



电子

优于大市（维持）

证券分析师

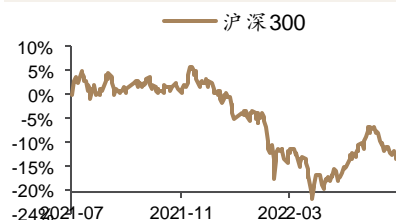
陈海进

资格编号：S0120521120001

邮箱：chenhj3@tebon.com.cn

研究助理

市场表现



相关研究

SiC 成本逐步下降，行业有望迎来爆发拐点

投资要点：

- **SiC 具有优秀的材料特性。**碳化硅（SiC）是一种化合物半导体材料，被称为第三代半导体材料。由于 SiC 具有宽禁带宽度，从而导致其具有高击穿电场强度、低本征载流子浓度，使得 SiC 功率器件具有耐高压、体积小、功耗低、耐高温等优势。SiC 器件适用于高压、高频场景，且可以缩小系统体积。
- **衬底是产业链核心环节。**SiC 产业链主要包括衬底、外延、器件制造、封测等环节，而衬底的成本占比较高，是核心环节。根据衬底电阻率的不同，SiC 衬底可以分为导电型、半绝缘型衬底，分别应用于功率器件、射频通信领域。国产厂商目前在导电型衬底领域市占率较低，但山东天岳在半绝缘型衬底领域占有一席之地。随着各厂商产能的扩充，SiC 衬底价格在逐步下降。
- **SiC 应用方兴未艾。**根据 Yole 的预测，2027 年全球 SiC 器件市场规模达到 63 亿美元，较 2021 年的复合增速为 34%，其中汽车 SiC 市场预计增长到 50 亿美元，占比提升到 79%。除汽车之外，能源、工业也是 SiC 的重要应用下游。随着特斯拉在 Model 3 的主逆变器中首次采用全 SiC 功率器件，越来越多的厂商开始发布搭载 SiC 器件的车型。除汽车领域外，SiC 器件也应用到光伏逆变器、轨交牵引逆变器中。
- **国产 SiC 器件在快速追赶。**从 SiC 的器件形态来看，目前主要分为 SiC 二极管、SiC MOSFET 以及 SiC 模组，而 SiC IGBT 仍在研发中。SiC 肖特基二极管发展较为成熟，国内外有多家公司已有量产。SiC MOSFET 最早由 Cree（现 Wolfspeed）在 2011 年推出，海外多家厂商随后进行几轮迭代。对比来看，国产 SiC MOSFET 的导通电阻和品质因素较国外产品稍差，不过在快速追赶中。
- **高压领域下 SiC 器件预计将逐步显现系统成本优势。**根据 CASA Research 统计的半导体器件经销商网上平均报价（元/安培）来看，650V SiC SBD 报价在 2018~2020 年的复合降幅达到 25%，而 650V SiC MOSFET 的复合降幅为 32%。由于 SiC 器件价格的下降，其与硅基器件的价差也在逐渐缩小。考虑到 SiC 对系统成本的减少，例如减少散热组价和缩小体积，我们预计在高电压场景下，SiC 器件将有更大优势。
- **投资建议：**建议关注衬底领域产品获得下游认可、产能扩产进度较快的天岳先进、东尼电子、露笑科技等；SiC 器件领域建议关注产品进展较快的斯达半导、时代电气、士兰微、扬杰科技、新洁能等；SiC 封装、设备领域建议关注博敏电子、北方华创等。
- **风险提示：**下游需求发展不及预期、SiC 成本下降速度不及预期、行业竞争加剧风险。

内容目录

1. SiC 产业链逐步成熟.....	5
1.1. SiC 具有优秀材料特性，适用于高压、高频场景	5
1.2. SiC 衬底是产业链核心环节	7
1.3. SiC 外延提升器件参数稳定性	10
1.4. 国产 SiC 器件在快速追赶海外龙头.....	10
1.5. SiC 制造中长晶环节具有较高壁垒	12
2. SiC 应用方兴未艾	15
2.1. SiC 器件市场高速发展.....	15
2.2. 新能源汽车是 SiC 的主要应用场景.....	16
2.3. SiC 器件提升光伏逆变器的转换效率	18
2.4. 轨交中 SiC 器件逐步得到应用	19
3. SiC 持续降本，在高压领域更具系统成本优势	20
3.1. SiC 与硅基器件价差逐渐缩小	20
3.2. 汽车应用带动 SiC 晶圆需求保持迅猛增长.....	21
4. 相关公司	22
4.1. 天岳先进.....	22
4.2. 天科合达.....	22
4.3. 斯达半导.....	23
4.4. 露笑科技.....	24
4.5. 东尼电子.....	24
5. 风险提示	25

图表目录

图 1: SiC 具有宽禁带宽度、高热导率等优秀材料特性	5
图 2: SiC 的材料特性带来的器件性能优势	5
图 3: 不同功率器件适用的电压与频率范围	5
图 4: 不同功率器件适用的功率与频率范围	5
图 5: SiC 产业链	6
图 6: SiC 晶圆成本拆分（6 英寸衬底）	6
图 7: 全球碳化硅产业链主要公司	7
图 8: SiC 材料的市场空间预测（百万美元）	7
图 9: 全球 SiC 衬底整体市场份额（2021/11 月信息）	8
图 10: 2020 年全球半绝缘型 SiC 衬底市场份额	8
图 11: 从 6 英寸到 8 英寸的 SiC 芯片数量变化（假设单芯片面积为 32mm^2 ）	8
图 12: 天科合达、天岳先进碳化硅衬底销售均价（元/片）和同比	9
图 13: 天岳导电型 SiC 衬底的销售单价（元/片）	10
图 14: 天岳半绝缘型 SiC 衬底的销售单价（元/片）	10
图 15: SiC 衬底层和外延层结构	10
图 16: SiC 器件发展历史	11
图 17: SiC SBD 的开关损耗较硅基 FRD 减少近 2/3	11
图 18: SiC SBD 的反向恢复时间受温度变化影响小	11
图 19: SiC MOSFET 的不同类型：平面型（左）、沟槽型（右）	12
图 20: 沟槽型 SiC MOSFET 的导通电阻比平面型要低	12
图 21: SiC MOSFET 产品迭代历史	12
图 22: PVT 法生长 SiC 示意图	13
图 23: 天岳先进 SiC 生产良率情况	13
图 24: 天岳先进长晶炉台数与单台产能（半绝缘型衬底为主）	13
图 25: SiC 项目的长晶炉单台规划产能对比（以导电型衬底为主）	14
图 26: SiC 器件市场规模及下游应用展望（亿美元）	15
图 27: 各厂商 SiC 功率器件收入排名（亿美元）	15
图 28: SiC 下游应用的发展情况	16
图 29: SiC 器件可以应用于主驱逆变、车载充电器和 DC/DC	16
图 30: 2026 年汽车 SiC 器件市场构成展望（逆变器占大部分）	16
图 31: SiC 方案的电驱逆变器损耗大幅降低	17
图 32: SiC 方案的电驱逆变器效率较 IGBT 更高	17

图 33: 直流母线电压提升后, SiC 相比 IGBT 提升效率幅度更明显	18
图 34: 不同类型光伏逆变器能量转换效率对比	18
图 35: 650V SiC 肖特基二极管与硅基 FRD 报价对比 (元/安培)	20
图 36: 1200V SiC 肖特基二极管与硅基 FRD 报价对比 (元/安培)	20
图 37: 650V SiC MOSFET 与硅基 IGBT 单管报价对比 (元/安培)	20
图 38: 1200V SiC MOSFET 与硅基 IGBT 单管报价对比 (元/安培)	20
图 39: 安森美 SiC MOSFET 与硅基 IGBT 原厂价格对比 (美元/安培)	21
图 40: 全球电动车对 6 英寸 SiC 晶圆需求 (万片)	21
图 41: SiC 功率器件市场空间预测 (亿美元)	21
图 42: 天岳先进营收与归母净利润 (亿元)	22
图 43: 天岳先进营收结构	22
图 44: 天岳先进衬底产量与销量 (万片)	22
图 45: 天岳先进衬底销售单价 (元/片)	22
图 46: 天科合达营收与归母净利润 (亿元)	23
图 47: 天科合达主营业务营收结构	23
图 48: 天科合达碳化硅衬底的产量和销量 (万片)	23
图 49: 天科合达碳化硅衬底销售均价 (元/片)	23
图 50: 斯达半导营收和归母净利润 (亿元)	24
图 51: 斯达半导 2021 年主营业务营收构成	24
图 52: 露笑科技营收和归母净利润 (亿元)	24
图 53: 露笑科技营收结构	24
图 54: 东尼科技营收 (亿元) 及同比	25
图 55: 东尼科技 2021 年主营业务营收构成	25
 表 1: 主要 SiC 衬底制造厂商的进展情况	9
表 2: 新能源车使用 SiC 器件情况	17
表 3: SiC 在轨道交通中的应用情况	19
表 4: 斯达半导 SiC 投资项目	24

1. SiC 产业链逐步成熟

1.1. SiC 具有优秀材料特性，适用于高压、高频场景

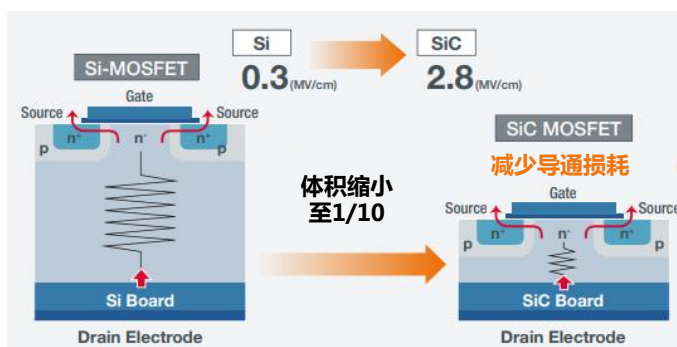
SiC 具有优秀的材料特性。碳化硅（SiC）是由碳元素和硅元素组成的一种化合物半导体材料，并和氮化镓（GaN）都具有宽禁带的特性，被称为第三代半导体材料。由于 SiC 具有宽禁带宽度，从而导致其有高击穿电场强度等材料特性。受益于 SiC 的材料特性，SiC 功率器件具有耐高压、体积小、功耗低、耐高温等优势。

图 1：SiC 具有宽禁带宽度、高热导率等优秀材料特性

指标	单位	第一代 半导体	第二代 半导体	第三代 半导体	
		Si	GaAs	4H-SiC	GaN
禁带宽度	eV	1.1	1.4	3.2	3.4
击穿电场	MV/cm	0.3	0.4	3.5	3.3
饱和电子漂移速率	10^7 cm/s	1.0	1.0	2.0	2.5
热导率	W/cm·K	1.5	0.5	4.0	1.3

资料来源：《宽禁带半导体高频及微波功率器件与电路》，赵正平著、天科合达招股书、德邦研究所

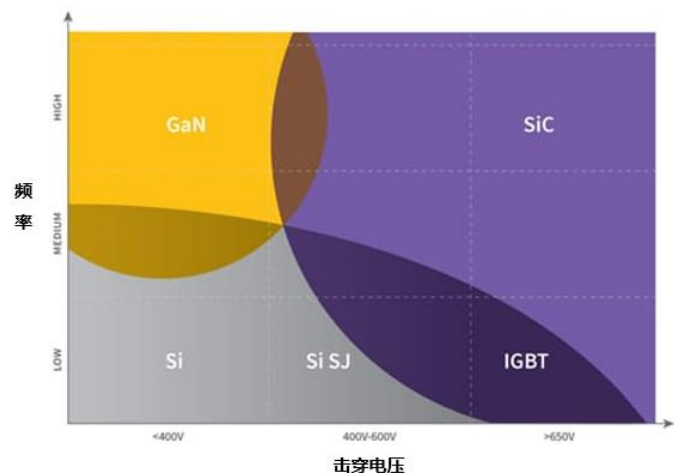
图 2：SiC 的材料特性带来的器件性能优势



资料来源：Rohm 官网、德邦研究所

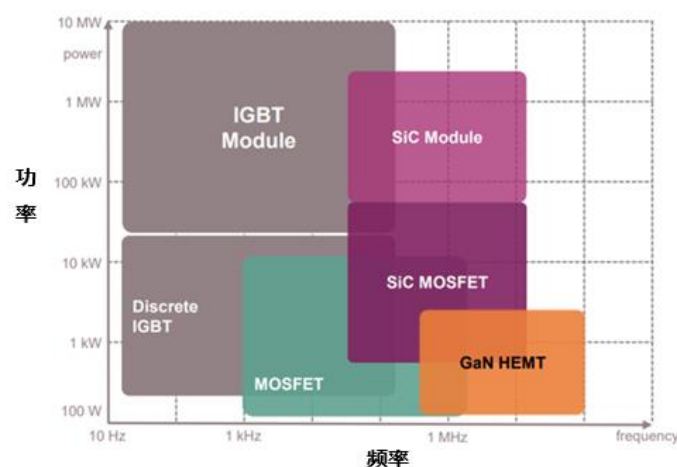
SiC 器件适用于高压、高频应用场景。功率器件可以按照设计结构分为二极管、MOSFET、IGBT 等，也可以按照产品并联形态分为单管或者模组，还可以按照衬底材料分为硅基、SiC、GaN 功率器件。对比来看，SiC 器件和 IGBT 都可以在 650V 以上的高压下工作，但 SiC 器件能承受的频率更高。根据感抗和容抗公式，相同感抗、容抗下，电路频率提升，电容和电感值可以下降，即可以使用更小体积的电容和电感。SiC 器件需要的被动元器件数量和体积就更小，从而减小了整个系统的体积。

