

2021 年 11 月 23 日

半导体

SiC 衬底--产业瓶颈亟待突破，国内厂商加速发展

■衬底是产业链最核心的环节，直接制约碳化硅应用放量：碳化硅材料属于第三代半导体，碳化硅产业链分为衬底材料制备、外延层生长、器件制造以及下游应用，衬底属于碳化硅产业链上游，制备工艺复杂，生长速度慢，产出良率低，是碳化硅产业链亟待突破的最核心部分，也是国内外厂商重点发力的环节。根据 CASA，产业链价值量集中于衬底环节，目前价值量占整个产业链 50%左右。与硅相比，碳化硅衬底制备技术壁垒高，成本远高于硅衬底。碳化硅衬底制备过程主要存在以下难点：一是对温度和压力的控制要求高，其生长温度在 2300℃ 以上；二是长晶速度慢，7 天的时间大约可生长 2cm 碳化硅晶棒；三是晶型要求高、良率低，只有少数几种晶体结构的单晶型碳化硅才可作为半导体材料；四是切割磨损高，由于碳化硅的硬度极大，在对其进行切割时加工难度较高且磨损多。昂贵的时间成本和复杂的加工工艺使得碳化硅衬底的成本较高，限制了碳化硅的应用放量。随着国内外企业布局碳化硅衬底研发，尺寸不断扩大、良率逐渐提升，碳化硅衬底成本有望不断下降，提高下游应用市场渗透率。

■Cree/II-VI 等国际巨头占据主导地位，国内公司加速追赶：欧美国家在碳化硅产业的布局早先于我国，国际龙头企业市场占有率极高。根据《2020 年中国第三代半导体碳化硅晶片行业分析报告》，2020 上半年全球半导体 SiC 晶片市场中，美国 Cree 出货量占据全球 45%。此外，Cree/II-VI 等国际碳化硅衬底龙头企业的制备技术也领先于国内。Cree 公司可批量供应 4-6 英寸导电型和半绝缘型碳化硅衬底，并成功研发 8 英寸衬底，先已开始建设 8 英寸产品生产线；贰陆公司也可实现 4 至 6 英寸碳化硅衬底的供应，并计划未来 5 年内，将 SiC 衬底的生产能力提高 5 至 10 倍。而国内碳化硅衬底厂商仍以 4 英寸衬底供应为主。但是，国内碳化硅衬底企业发展态势良好，在较短时间内完成了 4-6 英寸衬底制备技术的研发，并持续积极投资碳化硅项目，以缩小与国际龙头企业的差距，有望实现追赶。

■投资建议：建议关注露笑科技、三安光电、天科合达（未上市）、山西烁科（未上市）、山东天岳（未上市）等公司。

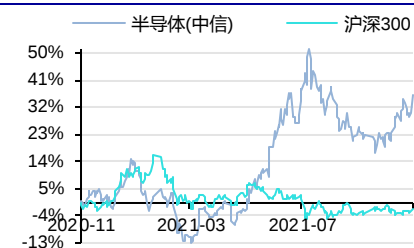
■风险提示：SiC 技术难度大，产品研发不及预期风险；相关扩产项目不及预期风险；SiC 成本高居不下，渗透率不及预期风险。

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

行业表现



资料来源：Wind 资讯

%	1M	3M	12M
相对收益	11.63	-2.40	37.81
绝对收益	10.67	-0.82	35.96

马良

分析师

SAC 执业证书编号：S1450518060001

maliang2@essence.com.cn

021-35082935

相关报告

市场空间巨大，SiC 国产化趋势加速
2021-11-06

内容目录

1. 第三代半导体，SiC 衬底性能优越	4
1.1. SiC--新一代电力电子核心材料	4
1.2. 碳化硅衬底可分为导电型与半绝缘型	5
1.3. 碳化硅衬底的尺寸演进和发展态势	5
2. 下游市场多点开花，替代硅基材料进程加快	6
2.1. 受益新能源市场发展，导电型碳化硅衬底前景广阔	6
2.1.1. 新能源车销量持续超预期，助推导电型碳化硅衬底发展	7
2.1.2. 光伏发电打开碳化硅衬底市场空间	9
2.2. 5G 等无线通讯需求推动半绝缘型碳化硅衬底快速发展	11
3. 碳化硅衬底技术壁垒高，处于产业链核心位置	12
3.1. 碳化硅衬底生产流程与硅基类似，但是难度大幅度增加	12
3.2. 碳化硅衬底生产难度较高，温场控制是工艺核心	14
3.3. 尺寸增加并进一步改进电学性能是 SiC 技术下一阶段发展方向	15
3.4. 碳化硅衬底成本下降趋势可期	15
4. 国际龙头企业占市场主要位置，国内企业加速追赶	16
4.1. 国际大厂市场占有率高，提前布局大尺寸衬底量产计划	16
4.2. 国内碳化硅衬底企业加大投入，提速追赶	17
4.2.1. 国内企业持续扩大投资碳化硅衬底项目	17
4.2.2. 经过多年自主研发，国内企业掌握碳化硅衬底制备技术	18
5. 相关企业	20
5.1. 露笑科技（股票代码：002617）	20
5.2. 三安光电（股票代码：600703）	20
5.3. 天科合达（未上市）	21
5.4. 山西烁科（未上市）	22
5.5. 山东天岳（未上市）	22
6. 风险提示	23

图表目录

图 1: 碳化硅衬底的产业链	4
图 2: Cree 碳化硅衬底尺寸演进	5
图 3: 碳化硅衬底下游器件的应用场景	6
图 4: 2019-2025 年碳化硅功率器件市场规模将快速增长	7
图 5: 碳化硅在电动汽车中的应用	7
图 6: Model3 逆变器 PCB 板	8
图 7: 比亚迪采用 SiC MOSFET 模块	8
图 8: 中国新能源汽车销量预测（万辆）	9
图 9: 光伏逆变器中碳化硅功率器件占比预测	10
图 10: 全球光伏装机量预测	10
图 11: 半绝缘型碳化硅衬底销量预测（万片）	11
图 12: 2021-2025 年 5G 宏基站建设量预测	12
图 13: 不同材料微波射频器件的应用范围对比	12
图 14: 2018-2025 年全球射频器件市场规模预算	12
图 15: 碳化硅衬底生产流程	12

图 16: 物理气相传输法生产碳化硅晶体示意图.....	13
图 17: 碳化硅器件的成本结构.....	16
图 18: SiC 衬底市场情况.....	17
图 19: 2018 年导电型碳化硅晶片厂商市场占有率.....	17
图 20: 2020-2021 年国内 SiC 项目签约布局情况.....	18
图 21: 2015-2021Q1-3 露笑科技营业收入情况.....	20
图 22: 2015-2021Q1-3 露笑科技归母净利润情况.....	20
图 23: 三安光电产业布局图.....	21
图 24: 2015-2021Q1-3 三安光电营业收入情况.....	21
图 25: 2015-2021Q1-3 三安光电归母净利润情况.....	21
图 26: 天科合达营业收入情况.....	22
图 27: 天科合达归母净利润.....	22
图 28: 山东天岳营业收入情况.....	22
图 29: 山东天岳归母净利润情况.....	22
表 1: 三代半导体材料的指标参数对比.....	4
表 2: 天科合达主要产品.....	5
表 3: 国内车企布局碳化硅器件进展.....	9
表 4: 碳化硅光伏逆变器开发进展.....	10
表 5: 山东天岳主要生产环节良率对比.....	16
表 6: 国内厂商碳化硅投资情况.....	18
表 7: 4 英寸半绝缘型碳化硅晶片.....	19
表 8: 6 英寸半绝缘型碳化硅晶片.....	19
表 9: 6 英寸导电型碳化硅晶片.....	19

1. 第三代半导体，SiC 衬底性能优越

1.1. SiC--新一代电力电子核心材料

碳化硅属于第三代半导体材料，在低功耗、小型化、高压、高频的应用场景有极大优势。第一代半导体主要有硅和锗，广泛应用于集成电路等低压、低频、低功率场景。但是难以满足高功率及高频器件需求。砷化镓是第二代半导体材料的代表，是制作半导体发光二极管和通信器件的核心材料，但砷化镓材料的禁带宽度较小、击穿电场低且具有毒性，无法在高温、高频、高功率器件领域推广。第三代半导体材料以碳化硅、氮化镓为代表，与前两代半导体材料相比最大的优势是较宽的禁带宽度，保证了其可击穿更高的电场强度，适合制备耐高压、高频的功率器件。

表 1：三代半导体材料的指标参数对比

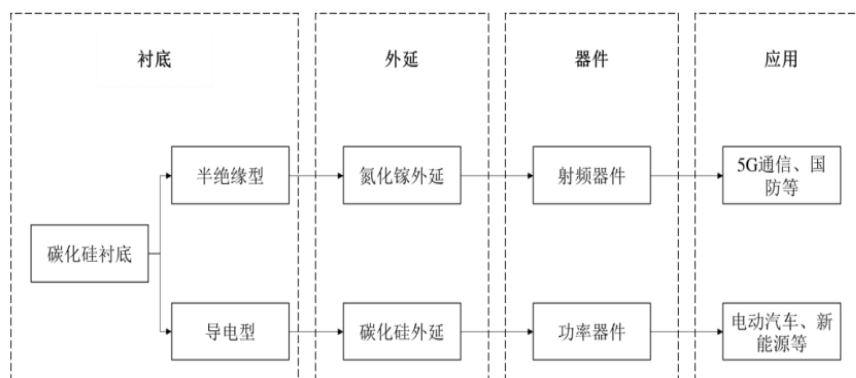
指标参数	硅 (第一代)	砷化镓 (第二代)	碳化硅 (第三代)	氮化镓 (第三代)
禁带宽度 (eV)	1.12	1.43	3.2	3.4
饱和电子漂移速率 (10 ⁷ cm/s)	1.0	1.0	2.0	2.5
热导率 (W·cm· 1·K ⁻¹)	1.5	0.54	4.0	1.3
击穿电场强度 (MV/cm)	0.3	0.4	3.5	3.3

