

金属新材料

报告日期：2023 年 04 月 14 日

# 碳化硅：第三代半导体之星

## ——行业专题报告

### 投资要点

#### □ 耐高温高压高频，碳化硅电气性能优异

碳化硅作为第三代宽禁带半导体材料的代表，在禁带宽度、击穿电场、热导率、电子饱和速率等指标具有显著优势，可满足现代工业对**高功率、高电压、高频率**的需求，主要被用于制作高速、高频、大功率及发光电子元器件，下游应用领域包括智能电网、新能源汽车、光伏风电、5G 通信等。

#### □ 工艺难度大幅增加，长晶环节是瓶颈

碳化硅制造工艺具有**高技术壁垒**，衬底长晶存在条件控制严、长晶速度慢、晶型要求高三大技术难点，而加工难度大带来的低产品良率导致碳化硅成本高；外延的厚度和掺杂浓度为影响最终器件的关键参数。

#### □ 下游应用场景丰富，新能源带来最大增长点

碳化硅器件下游应用领域包括电动汽车、光伏发电、轨道交通、智能电网、5G 通信等，其中**新能源汽车为最大终端应用市场**。高转换效率和高功率带来整车系统成本下降，特斯拉、比亚迪、小鹏等车企相继使用 SiC MOSFET。Yole 预计 2027 年全球导电型碳化硅功率器件市场规模有望达 63 亿美元，其中电动汽车下游领域占比达 80%。

#### □ 碳化硅供需缺口持续扩大，海内外厂商加速研发扩产

**供给端：**海外龙头主导出货量，全球有效产能仍不足。全球碳化硅市场呈美国、欧洲、日本三足鼎立的格局，海外厂商已实现量产 6 英寸碳化硅衬底，计划 2023 年实现 8 英寸量产；国内仍以小尺寸为主，部分实现 6 英寸量产，正加速研发缩小与国际龙头的差距，整体来看全球有效产能仍不足。**需求端：**下游需求不断扩大，百亿市场空间可期。据我们测算，**2025 年全球碳化硅衬底市场需求达 188.4 亿元，碳化硅器件市场需求达 627.8 亿元**。2025 年之前行业仍呈现供给不足的局面。

#### □ 投资建议：

建议关注：**合盛硅业**。

#### □ 风险提示

技术研发进度不及预期；全球碳化硅行业竞争加剧。

### 行业评级：看好(维持)

分析师：施毅

执业证书号：S1230522100002

shiyi@stocke.com.cn

### 相关报告

《磁性材料-未来电气化大时代的  
核心材料》 2021.11.24

## 正文目录

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| 1 耐高温高压高频，碳化硅电气性能优异 .....                 | 5  |
| 2 工艺难度大幅增加，长晶环节是瓶颈 .....                  | 5  |
| 2.1 衬底：晶体生长为核心工艺环节，切割环节为产能瓶颈 .....        | 6  |
| 2.1.1 晶体生长：条件控制严、长晶速度慢和晶型要求高为主要技术难点 ..... | 6  |
| 2.1.2 晶体加工：切片和薄化为主要技术难点 .....             | 7  |
| 2.2 外延：器件性能决定因素，厚度与掺杂浓度为关键因素 .....        | 8  |
| 3 下游应用场景丰富，新能源带来最大增长点 .....               | 9  |
| 3.1 导电型碳化硅器件：新能源汽车为最大终端应用市场 .....         | 10 |
| 3.2 半绝缘型碳化硅器件：5G 时代的强大心脏 .....            | 13 |
| 4 碳化硅供需缺口持续扩大，海内外厂商加速研发扩产 .....           | 14 |
| 4.1 供给端：海外龙头主导出货量，全球有效产能仍不足 .....         | 14 |
| 4.2 需求端：下游需求不断扩大，百亿市场空间可期 .....           | 15 |
| 5 欧美日厂商占据龙头，国产技术革新任重道远 .....              | 17 |
| 5.1 Wolfspeed .....                       | 18 |
| 5.2 英飞凌 .....                             | 18 |
| 5.3 意法半导体 .....                           | 19 |
| 5.4 罗姆 .....                              | 19 |
| 5.5 合盛硅业 .....                            | 20 |
| 5.6 天岳先进 .....                            | 20 |
| 5.7 三安光电 .....                            | 21 |
| 6 风险提示 .....                              | 21 |

## 图表目录

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| 图 1: 半导体材料性能对比及碳化硅器件特性 .....                     | 5  |
| 图 2: 碳化硅产业链全景图谱 .....                            | 6  |
| 图 3: 碳化硅衬底工艺流程 .....                             | 6  |
| 图 4: 4H-导电型碳化硅单晶衬底 .....                         | 8  |
| 图 5: DISCO 研发的激光切片技术相较于现有技术的优势 .....             | 8  |
| 图 6: 4H-SiC 衬底和外延示意图 .....                       | 8  |
| 图 7: EPIGRESS 公司的热壁式外延设备反应腔结构图 .....             | 8  |
| 图 8: 厚度为 30um 的 4H-SiC 外延层 SEM 截面图像 .....        | 9  |
| 图 9: 3、4 和 6 英寸碳化硅外延晶片 .....                     | 9  |
| 图 10: 碳化硅器件的下游应用领域 .....                         | 10 |
| 图 11: 两类碳化硅器件的不同终端应用领域 .....                     | 10 |
| 图 12: 2021 年导电型碳化硅功率器件下游应用占比 .....               | 10 |
| 图 13: 2027 年导电型碳化硅功率器件下游应用占比预测 .....             | 10 |
| 图 14: 碳化硅器件在电动汽车领域的应用 .....                      | 11 |
| 图 15: 特斯拉 Model 3 采用碳化硅 MOSFET 器件 .....          | 11 |
| 图 16: 不同电压平台下, SiC 和 Si 基逆变器的损耗 .....            | 11 |
| 图 17: 小鹏 G9 搭载了国内首个量产的车端 800V 高压 SiC 平台 .....    | 11 |
| 图 18: 我国新能源充电桩数量存在较大缺口 .....                     | 12 |
| 图 19: 2026 年碳化硅在汽车各部件的价值占比预测 .....               | 12 |
| 图 20: SiC MOS 应用于光伏逆变器可带来更低的损耗和更高的频率 .....       | 12 |
| 图 21: 2020-2050 年碳化硅功率器件在光伏逆变器的渗透率 .....         | 12 |
| 图 22: 碳化硅的单位面积导通电阻远小于硅器件 .....                   | 13 |
| 图 23: Danfoss 和美国田纳西大学联合开发的 12.4kV 光伏并网变换器 ..... | 13 |
| 图 24: 碳化硅模块的开关和导通损耗均优于传统硅模块 .....                | 13 |
| 图 25: 2018-2050 年轨道交通中碳化硅功率器件渗透率 .....           | 13 |
| 图 26: 不同材料微波射频器件的应用范围对比 .....                    | 14 |
| 图 27: 碳化硅基氮化镓在 5G 中的应用 .....                     | 14 |
| 图 28: 2018 年全球导电型碳化硅衬底市场份额 .....                 | 14 |
| 图 29: 2020 年全球半绝缘型碳化硅衬底市场份额 .....                | 14 |
| 图 30: 碳化硅器件发展历程 .....                            | 15 |
| 图 31: 2021-2025 碳化硅衬底市场空间(亿元) .....              | 17 |
| 图 32: 2021-2025 碳化硅器件市场空间(亿元) .....              | 17 |
| 图 33: 全球碳化硅市场竞争格局 .....                          | 18 |
| 图 34: Wolfspeed 碳化硅 MOSFET 和裸芯片 .....            | 18 |
| 图 35: 英飞凌 48V 车规级功率 SiC MOSFET .....             | 19 |
| 图 36: 意法半导体 SiC MOSFET 系列产品 .....                | 19 |
| 图 37: 罗姆第四代 SiC MOSFET 和栅极驱动器 IC .....           | 20 |
| 图 38: 合盛新材料 4H-N 型 SiC 衬底产品 .....                | 20 |
| 图 39: 天岳先进导电型碳化硅衬底 .....                         | 21 |
| 图 40: 三安光电 SiC MOSFET 应用于车载 DC/DC 变换器和 OBC ..... | 21 |

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 表 1：不同半导体材料性能对比.....         | 5  |
| 表 2：三种碳化硅衬底制作方法对比.....       | 7  |
| 表 3：国内厂商碳化硅衬底产能.....         | 15 |
| 表 4：碳化硅在新能源车下游应用领域的市场空间..... | 16 |
| 表 5：碳化硅在光伏下游应用领域的市场空间预测..... | 17 |

## 1 耐高温高压高频，碳化硅电气性能优异

碳化硅作为第三代宽禁带半导体材料的代表，在禁带宽度、击穿电场、热导率、电子饱和速率、抗辐射能力等关键参数方面具有显著优势，满足了现代工业对**高功率、高电压、高频率**的需求，主要被用于制作高速、高频、大功率及发光电子元器件，下游应用领域包括智能电网、新能源汽车、光伏风电、5G 通信等，在功率器件领域，碳化硅二极管、MOSFET 已经开始商业化应用。

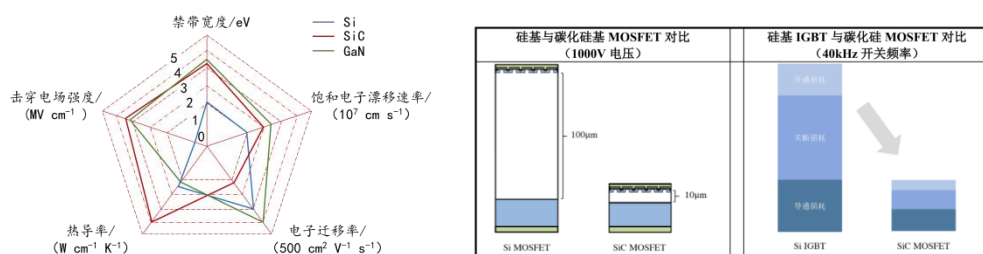
- **耐高温**。碳化硅的禁带宽度是硅的 2-3 倍，在高温下电子不易发生跃迁，可耐受更高的工作温度，且碳化硅的热导率是硅的 4-5 倍，使得器件散热更容易，极限工作温度更高。耐高温特性可以显著提升功率密度，同时降低对散热系统的要求，使终端更加轻量化和小型化。
- **耐高压**。碳化硅的击穿电场强度是硅的 10 倍，能够耐受更高的电压，更适用于高压电压器件。
- **耐高频**。碳化硅具有 2 倍于硅的饱和电子漂移速率，导致其器件在关断过程中不存在电流拖尾现象，能有效提高器件的开关频率，实现器件小型化。
- **低能量损耗**。碳化硅相较于硅材料具有极低的导通电阻，导通损耗低；同时，碳化硅的高禁带宽度大幅减少泄漏电流，功率损耗降低；此外，碳化硅器件在关断过程中不存在电流拖尾现象，开关损耗低。

