场空间

储能市场发展迅速，是新能源发电的未来趋势。由于光伏组件容易受到天气变化影响，储能可以起到削峰填谷，提高风、光等可再生能源的消纳水平的作用，实现发电稳定、提高电网品质，因此储能电站成为新能源改革的主要方向，各国相继推出储能相关政策，布局储能产业链发展。2021年7月28日，国家能源局解读《关于加快推动新型储能发展的指导意见》，《指导意见》提出“十四五”期间将聚焦高质量规模化发展，以3000万千瓦为基本规模目标，并在“十五五”期间实现市场化发展。

表 6: 储能政策梳理

序号	政策名称	发行部门	相关内容	发布时间
1	《关于报送“十四五”电力源网荷储一体化和多能互补工作方案的通知》	能源局	重点支持每年不低于20亿千瓦时新能源电量消纳能力的多能互补项目以及每年不低于2亿千瓦时新能源电能消纳能力且新能源电量消纳占比不低于整体电量50%的源网荷储项目	2021.04
2	《“十四五”时期深化价格机制改革行动方案》	发改委	完善风电、光伏发电、抽水蓄能价格形成机制，建立新型储能价格机制	2021.05
3	《关于加快推动新型储能发展的指导意见》	发改委、能源局	到2025年，实现新型储能从商业化初期向规模化发展转变，装机规模达3000万千瓦以上；到2030年，实现新型储能全面市场化发展。	2021.07
4	《进一步完善分时电价机制的通知》	发改委	合理确定峰谷电价价差，上年或当年预计最大系统峰谷差率超过40%的地方，峰谷电价价差原则上不低于4:1，其他地方原则上不低于3:1；尖峰电价在峰段电价基础上上浮比例原则上不低于20%	2021.07
5	《关于鼓励可再生能源发电企业自建或购买调峰能力增加并网规模的通知》	发改委、能源局	鼓励发电企业市场化参与调峰资源建设，超过电网企业保障性并网以外的规模初期按照功率15%的挂钩比例（时长4小时以上）配建调峰能力，按照20%以上挂钩比例进行配建的优先并网。	2021.08
6	《电化学储能电站安全管理暂行办法（征求意见稿）》	能源局	加强电化学储能电站安全管理，保障人民群众生命和财产安全，进一步推进我国储能产业健康有序发展。	2021.08
7	《新型储能项目管理规范（暂行）》	能源局	规范新型储能项目管理，促进新型储能有序、安全、健康发展，支撑构建以新能源为主体的新型电力系统。	2021.09
8	《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》	国务院	加快形成以储能和调峰能力为基础支撑的新增电力装机发展机制。	2021.10
9	《国务院关于印发2030年前碳达峰行动方案的通知》	国务院	加快新型储能示范推广应用。深化电力体制改革，加快构建全国统一电力市场体系。到2025年，新型储能装机容量达到3000万千瓦以上。	2021.10

资料来源：国家发改委官网，国家能源局，中华人民共和国中央人民政府官网，CNESA，安信证券研究中心

表 7: 部分地区储能“十四五”规划

序号	地区	政策名称	发布时间	要点	装机规模
1	青海	《青海打造国家清洁能源产业高地行动方案》	2021.7	“十四五”末，青海新型储能装机规模达到 6GW 左右，应用规模位居全国前列，实现电力系统中短周期储能调节。	6
2	山东	《山东省能源发展“十四五”规划》	2021.8	十四五期间：储能发展目标 4.5GW，抽蓄 4GW，需求相应能力达到最高负荷 2%以上。	4.5
3	湖南	《关于加快推动湖南省电化学储能发展的实施意见》	2021.10	到 2023 年建成电化学储能电站 1.5GW/3GWh 以上。	1.5
4	浙江	《关于浙江省加快新型储能示范应用的实施意见》	2021.11	十四五力争实现 2GW 左右新型储能示范项目发展目标。	2
5	南方电网	《南方电网“十四五”电网发展规划》	2021.11	“十四五”期间，南方五省区将新增抽水蓄能 6GW，推动新能源配套储能 20GW。	20
6	内蒙古	《关于加快推动新型储能发展的实施意见》	2021.12	到 2025 年建成并网新型储能规模达到 5GW 以上，独立共享储能电站不低于 5 万千瓦，时长不低于 4 小时。	5
合计					39

资料来源: CNESA, 安信证券研究中心

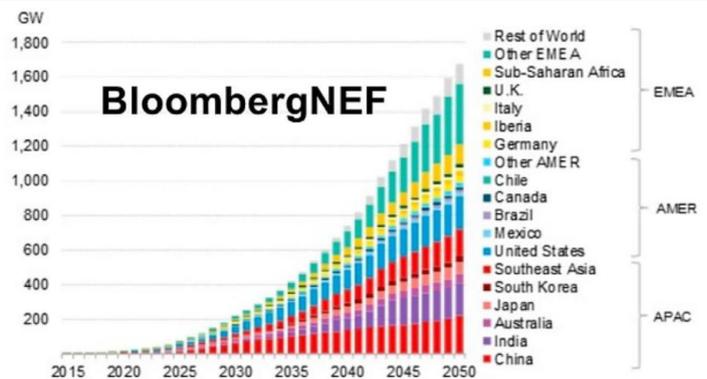
储能装机量逐年提升，带动储能逆变器需求增长。根据国家能源局数据，我国新增储能装机容量在 2025 年有望达到 87GWh，2021 年-2025 年复合增长率可达 76%，储能装机量的逐年提升，带动储能逆变器的需求增长。根据锦浪科技 2020 年年报，2020 年全球储能逆变器需求达到 4.5GW 左右，保持 20%以上的增速增长，2022 年全球储能逆变器出货量将达到 7.1GW。IHSMarkit 报告显示，到 2025 年，年度新增并网型储能逆变器规模将增至 10.6GW，市场前景广阔。储能逆变器的价值量高于光伏逆变器，储能逆变器市场未来有望为 SiC 打开增量市场空间。