资料来源：《宽禁带半导体高频及微波功率器件与电路》，安信证券研究中心

碳化硅材料性能优越，下游应用广泛。碳化硅制作的器件具有耐高温、耐高压、高频、大功率、抗辐射等特点，具有开关速度快、效率高的优势，可大幅降低产品功耗、提高能量转换效率并减小产品体积，下游应用广泛。目前碳化硅半导体主要应用于以 5G 通信、国防军工、航空航天为代表的射频领域和以新能源汽车、“新基建”为代表的电力电子领域，在民用、军用领域均具有明确且可观的市场前景。

碳化硅产业链分为衬底材料制备、外延层生长、器件制造以及下游应用。通常采用物理气相传输法（PVT 法）制备碳化硅单晶，再在衬底上使用化学气相沉积法（CVD 法）等生成外延片，最后制成相关器件。在 SiC 器件的产业链中，由于衬底制造工艺难度大，产业链价值量主要集中于上游衬底环节。

图 1：碳化硅衬底的产业链



资料来源：天科合达招股说明书，安信证券研究中心

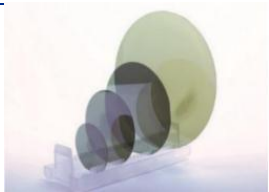
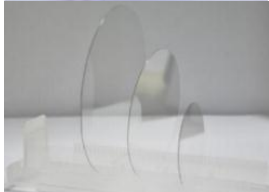
1.2. 碳化硅衬底可分为导电型与半绝缘型

衬底电学性能决定了下游芯片功能与性能的优劣。碳化硅衬底可分为两类：一类是具有高电阻率（电阻率 $\geq 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ ）的半绝缘型碳化硅衬底，另一类是低电阻率（电阻率区间为 $15 \sim 30 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ ）的导电型碳化硅衬底。

半绝缘型衬底：指电阻率高于 $10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ 的碳化硅衬底，主要用于制造氮化镓微波射频器件，是无线通讯领域的基础性零部件。

导电型衬底：指电阻率在 $15 \sim 30 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ 的碳化硅衬底。由导电型碳化硅衬底生长出的碳化硅外延片可进一步制成功率器件，广泛应用于新能源汽车、光伏、智能电网、轨道交通等领域。

表 2：天科合达主要产品

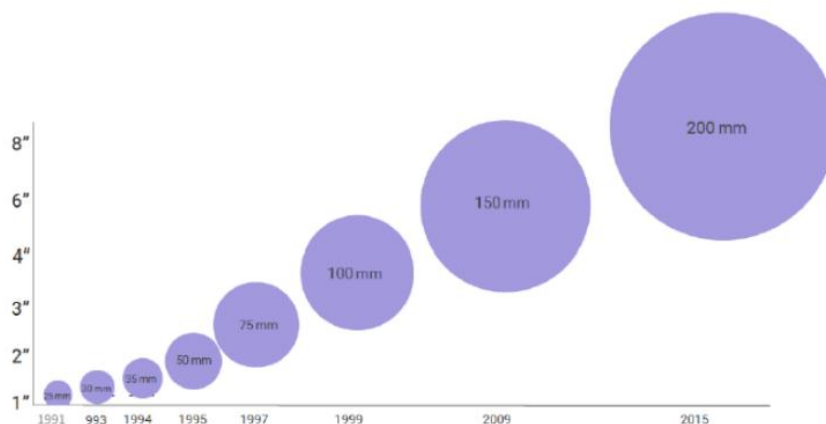
产品种类	产品种类	产品种类
导电型		作为衬底材料，经过外延生长、器件制造、封装测试，制成碳化硅二极管、碳化硅 MOSFET 等功率器件，适用于高温、高压等工作环境，应用于新能源汽车、光伏发电、轨道交通、智能电网、航空航天等领域
半绝缘型		作为衬底材料，经过外延生长、器件制造、封装测试，制成 HEMT 等微波射频器件，适用于高频、高温等工作环境，主要应用于 5G 通讯、卫星、雷达等领域

资料来源：天科合达招股说明书，安信证券研究中心

1.3. 碳化硅衬底的尺寸演进和发展态势

碳化硅衬底的尺寸（按直径计算）主要有 2 英寸（50mm）、3 英寸（75mm）、4 英寸（100mm）、6 英寸（150mm）、8 英寸（200mm）等规格。碳化硅衬底正在不断向大尺寸的方向发展，目前行业内公司主要量产产品尺寸集中在 4 英寸及 6 英寸。在最新技术研发储备上，以行业领先者 Cree 公司的研发进程为例，Cree 公司已成功研发 8 英寸产品。

图 2：Cree 碳化硅衬底尺寸演进



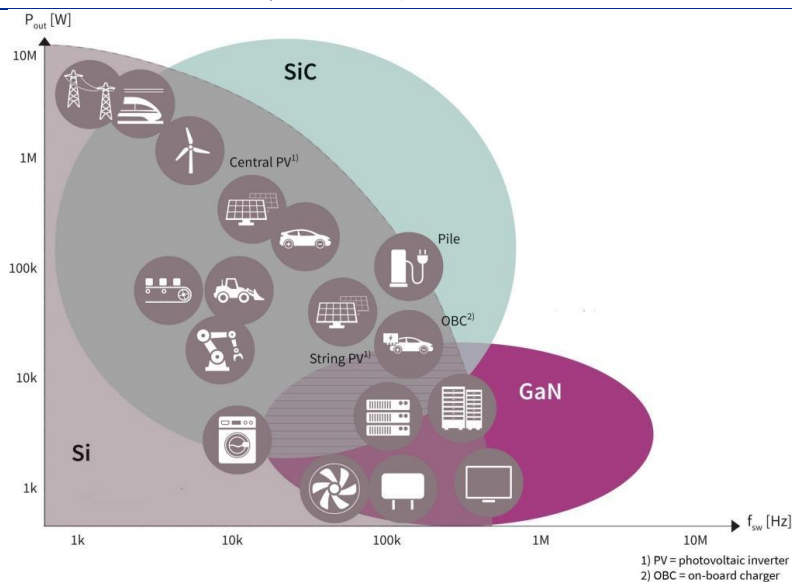
资料来源：Cree 公告，安信证券研究中心

为提高生产效率并降低成本，大尺寸是碳化硅衬底制备技术的重要发展方向。衬底尺寸越大，单位衬底可制造的芯片数量越多，单位芯片成本越低。衬底的尺寸越大，边缘的浪费就越小，有利于进一步降低芯片的成本。在半绝缘型碳化硅市场，目前主流的衬底产品规格为 4 英寸。在导电型碳化硅市场，目前主流的衬底产品规格为 6 英寸。在 8 英寸方面，与硅材料芯片相比，8 英寸和 6 英寸 SiC 生产的主要差别在高温工艺上，例如高温离子注入，高温氧化，高温激活等，以及这些高温工艺所需求的硬掩模工艺等。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 年国内市场需求，4 英寸逐步从 10 万片市场减少到 5 万片，6 英寸晶圆将从 8 万片增长到 20 万片；2025~2030 年：4 英寸晶圆将逐渐退出市场，6 英寸晶圆将增长至 40 万片。

2. 下游市场多点开花，替代硅基材料进程加快

由于碳化硅材料具备耐高温、耐高压、高功率、高频、低能耗等优良电气特性，采用碳化硅衬底可突破传统材料的物理限制，碳化硅器件将被广泛用于新能源汽车、光伏发电、轨道交通、智能电网、航空航天、5G 通讯、国防军工等领域，发展前景广阔。

图 3：碳化硅衬底下游器件的应用场景

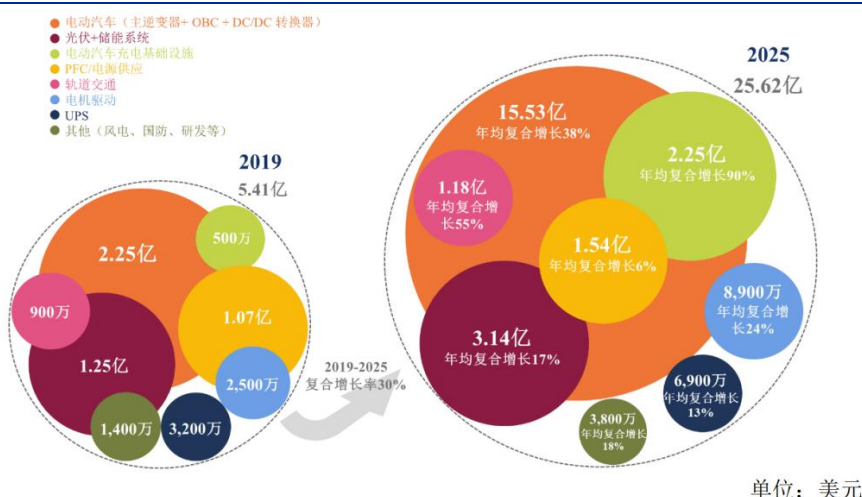


资料来源：Infineon，安信证券研究中心

2.1. 受益新能源市场发展，导电型碳化硅衬底前景广阔

导电型碳化硅衬底主要用于制作功率器件，是电力电子行业的核心。应用场景有电动汽车、数字新基建、工业电机等。根据 IC Insights 《2019 年光电子、传感器、分立器件市场分析与预测报告》，2018 年全球功率器件的销售增长率 14%，达到 163 亿美元。目前，功率器件主要由硅基材料制成，但是硅基器件由于自身的物理特性限制，其性能、能耗已达到极限，难以满足新兴电能应用需求。碳化硅功率器件凭借耐高压、耐高温等特点，可更加有效地应用于新能源汽车等战略领域。根据 Yole 数据，2019 年碳化硅功率器件的市场规模为 5.41 亿美元，预计 2025 年将增长至 25.62 亿美元，复合年增长率达 30%。碳化硅功率器件市场的高速增长也将推动导电型碳化硅衬底的需求释放。