表1：不同半导体材料性能对比

| 性能指标                                                | Si   | GaAs | 4H-SiC | GaN  |
|-----------------------------------------------------|------|------|--------|------|
| 禁带宽度 (eV)                                           | 1.12 | 1.43 | 3.23   | 3.42 |
| 击穿电场强度 ( $\text{MV cm}^{-1}$ )                      | 0.3  | 0.4  | 3.5    | 3.3  |
| 热导率 ( $\text{W cm}^{-1} \text{K}^{-1}$ )            | 1.5  | 0.5  | 4.0    | 1.3  |
| 饱和电子漂移速率 ( $10^7 \text{ cm s}^{-1}$ )               | 1.0  | 1.0  | 2.0    | 2.5  |
| 电子迁移率 ( $\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) | 1500 | 8500 | 650    | 2000 |

资料来源：《宽禁带半导体高频及微波功率器件与电路》，浙商证券研究所

图1：半导体材料性能对比及碳化硅器件特性



资料来源：天科合达招股书，浙商证券研究所

## 2 工艺难度大幅增加，长晶环节是瓶颈

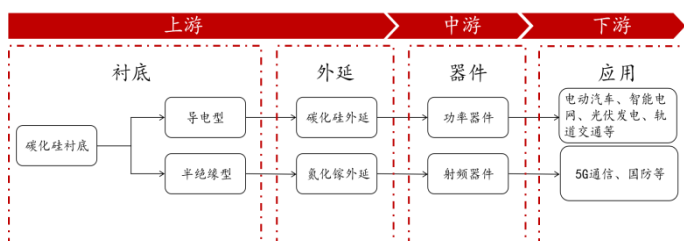
碳化硅从材料到半导体功率器件会经历单晶生长、晶锭切片、外延生长、晶圆设计、制造、封装等工艺流程。在合成碳化硅粉后，先制作碳化硅晶锭，然后经过切片、打磨、抛光得到碳化硅衬底，经外延生长得到外延片。外延片经过光刻、刻蚀、离子注入、金属钝化等工艺得到碳化硅晶圆，将晶圆切割成 die，经过封装得到器件，器件组合在一起放入特殊外壳中组装成模组。

## 2.1 衬底：晶体生长为最核心工艺环节，切割环节为产能瓶颈

以高纯碳粉、高纯硅粉为原料合成碳化硅粉，在特殊温场下生长不同尺寸的碳化硅晶锭，再经过多道加工工序产出碳化硅衬底。核心工艺流程包括：

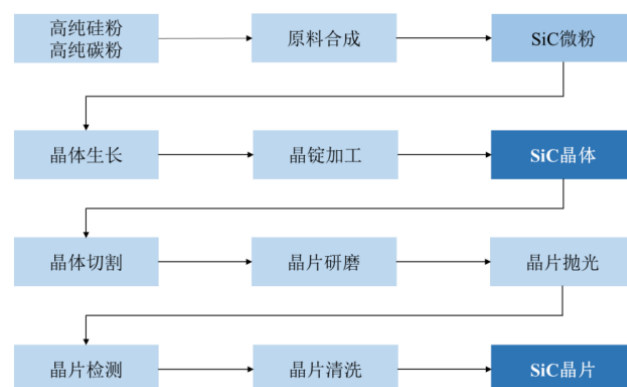
- 原料合成：将高纯的硅粉+碳粉按配方混合，在 2000°C 以上的高温条件下于反应腔室内进行反应，合成特定晶型和颗粒度的碳化硅颗粒。再通过破碎、筛分、清洗等工序，得到满足要求的高纯碳化硅粉原料。
- 晶体生长：为碳化硅衬底制造最核心工艺环节，决定了碳化硅衬底的电学性质。目前晶体生长的主要方法有物理气相传输法 (PVT)、高温化学气相沉积法 (HT-CVD) 和液相外延 (LPE) 三种方法，物理气相传输法为市场主流工艺。
- 晶体加工：通过晶锭加工、晶棒切割、研磨、抛光、清洗等环节，将碳化硅晶棒加工成衬底。

图2：碳化硅产业链全景图谱



资料来源：浙商证券研究所

图3：碳化硅衬底工艺流程



资料来源：天科合达招股书，浙商证券研究所

### 2.1.1 晶体生长：条件控制严、长晶速度慢和晶型要求高为主要技术难点

在晶体生长和晶体加工环节均存在技术难点。晶体生长环节，条件控制严、长晶速度慢和晶型要求高为主要技术难点。碳化硅晶体的生长温度在 2300°C 以上，对温度和压力的控制要求高；此外，碳化硅有 250 多种同分异构体，其中 4H-SiC 为主流，因此需要严格控制硅碳比、生长温度梯度及气流气压等参数才能生长出理想晶体；同时 PVT 法长晶非常缓慢，速度约为 0.3-0.5mm/h，7 天才能生长 2cm，最高仅能生长 3-5cm，因此碳化硅晶锭的直径也多为 4 英寸、6 英寸，而硅基 72h 即可生长至 2-3m 的高度，直径多为 6 英寸、8 英寸，新投产能则多为 12 英寸。

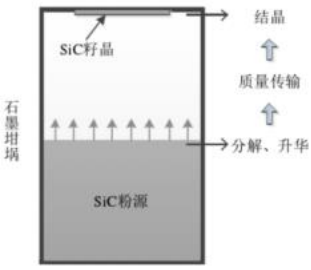
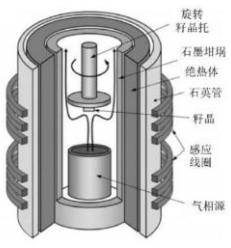
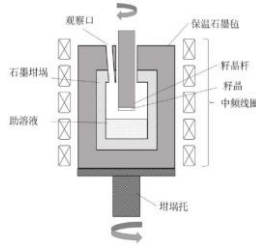
晶体生长主要有物理气相传输法 (PVT)、高温化学气相沉积法 (HT-CVD) 和液相外延 (LPE) 三种方法，其中 PVT 法是现阶段商业化生长 SiC 衬底的主流方法，技术成熟度最高、工程化应用最广。

PVT 法利用“升华-转移-再生长”原理生长碳化硅晶体。高纯度碳粉与硅粉按特定比例混合，将形成的高纯度碳化硅微粉与籽晶分别放置生长炉内坩埚的底部和顶部，温度升高至 2000℃ 以上，控制坩埚下部温度略高于顶部，形成温度差，碳化硅微粉升华成气态 Si、SiC<sub>2</sub> 和 Si<sub>2</sub>C 后，在籽晶处重新结晶生长形成碳化硅晶锭。PVT 法长晶速度慢，需要约 7 天才能生长约 2cm，且副反应较多，原料的非一致升华导致生成 SiC 晶体的缺陷密度较高。

HT-CVD 法是指在 2000~2500℃ 下，导入高纯度的硅烷、乙烷或丙烷、氢气等气体，先在高温区生长腔反应形成碳化硅气态前驱物，再经由气体带动进入低温区的籽晶端前沉积成碳化硅晶体。HT-CVD 法可持续向炉腔供应气体原料，晶体可持续生长；使用高纯气体为原料，碳化硅晶体纯度更高，且通过控制原料气流量比，能有效控制掺杂量、晶型等，生成碳化硅晶体缺陷较少。但 HT-CVD 法的长晶速度较慢，约 0.4-0.5mm/h，工艺设备昂贵，耗材成本高，长晶过程中进气口和排气口易堵塞。

LPE 法利用“溶解-析出”原理生长碳化硅晶体，在 1400-1800℃ 下将碳溶解在高温纯硅溶液中，再从过饱和溶液中析出碳化硅晶体，需添加助熔剂增大 C 的溶解度。LPE 法长晶温度较低，减少了冷却时由热应力导致的位错，碳化硅晶体位错密度低，结晶质量高，可实现无微管缺陷晶体生长。同时，在助熔液中添加 Al 可获得高载流子浓度的 p 型 SiC 晶体，且相比 PVT 法，溶液法长晶速度提高了 5 倍左右；但存在碳化硅晶体中金属残留的问题，且生长的晶体尺寸小，目前仅用于实验室生长。

表2：三种碳化硅衬底制作方法对比

|       | 物理气相传输法<br>(PVT)                                                                    | 高温化学气相沉积法<br>(HTCVD)                                                                 | 液相外延法<br>(LPE)                                                                        |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 原理示意图 |  |  |  |
| 生长温度  | 2300-2500° C                                                                        | 2000-2300° C                                                                         | 1400-1800° C                                                                          |
| 优点    | 设备成本低且结构简单<br>耗材成本低                                                                 | 可持续生长<br>晶体纯度高<br>晶体缺陷少                                                              | 位错密度低<br>长晶速度快<br>结晶质量高<br>掺杂可控性强                                                     |
| 缺点    | 扩径难度大<br>长晶速度慢<br>缺陷密度高                                                             | 长晶速度慢<br>工艺设备昂贵<br>耗材成本高                                                             | 长晶尺寸小<br>金属杂质残留                                                                       |
| 发展现状  | 现阶段商业化的主流技术                                                                         | 已商业化使用                                                                               | 处于实验室研究阶段                                                                             |