图 17: 全球光伏储能逆变器出货量 (GW)



资料来源: 锦浪科技年报, 安信证券研究中心

图 18: 全球储能累计装机容量预测 (GW)



资料来源: BloombergNEF, 安信证券研究中心

4. 碳化硅应用趋势明确，国内企业积极布局

4.1. 国家出台多项 SiC 产业发展鼓励政策

第三代半导体材料是信息产业、5G 通讯、国防军工等国家重点战略领域的核心材料，近年来，国家出台一系列半导体产业鼓励政策，以推动以碳化硅为代表的第三代半导体材料发展。根据国家统计局发布的《战略性新兴产业分类 (2018)》分类，碳化硅晶体与晶片属于“1.2.3 高性能和关键电子材料制造”和“3.4.3.1 半导体晶体制造”，为国家重点鼓励、扶持的战略性新兴产业。以下政策法规的发布和落实利好碳化硅企业发展，碳化硅产业链企业可享受行业红利。

表 8: 行业主要法律法规政策

序号	政策名称	发行部门	相关内容	发布时间
1	《“战略性先进电子材料”重点专项 2020 年度项目》	科技部	支持功率碳化硅芯片和器件在移动储能装置中的应用（应用示范类）	2020 年 4 月
2	《新时期促进集成电路产业和软件产业高质量发展的若干政策》	国务院	聚焦高端芯片、集成电路装备等关键核心技术研发，在新一代半导体技术等领域推动各类创新平台建设 集中电路设计工具、重点装备和高纯靶材等	2020 年 8 月
3	《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划 2035 年远景目标纲要》	十三届全国人大四次会议审议通过	关键材料研发，集中电路先进工艺和绝缘栅双极型晶体管（IGBT）、微机电系统（MEMS）等特色工艺突破，先进存储技术升级，碳化硅、氮化镓等宽禁带半导体发展	2021 年 3 月

资料来源：国务院官网，安信证券研究中心

4.2. 国内企业积极投产，全力追赶国际龙头

SiC 行业是技术密集型行业，对研发人员操作经验、资金投入有较高要求。国际巨头半导体公司研发早于国内公司数十年，提前完成了技术积累工作。国内企业存在人才匮乏、技术水平较低的困难，制约了半导体行业的产业化进程发展。碳化硅行业整体处于产业化初期，中国企业与海外企业的差距相对较小。受益于中国 5G 通讯、新能源等新兴产业的技术水平、产业化规模的世界领先地位，国内碳化硅器件巨大的应用市场空间驱动上游半导体行业快速发展，国内碳化硅厂商具有自身优势。

表 9: 国内厂商产品及产能情况

公司	产业链	产业布局及经营情况
山东天岳	SiC 衬底	在上海临港新片区建设碳化硅衬底生产基地，满足不断扩大的碳化硅半导体衬底材料的需求。公司的“碳化硅半导体材料项目”已被上海市发改委列入《2021 年上海市重大建设项目清单》。
天科合达	SiC 衬底	2020 年投资第三代半导体碳化硅衬底产业化基地建设项目 95,706.00 万元，建设一个包括晶体生长、晶片加工和清洗检测等全生产环节的生产基地。项目投产后年产 12 万片 6 英寸碳化硅晶片，其中 6 英寸导电型碳化硅晶片约为 8.2 万片，6 英寸半绝缘型碳化硅晶片约为 3.8 万片。
同光晶体	SiC 衬底	公司已完成自主搭建 200 台单晶生长炉，同时为满足功率半导体器件需求，2021 年计划陆续投产 600 台生长炉，在 2022 年 4 月预计产能将达到 10 万片。
中电科装备	SiC 衬底	2020 年公司与北京经济技术开发区管理委员会携手打造中电科集成电路核心装备产业园项目，拟投资 66 亿元建设包括技术研究院、研发及产业化基地，提升集成电路装备国产化水平。
瀚天天成	SiC 外延片	2021 年碳化硅产业园二期项目主体封顶。项目总投资 6.3 亿元，占地面积 29002.015 平方米，其中一期项目已建成投产，建筑面积 18502.64 平方米，二期规划建筑面积 24133.03 平方米。项目拟建设 6 英寸 SiC 外延晶片生产线项目，建成投产后预计年产值 30 亿元。
泰科天润	SiC 器件	公司在湖南浏阳投资建设 6 英寸碳化硅项目，项目 2019 年年底正式开工。项目分两期建设，一期总投资 5 亿元，主要建设 6 英寸碳化硅基电力电子芯片生产线，生产碳化硅芯片等产品
中车时代电气	SiC 器件	IGBT 二期项目仍在建设中，高压 IGBT 芯片线改造及扩能项目 2020H2 快速爬坡。2020H2 高压 IGBT 芯片生产线改造及扩能项目快速爬坡，2020 年该项目工程投入占预算比例从 H1 的 23% 增至 H2 69%。
三安光电	SiC 器件/模块/IDM	三安光电宣布总投资 160 亿元的湖南三安半导体基地一期项目正式点亮投产，将打造国内首条、全球第三条碳化硅垂直整合产业链，该产线可月产 3 万片 6 英寸碳化硅晶圆。
露笑科技	SiC 器件/模块/IDM	露笑科技碳化硅产业园项目位于长兴经开区，占地面积 88 亩。项目投资总规模预计 100 亿元，主要建设第三代功率半导体（碳化硅）的设备制造、长晶生产、衬底加工、外延制作等产业链的研发和生产基地。该产业园项目一期投资 21 亿元，一期达产后，可形成年产 24 万片导电型碳化硅衬底片和 5 万片外延片的生产能力。
扬州扬杰电子	SiC 器件/模块/IDM	拟在四川雅安经济技术开发区投资建设半导体单晶材料扩能项目，项目计划总投资不低于 7 亿元，项目分三期投资建设，计划 5 年内全部建成。
深圳基本半导体	SiC 器件/模块/IDM	南京浦口制造基地已于 2020 年 3 月开工建设，预计 2021 年底通线，将主要进行碳化硅外延片的工艺研发和制造。北京亦庄共建的 6 英寸碳化硅晶圆产线将于今年第四季度实现量产。深圳坪山第三代半导体产业基地已于 2020 年底开工建设，预计 2023 年投产，年产能将达 200 万只碳化硅器件。无锡新吴车规级碳化硅功率模块制造基地正在建设中，预计 2021 年底通线，2022 年中进入量产。
上海瞻芯	SiC 器件/模块/IDM	碳化硅功率芯片和特色工艺制造项目计划投资建设碳化硅功率器件生产研发中心，一期占地 50 亩，包含 6 英寸的碳化硅功率器件生产线与工艺研发平台，预计 2021 年设备进场安装和调试，2022 年投入生产，形成年产 30 万片 6 英寸晶圆的生产能力。生产基地项目总投资 5 亿元，建设期约为 2 年，项目全面达产后，预计年销售收入达 16.8 亿元。当时报道指出，项目投产后，将实现产品进口替代。