图 4：2019-2025 年碳化硅功率器件市场规模将快速增长

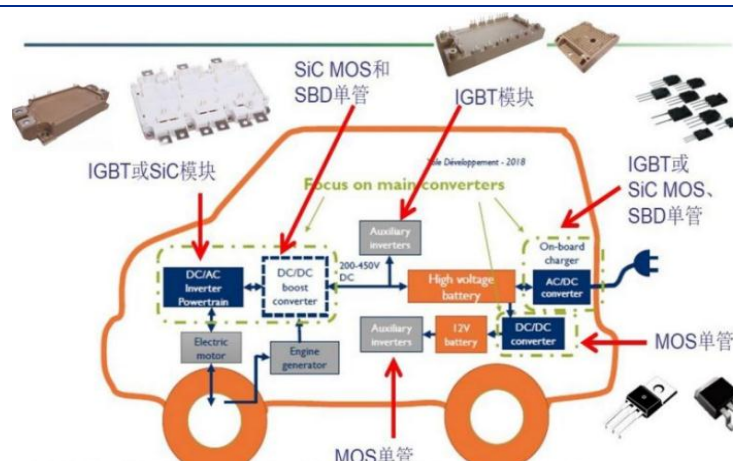


资料来源：Yole Development，安信证券研究中心

2.1.1. 新能源车销量持续超预期，助导电型碳化硅衬底发展

新能源汽车系统架构中涉及到功率半导体应用的组件包括：电机驱动系统、车载充电系统（OBC）、电源转换系统（车载 DC/DC）和非车载充电桩。

图 5：碳化硅在电动汽车中的应用



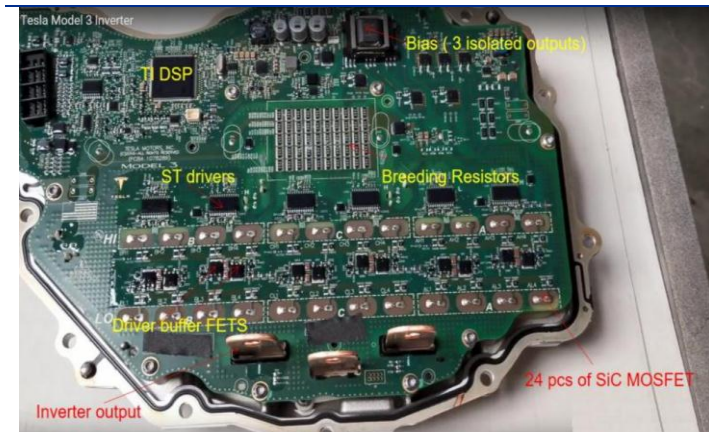
资料来源：电力电子网，安信证券研究中心

新能源汽车的 OBC、DC/DC 和电机控制器主要采用 Si 基 IGBT 器件，碳化硅器件有望替代。IGBT 已经达到硅基材料的物理极限，难以满足新能源汽车未来提高续航能力、减轻汽车重量、缩短充电时间等要求，碳化硅器件在未来存在明显优势。根据英飞凌官网报告，对于主逆变器来说，采用 SiC 模块替代 IGBT 模块，其系统效率可以提高 5% 左右。在电池容量相同的情况下，其续航里程可提高 5%；在续航里程相同的情况下，电池容量可以减少 5%，可为新能源汽车的使用节约大量成本。此外，IGBT 是双极型器件，在关断时存在拖尾电流；而 MOSFET 是单极器件，不存在拖尾电流，该特性使得 SiC MOSFET 的开关损耗大幅降低，提高能源转换效率。随着越来越多的车厂提高车的电池电压，在未来的高压场景下，碳化硅的性能优势会更加明显。

电机驱动系统：碳化硅功率器件主要应用于新能源汽车电机驱动系统中的电机控制器，可减小电力电子系统体积、提高功率密度等。特斯拉是第一家在主逆变器中集成全碳化硅功率器件的汽车厂商，其 Model3 车型率先采用了 24 个碳化硅 MOSFET，采用标准 6-switches 逆变器拓扑，每个 switch 由 4 个单管模块组成，共 24 个单管模块，可实现模块

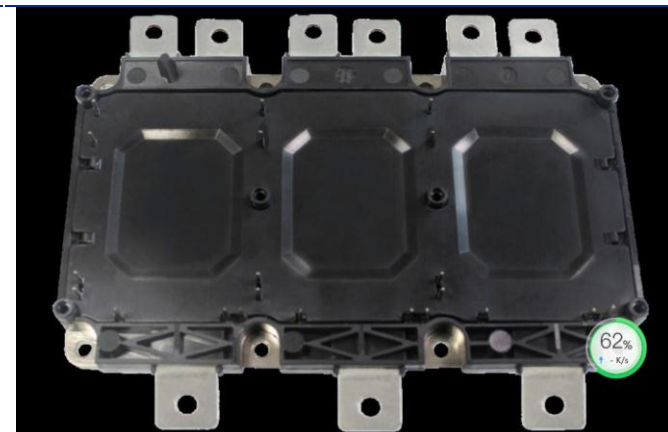
封装良率的提升、半导体器件成本的下降。2020 年比亚迪汉 EV 车型电机控制器使用其自主研发制造的 SiC MOSFET 控制模块，可以在更高的电压平台下工作，减少设备电阻损失。比亚迪汉在电力电子系统更小的体积（同功率情况下，体积不及硅基 IGBT 的 50%）下达到更高功率（363Kw），提升车型的加速性能，实现 3.9s 内 0-100 公里的加速，延长汽车的续航里程（605 公里），这均与碳化硅低开关、耐高压、耐高温、导热率高的优良特性有关。

图 6：Model3 逆变器 PCB 板



资料来源：旺财电动车，安信证券研究中心

图 7：比亚迪采用 SiC MOSFET 模块



资料来源：Omdia，安信证券研究中心

车载充电系统（OBC）：车载蓄电池充电机可将来自电池子系统的 DC 电源转换为主驱动电机的 AC 电源。SiC 器件使得 OBC 的能量损耗减少、热能管理改善。根据 Wolfspeed，OBC 采用碳化硅器件，与硅器件相比，其体积可减少 60%，BOM 成本将降低 15%，在 400V 系统相同充电速度下，SiC 充电量翻倍。目前，全球已有超过 20 家汽车厂商在车载充电系统中使用碳化硅功率器件

电源转换系统（车载 DC/DC）：车载 DC/DC 变换器可将动力电池输出的高压直流电转换为低压直流电。采用碳化硅器件，设备温度积累减少，加之材料本身高导热率、耐高温的特点，散热设备可以简化，从而减小变压器体积。

非车载充电桩：非车载直流快速充电机可将输入的外部 AC 电源转换为电动车需要的 DC 电源。SiC 的高开关速度保证了快速充电器的充电速度。

目前大多数新能源汽车的电压平台为 400V，为提高电动汽车的充电速度、减轻器件重量，新能源汽车 800V 电压平台正在推进。据 ST 测试数据，在 800V 平台下 SiC 器件损耗显著低于 IGBT，在常用的 25% 的负载下其损耗低于 IGBT 80%。当新能源汽车的电压平台提升至 800V 后，OBC、DC/DC 及 PDU 等电源产品都需要升级，碳化硅器件在新能源汽车市场渗透率也将进一步提高。目前，SiC MOSFET 单管器件的价格大约为 Si IGBT 价格的 3-5 倍，800V 电压平台下，整车成本及充电装置将会更昂贵，采用碳化硅器件模块的车型有望率先应用于高档车。随着碳化硅尺寸的增大、产业链的完善，碳化硅衬底成本下降，碳化硅器件会逐渐扩展至中低端车市场，SiC 市场空间将被进一步打开。据 CASA 预测，到 2025 年新能源汽车中 SiC 功率半导体市场预计将以 38% 的年复合增长率增长。

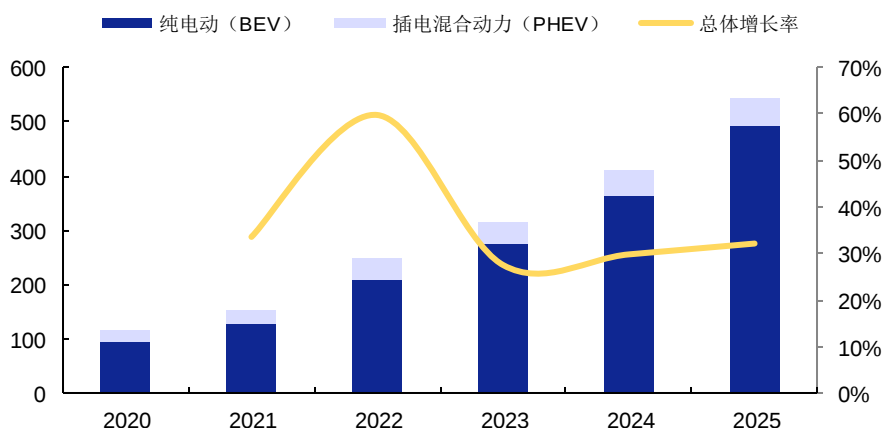
表 3：国内车企布局碳化硅器件进展

序号	公司名称	碳化硅器件布局情况
1	蔚来	计划 2022 年一季度开始交付的蔚来首款轿车 ET7，该车将是全球首批应用碳化硅功率模块的电动车之一。在新技术的帮助下，ET7 的续航里程能够超过 1000 公里。
2	江淮汽车	2021 年 4 月江淮汽车与博世动力总成系统中国区在上海签订了 SiC 逆变器方面的战略合作协议
3	比亚迪	比亚迪扩建模块生产线，对外招标采购“SiC 分选机”和“SiC 测试机”；公司计划到 2023 年，在旗下所有电动车中用 SiC 功率半导体全面替代 IGBT。2020 年 12 月，比亚迪半导体公布目前在规划自建 SiC 产线，预计 2021 年建成自有 SiC 产线。
4	一汽集团	一汽集团合资企业苏州亿马半导体的碳化硅模块项目正式投产，一期投资 2 亿元。
5	吉利汽车	2021 年 8 月，吉利汽车宣布采用罗姆 SiC 器件。吉利将利用罗姆的先进 SiC 功率解决方案，开发高效电控系统和车载充电系统，以延长电动汽车的续航里程，降低电池成本并缩短充电时间。5 月透过旗下威睿电动汽车与 SiC 功率厂商芯聚能合资成立广东芯粤能半导体，布局车规级功率半导体，与芯聚能产业链上下形成联动。
6	鸿海	鸿海以 25.2 亿台币（约合 5.87 亿人民币）收购旺宏位于竹科的 6 英寸晶圆厂。鸿海方面透露，买这个厂将用来开发与生产第三代半导体，特别是电动车使用的 SiC 功率器件。

