



Research and
Development Center

电力电子碳化硅：800V 平台加速落地，高 opex 属性+低渗透率驱动行业领跑

半导体

2022 年 12 月 29 日

证券研究报告

行业研究

行业深度研究

半导体 $\{industryName\}$

投资评级 看好

上次评级 看好

电子行业首席分析师 莫文宇

执业编号: S1500522090001

联系电话: 13437172818

邮箱: mowenyu@cindasc.com

信达证券股份有限公司

CINDA SECURITIES CO., LTD

北京市西城区闹市口大街9号院1号楼

邮编: 100031

电力电子碳化硅：800V 平台加速落地，高 opex 属性+低渗透率驱动行业领跑

2022 年 12 月 29 日

本期内容提要：

- **800V 高压平台加速落地，2022-2023 年快速上量有望激活 SiC 一池春水。**800V 高压快充平台为解决里程焦虑的破局者，国内外车企从 2021 年起掀起一轮 800V 平台车型发布潮，国内造车新势力及传统汽车厂商旗下的智能电动品牌纷纷入场，以抢攻大功率快充高地。伴随高压平台逐渐落地，具有耐高压、低阻抗、无拖尾电流等优势 SiC 有望成为首选。
- **原料降价叠加优异性能，SiC 有望突破成本藩篱，SiC MOSFET 或将于 2023H2 达到价格甜蜜点，带动更多车端逆变器应用。**基于碳化硅电驱动系统可降低 4.43% 的典型城市工况行驶电耗的假设，由于 Si 方案提高续航需增加电池容量并在一定程度上增加电耗，因此若等效 SiC 方案的续航，Si 方案需明显提高电池容量，从这一方面来看 SiC 方案可以节约电池容量扩大所带来的成本提升。若 SiC 晶圆价格年降 10% 左右，则有望在 2023H2 获得正的成本节约值，SiC MOSFET 6 寸晶圆价格 3518 美元/片时整体效益达到平衡。
- **乘新能源车之风，功率碳化硅器件市场扬帆起航。**在 800V 平台+SiC 双重渗透下，我们预计国内 SiC 功率器件市场规模将在 23/24/25/26 年分别达到 5.30/9.23/15.71/25.59 亿美元，CAGR 高达 69.02%。我们以 WolfSpeed FY2021 给出的全球车载 SiC 器件市场空间计算国内占比，验证测算的准确性，22/24/26E 占比分别在 33.12%/49.11%/55.63%，到 2026 年占比与国内新能源车销量占比基本一致。
- **碳化硅衬底价值量较硅基晶圆呈现显著提升，其中 MOSFET 产品更重器件设计。**以各环节价格为基础数据，我们发现，在硅基晶圆中，衬底及外延分别占比 4.69%/5.22%，前道设计及制造占比 90%。而 6 寸碳化硅二极管中衬底占比显著提高至 40%。与器件设计制造基本一致；6 寸 SiC MOSFET 则向器件设计端倾斜，占比提升至 62.5%，我们测算的 MOSFET 结构情况与 Yole 给出的 1200V 产品结构基本一致。
- **SiC 市场起量期间，国内厂商抓住扩产机会布局碳化硅产业链，填补市场窗口。**目前，国内碳化硅供应仍处于起步期，且电控用碳化硅器件尚未实现 0 到 1 的突破，我们预计将于 2024 年实现上车。
- **海外扩产热情抬高碳化硅行业市场预期，短期业绩难以扰动长期信心。**自 2022 年 4 月底上证指数见底反转后，虽然全球半导体行业仍然处于周期下行阶段，但天岳先进收盘价呈现明显的逆周期上行趋势。其中，WolfSpeed FY22Q4 业绩超预期这一时间节点，带动了公司股价快速上升，且其他业务纯度较低或碳化硅业务仍处于规划阶段的公司也同样享受了这一利好（包括三安光电/东尼电子等）。天岳先进 8 月期间发布公司 22 半年报，营收及净利润均呈现同比大幅下滑，主要由于济南工厂部分半绝缘片产能转做导电衬底，印证了电力电子碳化硅景气高涨，因此短期的业绩不达预期并未对市场信心造成扰动。我们认为，上述股价复盘印证了电力电子碳化硅行业的较高投资热情，整体赛道特点目前为：

(1) Capex+Opex 属性建筑双重护城河;

(2) 与国内其他半导体厂商的国产替代主线逻辑不同, 碳化硅行业强 β 属性主要归因于全球碳化硅技术的低渗透率叠加 800V 平台大规模规划下行业供需格局高度紧张;

(3) 目前全球维度来看各大厂扩产热情高涨, 2021 年业绩尚处于起步阶段, 海外大厂投资建设碳化硅热情抬高了市场整体预期;

➤ **具体到公司维度, 我们测算了不同产线稼动率及良率/损耗情况下碳化硅衬底业务的毛利率情况。**

短期关注: 增加产能规模、提升机台稼动率, 通过规模效应摊薄研发成本、人力成本及折旧;

长期核心: 注重工艺维护, 良率提升及切磨抛损耗的下降将显著提升单机台产出, 扩大利润空间。

➤ **与此同时, 衬底的良率提升对整体芯片良率起重要作用, 而碳化硅产业链上下游高度耦合, 芯片良率的提升也将带动单晶圆供车量直线上升。**因此, 除公司本身稼动率及工艺提升程度测算或技术路径选择外, 也可密切跟踪车端应用情况 (衬底厂商通常与外延厂商签约后供给器件端/器件厂商直接与终端车厂或 Tier1 厂商签约) 以印证前述测算的准确性。

➤ **投资评级:** 看好

➤ **风险因素:** 新能源车销量不及预期; 光伏装机不及预期; 碳化硅渗透率不及预期; WolfSpeed 产线进展不及预期。

目录

行业概况：碳化硅性能优势体现，改善工艺控制为中期核心.....	6
电力电子碳化硅行业价值测算.....	9
需求端：碳化硅价格甜蜜点将至，800V 平台为主要驱动因素.....	9
产业链价值量：22-25E 降价假设下碳化硅器件各环节价值几何？.....	15
供给端：海外大厂扩产热情高涨，国内电控碳化硅仍为空白.....	17
投资策略：如何投资碳化硅行业？.....	19
投资建议.....	23
风险因素.....	24

表目录

表 1: 主要半导体材料性能参数.....	6
表 2: 不同车用环节对应的功率器件种类.....	10
表 3: SiC MOSFET 逆变器应用价格甜蜜点测算.....	12
表 4: 国内车用 SiC 器件市场空间 (亿美元).....	13
表 5: 光伏用 SiC 器件市场空间测算.....	14
表 6: 其他应用 SiC 器件市场空间测算.....	14
表 7: 800V 渗透率弹性测算.....	15
表 8: SiC MOSFET 及二极管各环节市场价值空间测算 (%，亿美元).....	16
表 9: 2021 年全球化合物半导体厂商碳化硅扩产项目.....	18
表 10: 全球电力电子碳化硅厂商规划目标.....	21
表 11: WolfSpeed 碳化硅业务展望.....	21
表 12: 电力电子碳化硅细分赛道龙头布局.....	23
表 13: 传统硅基功率器件企业电力电子碳化硅布局.....	23

图目录

图 1: 同规格碳化硅器件与硅器件对比.....	6
图 2: SiC MOSFET 相对硅基器件优势.....	7
图 3: 不同器件方案/开关频率下逆变器损耗情况 (kHz, W).....	7
图 4: 不同器件方案/结温下逆变器损耗情况 (kHz, °C).....	7
图 5: ST 测算的全 SiC 方案优势.....	7
图 6: 碳化硅衬底及晶圆端技术难点.....	8
图 7: 2018-2022H1 SiC/GaN/Si 晶体管价格对比情况 (元/A).....	8
图 8: 2020 年底-2022H1 各电压 SiC MOSFET 价格 (元/A).....	8
图 9: 2022H1 主流大厂 650/1200V SiC MOSFET 报价 (元/A).....	9
图 10: 2022H1 国际主流厂商 SiC MOSFET 现货率 (%).....	9
图 11: 车用功率器件应用范围.....	9
图 12: 全球车厂 800V 平台 Roadmap.....	11
图 13: 行驶电耗降低 4.43% 情况下不同电池容量及续航里程情况下碳化硅方案成本节约测算.....	12
图 14: NE 时代 800V 渗透率预测.....	13
图 15: WolfSpeed 全球车载 SiC 市场空间预测 (FY2021) 及我们预测的国内占比印证.....	14
图 16: 国内各应用合计碳化硅器件市场空间 (亿美元).....	15
图 17: 2026E 国内碳化硅器件应用结构 (%).....	15
图 18: 硅晶圆、碳化硅二极管及 MOSFET 产业链价值量分布测算 (\$).....	16
图 19: 1200V SiC MOSFET 成本结构 (Yole 预测均值, 2021).....	16
图 20: SiC MOSFET 各环节价值量预测 (\$).....	16

图 21: SiC 二极管各环节价值量预测 (\$)	16
图 22: 国内 SiC 行业分环节市场空间 (亿美元)	17
图 23: 国内 SiC 行业分环节占比 (%)	17
图 24: 全球主要厂商等效 6 寸 N 型衬底扩产规划	18
图 25: 国内主要厂商供给 Roadmap	19
图 26: 天岳先进收盘价及全球半导体销售额同比增速 (元/股, %)	20
图 27: 国际主要厂商电力电子 SiC 器件收入 (\$M, %)	20
图 28: 国际主要厂商电力电子 SiC 外延片收入 (\$M, %)	20
图 29: 国际主要厂商电力电子 SiC 衬底收入 (\$M, %)	21
图 30: 6 寸 N 型碳化硅衬底产线毛利率测算	22
图 31: 不同芯片良率下单晶圆供车量测算 (辆)	23

行业概况：碳化硅性能优势体现，改善工艺控制为中期核心

作为第三代半导体材料的代表，SiC 具有大禁带宽度、高击穿电场强度、高饱和漂移速度和高热导率等优良特性。SiC 的禁带宽度 (2.3-3.3eV) 约是 Si 的 3 倍，击穿电场强度 ($0.8 \times 10^6V/cm-3 \times 10^6V/cm$) 约是 Si 的 10 倍，热导率 ($490W/(m \cdot K)$) 约是 Si 的 3.2 倍，可以满足高温、高功率、高压、高频等多种应用场景。

表 1: 主要半导体材料性能参数

特性	Si	GaAs	4H-SiC	6H-SiC	2H-GaN
禁带宽度/eV	1.12	1.424	3.26	3.02	3.39
电子迁移率/($cm^2/(V \cdot s)$)	1400	8500	900	600	1100
击穿电场强度/($10^6V/cm$)	0.3	0.4	2.2	2.5	3.3
热导率/($W/(m \cdot K)$)	149	54	490	490	130
饱和速度/($10^5m/s$)	1	2	2.7	2	2.9
介电常数	11.8	12.8	10	9.7	8.9

资料来源: 集成电路产业全书, 信达证券研发中心

与硅基半导体材料相比，以碳化硅为代表的第三代半导体材料具有高击穿电场、高饱和电子漂移速度、高热导率、高抗辐射能力等特点，适合于制作高温、高频、抗辐射及大功率器件。