资料来源：招股书，公司官网，公司公告，安信证券研究中心

4.3. 国际光伏逆变器大厂引领碳化硅应用，阳光电源等国内公司积极跟进

国际大厂引领碳化硅在光伏逆变器中应用，国内公司积极跟进。根据光伏逆变器龙头公司官网信息，多个国际大厂已经布局了 SiC 模块，如英飞凌、安森美、富士电机等国际大厂已经实现了规模化应用，国内阳光电源也在 2014 年推出第一款采用 SiC MOSFET 器件的光伏逆变器，并于 2017 年规模化应用。

表 10: 光伏逆变器中 SiC 应用方案梳理

公司/机构	功率器件/逆变器系列	推出时间	详情
英飞凌	CoolSiC	2012	装置小型轻量化，工作效率有效提高，降低开关损耗，电压范围 600-1700V。
安森美半导体	NXH40B 120MNQ	2020	已被全球领先的电源和热管理方案供应商台达选用，用于支持其 M70A 三相光伏组串逆变器，产品能实现高达 98.8% 的峰值能量转换能效。
阳光电源	SG60KTL-M/SG60KTL	2013	2013 年，阳光电源开发了采用碳化硅二极管的组串逆变器 SG30KTL-M；2014 年，阳光电源 SG60KTL-M、SG60KTL 组串逆变器采用了 SiC MOS 器件；2017 年，阳光电源将 SiC 模块规模化应用于 SG80KTL-M 组串逆变器。
三菱电机	全 SiC-IPM	2014	只使用一个逆变器，可支持 4.4kW 的输出功率，将直流电力转换成交流电力的转换效率为 98.0%。
田渊电机	无	2014	组合采用 IGBT，用 SiC 二极管的逆变器通过减少开关损耗和导通损耗，大幅降低了转换损失。
西门子	blueplanet 155/165 TL3	2020	2020 年 12 月推出了两款用于大型光伏项目的组串型逆变器，blueplanet 155 TL3 和 165 TL3，额定输出功率分别为 155kW 和 165kW，均采用了碳化硅晶体管设计。与传统逆变器相比，采用碳化硅晶体管的逆变器具有更高的功率密度、更少的冷却需求和更低的整体系统成本。
富士电机	无	2014	2014 年 8 月开始量产输出功率为 1000kW 的百万瓦级光伏电站使用的光伏逆变器。
德国 Fraunhofer ISE	高阻 SiC 逆变器	2021	250kW 的碳化硅逆变器，用于连接中压系统的公用事业规模的光伏项目，运行转换效率为 98.4%，节省高达 40% 的体积。

资料来源：各公司官网，安信证券研究中心

根据 2021 年 10 月 19 日阳光电源定增公告披露，公司在碳化硅混合型三电平拓扑、高饱和磁密的磁性元件、相变热虹吸散热等技术的研究和工程应用上取得重大突破，研制出高效、高功率密度光伏逆变设备。目前阳光电源基于碳化硅 MOSFET 的逆变器原型机，功率 165kW，功率密度做到 1.25W/cm³，开关频率 40KHz，最高效率达到 99.2%。达到世界领先水平。根据索比光伏网，通过硅半导体技术和碳化硅半导体技术融合，阳光电源在 2019 年 3 月推出功率高达 225kW 的 SG225HX 系列产品，助力中国光伏逆变器跃入“200kW+”时代，随后陆续有数家企业跟进，2020 年技术和产品被打磨成熟，SG320HX 系列产品上市，中国光伏逆变器整体水平迈上新台阶。