资料来源：公司官网，公司公告，安信证券研究中心

新能源汽车碳化硅功率器件市场规模推算：据 IDC 预测数据，2025 年中国新能源车销量 500 万台左右。我们假设 2025 年中国新能源汽车销量 500 万~600 万辆，据产业调研，车规碳化硅电驱模块价值量大约为 3000-4000 元，加之 OBC、DC/DC 等部件使用，假设整车的碳化硅器件价值量约为 5000 元，根据 CASA 数据，碳化硅衬底价值量大约为器件的 50%，假设 30%的新能源汽车采用碳化硅模块，则预计到 2025 年新能源汽车 SiC 衬底需求空间为 37.5-45 亿元。

图 8：中国新能源汽车销量预测（万辆）



资料来源：IDC，安信证券研究中心

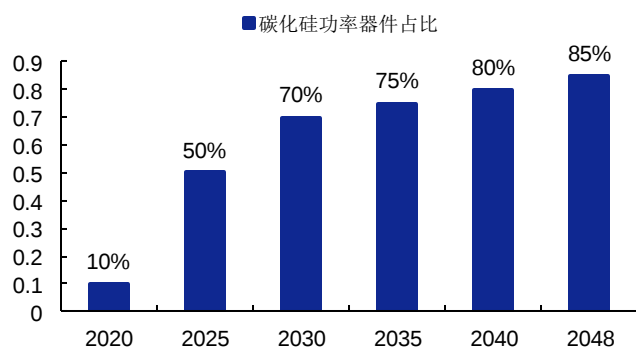
2.1.2. 光伏发电打开碳化硅衬底市场空间

采用碳化硅器件可有效提高光伏发电转换效率，根据天科合达招股书，碳化硅 MOSFET 或碳化硅 MOSFET 与碳化硅 SBD 结合的功率模块的光伏逆变器，转换效率可从 96% 提升至 99% 以上，能量损耗降低 50% 以上，设备循环寿命提升 50 倍。高效、可靠、低成本发电正

是光伏发电的未来发展方向，故碳化硅产品有望替代硅基器件光伏逆变器。

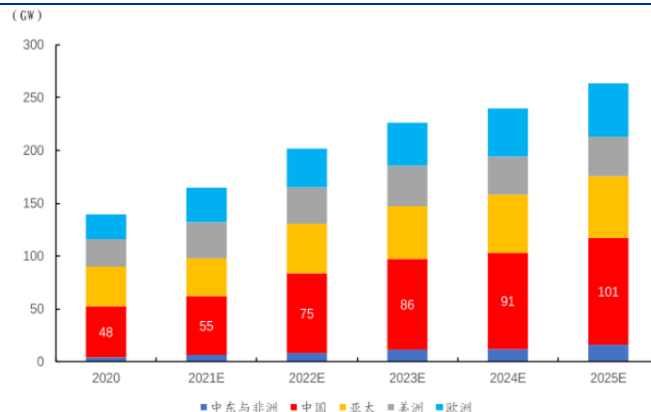
根据 SolarPower Europe 数据，我国光伏装机容量保持增长态势，有望在 2025 年达到 101GW。近年来，越来越多的公司投资碳化硅光伏逆变器，追求低能耗、轻量级、高效率等，根据 CASA 预测，在 2048 年，光伏逆变器中碳化硅功率器件占比可达 85%。

图 9：光伏逆变器中碳化硅功率器件占比预测



资料来源：CASA，天科合达招股说明书，安信证券研究中心

图 10：全球光伏装机量预测



资料来源：SolarPower Europe 安信证券研究中心

表 4：碳化硅光伏逆变器开发进展

序号	公司名称	碳化硅光伏逆变器开发情况
1	英飞凌	英飞凌开发出了适用于光伏发电用逆变器的耐压为 1200V 的 SiC 型 JFET “CoolSiC 产品群”。采用 SiC 型 JFET 可以实现装置的小型轻量化，同时提高工作频率，也能降低开关损耗。
2	富士电机	富士电机积极推进 SiC MOSFET 的实用化，用于 2014 年 8 月开始量产输出功率 1000kW 的百万瓦级光伏电站使用的光伏逆变器。
3	田渊电机	该公司采用 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。虽然仍需组合采用 IGBT，但今后通过完全采用 SiC，估计损耗还将减少 60% 左右，并且成本反而可能下降。
4	三菱电机	在可再生能源技术及产品展“PV Japan 2014”上，三菱电机展示了“全 SiC-IPM”电源调整器产品，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%。
5	西门子	西门子旗下子公司 Kaco new energy 于 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。
6	德国 Fraunhofer ISE	德国弗劳恩霍夫太阳能系统研究所(Fraunhofer ISE)研发了一款 250kW 的碳化硅逆变器，可用于连接中压系统的公用事业规模的光伏项目，其运行转换效率为 98.4%，可以节省高达 40% 的体积。
7	安森美半导体	2020 年，安森美半导体推出了一款适用于太阳能逆变器应用的全 SiC 功率模块，该产品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。
8	阳光电源	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。

资料来源：公司官网，公司公告，安信证券研究中心

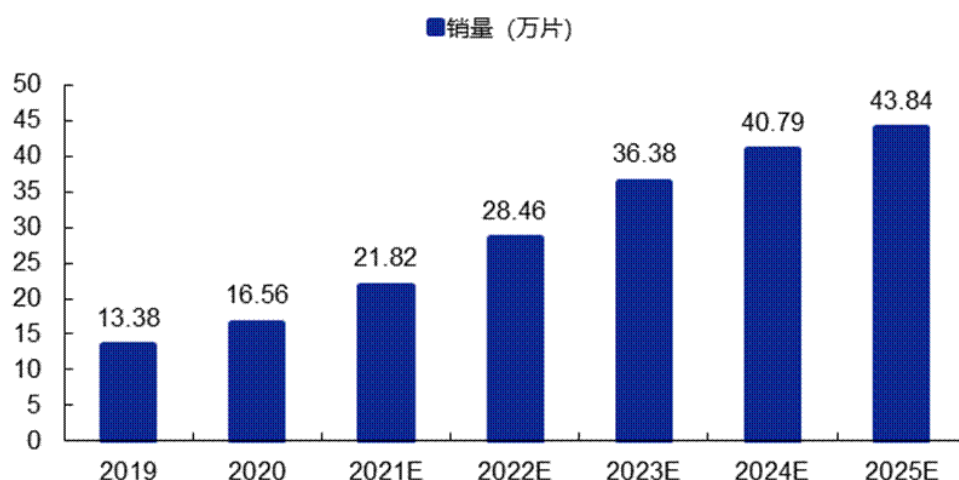
2.2. 5G 等无线通讯需求推动半绝缘型碳化硅衬底快速发展

半绝缘型碳化硅衬底主要应用于制造氮化镓射频器件。微波射频器件是实现信号发送和接收的基础部件，是无线通讯的核心。

与 2G、3G、4G 相比，5G 的频率较高，其跳跃式的反射特性使其传输距离较短，对功率的要求非常高。碳化硅基氮化镓器件可满足 5G 基站对于高频、高速、高功率的要求，突破了砷化镓和硅基 LDMOS 器件的缺陷。碳化硅基氮化镓射频器件已逐步成为 5G 功率放大器尤其宏基站功率放大器的主流技术路线。

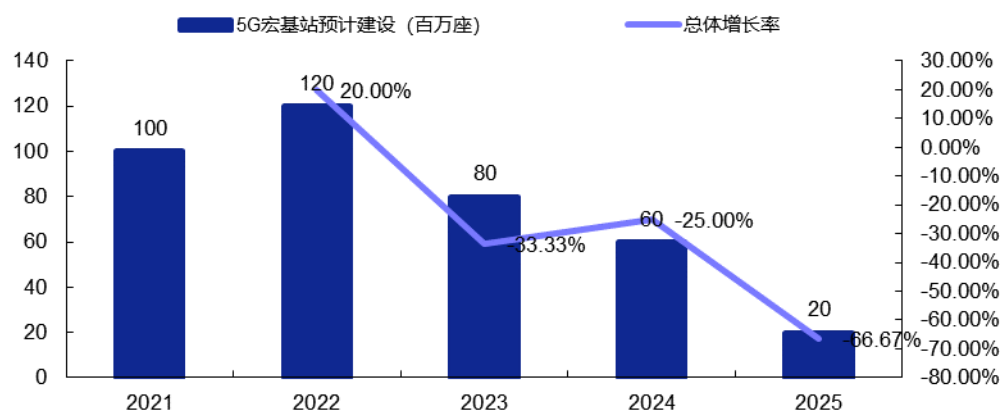
赛迪顾问预测 5G 基站总数量将是 4G 基站 1.1~1.5 倍，大约为 360 万至 492 万宏基站，据 Yole Development 预测，2025 年全球射频器件市场将超过 250 亿美元，其中射频功率放大器市场规模将从 2018 年的 60 亿美元增长到 2025 年的 104 亿美元，氮化镓射频器件在功率放大器中的渗透率将持续提高。随着 5G 市场对碳化硅基氮化镓器件需求的增长，半绝缘型碳化硅晶片的需求量也将大幅增长。根据 Yole 的预测，半绝缘型碳化硅衬底市场出货量（折算为 4 英寸）有望由 2020 年的 16.56 万片增长至 2025 年的 43.84 万片，期间复合增长率为 21.50%。根据山东天岳招股书，2020 年衬底的平均单位价格为 9204.94 元/片，粗略推算，2025 年半绝缘型碳化硅衬底市场规模有望达到 40.35 亿元。

