

2025

行业研究系列报告

第三代半导体 SiC/GaN 产业链研究报告

全球半导体竞争新战场，国产生态
逐步成型



2025 年 4 月

深企投产业研究院

关于深企投产业研究院

深企投产业研究院是深企投集团旗下的高端智库，聚焦产业发展，服务区域经济，致力于为各地提供产业发展落地方案。研究院总部位于深圳，服务区域覆盖全国主要省市。研究院集聚一批经济研究和产业研究专家，以 985 院校研究生为主体，链接高校专家学者，为全国各地政府及机构提供智力支持。

基于自身的研究和咨询能力，同时借助集团的服务网络，深企投产业研究院为政府机构、国有平台、产业园区、金融机构等客户类型提供有针对性的服务。

——政府机构客户。研究院重点提供五类服务：一是五年规划，包含发改系统的国民经济和社会发展规划，工信、商务、投促、文旅等政府部门的专项五年规划；二是产业规划，包含地区、片区的产业定位和产业发展专项规划；三是招商专题研究，包括产业链招商策略、招商规划、招商专案、招商图谱等；四是项目策划，发掘和策划包装契合区域禀赋、产业趋势和投资方向的项目，助力宣传推介和精准招商对接，或策划申报超长期国债等地方重点投资项目；五是项目评估，涵盖地方重点投资项目的风险评估、招商引资项目背景调查、产业基金拟投资项目尽职调查等。

——国有平台客户。针对新时期全国各地国有城投、产投公司向国有资本投资运营转型发展的需要，聚焦国有平台投资布局的新质生产力和重点产业赛道，研究院提供产业情报、产业发展规划、企业投资标的尽职调查等服务。

——产业园区客户。为国有园区、工业地产客户提供园区产业规划定位、产品定价策略、产品设计方案、招商运营服务方案、渠道和品牌推广策略、产业培训等服务。

——金融机构客户。为机构投资者提供产业细分领域深度研究、投资分析、标的尽职调查等服务，减少投资过程中的信息不对称，提高投资决策准确率。

自 2020 年至今，深企投产业研究院团队已完咨询服务项目近百个，完成研究报告数百份，服务的地区包括广东、江苏、浙江、福建、广西、云南、贵州、湖北、四川、陕西、宁夏等多个省市。

在产业研究领域，深企投产业研究院在新质生产力、战略性新兴产业、未来产业研究上具有深厚积累，每年发布原创深度报告近百份。有关低空经济、商业航天、卫星互联网、新型储能、人形机器人、生物制造、脑机接口、全球供应链等报告已获得广泛传播。

01

第三代半导体概览



一、半导体发展历程

半导体行业，基于核心材料特性的不同，划分为第一代半导体、第二代半导体和第三代半导体，其中第二代半导体和第三代半导体又统称为“化合物半导体”。

第一代半导体，指的是主要以硅（Si）和锗（Ge）为材料制造的半导体。20 世纪 50 年代，锗凭借在低电压、低频率、中功率晶体管及光电探测器中的应用主导半导体市场，但因耐高温与抗辐射性能不足，于 60 年代末被硅材料取代。硅半导体材料具有耐高温、抗辐射的特征，且高纯度溅射二氧化硅（SiO₂）薄膜的应用显著提升了其稳定性与可靠性，如今硅已成为最主流的半导体材料。

第二代半导体，以化合物半导体材料砷化镓（GaAs）、磷化铟（InP）为主要代表制造的半导体元器件。第二代半导体材料发明于 20 世纪 80 年代，相较于第一代硅基材料，由于其禁带略宽、电子迁移率高且具有直接带隙结构，使其在高频信号处理以及光电子领域具有更优越的性能。随着信息技术和互联网的发展，第二代半导体材料在卫星通信、移动通信、光通信和 GPS 导航等领域得到了广泛应用。但是，砷化镓和磷化铟材料的稀缺性和高成本，以及它们的毒性和环境污染问题，限制了这些材料的进一步应用。

第三代半导体，是指使用碳化硅（SiC）、氮化镓（GaN）、金刚石（C）、氧化锌（ZnO）等宽禁带材料制造的半导体，目前市场上主要集中在碳化硅（SiC）、氮化镓（GaN）两个领域。与第一代和第二代半导体材料相比，第三代半导体材料具有更宽的禁带宽度、更高的

击穿电场、更高的热导率、更大的电子饱和速度以及更高的抗辐射能力，更适合制作高温、高频、抗辐射及大功率器件，是功率半导体性能升级的主要选择。其中，碳化硅（SiC）器件具备耐高压、低损耗和高频三大优势，可以满足高温、高压、大功率等条件下的应用需求，广泛应用于新能源汽车、光伏、工控等领域；氮化镓（GaN）器件具备高开关频率、耐高温、低损耗等优势，可用于制作功率、射频、光电器件，广泛应用于消费电子、新能源车、国防、通信等领域。

表 1 三代半导体材料物理性能和应用特点

物理属性	第一代	第二代	第三代	
	Si	GaAs	4H-SiC	GaN
禁带宽度 (eV)	1.12	1.43	3.26	3.37
击穿场强 (mV/cm)	0.3	0.06	3	5
饱和电子速率 (10^7cm/s)	1	2	2	2.5
热导率 ($\text{W/cm}\cdot\text{K}$)	1.3	0.55	4.9	2
电子迁移率 (cm^2/Vs)	1350	8500	800	1250
材料类型	单质半导体	化合物半导体	化合物半导体	
材料性质	间接带隙，带隙宽度较窄，饱和电子迁移率较低	直接带隙，砷化镓电子迁移率约是硅的 6 倍，有毒性	禁带宽度大、击穿电场强、热导率高、电子饱和率高、抗辐射能力强	
特点	主要应用于低压、低频、低功率的晶体管和探测器中	相对硅基器件具有高频、高速的光电性能	适用于高电压、高频率场景，能在更高的温度下稳定运行、电能消耗更少	
应用领域	集成电路	光电子和微电子领域	功率器件、通信等	

资料来源：天岳先进招股书、平安证券研究所，深企投产业研究院整理。

三代半导体材料相互共存。各代半导体材料并非完全替代关系，将长期共存。目前市场上的半导体仍以第一代硅基材料为主，以硅基为基础的集成电路是消费电子、逻辑芯片的绝对主流，占全球半导体市场份额 90% 以上。第二代、第三代半导体材料在高温、高压和高频领域更多是作为有效补充，砷化镓、磷化铟专注高速高频、光电子细分市场，碳化硅、氮化镓在新能源、工业领域有不可替代的作用。不过随着摩尔定律演进逐渐放缓以及第三代半导体产品成本的降低，未来第三代半导体有望逐渐替代部分硅基半导体市场份额。

异质集成成为未来趋势。从协同来看，不同半导体进行技术融合和异质集成，兼顾性能和成本，满足多远场景，已成为未来趋势。比如，将氮化镓与低成本硅衬底结合，可用于快充和射频场景；将碳化硅与硅基 IGBT 结合，形成的混合模块能提升电网转换效率。

二、第三代半导体优点

由于卓越的物理性能，第三代半导体具有以下优势。

能量转换效率更高。传统的硅基材料导通电阻较高，在进行电力传输或转移的过程中会造成能量的大量损耗。第三代半导体元件具备高导热特性，材料又有宽能隙、耐高压和承受大电流的特性，可以降低导通时的损耗，更符合高温作业环境和高能效利用的要求。以新能源汽车为例，相比用传统硅芯片（如 IGBT），用第三代半导体材料芯片（如 SiC MOSFET 和 GaN HEMT）驱动的电动汽车能量耗损低 5 倍左右，由此大幅增加续航里程。

芯片性能提升。第三代半导体采用宽禁带材料，关断时候的漏电流更小，导通时候的导通阻抗更小，且寄生电容远远小于硅工艺材料，所以芯片运行速度更快，功耗消耗更低，待机时间更长，还能用较大工艺节点实现硅材料先进节点的部分性能。

可承受高频高压和高温。凭借宽禁带特性，第三代半导体临界击穿电场强度高，可承受数倍于传统硅基器件的电压，且高热导率保证高功率运行时的散热与热稳定性，能在薄漂移层下实现高压阻断，减少能量损耗，适用于电动汽车、高压电网和 5G 基站等领域。

有助于实现产品小型化。使用碳化硅（SiC）和氮化镓（GaN）材料制备的功率元器件具备高速开关动作和耐热性较高两个特性，开关频率越高，构成电力转换器的电感器等部件实现小型化就越容易。另外，耐高温、电能利用率高也是电力转换器小型化的必要条件。实际应用中，采用碳化硅（SiC）器件可将电力驱动系统体积减小 3-5 倍。

02

碳化硅 (SiC) 篇

内卷竞争中加速渗透，国产化率全面提升



过去三年，全球碳化硅衬底行业经历激进的产能扩张，中国大陆企业尤为突出。产能过剩叠加技术降本，碳化硅衬底价格持续下降，导致全球及中国市场收入增长放缓，2024 年以来国内碳化硅衬底行业洗牌加速。外延片同样经历产能扩张，多数企业产能将在一两年内释放。然而，上游衬底和外延片成本下降、技术成熟以及产能提升，带动下游器件和应用渗透率的提升。伴随国内新能源汽车自主品牌崛起，国产碳化硅器件企业在车规级市场份额将持续提升。

一、产品概况及应用领域

功率器件可用于对电能进行处理、转换与控制。相较于硅基功率器件，以碳化硅为衬底制成的功率器件，具备耐高压、耐高温、能量损耗低以及功率密度高的优点，能够推动功率模块向小型化、轻量化发展。具体而言，在相同规格下，碳化硅基 MOSFET 的尺寸相较于硅基 MOSFET 能大幅缩小至后者的 1/10，其导通电阻至少可降至硅基 MOSFET 的 1/100；同时，与硅基 IGBT 相比，相同规格碳化硅基 MOSFET 的总能量损耗可显著降低 70% 之多。

碳化硅功率分立器件主要有碳化硅二极管（如肖特基二极管 SBD、JBS 二极管、PiN 二极管等，以 SBD 为主）、MOSFET（金属氧化物半导体场效应晶体管）、IGBT（绝缘栅双极型晶体管）、JFET（结型场效应晶体管）等。从用量和市场份额来看，SiC MOSFET、SiC SBD、SiC IGBT 占据主体，如下表所示。

表 2 碳化硅功率器件主要产品应用领域

产品	技术特性	应用领域	应用占比
SiC MOSFET	具有低导通电阻、高频开关（MHz 级别）、耐压范围广（650V-3300V）	新能源汽车电机驱动的主逆变器、直流快充桩、高频工业电源	35%-45%
SiC SBD	具有零反向恢复电流、高频开关（>100 kHz）和耐高温（200°C+）特性	新能源汽车车载充电器 OBC、光储逆变器、消费类快充电源	30%左右
SiC IGBT	结合双极型晶体管和 MOSFET 优点，适用于超高压场景（>6.5kV）	智能电网（高压直流输电）、轨道交通牵引变流器	15%左右
SiC JFET	抗短路能力强、耐高温，但需负压驱动	工业电源	5%以下

资料来源：深企投产业研究院整理。

汽车应用为碳化硅功率器件最核心的应用下游，占比在 75% 以上。碳化硅器件主要被应用于电动汽车的主驱逆变器、DC-DC 转换器、车载充电器（OBC）等部件中，在新能源汽车的功率电子系统中起着关键作用。主驱逆变器是碳化硅器件价值量最大的应用，为了提高充电效率，800V 高压系统密集上车，碳化硅电驱成为电动车标配，当前还在向 20 万元以下车型普及。根据行家说 Research 统计数据，2023 年全球碳化硅车型（指主驱搭载碳化硅功率模块的车型）销量约为 280 万辆，预计 2024 年、2025 年将分别增长至 338 万辆、450 万辆。根据 NE 时代统计，我国新能源上险乘用车 800V 车型中碳化硅车型渗透率由 2023 年 20% 不到增至 2025 年 1 月的 71%，2024 年我国新能源上险乘用车主驱模块中碳化硅 MOSFET 占比为 15.4%，

2025 年 1 月进一步提升至 18.9%。根据 Wolfspeed 的预测，2026 年汽车中主驱逆变器所占据的碳化硅价值量约为 83%，其次为 OBC，价值量占比约为 15%；DC-DC 转换器中 SiC 价值量占比在 2%左右。

此外，碳化硅在光伏储能领域的应用也愈发成熟。碳化硅在光伏逆变器及储能变流器中能够提升系统效率、简化拓扑结构、降低能量损耗，提升设备循环寿命，2024 年逆变器厂商均在积极将碳化硅器件导入应用。

在充电桩领域，公共直流充电桩向更大功率、更高功率密度、更智能化等方向快速演进，要求电源模块的功率等级和功率密度不断提升，从 20kW/30kW 逐步提高至 40kW/50kW 及以上，这使得充电桩领域对 SiC 功率器件的需求也在快速提升。

在 AI 数据中心领域，碳化硅具有极小的反向恢复损耗，可以有效降低能耗，可以提升服务器电源的功率密度和效率，缩小数据中心的体积，降低数据中心的建设成本，因此主要应用在 AI 服务器电源的 PFC（功率因数校正）中，现在多数企业都在采用碳化硅二极管替代硅二极管，碳化硅 MODFET 替代硅 MOSFET。

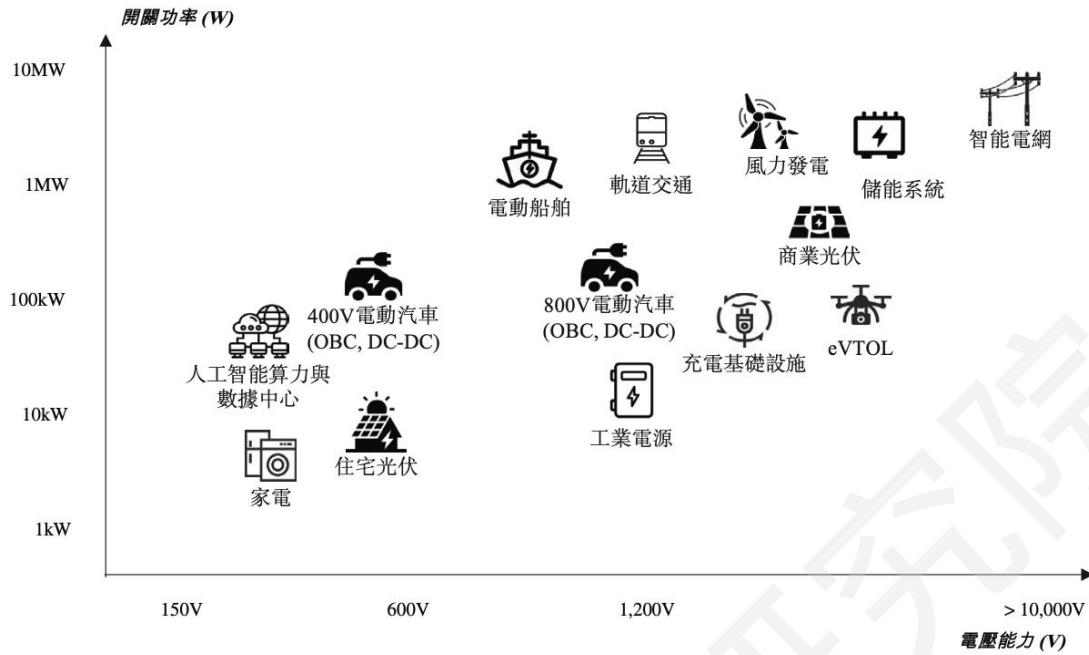


图 1 碳化硅功率半导体的应用场景

资料来源：灼识咨询、瀚天天成港股招股说明书。

沟槽型 SiC MOS 具有性能和成本优势。 MOSFET 是碳化硅器件当前最主要的类型，以往主要采用平面栅工艺和结构。沟槽型碳化硅 MOSFET 相对于平面型碳化硅 MOSFET 有更高的单元密度、更低的导通电阻、更小的寄生电容、更高的晶圆密度，并且能够减小开关损耗、提升导通性能，可以显著降低单个器件的成本，但受限于工艺水平和栅氧可靠性等问题，量产进程较慢。当前英飞凌、罗姆、芯联集成等国内外龙头厂商均在积极推动沟槽栅 SiC MOSFET 的研发和量产。

碳化硅器件制造主要采用 IDM 模式。 由于第三代半导体采用成熟制程工艺（多在 100 纳米以上），设备投资规模相对较小、可从数亿元起步，以 6 英寸碳化硅芯片为例，每万片/年产能对应投资 0.5-0.9 亿元，产能规模越大、单位产能投资越低。在新能源汽车、新能源等

下游应用高速成长阶段，第三代半导体项目融资相对容易，叠加集成电路领域对国产替代的高度重视，主要第三代功率半导体厂商因此多数选择设计、制造、封测一体化的 IDM 模式，且以往使用 Fabless 模式的厂商也纷纷转型 IDM 模式。

二、产业链

碳化硅产业链主要包括衬底、外延、器件制造（设计、制造、封测）三大环节。从工艺流程上看，首先由碳化硅粉末通过长晶形成晶锭，然后经过切片、研磨、抛光、清洗后得到基片，即碳化硅衬底，作为后续外延生长的物理支撑和热管理载体；碳化硅衬底经过外延生长，即表面通过化学气相沉积（CVD）或分子束外延（MBE）技术生长一层单晶薄膜，形成外延片；外延片经过光刻、清洗、刻蚀、离子注入、沉积、金属钝化等步骤加工成碳化硅晶圆（芯片），再经过切割、减薄、封装、测试，形成碳化硅器件（多个器件可封装为模块）；碳化硅器件及模块通过验证后，可进入应用环节。

从完整的产业链来看，上游为衬底及外延片等原材料生产，以及碳化硅生产设备；中游为器件制造，按照应用领域不同，可以分为功率分立器件、微波射频器件；下游为市场终端应用，主要包括电动汽车、新能源、工业控制、轨道交通、卫星雷达、通信基站、消费电子（AI 眼镜）等。