图 19: 应用 SiC 器件的组串逆变器应用型谱



资料来源：阳光电源，安信证券研究中心

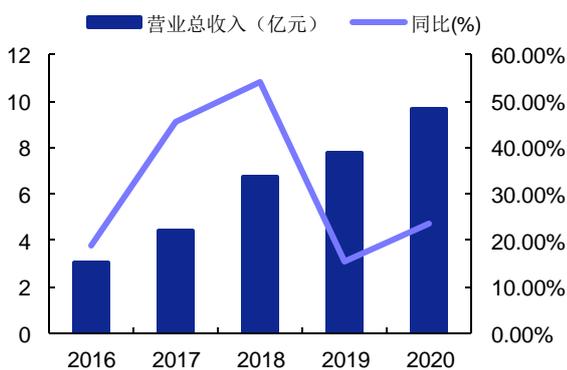
本土光伏逆变器在全球市场持续突破，为碳化硅应用提供历史机遇。根据 SolarEdge 统计，2018 年，华为在全球逆变器市场的份额达 22%，市占率位列全球第一，据阳光电源 2020 年报披露，公司 2015 年起出货量首次超越连续多年排名全球出货量第一的欧洲公司，已批量销往德国、意大利、澳大利亚、美国、日本、印度等 150 多个国家和地区。因此，在国内光伏逆变器的市场占有率不断提升，碳化硅器件势必将优先使用国产替代，国产碳化硅市场迎来新的历史机遇。

5. 相关标的

5.1. 斯达半导

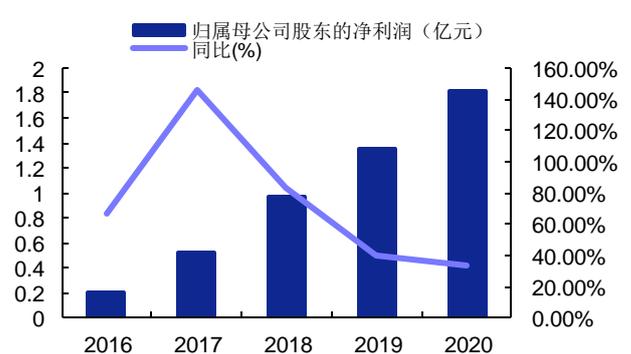
公司业务涵盖了 IGBT、快恢复二极管等功率芯片和 IGBT、MOSFET、SiC 等功率模块的设计、工艺研发、产品测试、产品应用等，使用自主芯片和工业级和车规级功率模块已在工业控制及电源、新能源汽车、新能源发电等行业实现规模化应用。据公司 2021 年报半年报，公司 SiC 模块产品在机车牵引辅助供电系统、新能源汽车行业控制器、光伏行业得到进一步的推广应用，新增多个使用全 SiC MOSFET 模块的新能源汽车 800V 系统的主电机控制器项目定点。据公司 2021 年度非公开发行 A 股股票预案，2021 年公司定增募集资金不超过 35 亿元，拟将 5 亿元募集资金投入 SiC 芯片研发及产业化项目，项目建设周期 3 年，达产后将形成 6 英寸 SiC 芯片 6 万片/年的生产能力，有助于公司抢抓新能源汽车市场机遇，进一步完善产品结构和产能布局，巩固和提升市场地位。

图 20：斯达半导营业收入情况



资料来源：Wind，安信证券研究中心

图 21：斯达半导归母净利润情况

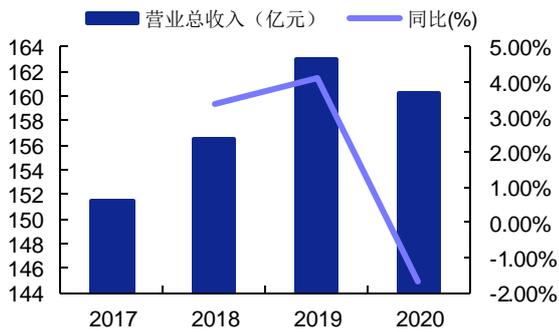


资料来源：Wind，安信证券研究中心

5.2. 时代电气

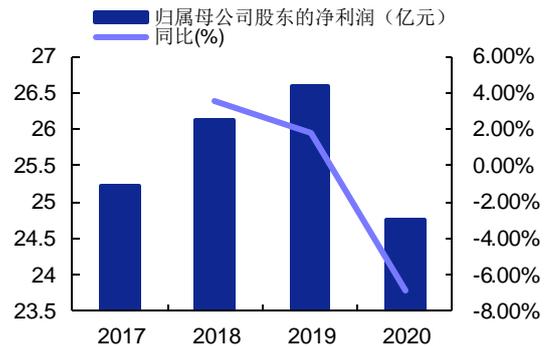
公司主要从事轨道交通装备产品的研发、设计、制造、销售并提供相关服务，具有“器件+系统+整机”的产业结构，产品主要包括以轨道交通牵引变流系统为主的轨道交通电气装备、轨道工程机械、通信信号系统等。同时，公司还积极布局轨道交通以外的产业，在功率半导体器件、工业变流产品、新能源汽车电驱系统、传感器件、海工装备等领域开展业务。公司科创板招股书披露，公司 SiC 器件主要包含 SiC SBD、SiC MOSFET 以及 SiC 模块：SiC SBD 芯片覆盖 650V-3300V 电压等级，可应用于高频/大功率密度系统；第 1 代 SiC MOSFET 技术应用于 1200V-3300V 电压等级，可满足铁路运输、船舶运输、智能电网等高压领域需求，第 2 代 SiC MOSFET 技术应用于 650V-1200V 电压等级，可满足新能源汽车、风力发电、光伏逆变等领域需求；SiC 模块覆盖 1200V-3300V 电压等级，样品已小批量在轨道交通、新能源领域验证应用。