图 11：半绝缘型碳化硅衬底销量预测（万片）



资料来源：Yole Development，安信证券研究中心

图 12: 2021-2025 年 5G 宏基站建设量预测



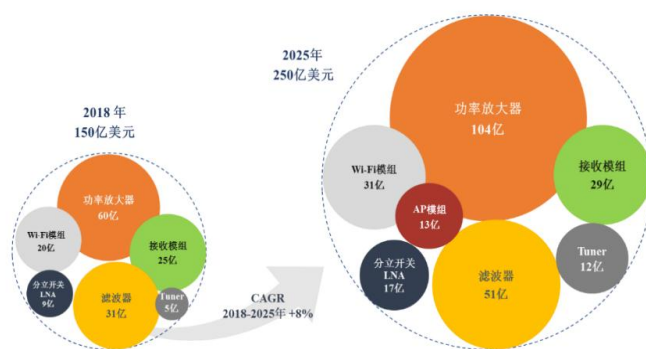
资料来源: 中国产业研究网, 安信证券研究中心

图 13: 不同材料微波射频器件的应用范围对比



资料来源: Analog Dialogue, 安信证券研究中心

图 14: 2018-2025 年全球射频器件市场规模预算



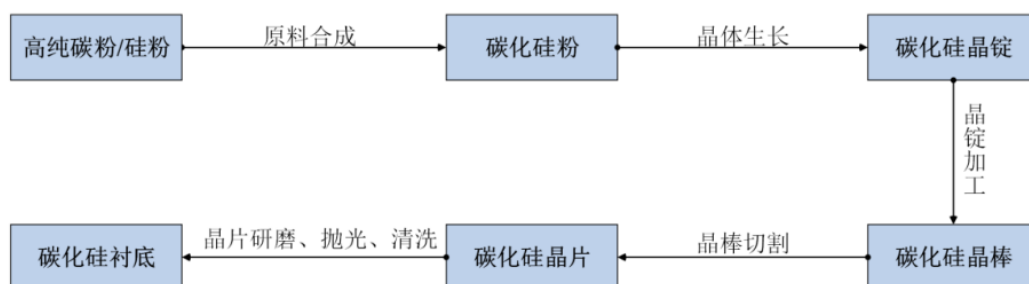
资料来源: Yole Development, 安信证券研究中心

3. 碳化硅衬底技术壁垒高，处于产业链核心位置

3.1. 碳化硅衬底生产流程与硅基类似，但是难度大幅度增加

碳化硅衬底的制作流程一般包括原料合成、晶体生长、晶锭加工、晶棒切割、晶片研磨、抛光、清洗等环节。其中晶体生长阶段为整个流程的核心，决定了碳化硅衬底的电学性质。

图 15: 碳化硅衬底生产流程



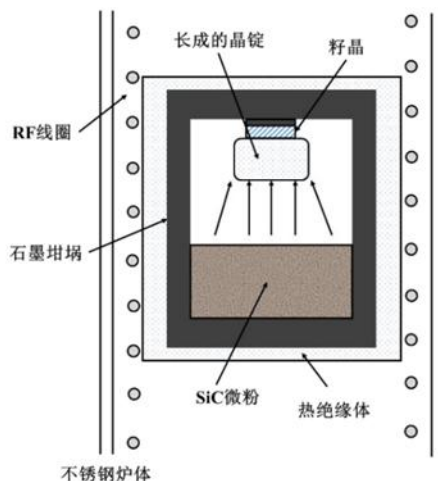
资料来源: 天岳先进招股说明书, 安信证券研究中心

原料合成：将高纯硅粉和高纯碳粉按工艺配方均匀混合，在 $2,000^{\circ}\text{C}$ 以上的高温条件下，于反应腔室内通过特定反应工艺，去除反应环境中残余的、反应微粉表面吸附的痕量杂质，使硅粉和碳粉按照既定化学计量比反应合成特定晶型和颗粒度的碳化硅颗粒。再经过破碎、筛分、清洗等工序，制得满足晶体生长要求的高纯度碳化硅粉原料。

晶体生长：目前主要有物理气相传输法（PVT）、高温化学气相沉积法（HT-CVD）和液相法三种方法。其中液相法生长晶体因尺寸较小目前仅用于实验室生长，综合生长条件控制、生长效率、缺陷控制等因素，商业化的技术路线主要是 PVT 和 HT-CVD，与 HT-CVD 法相比，采用 PVT 法生长的碳化硅单晶所需要的设备简单，操作容易控制，设备价格以及运行成本低等优点成为工业生产所采用的主要方法。

➤ **物理气相传输法（PVT）：**PVT 法是碳化硅晶体生长的主流制备方式。将高纯碳化硅微粉和籽晶分别置于单晶生长炉内圆柱状密闭的石墨坩埚下部和顶部，通过感应加热的方式将坩埚加热至 2000°C 以上，此时碳粉和硅粉升华分解成为 Si 原子、 Si_2C 分子和 SiC_2 分子等气相物质，控制籽晶处温度略低于下部微粉处，在坩埚内形成轴向温度梯度。碳化硅微粉在高温下升华形成不同气相组分的反应气体，在温度梯度驱动下到达温度较低的籽晶处，并在其上结晶形成圆柱状碳化硅晶锭。

图 16：物理气相传输法生产碳化硅晶体示意图



资料来源：天科合达招股说明书，安信证券研究中心

碳化硅粉料纯度对晶片质量影响较大，粉料中一般含有极微量的氮、硼、铝、铁等杂质，其中氮是 n 型掺杂剂，在碳化硅中产生游离的电子，硼、铝是 p 型掺杂剂，产生游离的空穴。为了制备 n 型导电碳化硅晶片，在生长时需要通入氮气，让它产生的一部分电子中和掉硼、铝产生的空穴（即补偿），另外的游离电子使碳化硅表现为 n 型导电。为了制备高阻不导电的碳化硅（半绝缘型），在生长时需要加入钒（V）杂质，钒既可以产生电子，也可以产生空穴，让它产生的电子中和掉硼、铝产生的空穴（即补偿），它产生的空穴中和掉氮产生的电子，所以所生长的碳化硅几乎没有游离的电子、空穴，形成高阻不导电的晶片。

➤ **高温化学气相沉积法（HT-CVD）：**高温化学气相沉积方法是用气态的高纯碳源和硅源，目前少量公司应用。在 2200°C 左右合成碳化硅分子，反应气体在高温下分解生成碳化硅并附着在衬底材料表面，并沿着材料表面不断生长，生长速率一般为 $0.5\sim 1\text{mm/h}$ 左右。气态的高纯碳源和硅源比高纯 SiC 粉末更容易获得，成本更低。由于气态源几乎没有杂质，如果生长时不加入 n 型掺杂剂或 p 型掺杂剂，生长出的 4H-SiC 就是高纯半绝

缘 (HPSI) 半导体。如果要生长 n 型掺杂或 p 型掺杂的 4H-SiC 也非常好控制, 只要分别通入氮或者硼的气态源就可以实现, 而且通过控制通入的氮或者硼的流量, 就可以控制碳化硅晶体的导电强弱。

- **液相法: 液相法有望成为碳化硅晶体制备的未来发展方向。**碳化硅没有液态, 把硅加热到 1400 度变成液态, 将碳溶解到硅里。生产温度下降 (1700 度), 生产速度提升 5 倍, 每小时 1mm, 未来有可能更高。PVT 方法的晶体生长过程中位错缺陷较难控制, 液相法由于生长过程处于稳定的液相中, 可生长没有螺旋位错、边缘位错和几乎无堆垛层错的碳化硅单晶, 该优势为高品质大尺寸碳化硅单晶制备技术提供另一种重要的方向和未来发展的储备。

晶锭加工: 将碳化硅晶锭使用 X 射线单晶定向仪进行定向, 之后通过精密机械加工的方式磨平、滚圆, 加工成标准直径尺寸和角度的碳化硅晶棒。对所有成型晶棒进行尺寸、角度等指标检测。

晶棒切割: 使用金刚石细线将碳化硅晶棒切割成满足客户需求的不同厚度的切割, 并使用全自动测试设备进行翘曲度、弯曲度、厚度变化等面型检测。

晶片研磨、抛光、清洗: 晶片研磨指通过不同颗粒粒径的金刚石研磨液将晶片研磨到所需的平整度和粗糙度, 使用全自动测试设备及非接触电阻率测试仪对全部切割片进行面型及电学性能检测; 晶片抛光指通过机械抛光和化学机械抛光方法, 除表面划痕、降低表面粗糙度及消除加工应力等, 使研磨片表面达到纳米级平整度。使用 X 射线衍射仪、原子力显微镜、表面平整度测试仪、表面缺陷综合测试仪等仪器设备, 检测碳化硅抛光片的各项参数指标, 据此判定抛光片的质量等级; 晶片清洗指通过特定配比的化学试剂及去离子水对清洗机内的抛光片进行清洗, 去除抛光片上残留的抛光液等表面玷污物, 再通过超高纯氮气和甩干机将晶片吹干、甩干; 将晶片在超净室封装在洁净片盒内, 形成可供下游即开即用的碳化硅晶片。

