

# 高压快充趋势及产业链降本，加速碳化硅产业进展

## 新能源车行业深度报告（一）

### 电力设备及新能源

投资评级：推荐（维持）

分析师：胡鸿宇

分析师登记编码：S0890521090003

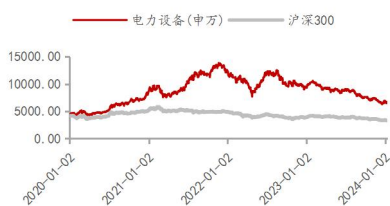
电话：021-20321074

邮箱：huhongyu@cnhbstock.com

销售服务电话：

021-20515355

### 行业走势图（2024年1月11日）



资料来源：wind，华宝证券研究创新部

### 相关研究报告

1、《解决续航焦虑最后一棒，快充进程加快催生材料新变化》2023-07-27

### 投资要点

④**碳化硅物理性能优势明显，适应高温、高压、高频的应用场景。**碳化硅作为第三代半导体，禁带宽度大，具有击穿电场高、热导率高、电子饱和速率高、抗辐射能力强等优势，因此采用第三代半导体材料制备的半导体器件不仅能在更高的温度下稳定运行，适用于高电压、高频率场景，此外还能以较少的电能消耗，获得更高的运行能力。以碳化硅材料为衬底的产业链主要包括碳化硅衬底材料的制备、外延层的生长、器件制造以及下游应用市场。衬底根据电学性能不同分为半绝缘型和半导电型，分别应用到不同的应用场景上。

④**下游新能源发展对高频、大功率射频及电力电子需求的快速增长，极大推动了碳化硅的产业化进程。**新能源汽车是未来碳化硅应用的主要驱动力，预计未来占据碳化硅需求的主要市场。碳化硅器件在新能源汽车产业中主要应用在电机控制器（电驱）、车载充电机 OBC、DC/DC 变换器以及充电桩，碳化硅器件相比硅基器件有更优越的物理性能，体积小，性能优越，节能性强，还顺带缓解了续航问题，更适应新能源汽车增加续航里程、缩短充电时长、提高电池容量、降低车身自重的需求。我们预测 2023-2026 年全球新能源汽车市场碳化硅晶圆需求量为 18、36、73、112 万片；2023-2026 年全球新能源汽车市场碳化硅衬底需求量为 32、62、121、172 万片。

④**2024 年，我们认为碳化硅产业化进展会随着高压快充趋势及碳化硅产业链降本而加速。**高压快充是电车的大势所趋，未来会逐渐下沉到更低区间的价格带，高压快充背景下，电车对碳化硅需求的迫切性预计对应进一步提高。另一方面，随着产能的逐步释放、8 英寸量产的不断成熟、碳化硅长晶及加工工艺的不断改进、进而碳化硅行业良率的提升，尤其是在国产厂商纷纷入局后，可能会进一步加速碳化硅的降本。我们认为 2024 年碳化硅产业化进展会随着高压快充趋势及碳化硅产业链降本而加速，关注碳化硅产业链降本进展、800V 新车放量进展、国内上游材料衬底/外延厂商出货情况、国内下游器件/模块厂商上车验证进展。

④**风险提示：**高压快充渗透率不及预期；碳化硅在车端、桩端渗透不及预期；国产化进度不及预期；扩产进程不及预期；价格战风险；此外文中提及的上市公司旨在说明行业发展情况，不构成推荐覆盖。

## 内容目录

1. 碳化硅：第三代半导体，物理性能优势明显.....	4
2. 碳化硅产业链包括上游衬底和外延、中游器件、下游应用.....	5
2.1. 碳化硅晶片分为半绝缘型和半导电型，分别应用到不同的应用场景.....	7
2.2. 碳化硅外延是碳化硅器件必不可少的环节，对器件性能影响极大.....	8
2.3. 碳化硅器件的主流形态包括二极管及晶体管两大类.....	10
3. 下游新能源发展加速了碳化硅的产业化进程.....	11
3.1. 半绝缘型碳化硅主要用在射频器件，面向通信基站及雷达应用.....	11
3.2. 半导电型碳化硅主要用在功率器件，新能源是主要市场.....	12
3.2.1. 新能源汽车是未来碳化硅应用的主要驱动力，尤其是高压快充趋势.....	13
3.2.2. 光伏市场逆变器的应用中也具有较大前景.....	19
3.2.3. 工业电源、轨道交通及其他应用.....	20
4. 成本提高与性能提升之间的平衡关系是碳化硅产业化的核心.....	20
4.1. 成本是当下制约碳化硅加速产业化的关键因素.....	20
4.2. 关注产业降本节奏，衬底降本快于器件.....	22
4.3. 2023 年国内碳化硅产业回顾：繁荣与挑战并存.....	24
4.4. 2024 年碳化硅产业化展望：高压快充与降本加速的双重驱动.....	26
5. 风险提示.....	27