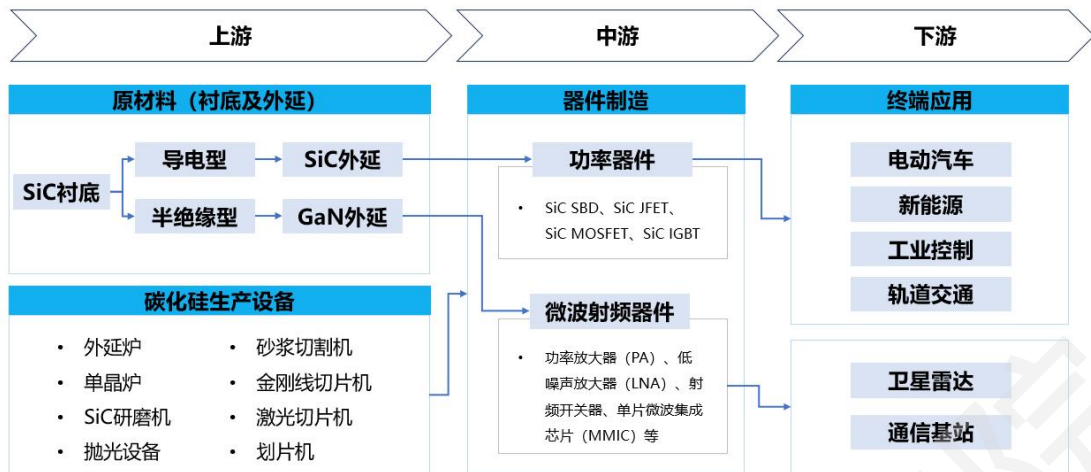


图 2 碳化硅产业链

资料来源：深企投产业研究院整理。

从价值链来看，材料是碳化硅产业链的技术核心。目前衬底、外延片成本分别占碳化硅器件的 47%、23%，合计约 70%，后道的设计、制造、封测环节占 30%。碳化硅衬底制造是碳化硅产业链技术门槛最高、价值量最大的环节。

三、碳化硅器件市场格局

（一）市场规模

据 Yole Group 在 2024 年 9 月发布的报告，全球碳化硅功率器件市场规模在 2023 年已达 27.46 亿美元，其中新能源汽车应用占比超 70%，核心器件涵盖主驱逆变器、OBC 车载充电机及 DC/DC 转换器等关键系统。随着 800V 高压架构渗透率在 2024 年持续提升，叠加衬底制造良率提升带来的成本下行，行业正迎来规模化拐点，Yole 预测到 2029 年全球碳化硅功率器件市场规模将攀升至 98.73 亿美元，CAGR24%，其中新能源汽车应用占比有望突破 80%。

根据灼识咨询数据，全球碳化硅功率半导体器件市场于 2020 年至 2024 年呈现显著增长，销售额由 2020 年的 6 亿美元增至 2024 年的 26 亿美元，年复合增速为 45.4%。预计到 2029 年，全球碳化硅功率半导体器件行业的销售额将达到 136 亿美元，2024 年至 2029 年的年复合增速为 39.9%。全球碳化硅功率半导体器件在全球功率半导体市场中的渗透率由 2020 年的 1.3% 增至 2024 年的 4.9%，并预计到 2029 年将达到 17.1%。

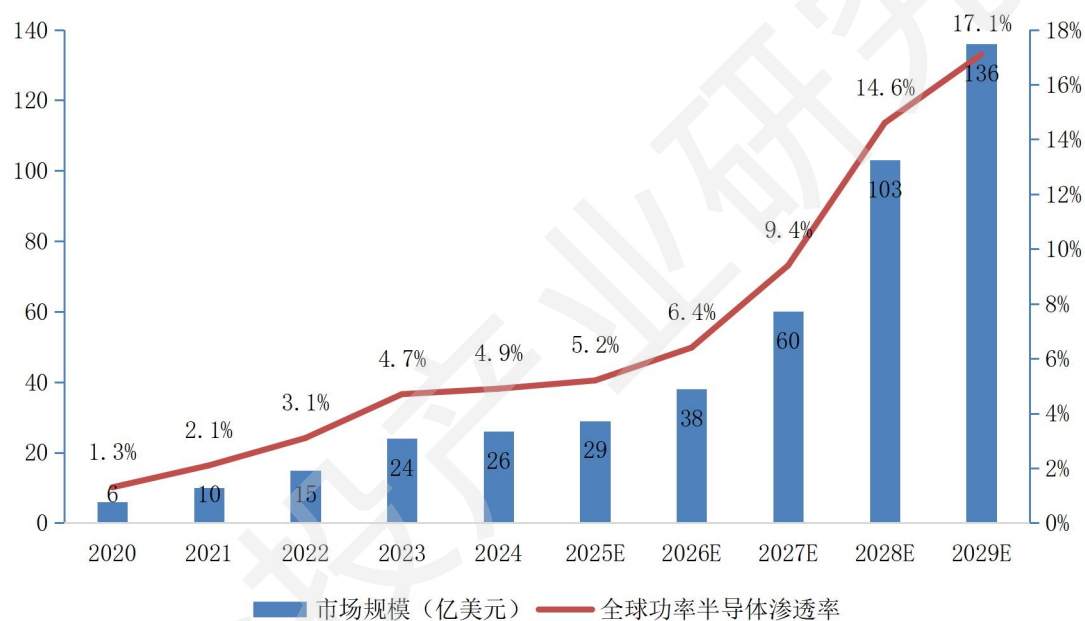


图 3 2020-2029 年全球碳化硅功率半导体市场规模及渗透率

资料来源：灼识咨询、瀚天天成港股上市申请资料，深企投产业研究院整理。

根据日本行业调查机构富士经济在 2023 年 4 月的预测，到 2035 年全球碳化硅功率半导体市场规模将达到 5.33 万亿日元（约为 455 亿美元），是 2022 年的 31.2 倍，占全球功率半导体市场的比重达到 40%。

（二）竞争格局

全球碳化硅器件市场由外资巨头主导。根据集邦咨询数据，2023 年全球碳化硅功率元件市场份额由海外巨头意法半导体 ST、安森美 Onsemi、英飞凌 Infineon、Wolfspeed、罗姆 Rohm 等厂商主导，前 5 大厂商占据约 92% 的市场份额。其他国际厂商还有日本三菱电机、富士电机等。

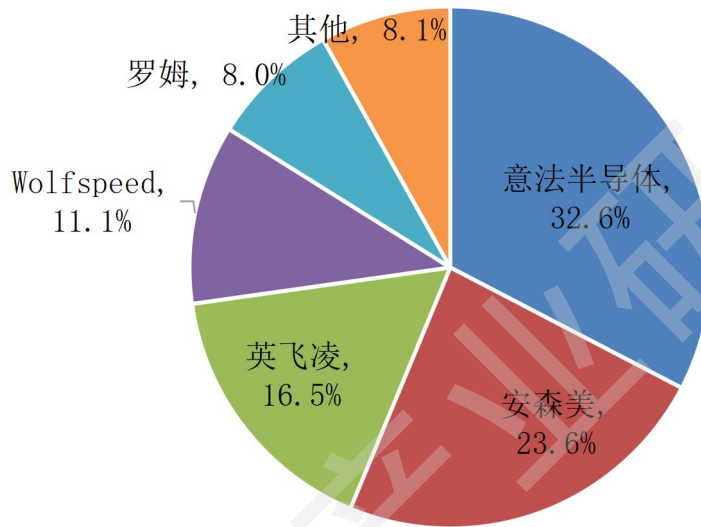


图 4 2023 年全球碳化硅功率元件营收市占率

资料来源：Trend Force 集邦咨询，深企投产业研究院整理。

伴随国内新能源汽车自主品牌崛起，国产碳化硅器件企业在车规级市场份额将持续提升。我国碳化硅功率半导体器件企业呈现“头部引领、细分突围、车规级加速渗透”的竞争格局。意法半导体、安森美、英飞凌在中国碳化硅功率模块市场仍占据主导地位，比如意法半导体绑定特斯拉、位列第一，但国产厂商份额迅速提升。根据 NE 时代数据，2024 年，我国新能源乘用车功率模块装机量突破 1640 万套，同比增长 64.8%；受大功率、800V 平台的带动，碳化硅功率模块装机量突破 208 万套，增速达到 116%。从 2024 年上半年装

机量看，碳化硅模块前 10 企业中，国产厂商达到 6 家，包括比亚迪半导体、芯聚能、芯联集成、联合电子、斯达半导体、基本半导体，合计市场份额达到 45.7%，预计全年占比近半。随着更多企业通过车规级认证并进入碳化硅车型，预计未来国产厂商市场份额将继续提升。

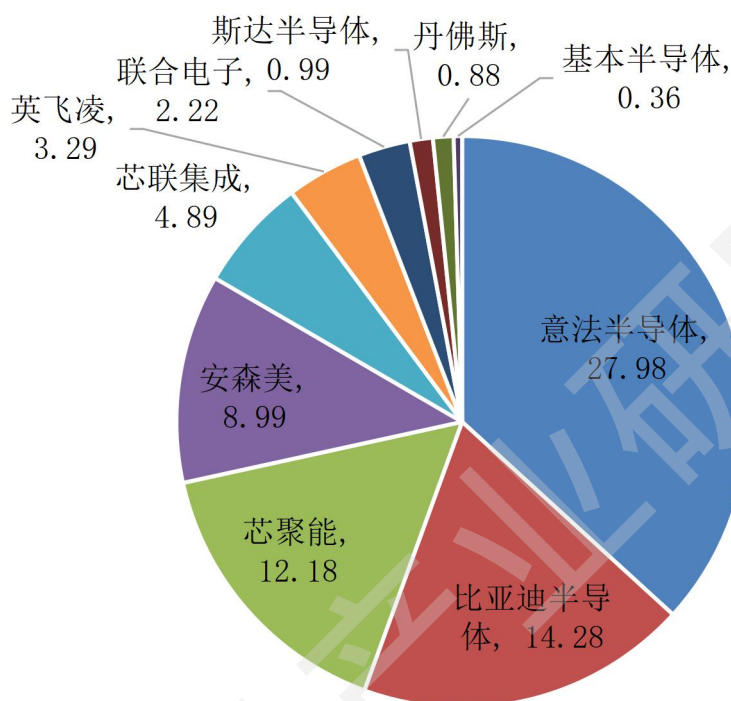


图 5 2024 年 H1 我国新能源乘用车碳化硅功率模块装机量（万套）

资料来源：NE 时代，深企投产业研究院整理。不含出口。

国内碳化硅器件企业多数为 IDM 模式，包括比亚迪半导体、中车时代半导体、芯聚能、士兰微、三安光电等头部企业，纯代工厂主要有芯联集成、积塔半导体、芯粤能等企业。国内主要企业情况如下表所示。

表 3 我国碳化硅芯片/器件/模块主要企业

序号	企业	业务现状及经营规模
1	比亚迪半导体股份有限公司	IDM 企业，功率半导体市占率进入全球前 10，碳化硅预计占国内 10%左右；新建的碳化硅工厂将于 2025 年下半年投产，该工厂将成为行业内最大的碳化硅工厂。
2	株洲中车时代半导体有限公司	IDM 企业，2024 年营收 43.65 亿元，功率半导体产品覆盖新能源汽车、轨道交通、光伏等领域，碳化硅 MOSFET 及 SBD 芯片进入验证阶段，6 英寸芯片产能 2.5 万片/年。
3	杭州士兰微电子股份有限公司（A 股）	IDM 企业，2024 年碳化硅业务 22.61 亿元、同比增长 60%以上，1200V SiC 模块通过多家车企验证并批量交付，厦门二期建成后将形成 8 英寸碳化硅功率器件芯片 72 万片的年产能。
4	芯联集成电路制造股份有限公司（A 股）	代工厂，2024 年碳化硅业务收入 10.16 亿元，同比增长 100%以上，车规级碳化硅产品实现 650V 到 2000V 系列的全面布局，90%应用于主驱逆变器，SiC MOSFET 出货量亚洲第一。
5	广东芯聚能半导体有限公司	IDM 企业，用于主驱的 SiC MOS 功率模块自 2022 年开始交付上车，已进入极氪、极星、SMART、吉利银河、极越等车企供应链，获 4 家海内外车企项目定点，截至 2024 年 10 月，车规级碳化硅主驱模块累计装车超 30 万台，国家级专精特新小巨人企业。
6	三安光电股份有限公司（A 股）	IDM+代工企业，2024 年负责碳化硅业务的子公司湖南三安实现销售收入 13.54 亿元。与意法半导体合资建成碳化硅基地。
7	上海积塔半导体有限公司	代工厂，覆盖 650V/750V/1200V 碳化硅 JBS 和 MOSFET 工艺平台，是国内最早通过车规认证的碳化硅代工厂之一，华大半导体等参股，已融资 200 多亿元，独角兽企业。
8	上海瞻芯电子科技有限公司	IDM 企业，覆盖 650V 至 2000V 全电压范围 SiC MOSFET 及模块，2024 年累计交付 SiC MOSFET 超 1600 万颗、SiC SBD 超 1800 万颗、驱动芯片近 6000 万颗，2025 年 1 月完成 C 轮首批近 0 亿元融资，累计融资超 20 亿元。
9	安徽长飞先进半导体股份有限公司	IDM+代工企业，覆盖 650V-3300V 全电压平台碳化硅 SBD 和 MOSFET 产品，已通过车规级认证，A 轮融资 38 亿元，国家级专精特新小巨人、独角兽企业。

序号	企业	业务现状及经营规模
10	斯达半导体股份有限公司 (A 股)	IDM 企业, 2024 年其他产品 (IGBT 单管、SiC 模块等) 收入约为 2.7 亿元; 自建车规级 SiC MOSFET 芯片量产, 新增多个主驱项目定点, SiC 模块搭载于小米 SU7 Ultra; 针对光伏逆变器、储能等推出多个 SiC MOSFET 分立器件 (单管) 产品。
11	深圳基本半导体股份有限公司	IDM 企业, 高压快充领域推出多款碳化硅模块, 车规级模块批量供货比亚迪、小鹏、北汽等车企, 国家级专精特新“小巨人”企业, 累计融资超过 20 亿元。
12	泰科天润半导体科技 (北京) 有限公司	IDM 企业, 2022 年产值破亿元, 产品线包括 650V、1200V、1700V、3300V 全系列碳化硅器件, 国家级专精特新小巨人企业, 累计融资超 20 亿元。
13	华润微电子有限公司 (A 股)	IDM+代工企业, 6 英寸碳化硅 MOSFET 产线量产, 产品应用于新能源汽车及储能领域, 2024 年产能同比增长 120%; 车规级 SiC MOS 和 SiC 模块批量供货。
14	闻泰科技股份有限公司 (A 股)	IDM 企业, SiC MOSFET 等产品在 SiC MOSFET 模块已导入 10 家主流车企, 覆盖比亚迪、特斯拉、蔚小理等品牌, 并在 AI 数据中心获得广泛应用,
15	联合汽车电子有限公司	Fabless 企业、自建模块封测产线, 太仓工厂总规划年产能包括 120 万套电桥 (含 SiC 型号) 和 60 万件碳化硅功率模块, 博世与上汽合资企业,
16	飞镭半导体 (上海) 有限公司	IDM 企业, 截止 2024 年 1200V 碳化硅器件累计出货超 3000 万颗, 新能源汽车 OBC 及 DC/DC 模块批量交付, 累计融资超 20 亿元。
17	瑞能半导体科技股份有限公司	IDM 企业, 新三板、IPO 申请中, 产品涵盖 650V-2200V 全系列碳化硅器件和模块, 2024 年营收 7.86 亿元, 国家级专精特新小巨人企业。
18	北京燕东微电子股份有限公司 (A 股)	IDM+代工企业, 已建成月产能 2000 片的 6 英寸碳化硅晶圆生产线, 覆盖 650V/1200V SiC SBD 和 1200V SiC MOS 工艺平台。
19	江苏中科汉韵半导体有限公司	IDM 企业, 覆盖 1200V/750V 碳化硅 MOSFET 及 JBS 二极管, 已完成车规级认证, 一期已建成 4 英寸年产能 5000 片碳化硅器件产线。
20	扬州扬杰电子科技股份有限公司 (A 股)	IDM 企业, 覆盖 650V-1200V 全系列碳化硅二极管和 MOSFET 产品, 并通过车规级认证, 已建成年产能 7500 万只高端功率模块, 覆盖车规级 SiC MOSFET 模块等产品。主驱逆变器模块已进入比亚迪、小米等车企供应链。
21	清纯半导体 (宁波) 有限公司	Fabless 企业、由士兰微、上海积塔半导体等代工, 车规级 SiC MOSFET 进入大众集团全球供应链, 2024 年销售额突破 1 亿元, 覆盖新能源车、光伏等领域。

序号	企业	业务现状及经营规模
22	广东芯粤能半导体有限公司	代工厂，产品覆盖覆盖 650V-1700V 全电压平台碳化硅 SBD、MOSFET 及 IGBT 器件，通过车规级认证，吉利与芯粤能半导体等合资成立，2025 年完成约 10 亿元 A 轮融资。
23	中电科 55 所（中电国基南方集团有限公司）	IDM 企业，拥有 6 英寸碳化硅 MOSFET 批产线，2024 年初车用 650V-1200V 碳化硅 MOSFET 出货量突破 1500 万只，累计上车超 200 万辆。
24	深圳方正微电子有限公司	车规 1200V SiC MOS 产品已规模化应用，6 英寸碳化硅晶圆 2024 年底产能达 1.4 万片/月，深圳市重大产业投资集团旗下。
25	浙江晶能微电子有限公司	Fabless 企业，吉利旗下控股公司，已建成一期年产能达 2.6 亿至 3.9 亿颗功率半导体器件，覆盖硅（Si）和碳化硅（SiC）器件封装，碳化硅模块可用于高端电动汽车、商用车重卡等系列车型，B 轮融资 5 亿元。
26	纳微达斯半导体（上海）有限公司	Fabless 企业、由台积电、上海积塔等代工，美国功率半导体公司纳微半导体 Navitas（纳斯达克上市）的中国公司，2024 年初碳化硅功率器件发货超 1200 万颗，2025 年第一季度车规级 SiC MOSFET 出货量同比增长超 70%，主驱模块进入比亚迪、小米等车企供应链。
27	苏州悉智科技有限公司	IDM 企业，800V 高压平台碳化硅模块，搭载于智己车型，获得大众中国体系认证，2024 年单季度营收突破 5000 万元，三轮融资近 4 亿元。
28	南京宽能半导体有限公司	代工厂，专注于 6 英寸碳化硅晶圆制造，覆盖碳化硅二极管及 MOSFET 代工，一期规划年产能 3 万片，天使轮融资超 2 亿元。
29	臻驱科技（上海）股份有限公司	IDM 企业，已与上汽通用五菱、奇瑞、赛力斯、长安等国内头部车企达成深度合作，获得数十款车型的 SiC/IGBT 量产定点，2025 年 2 月完成达数亿元的 E 轮融资，累计融资超 11 亿元。
30	北京昕感科技（集团）有限责任公司	IDM 企业，已在 650V、1200V、1700V 等电压平台上完成数十款 SiC 器件和模块产品量产，累计出货客户百余家，产品广泛应用于光伏储能、新能源汽车、工业控制等领域，累计融资近 12 亿元（股权 4 亿元、债权 8 亿元）。
31	瑶芯微（上海）电子科技股份有限公司	Fabless 企业、与中芯绍兴等合作，产品覆盖 650V 至 2300V 全电压等级碳化硅 MOSFET，截止 2024 年 9 月出货产品已供应 200 万台车，已完成 8 轮融资，其中 C 轮融资数亿元。