图 3：不同功率器件适用的电压与频率范围



资料来源：Wolfspeed 官网、德邦研究所

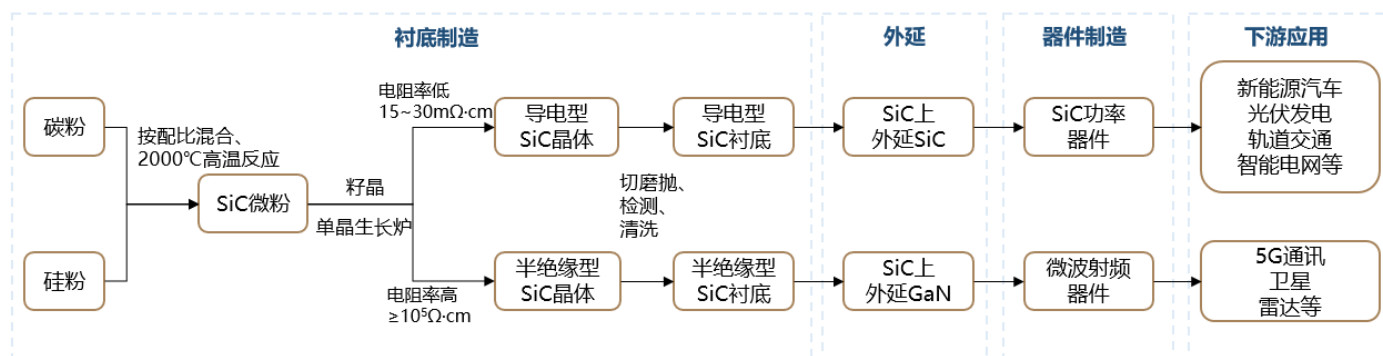
图 4：不同功率器件适用的功率与频率范围



资料来源：英飞凌官网、德邦研究所

SiC 产业链主要包括衬底、外延、器件制造、封测等环节。SiC 衬底的制造过程是首先将碳粉和硅粉在高温下反应得到高纯度 SiC 微粉，然后将其放在单晶生长炉中高温升华形成 SiC 晶体，最后 SiC 晶体通过晶锭加工、切割、研磨、抛光和清洗得到 SiC 衬底。根据衬底电阻率的不同，SiC 衬底可以分为导电型、半绝缘型衬底。由于衬底具有一定缺陷，不适合在其上直接制造半导体器件，所以衬底上一般会沉积一层高质量的外延材料。导电型 SiC 衬底上一般再外延一层 SiC，然后用于制作功率器件，而半绝缘型 SiC 衬底上可以外延 GaN 材料，用于制作射频器件。

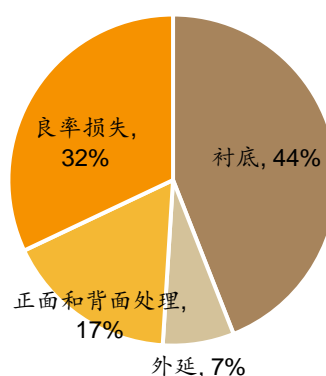
图 5：SiC 产业链



资料来源：天科合达招股说明书、德邦研究所绘制

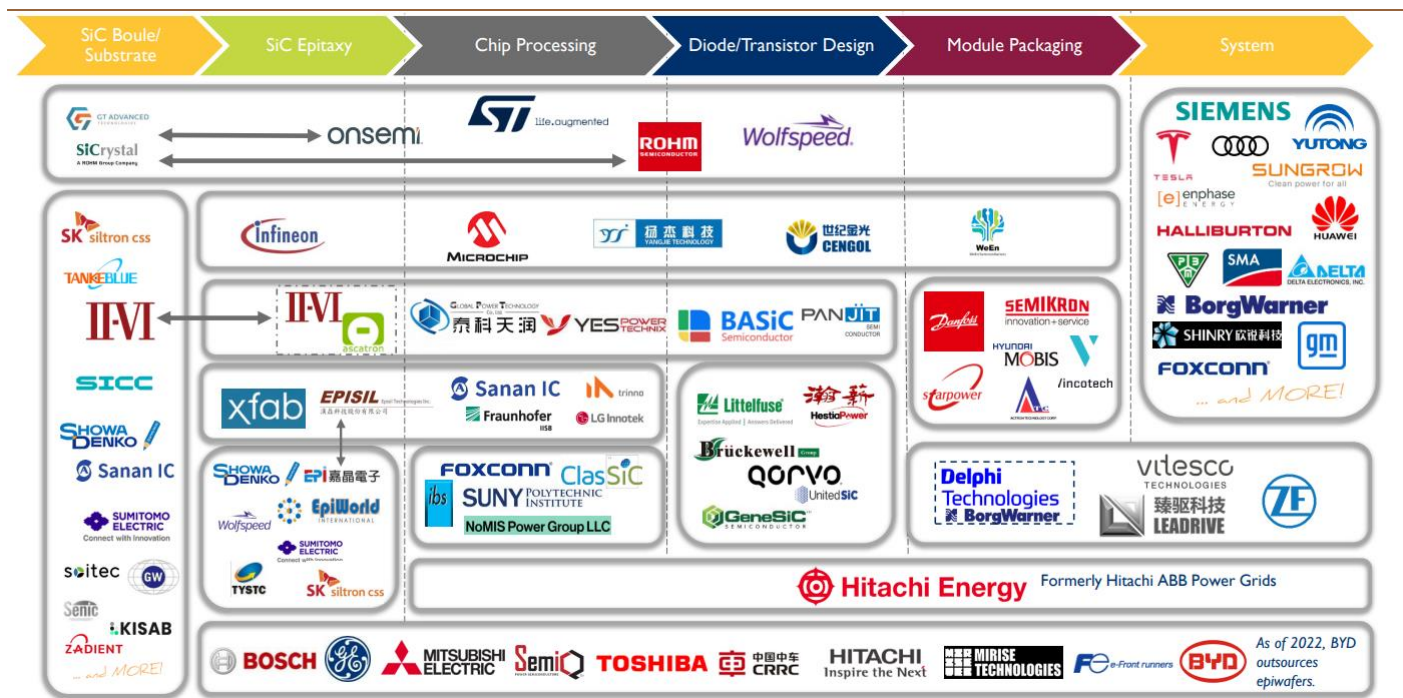
SiC 衬底是晶圆成本中占比最大的一项。由于 SiC 衬底加工环节复杂、耗时，所以其在整个 SiC 晶圆中所占成本比例最高。SiC 晶圆的其他加工成本包括外压以及正面和背面的掺杂、金属化、CMP、清洗等。考虑到 SiC 材料属于高硬度的脆性材料，所以在加工、减薄过程中容易比硅晶圆出现更多的翘曲、裂片现象，从而使得目前良率损失占成本比例仍较大。

图 6：SiC 晶圆成本拆分（6 英寸衬底）



资料来源：System Plus Consulting、德邦研究所

图 7：全球碳化硅产业链主要公司

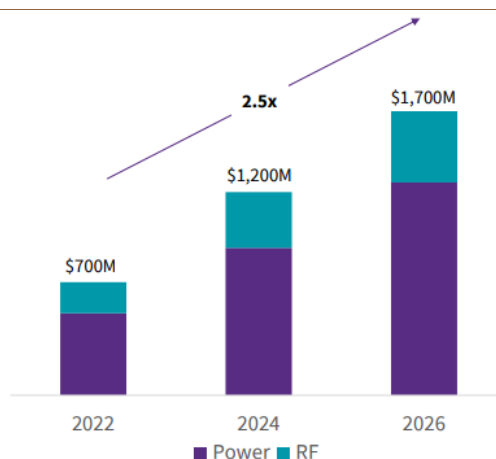


资料来源：Yole、德邦研究所

1.2. SiC 衬底是产业链核心环节

SiC 衬底将迎来高速增长，其中导电型衬底占主要地位。按照电阻率的不同，SiC 衬底分为导电型和半绝缘型衬底。由于导电型衬底用于做功率器件，下游应用更广泛，所以其市场空间也较半绝缘型衬底要大。展望未来，Wolfspeed 预测 2022 年全球 SiC 材料的市场空间在 7 亿美元，而 2026 年将增长到 17 亿美元，复合增速达到 25%，且其中用于功率器件的导电性衬底仍将占主要地位。

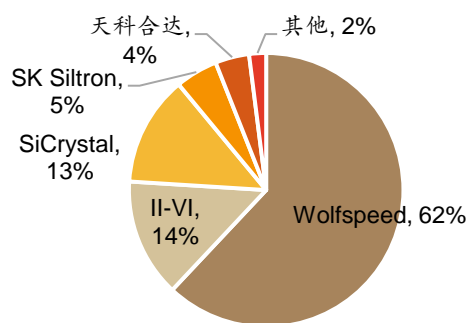
图 8：SiC 材料的市场空间预测（百万美元）



资料来源：Wolfspeed 2021 年投资者大会 PPT、德邦研究所

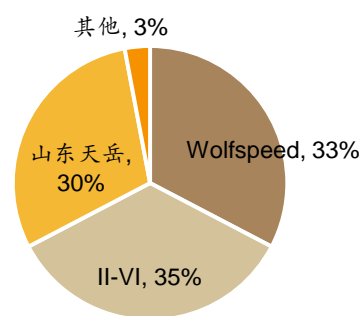
Wolfspeed 在 SiC 衬底一家独大，中国厂商迎头赶上。从整个 SiC 衬底市场来看，因为 Wolfspeed 较早开始 SiC 的研发与生产，所以目前的全球份额领先，而 II-VI 和 SiCrystal 位居第二梯队，有 10% 多的市场份额。接下来的厂商包括 SK Siltron（5%）以及天科合达（4%）。单独看半绝缘型 SiC 衬底市场的话，市场上的供应商数量较少，呈现 Wolfspeed、II-VI 和山东天岳三足鼎立的格局。考虑到《瓦森纳协定》中将半绝缘 SiC 衬底等材料对中国等部分国家进行出口限制，国产半绝缘型衬底厂商有望迎来较好发展。

图 9：全球 SiC 衬底整体市场份额（2021/11 月信息）



资料来源：Wolfspeed 2021 年投资者大会 PPT、德邦研究所

图 10：2020 年全球半绝缘型 SiC 衬底市场份额

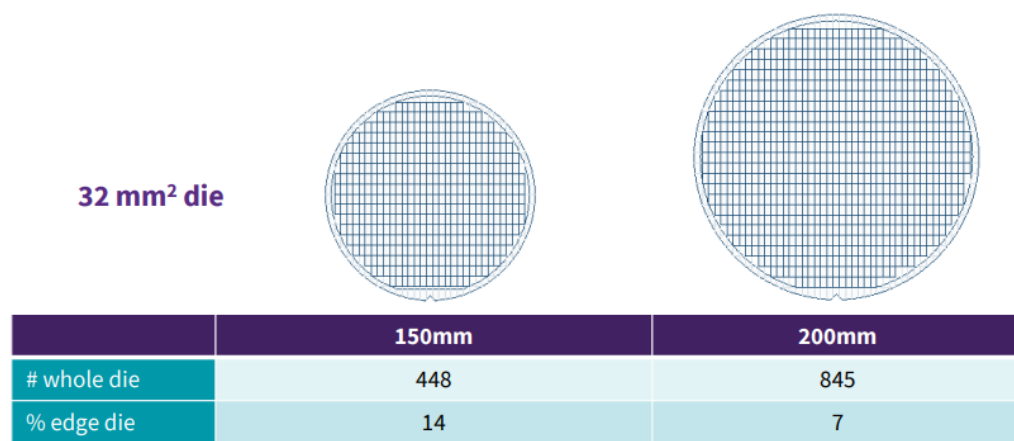


资料来源：Yole、天岳先进招股书、德邦研究所

国产 SiC 衬底与海外的差距逐步缩窄。目前全球的 SiC 衬底量产线主要尺寸为 6 英寸，而业内头部公司也在往 8 英寸产线发展。例如，Wolfspeed 的第一条 8 英寸 SiC 产线将在 2022 年 Q2 开始生产，标志着全球第一条 8 英寸 SiC 产线的投产。目前国内的 SiC 衬底产线以 4 英寸为主，部分厂商也开始量产 6 英寸的衬底。以天岳先进为例，国内 4 英寸产线的量产时间较海外晚 10 年以上，但 6 英寸的量产时间差距缩小至 7~10 年，反映国产 SiC 衬底技术也在逐步提升。

全球 SiC 从 6 英寸往 8 英寸发展，有望带动芯片单价下降。正如硅片晶圆从 8 英寸往 12 英寸发展，目前 SiC 晶圆也正在从 6 英寸往 8 英寸发展。更大的晶圆尺寸可以带来单片芯片数量的提升、提高产出率，以及降低边缘芯片的比例，从而提升晶圆利用率。例如，Wolfspeed 统计，6 英寸 SiC 晶圆中边缘芯片占比有 14%，而到 8 英寸中占比降低到 7%。随着全球 SiC 晶圆的尺寸扩大，预计将带动 SiC 芯片单价降低，从而打开应用市场。

图 11：从 6 英寸到 8 英寸的 SiC 芯片数量变化（假设单芯片面积为 32mm²）



资料来源：Wolfspeed 2021 年投资者大会 PPT，德邦研究所

国产 8 英寸 SiC 衬底实现小批量生产。8 英寸 SiC 晶体生长的难点在于：8 英寸籽晶的研制、大尺寸带来的温场不均匀和气相原料分布和输运效率问题、应力加大导致晶体开裂问题。由于这些问题所在，全球第一座 8 英寸 SiC 晶圆厂直到 2022 年 4 月才开始生产。不过，我国企业也在快速追赶中。烁科晶体宣布在 2022 年 1 月实现 8 英寸 N 型碳化硅衬底小批量生产；中国科学院物理研究所在 2022 年 4 月也宣布成功生长出了单一 4H 晶型的 8 英寸 SiC 晶体。