资料来源：宽禁带半导体技术创新联盟，《液相法碳化硅晶体生长及其物性研究》，马来硅业有限公司官网，浙商证券研究所整理

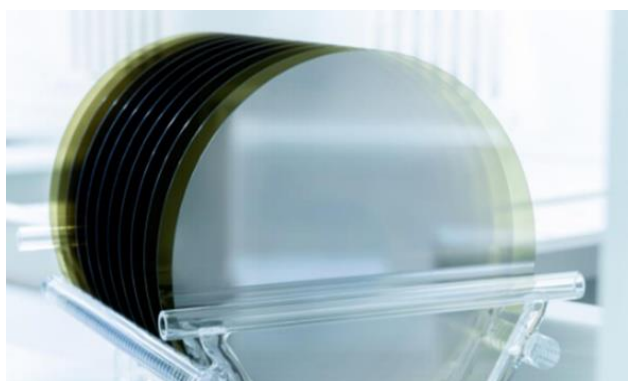
### 2.1.2 晶体加工：切片和薄化为主要技术难点

晶体加工环节，切片和薄化为主要技术难点。碳化硅衬底的质量和精度直接影响外延的质量及器件的性能，因此晶片表面需光滑、无缺陷、无损伤，粗糙度值在纳米级以下。然而，由于碳化硅晶体高硬、高脆、耐磨性好、化学性质极其稳定，使得衬底加工非常困难。碳化硅衬底的加工过程主要分为切片、薄化和抛光。

切片是碳化硅单晶加工过程的第一道工序，决定了后续薄化、抛光的加工水平，是整个环节的最大产能瓶颈所在。现有的碳化硅晶圆切片大多使用金刚石线锯，但碳化硅硬度高，需要大量的金刚石线锯和长达数小时的加工时间，且切片过程中多达 40% 的晶锭以碳化硅粉尘的形式成为废料，单个晶锭生产出的晶圆数量少，造成碳化硅功率器件成本高昂。许多国外企业采用更为先进的激光切割和冷分离技术提高切片效率，如 2016 年 DISCO 开发的激光切片技术不用经历研磨过程，仅需 10 分钟就能切出一片 6 英寸碳化硅晶圆，生产效率提升 3-5 倍。

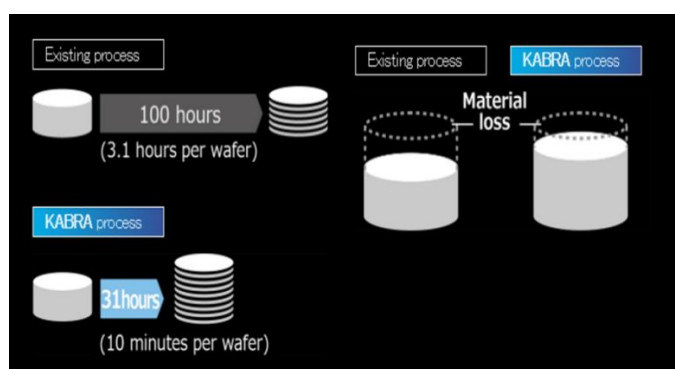
碳化硅切片的薄化主要通过磨削与研磨实现，但碳化硅断裂韧性较低，在薄化过程中易开裂，导致碳化硅晶片的减薄非常困难。目前多使用自旋转磨削，晶片自旋转的同时主轴机构带动砂轮旋转，同时砂轮向下进给，实现减薄。自旋转磨削虽可有效提高加工效率，但砂轮经长时间使用易钝化，存在使用寿命短且晶片易产生表面与亚表面损伤的问题，未来将进一步优化单面研磨技术以实现大尺寸碳化硅晶片的加工。

图4： 4H-导电型碳化硅单晶衬底



资料来源：天岳先进，浙商证券研究所

图5： DISCO 研发的激光切片技术相较于现有技术的优势



资料来源：DISCO，浙商证券研究所

## 2.2 外延：器件性能决定因素，厚度与掺杂浓度为关键因素

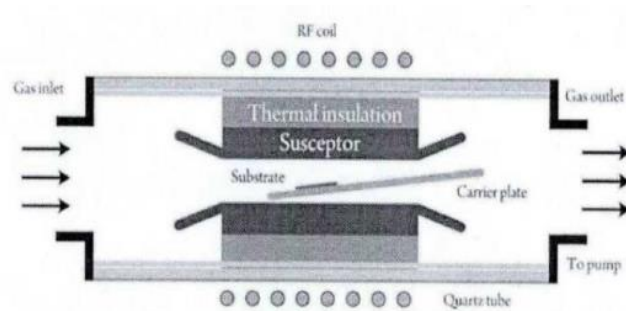
与传统硅功率器件制作工艺不同，碳化硅功率器件不能直接制作在碳化硅单晶材料上，须在经过切、磨、抛等仔细加工的单晶衬底上生长一层微米级新单晶，新单晶和衬底可以是相同材料，也可以是不同材料，称为同质外延或异质外延。外延层可以消除晶体生长和加工时引入的表面或亚表面缺陷，使晶格排列整齐，表面形貌更优，外延的质量对最终器件的性能起关键影响作用。

图6： 4H-SiC 衬底和外延示意图



资料来源：浙商证券研究所

图7： EPIGRESS 公司的热壁式外延设备反应腔结构图

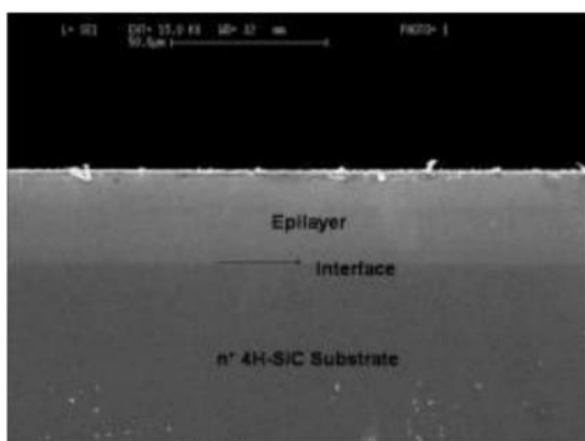


资料来源：《4H-SiC 的 CVD 同质外延生长与表征》，浙商证券研究所

碳化硅外延的制作方法包括：化学气相沉积（CVD）、分子束外延（MBE）、液相外延法（LPE）、脉冲激光沉积和升华法（PLD）等，其中 CVD 法是最为普及的 4H-SiC 外延方法，其优势在于可以有效控制生长过程中气体源流量、反应室温度及压力，精准控制外延层的厚度、掺杂浓度以及掺杂类型，工艺可控性强。早期碳化硅是在无偏角衬底上外延生长的，受多型体混合影响，外延效果不理想。随后发展出台阶控制外延法，在不同偏角下斜切碳化硅衬底，形成高密度外延台阶，在实现低温生长的同时稳定晶型的控制。随后引入 TCS，突破台阶控制外延法的限制，将生长速率大幅提升至传统方法的 10 倍以上。目前常用 SiH<sub>4</sub>、CH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 作为反应前驱气体，N<sub>2</sub> 和 TMA 作为杂质源，使用 4° 斜切的 4H-SiC 衬底在 1500-1650°C 下生长外延。

外延参数主要取决于器件设计，其中**厚度和掺杂浓度**为外延片关键参数。器件电压越高，对外延厚度和掺杂浓度均匀性要求越高，生产难度越大。在 600V 低压下，外延厚度需达 6um 左右，在 1200-1700V 中压下，外延厚度需达 10-15um 左右，而在 10kV 的高压下，外延厚度需达 100um 以上。在中、低压应用领域，碳化硅外延的技术相对比较成熟，外延片的厚度和掺杂浓度等参数较优，基本可以满足中低压的 SBD、JBS、MOS 等器件的需求。而高压领域，外延片需要攻克掺杂浓度均匀性和控制缺陷等问题。

图8：厚度为 30um 的 4H-SiC 外延层 SEM 截面图像



资料来源：北京第三代半导体产业技术创新战略联盟，浙商证券研究所

图9：3、4 和 6 英寸碳化硅外延晶片

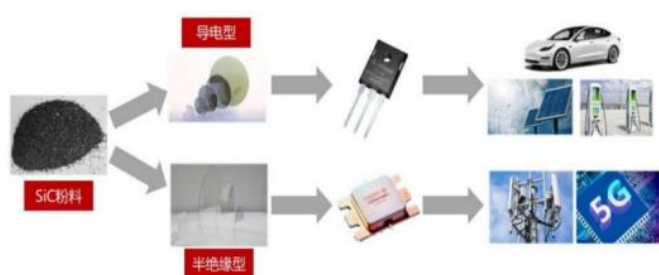


资料来源：瀚天天成，浙商证券研究所

### 3 下游应用场景丰富，新能源带来最大增长点

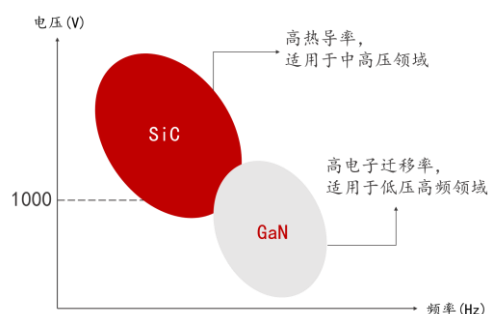
按照电学性能的不同，碳化硅材料制成的器件分为**导电型碳化硅功率器件**和**半绝缘型碳化硅射频器件**，两种类型碳化硅器件的终端应用领域不同。导电型碳化硅功率器件是通过在低电阻率的导电型衬底上生长**碳化硅外延层**后进一步加工制成，包括肖特基二极管、MOSFET、IGBT 等，主要用于电动汽车、光伏发电、轨道交通、智能电网、数据中心、充电等。半绝缘型碳化硅基射频器件是通过在高电阻率的半绝缘型碳化硅衬底上生长**氮化镓外延层**后进一步加工制成，包括 HEMT 等氮化镓射频器件，主要用于 5G 通信、车载通信、国防应用、数据传输、航空航天。