图 22: 时代电气营业收入情况



资料来源: wind, 安信证券研究中心

图 23: 时代电气归母净利润情况

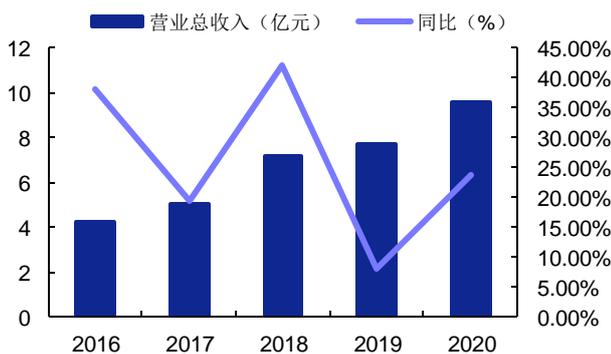


资料来源: wind, 安信证券研究中心

5.3. 新洁能

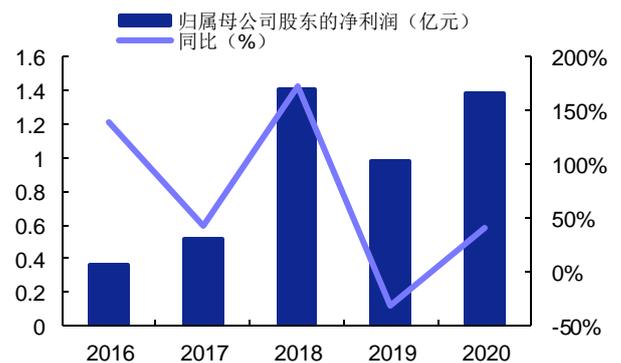
公司为国内领先的半导体功率器件设计企业, 主要产品包括 MOSFET 和 IGBT 等半导体芯片和功率器件, 广泛应用于消费电子、汽车电子、工业电子、新能源汽车/充电桩、智能装备制造、物联网、5G、光伏新能源等领域。公司拥有约 1500 款细分型号产品, 覆盖 12V-1700V 电压范围、0.1A-450A 电流范围, 系列齐全、技术先进, 目前已进入比亚迪、宁德时代、大疆创新、中兴通讯、富士康、TTI、阳光电源、德业股份、拓邦股份、长城汽车、华宝能源等下游知名客户供应链。公司积极布局 SiC/GaN 宽禁带半导体功率器件产品, 据公司 2021 年年报, 2021 年公司 1200V 新能源汽车用 SiC MOS 平台开发进行顺利, 1200V SiC MOSFET 首次流片验证完成, 产品部分性能达到国内先进水平, 产品综合特性及可靠性尚处于验证评估阶段。2021 年 11 月 12 日公司发布公告, 拟募集资金总额不超过 145,000.00 万元, 拟投入募集资金 20,000 万元用于第三代半导体 SiC/GaN 功率器件及封测的研发及产业化项目, 提升公司核心竞争力以及国内外市场地位。

图 24: 新洁能营收情况



资料来源: wind, 安信证券研究中心

图 25: 新洁能归母净利润情况



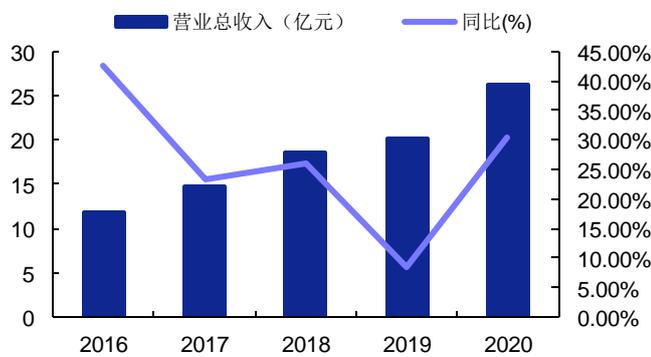
资料来源: wind, 安信证券研究中心

5.4. 扬杰科技

扬杰科技成立于 2006 年, 总部位于扬州市, 是国内少数集半导体分立器件芯片设计制造、器件封装测试、终端销售与服务等产业链垂直一体化 (IDM) 的杰出厂商。公司主营产品为各类电力电子器件芯片、MOSFET、IGBT 及碳化硅 SBD、碳化硅 JBS、大功率模块、小信号二三极管、功率二极管、整流桥等, 在多个细分市场占有领先的市场地位, 据公司 2021 年半年报, 公司已连续数年入围由中国半导体行业协会评选的“中国半导体功率器件十强企业”前三强。据公司 2020 年年报, 公司现已成功开发并向市场推出碳化硅模块及 650V 碳

化硅 SBD 全系列产品, 1200V 系列碳化硅 SBD 及碳化硅 MOS 也已取得突破, 公司将持续推进碳化硅功率器件产品的研发投入, 紧跟技术前沿, 完善半导体功率器件全系列产品的一站式供应。