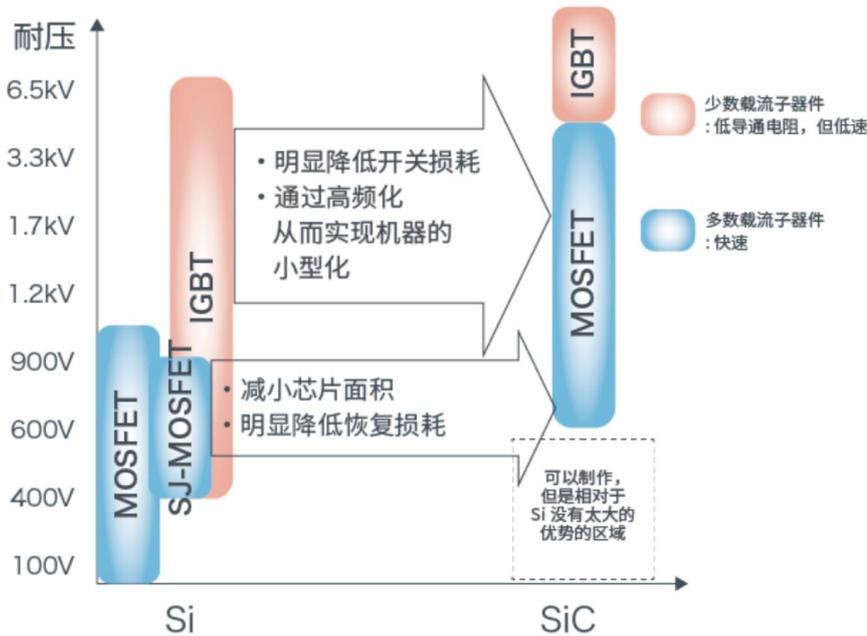
图 1: 同规格碳化硅器件与硅器件对比



资料来源: Rohm, 天科合达招股说明书, 信达证券研发中心

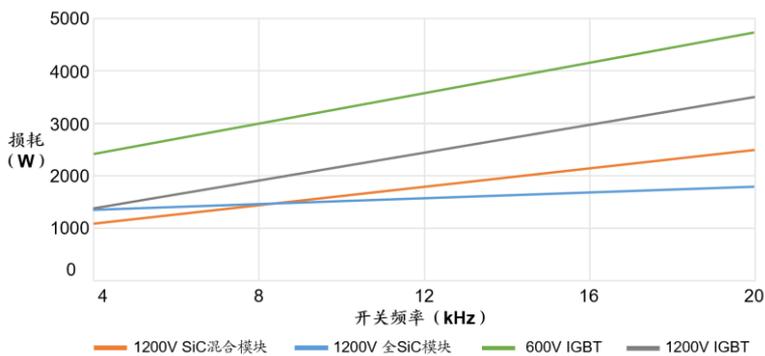
Si 材料中越是高耐压器件，单位面积的导通电阻也越大（以耐压值的约 2~2.5 次方的比例增加），因此 600V 以上的电压中主要采用 IGBT。IGBT 通过电导率调制，向漂移层内注入作为少数载流子的空穴，因此导通电阻比 MOSFET 还要小，但是同时由于少数载流子的积聚，在 Turn-off 时会产生尾电流，从而造成极大的开关损耗。

SiC 器件漂移层的阻抗比 Si 器件低，不需要进行电导率调制就能够以 MOSFET 实现高耐压和低阻抗，而且 MOSFET 原理上不产生尾电流，所以用 SiC-MOSFET 替代 IGBT 时，能够明显地减少开关损耗，并且实现散热部件的小型化。另外，SiC-MOSFET 能够在 IGBT 不能工作的高频条件下驱动，从而也可以实现无源器件的小型化。与 600V~900V 的 Si-MOSFET 相比，SiC-MOSFET 的优势在于芯片面积小（可实现小型封装），而且体二极管的恢复损耗非常小，主要应用于工业机器电源、高效率功率调节器的逆变器或转换器中。

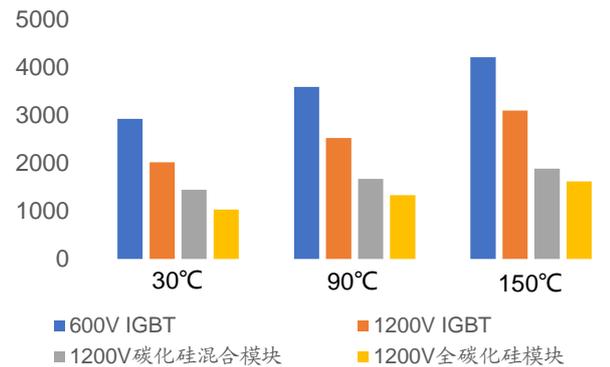
图 2: SiC MOSFET 相对硅基器件优势


资料来源: ROHM, 宽禁带半导体技术创新联盟, 信达证券研发中心

以 80kW EV 为例, ST 测算了 SiC MOSFET 与 Si IGBT+二极管方案下的牵引逆变器功率损耗。归因于 SiC 更优的 FOM 参数性能, SiC MOSFET 在更高的结温情况下损耗减少更多, 合计导通损耗后相比硅基方案减耗 40%。

图 3: 不同器件方案/开关频率下逆变器损耗情况 (kHz, W)


资料来源: Warwick, 芯 TIP, 信达证券研发中心

图 4: 不同器件方案/结温下逆变器损耗情况 (kHz, °C)


资料来源: Warwick, 芯 TIP, 信达证券研发中心

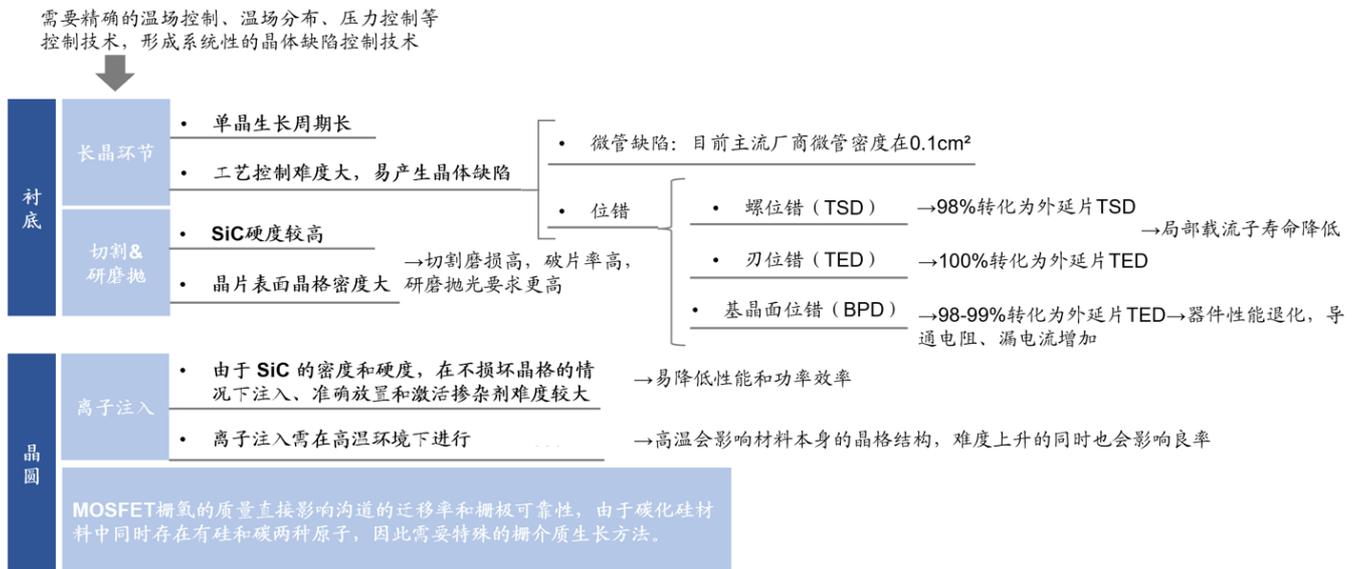
图 5: ST 测算的全 SiC 方案优势

能量损耗情况	Si IGBT+Si 二极管方案	全 SiC 方案	备注
合计芯片面积	400mm ² (IGBT) + 200mm ² (二极管)	140mm ²	节约 4.3x 芯片面积
导通损耗 (W)	244.1	377.9	
开启损耗 (W)	105.1	24.1	减少 4x 损耗
关闭损耗 (W)	228.4	32.7	减少 7x 损耗
二极管导通损耗 (W)	45.9	可忽略不计	
二极管 Qrr 损耗 (W)	99.5	可忽略不计	
合计损耗 (W)	723	435	减少 40% 损耗
结温 (°C)	142.8	162.6	T _J < 80% T _{Jmax}

资料来源: ST, 信达证券研发中心

碳化硅衬底企业发展主要掣肘为工艺难点及价格，其中工艺为核心要素，工艺控制的改善也将有效改善生产成本，缩小与 Si IGBT 之间的价差后带动产业链整体放量。长晶环节是关键，碳化硅需要在高温、真空环境中生长，对温场稳定性的要求高，其生长速度相比硅材料有数量级的差异；此外，碳化硅存在 200 多种同质异构体，在密闭的高温石墨坩埚中生长，无法即时观察晶体的生长状况，容易产生位错及异质晶型，影响良率。**器件环节**，由于碳化硅材料同时存在硅与碳两种原子，因此需要特殊的栅介质生长方法，栅氧质量将直接影响沟道和栅极的可靠性，离子注入环节也容易降低性能及功率效率。

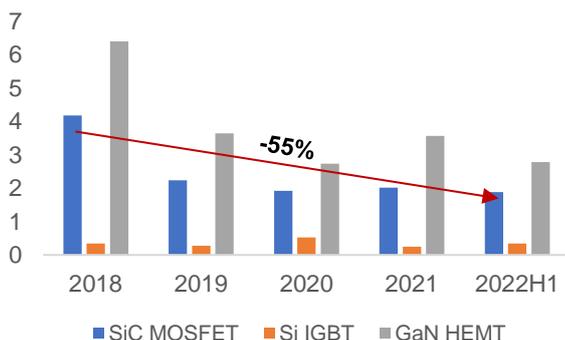
图 6：碳化硅衬底及晶圆端技术难点



资料来源：集成电路材料研究，旺财芯片，SEMI，基本半导体，芯 TIP，信达证券研发中心

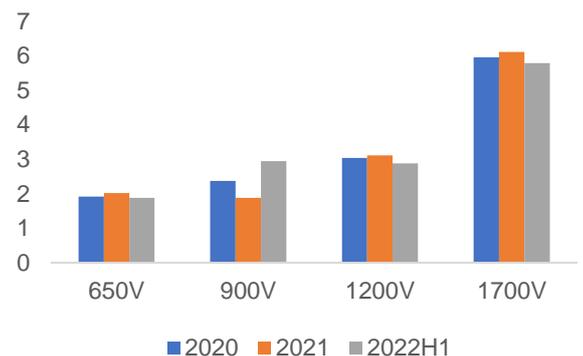
价格层面，22H1 产品价格继续回落，价差进一步缩小。价格方面，2022 年上半年 SiC、GaN 晶体管的均价较 2021 年底有所下降。根据 Mouser 数据，SiC MOSFET 方面，650V、900V、1200V、1700V 的产品均价分别为 1.88 元/A、2.94 元/A、2.88 元/A、5.78 元/A；较 2021 年底分别下降了 -7.13%、-56.49%、-7.25%、-5.33%，基本回到 2020 年底价格水平。