序号	企业	业务现状及经营规模
32	浙江芯科半导体有限公司	IDM 企业，2 英寸碳化硅 MOSFET 功率芯片生产线项目（杭州富阳）于 2024 年启动，当前处于试生产阶段，规划产能为 10 万片/年，主要面向工业电源及新能源汽车市场。
33	无锡新洁能股份有限公司（A 股）	IDM 企业，2024 年底竣工的无锡总部基地项目规划年产 2640 万只碳化硅/氮化镓功率器件、362.6 万只车规级 SiC/IGBT/MOSFET 功率模块。
34	上海瀚薪科技有限公司	量产车规级碳化硅 MOSFET、二极管，碳化硅领域覆盖 650V、1200V、1700V 到 3300V 的电压平台，国家级专精特新小巨人企业。
35	派恩杰半导体（浙江）有限公司	Fabless 企业，发布了 100 余款 650V/1200V/1700V SiC SBD、SiC MOSFET、GaN HEMT 功率器件，SiC MOSFET 已大规模导入国产新能源整车厂和 Tier 1，2025 年 2 月完成近 5 亿元融资。
36	杰平方半导体（上海）有限公司	IDM 企业，碳化硅 800V 高压平台产品，已在比亚迪、长安、一汽红旗等汽车品牌中应用，香港在建年产能 24 万片 8 英寸碳化硅晶圆产线、计划 2026 年投产，
37	苏州锴威特半导体股份有限公司（A 股）	Fabless 企业、自建封测产线，碳化硅业务聚焦聚焦 650V-1700V SiC MOSFET 和 SBD 产品，2024 年 SiC MOSFET 产品通过多家车企供应链验证，并在光伏逆变器和快充桩实现小批量应用。
38	江苏捷捷微电子股份有限公司（A 股）	碳化硅器件采用 Fabless 模式、研发封测为主，2024 年推出 1200V 碳化硅 MOSFET、SBD，处于产能爬坡阶段。
39	北京国联万众半导体科技有限公司	Fabless 转型 IDM 企业，已建成 6 英寸碳化硅晶圆量产线，截至 2023 年底，碳化硅模块累计出货量突破 5000 万只，其中车规级产品在新能源汽车领域累计供货超 4000 万只，被 A 股中瓷电子收购，2024 年营收 2.2 亿元。
40	南京芯干线科技有限公司	Fabless 企业、自建舟山封测产线，已推出 1200V 碳化硅 MOSFET 及全碳化硅模块，为头部储能企业供货，计划进入车规级市场，2025 年 3 月完成 A 轮融资。
41	宁波萃锦科技发展有限公司	IDM 企业，产品覆盖 600V-2000V 电压平台的碳化硅 MOSFET、模块及硅基超结 SJ MOS、IGBT 等，2024 年完成数千万元天使轮融资。
42	江苏长晶科技股份有限公司	由 Fabless 转型 IDM 企业，现有 6 英寸晶圆产线，碳化硅 SBD 和 MOS 已量产，2021 年融资后估值 46 亿元。
43	无锡芯动半导体科技有限公司	Fabless 企业、自建封测产线，隶属于长城汽车体系，深度绑定哈弗、欧拉等新能源车型，规划年产能 120 万套车规级 SiC 模块，处于量产爬坡阶段。

序号	企业	业务现状及经营规模
44	智新半导体有限公司	Fabless 企业、自建封测产线，隶属于东风汽车集团，已量产 1200V/1.6mΩ SiC MOSFET 模块。
45	苏州东微半导体股份有限公司（A 股）	Fabless 企业，碳化硅二极管、碳化硅 MOSFET 已量产，2024 年碳化硅 MOSFET 营收 63.65 万元、尚未上量。
46	江苏宏微科技股份有限公司（A 股）	Fabless 企业、自建模块封装产线，已实现 1200V SiC MOSFET 的研发与量产，光伏用 SiC 混合封装模块获得全球头部逆变器厂商订单。
47	深圳爱仕特科技有限公司	Fabless 企业、自建模块封装产线，专注 SiC MOSFET 芯片及车规级模块，年出货量超过 300 万只，产品覆盖 650V 至 3300V 全电压平台，2022 年 A+轮融资超 3 亿元。
48	合肥安海半导体股份有限公司	Fabless 转型 IDM 企业，2024 年自建晶圆产线，量产 SiC MOSFET，布局 1700V 以上特高压产品，已融资 2 亿元以上。
49	凌锐半导体（上海）有限公司	Fabless 企业，定位高端车规级 SiC MOSFET，已推出 650V、1200V、1700V、2000V、3300V 系列，已完成 3 轮融资。
50	江苏芯长征微电子集团股份有限公司	Fabless 企业、自主封测，SiC MOSFET 芯片及模块，批量用于新能源汽车及重卡领域，累计完成 7 轮融资，2023 年 D 轮融资数亿元。
51	重庆平伟实业股份有限公司	IDM 企业，产品包括 SiC SBD 和 MOSFET 器件，2024 年预计营收 14 亿元，2025 年规划 SiC/GaN 产品占比提升至 30%。

资料来源：深企投产业研究院整理。

四、碳化硅衬底市场格局

（一）产品概况

碳化硅（SiC）衬底制备链条比较长。目前一般以高纯碳粉、高纯硅粉为原料合成碳汇硅粉，在特色温场下，采用成熟的物理气相传输法（PVT 法）生长不同尺寸的碳化硅晶锭，晶锭加工后形成碳化硅晶棒，再将晶棒切割形成碳化硅晶片，通过将晶片研磨、抛光、清洗后，最终产生碳化硅衬底。

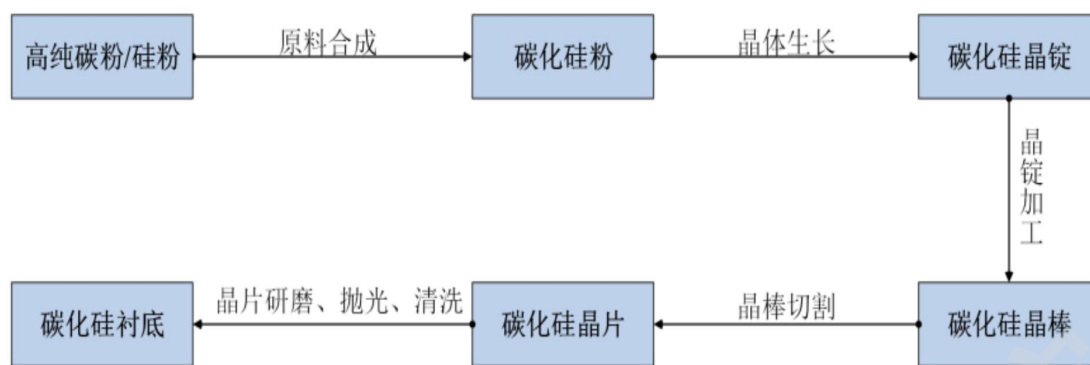


图 6 碳化硅衬底制备工艺

资料来源：天岳先进招股说明书。

根据电化学性质的差异，碳化硅衬底主要分为半绝缘型和导电型两类。半绝缘型电阻率较高，不易导电，耐高压；导电型电阻率较低，导电能力强，根据导电类型可以进一步分成 N 型（空穴导电）或者 P 型（电子导电）半导体。半绝缘型碳化硅衬底+氮化镓外延，主要用于制造氮化镓射频器件，应用于 5G 通讯、国防军工等领域；导电型碳化硅衬底+碳化硅外延，主要用于制造功率器件，应用于新能源汽车、新能源、电力系统等领域。

表 4 碳化硅衬底根据电化学性质分类

项目	半绝缘型	导电型
电阻率	$\geq 105\Omega\cdot\text{cm}$	15-30m $\Omega\cdot\text{cm}$
外延	GaN 等异质外延	SiC 同质外延
器件	微波射频器件	功率器件
场景	高频、高温	高温、高压
应用领域	5G 通讯、军工雷达	电动汽车/充电桩、光伏等

资料来源：天岳先进招股书等，深企投产业研究院整理。

导电型碳化硅材料制成的功率器件能够更好地适应高压、高温工作环境，在新能源汽车电驱系统、高压充电设施、储能及轨道交通等高压大功率场景具有极大的应用潜力。半绝缘型碳化硅则凭借低载流子浓度与优异的微波损耗特性，成为 5G/6G 基站射频前端器件的核心衬底材料，支撑氮化镓（GaN-on-SiC）功率放大器在高频段的高效运行。

碳化硅衬底还可分为工规级、车规级两大类。工规级衬底主要用于工业电源领域，对于可靠性、安全性的要求相对宽松，门槛较低；车规级衬底对于可靠性、安全性的要求极高，全球能供应主驱衬底的企业较少。

碳化硅衬底在智能眼镜领域展示出显著的应用潜力。碳化硅衬底具备优异的光学和热学特性，其高折射率、轻质高强、散热优异性能，被认为是光学 AI/AR 眼镜的最佳材料，可帮助 AI/AR 眼镜突破重量、显示效果、耐用性瓶颈，有望成为 AI/AR 眼镜主流光学方案并推动行业迈向规模化商用。目前由于价格昂贵，只有高端市场使用碳化硅镜片。随着碳化硅衬底成本快速下探，有望在 AI/AR 眼镜大众市场得到应用，预计 2025 年第二季度发布的雷鸟 X3 Pro 将成为第一个搭载碳化硅镜片的量产型 AR 眼镜。

大尺寸衬底材料将大幅降低成本。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。目前国际主流商用碳化硅衬底尺寸为 6 英寸。单片 8 英寸衬底可用面积约为 6 英寸的 1.8 倍，

边缘浪费减少、材料利用有效率显著提升，芯片产出量大约是 6 英寸的 2 倍。根据 Wofspeed 报告显示，以 32mm²面积的裸片（芯片）为例，6 英寸可以切出 448 颗，8 英寸可以切出 845 颗，裸片数量增加近 90%；由于边缘芯片的良率较低，6 英寸的边缘裸片数量占比会达到 14%，8 英寸的这一占比降低至 7%，8 英寸衬底利用率相比 6 英寸提升了 7%。根据天科合达的测算，从 6 英寸提升到 8 英寸，规模化生产后，单位成本预计能够降低 35%。

国内外企业加速布局 8 英寸及以上碳化硅衬底。国际头部企业，例如 Wolfspeed、安森美 Onsemi、罗姆 Rohm 等正向 8 英寸升级，均计划在 2025 年前后实现 8 英寸 SiC 衬底的量产。我国碳化硅衬底主流尺寸是 4/6 英寸，其中半绝缘型碳化硅衬底以 4 英寸为主，导电型碳化硅衬底以 6 英寸为主，头部企业（如天岳先进、天科合达）也已经实现 8 英寸量产。根据集邦咨询预测，2024 年 8 英寸产品市占率不超过 2%，到 2026 年市场份额将成长到 15%左右，2030 年出货份额将突破 20%。

（二）市场规模及趋势

全球碳化硅衬底材料市场将保持快速增长。在全球新能源产业（包括新能源汽车）的持续扩张背景下，市场对碳化硅材料的需求正呈现爆发式增长。根据弗若斯特沙利文报告，2024-2030 年电动汽车领域的复合年增长率仍高达 36.1%，将继续引领全球碳化硅材料市场的增长，同时光伏储能、电网、轨道交通、低空飞行、AI 算力中心等领域碳化硅材料的渗透率将不断提升，亦将保持强劲的增长势头。

根据弗若斯特沙利文测算，以销售收入计，全球碳化硅衬底市场由 2019 年的人民币 26 亿元增长至 2023 年的 74 亿元，年复合增速为 29.4%。预计到 2030 年，市场规模将有望增长至 664 亿元，年复合增速为 39.0%。其中，导电型碳化硅衬底市场将由 2024 年的 71 亿元增长至 2030 年的 584 亿元，年复合增速为 42.1%；半绝缘型碳化硅市场将由 2024 年的 21 亿元增长至 2030 年的 80 亿元，年复合增速为 24.6%。根据 Verified Market Research 的测算，全球碳化硅衬底市场规模将从 2024 年的 8.24 亿美元增长至 2031 年的 24.14 亿美元，年复合增速为 14.38%。

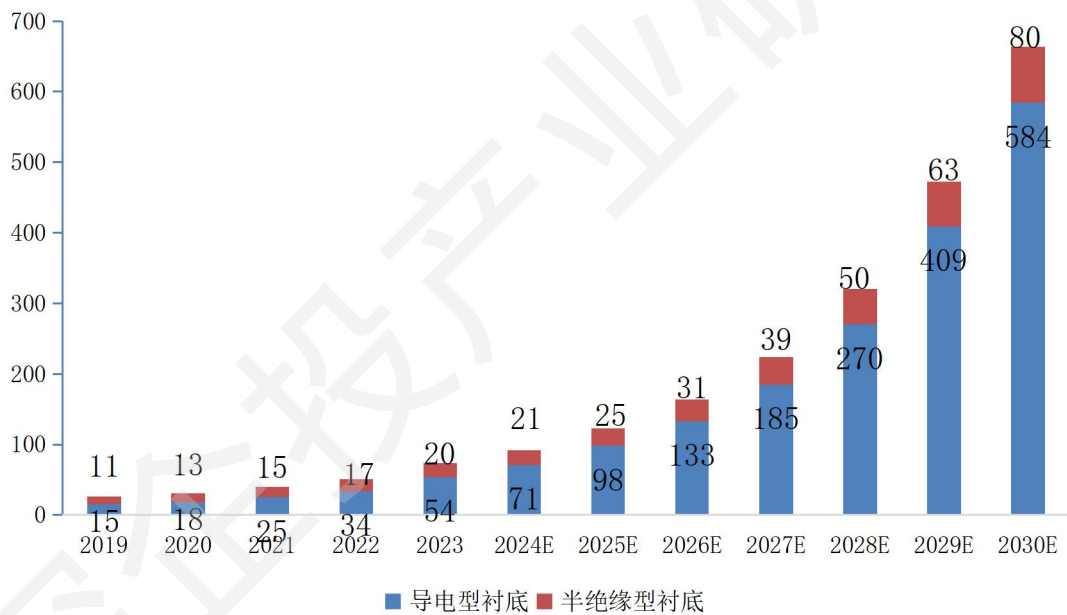


图 7 2019-2030 年全球碳化硅衬底市场销售规模（亿元）

资料来源：弗若斯特沙利文，天岳先进 2024 年报，深企投产业研究院整理。

市场需求拉动碳化硅衬底产能快速扩张。过去三年，全球碳化硅衬底行业经历大规模产能扩张潮，中国大陆企业尤为突出。伴随 6 英寸、8 英寸产线建设加速推进，我国碳化硅衬底产能高速扩张。根据

DT 芯材的统计，我国 6/8 英寸碳化硅衬底年产能从 2022 年的 90 万片跃升至 2024 年上半年的 348 万片（折合 6 英寸），增幅达 286%，预计 2024 年底年产能达到 400 万片。

全球产能过剩叠加技术降本，碳化硅衬底价格持续下降。一方面，全球碳化硅衬底市场已经转向供给过剩，产能过剩导致价格战。根据集微咨询数据，2024 年中国 6 英寸碳化硅衬底的设计产能超过 1300 万片，但全球实际需求仅 150 万片，国内实际销售仅 75 万片，库存积压高达 180 万片；产能严重过剩让价格战愈演愈烈，国内 6 英寸衬底价格从 2024 年初的 4000-4500 元跌至 2500-2800 元，全年降幅超过 40%，接近成本线。另一方面，产业升级与技术创新持续压缩成本空间。通过优化长晶工艺、引入激光切割等技术提升良率，叠加设备国产化率改善，碳化硅衬底生产成本不断下降。同时要看到，虽然低端 6 英寸衬底因同质化竞争和良率不足，产能过剩明显，但高端 8 英寸及车规级产品（如 1700V MOSFET）仍供不应求。

价格战导致全球及中国市场收入增长放缓。根据集微网数据，2023 年全球碳化硅材料市场规模约为 14 亿美元，比 2022 年增长 17%；2023 年我国碳化硅衬底材料出货 89.4 万片（折合 6 英寸），比 2022 年的 30 万片增长 297.9%，销售收入 36.5 亿元，同比增长 221.2%。2024 年全球碳化硅衬底行业呈现“量增价跌”的显著特征。尽管产能快速扩张，但受全球需求疲软、价格战加剧等因素影响，行业整体营收增速放缓。根据集邦咨询数据，2024 年全球 N-type（导电型）碳化硅衬底产业营收同比减少 9%，为 10.4 亿美元。

（三）竞争格局

中国企业已经进入全球主要供应商行列。2022 年以前，全球碳化硅衬底市场被美国公司主导，美国 Wolfspeed 及 Coherent（原II-IV）一直位列第一二位。在需求端的带动下，中国碳化硅衬底企业产能和市场份额快速增长，根据 Yole 的数据，2023 年全球碳化硅衬底供应商 CR4 达到 81%，中国企业天科合达和天岳先进位列第二、四位，占全球市场份额分别为 18%和 14%。天岳先进等厂商的衬底还获得了英飞凌、博世等国际知名企业合作。根据集邦咨询数据，2024 年全球 N 型碳化硅衬底前三大厂商分别为 Wolfspeed、天科合达以及天岳先进，市场份额分别为 33.7%、17.3%、17.1%。Wolfspeed 仍是碳化硅材料市场最重要的供应商，并引领产业向 8 英寸衬底转型。