图 26: 扬杰科技营收情况



资料来源: wind, 安信证券研究中心

图 27: 扬杰科技归母净利润情况

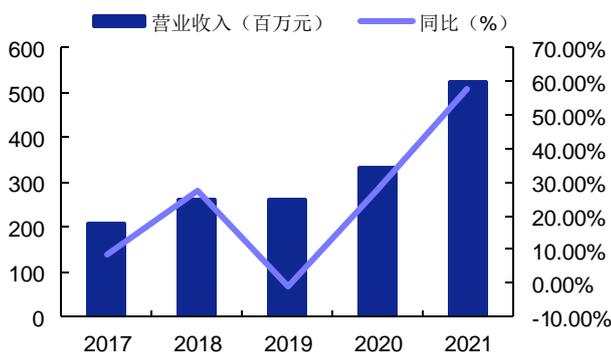


资料来源: wind, 安信证券研究中心

5.5. 宏微科技

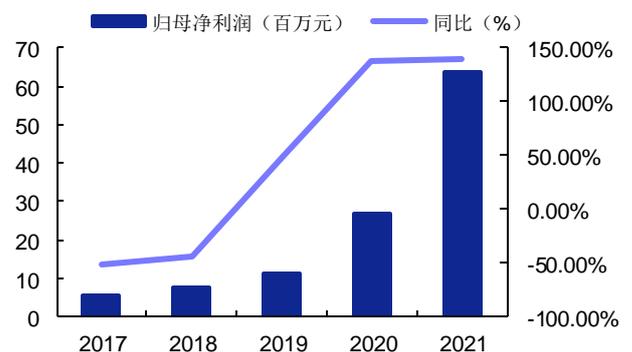
公司主要从事以 IGBT、FRED 为主的功率半导体芯片、单管、模块和电源模组的设计、研发、生产和销售, IGBT、FRED 单管和模块的核心是 IGBT 芯片和 FRED 芯片, 公司拥有自主研发设计市场主流 IGBT 和 FRED 芯片的能力。目前, 公司产品已涵盖 IGBT、FRED、MOSFET 芯片及单管产品 100 余种, IGBT、FRED、MOSFET、整流二极管及晶闸管等模块产品 400 余种, 产品性能与工艺技术水平处于行业先进水平。经过多年的积累, 公司已拥有较为丰富的优质客户资源, 与台达集团、汇川技术、佳士科技、奥太集团、苏州固得、盛弘股份、英可瑞、科士达等行业龙头或知名企业客户建立了较为稳定的配套合作关系。招股书披露, 公司将针对新能源、光伏领域, 积极布局第三代半导体, 开展碳化硅器件研究及模块产品的封装, 碳化硅 MOSFET 芯片已处于研发阶段。

图 28: 宏微科技收入情况



资料来源: Wind, 安信证券研究中心

图 29: 宏微科技归母净利润情况



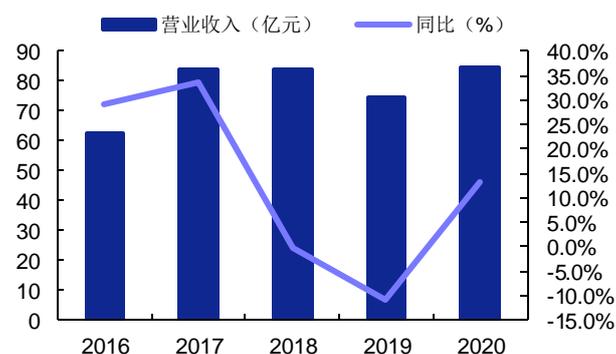
资料来源: Wind, 安信证券研究中心

5.6. 三安光电

公司主要从事化合物半导体所涉及的部分核心原材料、外延片生长和芯片制造, 是产业链的核心环节, 也是附加值高的环节, 属于技术、资本密集型的产业。据公司 2021 年半年报, 公司作为国内产销规模首位的化合物半导体生产企业, 多年来持续加大研发投入, 积极提升核心竞争力, 不断推出新产品, 稳步提高国内外市场份额, 持续优化客户结构, 巩固化合物

半导体龙头企业的优势地位。公司 2021 年半年报披露，碳化硅二极管 2021 年上半年新开拓客户 518 家，出货客户超过 180 家，超过 60 种产品已进入量产阶段，在服务器电源、通信电源、光伏逆变器、充电桩、车载充电机、家电等细分应用市场标杆客户实现稳定供货，并与国际标杆客户达成战略合作，海外市场已有所突破。碳化硅二极管已有 2 款产品通过车载认证并送样行业标杆客户，处于小批量生产阶段。碳化硅 MOSFET 工业级产品已送样客户验证，车规级产品正配合多家车企做流片设计及测试。