图 7：2018-2022H1 SiC/GaN/Si 晶体管价格对比情况 (元/A)



资料来源：Mouser，材料深一度，信达证券研发中心

图 8：2020 年底-2022H1 各电压 SiC MOSFET 价格 (元/A)



资料来源：Mouser，材料深一度，信达证券研发中心

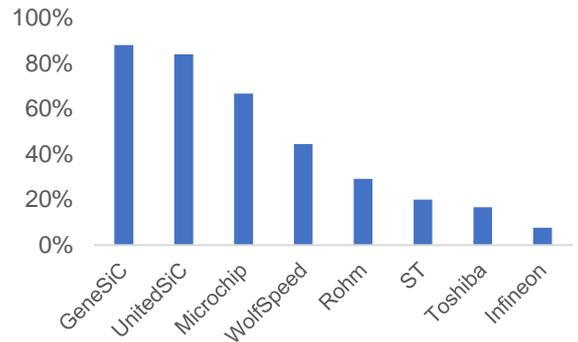
主流大厂 SiC MOSFET 1200V 产品价格涨幅收窄。据 Mouser、得捷公开报价显示，650V 产品价格整体增长 40.16%，其中 ST 价格上涨了 70%，UnitedSiC、Wolf speed 分别 +43.61%/35.14%。而 1200V 产品价格的涨幅较 2021 年明显收窄。ST、ROHM 平均价格涨幅在 5% 以内。

22H1 现货率仍然较低，但缺货紧张情况缓解。从现货情况及交货周期来看，缺货及供应链紧张情况有所缓解。2021 年底，产品缺少现货（正常库存比例小于 60%），且交货周期均较长，达到 30 周以上。2022 年上半年，在售产品现货比例超过 88%，而非现货交货周期有所缩短。

图 9: 2022H1 主流大厂 650/1200V SiC MOSFET 报价 (元/A)

650V	2020	2021	2022H1
UnitedSiC	1.38	1.78	2.54
WolfSpeed		1.97	2.66
ST	1.28	2.41	4.12
Rohm	2.43		3.64
1200V	2020	2021	2022H1
UnitedSiC	2.24	3.2	4.02
WolfSpeed	3.79	3.15	3.74
ST	2.38	3.69	3.88
Rohm	4.01	4.5	4.72
Infineon	1.74	3.59	

资料来源: Mouser, 材料深一度, 信达证券研发中心

图 10: 2022H1 国际主流厂商 SiC MOSFET 现货率 (%)


资料来源: Mouser, 材料深一度, 信达证券研发中心

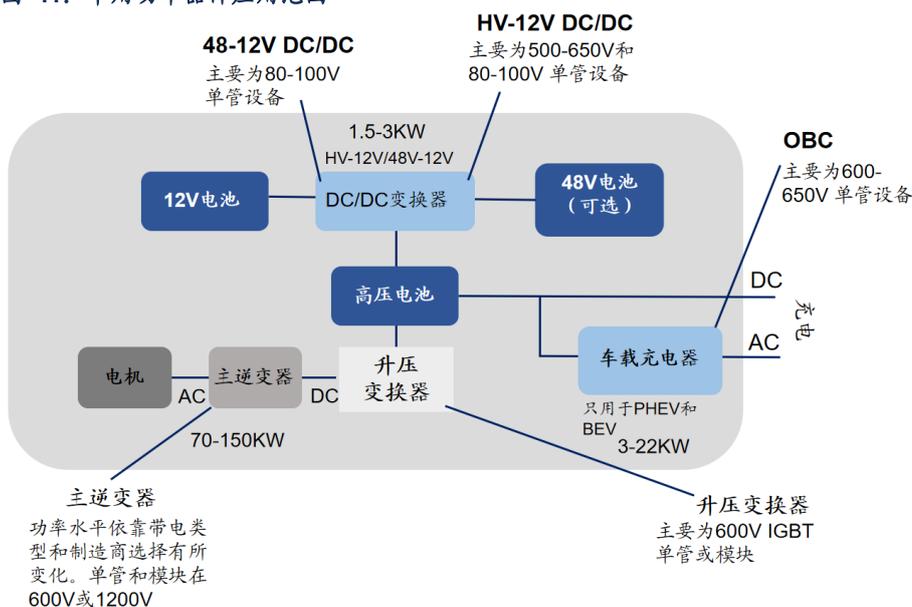
我们认为, 后续实现碳化硅降价的路径主要分为四点:

- (1) 增加产能规模、提升机台稼动率, 通过规模效应摊薄研发成本、人力成本及折旧;
- (2) 引入智能制造手段, 通过高效的数据及流程管理, 增加生产效率;
- (3) 继续提高并优化现有 PVT 长晶技术, 改善切磨抛工艺, 提高碳化硅衬底综合良率;
- (4) 开发颠覆性创新技术 (如液相熔体长晶技术、激光切割技术、Grinding 技术等), 突破现有传统技术的极限瓶颈, 实现成本的显著下降。

电力电子碳化硅行业价值测算

需求端: 碳化硅价格甜蜜点将至, 800V 平台为主要驱动因素

EV/HEV 是未来 SiC 功率器件的主要驱动力。其中碳化硅器件下游应用主要包含主逆变器、DC-DC、OBC、DC-DC。对于电动汽车, 不同应用部件对于车规级功率器件的功率等级要求不同, 其中主逆变器功率要求最高, 也是碳化硅器件可靠性要求最高的环节。

图 11: 车用功率器件应用范围


资料来源: Yole, 信达证券研发中心

表 2: 不同车用环节对应的功率器件种类

车型	OBC	主逆变器	升压变换器	DC-DC 变换器
ICE	-	-	-	-
MHEV	-	LV MOSFET/GaN HEMT 5-20 kW Av: 15 kW	-	
HEV	-	IGBT 模块 /SiC MOSFET 40-120 kW Av: 70 kW	IGBT 30-100 kW Av: 50 kW	LV MOSFET/GaN HEMT 1.5-4 kW Av: 2 kW
PHEV			IGBT 30-100 kW Av: 50 kW	HV MOSFET/GaN HEMT/ SiC MOSFET 1.5-5 kW Av: 3 kW
BEV	IGBT/ SiC MOSFET /GaN HEMT 3.3, 7, 22, 43 kW Av: 10kW	IGBT 模块 / SiC MOSFET 60-600 kW Av: 70-150 kW		
FCEV		IGBT 模块 / SiC MOSFET 40-120 kW Av: 70 kW	IGBT 30-100 kW Av: 50 kW	

资料来源: Yole, 信达证券研发中心

800V 高压平台加速落地，2022-2023 年快速上量有望激活 SiC 一池春水。800V 高压快充平台为解决里程焦虑的破局者，国内外车企从 2021 年起掀起一轮 800V 平台车型发布潮，国内造车新势力及传统汽车厂商旗下的智能电动品牌纷纷入场，以抢攻大功率快充高地。伴随高压平台逐渐落地，具有耐高压、低阻抗、无拖尾电流等优势 SiC 有望成为首选。

图 12: 全球车厂 800V 平台 Roadmap

	—2020	2021	2022	2023	2024—
		11月发布首款800V车型机甲龙, 限量版于2021年上市	预计机甲龙普通版车型陆续实现上市交付		
		发布800V e3.0平台, 首款车型海狮2021年上市(未搭载800V快充)	e3.0平台首款SUV车型元plus上市(未搭载800V快充)		
		9月公布自研800V高压平台, 已进入整车测试阶段	8月发布A480超充桩, 9月首款800V车型AION V Plus上市		
	2020年9月发布支持800V的SEA浩瀚架构	搭载SEA浩瀚架构的极氪001于2021年上市(未搭载800V快充), 此后将陆续发布800V车型。			
			9月800V SiC车型G9上市		
			同步研发基于SiC的两个高压纯电平台Whale及Shark, 及400kW大功率充电桩	计划2023年起每年至少推出两款高压纯电动汽车, 后续纯电动车型将全部采用高压平台	
		发布800V高压平台, 支持400kW快充			预计800V高压车型预计于2024年前开始量产
			发布500kW超快充, 预计2022年年底投入部署。800V高压平台电池包及配套换电体系正在开发阶段, 将面向全行业开放		
		发布800V电驱平台	8月800V车型阿维塔11上市		
			发布800V高压平台B.H.D及搭载高压平台的远航系列车型(Y6、Y7、H8、H9)		
					800V车型Polestar 5计划于2024年上市
				10月800V车型Eletre上市	
		发布800V车型阿尔法S HI	800V车型阿尔法S HI上市		
	2020年12月发布800V E-GMP平台	E-GMP平台800V车型起亚EV6上市, 同时支持400V和800V现代IONIQ 5充电桩上市。后续IONIQ车型均基于E-GMP平台			
					SSP平台800V旗舰纯电动车型Trinity预计于2026年量产
	2020年发布Ultium纯电平台, 最高可支持350kW/800V高压直流快充		Ultium平台800V车型悍马EV 将于2022秋季-2023年陆续上市		
		J1平台800V e-tron GT车型首发, PPE平台800V A6 e-tron概念车发布		A6 e-tron预计将于2023-2024年首发	
	2019年J1平台 800V车型Taycan量产				PPE平台800V车型Macan预计于2024年上市
		推出900V+电压电池的Lucid Air, 配有碳化硅转换器, 于2021年Q4上市			
					预计2024年800V架构MMA平台上市并发布4款纯电动车型
					预计2024年发布800V EMA平台首款纯电动车型

资料来源: 信达证券研发中心整理

原料降价叠加优异性能, SiC有望突破成本藩篱, SiC MOSFET 或将于 2023H2 达到价格甜蜜点, 带动更多车端逆变器应用。

- 基于碳化硅电驱动系统可降低 4.43% 的典型城市工况行驶电耗的假设, 由于 Si 方案提高续航需增加电池容量并在一定程度上增加电耗, 因此若等效 SiC 方案的续航, Si 方案需明显提高电池容量, 从这一方面来看 SiC 方案可以节约电池容量扩大所带来的成本提升。若 SiC 晶圆价格年降 10% 左右, 则有望在 2023H2 获得正的成本节约值, SiC MOSFET 6 寸晶圆价格 3518 美元/片时整体效益达到平衡。
- 此外, 我们也进行了行驶电耗降低 4.43% 情况下不同电池容量及续航里程情况下碳化硅方案成本节约测算。在 2022 年的 SiC 和 Si 的单车成本差距水平下, 电池容量在 70kWh 以上的车型如果系统效率提升可达 6% 以上, SiC 方案会更具有成本优势; 2023 年叠加原材料价格下降的趋势, 系统效率提升 4% 以上即可使得提