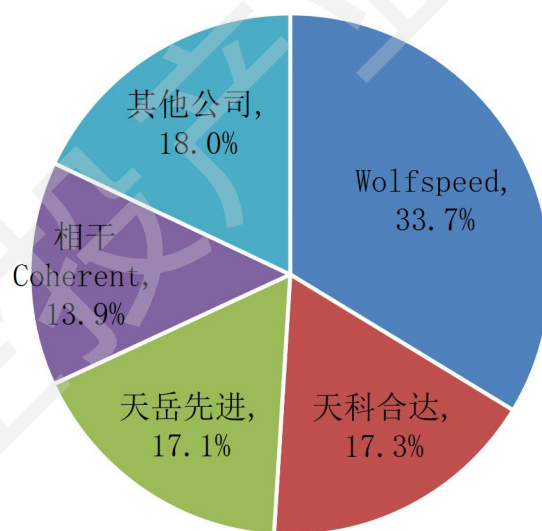


图 8 2024 年全球 N 型碳化硅衬底供应商营收占比

资料来源：Trend Force 集邦咨询，深企投产业研究院整理。

伴随国产衬底材料厂商崛起以及全球价格竞争，国际龙头遭受重大冲击。中国碳化硅衬底产能占全球 70%，价格较国际厂商低 30%-40%，受中国厂商技术迭代和价格挤压，国际大厂份额持续下滑，

营收和利润持续恶化。比如美国 Wolfspeed 作为全球碳化硅衬底和外延片龙头，2024 年累计亏损 8.64 亿美元，股价较峰值暴跌 95%，市值从 180 亿美元缩水至不足 10 亿美元，并于 2025 年 5 月 21 日申请破产保护。Coherent 在全球导电型碳化硅衬底的市场份额排名，从 2022 年的第二，下滑至 2023 年的第三、2024 年的第四，毛利率显著下滑。日本罗姆 ROHM 碳化硅业务于 2024 年首次出现亏损，不得不削减投资计划，推迟产能扩张目标。韩国 SK Siltron 碳化硅衬底销售额大幅下滑，近期母公司 SK 集团计划将其出售。安森美在韩国建设的 8 英寸工厂因韩国本土电动汽车销量下滑和中国企业竞争，已在 2025 年 4 月暂停投资建设。随着 Wolfspeed 等外资龙头退出市场，相应份额预计将被国产厂商吸收。

从企业梯队来看，我国碳化硅衬底第一梯队企业包括天岳先进和天科合达。天岳先进是半绝缘型衬底龙头，全球市占率超 30%（2023 年），是华为、中兴等 5G 基站核心供应商，2023 年通过特斯拉供应链认证，在 8 英寸晶圆市场中占据领先地位。天科合达是国内导电型衬底领军者、市占率超 70%（2023 年），是国内功率电子市场最大的碳化硅衬底供应商，主攻新能源汽车和光伏市场，与英飞凌、比亚迪半导体深度合作。

2024 年以来国内行业洗牌加速。根据中国电子材料行业协会半导体材料分会统计，国内从事碳化硅材料研究生产的单位已达 100 余家。全国衬底企业 50 多家，但具备批量供货能力的企业较少，目前具有一定规模产能的企业仅有 20 多家。2024 年以来，国内衬底行业

价格竞争激烈，行业加速洗牌，中小厂商为抢占市场份额，不惜以低价策略挤压对手生存空间，一些企业经营困难、破产重整。2025 年行业洗牌继续，具备技术、资金和产业链协同优势的企业有望脱颖而出。

面对行业内卷现状，行业内企业探索不同破局路径。一是通过技术创新快速降低成本、提高良率，提升产品性价比。比如天岳先进探索“PVT+液相法”路线，通过液相法生产高品质籽晶，再利用 PVT 工艺进行放大生产，从而缩短晶体生长周期，提高产品良率。二是加快 8 英寸衬底量产进程，避开 6 英寸市场的激烈竞争，直接进军高端市场。目前 8 英寸的售价约为 6 英寸的 3 倍，市场供不应求，且特斯拉、比亚迪等车企对车规级芯片的可靠性与一致性提出了更高要求，明确指定使用 8 英寸衬底，这使得 8 英寸成为高端市场的刚需。从 8 英寸衬底布局企业情况看，截止 2024 年，国内已超 10 家企业 8 英寸碳化硅衬底进入送样、小批量生产阶段，除了天岳先进与天科合达，还有三安光电、烁科晶体、晶盛机电、南砂晶圆、同光股份、科友半导体、乾晶半导体、超芯星、盛新材料（中国台湾）、粤海金等。三是走向为客户提供解决方案，比如为车企定制车规级芯片衬底，并与宁德时代、华为等下游巨头建立联合研发中心。

国内部分头部企业已提前布局 12 英寸衬底技术研发与生产。天岳先进在 2024 年 11 月推出全球首款 12 英寸导电型碳化硅衬底样品，此后烁科晶体、天科合达、晶盛机电、南砂晶圆等企业相继宣布成功研制或展示 12 英寸衬底样品，预计未来几年将逐步实现量产，进一

步提高晶圆利用率，降低器件生产成本。

当前国内碳化硅衬底主要企业情况如下表所示。

表 5 国内碳化硅衬底主要企业及产能情况

序号	企业	产能	基地	经营规模
1	北京天科合达半导体股份有限公司	2024 年碳化硅衬底年产能约 30 万片、6 寸为主，8 寸小规模量产；2025 年衬底产能规划达到 50-80 万片，外延片产能 25 万片。	北京、徐州、深圳（合资）	科创板上市申请中，2023 年营收超 15 亿元。2023 年 F 轮融资后估值超 115 亿元。2024 年全球碳化硅衬底市占率 17.3%、全球第二（集邦咨询数据）。
2	山东天岳先进科技股份有限公司（A 股）	2024 年衬底产能约 46 万片/年、8 寸为主，2025 年目标总产能 60 万片/年，并推动 12 寸衬底试产。	上海临港（规划 96 万片/年）、济南、济宁	2024 年碳化硅衬底产量 41.02 万片，营收 17.68 亿元，全球市占率 17.1%、全球第 3（集邦咨询数据）。
3	三安光电股份有限公司（A 股）	长沙基地现有 6 寸衬底产能 19.2 万片/年，8 寸衬底与外延片产能 1.2 万片/年；重庆合资基地在建 48 万片 8 寸衬底、外延片及芯片产能。	长沙、重庆（与意法半导体合资）	2024 年整体营收 145 亿元，其中碳化硅业务营收 11.4 亿元、同比增长 200%，计划 2030 年碳化硅收入超 50 亿美元。
4	浙江晶越半导体	2024 年 6 寸衬底产能 6 万片/年、良率 60%，8 寸衬底小批量生产、送样，规划 2026 年衬底产能 24 万片/年、外延片产能 5 万片/年。	绍兴嵊州	市场份额约占国内市场的 8%，2024 年启动 Pre-IPO 轮融资，估值超 50 亿元，计划 2026 年登陆科创板。
5	山西烁科晶体有限公司	碳化硅衬底已投产一期产能 7.5 万片/年，2025 年初二期投产、新增 6-8 寸 N 型碳化硅单晶衬底 20 万片/年、高纯衬底 2.5 万片/年，12 寸技术已突破。	太原	中国电子科技集团控股，2023 年产值突破 10 亿元，2025 年目标营收突破 20 亿元。
6	河北同光半导体股份有限公司	碳化硅衬底现有产能 10 万片/年；保定基地在建 8 寸 20 万片年产能、预计 2027 年投产。	保定	上市申请中、独角兽企业，2023 年保定工厂营收 3.78 亿元。

序号	企业	产能	基地	经营规模
7	浙江晶盛机电股份有限公司 (A股)	碳化硅衬底 2024 年底产能预计 6 寸 2 万片/月、8 寸 3000 片/月；规划 2025 年 8 英寸衬底产能提升 6 万片/年，6-8 寸合计总产能 30 万片/年。已推出 12 英寸导电型衬底样品。	银川、绍兴	6 英寸衬底片已通过多家下游厂商验证并批量销售，8 英寸产品进入客户验证阶段。2024 年营收 176.77 亿元，其中材料业务（含碳化硅衬底、蓝宝石材料等）全年营收为 33.46 亿元。
8	山西天成半导体材料有限公司	现有一期规划产能 5 万片/年，覆盖 6 英寸和 8 英寸导电型产品；二期在建。自研 12 寸长晶炉设备。	太原	当前营收以设备为主，2024 年碳化硅单晶衬底生长装备营收近 2000 万元。
9	浙江东尼电子股份有限公司 (A股)	建成 年产 12 万片 6 英寸碳化硅衬底产能，但良率未达标。8 寸小批量验证。	湖州	2024 年整体营收 19.81 亿元，其中碳化硅半导体材料营收 0.71 亿元、产量 3.69 万片。
10	广州南砂晶圆半导体技术有限公司	现有 6 寸衬底和外延片产能 20 万片/年（衬底为主，南沙基地），8 寸衬底 5 万片/年（济南），规划 2025 年 8 寸产能 50 万片/年。	广州、中山、济南	以 6 寸、8 寸导电型和半绝缘型碳化硅衬底为主，已完成 C+轮融资。
11	山东粤海金半导体科技有限公司	现有 5 万片 6 寸导电型碳化硅衬底年产能，规划 2025 年产能达到 11 万片/年。	山东东营	Pre-A 轮融资 1 亿元，A 轮融资 0.5 亿元。
12	露笑半导体材料有限公司 (A股)	合肥基地一期已建成 6 寸导电型碳化硅衬底 24 万片/年产能，8 寸衬底小批量验证。一期基地包含 6 英寸外延片中试线。	合肥	2024 年 6 寸衬底实际生产约 1.2 万片。
13	哈尔滨科友半导体产业装备与技术研究院有限公司	现有 6 寸衬底年产能 5 万片，8 寸衬底年产能 5000 片；规划二期建成后 6 寸衬底总产能 10 万片/年、8 寸衬底总产能数万片/年。	哈尔滨	2024 年获得欧洲超 2 亿元长订单；2023 年销售订单超 6 亿元。获得哈尔滨地方股权投资超亿元，2022 年估值超 10 亿元。
14	安徽微芯长江半导体材料有限公司	现有衬底产能 15 万片/年（4 寸 3 万片、6 寸 12 万片）。	安徽铜陵	铜陵国资平台入股。

序号	企业	产能	基地	经营规模
15	河北天达晶阳半导体技术股份有限公司	预计已建成产能2.8万片/年（含4寸、6寸）	河北邢台清河	与天科合达有关联，规划推进与天科合达资产重组。
16	江苏超芯星半导体有限公司	6寸衬底已量产，产能未知；8寸衬底小批量生产。	南京	已获得C轮融资数亿元，累计融资额超5亿元。近三年销售收入复合增长率为89.6%。
17	中电化合物半导体有限公司	现有碳化硅衬底产能2万片/年（6寸为主），规划2025年达到8万片/年4-6寸衬底及外延片、碳化硅基氮化镓N型外延片产能。	宁波	中国电子旗下的华大半导体投资。2023年完成A轮5000万元融资。
18	合肥世纪金芯半导体有限公司	现有6寸衬底年产能3万片，8寸衬底2024年小批量生产、规划2025年产能达到10万片/年。	合肥、内蒙古包头（规划8寸70万片/年，暂停）	2024年获得日本客户2024-2026年2亿美元、13万片订单。合肥产投等政府基金参投，因主要投资方北京世纪金光破产清算，2025年3月启动司法重整。
19	宁波合盛新材料有限公司	现有2万片/年6寸碳化硅衬底及外延片产能；8寸衬底小批量生产，计划2025年产能提升至10万片	宁波	A股合盛硅业占股80%；2022年获宁波联江、厚一投资等注资2亿元。
20	北京晶格领域半导体有限公司	2025年初将形成2.5万片/年衬底产能，远期规划27万片/年产能。	北京顺义	2024年9月获得北京新材料产业投资基金1.2亿元投资。
21	浙江材孜科技有限公司	现有6寸6万片/年衬底产能，衢州基地三期全部达产后预计实现年产60万片6-8英寸碳化硅衬底产能。	杭州萧山、衢州	杭州准独角兽企业，原名杭州乾晶半导体有限公司。已实现5轮融资。浙江大学杭州国际科创中心孵化。
22	深圳市国碳半导体科技有限公司	在建碳化硅衬底产能为24万片/年。	深圳、广州南沙（与广州南砂晶圆合资）	车规级碳化硅衬底项目已投产。

序号	企业	产能	基地	经营规模
23	浙江博蓝特半导体科技股份有限公司	2024 年 10 月年产 15 万片 6-8 寸碳化硅衬底基地投产；丹阳基地规划 25 万片/年产能、未启动。	浙江金华、江苏丹阳	已获得 B+轮融资。曾在科创板申请上市，原以 LED 芯片衬底为主营业务。
24	江苏集芯先进材料有限公司	一期已建成碳化硅衬底产能 15 万片/年。	徐州	依托中国科学院杨德仁院士团队。
25	芜湖予秦半导体科技有限公司	在建 3 万片 6 英寸碳化硅衬底产能。	芜湖	2023 年 3 月获哲方资本数千万元投资。
26	深圳市重投天科半导体有限公司	已建成 6-8 英寸碳化硅衬底生产线，衬底年产能 10 万片，外延片年产能 25 万片	深圳宝安	北京天科合达半导体股份有限公司与深圳国资合资，宁德时代参股。

资料来源：深企投产业研究院整理。

五、碳化硅外延片市场格局

（一）产品概况

与传统硅器件不同，碳化硅器件不能直接制作在衬底上，需要在衬底上生长一层晶相同、质量更高的单晶薄膜（外延层），再制作器件。外延片（层）厚度范围从数微米（中低压器件）至 100 μm 以上（高压器件），掺杂浓度和均匀性直接影响器件性能。外延层与衬底需保持晶格一致性（如 4H-SiC 或 6H-SiC 取向），以降低缺陷密度。外延片的主要制备工艺主要有化学气相沉积（CVD）和分子束外延（MBE）两种。其中，化学气相沉积是通过高温（1200-1600 $^{\circ}\text{C}$ ）分解硅烷（ SiH_4 ）和丙烷（ C_3H_8 ）等气体，在衬底表面沉积碳化硅薄膜，具有高均匀性和可控掺杂优势。分子束外延工艺是通过超高真空环境

下原子级沉积，适用于高精度射频器件，但生长速率低、成本高。

（二）市场规模及趋势

根据灼识咨询数据，全球碳化硅外延片市场的销售额由 2020 年的 4 亿美元增至 2024 年的 12 亿美元，年复合增速为 34.7%。预计到 2029 年，市场规模将达到 58 亿美元，2024 年至 2029 年的年复合增速为 38.2%。电动汽车是碳化硅外延片最大的应用领域，2024 年占比达到三分之二。

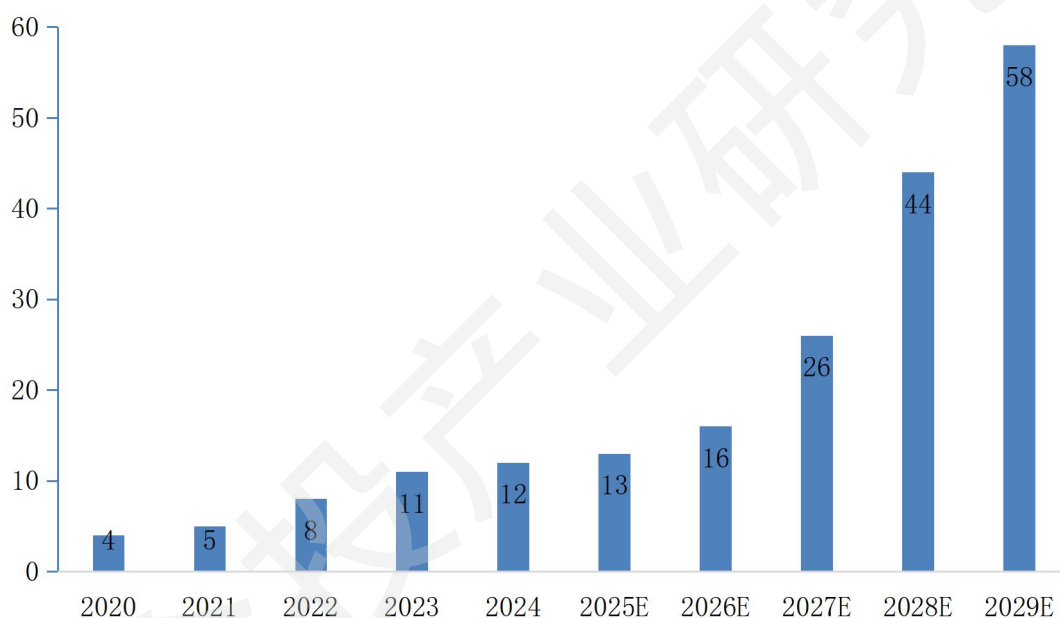


图 9 2020-2029 年全球碳化硅外延片市场规模（亿美元）

资料来源：灼识咨询、瀚天天成港股上市申请资料，深企投产业研究院整理。

当前碳化硅外延片以 6 英寸为主，8 英寸商业化进程加速。根据灼识咨询数据，2020 年至 2024 年，全球碳化硅外延片销量从 24.19 万片增长至 98.99 万片，预计 2029 年进一步增长至 595.94 万片。2024 年全球 4 英寸、6 英寸、8 英寸外延片销量分别为 2.99 万片、82.28 万片、13.71 万片，占比分别为 3%、83%、14%。预计到 2029 年，6

英寸外延片销量将达到 216.05 万片，占比为 36%，2024 年至 2029 年的年复合增速为 21.3%；2029 年 8 英寸外延片销量将达到 378.48 万片，占比为 64%，2024 年至 2029 年的年复合增速为 94.2%。

2020 年以来碳化硅外延片价格持续下探。伴随原材料（衬底）成本下降、技术成熟以及产能提升，碳化硅外延片下个持续下滑。根据灼识咨询数据，2020 年全球 6 英寸外延片单价为 1.14 万元/片，至 2024 年降至 7300 元/片，预计 2029 年再降至 4400 元/片。