图10：碳化硅器件的下游应用领域



资料来源：公开资料，浙商证券研究所

图11：两类碳化硅器件的不同终端应用领域

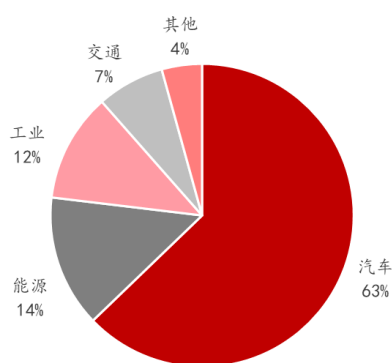


资料来源：浙商证券研究所

### 3.1 导电型碳化硅器件：新能源汽车为最大终端应用市场

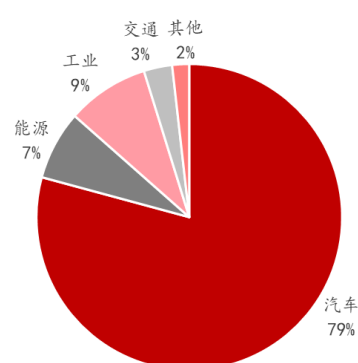
导电型碳化硅器件主要用于电动汽车、光伏发电、轨道交通、智能电网、数据中心、充电等领域。根据 Yole 数据，2021 年汽车市场导电型碳化硅功率器件规模达 6.85 亿美元，占比 62.8%，能源、工业和交通应用市场占比分别为 14.1%，11.6%和 7.2%。预计到 2027 年汽车市场导电型碳化硅功率器件规模达 49.86 亿美元，占比 79.2%，能源、工业和交通应用市场占比分别降至 7.3%，8.7%和 3.0%。

图12：2021 年导电型碳化硅功率器件下游应用占比



资料来源：Yole，浙商证券研究所

图13：2027 年导电型碳化硅功率器件下游应用占比预测



资料来源：Yole，浙商证券研究所

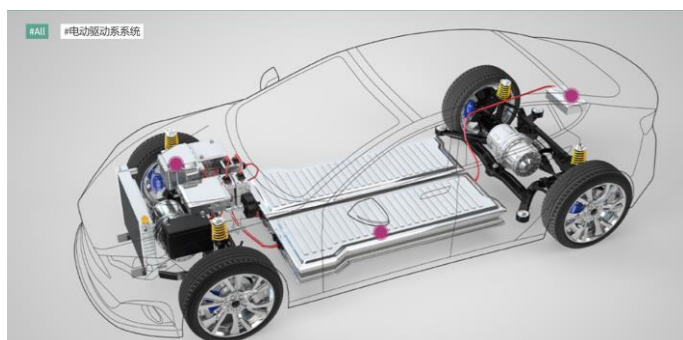
**碳化硅在电动汽车领域主要用于：主驱逆变器、车载充电系统(OBC)、电源转换系统(车载 DC/DC)和非车载充电桩。**逆变器是一种将直流信号转化为高压交流电的装置，由于输出电压和输出频率可以任意控制，所以被广泛用于控制交流电机和无刷电机的转速，是新能源发电、不间断电源、电动汽车、轨道交通、白色家电、电力配送等领域重要的功率转换装置。碳化硅 MOSFET 在电动汽车主驱逆变器中相比 Si-IGBT 具有明显优势：

- 碳化硅 MOSFET 相比硅基 IGBT 功率转换效率更高，电动汽车续航里程可延长 5-10%，即在同样续航里程的情况下可削减电池容量，降低电池成本；
- 碳化硅 MOSFET 的高频特性可使逆变器线圈、电容小型化，电驱尺寸可大幅减少，可听噪声的降低能减少电机铁损；
- 碳化硅 MOSFET 可承受更高电压，在电机功率相同的情况下可以通过提升电压来降低电流强度，从而使得束线轻量化，节省安装空间。

虽然当前碳化硅器件单车价格高于 Si-IGBT，但上述优势可降低整车系统成本。2018 年特斯拉在 Model 3 中首次将 Si IGBT 替换为 SiC 器件，汽车逆变器效率大幅提升，当前

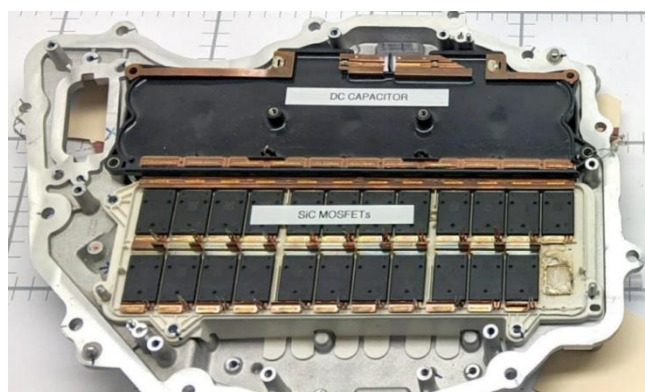
越来越多的车厂如比亚迪、蔚来、小鹏、保时捷等正在转向在电驱中使用碳化硅 MOSFET 器件。

图14：碳化硅器件在电动汽车领域的应用



资料来源：英飞凌，浙商证券研究所

图15：特斯拉 Model 3 采用碳化硅 MOSFET 器件



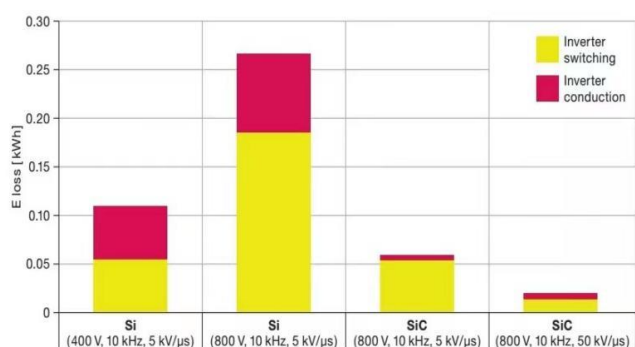
资料来源：特斯拉，浙商证券研究所

车载充电系统(OBC)可将电网中的交流电转换为直流电对电池进行充电，实现为电动汽车的高压直流电池组充电的功能，是决定充电功率和效率的关键器件。碳化硅 MOSFET 相比 Si 基器件能提升约 50% 的系统功率密度，从而能减少 OBC 的重量和体积，并节省磁感器件和驱动器件成本。

电源转换系统(DC/DC)是转变输入电压并有效输出固定电压的电压转换器，可将动力电池输出的高压直流电转换为低压直流电，主要给车内动力转向、水泵、车灯、空调等低压用电系统供电。未来随着电动汽车电池电压升至 800V 高压平台，1200V 的 SiC MOSFET 有望被广泛应用于 DC-DC 转换器中。

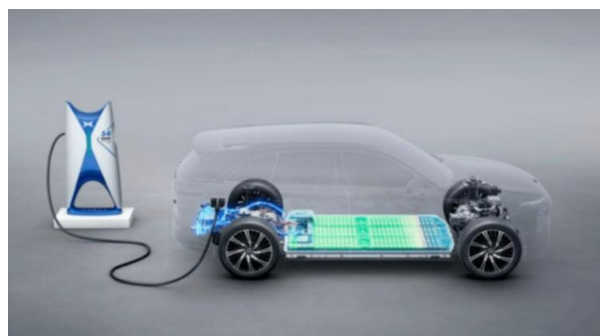
高压充电桩能有效解决充电速度和里程焦虑的问题，带来对 SiC 器件需求的增加。当前我国的车桩比难以匹配需求，车载充电及充电桩效率仍待提高，因此越来越多的整车厂布局 800V 高压平台。800V 高压系统通常指整车高压电气系统电压范围达到 550-930V 的系统，相较于 600V 平台：在同等充电功率下，**工作电流更小**，节省线束体积，降低电路内阻损耗，提高充电效率和安全率；在同等电流的情况下，800V 平台可**大幅提升总功率，显著提高充电速度**，已成为快速直流电充电的新解决方案。对于直流快速充电桩来说，充电电压升级至 800V 会带来充电桩中的 SiC 功率器件需求大增。与 MOSFET/IGBT 单管设计的 15-30kW 相比，SiC 模块可将充电模块功率提高至 60kW 以上，且和硅基功率器件相比，SiC 功率器件可以大幅降低模块数量，具有小体积优势。

图16：不同电压平台下，SiC 和 Si 基逆变器的损耗



资料来源：Gerd, et al., “INCREASED SYSTEM EFFICIENCY BY AN 800 VOLT AXLE DRIVE CONCEPT”, Vitesco Technologies, 浙商证券研究所

图17：小鹏 G9 搭载了国内首个量产的车端 800V 高压 SiC 平台

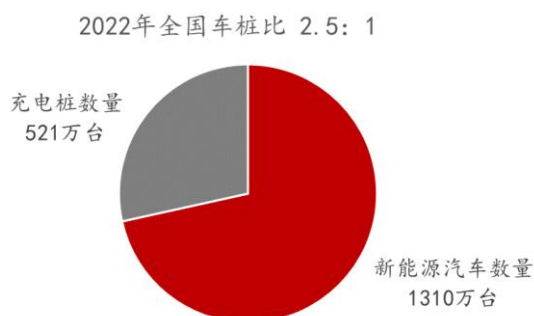


资料来源：小鹏汽车，浙商证券研究所

**新能源车数量增速高于充电桩，我国充电桩市场缺口大。**据中国能源报，截止 2022 年 12 月，全国充电基础设施累计总量约为 521 万台，增量为 259.3 万台，同比增加 99.1%。其中公共充电桩增量为 65.1 万台，同比上涨 91.6%；随车配建私人充电桩增量为 194.2 万台，同比上升 225.5%。截至 2022 年底，全国新能源汽车保有量达 1310 万辆，占汽车总量的 4.10%，同比增长 67.13%，其中，纯电动汽车保有量 1045 万辆，占新能源汽车总量的 79.78%。2022 年底，我国新能源车车桩比为 2.5:1，充电桩数量还存在巨大的缺口。