图 30：三安光电营业收入情况



资料来源：wind，安信证券研究中心

图 31：三安光电归母净利润情况

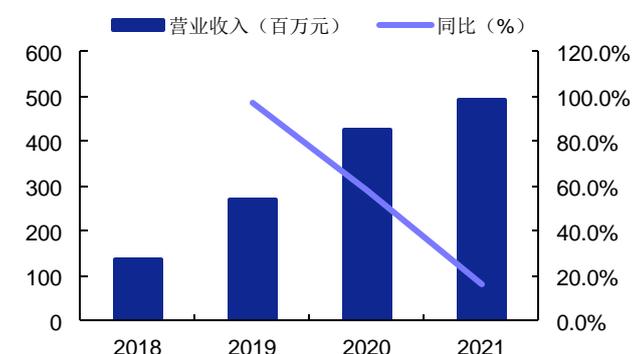


资料来源：wind，安信证券研究中心

5.7. 天岳先进

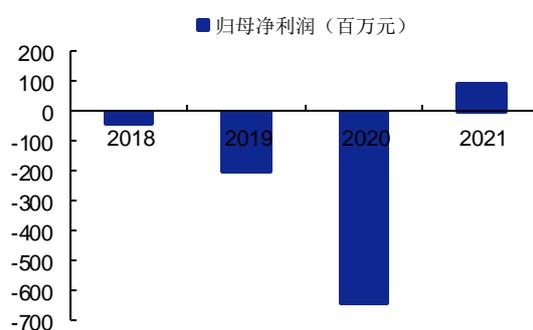
公司成立于 2010 年，主营业务是宽禁带半导体(第三代半导体)碳化硅衬底材料的研发、生产和销售，主要产品包括半绝缘型和导电型碳化硅衬底，可应用于微波电子、电力电子等领域。经过十余年的技术发展，公司已掌握涵盖了设备设计、热场设计、粉料合成、晶体生长、衬底加工等环节的核心技术，自主研发了不同尺寸半绝缘型及导电型碳化硅衬底制备技术。据公司 2021 年年报，截至 2021 年 12 月末，公司拥有授权专利 415 项，其中境内发明专利 98 项，境外发明专利授权 5 项，是国家知识产权优势企业。根据国际知名行业咨询机构 Yole 的统计，2019 年及 2020 年公司已跻身半绝缘型碳化硅衬底市场的世界前三。公司于 2022 年 1 月份科创板上市，将进一步加大导电型衬底的投资扩产力度。

图 32：天岳先进营业收入情况



资料来源：wind，安信证券研究中心

图 33：天岳先进归母净利润情况



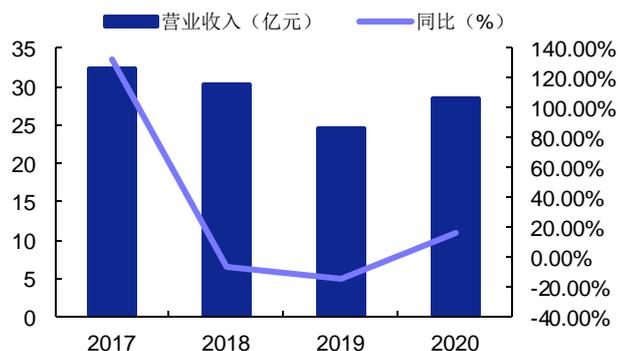
资料来源：wind，安信证券研究中心

5.8. 露笑科技

据公司 2021 年半年报披露，报告期内，公司主要从事碳化硅业务、光伏发电业务、漆包线业务。据公司投资者关系活动记录表，对于 6 英寸碳化硅导电型衬底产品，公司技术团队能够全面掌握各工艺参数的优值，据公司 2022 年 2 月 17 日投资者关系活动记录表，公司目前

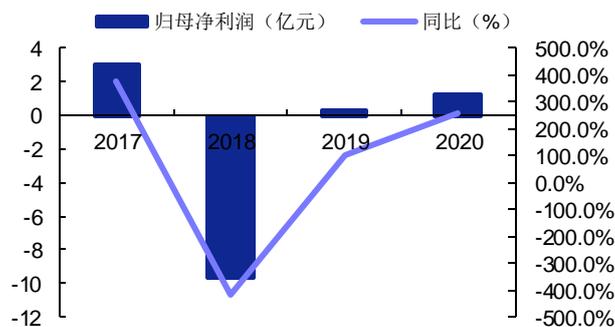
已有 112 台长晶炉安装完毕，到 2022 年 6 月底公司将有 224 台长晶炉投入生产，年产能扩大到 10 万片，核心应用领域为光伏和汽车电子，目前已针对下游 SBD 应用场景形成销售，针对 MOS 应用场景的碳化硅衬底已进入送样认证阶段，品质处于第一梯队。未来公司将继续提高产品良率、降低生产成本，持续研发加工新工艺、新技术，并进一步研究开发 8 英寸碳化硅衬底片，以增强市场竞争力。随着碳化硅项目的逐步投产，公司将充分受益于碳化硅行业的高景气度，实现业绩增长。