（三）竞争格局

外销市场中的碳化硅外延片供应商可分为两类：外延代工厂及具备内部外延制造能力的器件制造商（碳化硅器件 IDM 厂商）。外延代工厂专注于提供碳化硅外延晶片，不参与碳化硅功率器件的制造，并更多地碳化硅外延晶片领域进行资本投入。根据灼识咨询数据，2024 年外延代工厂占碳化硅外延晶片外销市场的 72.7%。碳化硅器件 IDM 厂商同时涉及外延片生产的企业，国外主要有美国 Wolfspeed、Coherent、日本罗姆 Rohm、韩国 SK Siltron 等，国内则包括三安光电、比亚迪半导体、中车时代半导体、安徽长飞先进等企业。

与衬外延片代工领域国产厂商已在全球占据主导地位。根据灼识咨询数据，2024 年全球碳化硅外延片外销市场中，瀚天天成、日本昭和电工、河北普兴电子、广东天域、中电化合物位列前 5，外销量如下图所示。

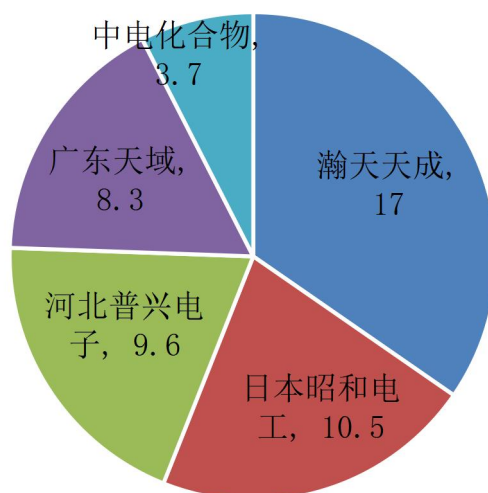


图 10 2024 年全球碳化硅外延片代工厂前 5 销量(万片,折合 6 英寸)

资料来源:灼识咨询、瀚天天成港股上市申请资料,深企投产业研究院整理。

当前国内已建成或在建碳化硅外延片产能的企业约 20 家,多数企业产能将在一两年内释放,如下表所示。

表 6 国内碳化硅外延片主要企业及产能情况

序号	企业	产能/规划/销量	基地
1	瀚天天成电子科技(厦门)股份有限公司(港股申请中)	6寸为主、8寸已突破;2023年达产产能为20万/年,预计2025年达产产能140万片/年;2024年销量17万片	厦门
2	广东天域半导体股份有限公司	6寸为主、8寸研发中;2022年产能8万片/年,100万片产能项目已启动、2028年达产;2024年外销量8.3万片	东莞
3	河北普兴电子科技股份有限公司(中电科下属公司)	年产能为6万片6寸外延片;2024年外销量9.6万片	石家庄
4	中电化合物半导体有限公司	6寸为主,2023年销售5万片,规划2025年达到8万片/年外延片、碳化硅基氮化镓N型外延片产能;2023年销量5万片	宁波
5	南京百识电子科技有限公司	一期建成达产后产能为15万片,2023年销售5万片	南京
6	南京国盛电子有限公司(中电科下属公司)	年产能为12.6万片6寸外延片	南京
7	安徽长飞先进半导体股份有限公司	已建成6万片6寸碳化硅MOSFET外延及晶圆产能	芜湖、武汉

8	浙江晶越半导体有限公司	规划 2026 年外延片产能 5 万片/年	绍兴嵊州
9	露笑半导体材料有限公司(A 股)	一期基地包含 6 英寸外延片中试线, 2023 年年产 5 万片	合肥
10	三安光电股份有限公司 (A 股)	长沙基地现有 8 寸衬底与外延片产能 1.2 万片/年; 重庆合资基地在建 48 万片 8 寸衬底、外延片及芯片产能	长沙、重庆
11	深圳市重投天科半导体有限公司	外延片产能 25 万片/年	深圳宝安
12	宁波合盛新材料有限公司	现有 2 万片/年 6 寸碳化硅衬底及外延片产能	宁波
13	杭州海乾半导体有限公司	现有年产能 4.68 万片 6 寸外延片	杭州
14	希科半导体科技(苏州)有限公司	一期已建成年产能 2 万片 6-8 寸外延片, 规划 2025 年达到 5 万片/年	苏州
15	浙江芯科半导体有限公司	已建成 6 寸碳化硅外延片 1 万片/年产能	杭州 富阳、衢州、湖州
16	华旭硅材股份有限公司	2024 年第一季度产能将达 2.4 万片/年, 预计 2025 年产能达到 4.8 万片/年	台湾
17	东莞市中科汇珠半导体有限公司	6 寸外延片已量产, 现有产能未知	东莞、广州南沙
18	赛达半导体科技有限公司	在建 1.5 万片/年 6 寸外延片产能, 计划于 2027 年实现 30 万片/年产能	保定
19	浙江晶睿电子科技有限公司	6 寸外延片小批量生产	丽水
20	江苏汉印机电科技股份有限公司	规划 20 万片/年产能	盐城
21	厦门中芯晶研半导体有限公司	4-6 寸外延片, 现有产能未知	厦门
22	比亚迪半导体	深圳坪山碳化硅外延片产能 1.8 万片/年	深圳

资料来源：网络公开资料，深企投产业研究院整理。

03

氮化镓 (GaN) 篇

驶入百亿级增长快车道，
高功率应用场景即将全面爆发



氮化镓射频器件已广泛应用于 5G 通信基站、移动终端、国防军工和卫星通讯中。氮化镓与碳化硅同属于第三代半导体，在功率半导体领域，碳化硅在高压场景中应用较多，但不适用于高频场景，而氮化镓适用于高频、高温、高功率应用，当前逐渐从消费电子快速充电器领域向电动汽车、高功率数据中心、新能源、工业与通信电源等应用场景渗透，预计至 2029 年市场规模年复合增速保持在 40% 以上。

一、产品概况

氮化镓材料适用于高频、高温、高功率应用。氮化镓（GaN）作为一种宽禁带材料，和硅等传统半导体材料相比，具有更高的击穿场强、更快的电子迁移率和更高的饱和电子速率，具备导通损耗小、开关频率高、可双向导通等优势，能够在更高压、更高频、更高温度环境下运行。氮化镓制成的功率器件一般被称为 GaN HEMT（High Electron Mobility Transistor，高电子迁移率晶体）。

氮化镓器件可以分为增强型和耗尽型两种类型。按照栅极特性差异，氮化镓分为常关的增强型（E-mode）和常开的耗尽型（D-mode）两种类型。增强型（E-Mode）器件更接近传统 MOSFET，且常关器件更易控制，可以简化驱动电路，适合消费电子和低压高频、中小功率场景，是目前行业主流技术路线。耗尽型（D-Mode）氮化镓器件通常用于射频和特殊功率应用场景，可以通过增加外围元器件，比如级联型 D-mode GaN 利用低压 Si MOSFET 的开关带动整体的开关，从而将常开型变为常关型、实现对常开器件的控制，具有导通电阻较

小、饱和电流较大、开关频率较高的优势，当前成为向光伏新能源、数据中心、电动汽车等高功率应用突破的方向。

表 7 增强型与耗尽型 GaN 器件比较

特性	增强型 (E-mode)	耗尽型 (D-mode)
可靠性	栅极电压范围窄 ($\leq 7V$)，易受温度影响 ($TCR=2.6$)，长期稳定性较低	可靠性更高 (栅漏电流仅为 E-mode 的千分之一)，抗 dv/dt 和 di/dt 能力强
优势	高频、低损耗、驱动简单	高可靠性、耐高压、散热强
应用领域	<ul style="list-style-type: none"> ● 消费电子：手机、笔记本、家电) 快充及无线充电 ● 新能源汽车：OBC 车载充电器、DC-DC 转换器 ● 工业设备：中小功率变频器、伺服驱动、LED 电源 ● 通信与射频：5G 基站射频前端 (毫米波 PA)、卫星通信模块 ● 光伏/储能：微型逆变器 (1500V 以下系统) ● 数据中心：钛金级服务器电源 (3kW 以下)、高密度电源模块 	<ul style="list-style-type: none"> ● 新能源汽车：主驱逆变器、高压充电桩 (120kW 以上)、车载电力系统 (兼容传统控制器) ● 工业设备：大功率电机驱动、工业电源 (3kVA 以上 UPS) ● 通信与射频：大功率射频加热、军用雷达 (X 波段至 Ka 波段) ● 光伏/储能：大型光伏/储能逆变器、储能系统 (1500V 以上高压) ● 数据中心：大功率不间断电源 (3kVA 以上 UPS)、电力转换系统

资料来源：深企投产业研究院整理。

硅基氮化镓是当前主流技术路线。从衬底材料来看，氮化镓器件主要有四种类型，分别是硅基氮化镓 (GaN-on-Si)、蓝宝石基氮化镓 (GaN-on-Sapphire)、碳化硅基氮化镓 (GaN-on-SiC)、氮化镓基氮化镓 (GaN-on-GaN)。其中，硅衬底成本仅为碳化硅的 1/10，且可直接利用现有 8 英寸硅晶圆产线，硅基氮化镓 (GaN-on-Si) 因此成为最具成本优势的技术路线。目前，市面上主要的 GaN 器件企业都采用了 GaN-on-Si 技术方案。

表 8 氮化镓器件不同技术路线代表企业

特性	增强型 (E-mode)	耗尽型 (D-mode)
增强型硅基氮化镓	美国纳微半导体 Navitas、德国英飞凌 Infineon、美国 EPC、加拿大 GaN Systems (被英飞凌收购)、日本罗姆 Rohm、意法半导体 ST、美国 Tagore Technology (被格罗方德收购)、法国 Wise Integration、英国 Cambridge GaN Devices、荷兰安世半导体 Nexperia (闻泰科技)、美国德州仪器 TI	英诺赛科 (港股)、青岛聚能创芯、成都氮矽科技、南芯科技 (A 股)、台湾 ANCORA (台达电子)
耗尽型硅基氮化镓	荷兰安世半导体、美国 Transphorm (被瑞萨电子收购)、以色列 VisIC、韩国 EYEQ Lab	大连润新微电子、珠海镓未来
耗尽型宝石基氮化镓	美国 Power integrations (收购 Odyssey)、美国 Transphorm	

资料来源：Yole、财通证券，深企投产业研究院整理。

氮化镓晶圆当前从 6 英寸向 8 英寸过渡。氮化镓功率半导体生产可复用硅半导体制造设备，目前 8 英寸硅基产线的设备成熟度与工艺效率显著优于 6 英寸产线。基于设备兼容性提升与工艺成熟度优化，预计 8 英寸将成为氮化镓功率半导体的发展方向。此外，与硅基半导体的发展历程相似，更大尺寸晶圆可通过提升单批次芯片产出量降低单位制造成本，同时提升良率。因此，从 6 英寸发展至 8 英寸的技术、工艺和产能转换将为领先的参与者提供重要的先发优势。根据英诺赛科招股说明书，按收入计，2023 年全球氮化镓功率半导体市场中，6 英寸及 8 英寸氮化镓的市占率分别为 66.3% 及 33.7%。

二、应用领域

氮化镓射频器件已在 5G 射频、雷达、卫星通信领域得到普遍应用。氮化镓功率器件广泛应用于低功率消费电子市场，并逐步向新能源汽车、高功率数据中心、新能源、工业与通信电源等应用场景渗透。根据 Yole 的数据，2023 年全球氮化镓功率器件应用市场中，消费类（消费电子）应用占比达 75%，国防与航空航天、电信与基础设施、汽车与出行、工业、工业电源应用占比分别为 10%、8%、4%、2%、1%，如下图所示。

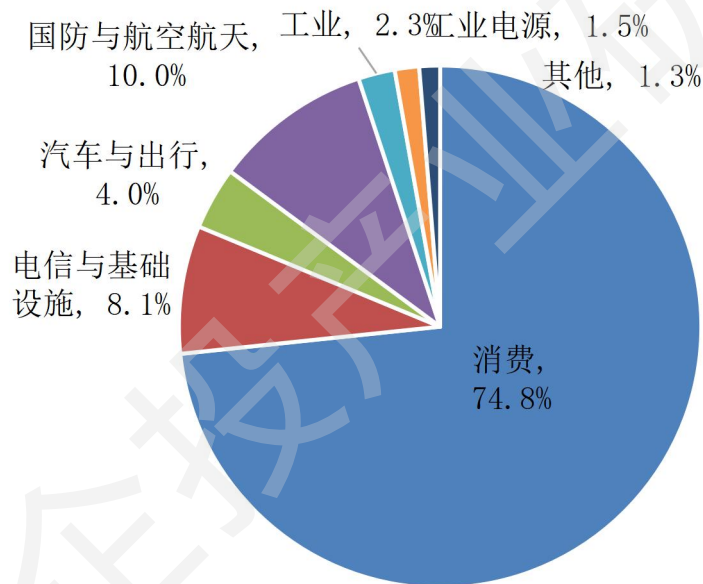


图 11 2023 年全球氮化镓功率器件应用市场占比

资料来源：Yole 《2024 年氮化镓市场报告》，深企投产业研究院整理。

——**通信与射频**。氮化镓射频器件包括功率放大器、射频开关、低噪声放大器，广泛应用于移动终端、通信基站、国防军工和卫星通讯中。氮化镓适应的频率范围满足 5G、6G 通信对于高频的要求，应用于 5G 基站射频功率放大器（PA），逐步对 LDMOS 器件形成替代。

氮化镓 HEMT 等器件可用于卫星通信的射频前端，提升卫星通信的覆盖范围和数据传输速率，其高温稳定性和抗辐射性能能够适应太空恶劣条件，确保卫星通信系统的长期稳定运行，并可支持低轨卫星星座、卫星互联网发展。在国防军工领域，氮化镓射频器件主要应用于雷达特别是先进有源相控阵雷达，其高频支持和宽带宽特性，适合多功能雷达同时执行搜索、跟踪和电子战等多种任务，并能够显著降低雷达功耗、增强抗干扰能力、提升雷达性能，推动雷达系统小型化和轻量化。根据 Yole 的报告，2023 年全球氮化镓功率器件应用中，国防与航空航天应用市场占比达到 10%。

——**消费电子**。氮化镓凭借高功率密度和低损耗特性，成为手机、平板等设备快速充电器和适配器的标配，体积仅为传统硅基充电器的 1/3，效率提升 30% 以上，并向可靠性要求更为严格的笔记本电脑、家电电源产品延伸。根据英飞凌 2025 年报告，在充电器和适配器等消费电子领域，氮化镓的普及已达到市场拐点，预计基于氮化镓技术的 USB-C 适配器和充电器将在市场占据主导地位。集邦咨询预计 2025 年氮化镓解决方案在快充市场的渗透率将达到 52%。其他消费电子应用还包括无线充电器、电动工具充电器、AC/DC 电源、过压保护装置、电机驱动器、数字音频放大器等。根据 Yole 的报告，2023 年全球氮化镓功率器件应用中，消费类（消费电子）应用市场占比达 75%，2030 年仍将占据 2/3 的份额。

——**电动汽车**。氮化镓功率器件可用在电动汽车的车载充电器 OBC、DC-DC 变换器、牵引逆变器、激光雷达驱动器、无线充电、

手机无线充电、数字音频放大器、辅助电源应用、无刷直流电机驱动器及外部充电器等领域。虽然碳化硅在电动汽车行业的应用蓬勃发展，氮化镓在这一领域也越来越受欢迎，车载充电器 OBC、DC-DC 有望成为氮化镓在电动汽车三电系统中的重要突破口。随着英飞凌和瑞萨电子等主要汽车半导体公司持续投资，预计氮化镓将很快成为汽车电源系统的关键部件。Yole 预计 2029 年全球氮化镓功率器件应用中汽车与市场占比将达到 17%。

——**数据中心**。氮化镓与液冷技术的结合，有望成为智算中心提高能效的关键技术之一。对于一个标准的 10 兆瓦数据中心来说，电源转换效率每提高 1%，就能节省数亿元的电力成本。智算中心对高速运算和电力都有着庞大的需求，AI 服务器的单颗 GPU 功耗大幅攀升，比如将在 2025 年放量的英伟达 Blackwell 平台中，单颗 GPU 功耗可达 1000W 以上，对应数据中心服务器机柜的功率规格将从 30-40kW 提高至 100kW，对于数据中心电源系统是巨大挑战。芯片功耗的大幅上升需要服务器拥有更高的功率密度和效能，在服务器电源的 PFC 和高压 DC/DC 中采用氮化镓作为开关器件，可以大幅减少 AC/DC 系统的体积，提高用电效率和功率密度，同时降低冷却要求。目前，英诺赛科、罗姆、英飞凌、德州仪器等龙头均已推出面向数据中心电源系统的氮化镓解决方案。

——**新能源**。氮化镓在光伏、储能领域的应用主要是微型逆变器、DC/DC 变换器和电池管理系统。氮化镓在小型分布式光伏、微型逆变器中已得到应用，显著提升光伏逆变器的功率密度、效率和可靠性。

氮化镓可在储能电池管理系统（BMS）和储能电源模块中降低损耗。随着 1200V 氮化镓器件研发加速，适配 10kV 以上光伏电站，有望替代部分碳化硅方案。在超快充储能充电桩中，氮化镓可实现 2400W 高功率输出，体积缩小一半，有望适配 800V 高压平台。

——**工业**。氮化镓功率半导体在工业领域可用于通用电机驱动器、伺服驱动器、工业激光雷达、不间断电源 UPS、逆变器及机器人电机驱动器。基于氮化镓的电机驱动系统能够提供优异的能效和性能、更高的功率密度、更少的电机损耗和更高速的开关能力，支持电机在紧凑的密封外壳中，实现更高的功率。人形机器人相比工业机器人要求具有明显更高的自由度（DoF），需要具有高功率密度、高效率和高响应性的关节电机驱动器，因此氮化镓的应用潜力较大。

氮化镓与碳化硅部分应用领域重合。与碳化硅相比，氮化镓在高频应用场景中优势显著，而碳化硅在高压场景中应用较多，但不适用于高频场景。因此，氮化镓和碳化硅总体上是具有不同特性和应用场景的材料，但在电动汽车、光伏及储能、数据中心等部分应用领域存在重合。