国内 6 英寸 SiC 衬底预计仍有较大成长空间。根据中国宽禁带功率半导体及应用产业联盟的预测，预计 2020-2025 年国内 4 英寸 SiC 晶圆市场逐步从 10 万片减少至 5 万片，6 英寸晶圆将从 8 万片增长至 20 万片；2025-2030 年，4 英寸

晶圆将逐步退出市场，6 英寸增加至 40 万片。

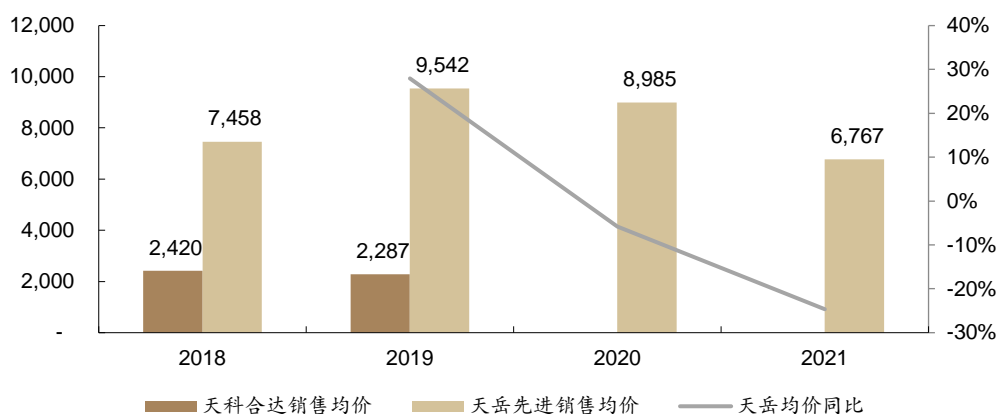
表 1：主要 SiC 衬底制造厂商的进展情况

衬底制造厂商	4 英寸	6 英寸	8 英寸
国外企业			
Wolfspeed (原 Cree)	1999 年具备量产能力	2009 年具备量产能力	2022 年 4 月全球第一座 8 英寸 SiC 晶圆投产
II-VI	2005 年具备量产能力， 2009 年开始量产	2012 年具备量产能力， 2013 年开始量产	2015 年展示了 8 英寸晶圆， 预计 2024 年开始量产
SiCrystal (被 Rohm 收购)			2023 年将开始量产
ST (收购 Norstel)			2021 年首次展示了 8 英寸晶圆， 预计 2023 年开始生产
Onsemi (收购 GTAT)		2019 年已量产	
英飞凌			预计 2023 年左右开始量产 8 英寸衬底
国内企业			
天科合达	2017 年，4 英寸导电型量产销售 2019 年，4 英寸半绝缘型量产销售	2020 年，6 英寸产品量产销售	2020 年启动研发
天岳先进	2018 年半绝缘型批量出货	导电型：2017 年具备量产能力，预计 2022 年 Q3 开始量产 半绝缘型：2019 年具备量产能力，预计 2023 年量产 6 英寸半绝缘型衬底	2020 年启动 8 英寸导电型的研发
东尼电子		2022 年 4 月，6 英寸导电型衬底已交付样品	
露笑科技		2022 年 7 月实现月产 500-1000 片导电型衬底	
世纪金光		2019 年开始小批量试产	
烁科晶体			2022 年实现 8 英寸 N 型碳化硅抛光片小批量生产
天成半导体		预计在 2022 年内实现 6 英寸碳化硅衬底产业化	
同光晶体	2015 年量产	2021 年成功研制 6 英寸 SiC 单晶	
中电化合物半导体		2020 年 6 英寸衬底及外延片进入客户认证阶段	

资料来源：山东天岳招股书、天科合达招股书、东尼电子公告、露笑科技公告、世纪金光、烁科晶体、天成半导体、同光晶体、宁波政府网站、Yole、II-VI、ST、GTAT、安森美公司网站、电子发烧友网、德邦研究所整理

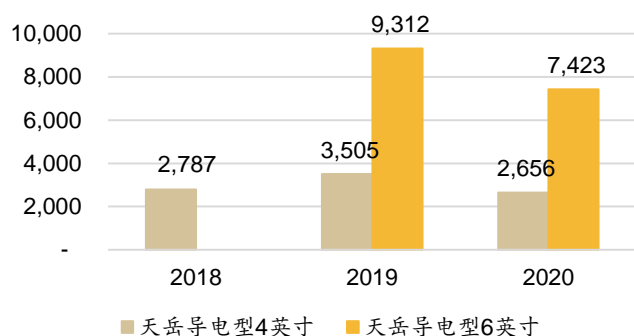
SiC 衬底售价随着出货量提升而逐步下行。2021 年，天岳先进的平均销售价格为 6767 元/片，较 2020 年同比下降 25%。考虑到目前国产 6 英寸衬底还未大批量生产，所以预计还会有降价空间。另一方面，半绝缘型 SiC 衬底由于市场供应商较少，且下游有部分军事装备应用，所以目前售价较高。当前 SiC 衬底售价较高是良率水平低、晶圆尺寸小、自动化程度低等多因素导致的。随着各厂商提升工艺、往更大尺寸 SiC 晶圆发展，预计 SiC 衬底售价将逐步下行。

图 12：天科合达、天岳先进碳化硅衬底销售均价（元/片）和同比



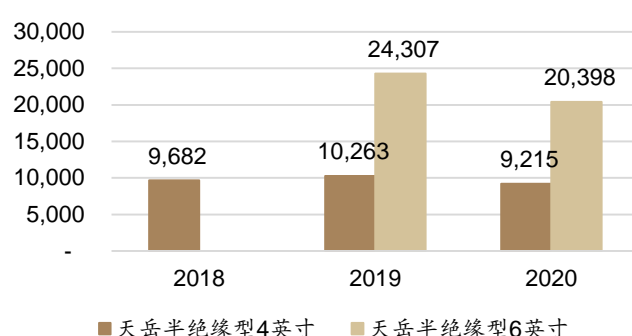
资料来源：天科合达招股说明书、天岳先进招股说明书、德邦研究所；备注天岳先进均价通过衬底收入除以当年各尺寸衬底销量的相加数

图 13：天岳导电型 SiC 衬底的销售单价（元/片）



资料来源：天岳先进招股书、德邦研究所

图 14：天岳半绝缘型 SiC 衬底的销售单价（元/片）



资料来源：天岳先进招股书、德邦研究所

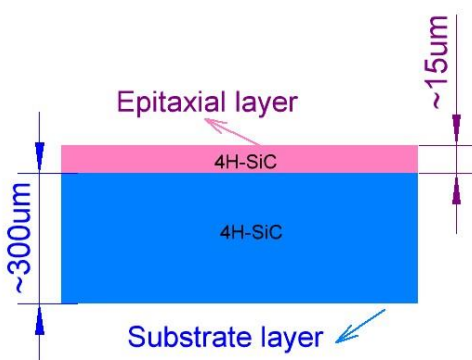
1.3. SiC 外延提升器件参数稳定性

外延是指在 SiC 衬底上生长一层或多层外延层。相比衬底，外延材料厚度、掺杂浓度均匀性好、片间一致性优、缺陷率低，有效提高了下游产品的一致性和良率。功率器件一般对缺陷密度、高电压及电流耐受度要求高，所以会使用外延片来进行芯片制造。

目前外延常用工艺为化学气相沉积（CVD）法，即通过使用外延炉以及前驱气体来在 SiC 抛光片上生长外延层。外延中的核心技术包括对外延温度、气流、时间等参数的精确控制，以使得外延层的缺陷度小，从而提高器件的性能及可靠性。器件依据不同的设计，所需的外延参数也不同。一般而言，外延的厚度越大，器件能够承受的电压也就越高。针对 600V~6500V 的应用，SiC 外延层的厚度一般在 1~40μm。

由于 SiC 外延有一定难度，所以市场上有一些专门做 SiC 外延的厂商，如瀚天天成、东莞天域等。目前国产 6 英寸 SiC 外延产品已经实现商用化，8 英寸产品在研制中。

图 15：SiC 衬底层和外延层结构



资料来源：基本半导体官网、德邦研究所

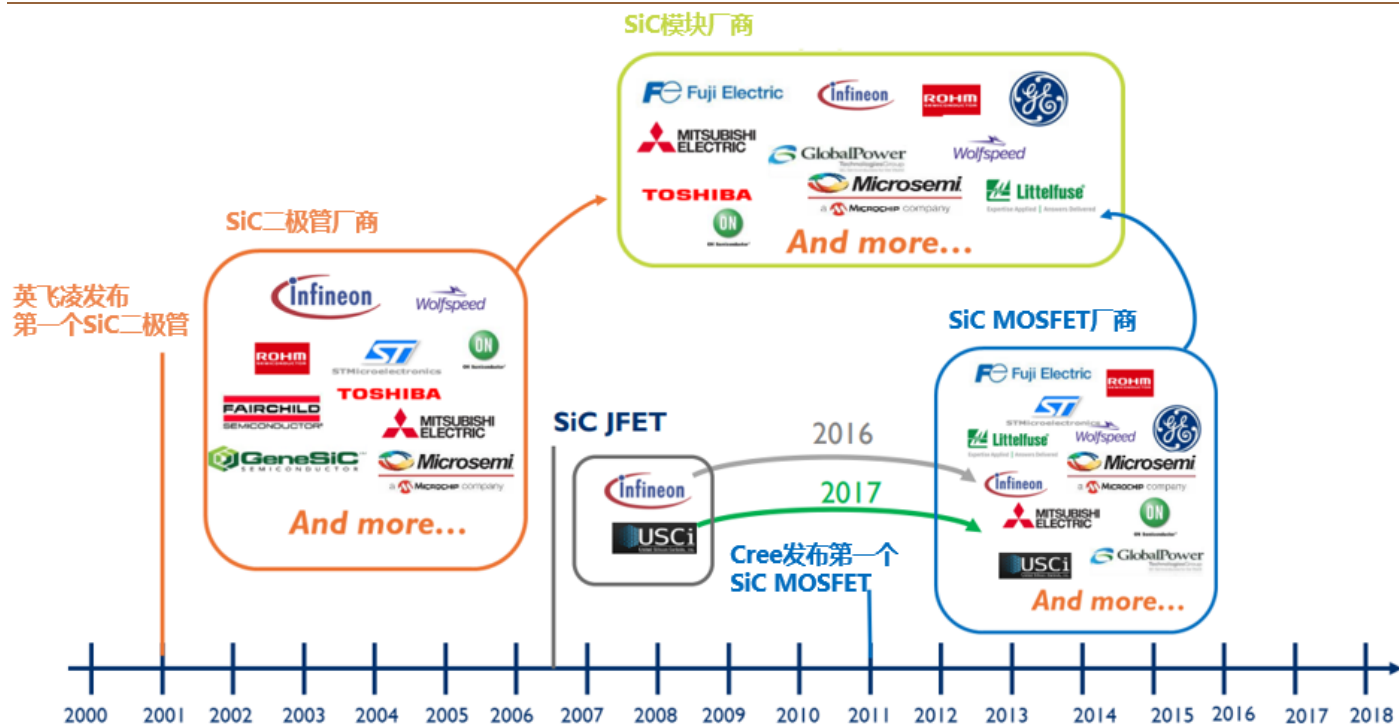
1.4. 国产 SiC 器件在快速追赶海外龙头

SiC 器件制造需要增加高温离子注入、高温退火等步骤，相比硅基器件难度更大。除了在 SiC 衬底制造上的难点，SiC 器件的制造过程也有一定门槛。因为碳原子的原子半径是 91pm，小于硅原子的原子半径（在 110pm 以上），所以硅和碳之间键长更短，键能也就更高（相比硅与硅原子）。衬底元素键能的差异使得 SiC 晶圆制造过程需要更高的温度。例如，传统硅基材料可以用扩散的方式完成掺杂工艺，但 SiC 需要使用高温离子注入进行掺杂，然后还需要高温退火来修复

晶格结构。SiC 的材料特性给器件制造带来了新的难度。

从 SiC 的器件形态来看，目前主要分为 SiC 分立二极管、分立晶体管、SiC 和 Si 混合模组、全 SiC 模组等。目前汽车中使用的 SiC 器件多为 SiC 模组，因为要求高功率会需要并联多个 SiC MOSFET 器件。随着新能源汽车需求的提升，预计 SiC 模组的市场占比将进一步增大。

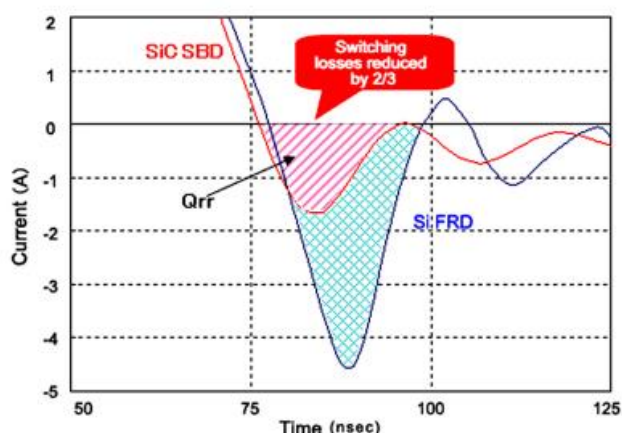
图 16：SiC 器件发展历史



资料来源：Yole、德邦研究所

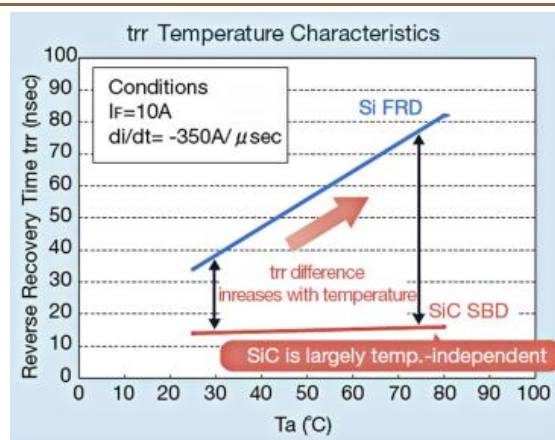
SiC 肖特基二极管相比硅基 FRD 具备优势，目前发展较成熟。SiC 肖特基二极管（SBD）是最早进入市场的碳化硅功率器件产品，从 2001 年英飞凌首先推出 SiC 肖特基二极管产品以来，经历 20 年的发展，国内外有多家公司量产 SiC 肖特基二极管系列产品。根据 CASA Research，目前国产 SiC 二极管实现 650V-1700V 全系列批量供货能力，导通电流最高达 50A。