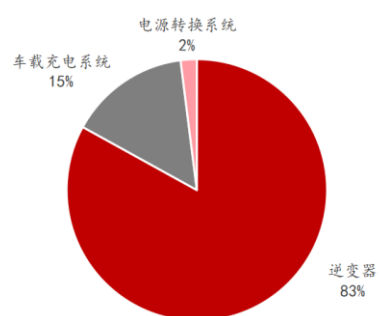
根据全球碳化硅领域龙头厂商 Wolfspeed 公司的预测，到 2026 年汽车中逆变器所占据的碳化硅价值量约为 83%，是电动汽车中价值量最大的部分。其次为 OBC，价值量占比约为 15%；DC-DC 转换器中 SiC 价值量占比在 2% 左右。

图18：我国新能源充电桩数量存在较大缺口



资料来源：中国能源报，浙商证券研究所

图19：2026年碳化硅在汽车各部件的价值占比预测



资料来源：Wolfspeed，浙商证券研究所

光伏发电是当前利用可再生能源的重要形式，通过光伏逆变器将太阳能电池阵列的直流电转换为交流电，以直接消耗或通过电网传输。使用 Si 基器件的传统逆变器会带来较大的系统能量损耗，而碳化硅的**宽禁带、高热导率、高击穿电压和低导通电阻**使其能在更高的电压及频率下切换，散热能力更佳，拥有更好的开关效率和热量累积。使用碳化硅功率器件的光伏逆变器可将系统转换效率从 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。

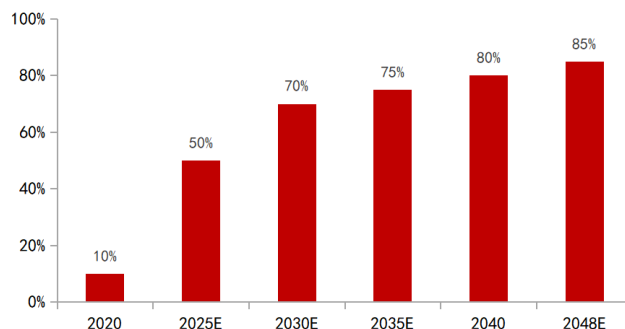
据 CASA Research 数据，2020 年碳化硅功率器件在光伏逆变器的渗透率为 10%，随着光伏电压等级的提升，碳化硅功率器件的渗透率将不断提高，预计 2048 年将达到 85% 的渗透率。

图20：SiC MOS 应用于光伏逆变器可带来更低的损耗和更高的频率



资料来源：英飞凌，浙商证券研究所

图21：2020-2050 年碳化硅功率器件在光伏逆变器的渗透率

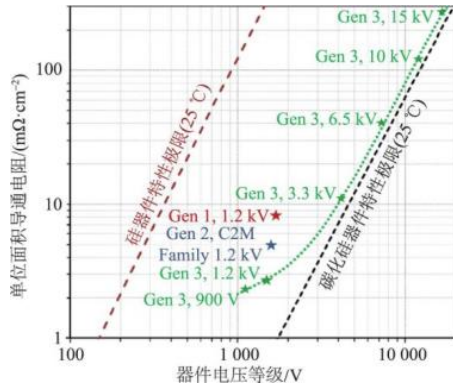


资料来源：CASA，浙商证券研究所

目前电网使用的硅基器件的参数性能已接近其材料的物理极限，无法担负起支撑大规模清洁能源生产传输和消纳吸收的重任。SiC 在智能电网的主要应用场景包括高压直流输电换

流阀、柔性直流输电换流阀、灵活交流输电装置、高压直流断路器、电力电子变压器等装置。碳化硅在电压等级、导通电阻和开关速度方面的优势能很好的适配电力系统对电压、功率和可靠性的更高要求，可以**直接替换硅器件**，提升电能转换效率和功率密度，还能简化拓扑结构、**实现新的并网功能**如增加电网稳定性，提供有源滤波功能等。

图22：碳化硅的单位面积导通电阻远小于硅器件



资料来源：《应用于中压配电网的碳化硅电力电子技术》，浙商证券研究所

图23：Danfoss 和美国田纳西大学联合开发的 12.4kV 光伏并网逆变器



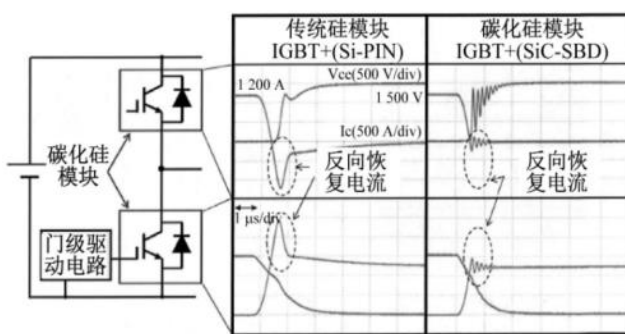
(b) 12.4 kV 光伏并网逆变器

资料来源：《应用于中压配电网的碳化硅电力电子技术》，浙商证券研究所

在轨道交通领域，牵引变流器、辅助变流器、主辅一体变流器、电力电子变压器、电源充电机等环节均可用到 SiC 功率器件，其中牵引变流器是核心器件，采用 SiC 功率器件替代后，在高温、高频和低损耗方面得到显著改善，有效减小整体器件的体积和重量，符合大容量、轻量化和节能型的需求。目前 SiC 器件已在城市轨道交通系统中得以应用，苏州轨交 3 号线 0312 号列车是国内首个基于 SiC 变流技术的永磁直驱牵引系统项目，实现了牵引节能 20% 的目标。

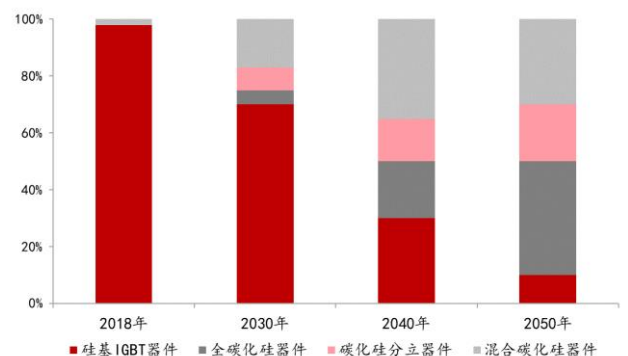
CASA 预测在 2030 年碳化硅在轨道交通功率器件的应用占比将达 30%，2040 年占比将达 70%，渗透率不断提升。

图24：碳化硅模块的开关和导通损耗均优于传统硅模块



资料来源：《基于混合碳化硅器件的城市轨道交通车辆牵引节能研究》，浙商证券研究所

图25：2018-2050 年轨道交通中碳化硅功率器件渗透率



资料来源：CASA，浙商证券研究所

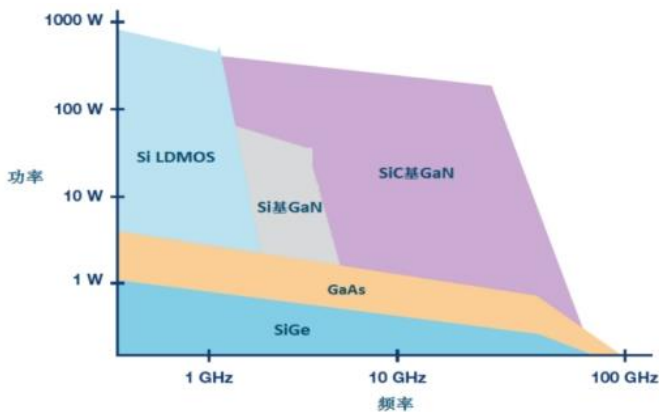
### 3.2 半绝缘型碳化硅器件：5G 时代的强大心脏

射频器件是在无线通信领域负责信号转换的部件，如功率放大器、射频开关、滤波器、低噪声放大器等。目前主流的射频器件材料有砷化镓、硅基 LDMOS、碳化硅基氮化镓等不同类型。碳化硅基氮化镓射频器件**同时具备碳化硅的高导热性能和氮化镓在高频段下大功率射频输出的优势**，应用于 5G 通信、车载通信、国防应用、数据传输、航空航天等领域。

5G 通讯基站应用需要**更高的峰值功率、更宽的带宽以及更高的频率**，对微波射频器件提出了更高要求，而半绝缘型碳化硅衬底制备的氮化镓射频器件在**高频段**的优异表现使其成为 5G 时代基站应用的候选技术。

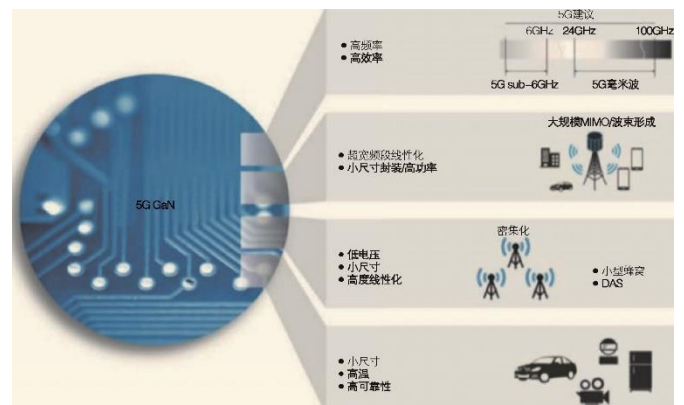
据 Yole Development 预测，2025 年全球射频器件市场将超过 250 亿美元，功率在 3W 以上的射频器件市场中，氮化镓射频器件有望替代大部分硅基 LDMOS 份额，占据射频器件市场约 50% 的份额。