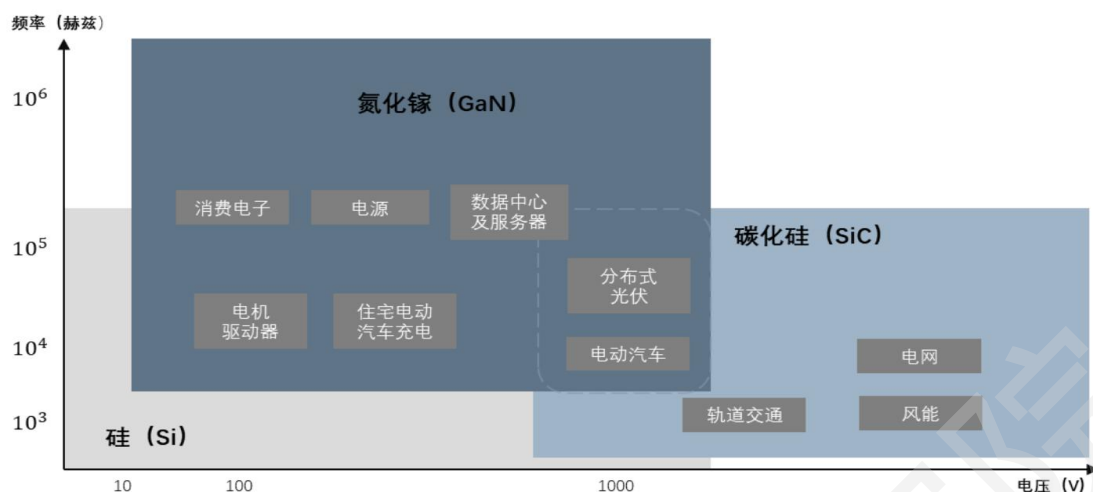


图 12 硅、碳化硅、氮化镓的功率半导体理论应用领域

资料来源：英诺赛科招股说明书、国金证券。

与碳化硅相比，氮化镓在成本方面表现出更强潜力，硅基氮化镓的衬底成本远低于碳化硅衬底，且氮化镓器件为平面器件，与现有硅半导体工艺兼容性强，使其更易与其他半导体器件集成，氮化镓可同时涵盖射频及功率领域，在高功率及高频率领域应用效果出色。不过，当前氮化镓制备成本更高，8 英寸氮化镓外延片成本约为碳化硅的 1.5-2 倍，供应链成熟度尤其是产线设备等问题在一定程度上制约了氮化镓产业规模在短期内的爆发。面对新能源汽车、AI 数据中心、机器人等应用场景，氮化镓的供应链成熟度和技术可靠性仍有待提升。

三、产业链

氮化镓产业链的上游主要为原材料衬底（硅、碳化硅、氮化镓、蓝宝石）以及产线设备；中游为制造环节（外延片→设计→制造→封测），厂商类型主要包含 IDM、Fabless 无晶圆厂设计公司、晶圆代工

厂；下游为各个应用环节，如下图所示。

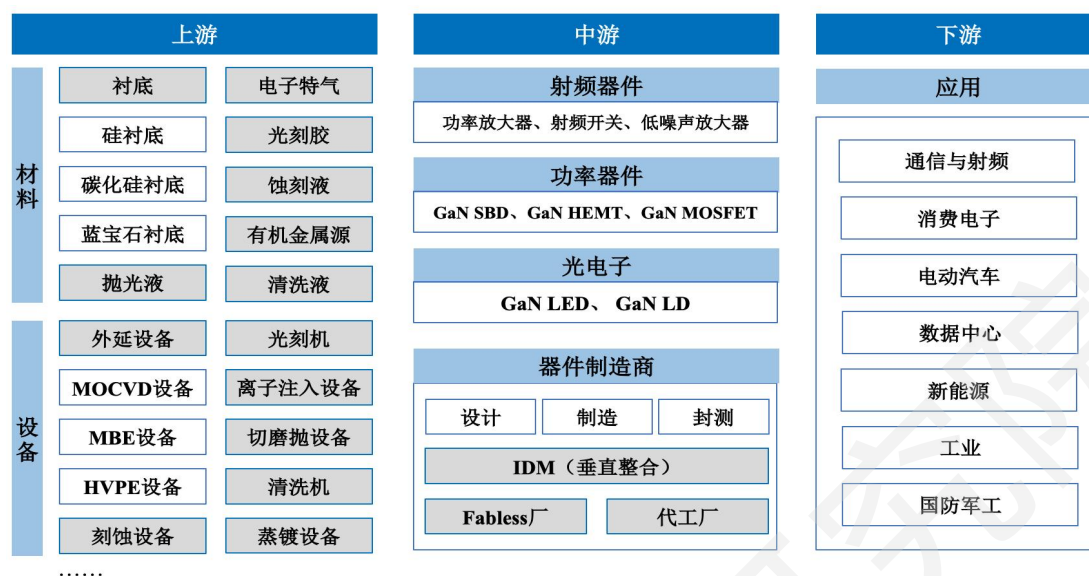


图 13 氮化镓半导体产业链

资料来源：深企投产业研究院整理。

四、市场规模

射频通信是氮化镓当前最大的应用市场，预计未来持续增长。根据 Yole 在 2024 年 7 月发布的报告，2023 年全球氮化镓射频器件的市场规模为 11 亿美元，在国防和电信基础设施的推动下，预计 2029 年全球氮化镓射频器件的市场规模将达到 20 亿美元，2023-2029 年的年复合增速为 10%。其中，电信基础设施的市场规模将由 2023 年的 5.22 亿美元增长至 2029 年的 8.94 亿美元，国防市场规模将由 2023 年的 5.13 亿美元增长到 2029 年的 8.17 亿美元，卫星通信市场规模将由 2023 年的 1.02 亿美元增长到 2029 年的 2.2 亿美元。

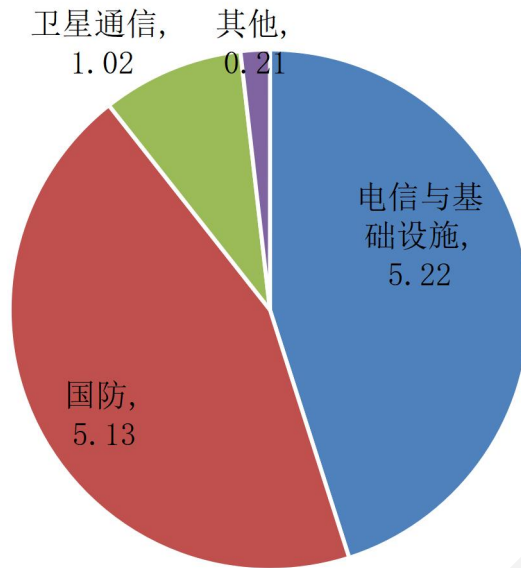


图 14 2023 年全球氮化镓射频器件市场分布（亿美元）

资料来源：Yole，深企投产业研究院整理。

氮化镓功率器件市场将持续高速增长。根据集邦咨询数据，2023 年全球氮化镓功率元件市场规模约 2.71 亿美元，至 2030 年有望上升至 43.76 亿美元，年复合增速高达 49%。根据 Yole 的报告，2019 年至 2023 年，全球氮化镓功率器件市场规模增长超过 10 倍，2023 年达到 2.602 亿美元，预计 2025 年增长至 4.072 亿美元，2029 年达到 20.1 亿美元，2023 年至 2029 年的年复合增速预计将达 41%。从氮化镓功率器件细分市场看，根据 Yole 的预测，2029 年消费类应用市场规模预计达到 13.16 亿美元，年复合增速为 38%；汽车与出行市场达到 3.36 亿美元，年复合增速为 79%；通信与基础设施市场达到 1.01 亿美元，年复合增速为 35%；国防与航空航天市场 0.73 亿美元，年复合增速 19%；工业电源市场 0.69 亿美元，年复合增速 60%；工业市场 0.66 亿美元，年复合增速 50%；其他市场 0.52 亿美元，年复合增速 57%，如下图所示。

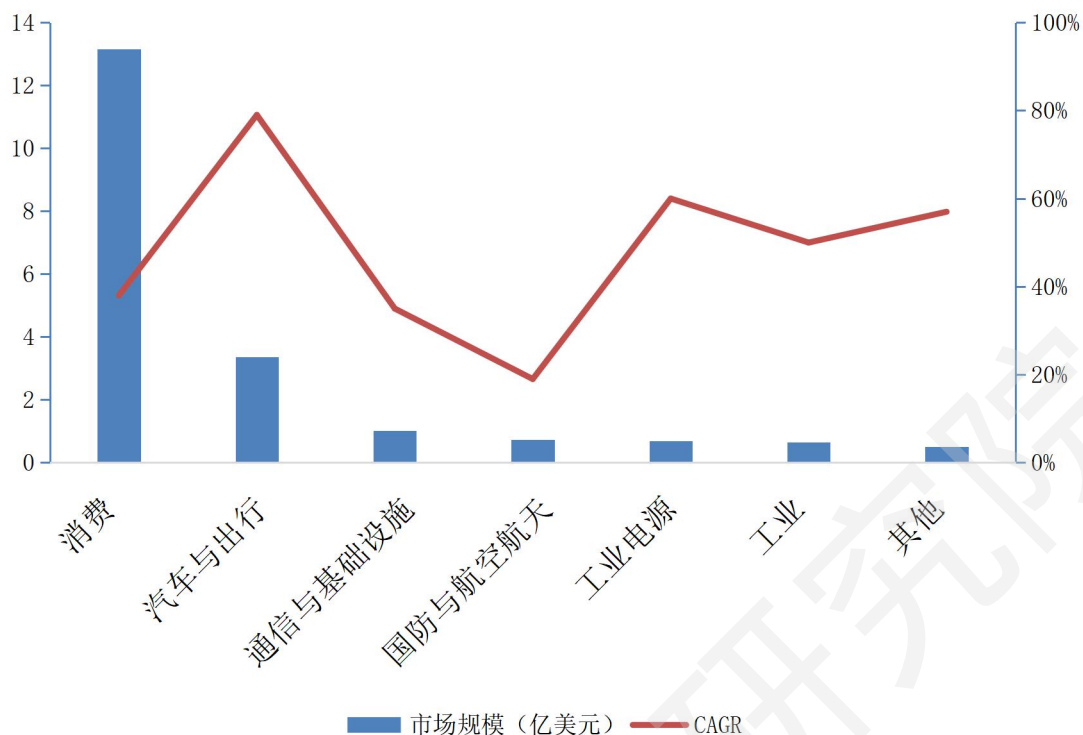


图 15 2029 年全球氮化镓功率器件市场分布及增速

资料来源：Yole，深企投产业研究院整理。

五、竞争格局

全球氮化镓射频器件市场主要由欧美日企业主导。欧美日韩主要企业包括美国 Qorvo、美国 Skyworks、德国英飞凌、美国 MACOM（收购 Wolfspeed 射频业务）、荷兰恩智浦 NXP、日本住友电工、韩国三星、美国相干 Coherent 等，国产替代企业主要有华为海思、紫光展锐、三安光电、中瓷电子（中国电科）等。

全球氮化镓功率器件市场集中度较高。在全球氮化镓功率器件市场上，当前英诺赛科、美国 Power Integrations、美国纳微半导体 Navitas 和美国 EPC 处于领先地位，我国英诺赛科已成为全球龙头。同时，半导体厂商德国英飞凌、日本瑞萨电子分别通过收购 GaN Systems、

Transphorm 进入第一梯队。根据 Yole 的数据，2023 年全球氮化镓功率器件市场 CR5 达到 87%，其中英诺赛科占比为 31%，如下图所示。从主要企业的经营模式来看，英诺赛科、英飞凌均为垂直整合的 IDM 模式，Power Integrations、Navitas、EPC 等均采用 Fabless 无晶圆厂设计模式。

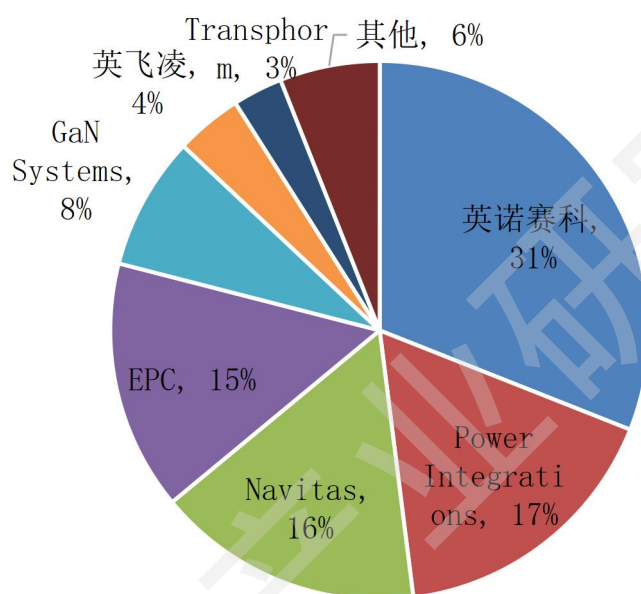


图 16 2023 年全球氮化镓功率器件市场份额

资料来源：Yole，深企投产业研究院整理。

国内外氮化镓产业链布局企业如下表所示。

表 9 国内外氮化镓半导体产业链布局企业

产业环节	国际企业	国内企业
衬底材料	住友化学（硅衬底）、英飞凌、Wolfspeed、信越化学、三菱化学、日亚化学（蓝宝石衬底）等	国内：苏州纳维科技（国内市占率 70%）、东莞中镓半导体、上海镓特半导体、无锡吴越半导体、北京通美晶体（美国 AXT）、中美晶（环球晶，台湾）、天科合达（碳化硅衬底）、天岳先进（A 股，碳化硅衬底）、珠海方唯成（日资合资）、纳安半导体（在建）、厦门中芯晶研半导体等

产业环节	国际企业	国内企业
外延片	住友化学 (SCIOCS)、比利时 EpiGaN、日本 Sumco Corporation、英飞凌、Qorvo、日亚化学等	英诺赛科 (苏州, 港股)、苏州晶湛半导体、三安光电 (A 股)、能华微电子 (苏州)、苏州汉骅半导体、润新微电子 (大连, A 股华润微旗下)、青岛聚能创芯 (A 股赛微电子旗下)、聚灿光电 (A 股, LED 外延片)、东莞中镓半导体、徐州致能半导体 (蓝宝石衬底外延片)、中美晶 (环球晶, 台湾)、中电化合物 (宁波)、华功半导体、芯元基半导体 (中微公司参股)、厦门中芯晶研半导体、华大半导体、陕西宇腾电子、辽宁百思特达半导体、福州镓谷半导体、上海格晶半导体、晶能光电、北京中博芯半导体、苏州中科重仪等
设计 (含 Fabless 模式)	射频: Skyworks 功率: Power Integrations、Navitas、EPC、等	射频: 华为海思、紫光展锐等 功率: 珠海镓未来、成都氮矽科技、新洁能 (A 股)、南京芯干线、晶通半导体 (深圳)、国镓半导体 (无锡)、南芯科技 (A 股)、台湾 ANCORA (台达电子)、芯导科技 (A 股)、中科无线半导体、深圳天狼芯半导体、山东立国芯微、江苏汉瑞通信、泰新半导体 (贵州)、优镓科技 (北京) 等
(代工) 制造	日本富士通、法国 UMS 等	稳懋 (台湾)、台积电 (台湾)、世界先进 (台湾联华电子)、寰宇 (台湾)、厦门三安集成、成都海威华芯 (海特高新) 等
IDM	英飞凌、Qorvo、MACOM、恩智浦、瑞萨电子 (收购 Transphorm)、住友电工、日亚化学等	英诺赛科 (港股)、闻泰科技 (A 股, 安世半导体)、国联万众 (中瓷电子/中国电科)、三安光电 (A 股)、能华微电子 (苏州)、润新微电子 (大连)、士兰微 (A 股)、青岛聚能创芯 (A 股赛微电子)、捷捷微电 (A 股)、立昂微 (A 股)、华灿光电 (A 股)、华大半导体、苏州能讯高能半导体、华功半导体、嘉和半导体 (台湾)、中电国基南方 (中电 55 所)、徐州致能半导体、上海格晶半导体、福建芯睿半导体、晶能光电、安徽格恩半导体、广西颶芯科技等

资料来源: 深企投产业研究院整理。

04 设备篇

国产设备激流勇进，助力构建
第三代半导体产业生态



半导体设备是国产攻坚的主战场之一。一代设备，一代工艺，一代产品。半导体产品制造要超前电子系统开发新一代工艺，而半导体设备作为工艺载体，要超前半导体产品制造开发新一代设备，从而为工艺革新提供物理支撑。以碳化硅、氮化镓为代表的第三代半导体材料，由于其宽禁带、高击穿场强等材料特性，无法沿用硅基设备的标准化产线，例如在晶体生长设备、外延设备、刻蚀设备等核心设备方面与硅基设备要求差异较大。国产第三代半导体的发展，要构建“材料-设备-工艺-应用”全面协同创新生态，在全球半导体竞争中占据有利地位，尤其需要设备方面的创新突破支撑。

碳化硅设备方面，单晶生长、切片、研磨抛光、外延各环节国产化率逐步提升，碳化硅单晶炉、外延炉已基本实现国产化，热处理设备国产化率已达到一定水平，刻蚀设备、离子注入设备、模块封装设备、量测设备国产化处于起步阶段。氮化镓设备方面，MOCVD、离子注入机和刻蚀设备等核心设备仍主要依赖进口。在国内碳化硅、氮化镓产能持续释放，下游应用市场规模增长带动下，主要设备领域国产化率将进一步提升，助力国内第三代半导体产业链全面升级。

一、碳化硅设备

（一）产品类型

按照碳化硅半导体的加工工艺流程，涉及到的主要设备包括衬底制备设备、切磨抛设备、外延设备、热处理设备、刻蚀设备、离子注入机、计量检测设备等。在制程方面，碳化硅晶圆的大部分工艺流程

与硅基器件相近，需要用到清洗机、光刻机、LPCVD（低压化学气相沉积）设备、蒸镀设备等常规设备，基本可以由原硅基晶圆供应链企业提供，可根据碳化硅特性进行 工艺参数调整或硬件升级以满足需求。此外，碳化硅晶圆的制备还需要一些特殊的生产设备，除了高温离子注入机外，碳化硅晶圆还需要高温热处理、刻蚀、减薄等环节的专用设备。