图 17：SiC SBD 的开关损耗较硅基 FRD 减少近 2/3



资料来源：Rohm 官网、德邦研究所

图 18：SiC SBD 的反向恢复时间受温度变化影响小

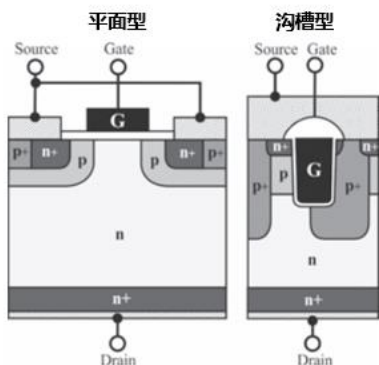


资料来源：Rohm 官网、德邦研究所

SiC MOSFET 分为平面型和沟槽型，沟槽型是未来发展方向。目前 SiC MOSFET 器件产品中存在两种主流的技术路线方案，即平面型和沟槽型 MOSFET。

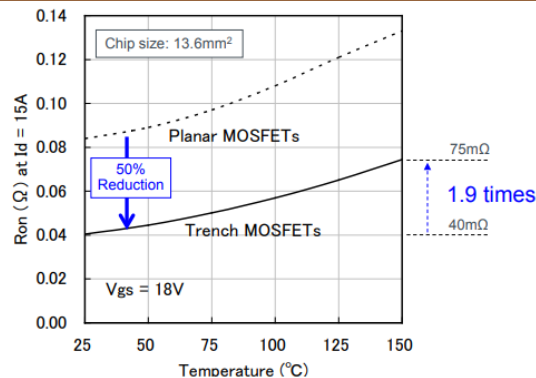
沟槽型 MOSFET 通过将栅极做成沟槽型，减少栅极所占用的面积，从而减少每个单元的尺寸，达到减少导通电阻的目的。不过由于这种结构需要开沟槽、工艺复杂，所以其单元一致性比平面型 MOSFET 要差一点。截至 2021 年，走平面型 MOSFET 技术路线的公司主要有 Wolfspeed、安森美等，而走沟槽型路线的公司以英飞凌、Rohm 为主。由于沟槽型具有更好的性能表现，预计其是未来发展方向。

图 19: SiC MOSFET 的不同类型：平面型（左）、沟槽型（右）



资料来源：英飞凌官网、德邦研究所

图 20: 沟槽型 SiC MOSFET 的导通电阻比平面型要低



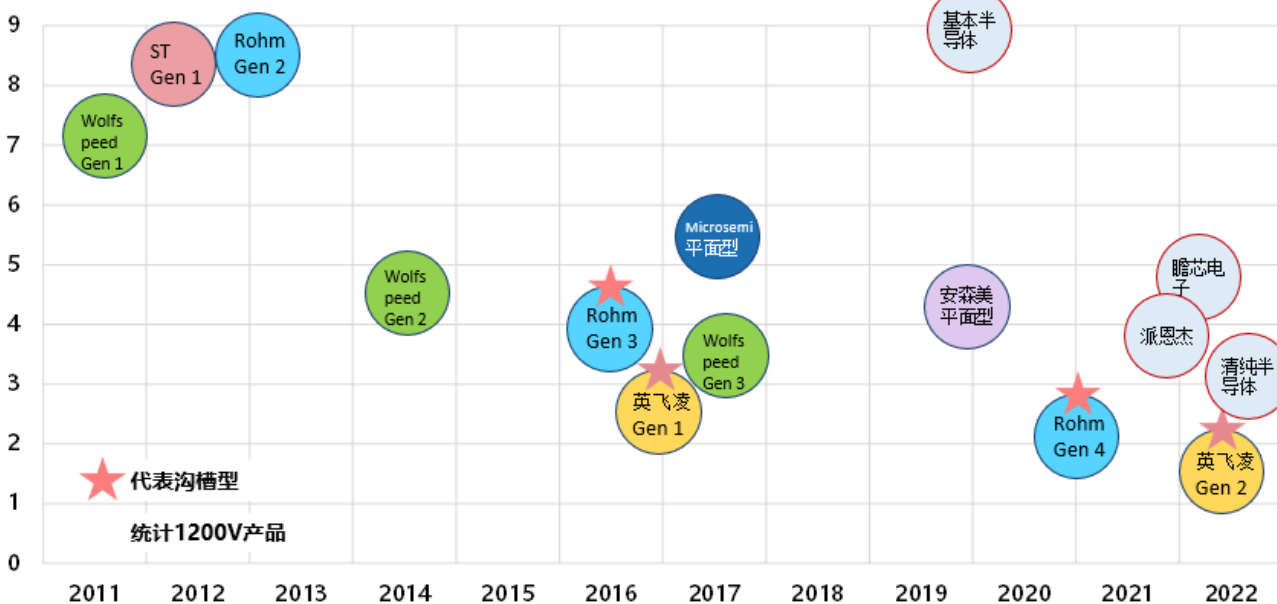
资料来源：Rohm 官网、德邦研究所

海外厂商的 SiC MOSFET 已经过几轮迭代。自从 2011 年 Wolfspeed 第一代 SiC MOSFET 的推出，海外 10 余家公司量产 SiC MOSFET 系列产品，其中击穿电压涵盖 650-1700V，单芯片导通电流最高达 100A 以上。随着各厂商产品的迭代，目前如英飞凌、Rohm 的沟槽型产品可以将导通电阻最低降到 10mΩ 左右，而以 Wolfspeed 为代表的平面型产品的导通电阻会稍高。

国产 SiC MOSFET 在快速追赶。国内 SiC MOSFET 产品参数一般为 650V (120-15mΩ)、1200V (80-17mΩ)。对比来看，国产 SiC MOSFET 的导通电阻和品质因素表现稍差，不过在快速追赶中。

图 21: SiC MOSFET 产品迭代历史

品质因素 FOM = $R_{ds(on)} \times Q_g$ (单位: $\Omega \cdot nC$)，代表导通损耗X开关损耗，越低表示性能越好



资料来源：System Plus Consulting、各公司官网、德邦研究所绘制；备注：选择各厂商品质因素较小的产品料号作为代表统计。

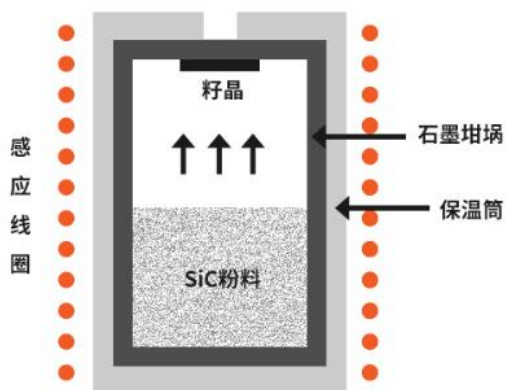
1.5. SiC 制造中长晶环节具有较高壁垒

长晶炉是目前 SiC 单晶制备的主要设备。传统硅晶棒大部分是通过直拉单晶法制备，即将多晶硅原料放在单晶炉中加热融化，然后将籽晶浸入液面后慢慢向上提拉，形成晶棒。由于 SiC 没有液态，只有气态和固态，所以不能用直拉单晶的制备方法。目前制备 SiC 单晶的方法主要分为三种技术路线：物理气相运输法（PVT）、溶液转移法（LPE）、高温化学气相沉积法（HT-CVD）。PVT 法是目前 SiC 单晶生长研究最多、最成熟的技术，被海外主流厂商所采用，而其中使用的主要设备是长晶炉。

除设备之外，目前 SiC 衬底在制备中的难点包括：

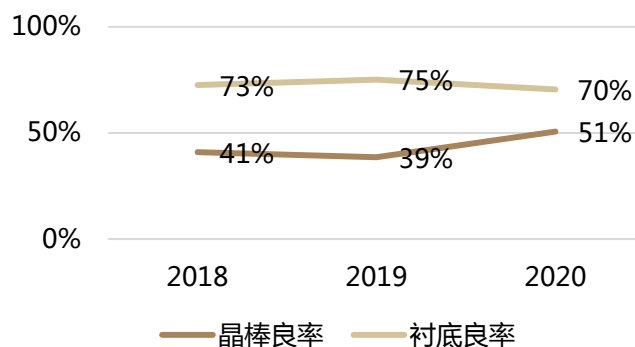
- **单晶生长速度慢。**硅单晶的生长速度约为 300mm/h，碳化硅单晶的生长速度约为 0.4mm/h，两者相差近 800 倍。故而，SiC 的单晶长度一般就几厘米到 10 厘米，一般称为晶锭，而不是像硅棒有 2-3 米的长度。
- **晶棒生长过程中的控制环节。**SiC 粉末到晶棒的过程中涉及到热场设计、生长条件控制、缺陷控制等核心技术，是目前主要影响 SiC 良率的环节。例如，碳化硅有多达 250 余种同质异构体，用于制作功率半导体的主要是 4H-SiC 单晶结构。碳化硅单晶生长过程中，4H 晶型生长窗口小，对温度和气压设计有着严苛标准，生长过程中控制不精确将会得到其他结构的碳化硅晶体。天岳先进 2020 年的晶棒良率为 51%，虽然较前几年有所上升，但仍然处于偏低的水平，反映晶棒生产的高门槛。
- **切磨抛加工能力。**由于 SiC 材料硬度大，所以在切磨抛中容易破碎，造成良率损失或者更长的加工时间。衬底良率一般体现单个半导体级晶棒经切片加工后产出合格衬底的占比。天岳先进 2020 年衬底良率在 70%，反映晶棒到衬底环节仍有一定损失。

图 22：PVT 法生长 SiC 示意图



资料来源：天成半导体官网、德邦研究所

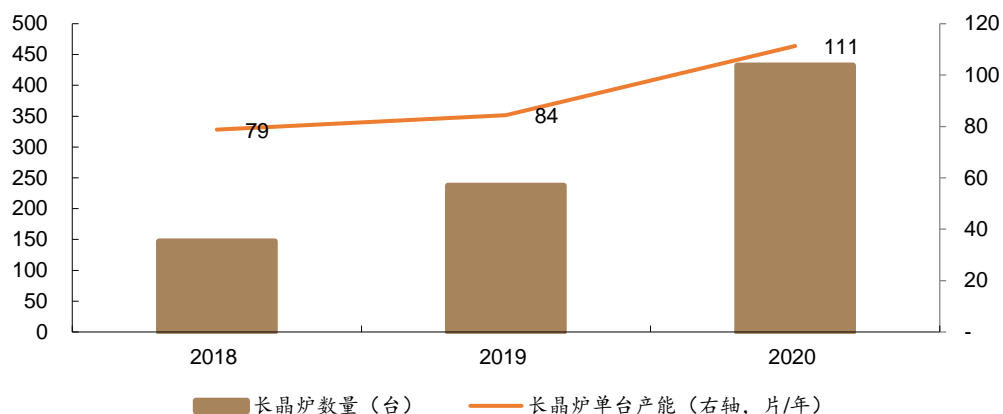
图 23：天岳先进 SiC 生产良率情况



资料来源：天岳先进公告、德邦研究所

长晶炉的单台产能在逐步提升。根据天岳先进的公告，2020 年其长晶炉的单台年产能在 111 片衬底，较 2019 年的单台产能增长了 32%，反映长晶炉的生产效率在逐步提升。由于半绝缘型衬底的厚度一般较导电型衬底更厚，所以长晶炉生长半绝缘型衬底的产能会小于生产导电型衬底。以天科合达和晶盛机电规划的投资项目为例，其中衬底以导电型为主，而长晶炉的单台年产能预计为 300~400 片。

图 24：天岳先进长晶炉台数与单台产能（半绝缘型衬底为主）



资料来源：天岳先进招股说明书、德邦研究所

图 25：SiC 项目的长晶炉单台规划产能对比（以导电型衬底为主）

公司	投资项目	衬底尺寸	投资总额 (亿元)	规划长晶炉 数量 (台)	衬底年产能	长晶炉年产能 推算 (片/ 台)
天科合达	第三代半导体碳化硅衬底产业化基地建设项目	6英寸	9.57	400	规划12万片，其中导电型8.2万片，半绝缘型3.8万片	300
晶盛机电	碳化硅衬底晶片生产基地项目	6英寸及以上	33.6	1000	规划40万片，包含导电型和半绝缘型	400