效节约的成本覆盖 SiC 器件成本。

表 3: SiC MOSFET 逆变器应用价格甜蜜点测算

Si IGBT 方案	单位	2020	2021	2022E	2023E	2024E	2025E
Si 方案电池总成	元	61748.0	56181.1	51116.2	46507.8	42314.9	38500.0
工况续航	km	600.0	618.8	638.2	658.1	678.7	700.0
百公里电耗	kWh/100km	14.1	13.4	12.8	12.1	11.6	11.0
电池容量	kWh	84.6	83.0	81.5	80.0	78.5	77.0
度电单价	元/kWh	729.9	676.7	627.4	581.7	539.3	500.0
SiC MOSFET 方案	单位	2020	2021	2022E	2023E	2024E	2025E
工况续航提升		4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%
工况续航	km	624.0	643.5	663.7	684.5	705.9	728.0
续航变化	km	24.0	24.8	25.5	26.3	27.1	28.0
百公里电耗下降		4.4%	4.4%	4.4%	4.4%	4.4%	4.4%
百公里电耗	kWh/100km	13.5	12.8	12.2	11.6	11.0	10.5
电耗变化	kWh/100km	-0.6	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5
电池容量	kWh	84.1	82.5	81.0	79.5	78.0	76.5
电池容量变化	kWh	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
SiC MOSFET 与 IGBT 价差	元	4485.6	3896.0	3360.0	2616.8	2145.1	1720.6
SiC 晶圆价格	美元	4840.0	4400.0	4000.0	3520.0	3168.0	2851.2
SiC MOSFET 成本	元	6485.6	5896.0	5360.0	4716.8	4245.1	3820.6
IGBT 成本	元	2000.0	2000.0	2000.0	2100.0	2100.0	2100.0
方案差异	单位	2020	2021	2022E	2023E	2024E	2025E
Si 方案若提高工况续航 4%	km	624.0	643.5	663.7	684.5	705.9	728.0
百公里电耗假设同时提高 1%	kWh/100km	14.2	13.6	12.9	12.3	11.7	11.1
等效电池容量	kWh	88.9	87.2	85.6	84.0	82.4	80.9
SiC 方案电池容量节约	kWh	4.8	4.7	4.6	4.5	4.4	4.3
度电单价维持 Si 方案不变	元/kWh	729.9	676.7	627.4	581.7	539.3	500.0
等效 Si 方案电池总成	元	3487.0	3172.7	2886.6	2626.4	2389.6	2174.2
SiC 方案成本节约	元	-998.6	-723.3	-473.4	9.6	244.5	453.6

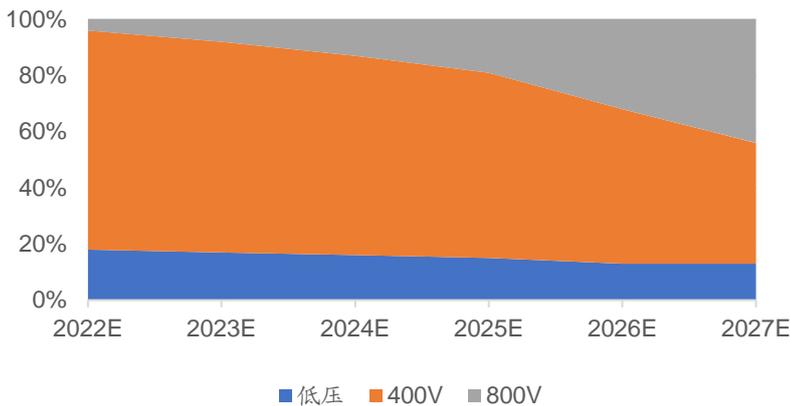
资料来源: 信达证券研发中心测算

图 13: 行驶电耗降低 4.43% 情况下不同电池容量及续航里程情况下碳化硅方案成本节约测算

续航里程提升假设/电池容量	2022年			2023年		
	80kWh	90kWh	100kWh	80kWh	90kWh	100kWh
2%	-24.58%	-15.15%	-5.72%	2%	-3.16%	8.95%
3%	-13.69%	-2.91%	7.88%	3%	10.82%	24.67%
4%	-3.02%	9.10%	21.22%	4%	24.52%	40.09%
5%	7.45%	20.88%	34.31%	5%	37.97%	55.21%
6%	17.72%	32.44%	47.16%	6%	51.16%	70.05%
7%	27.81%	43.78%	59.76%	7%	64.10%	84.62%

资料来源: 信达证券研发中心测算

需求测算假设: 由于行业对 800V 渗透率意见不一, 我们参考 NE 时代给出的 800V 渗透率并给予一定浮动, 后文我们将在其他应用测算的市场空间合计基础上, 给予各车型 800V 渗透率 $\pm 15\%$ 的弹性测算, 提供国内碳化硅器件整体区间指引。

图 14: NE 时代 800V 渗透率预测


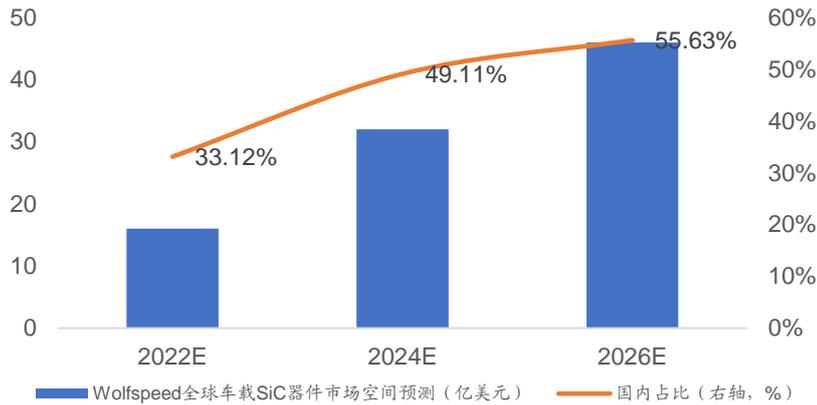
资料来源: NE 时代, 信达证券研发中心

乘新能源车之风, 功率碳化硅器件市场扬帆起航。根据我们的测算, 在 800V 平台+SiC 双重渗透下, 我们预计国内 SiC 功率器件市场规模将在 2023/2024/2025/2026 年分别达到 5.30/9.23/15.71/25.59 亿美元, CAGR 高达 69.02%。我们以 WolfSpeed FY2021 给出的全球车载 SiC 器件市场空间计算国内占比, 验证测算的准确性, 22/24/26E 占比分别在 33.12%/49.11%/55.63%, 到 2026 年占比与国内新能源车销量占比基本一致。

表 4: 国内车用 SiC 器件市场空间 (亿美元)

		2020	2021	2022E	2023E	2024E	2025E	2026E
800V 渗透率 (%)	A				33%	41%	50%	72%
	EV B				13%	16%	21%	26%
	C				10%	15%	23%	32%
	PHEV C				10%	15%	23%	32%
	EV 商用车				5%	11%	22%	32%
	PHEV 商用车				10%	15%	23%	32%
合计新能源车 800V 渗透率 (%)					12%	15%	21%	30%
碳化硅渗透率 (%)	A				42%	55%	68%	78%
	EV B		-		80%	84%	88%	93%
	C				85%	89%	92%	95%
	PHEV C				80%	84%	88%	93%
	EV 商用车				60%	72%	81%	89%
	PHEV 商用车				60%	72%	81%	89%
合计碳化硅电控搭载销量 (万辆)					40.15	76.95	148.81	269.24
合计碳化硅电控渗透率 (%)					6.22%	9.63%	15.54%	24.24%
碳化硅平均单车价值量 (\$/辆)					1320	1200	1056	950
合计车载碳化硅市场空间 (亿美元)					5.30	9.23	15.71	25.59

资料来源: 信达证券研发中心测算

图 15: WolfSpeed 全球车载 SiC 市场空间预测 (FY2021) 及我们预测的国内占比印证


资料来源: WolfSpeed, 信达证券研发中心测算

除新能源车将显著带动碳化硅市场需求外, 光伏逆变器、高压充电桩、轨交电网等其他应用也将为碳化硅市场创造增量。其中, 光伏方面, 未来光伏设备的技术发展趋势是提高功率, 减小体积与质量和提高稳定性。光伏逆变器是保障光伏发电系统高效、经济和稳定运行的重要一环。低阻抗、适应高频高压环境工作 SiC 材料将在光伏发电领域有巨大潜力。我们预计国内光伏板块 SiC 市场空间 23/24/25/26 年分别为 2.99/7.34/11.61/16.85 亿美元。

表 5: 光伏用 SiC 器件市场空间测算

	2017	2018	2019	2020	2021	2022E	2023E	2024E	2025E	2026E
全球新增光伏装机 (Gw)	99	108	118	144	183	228	308	416	499	573
光伏逆变器价格 (元/W)	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
IGBT 占逆变器成本占比 (%)	15%	15%	15%	15%	14%	13%	12%	12%	12%	12%
IGBT 单位成本 (亿元/Gw)	0.38	0.36	0.34	0.33	0.29	0.26	0.24	0.24	0.24	0.24
SiC/IGBT 价差 (x)					3.00	2.70	2.43	2.19	1.97	1.97
SiC 单位成本 (亿元/Gw)					0.87	0.70	0.58	0.52	0.47	0.47
中国光伏逆变器市占率 (%)	57.00%	60.00%	63.00%	66.15%	69.46%	72.93%	74.39%	75.13%	75.88%	76.64%
SiC 渗透率 (%)					5%	10%	15%	30%	44%	54%
国内光伏 SiC 市场空间 (亿美元)					0.83	1.74	2.99	7.34	11.61	16.85

资料来源: 信达证券研发中心测算

表 6: 其他应用 SiC 器件市场空间测算

	2021	2022E	2023E	2024E	2025E	2026E
全球 xEV 用充电桩 SiC 市场空间 (亿美元)	0.37	0.45	0.55	0.68	0.85	1.07
国内占比 (%)	50%	55%	58%	61%	64%	67%
国内 xEV 用充电桩 SiC 市场空间 (亿美元)	0.19	0.25	0.32	0.41	0.54	0.72
全球轨交电网 SiC 市场空间 (亿美元)	0.78	0.88	0.99	1.16	1.37	1.64
国内占比 (%)				40%		
国内轨交电网 SiC 市场空间 (亿美元)	0.31	0.35	0.40	0.47	0.55	0.66
其他应用 (UPS/风能等)	1.37	1.67	2.05	2.80	3.58	4.51
国内其他应用 SiC 市场空间 (亿美元)	0.41	0.50	0.62	0.84	1.07	1.35

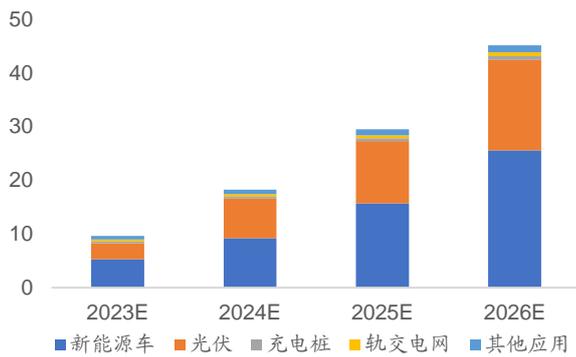
资料来源: Yole, 信达证券研发中心测算

根据上述测算, 我们总结国内碳化硅市场空间合计情况如下, 并给予 800V 渗透率的弹性测算。23/24/25/26 国内合计碳化硅市场空间分别在 9.62/18.29/29.48/45.16 亿美元, CAGR 在 67%, 其中 2026 年新能源车占比约为 57%, 光伏占比 37%, 为两大主要市场。

在各车型 800V 渗透率* (1 ± 15%) 的情况下, 合计碳化硅器件市场空间较中性预测变动区间在 ± 10% 范围内, 800V 渗透为碳化硅空间的关键影响指标。此外, 我们认为, 光伏 SiC 的加速渗透或将进一步为 SiC 市场空间提