## 图表目录

图 1： 钻石和莫桑石.....	4
图 2： 特斯拉 Model Y 主驱逆变器采用碳化硅 MOSFET.....	4
图 3： 碳化硅产业链.....	6
图 4： SiC 功率器件成本构成.....	6
图 5： Si 功率器件成本构成.....	6
图 6： 衬底和外延是产业链价值量最大的两个环节.....	6
图 7： 2021 年碳化硅下游市场应用构成.....	8
图 8： 碳化硅根据电学性能不同分为半绝缘型和半导电型.....	8
图 9： 碳化硅晶体的堆垛次序.....	9
图 10： 导电型碳化硅外延示意图.....	9
图 11： 碳化硅材料及器件的主要形式划分.....	9
图 12： 碳化硅二极管的主要结构主要包含 SBD、JBS 及 PiN 二极管三类.....	10
图 13： 不同类型 SiC MOSFET 对比.....	10
图 14： 碳化硅功率器件市场规模.....	11
图 15： 氮化镓射频器件市场规模.....	11
图 16： 中压范围是碳化硅的重点发展方向.....	12
图 17： 碳化硅器件应用场景市场规模预测（单位：亿美元）.....	13
图 18： SiC 有望在新能源车的多个子系统中得到应用.....	14
图 19： SiC MOSFET 与 Si IGBT 在新能源汽车上的应用.....	14
图 20： 采用 SiC 器件替代 Si IGBT 配合 450V 直流母线电压，逆变器效率有望提高 5%.....	15
图 21： 采用 SiC 的逆变器将带来被动元件体积的下降，带来逆变器整体体积的明显降低.....	15
图 22： 采用 SiC 二极管替代 Si 二极管有望使效率提升 0.3%.....	19
图 23： SiC MOSFET 可以改善光伏逆变器性能.....	19
图 24： 工业级 1200V20A-40A 碳化硅二极管价格变化（单位：元/A）.....	20

图 25: 碳化硅衬底生产流程.....	22
图 26: 8 英寸衬底将提高晶圆利用率.....	23
图 27: 8 英寸衬底成本将会显著降低.....	23
图 28: 住友 MPZ (多参数和区域控制) 溶液生长技术.....	24
图 29: 国产 SiC 二极管报价 (单位: 元/A) .....	26
表 1: 碳化硅材料相比硅材料具备多种优势.....	5
表 2: 碳化硅器件相比硅基器件性能优越.....	13
表 3: Si\Ga\SiC-MOSFET 以及 Si-IGBT 对应的工作环境.....	14
表 4: 配备 SiC MOSFET 的车载 OBC 有望助力系统实现更高效率.....	15
表 5: 碳化硅在新能源汽车上的应用.....	15
表 6: 应用碳化硅的新能源车型.....	16
表 7: 新能源汽车市场碳化硅市场规模预测.....	18
表 8: SiC MOSFET 和 Si IGBT 成本对比.....	21
表 9: 不同切割工艺的差异.....	22
表 10: 国内碳化硅企业扩产进展.....	24

## 1. 碳化硅：第三代半导体，物理性能优势明显

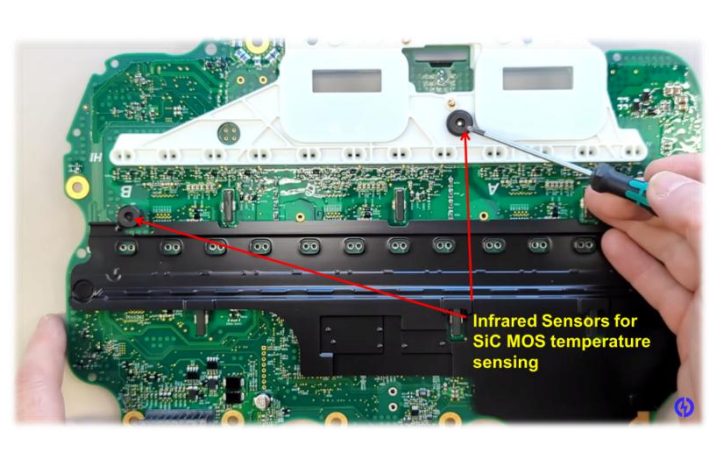
纵观半导体材料发展历史，碳化硅并不是新鲜概念。碳化硅作为材料已有百年历史，商业化也已超过 30 多年。1824 年，瑞典科学家（Berzelius）在人工合成金刚石的实验中意外发现了碳化硅这一物质，其硬度比钻石小但光彩更亮；1893 年，科学家亨利·莫桑在陨石中发现了天然的碳化硅，这种矿物被命名为莫桑石，并因此获得了 1904 年的诺贝尔化学奖；1955 年，LELY 提出生长高品质碳化硅的方法，从此将碳化硅作为重要的电子材料；1987 年，科锐第一个实现了碳化硅的商用，制造了出世界上第一块商用碳化硅衬底，并把它应用在 LED 领域；2001 年，英飞凌和科锐分别推出首款小型碳化硅肖特基二极管；2011 年，科锐推出首款商用碳化硅功率 MOSFET。而碳化硅被正式引爆获得广泛关注的是 2018 年，马斯克首次宣布在特斯拉 Model 3 的主驱逆变器里使用碳化硅 MOSFET 以替代传统的硅基 IGBT，奠定了碳化硅“上车”的里程碑。此后，比亚迪、小鹏、吉利纷纷效仿，开始布局碳化硅器件。