图26：不同材料微波射频器件的应用范围对比



资料来源：Analog Dialogue，浙商证券研究所

图27：碳化硅基氮化镓在 5G 中的应用



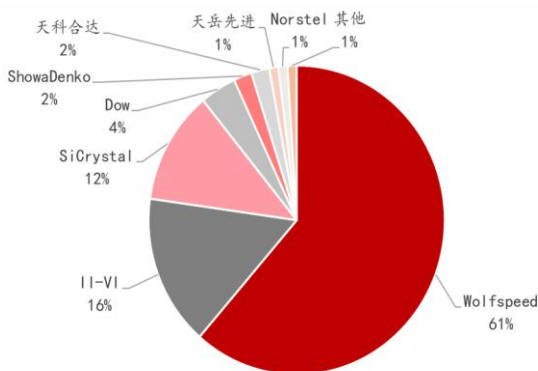
资料来源：《5G 时代新技术需要关注氮化镓》，浙商证券研究所

## 4 碳化硅供需缺口持续扩大，海内外厂商加速研发扩产

### 4.1 供给端：海外龙头主导出货量，全球有效产能仍不足

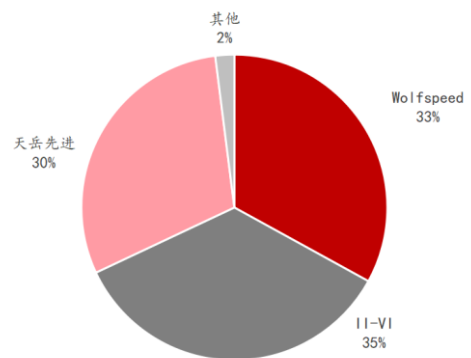
当前制约碳化硅器件大规模商业化应用的主要因素在于**高成本**，**碳化硅衬底制造难度大、良率低**为主要原因。全球碳化硅市场呈美国、欧洲、日本三足鼎立的格局，国内龙头企业仅天科合达和天岳先进占据了全球碳化硅衬底市场份额。在全球导电型碳化硅衬底市场中，Wolfspeed 占据超 60% 的市场份额，II-VI 和 Rohm 的子公司 SiCrystal 分别占据 16% 和 12%，位列第二和第三；在半绝缘型碳化硅衬底市场中，Wolfspeed、II-VI 和天岳先进各占据约 30% 的市场份额。

图28：2018 年全球导电型碳化硅衬底市场份额



资料来源：Yole，浙商证券研究所

图29：2020 年全球半绝缘型碳化硅衬底市场份额

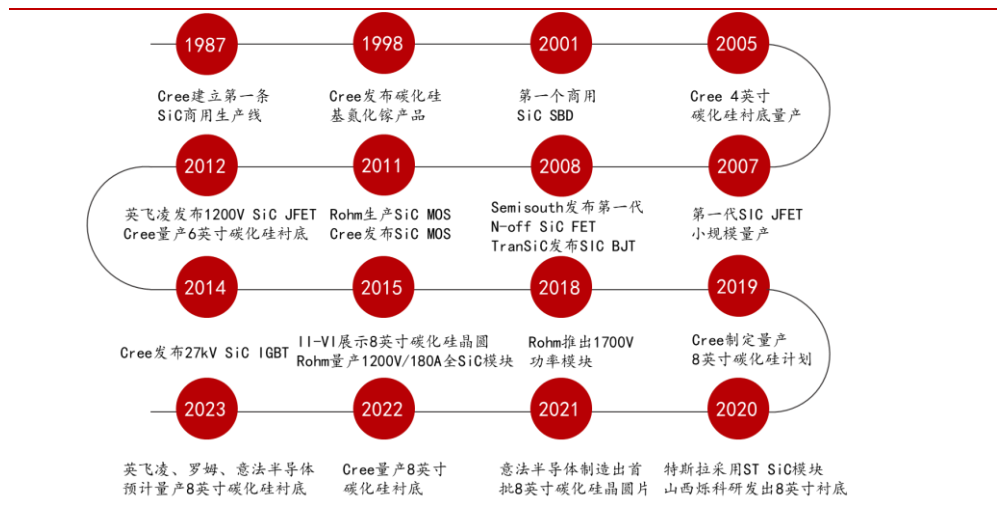


资料来源：Yole，浙商证券研究所

我国在碳化硅领域起步较晚,当前国内厂商在碳化硅衬底产品上与国外龙头仍存在一定差距。国内主要以4英寸碳化硅衬底为主,仅少数企业如天岳先进、露笑科技等实现6英寸衬底的销售,而多家国际一线厂商已实现6英寸碳化硅衬底的稳定供应,Wolfspeed、英飞凌和罗姆等正积极布局8英寸碳化硅衬底生产产线,量产指日可待。

目前全球碳化硅衬底有效年产能不足,面对紧张的供需关系,海外龙头企业加速扩产,积极布局8英寸碳化硅衬底的量产。Wolfspeed于2022年4月启用全球首家8英寸碳化硅晶圆厂,为目前唯一一家实现8英寸碳化硅量产的厂商,并将于2023年上半年在德国再建8英寸碳化硅工厂,其他国际厂商如罗姆、英飞凌、Soitec、意法半导体等均计划于2023年量产8英寸碳化硅衬底产品;而国内厂商除了烁科晶体已实现8英寸碳化硅衬底小批量量产,天科合达、晶盛机电宣布于2023年小批量量产8英寸碳化硅衬底外,其余厂商还处于加速建设6英寸碳化硅衬底产线以突破产能的阶段。因此在行业形成稳定、规模化出货前,碳化硅衬底将持续呈现供不应求的格局。

图30: 碳化硅器件发展历程



资料来源: 浙商证券研究所

表3: 国内厂商碳化硅衬底产能

| 公司   | 主营业务        | 现有产能                                | 产能规划                                   |
|------|-------------|-------------------------------------|----------------------------------------|
| 天岳先进 | 衬底          | 6.7 万片/年, 6英寸半绝缘型为主                 | 预计2026年实现年产能超30万片                      |
| 天科合达 | 衬底、外延       | 12-15 万片/年, 6英寸占比2/3                | 预计2025年实现年产能50万片                       |
| 三安光电 | 衬底、外延、芯片、封装 | 月产能6000片                            | 建设全产业链配套, 预计2025年达产, 规划配套年产能36万片       |
| 烁科晶体 | 衬底          | 月产能8000片, 4英寸为主, 6英寸小批量供应, 8英寸小批量生产 | 预计2025年实现年产能30万片                       |
| 露笑科技 | 衬底、外延       | 月产能5000片, 6英寸衬底                     | 2023年月产能达1万片, 年产能20万片                  |
| 东尼电子 | 衬底          | 2022年生产6750片                        | 2023年年产12万片, 预计2024年交付30万片、2025年交付50万片 |

资料来源: 各公司公告, 环评报告, 浙商证券研究所整理

## 4.2 需求端: 下游需求不断扩大, 百亿市场空间可期

未来随着碳化硅器件在新能源汽车、能源、工业、通讯等领域渗透率提升，碳化硅器件市场规模有望持续扩大，其中**新能源车和光伏下游**为主要驱动因素。

对碳化硅器件在电动汽车领域的市场空间进行测算，假设如下：

- 1) 全球新能源乘用车销量：根据 Clean Technica 数据，2021 年全球乘用车销量超 6500 万辆，其中新能源乘用车销量为 650 万辆，渗透率为 10.3%；2022 年全球新能源乘用车销量为 1031 万辆，渗透率为 14%，假设 2022-2025 全球新能源乘用车销量持续增长，至 2025 年新能源车渗透率达 24%；
- 2) 碳化硅 MOS 器件渗透率：假设碳化硅 MOS 器件在新能源车应用渗透率从 2021 年 18% 逐年增长 6% 至 2024 年的 42%；
- 3) 6 英寸碳化硅衬底市场空间：特斯拉 Model 3 在主驱逆变器上共使用 48 颗 SiC MOSFET，单车消耗约 0.25 片 6 英寸碳化硅衬底，随着技术进步带来碳化硅器件使用范围进一步扩大至包括 OBC，DC/DC 转化器等方面，假设单车将消耗 0.5 片 6 英寸碳化硅衬底，而其售价按照 10% 的幅度逐年下降；
- 4) 碳化硅器件市场空间：当前碳化硅衬底占器件总成本的 46%，假设价格逐年下降，至 2025 年碳化硅衬底占总器件成本的 30%；
- 5) 综上：2025 年碳化硅衬底(按 6 英寸算)在新能源车市场的需求量达 339 万片，市场空间为 129 亿元，碳化硅器件的市场空间达 429 亿元，2021-2025 碳化硅器件的 CAGR 达 85%

表4：碳化硅在新能源车下游应用领域市场空间

|                      | 2021 | 2022 | 2023E | 2024E | 2025E |
|----------------------|------|------|-------|-------|-------|
| 全球乘用车销量(万辆)          | 6500 | 7364 | 8000  | 8200  | 8405  |
| 新能源车渗透率              | 10%  | 14%  | 17%   | 21%   | 24%   |
| 全球新能源乘用车销量(万辆)       | 650  | 1031 | 1360  | 1722  | 2017  |
| 碳化硅 MOS 渗透率          | 18%  | 24%  | 30%   | 36%   | 42%   |
| 单车消耗 6 英寸碳化硅衬底数      | 0.25 | 0.25 | 0.25  | 0.4   | 0.4   |
| 6 英寸碳化硅衬底需求(万片)      | 29.3 | 61.9 | 102   | 250   | 338.9 |
| 6 英寸碳化硅衬底售价(元/片)     | 5800 | 5200 | 4700  | 4200  | 3800  |
| 6 英寸碳化硅衬底市场空间(亿元)    | 17   | 32.2 | 47.9  | 104.1 | 128.8 |
| 碳化硅衬底占比器件成本          | 46%  | 43%  | 40%   | 35%   | 30%   |
| 碳化硅器件市场空间(亿元)        | 36.9 | 74.8 | 119.9 | 297.6 | 429.3 |
| 2021-2025 碳化硅器件 CAGR | 85%  |      |       |       |       |

资料来源：Clean Technica，浙商证券研究所测算

对碳化硅器件在光伏逆变器领域的市场空间进行测算，假设如下：

- 1) 光伏逆变器总需求：光伏逆变器新增需求和全球光伏新增装机量同步，而光伏逆变器 IGBT 器件的使用寿命约 10 年，故存量更换需求与 10 年前新增装机量对应；
- 2) 光伏逆变器 IGBT 器件市场空间：假设光伏逆变器平均售价、毛利率逐年下降，IGBT 器件价格占逆变器价格的 12%；
- 3) 光伏逆变器碳化硅 MOS 器件市场空间：由 CASA，假设碳化硅渗透率增至 2025 的 50%，而技术进步和规模效应使碳化硅器件成本从现硅基 IGBT 价格的 4 倍逐年下降；