表 10 碳化硅半导体设备功能及类型

设备类型	细分领域	具体产品	功能用途
衬底制备设备	粉料合成设备	石墨坩埚、高温反应炉	用于制备高纯度碳化硅粉末(将高纯硅粉与高纯碳粉混合高温还原或合成)，纯度通常要求 $\geq 99.999\%$
	晶体生长设备	长晶炉（单晶炉）	通过物理气相传输法（PVT）等在高温高压的条件下，将碳化硅原料气化并沉积在种子晶上，形成碳化硅单晶锭
切片磨抛设备	切片设备	砂浆/金刚线/激光切割机	将碳化硅单晶切割成薄片，切割方式包括机械切割（采用砂浆切割或金刚线切割）以及激光切割
	研磨(减薄)抛光设备	研磨机、抛光机、研磨抛光一体机	切割后的碳化硅晶片表面粗糙度较大，在刚性研具上注入磨料（金刚石磨液）进行研磨（减薄）提高精度、降低粗糙度；再采用化学机械抛光技术（CMP）结合抛光液进行表面处理，去除缺陷、提高表面光洁度
外延设备	外延生长炉/CVD系统	MOCVD（金属有机化学气相沉积）设备	用于碳化硅衬底的外延生长，通过化学气相沉积（CVD）等技术在碳化硅基板上生长一层或多层薄膜
热处理设备	热氧化设备/高温栅氧设备	高温氧化炉	在碳化硅晶圆表面形成高质量的SiO ₂ 栅氧层

设备类型	细分领域	具体产品	功能用途
	退火设备	管式退火炉、快速退火设备、激光退火设备	修复碳化硅晶圆中因高温离子注入而产生的晶格损伤,激活注入的离子并降低背面欧姆接触电阻
刻蚀设备	刻蚀机	RIE (反应离子)刻蚀机/ICP (电感耦合等离子)刻蚀机/ALE (原子层刻蚀)设备	在碳化硅晶圆表面刻蚀出 MOSFET 栅极沟槽、肖特基接触孔等关键结构,需确保刻蚀精度和均匀性、减少材料损伤
离子注入设备	离子注入机	高温离子注入机/高剂量离子注入机	通过向碳化硅晶圆表面注入特定离子(如氮、磷、铝等),改变材料的导电性能,形成 PN 结、欧姆接触等关键结构
量测设备	几何参数检测设备	晶圆平面度测量仪、光干涉测量设备、电容法测量设备、外延层厚度测量设备(红外显微系统、椭偏仪)等	测量晶圆表面的平面度、总厚度偏差(TTV)、弯曲度(Bow)和翘曲度(Warp),确保晶圆几何参数满足工艺要求;分析碳化硅晶体结构和结晶质量,检测外延层厚度、光学性质、晶格畸变和缺陷密度等
	晶圆缺陷检测设备	原子力显微镜(AFM)、扫描电子显微镜(SEM)、光学显微镜(OM)、光致发光(PL)检测设备、X射线形貌仪(XRT)等	检测表面缺陷(如划痕、多型夹杂物)和亚表面位错、宏观缺陷(如胡萝卜缺陷、微管缺陷)、内部缺陷(基晶面位错 BPD、堆垛层错 SF)等
	电性能检测设备	静态测试设备、动态测试系统、高压探针台、霍尔效应测试系统、电阻率测试仪、X射线衍射仪(XRD)等	检测碳化硅器件在稳态条件下的电学特性(阈值电压、漏电流、跨导等参数)、在实际工作条件下的动态特性(如开关速度、开关损耗等),硅片至单芯片器件漏电流,材料电学特性(载流子浓度、迁移率、电阻率、霍尔系数等)等
衬底制备设备	粉料合成设备	石墨坩埚、高温反应炉	用于制备高纯度碳化硅粉末(将高纯硅粉与高纯碳粉混合高温还原或合成),纯度通常要求 $\geq 99.999\%$
	晶体生长设备	长晶炉(单晶炉)	通过物理气相传输法(PVT)等在高温高压的条件下,将碳化硅原料气化并沉积在种子晶上,形成碳化硅单晶锭

设备类型	细分领域	具体产品	功能用途
切磨 抛光 设备	切片设备	砂浆/金刚线/激光切割机	将碳化硅单晶切割成薄片,切割方式包括机械切割(采用砂浆切割或金刚线切割)以及激光切割
	研磨(减薄) 抛光设备	研磨机、抛光机、研磨抛光一体机	切割后的碳化硅晶片表面粗糙度较大,在刚性研具上注入磨料(金刚石磨液)进行研磨(减薄)提高精度、降低粗糙度;再采用化学机械抛光技术(CMP)结合抛光液进行表面处理,去除缺陷、提高表面光洁度
外延 设备	外延生长炉 /CVD 系统	MOCVD(金属有机化学气相沉积)设备	用于碳化硅衬底的外延生长,通过化学气相沉积(CVD)等技术在碳化硅基板上生长一层或多层薄膜
热处理 设备	热氧化设备 /高温栅氧 设备	高温氧化炉	在碳化硅晶圆表面形成高质量的SiO ₂ 栅氧层

资料来源：深企投产业研究院整理。

(二) 市场规模

根据 Yole 于 2024 年发布的报告,从 2023 年到 2029 年,全球碳化硅设备市场年复合增速为 6.5%,预计到 2029 年市场规模将超过 44 亿美元,其中,2026 年由于大规模产能扩张、投资达到峰值,市场规模为 50 亿美元。分类别来看,从 2024 年到 2029 年,预计碳化硅计量与检测设备(用于检测晶圆和器件缺陷的设备)、离子注入设备、外延设备、扩散炉和热氧化机械等设备的市场规模分别为 57 亿美元、49 亿美元、43 亿美元、14 亿美元,如下图所示。

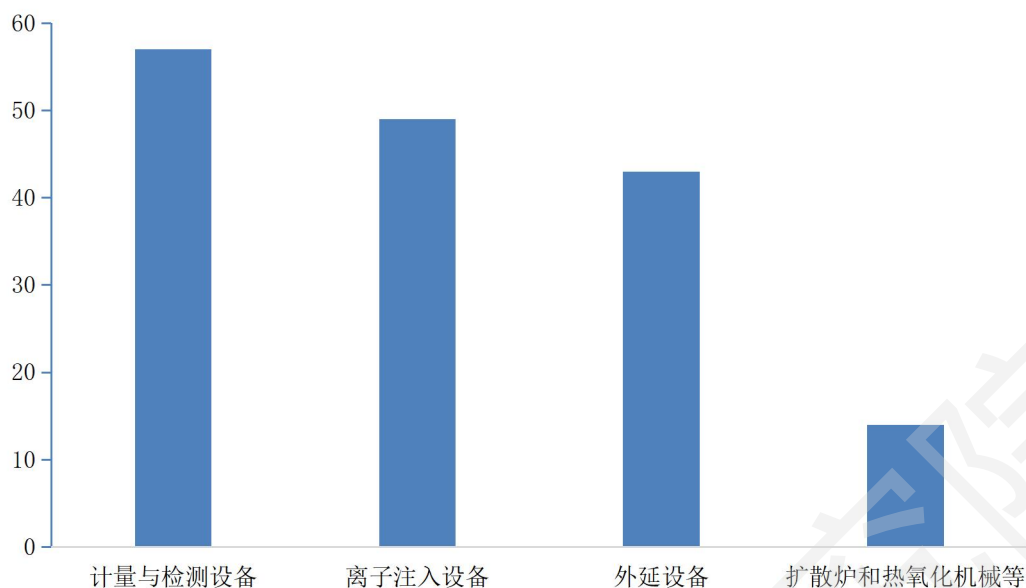


图 17 2024-2029 年全球碳化硅设备分类别市场规模（亿美元）

资料来源：Yole、中国电子企业协会，深企投产业研究院整理。

（三）细分产品竞争格局

衬底设备方面，单晶生长、切片、研磨抛光各环节国产化率逐步提升，碳化硅单晶炉已基本实现国产化。

——碳化硅粉料合成设备

碳化硅粉料合成工艺相对成熟，合成炉的技术门槛显著低于单晶生长炉，而粉料纯度又直接影响后续长晶质量，因此碳化硅粉体企业，以及自制粉体的衬底头部企业（如天岳先进、天科合达等）普遍自研高温反应炉。国内碳化硅粉料合成炉第三方设备主导厂商包括连城数控（A 股）、晶升股份（A 股），其他中小企业还有沈阳中科汉达、株洲和创中高频设备等。

——碳化硅单晶生长炉

目前晶体生长的主要技术包括物理气相传输法（PVT）、高温化

学气相沉积法（HT-CVD）和液相外延法（LPE）三种，其中 PVT 技术成熟度最高、工程化应用最广，为当前主流路线，难点在于温度控制、杂质控制、生长速度缓慢等。HT-CVD 技术也已商业化应用，LPE 则处于起步阶段。随着国内碳化硅衬底加速扩产，根据东吴证券预测，2025 年全球 6 寸碳化硅单晶炉新增市场空间约 100 亿元，国内市场为 40 亿元。

国内碳化硅单晶炉厂商包括第三方设备供应商，以及采用自研/自产设备供应模式的碳化硅衬底材料厂商，基本实现了设备国产化率。天科合达、晶盛机电（A 股）、露笑科技（A 股）、河北同光、山西烁科、科友半导体等碳化硅衬底厂商自研/自产晶体生长设备，不对外大批量销售。第三方设备厂商中，北方华创（A 股）、晶升股份（A 股）的碳化硅单晶炉分别占国内的外购市场份额 50%以上和 30%左右，合计占比达到 80%。国内二三梯队厂商包括宁波恒普技术、苏州优晶半导体、连城数控（A 股）、山东力冠微电子、山西天成半导体、江苏卓远半导体等，其他企业还有杭州晶驰机电、沈阳中科汉达、河北岚鲸光电、广州粤升半导体设备、厦门紫硅半导体等。国外供应商包括日本 Ferrotec（上海汉虹精密）、日新技研、Aymont、PVA Tepla 以及美国 CVD 设备公司等。

——切片设备

切割是碳化硅衬底加工中首要关键的工序，决定了后续研磨、抛光的加工水平，成本占碳化硅衬底总加工成本 50%以上。碳化硅极高的硬度和脆性使得传统切割工艺面临效率低、损耗大、表面粗糙等问

题。根据东吴证券预测，2025 年全球 6 寸碳化硅切片设备新增市场空间约 30 亿元，国内市场为 13 亿元。

切割技术主要包括传统的锯切（包括内圆锯切割和金刚石带锯切割）、线锯切割（包括砂浆切割和金刚石线锯切割）、激光切割、冷分离和电火花切片等。砂浆切割（又称为游离磨料线锯切割）工艺导入时间较早、成熟度高，以往被多数衬底厂商采用，但切割速度较低，所采用的泥浆状的研磨液容易对工件和环境造成污染，较难循环利用，且切割耗时长（单刀需要约 150 小时）。相比之下，金刚线切割（金刚石线锯切割，又称为固结磨料线锯切割）的效率更高、污染少，自 2020 年起逐步取代砂浆切割。但金刚线切割也还存在线锯磨损快、切割耗时较长（直径 50mm 的晶棒需要 20 多个小时）、晶片表面损伤层深等缺点，因此也不是超薄大尺寸单晶片生产的最佳解决方案。激光切割具有更高的切割精度和效率，近年来激光切割技术进步、工艺逐步成熟，未来作为大尺寸（8 英寸/12 英寸）碳化硅硅片切割方案已是行业内的共识，有望替代金刚线成为新一代主流切割技术。

表 11 碳化硅晶体切割技术路线比较

项目	砂浆切割	金刚线切割	激光切割
切割原理	游离磨料研磨（碳化硅微粉+PEG 砂浆）	固结金刚石磨料机械磨削	水导激光/隐形切割/冷切割/改质切割（激光改性+应力分离）
6 寸晶锭有效切片数量	约 22 片	约 22 片	约 30 片
切割速度	0.9 毫米/分钟	1.35 毫米/分钟	6 毫米/分钟
单个晶锭切割周期	约 1 周	4-5 天	约 8 小时

项目	砂浆切割	金刚线切割	激光切割
设备单价	50-100 万元/台	100-300 万元/台	500-1000 万元/台
耗材成本	高（砂浆难回收，金刚石微粉消耗大）	较高（金刚线寿命 300-500 公里）	低（无刀具损耗，水循环利用率>95%）
环保性	差（碳化硅砂浆污染，难处理）	中等（金刚线可回收，但需处理冷却液）	优（纯水冷却，无化学污染）
当前适用场景	小尺寸（<6 英寸）、低精度需求	主流 8 英寸量产，兼顾成本与效率	8-12 英寸超薄晶圆（<200 μ m）

资料来源：深企投产业研究院整理。

砂浆切割设备厂商。国外主要代表为日本高鸟 Takatori 和瑞士梅耶伯格 Meyer Buger，其他厂商还有 PSS 集团、HCT 公司（梅耶博格子子公司）等。日本高鸟的多线切割机是行业内最成熟的也是市场占有率最大的品牌，其 2023 年推出的设备可用于切割 10 英寸晶圆。国内主要设备厂家包括中国电子科技集团公司第四十五研究所（2024 年推出 8 英寸碳化硅砂浆切割机）、唐山晶玉科技和湖南宇晶股份（A 股）等。国产设备在切割效率、材料损耗率、设备稳定性和大尺寸晶圆适配性等方面与国外设备仍有一定差距。

金刚线切割设备厂商。国外厂商包括日本安永 ANEK、日本小松 NTC、日本东京精密 ACCRETECH、日本 Ferrotec（上海汉虹精密）等。国内企业主要有高测股份（A 股）、大连连城数控（A 股）、弘元绿能（A 股，原无锡上机数控）、烟台力凯数控、江苏天晶智能、苏州赫瑞特电子等，正积极推进国产替代。

激光剥离切片设备厂商。激光切割技术已经应用于硅（Si）晶锭的切割和石英材料的切割（主要应用在滤光片行业的激光切割和裂片

工艺)，但在碳化硅领域的应用还未完全成熟，属于增量市场，市场竞争格局未形成。目前主要技术类型有水导激光（属于表面切割）、KABRA（属于隐形切割）、冷切割（属于隐形切割）和改质切割技术。碳化硅激光切片设备主要由日本 DISCO、德国英飞凌（收购的 Siltectura 公司采用冷分离技术，自用）引领产业化进展，DISCO 是行业领头羊。国外厂商还有德国瑞士 Synova S.A、德国 3D-Micromac 等。国内企业在碳化硅晶圆激光剥离技术领域也实现了突破，部分厂商设备已实现产业交付验证或小批量对外销售，德龙激光（A 股）、大族半导体（A 股大族激光）、江苏通用智能等企业具备量产或市场化推广能力，但均尚未获得大批量的市场订单。中电科 2 所、西湖仪器、天岳先进、华为、松山湖材料实验室、迈为股份（A 股）、英诺激光（A 股）、华工科技（A 股）、西安晟光硅研、苏州晶瓴半导体、深圳东赢激光等国内企业也在碳化硅晶片切割技术方面有所布局和进展。

——研磨抛光设备

根据东吴证券预测，2025 年全球 6 寸碳化硅磨抛设备市场空间约 56 亿元，国内市场为 23 亿元。

碳化硅研磨设备用于对衬底和晶圆进行减薄，由于碳化硅材料硬度较高，需采用专用研磨液，设备也需要做相应调整。碳化硅衬底研磨过程分为粗磨和精磨两个阶段，粗磨方面国产设备基本可以满足加工需求，精磨设备仍以进口为主。抛光设备方面，化学机械抛光（CMP）技术是目前应用最广泛的抛光技术，该工艺的关键耗材，如抛光液和抛光垫，其性能直接影响到抛光效果和效率。抛光设备的发展趋势是

一体化和大尺寸，例如将抛光、材料去除测量、清洗和干燥整合到同一个系统内，兼容 6 英寸和 8 英寸碳化硅衬底。目前国内抛光设备相对国外设备抛光速率、产能等方面还有较大差距。为满足产业化需求，切磨抛的全自动量产化正在逐步开展。

碳化硅行业使用的研磨抛光设备主要由蓝宝石、硅晶等行业中的单一设备所改造延伸而来，因此厂商众多。国际厂商主要有日本 DISCO、秀和工业、东京精密，美国应用材料 AMAT 和 Speedfam 等。国内厂商主要有宇晶股份（A 股）、迈为股份（A 股）、宇环数控（A 股）、北京特思迪、中电科 45 所等，正在积极推进国产替代。国内外主要企业如下表所示。

表 12 国内外碳化硅研磨抛光设备主要企业

类型	国际企业	国内企业
研磨/ 减薄设 备	日本：Disco、秀和工业 Shuwa Kogyo、东京精密 Accretech、冈本 Okamoto、荏原制作所 EBARA、那智不二越 FMC 等 其他：美国应用材料 Applied Materials、Speedfam（日本/台湾创技工业）、英格斯 Engis、Revasum，英国 Logitech，韩国 NTS，美国 PSS 集团（原德国 Peter-Wolters/ Lapmaster Wolters 莱玛特·沃尔特斯，国内基地在沈阳、苏州），德国 G&N 等	湖南宇晶股份(A 股)、迈为股份(A 股)、北京特思迪、中电科 45 所（中电科电子装备）、宇环数控（A 股）、苏州赫瑞特电子、晶盛机电(A 股)、苏州博宏源设备、江苏优普纳科技、浙江森永光光电、浙江芯晖装备、台湾全鑫精密、名正（浙江）电子装备、上海致领半导体、扬帆半导体（江苏）等
抛光设 备	日本：Disco、冈本 Okamoto、秀和工业 Shuwa Kogyo、那智不二越 FMC、浜井产业 Hamai、荏原制作所 EBARA 等 其他：美国应用材料 AMAT、Revasum、Speedfam、Gigamat、Engis、Axus、PSS、Entegris（抛光液），英国牛津仪器 Oxford Instruments 等	中电科 45 所（中电科电子装备）、北京特思迪、湖南宇晶股份(A 股)、北京晶亦精微、杭州众硅电子科技、苏州赫瑞特电子、大连连城数控（A 股）、宇环数控（A 股）、苏州博宏源设备、上海致领半导体、浙江森永光光电、名正（浙江）电子装备、扬帆半导体（江苏）等

资料来源：深企投产业研究院整理。

——外延设备

碳化硅同质外延生长技术有化学气相沉积技术（CVD）、液相外延技术（LPE）和分子束外延（MBE）等，当前以 CVD 为主，MOCVD（金属有机化学气相沉积）设备是最为常见的设备，其优势在于价格适中、质量优良且外延生长速度较快。根据 Yole 在 2021 年 10 月发布的报告，2020 年全球碳化硅外延设备市场规模为 1.33 亿美元，预计到 2026 年增长至 2.39 亿美元。