3.2. 碳化硅衬底生产难度较高, 温场控制是工艺核心

工艺困难导致碳化硅衬底制造效率较低。碳化硅半导体晶片材料核心参数包括微管密度、位错密度、电阻率、翘曲度、表面粗糙度等。与传统的单晶硅使用提拉法制备不同, 碳化硅材料因为一般条件下很难液相生长, 现今市场主流采用气相生长的方法, 在密闭高温腔体内进行原子有序排列并完成晶体生长、同时还要提升长晶效率是复杂的系统工程, 温场控制是最核心的难度, 后续将生长好的晶体加工成可以满足半导体器件制造所需晶片又涉及一系列高难度工艺调控。在整个过程中主要有以下几个难点:

温度要求高, 黑箱操作观测难: 一般而言, 碳化硅气相生长温度在 2300℃ 以上, 且在生产中需要精确调控生长温度, 与之对比, 硅仅需 1600℃ 左右。高温对设备和工艺控制带来了极高的要求, 生产过程几乎是黑箱操作难以观测。如果温度和压力控制稍有失误, 则会导致生长数天的产品失败。

长晶速度慢, 时间成本高: 碳化硅的生长速度缓慢, 现有国内主流工艺使用物理气相传输法 (PVT) 约 7 天才能生长 2cm 左右。对比来看, 硅棒拉晶 2-3 天即可拉出约 2m 长的 8 英寸硅棒。

晶型要求高, 产出良率低: 碳化硅存在 200 多种晶体结构类型, 其中六方结构的 4H 型 (4H-SiC) 等少数几种晶体结构的单晶型碳化硅才是所需的半导体材料, 在晶体生长过程中需要精确控制硅碳比、生长温度梯度、晶体生长速率以及气流气压等参数, 需要精确的

材料配比、热场控制和经验积累，才能在高温下制备出无缺陷、皆为 4H 晶型的可用碳化硅衬底，否则容易产生多晶型夹杂，导致产出的晶体不合格。

材料硬度大，切割磨损高：碳化硅硬度仅次于金刚石，为第二硬的材料，这导致其切割、研磨、抛光的加工难度也显著增加，工艺水平的提高需要长期的研发积累。另外，碳化硅晶片的厚度是会比硅基的硅的晶圆会薄很多。它在做切磨抛的时候需要更硬的一些设备，从而在切割、磨的时候碳化硅损失也会更多，产出比只有 60% 左右。

3.3. 尺寸增加并进一步改进电学性能是 SiC 技术下一阶段发展方向

扩径技术：为提高生产效率并降低成本，大尺寸是碳化硅衬底制备技术的重要发展方向。目前国内公司主要量产产品尺寸集中在 4 英寸及 6 英寸，而行业龙头 Cree 已成功研发 8 英寸产品。随着尺寸的不断增大，扩径技术的要求也越来越高，需要综合热场设计、结构设计、晶体制备工艺设计等多方面的技术控制要素，最终实现晶体的迭代扩径生长。

改进电学性能：碳化硅衬底以电学性能分为导电性与半绝缘型，未来技术的发展需要保证电学性能的不断改进。

- **半绝缘型衬底：**目前行业领先企业已普遍将电阻率稳定控制在 $10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上。在半绝缘型衬底制备过程中，去除晶体中的各种杂质对实现碳化硅晶体本征高电阻率十分重要。因此在 PVT 制备条件下，生长反应腔室内的反应物料的纯度需要得到保证，以避免粉料释放出杂质。
- **导电型衬底：**导电型碳化硅衬底具有低电阻率。在生产过程中，电阻率容易发生分布不均匀的情况，具体表现为径向上电阻率中间低、边缘高；轴向上电阻率生长前期低、后期高的特征，如何实现碳化硅衬底的均匀电阻率与不同碳化硅衬底的电阻率一致是未来技术发展趋势。

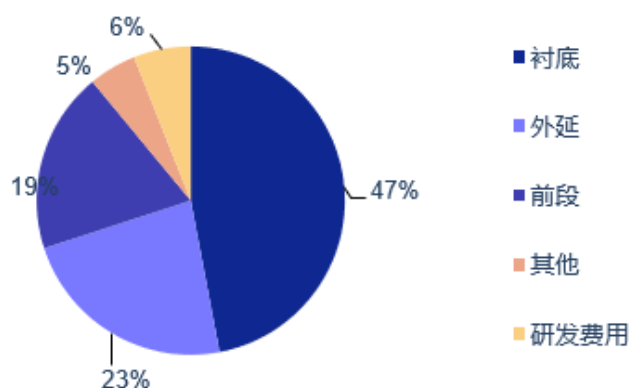
降低微管密度：微管是延伸并贯穿整个晶棒的中空管道，微管的存在密度将直接决定外延层的结晶质量，器件区存在微管将直接导致器件漏电甚至击穿失效。因此，降低微管密度是碳化硅产业化应用的重要技术方向。

3.4. 碳化硅衬底成本下降趋势可期

在碳化硅器件成本结构中，衬底成本约占 50%。碳化硅衬底较低的供应量和较高的价格一直是制约碳化硅基器件大规模应用的主要因素之一，碳化硅衬底需要在 2500 度高温设备下进行生产，而硅晶只需 1500 度；碳化硅晶圆约需要 7 至 10 天，而硅晶棒只需要 2 天半；目前碳化硅晶圆主要是 4 英寸与 6 英寸，而用于功率器件的硅晶圆以 8 英寸为主，这意味着碳化硅单晶片所产芯片数量较少、碳化硅芯片制造成本较高，目前碳化硅功率器件的价格仍数倍于硅基器件，下游应用领域仍需平衡碳化硅器件的高价格与碳化硅器件优越性能带来的综合成本下降间的关系。

据产业调研，目前 6 寸导电型衬底片的市场零售价约 1000 美元/片，目前 4、6 寸片价格是硅的 60 倍以上，但是由于高频、高压的性能，可以降低对无源器件的使用，这同时能节省系统成本，碳化硅的系统成本目前是硅的 2-8 倍。结合国际技术路线对成本考量，到 2025 年有望下降至 500 美元以下，硅基和 SiC 基的成本差距会在 2 倍内，一些高电压大电流的功率器件会被碳化硅替代和渗透。

图 17：碳化硅器件的成本结构



资料来源：CASA 前瞻产业研究院，安信证券研究中心

结合目前成本情况及技术发展方向，碳化硅衬底的成本可以通过做大尺寸、提高材料使用效率和提高良率等方式下降。

- **做大尺寸：**衬底的尺寸越大，边缘的浪费就越小，有利于进一步降低芯片的成本。6 英寸衬底面积为 4 英寸衬底的 2.25 倍，相同的晶体制备时间内衬底面积的倍数提升带来衬底成本的大幅降低，与此同时，单片衬底上制备的芯片数量随着衬底尺寸增大而增多，单位芯片的成本也即随之降低。
- **提高材料使用效率：**由于技术限制，长晶时间很难缩短，而单位时间内长晶越厚成本越低，因此可以设法增加晶锭厚度；另一方面，目前的切割工艺很容易造成浪费，可以通过激光切割或其他技术手段减少切割损耗。
- **提高良率：**以山东天岳为例，碳化硅衬底产品良率逐年提升，综合良率由 30% 提升至 38%，国内厂商良率情况普遍在 40% 左右，若能提升至 60%-70%，碳化硅衬底生产成本将得到进一步下降。

表 5：山东天岳主要生产环节良率对比

主要生产环节	2021 年 1-6 月	2020 年度	2019 年度	2018 年度
晶棒良率	49.90%	50.73%	38.57%	41.00%
衬底良率	75.74%	70.44%	75.15%	72.61%

资料来源：天岳先进招股说明书，安信证券研究中心

4. 国际龙头企业占市场主要位置，国内企业加速追赶

4.1. 国际大厂市场占有率高，提前布局大尺寸衬底量产计划

Cree 公司是全球龙头，占主要地位。根据半导体时代产业数据中心《2020 年中国第三代半导体碳化硅晶片行业分析报告》数据，2020 上半年全球半导体 SiC 晶片市场中，美国 Cree 出货量占据全球 45%，欧洲拥有完整的碳化硅衬底、外延、器件以及应用产业链，主要企业有 Siltronic、意法半导体、IQE、英飞凌等，在全球电力电子市场拥有强大的话语权；日本是设备和模块开发方面的绝对领先者，代表企业有松下、罗姆、住友电气、三菱等，罗姆子公司 SiCrystal 占据 20%，II-VI 占 13%。

Cree 公司能够批量供应 4 英寸至 6 英寸导电型和半绝缘型碳化硅衬底，且已成功研发并开

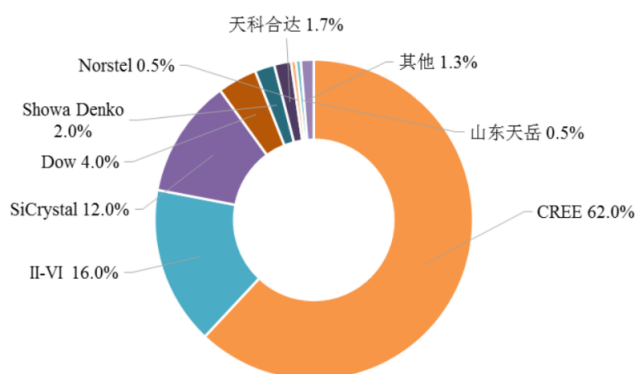
始建设 8 英寸产品生产线，目前 Cree 公司的碳化硅晶片供应量位居世界前列。贰陆公司能够提供 4 至 6 英寸导电型和半绝缘型碳化硅衬底。在量产时间表方面，2019 年 5 月，Cree 宣布投入 10 亿美元建设新工厂，将于 2024 年量产 8 英寸碳化硅等产品。意法半导体与 CREE 和 SiCrystal 签署长期供应，通过收购 Norstel 来自主生产 6 英寸晶圆，并且，Norstel 最近已经成功交付了首个 8 英寸 SiC 晶圆。2021 年 4 月，II-VI 表示，未来 5 年内，将 SiC 衬底的生产能力提高 5 至 10 倍，其中包括量产 8 英寸的衬底。英飞凌预计 2023 年左右开始量产 8 英寸衬底，以 2025 年为目标，量产 8 英寸 SiC 衬底器件。2020 年 9 月，英飞凌表示 8 英寸 SiC 晶圆生产线已经建成。