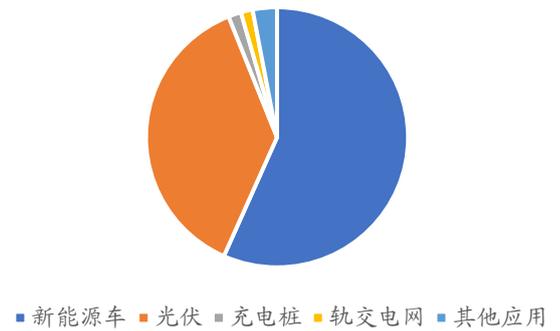
供超额机会。

图 16: 国内各应用合计碳化硅器件市场空间 (亿美元)



资料来源: 信达证券研发中心测算

图 17: 2026E 国内碳化硅器件应用结构 (%)



资料来源: 信达证券研发中心测算

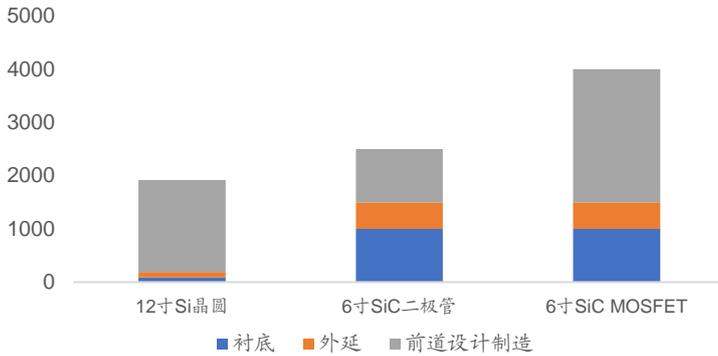
表 7: 800V 渗透率弹性测算

	2023E	2024E	2025E	2026E
中性预测下合计新能源车 800V 渗透率 (%)	12%	15%	21%	30%
悲观假设	各车型 800V 渗透率* (1-15%)			
合计新能源车 800V 渗透率 (%)	10%	13%	18%	25%
合计碳化硅电控搭载销量 (万辆)	33.20	63.44	122.54	228.86
合计车载碳化硅市场空间 (亿美元)	4.38	7.61	12.94	21.75
合计碳化硅器件市场空间 (亿美元)	8.70	16.67	26.70	41.33
较中性预测变化 (%)	-9.53%	-8.86%	-9.41%	-8.50%
乐观假设	各车型 800V 渗透率* (1+15%)			
合计新能源车 800V 渗透率 (%)	14%	18%	24%	34%
合计碳化硅电控搭载销量 (万辆)	44.92	85.83	165.80	309.63
合计车载碳化硅市场空间 (亿美元)	5.93	10.30	17.51	29.43
合计碳化硅器件市场空间 (亿美元)	10.25	19.36	31.27	49.00
较中性预测变化 (%)	6.55%	5.83%	6.08%	8.50%

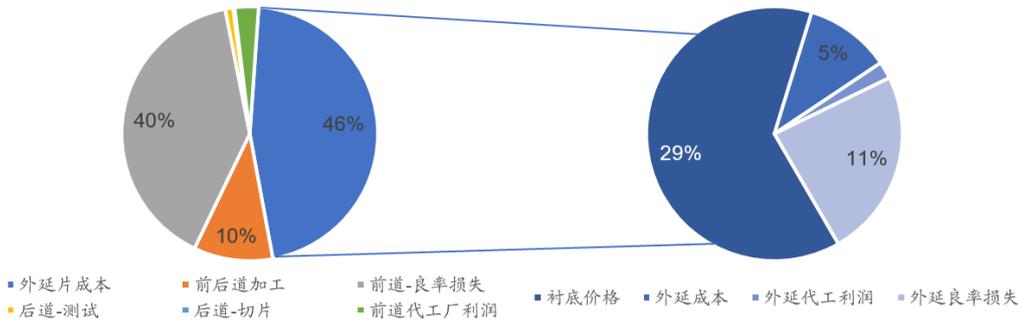
资料来源: 信达证券研发中心测算

产业链价值量: 22-25E 降价假设下碳化硅器件各环节价值几何?

碳化硅衬底价值量较硅晶圆呈现显著提升, 其中 MOSFET 产品更重器件设计。以各环节价格为基础数据, 我们发现, 在硅晶圆中 (以 12 寸 3D NAND 为例), 衬底及外延分别占比 4.69%/5.22%, 前道设计及制造占比 90%。而 6 寸碳化硅二极管中衬底占比显著提高至 40%。与器件设计制造基本一致; 6 寸 SiC MOSFET 则向器件设计端倾斜, 占比提升至 62.5%, 我们测算的 MOSFET 结构情况与 Yole 给出的 1200V 产品结构基本一致。

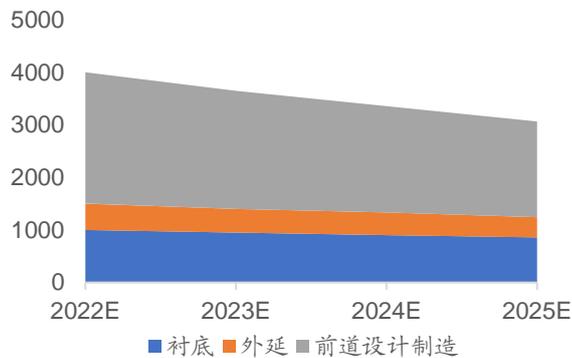
图 18: 硅基晶圆、碳化硅二极管及 MOSFET 产业链价值量分布测算 (\$)


资料来源: Yole, 信达证券研发中心

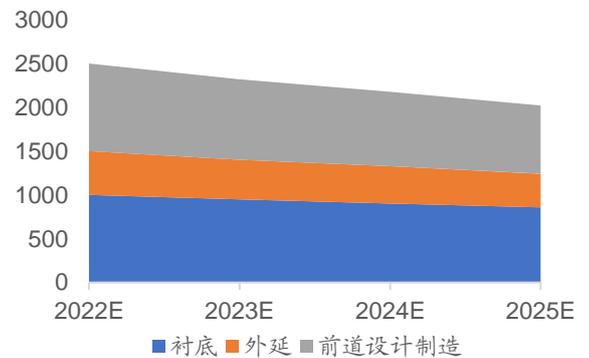
图 19: 1200V SiC MOSFET 成本结构 (Yole 预测均值, 2021)


资料来源: Yole, 信达证券研发中心

由于碳化硅产业链厂商纷纷开展产能扩张、工艺提升等规划, 碳化硅成本将显著下降, 基于前文测算的价值量分布, 我们给出各环节 22-25E 降价假设, SiC MOSFET 价值将由 2022 年 4000\$/片下降至 2025 年 3065\$/片。

图 20: SiC MOSFET 各环节价值量预测 (\$)


资料来源: 信达证券研发中心测算

图 21: SiC 二极管各环节价值量预测 (\$)


资料来源: 信达证券研发中心测算

结合各应用市场空间测算及 MOSFET/二极管占比假设, 我们给出各应用环节及产品端测算如下:

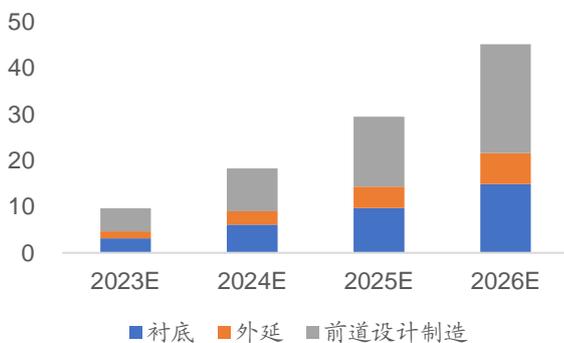
表 8: SiC MOSFET 及二极管各环节市场价值空间测算 (%, 亿美元)

	2023E	2024E	2025E	2026E
800V 电控	4.24	7.39	12.57	20.47
<i>MOSFET</i>	100%	100%	100%	100%
其他车载应用	1.06	1.85	3.14	5.12
<i>MOSFET</i>	15%	28%	35%	41%
<i>二极管</i>	85%	72%	65%	59%

光伏		2.99	7.34	11.61	16.85
	MOSFET	5%	10%	23%	35%
	二极管	95%	90%	77%	65%
充电桩		0.32	0.41	0.54	0.72
	MOSFET	10%	28%	42%	54%
	二极管	90%	72%	58%	46%
轨交电网		0.40	0.47	0.55	0.66
	MOSFET	50%	55%	60%	64%
	二极管	50%	45%	41%	36%
其他		0.62	0.84	1.07	1.35
	MOSFET	10%	15%	17%	21%
	二极管	90%	86%	83%	79%
MOSFET 合计		4.84	9.11	17.11	29.55
二极管合计		4.78	9.18	12.37	15.62
SiC MOSFET		2023E	2024E	2025E	2026E
	衬底	1.21	2.37	4.60	8.27
	外延	0.61	1.12	2.18	3.71
	前道设计制造	3.03	5.61	10.33	17.57
SiC 二极管		2023E	2024E	2025E	2026E
	衬底	1.91	3.76	5.13	6.63
	外延	0.96	1.78	2.43	2.97
	前道设计制造	1.91	3.64	4.81	6.02

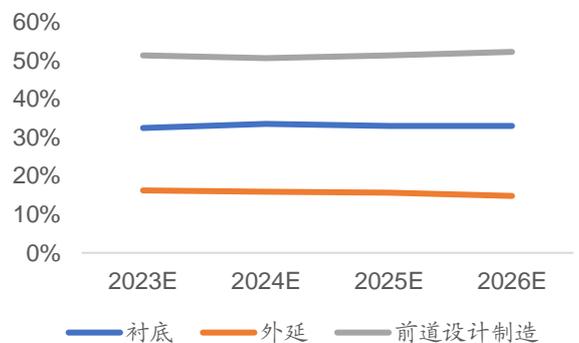
资料来源：信达证券研发中心测算

图 22：国内 SiC 行业分环节市场空间（亿美元）



资料来源：信达证券研发中心测算

图 23：国内 SiC 行业分环节占比 (%)



资料来源：信达证券研发中心测算

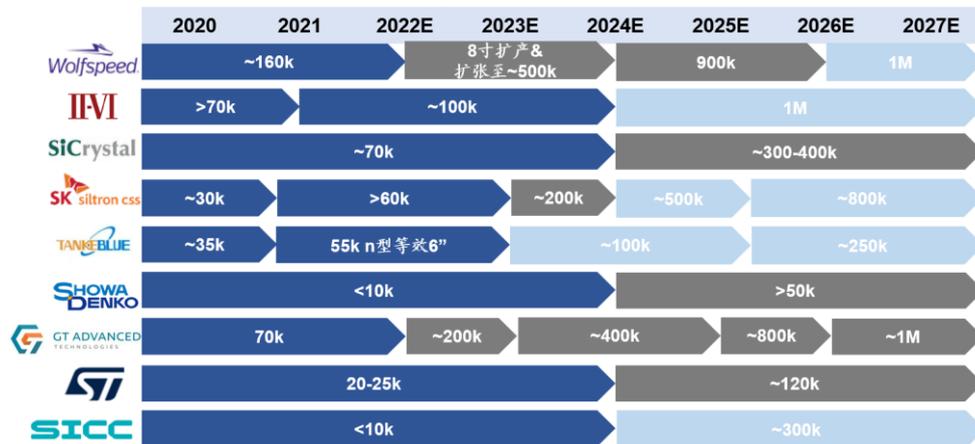
供给端：海外大厂扩产热情高涨，国内电控碳化硅仍为空白

国际厂商 SiC 扩产持续，供给竞争激烈。根据 CASA，2021 年国际上第三代半导体领域至少有 9 起重点扩产计划，其中涉及 SiC 产业链的包含 7 起，披露的扩产金额超过 80 亿元人民币。美国 II-VI 计划在五年内将 SiC 衬底（含 8 英寸）生产能力提高 5 至 10 倍；日本 Showa Denko 宣布投资 58 亿日元（3.4 亿人民币）用于 SiC 晶圆和锂离子电池材料扩产，项目预计 2023 年 12 月完工；ROHM、韩国 SK 集团、Silicon Works、Yes Power Technix 等近期均宣布 SiC 相关扩产计划。此外，国际汽车零部件供应商 Bosch 集团加强自主生产 SiC 芯片，其第二代产品预计明年投入量产。