目前，国外碳化硅外延设备主要企业包括意大利 LPE（被荷兰 ASMI 收购）、德国爱思强 AIXTRON、日本钮富来 Nuflare（东芝旗下）、瑞典 Epiluvac（被美国维易科 Veeco 收购）等，2023 年以前 LPE、AIXTRON、Nuflare 占国内市场份额 80%以上，但由于国际头部设备厂商的产能不足、难以响应国内客户的需求，叠加国产设备厂商技术进步，在成本和性价比方面形成优势，本土设备替代快速推进，当前国内厂商市占率预计已超过 70%。国产设备主要厂商包括晶盛机电（A 股）、北方华创（A 股）、中电科 48 所（中电科电子装备）、深圳纳设智能、苏州芯三代，其他厂商还有宁波恒普技术、晶升股份（A 股）、季华恒一（佛山）、广州粤升半导体设备、连城数控（A 股）、杭州晶驰机电、研微（江苏）半导体、深圳新凯来、中晟光电设备、楚赞精工等。

——激光划片设备

碳化硅外延完成后需要激光划片进行晶圆的切割。国内主要由德龙激光、大族激光两家企业主导，占据绝大多数份额。

——热处理设备

热处理主要包括热氧化和退火等关键工艺步骤，直接影响器件的电气性能和可靠性，主要设备包括高温氧化炉、管式退火炉、快速退火炉、激光退火炉等。

国外高温氧化/退火设备领先企业包括德国昇先创 Centrotherm、日本东横化学 Toyo Chemical 等，国内领先厂商为北方华创（A 股）、中电科 48 所。国内其他重点企业还有拉普拉斯（A 股）、捷佳伟创（A 股）、季华恒一（佛山）、厦门紫硅半导体等。

超高温退火设备由于技术难度较高，相关设备仍主要依靠进口，主要企业为 Centrotherm、Toyo Chemical、日本捷太格特热系统 JTEKT（原光洋热系统）等。国产化设备逐步在打开市场空间，主要企业为北方华创（A 股）、中电科 48 所、拉普拉斯（A 股）等。

激光退火设备国外供应商主要为美国应用材料 AMAT、日本住友、美国 Veeco、日本制钢所 JSW 等，国内相关厂商包括北方华创（A 股）、北京华卓精科、中电科电子装备、大族激光（A 股）、季华恒一（佛山）、合肥一塔半导体、成都莱普科技等。

——刻蚀设备

与传统的硅基刻蚀技术不同，碳化硅材料因其高硬度和高化学稳定性，面临着更大的刻蚀难度。当前干法刻蚀技术占据碳化硅刻蚀市场主导地位，应用占比在 95% 以上，其中又可分为电感耦合等离子体刻蚀（ICP）、反应离子刻蚀（RIE）、电容耦合等离子体刻蚀（CCP）、磁中性环路放电刻蚀（NLD）四种类型，其中 ICP 的特点是低压高密

度，具有刻蚀速率高、器件损伤小、操作简单等优点，逐渐成为主流应用。

国际上碳化硅 ICP 刻蚀设备主要厂商包括美国 Plasma-Therm(收购意大利 TFE)、日本 Samco、德国森泰克 Sentech、日本东京电子 TEL、美国应用材料 AMAT、英国牛津仪器 Oxford Instruments、日本爱发科 ULVAC 等。国内北方华创（A 股）、中国电科 48 所（中电科电子装备）、中微半导体（A 股）等企业已实现干法刻蚀设备国产化，但国产化率还有待进一步提升。国内其他刻蚀设备企业还有中科院微电子所、珠海恒格微电子、无锡邑文微电子、盛美半导体（A 股，湿法刻蚀设备）、上海稷以科技、研微（江苏）半导体、深圳新凯来等。

——离子注入机

离子注入机根据离子束电流和束流能量范围可以分为三大类：中低束流离子注入机、低能大束流离子注入机和高能离子注入机。与硅基晶圆相比，碳化硅的离子注入工艺更为复杂，尤其是在注入能量和温度方面的要求更为严格。高温离子注入机是宽禁带半导体生产线上价值量最大、产业化难度最高的关键设备，全球设备厂商较少、价格昂贵（单价最低数百万美元），而且设备交期漫长，是碳化硅晶圆线建设的最大瓶颈环节。当前碳化硅离子注入机国产化率低于 10%。

碳化硅离子注入机仍由硅基半导体离子注入机主流厂商主导，国际主流厂商包括美国亚舍立 Axcelis、美国应用材料 AMAT（收购瓦里安）、日本爱发科 ULVAC、日本日新 Nissin。其中，应用材料是全球半导体离子注入机龙头，专注于集成电路（硅基逻辑芯片和存储器）

产线，功率器件市场占有率稍低；亚舍立的离子注入机全球市场份额 20%以上，其中在离子注入机领域市占率超过 50%，专精于功率器件市场，在碳化硅领域拥有显著优势，是全球唯一一家能够覆盖碳化硅成熟工艺技术市场所有离子注入配方的公司。

国内厂商主要是中国电科 48 所（北京烁科中科信），2015 年推出国内第一台碳化硅高温离子注入机，2019 年成功研制出大束流离子注入机。青岛思锐智能（中车四方控股）2024 年完成全国首台高能离子注入机国内主流验证，可用于包括碳化硅在内的功率半导体领域。上海凯世通半导体（A 股万业企业旗下）推出了面向碳化硅制造的 6/8 英寸高温碳化硅离子注入机。其他正在布局或已推出离子注入机产品的企业还有季华恒一（佛山）、济南艾恩半导体、北方华创（A 股）、华清海科（A 股，收购芯睿半导体）等。

——量测设备

碳化硅晶体在生长过程中容易形成晶格缺陷，在切磨抛等衬底加工过程中也会产生亚表面晶格缺陷，这对碳化硅外延和器件制造产生不利影响，因此晶圆缺陷检测贯穿于碳化硅产业链的各个环节。碳化硅衬底检测常用的技术和设备类型如下表所示。

表 13 碳化硅衬底缺陷检测技术及设备

检测类型	技术名称	原理与特点	代表设备厂商
表面检测	扫描电子显微镜 (SEM)	电子束扫描观察微观结构，分辨率达纳米级	蔡司、日立
	光学显微镜 (OM)	光学放大观察宏观缺陷，支持明场 / 暗场模式	奥林巴斯、尼康

	阴极发光 (CL)	电子束激发发光分析缺陷分布	美国科磊 (KLA)
	光致发光 (PL)	紫外光激发检测内部缺陷 (如 BPD、SF)	日本 Horiba
亚表面检测	X 射线形貌 (XRT)	X 射线衍射分析晶体应变场, 无损检测位错密度	日本理学 XRTmicron
	光学相干断层扫描 (OCT)	光学断层成像检测亚表面结构	德国蔡司

资料来源：芯森微半导体公众号。

碳化硅衬底几何参数测量设备方面，美国康宁 Corning 的 Tropel 系列掠入射干涉仪是关键设备，基本处于垄断地位，近年来国产厂商如上海优睿谱、法博思（宁波）半导体等推出类似设备。

碳化硅材料和晶圆缺陷检测设备方面，美国科磊半导体 KLA 和日本 Lasertec 长期垄断国内市场，其他国外企业还有日本日立高新、意大利马波斯 MARPOSS 等。近年来国内涌现众多缺陷检测设备厂商，如中电科风华、凌云光（A 股）、中科慧远视觉、上海优瑞谱、大连创锐光谱、昂坤视觉（北京）、台湾蔚华科技、深圳格灵精睿视觉、苏州瑞霏光电、清软微视（杭州）、深圳镭赫技术等。

功率器件及模块测试设备方面，国际企业主要有美国泰瑞达 Teradyne、科磊 KLA、日本爱德万 Advantest 等，国产企业主要有杭州长川科技（A 股）、北京华峰测控（A 股）、佛山联动科技（A 股）、天津金海通（A 股）、杭州广立微（A 股）、忱芯科技（上海）、山东阅芯电子科技，新兴科创企业还有深圳华科智源、苏州国科测试等。

——模块封装设备

碳化硅功率模块封装与传统硅基功率模块封装不同，当前多数使

用微纳金属烧结技术。全球碳化硅微纳烧结设备市场当前由欧美日企业主导，荷兰 Boschman、新加坡 ASMPT、意大利 AMX 等国际品牌占据国内 80% 以上市场份额。国产设备厂商近年来逐步打破技术壁垒，开始实现产线应用，主要企业包括江苏快克芯（A 股快克智能旗下）、珠海硅酷科技、苏州博湃半导体（Boschman 参股）等。

——高端石墨与石墨涂层材料

高端石墨是制造碳化硅的关键耗材，应用于 PVT 长晶炉、外延设备、离子注入和刻蚀等热场中，比如 PVT 单晶炉中的石墨坩埚、籽晶托、保温材料（保温毡）等，是如 PVT 单晶炉中最关键的部分。目前高纯度石墨和特种涂层石墨基座材料主要依赖进口。

碳化硅石墨部件及涂层国际厂商主要包括德国西格里碳素 SGL Carbon、日本东洋炭素、荷兰 Xycard（中国公司为崇德昱博科技）、法国美尔森 Mersen、美国 MEMC 等，基本占据国际市场。在高纯石墨及碳碳复合材料方面，湖南金博碳素（A 股）、成都方大炭素（方大炭素，A 股）等已取得突破。石墨及热场部件的国产企业主要有赛迈科先进材料、浙江六方半导体、内蒙古京航特碳、浙江凯威碳材料、湖南泰坦未来、辽宁奥亿达（沥青基碳纤维热场）等。

石墨保护涂层通常有 SiC 涂层和碳化钽（TaC）涂层两种，近年来国产替代进入加速期。SiC 涂层石墨基座方面，国内主要企业包括深圳志橙半导体、湖南德智新材料、杭州幄肯新材料、浙江六方半导体、浙江凯威碳材料、湖南泰坦未来、湖南铠欣新材料等。TaC 涂层石墨基座方面，宁波恒普技术、浙江凯威碳材料、湖南泰坦未来等公

司均已实现应用。

二、氮化镓设备

按照氮化镓半导体的加工工艺流程，涉及到的主要设备包括衬底设备、外延设备、刻蚀设备、离子注入设备、退火设备、封测设备、计量检测设备等。氮化镓外延主要基于异质衬底（硅、碳化硅、蓝宝石），衬底制备环节需要使用对应的长晶设备，包括硅单晶生长炉、碳化硅单晶生长炉、蓝宝石 KY 炉，外延生长则依赖 MOCVD 等专用设备，且不同衬底对设备参数（温度、气体控制）有差异化要求。在晶圆制程方面，氮化镓晶圆在图形化、薄膜沉积、金属化等环节与硅基器件部分重合，需使用清洗机、光刻机、CVD、蒸镀设备等常规设备，但刻蚀/掺杂工艺更复杂，需使用高精度 ICP 等离子体刻蚀机、高能离子注入机、快速热退火炉（RTP）等设备，量测设备也有专用要求。

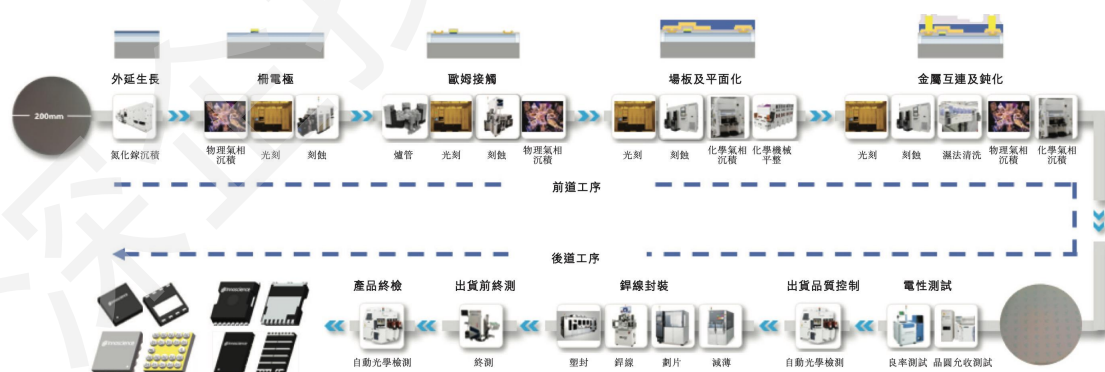


图 18 氮化镓器件制造工艺流程

资料来源：英诺赛科招股说明书。

——外延设备

根据 Yole 在 2021 年 10 月发布的报告，2020 年全球氮化镓外延设备市场规模为 2.59 亿美元，预计到 2026 年增长至 4.02 亿美元。

氮化镓材料外延生长的主流方法是金属有机化学气相沉积法（MOCVD），由于针对功率型大尺寸硅基氮化镓材料生产的专用 MOCVD 设备工艺复杂、技术含量高，全球市场由欧美日设备厂商主导，国内也主要依赖进口。国外氮化镓 MOCVD 主要企业包括德国爱思强 AIXTRON、美国 Veeco、荷兰 ASMI、日本 Nippon Sanso 等。国内主要企业为中微半导体（A 股）和北方华创（A 股），其中，中微半导体以氮化镓基 LED 的 MOCVD 为主、占据全球主要份额。国内其他布局企业还有芯三代、楚赞精工、深圳新凯来、中晟光电设备、先导科技集团等。主要企业情况如下表所示。

表 14 国内外氮化镓外延设备主要企业

序号	企业	经营规模
1	德国爱思强 AIXTRON	全球 SiC、GaN 外延设备 MOCVD 龙头，2024 年营收 6.33 亿欧元，GaN 功率、LED 外延设备业务各占 1/4，亚洲市场收入占比 70%（中国为主，英诺赛科等客户）。
2	荷兰 ASMI（收购意大利 LPE）	全球半导体薄膜沉积设备龙头，涵盖 ALD 设备、外延设备、CVD 设备等，2023 年营收 26.34 亿欧元，其中碳化硅外延设备占比 5% 左右，氮化镓业务占比预计 3% 以下。
3	美国维易科 Veeco（收购瑞典 Epiluvac）	2024 年营收 7.17 亿美元，其中化合物半导体部门营收占比 10%，氮化镓外延设备业务当前布局 12 英寸硅基 GaN Micro LED 沉积设备，目标 2025 年获取订单。
4	日本太阳日酸 Nippon Sanso	业务涵盖工业气体、半导体制造设备等，氮化镓外延设备专注 MOCVD，2023 年推出全自动量产型 GaN MOCVD 系统 UR26K-CCD。

序号	企业	经营规模
5	法国 Riber	分子束外延（MBE）设备制造商，2024 年营收 4120 万欧元，其中 MBE 系统收入 3100 万欧元、占比 75%。
5	中微半导体（A 股）	MOCVD 设备在全球氮化镓基 LED（包括 MiniLED）市场上占据主导地位，市场占有率超过 70%。2024 年营收 90.65 亿元，其中 MOCVD 营收 3.79 亿元。
6	北方华创（A 股）	提供氮化镓外延生长、刻蚀、薄膜沉积、炉管以及清洗等全流程设备。2024 年电子装备业务营收 277 亿元，其中薄膜沉积设备（涵盖外延设备）营收超 100 亿元，未披露氮化镓 MOCVD 业务规模。
7	芯三代半导体科技（苏州）股份有限公司	聚焦 SiC（碳化硅）/GaN（氮化镓）等第三代半导体外延设备，当前 SiC 设备为主，已批量出货。累计完成 6 轮融资，IPO 辅导中。
8	楚赞精工科技（上海）有限公司	主营化合物半导体 MOCVD/CVD 设备，MOCVD 系列设备产品已在第二代 InP 和 GaAs、第三代 SiC 和 GaN、第四代 Ga ₂ O ₃ 和低维材料 MoS ₂ 及 WSe ₂ 等半导体材料外延生长中应用，以科研院所客户为主。
9	深圳市新凯来技术有限公司	半导体装备全链条企业，由深圳国资深重投设立、定位半导体装备的国家队，EPI 外延沉积设备（峨眉山系列）支持 8 英寸 SiC/GaN 外延生长。企业估值 800 亿元。
10	中晟光电设备（上海）股份有限公司	专注于 LED、功率器件的 MOCVD 设备，上海临港基地在建，设备覆盖 GaN/SiC 等第三代半导体领域，建成后年产能将达到 120 台。被北京集成电路基金收购。
11	苏州中科重仪半导体材料有限公司	以氮化镓外延片为主业，与中国科学院半导体研究所合作研发了面向科研实验室和中试型产线的 MOCVD 系列设备。
12	先导科技集团有限公司	以稀散金属为主业。2024 年底启动全链条国产化氮化镓蓝光（LED）装备研发，覆盖衬底生长到封装测试，尚未进入量产交付阶段。

资料来源：深企投产业研究院整理。

——离子注入机

氮化镓离子注入机的市场格局与碳化硅接近，一般聚焦功率半导体市场的离子注入机厂商会考虑同时布局碳化硅和氮化镓两个领域。

全球主要企业包括美国亚舍立 Axcelis、美国应用材料 AMAT、日本爱发科 ULVAC、日本日新 Nissin、日本住友重工等。国内主要企业为上海凯世通半导体。国内其他布局企业还有北方华创、中国电科 48 所（北京烁科中科信）、青岛思锐智能、季华恒一（佛山）、济南艾恩半导体等，但尚未明确推出 GaN 专用机型。

——刻蚀设备

当前氮化镓刻蚀设备由国际半导体刻蚀设备头部厂商主导，全球龙头为美国泛林集团 Lam Research 和应用材料 AMAT，其他企业有美国 Plasma-Therm、日本 Samco、德国森泰克 Sentech、日本东京电子 TEL、英国牛津仪器 Oxford Instruments 等。中微半导体为国产刻蚀设备龙头，应用于逻辑、存储、功率和 LED 芯片等领域。北方华创现有 8 英寸化合物 ICP 刻蚀机，可用于氮化镓、碳化硅等化合物半导体的刻蚀。

章节编写：林和坤

修 订：李星光

审 核：林和坤

排版校对：马敏仪

深企投产业研究院



电话: 王女士 13168781866



座机: 0755-82790019



邮箱: sqtcf@sqtcf.cn



网址: <http://www.sqtcf.cn/>



地址: 深圳市福田区深南大道本元大厦 7B1



深企投公众号



深企投研究公众号

©深企投产业研究院版权所有。如需引用，请注明出处。