图 18: SiC 衬底市场情况

SiC衬底	市场份额
美国Cree (Wolfspeed)	合计份额超过90%
德国SiCrystal (ROHM旗下)	
美国 II - VI Advanced Materials	
美国Dow Corning	

资料来源：公司官网，安信证券研究中心

图 19: 2018 年导电型碳化硅晶片厂商市场占有率



资料来源：Yole Development，安信证券研究中心

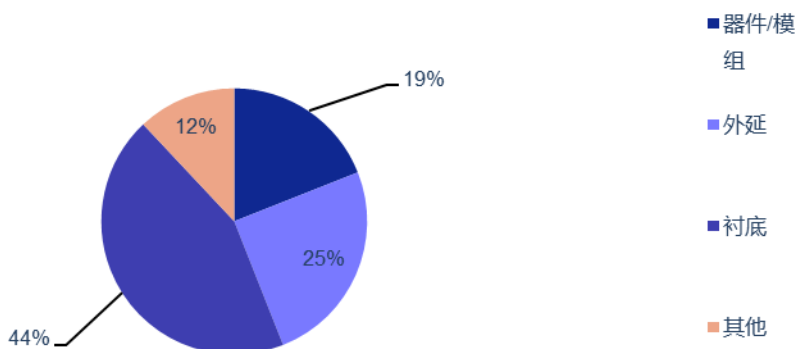
4.2. 国内碳化硅衬底企业加大投入，提速追赶

经过十余年的技术自主研发，国内龙头碳化硅衬底企业已经掌握 2-6 英寸的碳化硅衬底制备方法，产品质量达到国际先进水平，并逐步提升市场份额。根据《2020 年中国第三代半导体碳化硅晶片行业分析报告》，山东天岳市占率为 2.6%；天科合达市占率由 2019 年的 3% 上升至 2020 年的 5.3%。国内碳化硅衬底企业发展迅速。

4.2.1. 国内企业持续扩大投资碳化硅衬底项目

根据集微咨询统计，2019-2021 年国内签约落地的 SiC 产业相关项目衬底项目比较多，占比 44%。据中国电子材料行业协会半导体材料分会统计，截至 2021 年，我国从事碳化硅衬底研制的企业已经有 30 家（不包括中国电科 46 所、硅酸盐所、浙江大学和天津理工大学等纯研究机构），近年来规划总投资已经超过 300 亿元，规划总产能已经超过 180 万片/年。露笑科技、山东天岳、天科合达等多家国内公司投资建厂，一方面，建成更加完善的产业链，实现 6 英寸碳化硅衬底的产业化生产；另一方面，推进 8 英寸碳化硅衬底的研发，缩小与国际龙头企业的技术差距。

图 20： 2020-2021 年国内 SiC 项目签约布局情况



资料来源：集微咨询，安信证券研究中心

表 6：国内厂商碳化硅投资情况

公司	地点	碳化硅投资情况
三安光电	湖南长沙	2021 年 6 月，总投资 160 亿元的湖南三安半导体基地一期项目正式投产，产能规模达到 6 寸 3 万片/月。
露笑科技	浙江绍兴	公司项目计划总投资 6.95 亿元，主要采用碳化硅升华法长晶工艺及 SiC 衬底加工工艺，建成后形成年产 8.8 万片碳化硅衬底片的生产能力。
天科合达	北京	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。
山东天岳	山东济南	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》。为实现产能扩张，正在募资建立 25 亿元项目。
同光晶体	河北保定	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。

资料来源：招股书，公司官网，半导体行业观察，安信证券研究中心

4.2.2. 经过多年自主研发，国内企业掌握碳化硅衬底制备技术

国内企业逐步掌握碳化硅衬底的制备技术。国内企业天科合达、山东天岳和同光晶体等公司在导电型衬底已经实现 4 英寸衬底商业化，逐步向 6 英寸发展。国内在 6 英寸 SiC 产线上也已经有所成绩，已知的 6 英寸 SiC 生产线有中电 55 所、中国中车、三安光电、华润微电子、积塔、燕东微电子（与深圳基本半导体共建）、国家电网等。

我国碳化硅衬底公司生产的产品质量也不断提高，达到国际先进水平，在多个技术参数可与国际龙头公司比较。

表 7：4 英寸半绝缘型碳化硅晶片

产品性能	科锐公司	贰陆公司	山东天岳	天科合达
电阻率	$\geq 1 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$	$\geq 1 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$	$\geq 1 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$	$\geq 1 \times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$
直径	99.5-100mm	未披露	99.5-100mm	99.5-100mm
翘曲度	$\leq 45 \mu\text{m}$	未披露	$\leq 45 \mu\text{m}$	$\leq 35 \mu\text{m}$
总厚度变化	$\leq 15 \mu\text{m}$	未披露	$\leq 10 \mu\text{m}$	$\leq 10 \mu\text{m}$
多型	$\leq 5\%$	未披露	0	0
微管密度	未披露	$< 0.1 \text{cm}^{-2}$	$\leq 5 \text{cm}^{-2}$	$\leq 1 \text{cm}^{-2}$

资料来源：天科合达招股说明书，安信证券研究中心

表 8：6 英寸半绝缘型碳化硅晶片

产品性能	科锐公司	贰陆公司	山东天岳	天科合达
电阻率	$\geq 1 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$	$\geq 1 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$	未披露	$\geq 1 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$
直径	150.0 $\pm 0.25 \text{mm}$	未披露	未披露	150.0 $\pm 0.2 \text{mm}$
翘曲度	$\leq 40 \mu\text{m}$	未披露	未披露	$\leq 60 \mu\text{m}$
总厚度变化	$\leq 10 \mu\text{m}$	未披露	未披露	$\leq 15 \mu\text{m}$
多型	$\leq 5\%$	未披露	未披露	0
微管密度	未披露	$< 0.1 \text{cm}^{-2}$	未披露	$\leq 1 \text{cm}^{-2}$

资料来源：天科合达招股说明书，安信证券研究中心

表 9：6 英寸导电型碳化硅晶片

产品性能	科锐公司	贰陆公司	山东天岳	天科合达
电阻率	0.015- 0.028 $\Omega \cdot \text{cm}$	约 0.02 $\Omega \cdot \text{cm}$	未披露	0.015- 0.025 $\Omega \cdot \text{cm}$
直径	150.0 $\pm 0.25 \text{mm}$	未披露	未披露	150.0 $\pm 0.2 \text{mm}$
翘曲度	$\leq 40 \mu\text{m}$	未披露	未披露	$\leq 60 \mu\text{m}$
总厚度变化	$\leq 10 \mu\text{m}$	未披露	未披露	$\leq 15 \mu\text{m}$
多型面积	$\leq 5\%$	未披露	未披露	0
微管密度	$< 1 \text{cm}^{-2}$	$< 0.1 \text{cm}^{-2}$	未披露	$\leq 0.5 \text{cm}^{-2}$

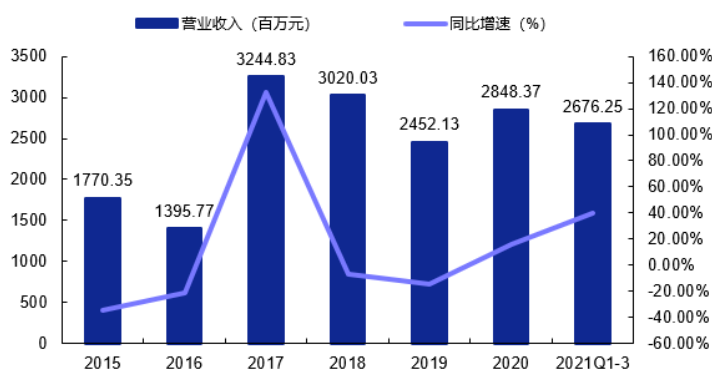
资料来源：天科合达招股说明书，安信证券研究中心

5. 相关企业

5.1. 露笑科技（股票代码：002617）

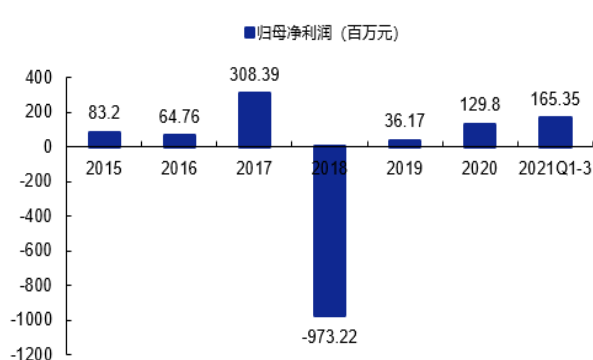
据公司 2021 年半年报披露，报告期内，公司主要从事碳化硅业务、光伏发电业务、漆包线业务。其中，碳化硅项目公司合肥露笑半导体从 2020 年 11 月份破土开工建设，2021 年 3 月份一期厂房结顶，5 月份内部公辅设备开始安装调试，6 月份部分设备开始进场安装。随着衬底加工设备、清洗设备和测试设备的逐步到位及加工工艺优化，合肥工厂 9 月份基本可实现 6 英寸导电型碳化硅衬底片的小批量生产。同时报告期内公司大幅增加碳化硅业务的研发投入，研发费用较去年同比增长 148.07%，碳化硅的项的成功落地标志着公司由过去的基础制造企业完成向高端制造企业的蜕变。根据 HIS Markit 数据，受新能源汽车庞大需求的驱动，以及电力、光伏逆变器等等领域的带动，预计到 2027 年碳化硅功率器件的市场规模将超过 100 亿美元，行业发展核心受益环节是衬底生产厂商。未来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 21：2015-2021Q1-3 露笑科技营业收入情况