资料来源：天科合达官网、晶盛机电公告、德邦研究所

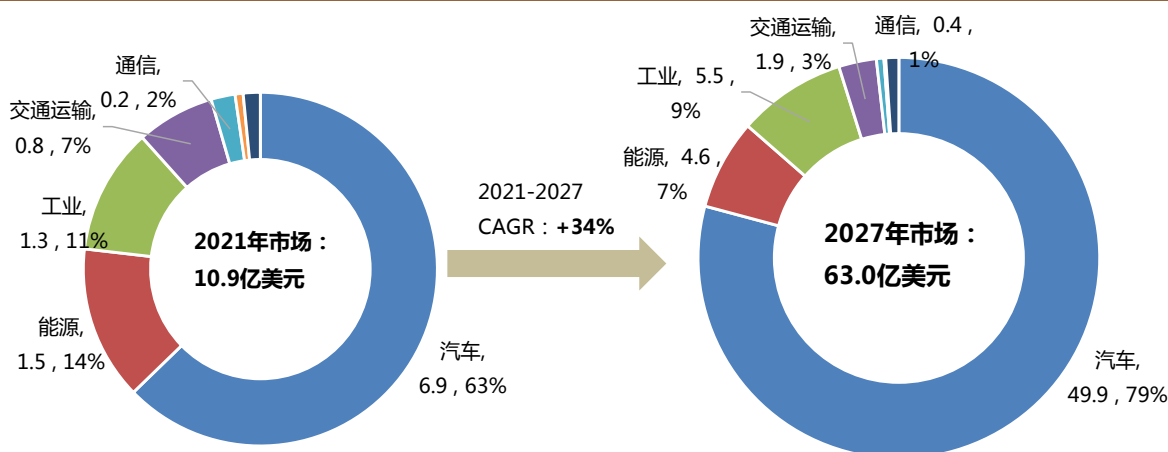
SiC 芯片制造设备以 6 英寸为主，需要高温离子注入机进行掺杂。在 SiC 衬底制造环节，除了长晶炉，厂商还需要切割机、研磨机、抛光机和检测设备来帮助对 SiC 晶体进行加工处理。在 SiC 芯片制造环节，除了传统的晶圆加工用的光刻机、涂胶显影机、刻蚀机，SiC 还会额外需要高温离子注入机（取代扩散炉）来完成掺杂。不过由于目前 SiC 晶圆以 6 英寸为主，所以晶圆产线的投资额相对较低。

2. SiC 应用方兴未艾

2.1. SiC 器件市场高速发展

SiC 市场将迎来高速增长, 预计 2021 年到 2027 年市场规模 CAGR 为 34%。根据 Yole 的预测, 2021 年全球碳化硅市场规模为 10.9 亿美元, 其中主要应用市场为汽车。到 2027 年, Yole 预计整体 SiC 市场规模达到 63 亿美元, 使得 2021 年到 2027 年的复合增速为 34%, 其中汽车 SiC 市场预计增长到 50 亿美元, 占比提升到 79%, 且复合增速高于行业整体, 达到 39%。除汽车之外, 能源、工业也是 SiC 的重要应用下游, 预计到 2027 年也分别有 4.6、5.5 亿美元的市场空间。

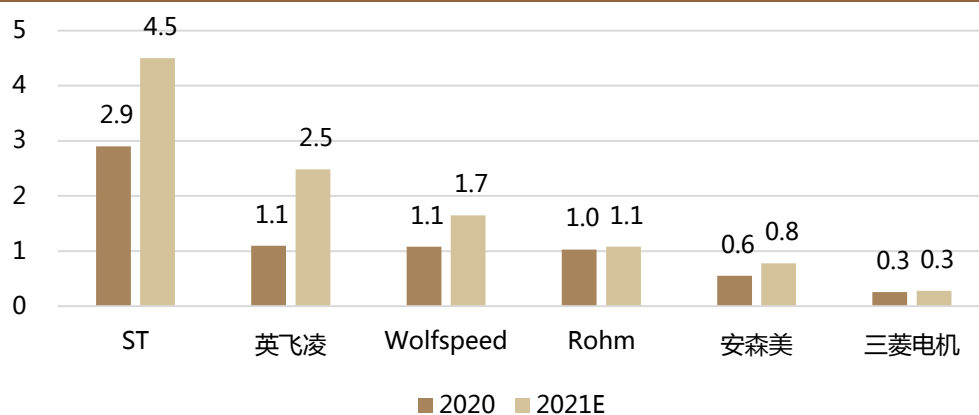
图 26: SiC 器件市场规模及下游应用展望 (亿美元)



资料来源: Yole、德邦研究所

传统功率器件厂商纷纷布局 SiC。根据 Yole 统计, 2021 年全球 SiC 功率器件市场同比增长 57%。全球从各厂商 SiC 功率器件收入来看, 2021 年收入前五的公司分别是 ST、英飞凌、Wolfspeed、Rohm、安森美。这五家头部企业目前都采用垂直一体化整合模式, 即 SiC 业务覆盖从衬底生产到器件制造的全流程。

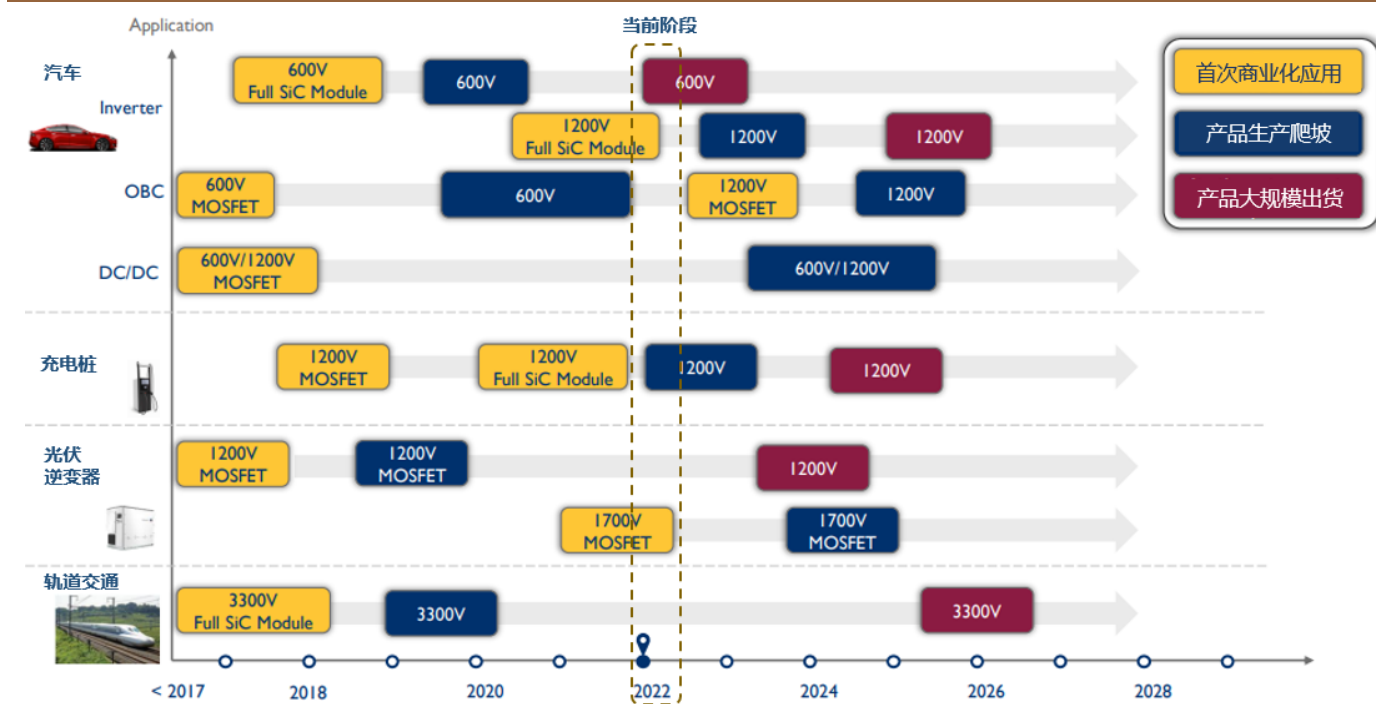
图 27: 各厂商 SiC 功率器件收入排名 (亿美元)



资料来源: Yole、德邦研究所

SiC 器件在部分应用中已经开始大规模出货。目前 SiC 器件已经在汽车、充电桩、光伏逆变器、轨道交通等下游中都得到了商业化应用, 其中电动车电驱中的 650V SiC 模组已经大批量出货, 而 Yole 预计 1200V 模组产品预计将在未来 1-2 年在光伏逆变器中开始上量。

图 28：SiC 下游应用的发展情况

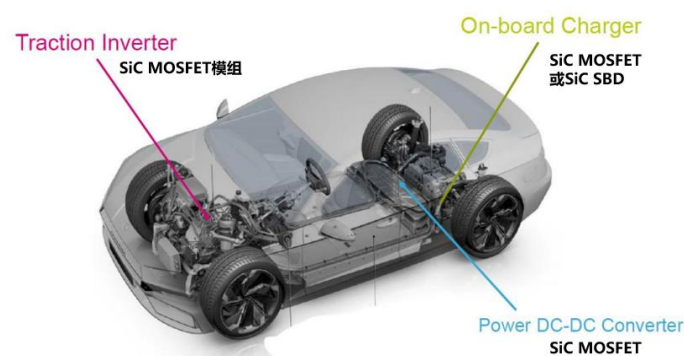


资料来源：Yole、德邦研究所

2.2. 新能源汽车是 SiC 的主要应用场景

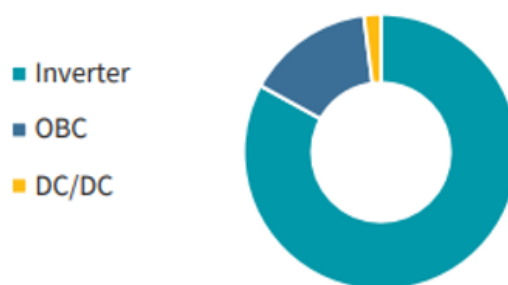
电驱逆变器是 SiC 在汽车上的主要应用领域。在新能源汽车上，SiC 应用的主要领域是电驱逆变器、车载充电机（OBC）和直流电压转换器（DC/DC）。根据 Wolfspeed 的预测，到 2026 年，逆变器应用占汽车 SiC 器件市场的 80% 以上，是其中最为重要的应用领域。SiC 器件应用于电驱逆变器中，能够显著降低电力电子系统的体积、重量和成本，并提高功率密度；应用于车载充电机和 DC/DC 系统，能够降低开关损耗、提高极限工作温度、提升系统效率。除此之外，SiC 也可以应用于新能源汽车充电桩上，达到减小充电桩体积、提高充电速度的效果。

图 29：SiC 器件可以应用于主驱逆变、车载充电器和 DC/DC



资料来源：ST 技术文档、德邦研究所

图 30：2026 年汽车 SiC 器件市场构成展望（逆变器占大部分）



资料来源：Wolfspeed 2021 年投资者大会、德邦研究所

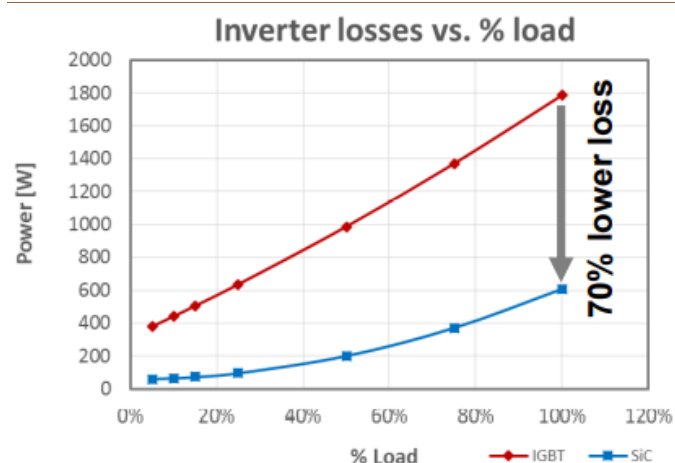
电动车通过使用 SiC 逆变器可以提升效率、增加电池续航。在电驱逆变器中使用 SiC 器件的优势一方面在于损耗降低和效率的提升，另一方面在于整个系统成本的降低。具体来说：

- 减小逆变器体积和重量。因为 SiC 器件自身芯片面积会减小，且其工作

频率高，可以节省外围的被动元器件，从而 SiC 模块体积会小于 IGBT 模块；SiC 散热性好，也减少了冷却系统的体积。据 ST 估计，SiC MOSFET 的逆变器封装尺寸比硅基 IGBT 的减少 50% 以上。

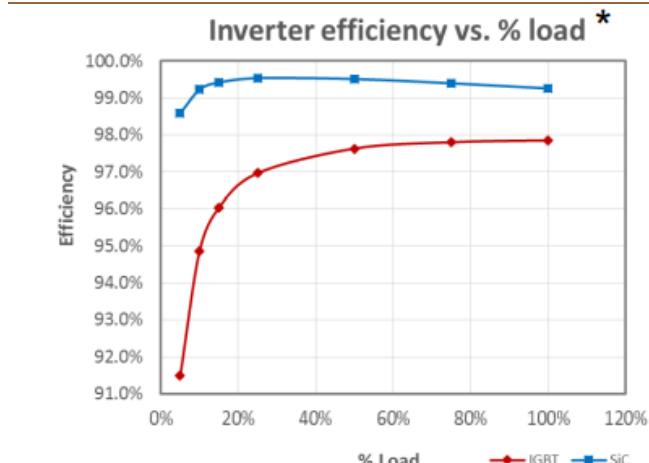
- **提升逆变器效率，增加续航。**ST 估计，在一个电动车平均运行状态（15% 负载）下，SiC 逆变器的效率比 IGBT 逆变器高 3.4%。与一个 85kWh 电池的硅基 IGBT 方案对比，SiC 方案的同等续航电池容量只需要 82.1kWh，相当于节省了 435 美元的电池成本（按 150\$/kWh 的电池成本计算）。这也意味着在同样电池容量下，SiC 方案可以提升电动车的续航。