4) 6 英寸碳化硅衬底需求：假设碳化硅衬底成本占器件总成本的比例从当前 46% 逐渐下降至 2025 年的 30%，而 6 英寸碳化硅衬底单价从按 10% 的比例逐年下降，从而得到衬底需求量；

5) 综上：预计 2021-2025 年，碳化硅器件在光伏应用领域市场空间由 23 亿元增长至 92 亿元，CAGR 为 42%，到 2025 年碳化硅衬底（按 6 英寸算）需求量超过 72 万片。

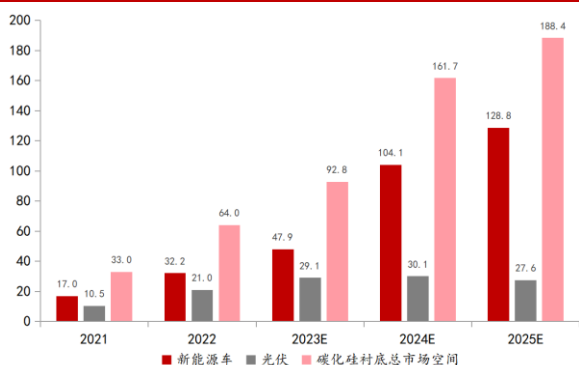
表5：碳化硅在光伏下游应用领域的市场空间预测

|                       | 2021 | 2022 | 2023E | 2024E | 2025E |
|-----------------------|------|------|-------|-------|-------|
| 全球新增装机量(GW)           | 170  | 225  | 270   | 300   | 330   |
| 光伏逆变器存量更换需求 (GW)      | 32   | 30   | 36    | 38    | 48    |
| 光伏逆变器总需求(GW)          | 202  | 255  | 306   | 338   | 378   |
| 光伏逆变器平均售价(元/W)        | 0.35 | 0.33 | 0.31  | 0.29  | 0.27  |
| 光伏逆变器毛利率              | 33%  | 31%  | 29%   | 27%   | 25%   |
| IGBT 器件价值量占比          | 12%  | 12%  | 12%   | 12%   | 12%   |
| 光伏逆变器 IGBT 器件市场空间(亿元) | 57   | 70   | 81    | 86    | 92    |
| 碳化硅器件渗透率              | 10%  | 20%  | 30%   | 40%   | 50%   |
| 碳化硅/IGBT 器件成本比        | 4    | 3.5  | 3     | 2.5   | 2     |
| 光伏逆变器碳化硅器件市场空间(亿元)    | 23   | 49   | 73    | 86    | 92    |
| 碳化硅衬底占比器件成本           | 46%  | 43%  | 40%   | 35%   | 30%   |
| 碳化硅衬底市场空间(亿元)         | 10   | 21   | 30    | 33    | 32    |
| 碳化硅衬底价格(元)            | 5800 | 5220 | 4698  | 4228  | 3805  |
| 碳化硅衬底需求(万片)           | 18   | 40   | 62    | 71    | 72    |
| 2021-2025 碳化硅器件 CAGR  | 42%  |      |       |       |       |

资料来源：中国光伏行业协会，《bp 世界能源统计年鉴》，智研咨询，界面新闻，宏微科技股份有限公司招股书，浙商证券研究所测算

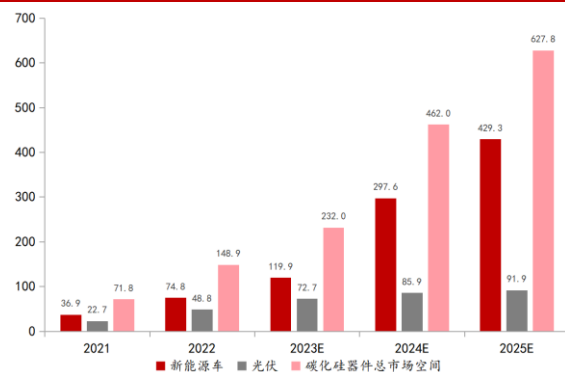
根据 Yole 数据，2021 年新能源车和光伏应用领域占全球碳化硅市场的 77%，预计 2027 年这一比例将达到 86%，按照市场占比以 1.9% 的年均复合增长率提升，2025 年新能源车和光伏应用领域占全球碳化硅器件市场的 83%，以两者碳化硅市场空间反推可得 2025 年全球碳化硅器件市场空间达 627.8 亿元，碳化硅衬底市场空间达 188.4 亿元，6 英寸碳化硅衬底需求量为 495 万片。

图31：2021-2025 碳化硅衬底市场空间(亿元)



资料来源：Yole，浙商证券研究所测算

图32：2021-2025 碳化硅器件市场空间(亿元)



资料来源：Yole，浙商证券研究所测算

## 5 欧美日厂商占据龙头，国产技术革新任重道远

全球碳化硅衬底市场中，Wolfspeed 以 45% 的市场份额位居第一，国内企业仅有天科合达和天岳先进分别占据 5% 和 3% 的市场份额。在导电型碳化硅衬底市场中，Wolfspeed 占据超 60% 的市场份额，在碳化硅单晶市场价格和质量标准上有极大的话语权；在半绝缘型碳化硅衬底市场中，Wolfspeed、II-VI 和天岳先进各占据约 30% 的市场份额。

全球碳化硅器件市场中，ST 意法半导体占据的市场份额达到 40%，位居第一，英飞凌占据 22% 的市场份额排名第二。

图33：全球碳化硅市场竞争格局

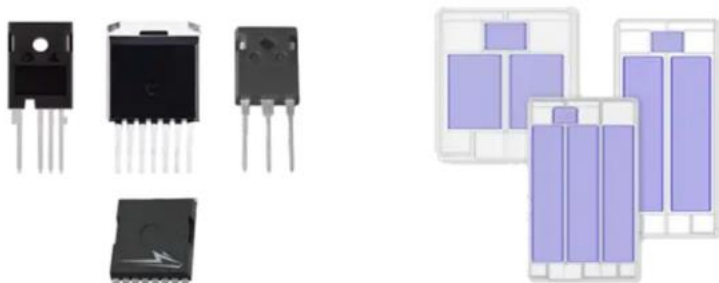


资料来源：公开资料，浙商证券研究所整理

## 5.1 Wolfspeed

Wolfspeed 的前身为 Cree 公司，2019 年 3 月，Cree 公司将照明产品业务部出售，完全转型为一家专注于宽禁带半导体产品的公司，于 2021 年更改为 Wolfspeed，拥有从衬底到器件的全产业链布局，是全球碳化硅行业的龙头，在导电型碳化硅衬底市场中市占率达 61%，位列全球之首，而在半绝缘型衬底市场中位列第二，市占率达 33%。Wolfspeed 于 2015 年发布 8 英寸碳化硅衬底，2019 年完成首批 8 英寸碳化硅衬底样品的制样，2023 年计划扩产至月产能 10 万片。Wolfspeed 目前与梅赛德斯-奔驰达成协议，为其供应碳化硅器件，赋能其未来电动汽车平台。

图34：Wolfspeed 碳化硅 MOSFET 和裸芯片



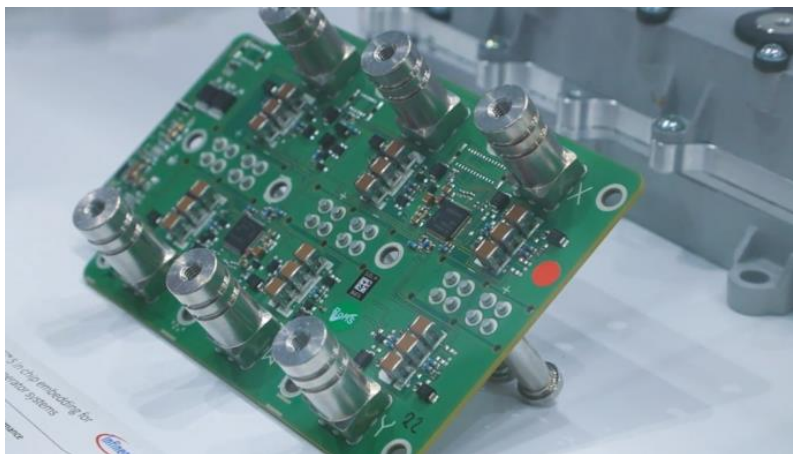
资料来源：Wolfspeed，浙商证券研究所

## 5.2 英飞凌

公司于 1999 年从西门子集团拆分，是全球少数采用 IDM 模式的半导体垂直整合制造商，在 IC 设计、晶圆制造、封装测试以及面向终端市场领域均有布局。2017 年英飞凌成为

全球首家提供沟槽技术的碳化硅 MOSFET 产品厂商，2018 年收购 Siltecta 的冷切割技术，大幅提升生产效率，2020 年发布覆盖 650-1700V 的碳化硅 MOSFET 产品，未来将扩展至 3000V。

图35：英飞凌 48V 车规级功率 SiC MOSFET

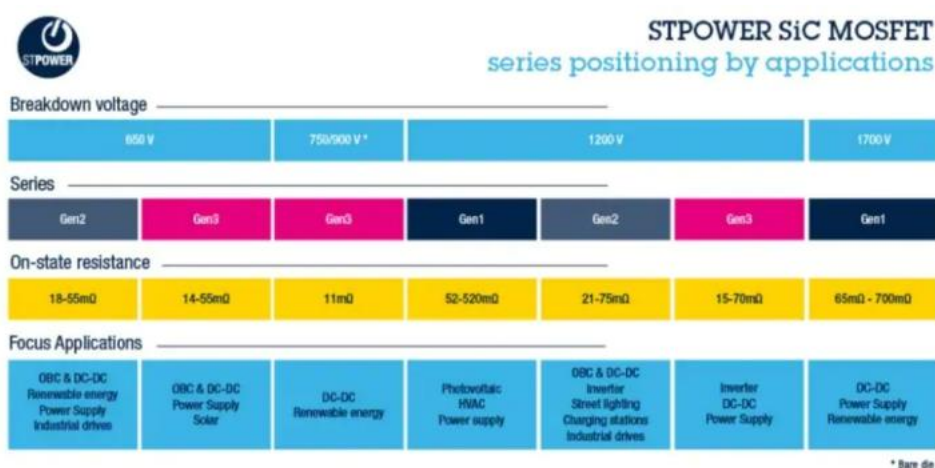


资料来源：英飞凌官网，浙商证券研究所

### 5.3 意法半导体

公司在功率半导体领域的主要产品涵盖 SiC 和高压硅二极管、GaN 功率器件、射频晶体管、IGBT、MOSFET 等。其中，MOSFET 覆盖 35-1800V、可满足 200°C 业内最高水平，IGBT 覆盖 350-1300V。2018 年特斯拉率先在 Model 3 电驱主逆变器上使用意法半导体供应的 650V SiC MOSFET 器件。2021 年公司发布第三代 SiC MOSFET 晶体管，推进在电动汽车动力系统功率设备的前沿应用，并计划与 2024 年将 SiC 晶圆产能提高到 2017 年的 10 倍。