资料来源：wind，安信证券研究中心

图 22：2015-2021Q1-3 露笑科技归母净利润情况



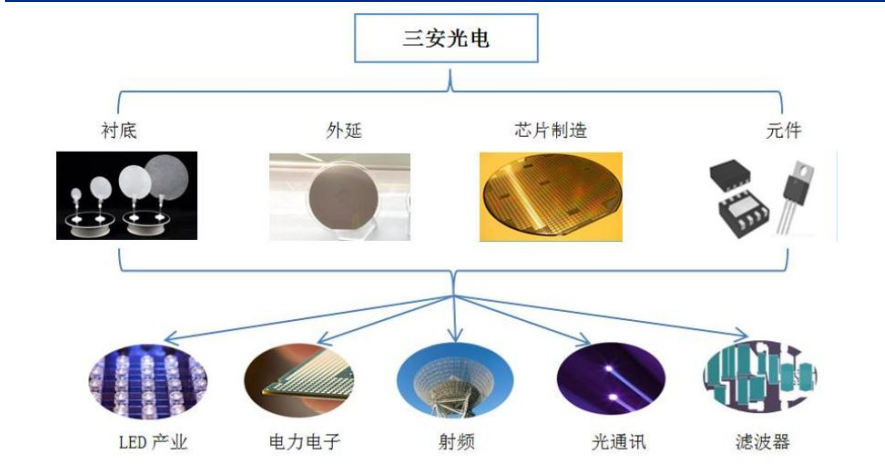
资料来源：wind，安信证券研究中心

5.2. 三安光电（股票代码：600703）

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。公司业务不仅投资规模大，需要配置 MOCVD 外延炉、蒸镀机、光刻机、蚀刻机、研磨机、抛光机、划片机和各类检测等价格昂贵的设备；而且技术壁垒高，在制造过程中需要集成物理、化学、光电、机电等多领域的知识；还需要持续研发投入、丰富产品类别、优化制造工艺、提高生产效率和产品性价比。

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。

图 23：三安光电产业布局图



资料来源：三安光电招股说明书，安信证券研究中心

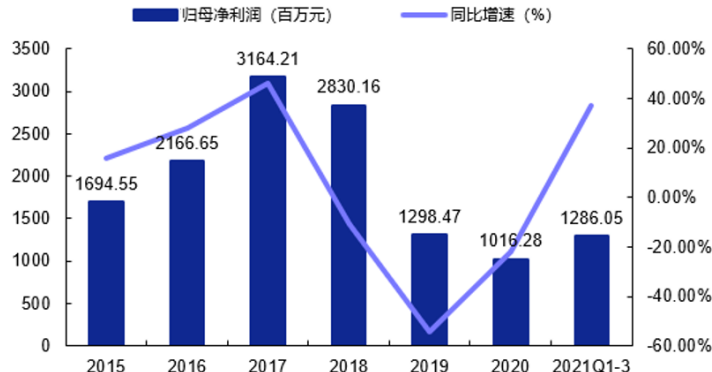
据公司 2021 年半年报披露，碳化硅二极管 2021 年上半年新开拓客户 518 家，出货客户超过 180 家，超过 60 种产品已进入量产阶段，在服务器电源、通信电源、光伏逆变器、充电桩、车载充电机、家电等细分应用市场标杆客户实现稳定供货，借助在欧美日韩等国家和地区的技术和销售布局，已与国际标杆客户实现战略合作，海外市场已有所突破。碳化硅二极管已有两款产品通过车载认证并送样行业标杆客户，处于小批量生产阶段。碳化硅 MOSFET 工业级产品已送样客户验证，车规级产品正配合多家车企做流片设计及测试。

图 24：2015-2021Q1-3 三安光电营业收入情况



资料来源：wind，安信证券研究中心

图 25：2015-2021Q1-3 三安光电归母净利润情况

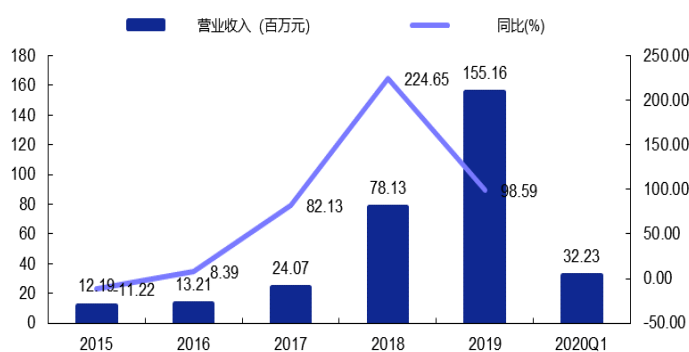


资料来源：wind，安信证券研究中心

5.3. 天科合达（未上市）

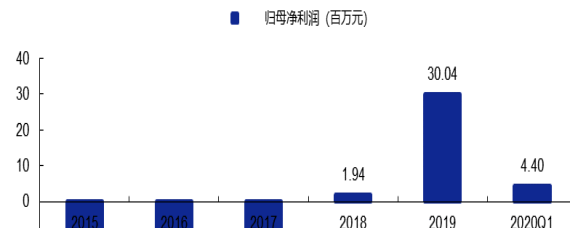
根据公司招股书披露，公司主要从事碳化硅领域相关产品研发、生产和销售，主要产品包括碳化硅晶片、其他碳化硅产品和碳化硅单晶生长炉，其中碳化硅晶片是公司核心产品。公司是国内最早实现碳化硅晶片产业化生产的企业，建立了国内第一条碳化硅晶片中试生产线，率先研制出 6 英寸碳化硅晶片，相继实现 2 英寸至 6 英寸碳化硅晶片产品的规模化供应。公司坚持自主研发、技术推动的发展战略，在碳化硅晶体生长、晶片加工、生长设备研发和制造方面深耕多年。截至 2020 年 3 月，公司拥有已获授权的专利 34 项，其中已获授权发明专利 33 项（含 6 项国际发明专利）。通过多年研发，公司具备生产高品质晶片的能力，4-6 英寸晶片科技成果产业化效果显著。

图 26：天科合达营业收入情况



资料来源：wind，安信证券研究中心

图 27：天科合达归母净利润



资料来源：wind，安信证券研究中心

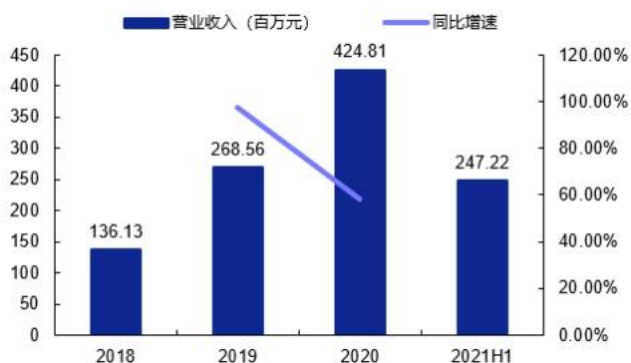
5.4. 山西烁科（未上市）

山西烁科晶体有限公司，是中国电子科技集团公司第二研究所的全资子公司，成立于 2018 年 10 月，主要从事第三代半导体材料碳化硅的研发生产。烁科晶体在实现第三代半导体碳化硅全产业链完全自主可控、掌握 4-6 英寸衬底片“切、磨、抛”工艺，据山西省人民政府官网 2020 年 11 月 23 日新闻报道，公司碳化硅产业基地一期 300 台单晶生产设备，具备年产 7.5 万片碳化硅单晶衬底的产能，年收入在 3 亿元以上，在建项目投产后，公司具备年产 10 万片 4—6 英寸 N 型碳化硅单晶晶片、5 万片 4—6 英寸高纯半绝缘型碳化硅单晶晶片的生产能力。

5.5. 山东天岳（未上市）

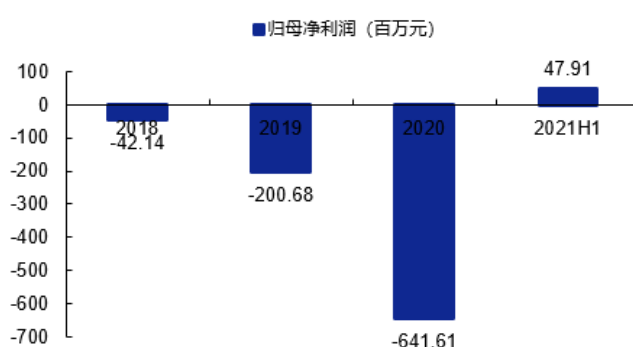
公司成立于 2010 年，主营业务是宽禁带半导体(第三代半导体)碳化硅衬底材料的研发、生产和销售，产品可应用于微波电子、电力电子等领域。目前，公司主要产品包括半绝缘型和导电型碳化硅衬底。经过十余年的技术发展，公司已掌握涵盖了设备设计、热场设计、粉料合成、晶体生长、衬底加工等环节的核心技术，自主研发了不同尺寸半绝缘型及导电型碳化硅衬底制备技术。截至 2020 年末，公司拥有授权专利 286 项，其中境内发明专利 66 项，境外发明专利 1 项。通过数千次的研发及工程化试验，公司核心技术不断创新，所制产品已达到国内领先、国际先进水平。根据国际知名行业咨询机构 Yole 的统计，2019 年及 2020 年公司已跻身半绝缘型碳化硅衬底市场的世界前三。

图 28：山东天岳营业收入情况



资料来源：wind，安信证券研究中心

图 29：山东天岳归母净利润情况



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，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，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，下游应用领域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