图 31：SiC 方案的电驱逆变器损耗大幅降低



资料来源：ST 技术文档、德邦研究所

图 32：SiC 方案的电驱逆变器效率较 IGBT 更高



资料来源：ST 技术文档、德邦研究所

越来越多的车型开始搭载 SiC 功率器件。随着特斯拉在 Model 3 的主逆变器中首次采用全 SiC 功率器件，越来越多的厂商开始发布搭载 SiC 器件的车型，包括比亚迪、蔚来、小鹏、丰田、奔驰等。通过搭载 SiC 器件，这些新发布的车型可以实现更小的逆变器和车载充电机、更高的逆变效率、更高功率密度，从而提升汽车驱动功率、充电速度以及续航。考虑到蔚来、小鹏等搭载 SiC 车型将在 2022 年下半年开始交付，预计车规 SiC 器件将迎来放量。

表 2：新能源车使用 SiC 器件情况

厂商	车型	发布时间	首批交付时间	SiC 应用场景	SiC 器件供应商	车型特点
特斯拉	Model 3	2016 年 4 月	2017 年 7 月	后驱逆变器	ST	首款采用 SiC 器件的量产车。单逆变器用 24 个模块，一个模块由 2 颗 650V 100A 的 SiC MOSFET 组成
特斯拉	Model Y	2019 年 3 月	2020 年 3 月	后驱逆变器	/	
比亚迪	汉 EV 四驱高性能版	2020 年 7 月	/	电驱逆变器	比亚迪半导体	首款国产 SiC 器件车型
Lucid	Lucid Air	2020 年 9 月	/	逆变器、OBC	Wolfspeed、Rohm	SiC MOSFET 可提供高达 19.2KW 的交流充电，每小时可增加 80 英里的续航里程
蔚来	ET7	2021 年 1 月	2022 年 3 月	电驱逆变器	安森美	百公里加速达到 3.9s
现代	IONIQ 5	2021 年 2 月	/	电驱逆变器	英飞凌	800V 高压
小鹏	G9	2021 年 11 月	2022 年下半年	电驱逆变器	斯达	国内首款基于 800V 碳化硅平台
蔚来	ET5	2021 年 12 月	预计 2022 年 9 月	电驱逆变器	/	
丰田	bZ4X	2021 年 4 月	预计 2022 年中旬	OBC 和 DC/DC	日本电装	搭载了 SiC 二极管的车载充电装置比传统的更小、更轻，还能将成本有效降低 30%
奔驰	Vision EQXX	2022 年 1 月	预计 2024 年	电驱逆变器	/	续航 1000 公里，电压等级超 800V
雷克萨斯	LEXUS RZ	2022 年 4 月	/	后驱逆变器	日本电装	
蔚来	ES7	2022 年 6 月	预计 2022 年 8 月	前驱逆变器	/	蔚来 NT2 第二代技术平台的首款 SUV，应

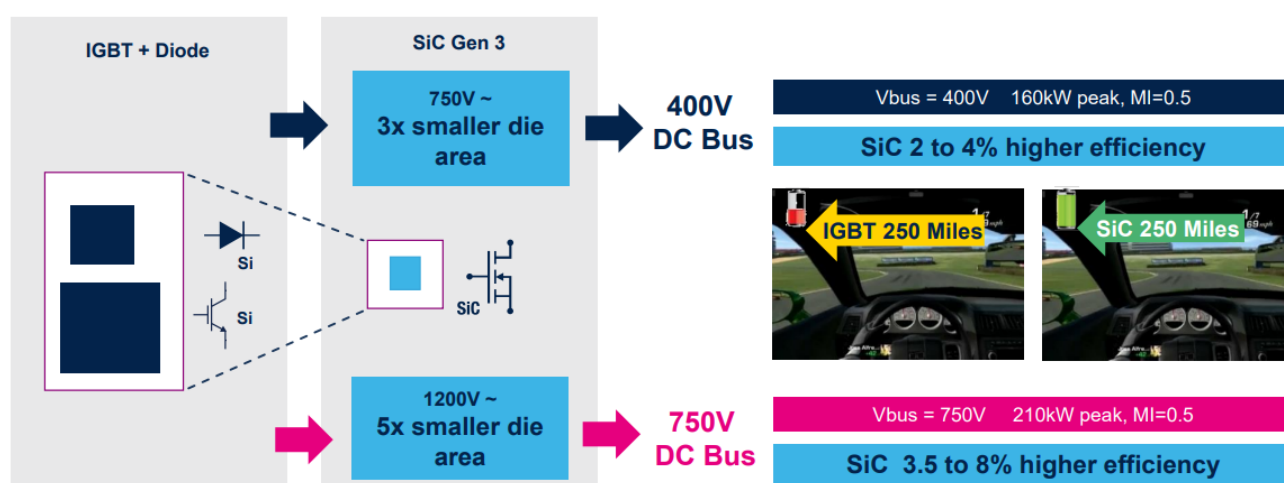
现代 IONIQ 6 2022 年 7 月 预计 2022Q3 电驱逆变器 / 800V 平台

资料来源：Yole、System Plus Consulting、百度百科、腾讯新闻、有驾新闻、懂车帝、汽车电子应用网、新出行、华夏 EV、证券日报、汽车之家、爱卡汽车、集邦咨询、易车号、行家说官网、德邦研究所

800V 电压可以明显提升电动车充电速度。以小鹏 G9 车型为例，其是国内首款基于 800V 碳化硅平台的车型，预计将于 2022 年开始交付。高压碳化硅平台使得小鹏可以推出 480kW 的超级充电桩技术，而 480kW 的充电功率可以使得一个 100kWh 电池包的充满时间只要 10 多分钟，真正解决电动车充电焦虑问题。

高电压等级下，SiC 的效率提升优势将更明显。根据 ST 的数据，在 400V 电压平台下，SiC 能够比硅基 IGBT 器件拥有 2%~4% 的效率提升，而在 750V 电压平台下其效率提升幅度则可增大至 3.5%~8%。当汽车平台选择更高电压等级时，SiC 的优势将更明显，所以我们预计 SiC 器件会逐步在高压平台、以及 400V 高性能车型上得到应用。

图 33：直流母线电压提升后，SiC 相比 IGBT 提升效率幅度更明显



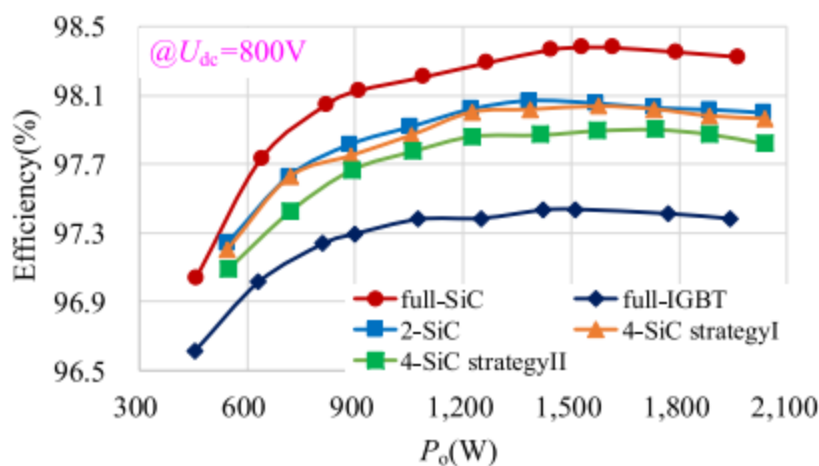
资料来源：ST 官网技术文档、德邦研究所

2.3. SiC 器件提升光伏逆变器的转换效率

光伏逆变器中的开关电路和续流二极管都可以使用 SiC 器件。逆变器电路中的功率器件分为两大类：开关器件和续流二极管。开关器件用来控制电路的通断，将直流逆变为交流。续流二极管（可选用快恢复二极管或者肖特基二极管）并联在开关器件上，为感性负载上的电流提供通路。这两部分电路都可以通过使用 SiC 器件来降低损耗。

SiC 器件可以提升逆变器的效率。通过组合 Si 和 SiC 器件的使用，目前逆变器的电路有多种方案，包括：1) 全硅基型，是全部使用硅基器件，包括 IGBT、二极管；2) 混合型，是混合使用硅基与 SiC 器件，例如 Si IGBT+SiC 二极管，或 Si IGBT+SiC MOSFET；3) 全 SiC 型，是全部使用 SiC MOSFET 或者 SiC 二极管。从表现来看，使用全 SiC 的逆变器在逆变效率上好于混合型，而全硅基型的效率表现弱于前两类逆变器。

图 34：不同类型光伏逆变器能量转换效率对比



资料来源:《Evaluation of Different Si/SiC Hybrid Three-Level Active NPC Inverters for High Power Density》, Li Zhang 等、德邦研究所; 2-SiC、4-SiC 方案都是 SiC MOSFET 与 Si IGBT 的混合型方案

应用于光伏领域的 SiC 器件发展逐渐成熟。SiC 肖特基二极管早在 2001 年就被英飞凌推出, 然后在 2017 年左右, SiC MOSFET 产品也得到量产。近几年, 应用于光伏领域的 SiC 和 Si 的混合型模块以及全 SiC 模块都相继推出。例如, 2019 年, 英飞凌推出应用于光伏的 EasyPack 3B 模块, 采用 IGBT 模块和 SiC 肖特基二极管, 应用于如阳光电源 SG250HX 逆变器中。SiC 器件发展逐渐成熟。

2.4. 轨交中 SiC 器件逐步得到应用

SiC 器件可以降低轨道交通的能耗。轨道交通车辆中的牵引变流器、辅助变流器、变压器、充电机是主要使用功率半导体的地方, 其中牵引系统是轨交主要耗电之处。根据中国轨道交通网的数据, 牵引用电占城市轨道交通总用电的 50% 以上。SiC 器件的优势就在于提高效率、减少能耗。根据中国城市轨道交通协会的评估, 深圳地铁和中车株洲电力机车研究所联合研制的全碳化硅牵引逆变器能耗比硅基 IGBT 降低 10% 以上, 牵引电机在中低速段噪声下降 5dB 以上。

国产 SiC 器件在轨交上逐步得到应用。在 SiC 应用方面, 日本地铁较早开始使用 SiC 肖特基二极管以及全 SiC 功率模块在牵引逆变器上。中车时代电气是国产轨交 SiC 器件较领先的企业, 在 2017 年就在 3300V/500A SiC 混合模块上取得研发进展。目前国产 SiC 模块已经用于深圳地铁 1 号线、苏州轨交 3 号线等轨道交通车辆上。

表 3: SiC 在轨道交通中的应用情况

年份	SiC 应用情况
2012	包含碳化硅 SBD 的混合碳化硅功率模块在东京地铁银座线 37 列车辆中商业化应用, 实现了列车牵引系统节能效果的明显提升、电动机能量损耗的大幅下降和冷却单元的小型化。
2014	2014 年, 日本小田急电铁新型通勤车辆配备了三菱电机 3300V/1500A 全碳化硅功率模块逆变器, 开关损耗降低 55%、体积和重量减少 65%, 电能损耗降低 20% 至 36%。
2017	中车时代电气已经在适用于轨道交通牵引变流器系统的 3300V/500A SiC 混合模块的研制上取得进展。
2021	中车株洲电力机车研究所研发的全碳化硅牵引逆变器应用于深圳地铁 1 号线, 且无故障运营 5 个月以上, 累计载客公里数超过 6.5 万公里, 能耗比硅基 IGBT 降低 10% 以上。 中车交付首列全碳化硅永磁直驱列车, 用于苏州市轨道交通 3 号线。

资料来源: 天科合达招股说明书、时代电气 2021 年年报、现代城市轨道交通、IT 之家、德邦研究所

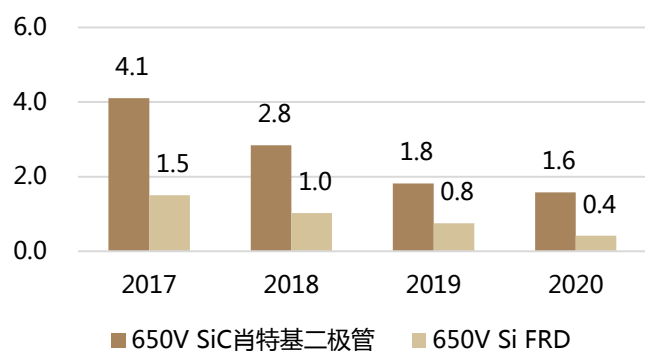
3. SiC 持续降本，在高压领域更具系统成本优势

3.1. SiC 与硅基器件价差逐渐缩小

SiC 器件的报价在持续下降，并与硅基器件价差逐渐缩小。根据 CASA Research 统计的半导体器件经销商网上平均报价（元/安培）来看，SiC 肖特基二极管（SBD）以及 SiC MOSFET 器件近年来在逐步下降，其中 650V SiC SBD 报价在 2018~2020 年的复合降幅达到 25%，而 650V SiC MOSFET 的复合降幅为 32%。由于 SiC 器件价格的下降，其与硅基器件的价差也在逐渐缩小。