图 1：钻石和莫桑石



资料来源：酷玩实验室，华宝证券研究创新部

图 2：特斯拉 Model Y 主驱逆变器采用碳化硅 MOSFET



资料来源：瞻芯电子，华宝证券研究创新部

碳化硅被誉为第三代半导体，具有耐高温、耐高压、体积小、拥有更高热导率的性能优势。第一代半导体材料以硅和锗为元素半导体为代表，具有低压、低频、低功率的光电性能，可以用来生产传统的 CPU、GPU、MCU 等等，90% 以上的半导体产品都是用硅基材料制作的；第二代半导体材料一般是磷化铟、砷化镓，砷化镓材料的电子迁移率约是硅的 6 倍，具有直接带隙，因此更具有高频、高速的光电性能，主要用来生产射频器件、光模块、LED、激光器、探测器、传感器等微电子和光电子器件，是制作半导体发光二极管和通信器件的关键衬底材料。第三代半导体是指以碳化硅、氮化镓为代表的宽禁带半导体材料，与前两代半导体材料相比，第三代半导体材料禁带宽度大，具有击穿电场高、热导率高、电子饱和速率高、抗辐射能力强等优势，因此采用第三代半导体材料制备的半导体器件不仅能在更高的温度下稳定运行，适用于高电压、高频率场景，此外还能以较少的电能消耗，获得更高的运行能力。其优势具体体现在：

- 1) **高电子迁移率，实现高频开关。**电子饱和漂移速率指电子在半导体材料中的最大定向移动速度，决定器件的开关频率。碳化硅材料的电子饱和漂移速率是硅基的 2 倍，有助于提升器件的工作频率；
- 2) **高临界击穿电场，耐高压。**击穿电场强度大，是硅的 10 倍，用碳化硅制备器件可以极大地提高耐压容量、工作频率和电流密度，并大大降低器件的导通损耗高临界击穿电场的特性使其能够将 MOSFET 带入高压领域，克服 IGBT 在开关过程中的拖尾电流问题，降低开关损耗和整车能耗，减少无源器件如电容、电感等的使用，从而减少

系统体积和重量；

- 3) **更大禁带宽度，耐高温。**更大的禁带宽度可以保证材料在高温下，电子不易发生跃迁，本征激发弱，从而耐受更高的工作温度。碳化硅的禁带宽度约为硅的 3 倍，硅器件的极限工作温度一般不能超过 300°C，而碳化硅器件的极限工作温度可以达到 600°C 以上，高热导率也将带来功率密度的提升和热量的更易释放，冷却部件可小型化，有利于系统的小型化和轻量化；
- 4) **更小的面积，更小的能量损耗，实现高功率。**碳化硅器件具备更小的能量损耗，能够提供较高的电流密度。在相同功率等级下，碳化硅功率模块的体积显著小于硅基模块，有助于提升系统的功率密度。

表 1：碳化硅材料相比硅材料具备多种优势

特征	硅基	4H-碳化硅	GaAs	GaN	备注
禁带宽度: $E_G(\text{eV})$	1.12	3.26	1.43	3.5	禁带宽度越大，耐高电压和高温性能越好
电子迁移率: $\mu_N(\text{cm}^2/\text{Vs})$	1400	900	8500	1250	电子迁移率越高，电阻率越小
空穴迁移率: $\mu_P(\text{cm}^2)$	600	100	400	200	
击穿电场: $E_B(\text{V/cm}) * 10^6$	0.3	3	0.4	3	击穿电场越高越耐高压
导热系数( $\text{W/cm}^\circ \text{C}$ )	1.5	4.9	0.5	1.3	导热系数越高，工作温度上限越高
饱和漂移速度: $V_s(\text{cm/s}) * 10^7$	1	2.7	2	2.7	高电子饱和漂移速度与低介电常数的
相对介电常数: $\epsilon_s$	11.8	9.7	12.8	9.5	半导体材料具有更高的频率特性
p.n 控制	O	O	O	$\Delta$	是否可控制导电/半绝缘
热氧化层	O	O	X	X	

资料来源：Rohm，瀚天天成招股说明书，华宝证券研究创新部

注：目前商业化的只有 4H-SiC 和 6H-SiC 两种，由于 4H-SiC 有着比 6H-SiC 更高的载流子迁移率，故而使之成为 SiC 基功率器件的首选使用材料

## 2. 碳化硅产业链包括上游衬底和外延、中游器件、下游应用

以碳化硅材料为衬底的产业链主要包括碳化硅衬底材料的制备、外延层的生长、器件制造以及下游应用市场。从工艺流程上看，碳化硅一般是先被制作成晶圆，然后经过切片、打磨、抛光得到碳化硅衬底；衬底上生长单晶外延材料。外延片经过光刻、刻蚀、离子注入、沉积等步骤制造成碳化硅功率器件和碳化硅射频器件。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。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/768065066073006025>