表 9: 2021 年全球化合物半导体厂商碳化硅扩产项目

地区	企业	事件
美国	II-VI	在位于中国福州的亚洲区域总部建立了用于 SiC 导电衬底的后段加工线，该生产线的面积超过 4645 平方米。并计划将在五年内将 SiC 衬底生产能力提高 5 至 10 倍，其中包括 8 英寸衬底。
欧洲	Bosch	Bosch 宣布开始生产 SiC 半导体芯片，开始研发功率密度更高的第二代 SiC 芯片，预计明年投入量产。
日本	Showa Denko	投资 58 亿日元 (3.4 亿元人民币) 扩产 SiC 晶圆，扩产项目预计 2023 年 12 月完工。此前昭和电工已经通过 6 次扩产，将产能提升了 6 倍。
	Rohm	罗姆的宫崎新工厂竣工，将于 2022 年正式投入运营。未来它将投资超过 38 亿人民币，将 SiC 产能扩大 5 倍。2021 年 5 月，罗姆宣布了一项中期管理计划，提出了要抢占全球 30% 的 SiC 市场目标。
	SK Systems	SK 集团计划在 SiC 半导体晶圆业务上投资 7000 亿韩元 (约 38.22 亿元人民币)。
韩国	Silicon Works	LG 集团旗下子公司 Silicon Works 宣布扩大其半导体业务，重点押注 SiC PMIC 以及 MCU。
	Yes Power Technix	Yes Power 宣布在釜山建设新的工厂，用于批量生产 6 英寸 SiC 功率芯片，扩产将使其产能翻番。

资料来源: CASA, 信达证券研发中心

图 24: 全球主要厂商等效 6 寸 N 型衬底扩产规划


资料来源: Yole, 信达证券研发中心

SiC 市场起量期间，国内厂商抓住扩产机会布局碳化硅产业链，填补市场窗口。目前，国内碳化硅供应仍处于起步期，且电控用碳化硅器件尚未实现 0 到 1 的突破，我们预计将于 2024 年实现上车。

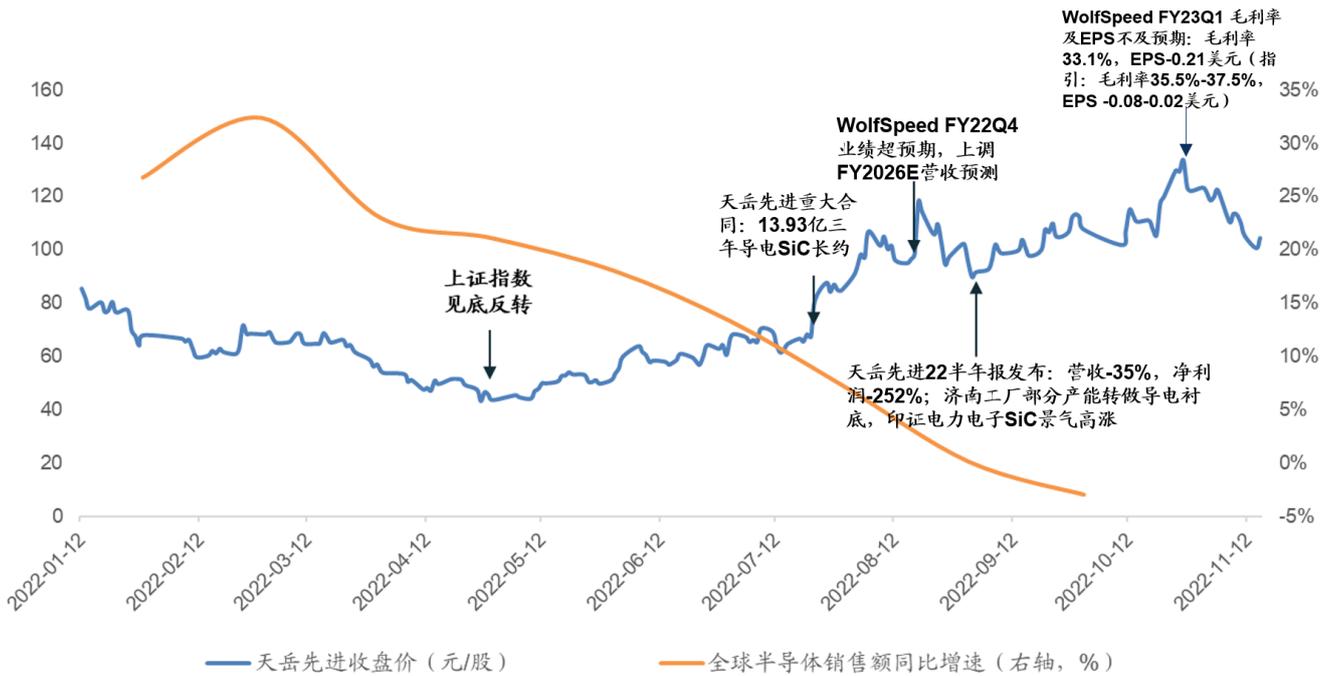
图 25: 国内主要厂商供给 Roadmap

环节	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
 三安光电 SiC IDM	设立长沙子公司建设三代半项目, 总投资 160 亿元, 其中 6 英寸碳化硅达产产能 36 万片/年, 预计达产后实现销售额 120 亿元/年	实现投产, SiC 二极管在 2021 年新开拓送样客户超过 500 家, 出货客户超过 200 家, 超过 60 种产品已进入量产阶段	截止 2022H, 3000 片/月产能投入生产, 8 月达到 6000 片/月, 预计年底产能达到 10000 片/月; 9 月发布 1200V SiC MOS 签署《战略采购意向协议》, 2024-2027 年向对方提供用于新能源车电源的碳化硅芯片, 基于 2022 年市场价格感知预估金额合计 38 亿元 (含税)	目标年底产能扩张至 20000 万片/月	目标年底产能扩张至 30000 万片/月		
 SICC		上市募投新增 6 寸导电型 SiC 衬底材料产能 30 万片/年	2022 年 7 月, 公司公告新增增长订单: 2023-2025 年间将销售导电型衬底合计金额 13.93 亿元; 预计扩产项目将于 2022Q3 投产;				预计 30 万片/年 (800 台长晶炉) 产能于 2026 年达产
 中国中车 CRRC			将现有 4 英寸 SiC 芯片线年 10000 片/年的能力提升到 6 英寸 SiC 芯片线 25000 片/年, 建设周期两年				
 Silan			建设 6 寸 SiC 功率器件芯片产线, 年产 14.4 万片 6 寸 SiC 功率器件芯片 10 月通线; 目标 2022 年底 2k/月产能				
 晶微电子 CR MICRO		2020 年 7 月, 公司 6 英寸商用 SiC 晶圆生产	产线正式量产, 产能 1000 片/月	2023 年底规划达到 2000 片/月产能			
 燕东微电子 Beijing YanDong Microelectronic Co., Ltd.			已建成月产能 1,000 片的 6 英寸 SiC 晶圆生产线, 完成 SiC SBD 产品工艺平台开发并开始转入小批量试产, 正在开发 SiC MOSFET 工艺平台				
 starpower		投资建设年产 8 万颗车规级全碳化硅功率模块生产线和研发测试中心, 按照市场需求逐步投入, 建设期 2 年					
 ROSHOW			拟投资建设年产 24 万片 6 英寸导电型碳化硅衬底片产能项目, 建设期 2 年				
 Tony tech		定增投资建设年产 12 万片碳化硅半导体材料项目, 建设期 3 年		2022 年 9 月, 公司子公司东尼半导体与下游客户签订《采购合同》, 约定向客户交付 6 寸碳化硅衬底 2 万片, 含税合计 1 亿元。			
 MINDEO			定增投资计划形成 6 英寸碳化硅晶圆年产能 3.6 万片, 将主要生产 600V-1700V 碳化硅肖特基二极管	项目建设完成开始投产			
 TANKEBLUE		投资建设年产 12 万片 6 英寸碳化硅晶片项目, 其中 6 英寸导电型碳化硅晶片约 8.2 万片, 于 2020 年 8 月开工, 建设期 2 年		计划于 2022 年年初完工投产			
 同光晶体 SYNLIGHT CRYSTAL		投资建设年产 10 万片碳化硅单晶衬底, 预计年销售收入 5-10 亿元	项目投产				
 世纪金光 CENGOL			投资 35 亿建设年产 22 万片 6-8 英寸碳化硅芯片生产线, 项目分三期建设				
 新功率 CEPOWER			以自有资金人民币 2,500 万元认购常州绿晶 22.9592 万股, 持有常州绿晶 11.11% 股权。常州绿晶主营产品为 6-8 英寸碳化硅衬底, 目前产品尚在研发阶段, 计划于 2024 年 9 月实现产业化				已推出 1200V 60Ω 碳化硅 MOSFET 样品, 并将陆续推出 1200V 17mohm、1200 V 32mohm、1200V 75mohm 等系列产品

资料来源: 各公司官网、公告等, 信达证券研发中心整理

投资策略: 如何投资碳化硅行业?