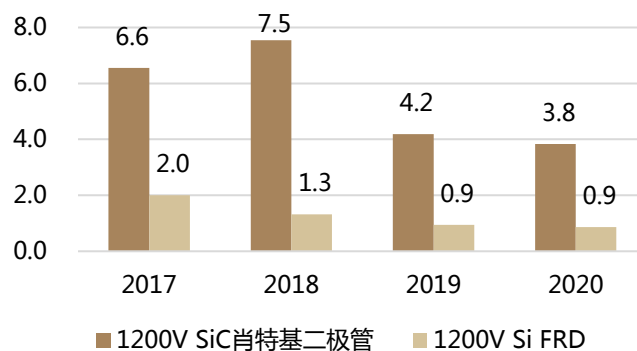
SiC 器件的实际成交价与硅基器件差距缩小至 2~3 倍区间。相比于经销商的公开报价，半导体器件的实际成交价一般要更低。根据 CASA Research 的调研，2020 年底，650V SiC SBD 的实际成交价格约 0.7 元/安培，1200V SiC SBD 的成交价格约 1.2 元/A。SiC 器件的实际成交价基本约为公开报价的 60%-70%，且较上一年下降了 20% 左右。从实际成交价来看，SiC 器件与硅基器件的价格差距预计缩小至 2~3 倍区间。

图 35: 650V SiC 肖特基二极管与硅基 FRD 报价对比（元/安培）



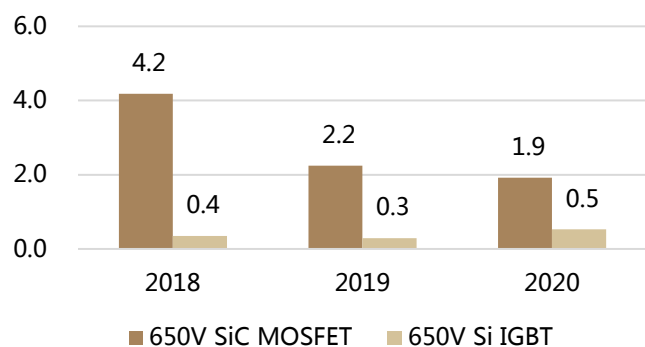
资料来源: Mouser、Digi-Key、CASA Research、德邦研究所

图 36: 1200V SiC 肖特基二极管与硅基 FRD 报价对比（元/安培）



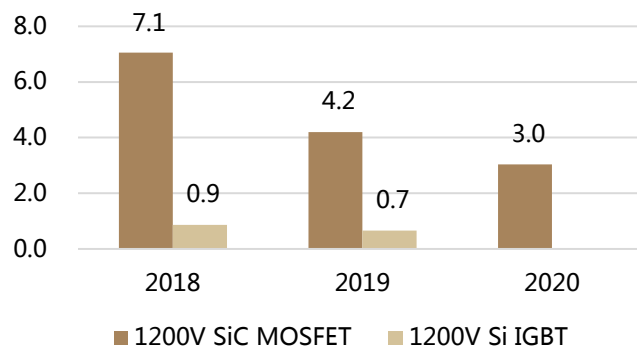
资料来源: Mouser、Digi-Key、CASA Research、德邦研究所

图 37: 650V SiC MOSFET 与硅基 IGBT 单管报价对比（元/安培）



资料来源: Mouser、Digi-Key、CASA Research、德邦研究所

图 38: 1200V SiC MOSFET 与硅基 IGBT 单管报价对比（元/安培）



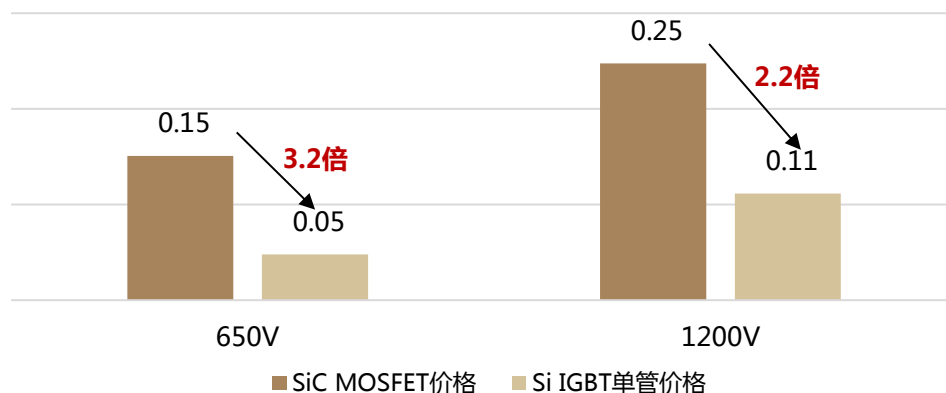
资料来源: Mouser、Digi-Key、CASA Research、德邦研究所

预计 SiC 器件在高电压场景中先具备替代优势。从安森美的功率器件原厂价格对比来看，目前其 650V SiC MOSFET 价格比同电压的硅基 IGBT 单管要贵 3.2 倍，而 1200V SiC MOSFET 比同电压的 IGBT 单管价格差距就缩小至 2.2 倍。这反映在高电压等级下，SiC 器件的价格与硅基的差距更小。考虑到 SiC 对系统成本的减少，例如减少散热组价和缩小体积，我们预计在高电压场景下，SiC 已出现替换硅基器件的优势。

华为预计 2025 年前碳化硅价格逐渐于硅持平。华为在《数字能源 2030》中

指出，以碳化硅为代表的第三代半导体功率芯片和器件能够大幅提升各类电力电子设备的能量密度，提高电能转换效率，降低损耗，渗透率将在未来全面提升；碳化硅的瓶颈当前主要在于衬底成本高，预计未来 2025 年前，其价格会逐渐降为硅持平。

图 39：安森美 SiC MOSFET 与硅基 IGBT 原厂价格对比（美元/安培）



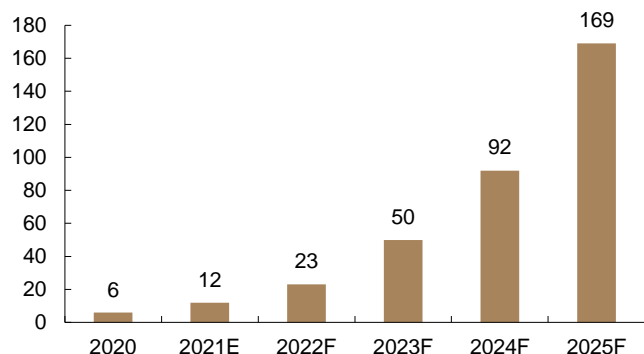
资料来源：安森美官网、德邦研究所；备注：数据时间选自 2022 年 7 月 28 日

3.2. 汽车应用带动 SiC 晶圆需求保持迅猛增长

SiC 晶圆需求预计将爆发增长。TrendForce 预估，随着电动汽车渗透率的不断提升，以及整车架构逐渐朝向 800V 等更高电压的方向发展，2025 年电动汽车市场对 6 英寸 SiC 晶圆的需求量将达 169 万片，较目前有数倍的成长。虽然行业领先者在 2022 年已经开始生产 8 英寸 SiC 衬底，但考虑到良率和爬坡时间，预计 6 英寸 SiC 晶圆在未来几年仍将占据主流。

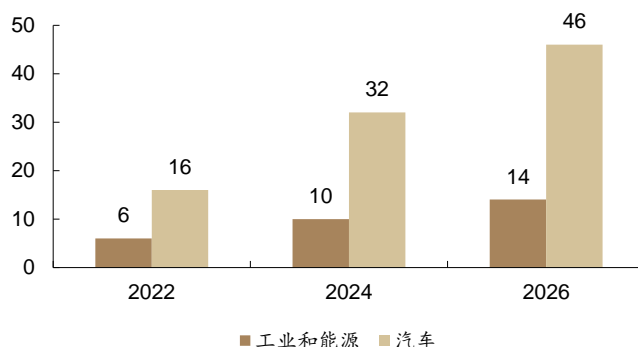
SiC 功率器件市场未来 4 年复合增速预计为 29%，汽车应用贡献主要增长。Wolfspeed 预估在 2022 年，全球 SiC 功率器件市场规模在 22 亿美元，其中工业和能源市场有 6 亿美元，而汽车市场有 16 亿美元。随着汽车电动化、快速充电设施的发展、光伏及工业应用对电路效率提升的需求，预计全球 SiC 功率器件市场到 2026 年增长为 60 亿美元的规模，其中工业和能源市场为 14 亿美元，而汽车市场将大幅增长至 46 亿美元。

图 40：全球电动车对 6 英寸 SiC 晶圆需求（万片）



资料来源：TrendForce 官网、德邦研究所

图 41：SiC 功率器件市场空间预测（亿美元）



资料来源：Wolfspeed 2021 年投资者大会 PPT、德邦研究所

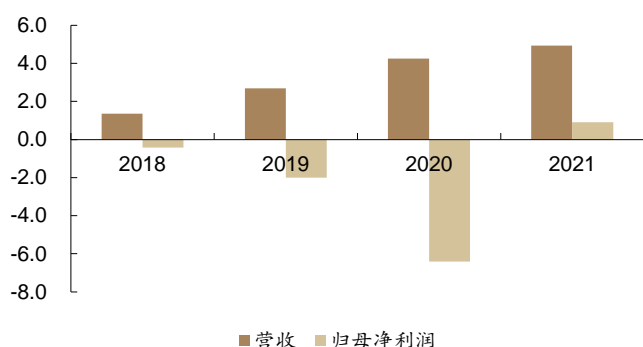
4. 相关公司

4.1. 天岳先进

国内半绝缘型碳化硅衬底龙头。山东天岳先进科技股份有限公司成立于 2010 年，是一家专注于碳化硅衬底的公司。公司先后承担多个国家项目，在碳化硅衬底领域走在国内前列。目前公司产品包括半绝缘型和导电型碳化硅衬底。根据 Yole 统计，2021 年公司在半绝缘碳化硅衬底的市场占有率连续三年保持全球前三。除了衬底，公司对碳化硅外延也有布局。

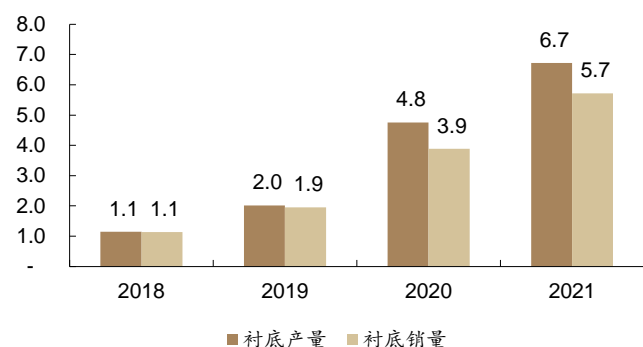
导电型碳化硅衬底建设将完善天岳的碳化硅布局。公司目前在山东济南、济宁建立碳化硅衬底生产基地，主要生产半绝缘型衬底；在上海投资建设 6 英寸导电型碳化硅衬底材料，预计将于 2022 年三季度实现一期项目投产。天岳的导电型衬底项目计划于 2026 年达产，达产后将新增碳化硅衬底产能约 30 万片/年。

图 42：天岳先进营收与归母净利润（亿元）



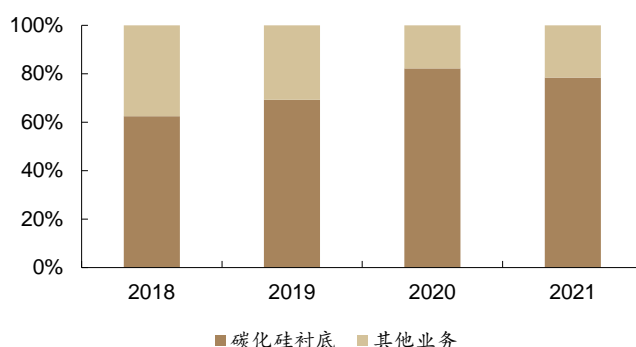
资料来源：Wind、德邦研究所

图 44：天岳先进衬底产量与销量（万片）



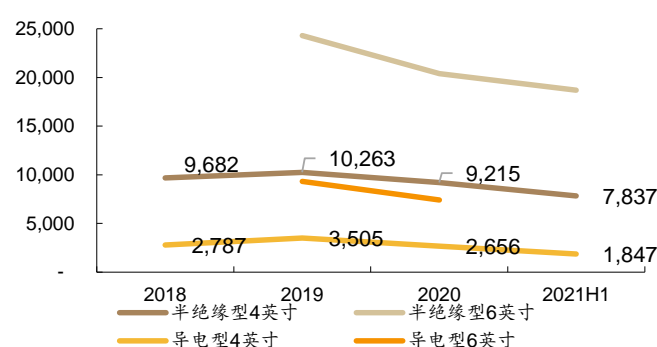
资料来源：天岳先进招股说明书、天岳先进 2021 年年报、德邦研究所

图 43：天岳先进营收结构



资料来源：Wind、德邦研究所

图 45：天岳先进衬底销售单价（元/片）



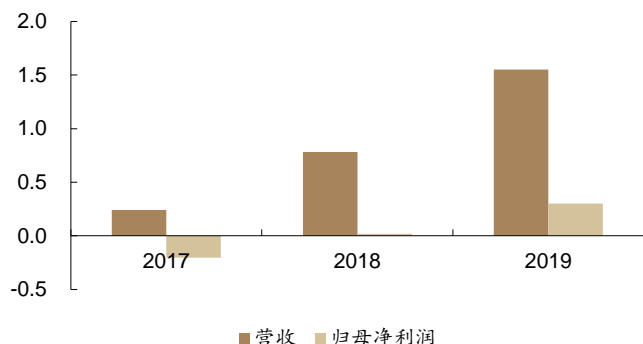
资料来源：天岳先进公告、德邦研究所

4.2. 天科合达

国内导电型碳化硅衬底龙头。天科合达成立于 2006 年，在国内最早建立了完整的碳化硅晶片生产线。公司在国内率先成功研制 6 英寸碳化硅衬底，并已实现 2 英寸至 6 英寸的碳化硅晶片的规模化生产和销售。公司先后承担和参与多项国家重大科研项目，并先后起草或参与起草多项现行国家标准和行业标准。公司目前的产品主要包括碳化硅衬底、其他碳化硅产品（主要是宝石晶体）、碳化硅单晶生长炉等。根据 Yole 统计，2018 年公司导电型碳化硅衬底的全球市场占有率为 1.7%，排名全球第六、国内第一。根据 Wolfspeed 2021 年数据，天科合达在全球碳化硅衬底市占率为 4%，排名全球第五、国内第一。