图36：意法半导体 SiC MOSFET 系列产品



资料来源：意法半导体官网，浙商证券研究所

### 5.4 罗姆

罗姆成立于 1958 年，是全球知名的半导体厂商，在全球碳化硅器件市场中位列前三。2010 年全球首家量产碳化硅 SBD 和 MOSFET，2021 年发布第 4 代的沟槽 SiC MOSFET，其导通电阻相较于第 3 代下降 40%，公司计划在 2025 和 2028 年进一步将导通电阻分别再降低 30%，实现第五代、第六代产品；在耐压方面，第四代产品从 650V 提高到 750V，实

现了低损耗、使用简便和高可靠性。另外，罗姆作为少数几家 IDM 模式厂商之一，具备衬底、外延、器件、模块垂直一体化布局，将在 2023 年实现 8 英寸衬底的量产。

图37： 罗姆第四代 SiC MOSFET 和栅极驱动器 IC



资料来源：罗姆官网，浙商证券研究所

### 5.5 合盛硅业

合盛硅业于 2005 年成立，采用“煤电硅”一体化循环经济产业园发展模式，主要产品涵盖工业硅、有机硅、石墨电极等，是硅化工行业龙头。在上游硅和有机硅方面，当前公司工业硅、有机硅产能处于世界前列，随着 2023 年 10 月公司于鄞善的 20 万吨/年多晶硅项目开始批量生产，打造的全球首个 7000 亩多晶硅光伏一体化产业园区实现全部投产，届时公司产能将进一步扩大；此外，公司积极布局硅基新材料领域，子公司“合盛新材料”完整掌握了碳化硅原料合成、晶体生长、衬底加工及外延生长的全产业链核心技术，2 万片碳化硅衬底及外延片产业化生产线项目已通过验收，产品得到国内多家下游器件客户的验证，具备量产能力。

图38： 合盛新材料 4H-N 型 SiC 衬底产品



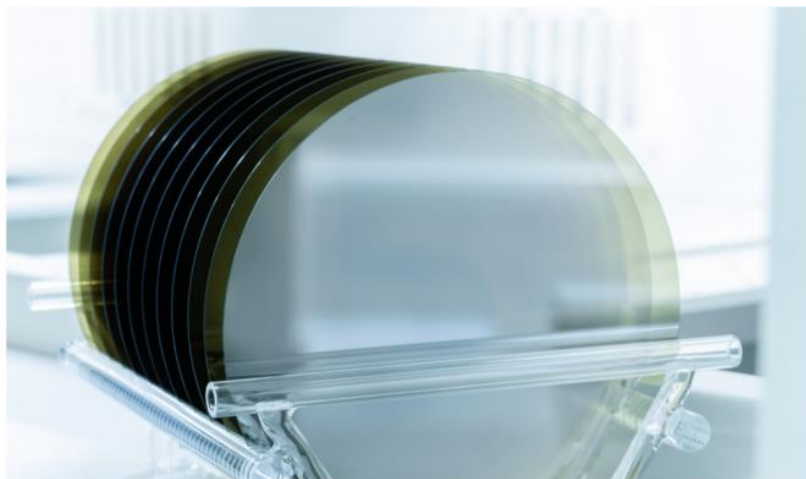
资料来源：合盛新材料官网，浙商证券研究所

### 5.6 天岳先进

天岳先进专注于碳化硅单晶衬底的研发、生产和销售，当前公司的主要产品包括 2-6 英寸的半绝缘型衬底和导电型衬底，较早在国内实现了 4 英寸半绝缘型碳化硅衬底的产业化，同时完成了 6 英寸导电型碳化硅衬底的研发并开始小批量销售，当前在 8 英寸衬底方面研究进展顺利。上海临港工厂预计 2023 年内投产，2026 年全部达产后年产导电型碳化

硅晶圆 2.6 万块，对应导电型碳化硅衬底年产能将超 30 万片。近年来天岳先进市占率大幅提升，在半绝缘型碳化硅衬底市场中市占率达 30%，仅次于 Wolfspeed、II-VI，进入全球第一梯队。

图39：天岳先进导电型碳化硅衬底

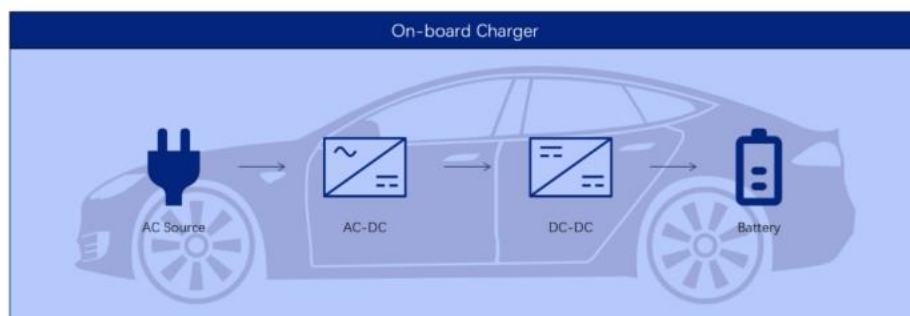


资料来源：天岳先进官网，浙商证券研究所

## 5.7 三安光电

三安光电成立于 2000 年，主营 LED 外延片、芯片、III-V 族化合物半导体材料、微波通讯集成电路与功率器件、光通讯元器件等业务，2014 年进军半导体行业，2017 年收购 Norstel 布局碳化硅衬底，于 2019 年向 ST 出售 Norstel 55% 的股份。2020 年成立全资子公司湖南三安，从事碳化硅半导体产品的研发，产业链包括长晶、衬底制作、外延生长、芯片制备与封装，2022 年半年报披露月产能 6000 片，产能目前逐步爬坡，预计 2025 年达产，规划配套年产能 36 万片。

图40：三安光电 SiC MOSFET 应用于车载 DC/DC 变换器和 OBC



资料来源：三安光电官网，浙商证券研究所

## 6 风险提示

**技术研发进展不及预期，新兴材料替代风险。**半导体材料行业属于技术密集型行业，具有产品研发周期长、研发难度高的特点，当前国内碳化硅衬底行业呈“产学研用”的格局，如果不能及时进行技术更新迭代，将面临无法满足市场需求，失去竞争力的风险。

**全球碳化硅行业竞争加剧。**当前碳化硅市场呈现欧美日三足鼎立的局面，面对下游需求持续增长、碳化硅产品供不应求的形式，国内外厂商均在加速研发、扩产，垂直整合也

成为碳化硅行业的主导趋势，如安森美、罗姆等国际龙头通过收购满足碳化硅衬底的供应，从衬底到器件的全产业链 IDM 模式将利于碳化硅产品迅速放量，抢占全球市场。

## 股票投资评级说明

以报告日后的 6 个月内，证券相对于沪深 300 指数的涨跌幅为标准，定义如下：

1. 买入：相对于沪深 300 指数表现+20%以上；
2. 增持：相对于沪深 300 指数表现+10%~+20%；
3. 中性：相对于沪深 300 指数表现-10%~+10%之间波动；
4. 减持：相对于沪深 300 指数表现-10%以下。

## 行业的投资评级：

以报告日后的 6 个月内，行业指数相对于沪深 300 指数的涨跌幅为标准，定义如下：

1. 看好：行业指数相对于沪深 300 指数表现+10%以上；
2. 中性：行业指数相对于沪深 300 指数表现-10%~+10%以上；
3. 看淡：行业指数相对于沪深 300 指数表现-10%以下。

我们在此提醒您，不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准。我们采用的是相对评级体系，表示投资的相对比重。

建议：投资者买入或者卖出证券的决定取决于个人的实际情况，比如当前的持仓结构以及其他需要考虑的因素。投资者不应仅仅依靠投资评级来推断结论。

## 法律声明及风险提示

本报告由浙商证券股份有限公司（已具备中国证监会批复的证券投资咨询业务资格，经营许可证编号为：Z39833000）制作。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但浙商证券股份有限公司及其关联机构（以下统称“本公司”）对这些信息的真实性、准确性及完整性不作任何保证，也不保证所包含的信息和建议不发生任何变更。本公司没有将变更的信息和建议向报告所有接收者进行更新的义务。

本公司的客户作参考之用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。

本报告仅反映报告作者的出具日的观点和判断，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，投资者应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，本公司及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本公司的交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。本公司没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。本公司的资产管理公司、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

本报告版权均归本公司所有，未经本公司事先书面授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、发布、传播本报告的全部或部分内容。经授权刊载、转发本报告或者摘要的，应当注明本报告发布人和发布日期，并提示使用本报告的风险。未经授权或未按要求刊载、转发本报告的，应当承担相应的法律责任。本公司将保留向其追究法律责任的权利。

## 浙商证券研究所

上海总部地址：杨高南路 729 号陆家嘴世纪金融广场 1 号楼 25 层

北京地址：北京市东城区朝阳门北大街 8 号富华大厦 E 座 4 层

深圳地址：广东省深圳市福田区广电金融中心 33 层

上海总部邮政编码：200127

上海总部电话：(8621) 80108518

上海总部传真：(8621) 80106010

浙商证券研究所：<https://www.stocke.com.cn>