图 34：露笑科技营收情况



资料来源：wind，安信证券研究中心

图 35：露笑科技归母净利润情况

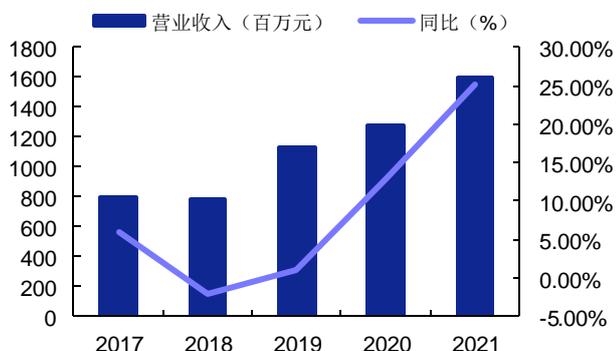


资料来源：wind，安信证券研究中心

5.9. 凤凰光学

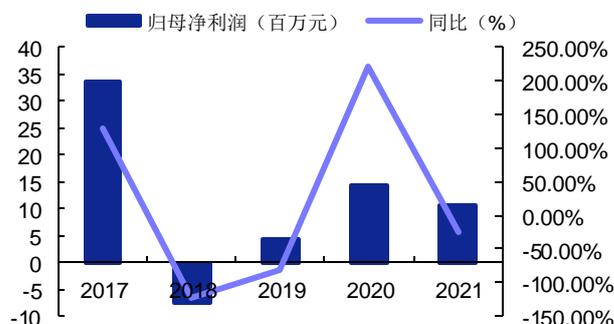
公司主要从事光学产品业务、智能控制器产品业务以及锂电芯产品业务。在光学领域，公司已成为集研发、设计、制造一体化的精密加工、光学组件国内重要供应商；在智能控制器领域，公司提供控制器设计、制造、测试、认证的一站式服务，是众多国际一流企业的长期核心供应商；在锂电芯领域，公司生产的锂电芯产品主要应用于功能手机及智能手机售后更换电池市场。据公司 2021 年年报，报告期内公司筹划重大资产重组，拟发行股份购买国盛电子、普兴电子 100% 股权。据公司发布的重大资产出售及发行股份购买资产并募集配套资金暨关联交易预案（修订稿），国盛电子成立于 2003 年，经营范围包含半导体材料、电子元器件、集成电路芯片、电子产品相关业务，2020 年实现营业收入 7.05 亿元；普兴电子成立于 2000 年，主要从事集成电路外延材料、电子产品材料及相关部件等业务，2020 年实现营业收入 7.09 亿元。重组完成后公司将注入半导体外延材料领域的优质资产，实现业务板块的进一步扩张，提升核心竞争力。

图 36：凤凰光学营收情况



资料来源：wind，安信证券研究中心

图 37：凤凰光学归母净利润情况



资料来源：wind，安信证券研究中心

6. 风险提示

(1) **SiC 技术难度大，产品研发不及预期风险。**国外龙头企业大力布局 SiC 领域研发，若国内企业产品研发失败，无法满足下游应用市场要求，对市场前景会产生不利影响。

(2) **相关扩产项目不及预期风险。**国内外主要碳化硅厂商均在大力扩产，产品竞争加剧，可能出现产能过剩的问题。若扩产项目不及预期，会对公司竞争力产生不利影响。

(3) **SiC 成本高居不下，SiC 渗透率不及预期风险。**目前碳化硅功率器件的价格仍数倍于硅基器件，光伏整体系统仍需平衡碳化硅器件的高价格与因碳化硅器件的优越性能带来的综合成本下降之间的关系，一定程度上限制了碳化硅器件的渗透率。若碳化硅制造成本无法下降，对市场应用进展产生不利影响。

■ 行业评级体系

收益评级:

领先大市 — 未来 6 个月的投资收益率领先沪深 300 指数 10%以上;

同步大市 — 未来 6 个月的投资收益率与沪深 300 指数的变动幅度相差-10%至 10%;

落后大市 — 未来 6 个月的投资收益率落后沪深 300 指数 10%以上;

风险评级:

A — 正常风险, 未来 6 个月投资收益率的波动小于等于沪深 300 指数波动;

B — 较高风险, 未来 6 个月投资收益率的波动大于沪深 300 指数波动;

■ 分析师声明

本报告署名分析师声明, 本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格, 勤勉尽责、诚实守信。本人对本报告的内容和观点负责, 保证信息来源合法合规、研究方法专业审慎、研究观点独立公正、分析结论具有合理依据, 特此声明。

■ 本公司具备证券投资咨询业务资格的说明

安信证券股份有限公司(以下简称“本公司”)经中国证券监督管理委员会核准, 取得证券投资咨询业务许可。本公司及其投资咨询人员可以为证券投资人或客户提供证券投资分析、预测或者建议等直接或间接的有偿咨询服务。发布证券研究报告, 是证券投资咨询业务的一种基本形式, 本公司可以对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析, 形成证券估值、投资评级等投资分析意见, 制作证券研究报告, 并向本公司的客户发布。

■ 免责声明

本报告仅供安信证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的客户使用。本公司不会因为任何机构或个人接收到本报告而视其为本公司的当然客户。

本报告基于已公开的资料或信息撰写，但本公司不保证该等信息及资料的完整性、准确性。本报告所载的信息、资料、建议及推测仅反映本公司于本报告发布当日的判断，本报告中的证券或投资标的价格、价值及投资带来的收入可能会波动。在不同时期，本公司可能撰写并发布与本报告所载资料、建议及推测不一致的报告。本公司不保证本报告所含信息及资料保持在最新状态，本公司将随时补充、更新和修订有关信息及资料，但不保证及时公开发布。同时，本公司有权对本报告所含信息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。任何有关本报告的摘要或节选都不代表本报告正式完整的观点，一切须以本公司向客户发布的本报告完整版本为准，如有需要，客户可以向本公司投资顾问进一步咨询。

在法律许可的情况下，本公司及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或期权并进行证券或期权交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务，提请客户充分注意。客户不应将本报告为作出其投资决策的惟一参考因素，亦不应认为本报告可以取代客户自身的投资判断与决策。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议，无论是否已经明示或暗示，本报告不能作为道义的、责任的和法律的依据或者凭证。在任何情况下，本公司亦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。

本报告版权仅为本公司所有，未经事先书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发表、转发或引用本报告的任何部分。如征得本公司同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“安信证券股份有限公司研究中心”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

本报告的估值结果和分析结论是基于所预定的假设，并采用适当的估值方法和模型得出的，由于假设、估值方法和模型均存在一定的局限性，估值结果和分析结论也存在局限性，请谨慎使用。

安信证券股份有限公司对本声明条款具有惟一修改权和最终解释权。

安信证券研究中心

深圳市

地址：深圳市福田区深南大道 2008 号中国凤凰大厦 1 栋 7 层

邮编：518026

上海市

地址：上海市虹口区东大名路 638 号国投大厦 3 层

邮编：200080

北京市

地址：北京市西城区阜成门北大街 2 号楼国投金融大厦 15 层

邮编：100034