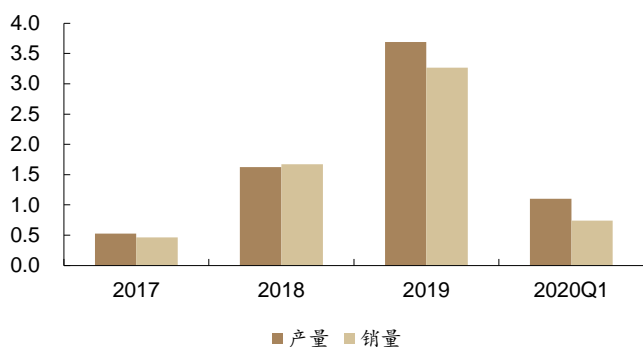
2020年8月，天科合达的第三代半导体碳化硅衬底产业化基地建设项目在北京市大兴区顺利开工，总投资约9.5亿元人民币，总建筑面积5.5万平方米，新建一条400台/套碳化硅单晶生长炉及其配套切、磨、抛加工设备的碳化硅衬底生产线，项目计划于2022年年初完工投产，建成后可年产碳化硅衬底12万片。

图 46：天科合达营收与归母净利润（亿元）



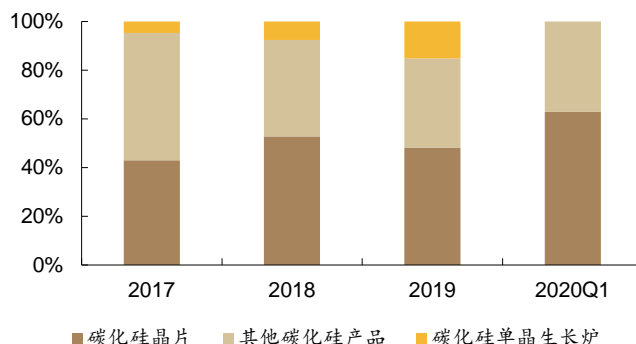
资料来源：Wind、德邦研究所

图 48：天科合达碳化硅衬底的产量和销量（万片）



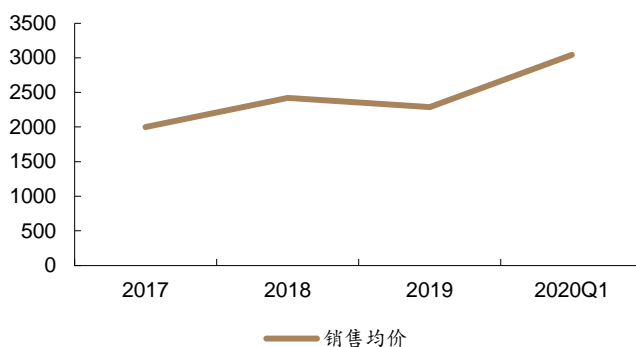
资料来源：天科合达招股说明书（IPO 终止）、德邦研究所

图 47：天科合达主营业务营收结构



资料来源：天科合达招股说明书（IPO 终止）、德邦研究所

图 49：天科合达碳化硅衬底销售均价（元/片）



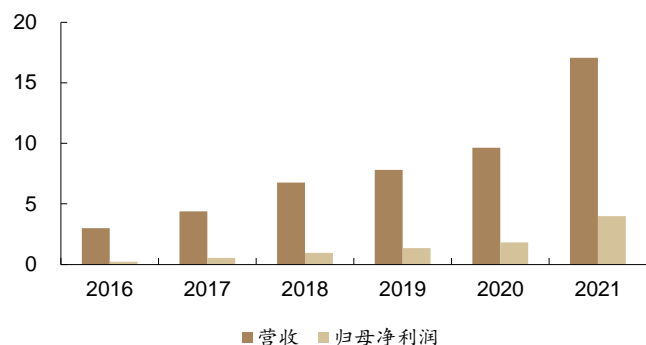
资料来源：天科合达招股说明书（IPO 终止）、德邦研究所

4.3. 斯达半导

国内 IGBT 龙头，新能源业务占比快速提升。根据 Omdia 统计，2020 年，斯达半导 IGBT 模块的全球份额排名全球第六位，在国内企业中排名第一位。2021 年，斯达半导新能源业务营收同比增长 166%，从而使得该业务主营收入占比从 2020 年的 22% 提升到 34%。预计电动车的渗透率提升将带动斯达新能源业务的快速发展。

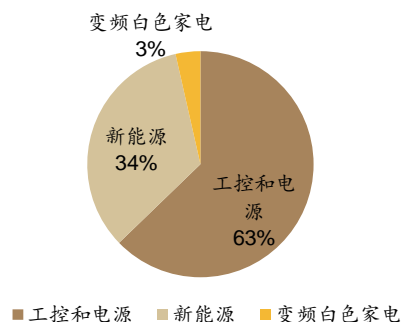
自建 SiC 模块+芯片产能，乘上行业发展东风。预见到 SiC 功率模块市场会迅速增长，公司 2020 年底开始投资建设年产 8 万颗车规级全 SiC 功率模块产线，且目前已经获得国内外多家著名车企和 Tier1 客户的项目定点。例如，2020 年 6 月，宇通客车宣布和斯达半导体合作开发 SiC 的商用车电控方案。除了 SiC 模块产线的建设外，公司于 2021 年非公开发行募资 35 亿元，并将投资 5 亿元于 6 英寸 SiC 芯片生产项目。当公司自建的芯片产能投产后，将帮助公司完成从芯片到器件的垂直整合，更好地抓住 SiC 器件市场的发展机遇。

图 50：斯达半导营收和归母净利润（亿元）



资料来源：Wind、德邦研究所

图 51：斯达半导 2021 年主营业务营收构成



资料来源：斯达半导 2021 年年报、德邦研究所

表 4：斯达半导 SiC 投资项目

公告日期	项目投资额	项目建设期	投资项目
2020/12/18	2.29 亿元	24 个月	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
2021/3/3	5 亿元	36 个月	投资建设年产 6 万片 6 英寸 SiC 芯片生产项目，预计项目完全达产后可实现年均营收 6.6 亿元

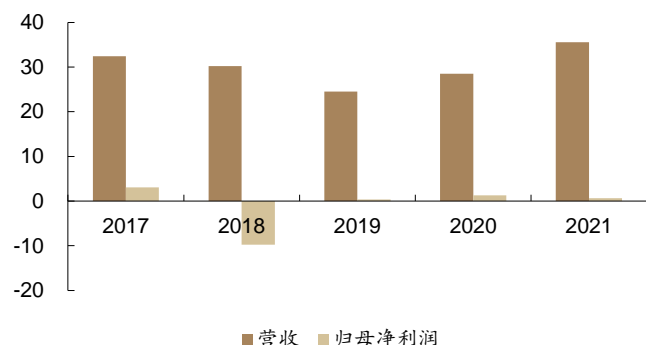
资料来源：斯达半导公告、德邦研究所

4.4. 露笑科技

露笑科技布局碳化硅长晶炉以及衬底。露笑科技主营业务是铜芯、铝芯电磁线的生产与销售。公司与产业资本共同投资成立了露笑半导体材料有限公司，以进行碳化硅晶体生长、衬底片和外延片研发、生产和销售。除了布局碳化硅衬底业务，公司也具备碳化硅长晶炉的生产能力。

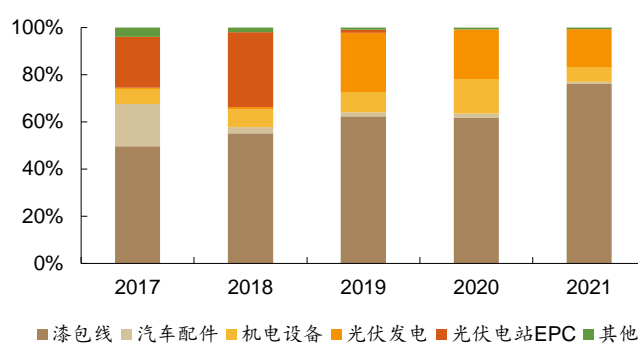
与天域半导体签订框架协议，有望增强公司衬底实力。截至 2021 年底，公司已经完成衬底片加工车间建设并投入使用，且具备年产 10 万片的产能规模。预计到 2022 年底，公司可以实现 5000 片/月的碳化硅衬底片供货能力。2021 年 11 月，公司控股子公司露笑半导体与天域半导体签订战略合作框架协议。协议内容为天域半导体优先使用露笑半导体生产的 6 英寸碳化硅导电衬底，且 2022~2024 年露笑半导体需为天域半导体预留产能不少于 15 万片。天域半导体是国内进行碳化硅外延片生产的主要公司，预计该合作可以帮助露笑半导体提升衬底生产水平。

图 52：露笑科技营收和归母净利润（亿元）



资料来源：Wind、德邦研究所

图 53：露笑科技营收结构



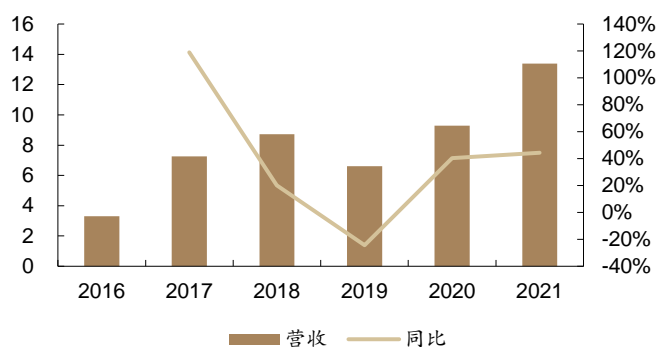
资料来源：Wind、德邦研究所

4.5. 东尼电子

东尼科技专注于超微细合金线材、金属基复合材料及其它新材料的应用研发、生产与销售，产品主要应用于消费电子、太阳能光伏、医疗、新能源汽车四大领域。公司的超微细电子线材、无线充电隔膜材料主要应用于消费电子行业；金刚石切割线、节能型太阳能胶膜主要应用于光伏行业；线束主要应用于医疗及汽车行业；极耳、铝塑膜主要应用于新能源汽车行业。

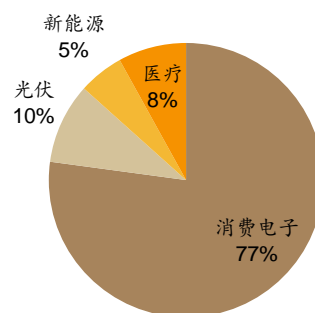
公司碳化硅样片已获得下游良好反馈。2021年4月，东尼科技发布2021年度非公开发行A股股票预案公告，拟集资金投资建设碳化硅半导体材料等项目，其中碳化硅材料项目投资总额为4.69亿元，规划建设年产12万片碳化硅衬底材料，建设期为36个月。根据公司公告，公司碳化硅项目从2017年开始储备研发，技术主要来源于美国、日本，研发团队来自中国台湾；2022年4月，公司的碳化硅500片样片已交付，获得下游良好反馈。

图 54：东尼科技营收（亿元）及同比



资料来源：Wind、德邦研究所

图 55：东尼科技 2021 年主营业务营收构成



资料来源：Wind、德邦研究所

5. 风险提示

下游需求发展不及预期、SiC 成本下降速度不及预期、行业竞争加剧风险。

信息披露

分析师与研究助理简介

陈海进，电子行业首席分析师，6 年以上电子行业研究经验，曾任职于民生证券、方正证券、中欧基金等，南开大学国际经济研究所硕士。电子行业全领域覆盖。

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，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告。本报告所采用的数据和信息均来自市场公开信息，本人不保证该等信息的准确性或完整性。分析逻辑基于作者的职业理解，清晰准确地反映了作者的研究观点，结论不受任何第三方的授意或影响，特此声明。

投资评级说明

1. 投资评级的比较和评级标准： 以报告发布后的 6 个月内的市场表现为比较标准，报告发布日后 6 个月内的公司股价（或行业指数）的涨跌幅相对同期市场基准指数的涨跌幅；	类 别	评 级	说 明
2. 市场基准指数的比较标准： A 股市场以上证综指或深证成指为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以标普 500 或纳斯达克综合指数为基准。	股票投资评级	买入	相对强于市场表现 20% 以上；
		增持	相对强于市场表现 5%~20%；
		中性	相对市场表现在 -5%~+5% 之间波动；
		减持	相对弱于市场表现 5% 以下。
	行业投资评级	优于大市	预期行业整体回报高于基准指数整体水平 10% 以上；
		中性	预期行业整体回报介于基准指数整体水平 -10% 与 10% 之间；
		弱于大市	预期行业整体回报低于基准指数整体水平 10% 以下。

法律声明

本报告仅供德邦证券股份有限公司（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。在任何情况下，本公司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。

本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，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波动。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。

市场有风险，投资需谨慎。本报告所载的信息、材料及结论只提供特定客户作参考，不构成投资建议，也没有考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需要。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。在法律许可的情况下，德邦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。

本报告仅向特定客户传送，未经德邦证券研究所书面授权，本研究报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。如欲引用或转载本文内容，务必联络德邦证券研究所并获得许可，并需注明出处为德邦证券研究所，且不得对本文进行有悖原意的引用和删改。

根据中国证监会核发的经营证券业务许可，德邦证券股份有限公司的经营经营范围包括证券投资咨询业务。