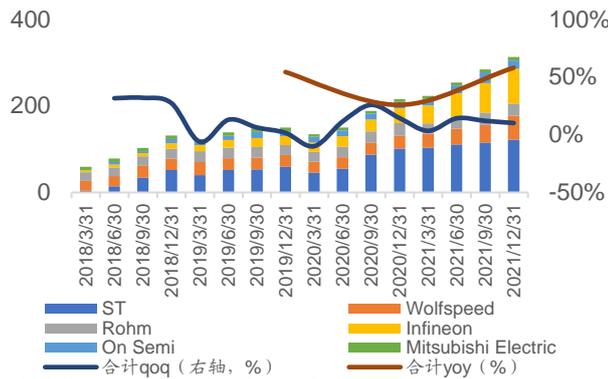
由于 A 股中以电力电子碳化硅为主营业务且业务结构纯度较高的上市公司目前仅天岳先进, 我们以公司股价对照全球半导体销售额同比增速进行复盘。通常来说, 国内半导体指数以销售额同比增速这一指标为中枢, 象征整体半导体行业的景气度。我们发现, 自 2022 年 4 月底上证指数见底反转后, 虽然全球半导体行业仍然处于周期下行阶段, 但天岳先进收盘价呈现明显的逆周期上行趋势。其中, WolfSpeed FY22Q4 业绩超预期这一时间节点, 带动了公司股价快速上升, 且其他业务纯度较低或碳化硅业务仍处于规划阶段的公司也同样享受了这一利好 (包括三安光电/东尼电子等)。天岳先进 8 月期间发布公司 22 半年报, 营收及净利润均呈现同比大幅下滑, 主要由于济南工厂部分半绝缘片产能转做导电衬底, 印证了电力电子碳化硅景气高涨, 因此短期的业绩不达预期并未对市场信心造成扰动。

图 26: 天岳先进收盘价及全球半导体销售额同比增速 (元/股, %)


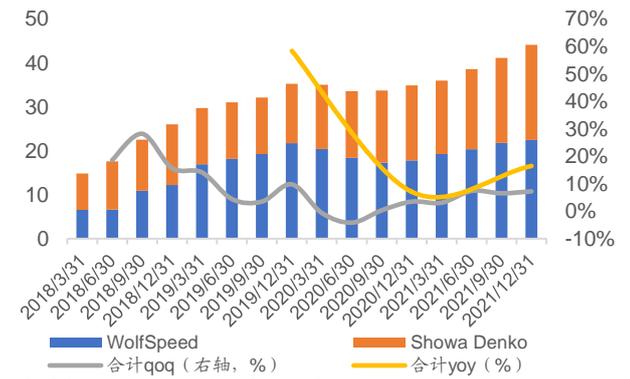
资料来源: wind, 信达证券研发中心测算

我们认为, 上述股价复盘印证了电力电子碳化硅行业的较高投资热情, 整体赛道特点目前为:

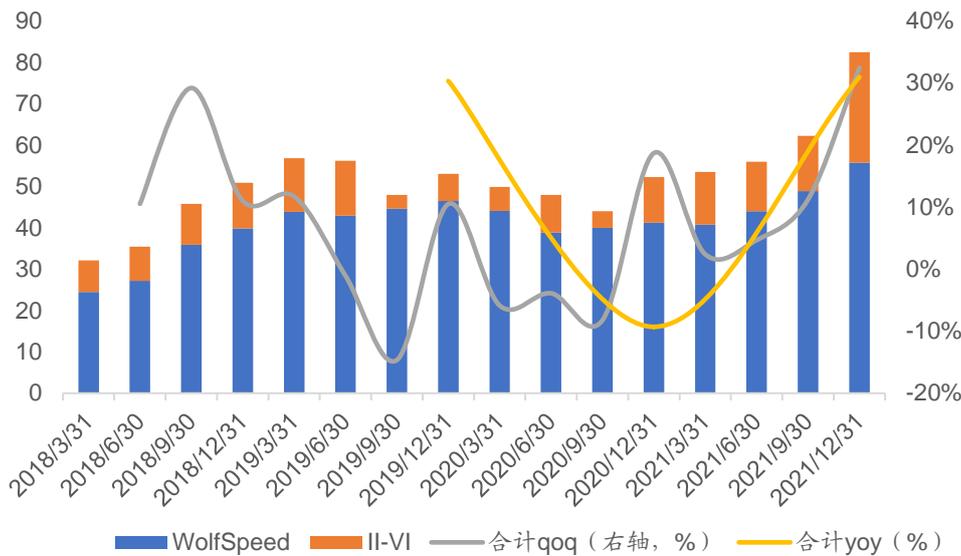
- (1) Capex+Opex 属性建筑双重护城河;
- (2) 与国内其他半导体厂商的国产替代主线逻辑不同, 碳化硅行业强β属性主要归因于全球碳化硅技术的低渗透率叠加 800V 平台大规模规划下行业供需格局高度紧张;
- (3) 目前全球维度来看各大厂扩产热情高涨, 2021 年业绩尚处于起步阶段, 海外大厂投资建设碳化硅热情抬高了市场整体预期;

图 27: 国际主要厂商电力电子 SiC 器件收入 (\$M, %)


资料来源: Yole, 信达证券研发中心

图 28: 国际主要厂商电力电子 SiC 外延片收入 (\$M, %)


资料来源: Yole, 信达证券研发中心

图 29: 国际主要厂商电力电子 SiC 衬底收入 (\$M, %)


资料来源: Yole, 信达证券研发中心

因此, 在目前行业尚处于扩张初期情况下, 核心关注要点为: (1) 海外大厂 roadmap 中营收/Capex 规划; (2) WolfSpeed 每季度业绩及季度/年度业绩指引。其中, 后者对于国内碳化硅 A 股的驱动力量不可小觑。

表 10: 全球电力电子碳化硅厂商规划目标

企业	国际部分碳化硅厂商目标
Rohm	SiCrystal 衬底产能于 2025 年扩张至 2019 年的 6 倍, 实现 30-40 万片/年等效 6 寸产能目标; 器件方面, 目标 2025 年扩张至 2017 年产能的 16 倍。
Infineon	FY2025 实现 10 亿美元碳化硅业务营收, 车规及工规分配约为 1:2, 市场份额 30%。
WolfSpeed	FY2024 更新收入指引, 公司预计莫霍克谷工厂产能释放将能带来 15-20 亿美元的营收增长, FY2026 收入将会在 21 亿美元的预测基础上增加 40%+, 同时完成 50% 的毛利率预期。
On Semi	23-25 年实现 40 亿美元碳化硅业务收入。
ST	2023 年碳化硅器件实现 10 亿美元收入目标。

资料来源: 各公司公告, Yole, 信达证券研发中心

表 11: WolfSpeed 碳化硅业务展望

WolfSpeed 碳化硅业务展望	FY2021 展望	FY2022 展望 / 实际数据	FY22 预测/ 实际值变动	原因
		\$9B		
FY26 SiC 功率器件市场展望	\$6B	(信达预测: 国内 26 年 \$4.5B, 占 WolfSpeed 统计全球数据 50%)	+50%	EV 渗透率及 EV 中碳化硅渗透率提高
累积 Design-in	\$5B	\$14.8B	+196%	
FY22 收入	\$700M	\$746M (实际)	+6.57%	Durham 工厂器件产出提升
FY26 收入展望	\$2.1B	\$2.95B	+40.48%	
FY27 收入展望	-	\$4B	-	Design-in 高增
FY23 资本开支投资额规划	~\$230M	~\$1B	+334.78%	规划 Siler City 碳化硅材料工厂 (全球最大); 计划建立功率三代半 Fab
毛利率规划	FY24: 50%	FY24: 45% FY27: 50-54%	FY24: -10%	持续运营 Durham Fab, RF 业务转移至 8 寸线进展延

误；8寸厂将显著驱动毛利率提升

资料来源：WolfSpeed，信达证券研发中心

具体到公司维度，我们测算了不同产线稼动率及良率/损耗情况下碳化硅衬底业务的毛利率情况。

短期关注：增加产能规模、提升机台稼动率，通过规模效应摊薄研发成本、人力成本及折旧；

长期核心：注重工艺维护，良率提升及切磨抛损耗的下降将显著提升单机台产出，扩大利润空间。

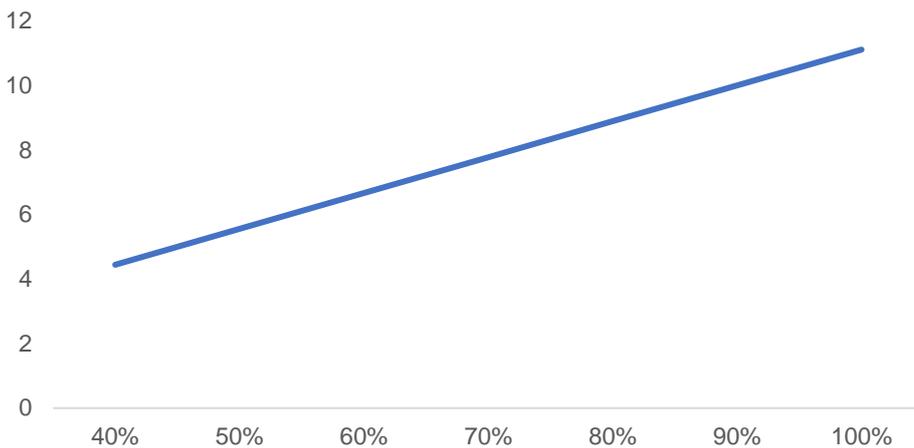
图 30：6寸 N 型碳化硅衬底产线毛利率测算

控制变量		长晶速率/衬底厚度根据WolfSpeed N型6寸碳化硅衬底参数 晶锭良率以40%计，切割头尾+整体损耗合计70%			控制变量		长晶速率/衬底厚度根据WolfSpeed N型6寸碳化硅衬底参数；机台稼动率以80%计			
变动指标假设		2023E	2024E	2025E	变动指标假设	2023E	2024E	2025E	2026E	
衬底价格（美元/片）		950.00	902.50	857.38	衬底价格（美元/片）	950.00	902.50	857.38	788.79	
稼动率假设	5%	-165.58%	-179.56%	-194.27%	晶锭良率* (1-切磨抛损耗) 假设	5%	29.75%	26.05%	22.16%	15.39%
	10%	-54.60%	-62.73%	-71.30%		10%	43.07%	40.07%	36.92%	31.43%
	15%	-17.60%	-23.79%	-30.31%		15%	47.51%	44.74%	41.83%	36.78%
	20%	0.00%	-5.26%	-10.80%		20%	49.72%	47.08%	44.29%	39.45%
	25%	11.99%	7.36%	2.48%		25%	51.06%	48.48%	45.77%	41.05%
	30%	19.39%	15.15%	10.68%		30%	51.94%	49.42%	46.75%	42.12%
	35%	24.67%	20.71%	16.54%		35%	52.58%	50.08%	47.46%	42.89%
	40%	28.64%	24.88%	20.93%		40%	53.05%	50.58%	47.98%	43.46%
	45%	31.72%	28.13%	24.34%		45%	53.42%	50.97%	48.39%	43.90%
	50%	34.19%	30.72%	27.08%		50%	53.72%	51.28%	48.72%	44.26%
	55%	36.21%	32.85%	29.31%						
	60%	37.89%	34.62%	31.18%						
	65%	39.31%	36.12%	32.75%						
	70%	40.53%	37.40%	34.10%						
	75%	41.59%	38.51%	35.28%						
	80%	42.51%	39.49%	36.30%						
	85%	43.33%	40.34%	37.20%						
	90%	44.05%	41.11%	38.01%						
	95%	44.70%	41.79%	38.73%						
	100%	45.29%	42.41%	39.37%						

资料来源：各公司公告，信达证券研发中心测算

注：长晶炉工作天数按 320 天/年计

与此同时，衬底的良率提升对整体芯片良率起重要作用，而碳化硅产业链上下游高度耦合，芯片良率的提升也将带动单晶圆供车量直线上升。因此，除公司本身稼动率及工艺提升程度测算或技术路径选择外，也可密切跟踪车端应用情况（衬底厂商通常与外延厂商签约后供给器件端/器件厂商直接与终端车厂或 Tier1 厂商签约）以印证前述测算的准确性。

图 31: 不同芯片良率下单晶圆供车量测算 (辆)


资料来源: 信达证券研发中心测算

投资建议

汽车电动化浪潮下功率产能满载新能源需求续强, 国内具备技术及资金实力的厂商将迎来切入下游客户供应链抢占份额的机遇。我们关注在 SiC 市场起量期间抓住扩产机会且在功率 SiC 有所布局的优质标的, 其中进度较快且具备产能先发优势的企业为碳化硅平台型 IDM 龙头三安光电及深耕碳化硅衬底领域多年的天岳先进, 有望在行业高速成长期间占领更多业绩增量空间。

表 12: 电力电子碳化硅细分赛道龙头布局

公司	环节	投资金额	规划产能	状态	项目进展
三安光电	IDM	160 亿	36 万片/年	投产	截止 2022H1, 电力电子 SiC 产能达到 6000 片/月。
		(Power SiC 外舍其他三代半项目)			SiC 二极管在 2021 年新开拓送样客户超过 500 家, 出货客户超过 200 家, 超过 60 种产品已进入量产阶段; SiC 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; SiC MOSFET 车规级与新能源汽车重点客户的合作已经取得重大突破。2022 年 9 月, 公司发布 1200V SiC MOSFET 系列新品, 用于 2023 年实现整车和新能源汽车零部件的全面突破。
天岳先进	衬底	25 亿	30 万片/年	在建	新增 6 寸导电型 SiC 衬底材料产能约 30 万片/年, 公司预计 2022Q3 实现一期项目投产, 并计划于 2026 年达产。 2022 年 7 月, 公司公告新增长约订单: 2023-2025 年间将销售 6 寸导电型碳化硅衬底合计金额 13.93 亿元 (以 6.7 汇率折算)。

资料来源: 各公司公告, 信达证券研发中心

硅基功率半导体内嵌于半导体行业整体的景气周期中, 但整体景气上行阶段长于半导体行业周期, 目前高压 MOSFET、IGBT 货期仍然处于高位, 我们认为, 23 年初起或将进入 6-8 个季度下行期, 利润空间随之收窄。叠加海外扩产产能逐渐释放, 23H2 全球 IGBT 供需结构进入紧平衡, 国产替代进程相较 21-22 年将有所放缓。传统硅基功率器件企业凭借原有的 Power 设计经验及客户资源基础, 拓展电力电子 SiC 具备一定优势, 在 SiC MOSFET 上的布局拓展将成破局。

表 13: 传统硅基功率器件企业电力电子碳化硅布局

公司	布局	项目进展
士兰微		公司 SiC 功率器件的中试线已于 2021H1 实现通线。目前公司已完成车规级 SiC-MOSFET 器件的研发, 正在做全面的可靠性评估, 将要送客户评价并开始量产。公司已着手在厦门士兰明镓公司建设一条 6 寸 SiC 功率器件芯片生产线, 有望在 2022 年三季度实现通线。

时代电气	2022年4月，公司控股子公司株洲中车时代半导体有限公司公告拟投资4.62亿元进行碳化硅芯片生产线技术能力提升建设项目，项目建设工期24个月。项目建成达产后，将现有平面栅SiC MOSFET芯片技术能力提升到满足沟槽栅SiC MOSFET芯片研发能力，将现有4英寸SiC芯片线提升到6英寸，将现有4英寸SiC芯片线年10000片/年的能力提升到6英寸SiC芯片线25000片/年。	公司建有6英寸双极器件、8英寸IGBT和6英寸碳化硅的产业化基地，拥有芯片、模块、组件及应用的全套自主技术。基于3300V全碳化硅器件的牵引变流器在深圳1号线载客运营，牵引能耗降低10%。
斯达半导	2020年12月，公司公告总投资2.29亿元建设全碳化硅功率模组产业化项目，投资建设年产8万颗车规级全碳化硅功率模组生产线和研发测试中心，项目将按照市场需求逐步投入，项目建设期为24个月。	在新能源汽车领域，公司应用于乘用车主控制器的车规级SiC MOSFET模块开始大批量装车应用，新增多个使用全SiC MOSFET模块的800V系统的主电机控制器项目定点，将对公司2024年-2030年SiC模块销售增长提供持续推动力。
新洁能	2021年11月，公司公告拟非公开发行股票，募资不超过14.5亿元，用于“SiC/GaN功率器件及封测的研发及产业化”、“功率驱动IC及IPM研发及产业化”、“SiC/IGBT/MOSFET等功率集成模块(含车规级)的研发及产业化”，以及补充流动资金。其中，“SiC/GaN功率器件及封测的研发及产业化”项目总投资约2.23亿元，拟使用募集资金2亿元，项目建设期24个月。“SiC/IGBT/MOSFET等功率集成模块(含车规级)的研发及产业化”项目总投资约5.08亿元，拟使用募集资金5亿元，项目建设期36个月。	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验证尚处于验证评估阶段。 一厂区在建设产能：SiC SBD设计产能为691.2万颗/年、SiC MOSFET为134.4万颗/年； 二厂区在建设产能：SiC/GaN功率器件及封测的研发及产业化项目2022年开建，2024年建设完成；项目建成后，年产SiC/GaN功率器件2640万只；SiC/IGBT/MOSFET等功率集成模块的研发及产业化项目项目建设期为36个月，将年产362.6万只SiC/IGBT/MOSFET等功率集成模块(含车规级)。
扬杰科技	公司已成功开发并向市场推出SiC模块及650V SiC SBD、1200V系列SiC SBD全系列产品，在光伏领域实现批量出货；1200V 80毫欧SiC MOSFET得到客户认可实现量产，1200V 40 mohm将于2022Q4推出。	
宏微科技	2021年，公司完成乘用车电控用SiC模块及封装技术的预研和样品制作，定制化乘用车电控用SiC模块开发进度加快，完成样品的交付；完成3款定制化用于新能源领域的SiC MOS模块产品的开发，通过客户验证，产品逐步上量交付；完成1500A/1200V SiC模块的设计开发，并通过客户端测试验证。	
华润微	公司自主研发的第二代650V SiC JBS综合性能达到业界先进水平，多款产品实现量产。自主研发的平面型1200V SiC MOSFET进入风险量产阶段，静态技术参数达到国外对标样品水平。	

资料来源：各公司公告，微电子制造公众号，变频器世界公众号，第三代半导体风向公众号，信达证券研发中心

风险因素

新能源车销量不及预期；

光伏装机不及预期；

碳化硅渗透率不及预期；

WolfSpeed产线进展不及预期

研究团队简介

莫文字，毕业于美国佛罗里达大学，电子工程硕士，2012-2022 年就职于长江证券研究所，2022 年入职信达证券研发中心，任副所长、电子行业首席分析师。

机构销售联系

区域	姓名	手机	邮箱
全国销售总监	韩秋月	13911026534	hanqiuyue@cindasc.com
华北区销售总监	陈明真	15601850398	chenmingzhen@cindasc.com
华北区销售副总监	阙嘉程	18506960410	quejiacheng@cindasc.com
华北区销售	祁丽媛	13051504933	qiliyuan@cindasc.com
华北区销售	陆禹舟	17687659919	luyuzhou@cindasc.com
华北区销售	魏冲	18340820155	weichong@cindasc.com
华北区销售	樊荣	15501091225	fanrong@cindasc.com
华北区销售	秘侨	18513322185	miqiao@cindasc.com
华北区销售	李佳	13552992413	lijia1@cindasc.com
华东区销售总监	杨兴	13718803208	yangxing@cindasc.com
华东区销售副总监	吴国	15800476582	wuguo@cindasc.com
华东区销售	国鹏程	15618358383	guopengcheng@cindasc.com
华东区销售	李若琳	13122616887	liruolin@cindasc.com
华东区销售	朱尧	18702173656	zhuyao@cindasc.com
华东区销售	戴剑箫	13524484975	daijianxiao@cindasc.com
华东区销售	方威	18721118359	fangwei@cindasc.com
华东区销售	俞晓	18717938223	yuxiao@cindasc.com
华东区销售	李贤哲	15026867872	lixianzhe@cindasc.com
华东区销售	孙僮	18610826885	suntong@cindasc.com
华东区销售	贾力	15957705777	jiali@cindasc.com
华东区销售	石明杰	15261855608	shimingjie@cindasc.com
华东区销售	曹亦兴	13337798928	caoyixing@cindasc.com
华南区销售总监	王留阳	13530830620	wangliuyang@cindasc.com
华南区销售副总监	陈晨	15986679987	chenchen3@cindasc.com
华南区销售副总监	王雨霏	17727821880	wangyufei@cindasc.com
华南区销售	刘韵	13620005606	liuyun@cindasc.com
华南区销售	胡洁颖	13794480158	hujieying@cindasc.com
华南区销售	郑庆庆	13570594204	zhengqingqing@cindasc.com
华南区销售	刘莹	15152283256	liuying1@cindasc.com

分析师声明

负责本报告全部或部分内容的每一位分析师在此申明，本人具有证券投资咨询执业资格，并在中国证券业协会注册登记为证券分析师，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告；本报告所表述的所有观点准确反映了分析师本人的研究观点；本人薪酬的任何组成部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体分析意见或观点直接或间接相关。

免责声明

信达证券股份有限公司（以下简称“信达证券”）具有中国证监会批复的证券投资咨询业务资格。本报告由信达证券制作并发布。

本报告是针对与信达证券签署服务协议的签约客户的专属研究产品，为该类客户进行投资决策时提供辅助和参考，双方对权利与义务均有严格约定。本报告仅提供给上述特定客户，并不面向公众发布。信达证券不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。客户应当认识到有关本报告的电话、短信、邮件提示仅为研究观点的简要沟通，对本报告的参考使用须以本报告的完整版本为准。

本报告是基于信达证券认为可靠的已公开信息编制，但信达证券不保证所载信息的准确性和完整性。本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告最初出具日的观点和判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会出现不同程度的波动，涉及证券或投资标的的历史表现不应作为日后表现的保证。在不同时期，或因使用不同假设和标准，采用不同观点和分析方法，致使信达证券发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告，对此信达证券可不发出特别通知。

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，也没有考虑到客户特殊的投资目标、财务状况或需求。客户应考虑本报告中的任何意见或建议是否符合其特定状况，若有必要应寻求专家意见。本报告所载的资料、工具、意见及推测仅供参考，并非作为或被视为出售或购买证券或其他投资标的的邀请或向人做出邀请。

在法律允许的情况下，信达证券或其关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能会为这些公司正在提供或争取提供投资银行业务服务。

本报告版权仅为信达证券所有。未经信达证券书面同意，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发布、转发或引用本报告的任何部分。若信达证券以外的机构向其客户发放本报告，则由该机构独自为此发送行为负责，信达证券对此等行为不承担任何责任。本报告同时不构成信达证券向发送本报告的机构之客户提供的投资建议。

如未经信达证券授权，私自转载或者转发本报告，所引起的一切后果及法律责任由私自转载或转发者承担。信达证券将保留随时追究其法律责任的权利。

评级说明

投资建议的比较标准	股票投资评级	行业投资评级
本报告采用的基准指数：沪深 300 指数（以下简称基准）； 时间段：报告发布之日起 6 个月内。	买入 ：股价相对强于基准 20% 以上；	看好 ：行业指数超越基准；
	增持 ：股价相对强于基准 5%~20%；	中性 ：行业指数与基准基本持平；
	持有 ：股价相对基准波动在±5% 之间；	看淡 ：行业指数弱于基准。
	卖出 ：股价相对弱于基准 5% 以下。	

风险提示

证券市场是一个风险无时不在的市场。投资者在进行证券交易时存在赢利的可能，也存在亏损的风险。建议投资者应当充分深入地了解证券市场蕴含的各项风险并谨慎行事。

本报告中所述证券不一定能在所有的国家和地区向所有类型的投资者销售，投资者应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专业顾问的意见。在任何情况下，信达证券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，投资者需自行承担风险。