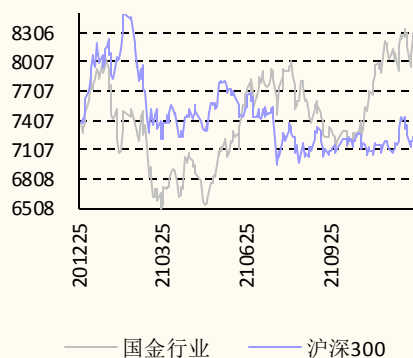


## 市场数据(人民币)

市场优化平均市盈率	18.90
国金电子指数	8238
沪深300指数	4921
上证指数	3618
深证成指	14710
中小板综指	14199



## 相关报告

- 《21年折叠屏在1千美元以上机型渗透率达10%》，2021.12.23
- 《Q2溢价延续但H2收窄，龙头盈利锚能抬升》，2021.4.26

**樊志远** 分析师 SAC 执业编号: S1130518070003  
(8621)61038318  
fanzhiyuan@gjzq.com.cn

**刘妍雪** 分析师 SAC 执业编号: S1130520090004  
liuyanxue@gjzq.com.cn

**邓小路** 分析师 SAC 执业编号: S1130520080003  
dengxiaolu@gjzq.com.cn

## 800V 时代到来，碳化硅迎来甜蜜时刻

## 投资建议

- 目前电动汽车电压平台主流是 400-500V，存在里程焦虑及充电速度慢的问题，电动汽车 800V 高压系统+超级快充，可以实现充电 10 分钟，续航 300 公里以上，能有效解决解决充电及续航焦虑，有望成为主流趋势。SiC 材料特性使得 MOSFET 结构轻松覆盖 650V-3300V，导通损耗小；同时，90% 的行车工况是在主驱电机额定功率 30% 以内，处于碳化硅的高效区；另外，SiC 主驱使得电源频率和电机转速增加，相同功率下转矩减小，体积减小；主驱控制器用 SiC MOSFET 的 800V 平台车型总体节能 5%-10%。SiC MOSFET 是 800V 高压系统功率半导体的较佳选择，目前已发布或即将发布的 800V 高压系统方案大部分都选择采用 SiC MOSFET。对于超级快充，最好的办法是采用 800V 的平台，用 800V 的超级快充时，要求充电桩电源模块的功率要扩容到 40kW/60kW，全 SiC 的方案效率则可以提高 2%。800V 高压系统将带动主驱逆变器、车载 OBC、DC-DC、PDU、超充、快充电桩开始大规模应用碳化硅，碳化硅迎来甜蜜时刻。Yole 预测，2026 年整个碳化硅功率器件的市场规模有望达到 50 亿美元，其中 60% 以上用于新能源汽车领域。

## 行业观点

- 800V 高电压系统，碳化硅深度受益。** 功率器件是电动汽车逆变器的核心能量转换单元，如果直流母线电压提升到 800V 以上，那么对应的功率器件耐压则需要提高到 1200V 左右。SiC 具有高耐压特性，在 1200V 的耐压下阻抗远低于 Si，对应的导通损耗会相应降低，同时由于 SiC 可以在 1200V 耐压下选择 MOSFET 封装，可以大幅降低开关损耗，全球碳化硅龙头 Wolfspeed，1200V 碳化硅导通电阻控制在  $3m\Omega \cdot cm^2$  左右。根据 ST 数据，碳化硅器件损耗大幅低于 Si 基 IGBT，在常用的 25% 的负载下，碳化硅器件损耗低于 IGBT 80%，在 1200V 时优势更加明显。根据英飞凌、福特、奔驰、现代等公司研究数据，SiC 应用于 800V 系统，可整体节能 5-10%。
- 车载 OBC、DC-DC、PDU、充电桩、高铁轨交开始大规模应用碳化硅。** 车载 OBC 从 Si 器件转到 SiC 器件设计，功率器件和栅极驱动的数量减少 30% 以上，开关频率提高一倍以上。降低了功率转换系统的组件尺寸、重量和成本，同时提高了运行效率，系统效率可提升 1.5%~2.0%。800V 系统车型，车上需要加装大功率升压模块，进而在普通的充电桩上给动力电池进行直流快充，碳化硅具有耐高压、耐高温、开关损耗低等优势，碳化硅开始广泛应用。随着超充、快充需求的增加，全碳化硅模块开始在充电桩上大量采用，根据产业链调研，800V 架构的高性能充电桩大部分采用全碳化硅模块。中国公共充电桩快速发展，2021 年 1-8 月新增量同比上涨 322%。根据西门子研究数据，碳化硅应用于轨交，电机噪音总体上有所降低，而且能源消耗大约减少了 10%，碳化硅将有望在整个欧洲轨交上推广使用，日本的新干线开始大量应用碳化硅，中国已有 8 条地铁采用碳化硅。Yole 预测，2026 年整个碳化硅功率器件市场规模有望达到 50 亿美元，其中 60% 以上用于新能源汽车领域。
- 推荐组合：三安光电、斯达半导、时代电气、闻泰科技、天岳先进。**

## 风险提示

- 800V 系统渗透率不达预期，SiC 成本居高不下，充电桩发展低于预期。

## 内容目录

一、800V 高压系统时代到来，碳化硅深度受益.....	4
1.1 碳化硅具有低导通损耗、低开关损耗优势.....	4
1.2 碳化硅有望在 800V 系统中大显身手.....	5
二、800V 电驱采用碳化硅，整车可节能 5-10%.....	9
2.1 轻载、低速工况下，碳化硅优势更佳.....	9
2.2 蔚来、小鹏发布 800V+碳化硅车型，优势明显.....	11
2.3 多家汽车品牌采用 800V+碳化硅方案.....	14
三、车载 OBC、DC-DC、PDU 开始大规模应用碳化硅.....	15
四、充电桩向大功率方向发展，全碳化硅模块用量增加.....	18
五、全球轨交逐渐推广碳化硅技术.....	19
六、全球碳化硅公司大举扩产，强化合作，迎接需求大时代.....	20
七、看好行业细分龙头.....	22
7.1 投资建议.....	23
7.2 风险提示.....	23

## 图表目录

图表 1：碳化硅具有低导通损耗及低开关损耗优势.....	4
图表 2：SiC 器件在电动汽车中的应用.....	4
图表 3：SiC 在电动汽车应用中的优势.....	4
图表 4：碳化硅在电动汽车中的应用.....	5
图表 5：海外碳化硅厂商导通电阻指标控制情况.....	6
图表 6：电压压摆率 (dv/dt) 对逆变损耗的影响.....	6
图表 7：Si / SiC 逆变系统不同输出功率下的损耗.....	7
图表 8：800 V SiC 相对于 800 V Si 解决方案的优势.....	7
图表 9：SiC MOSFET 与 IGBT 损耗对比.....	7
图表 10：不同输出功率下 SiC 和 Si 损耗变化趋势.....	8
图表 11：损耗开关频率之间的关系.....	8
图表 12：纯电动汽车综合工况下的能量损耗分布 (Nissan-Leaf).....	9
图表 13：20KW/H 的续航里程比较.....	10
图表 14：碳化硅模块与 Si 模块损耗对比.....	10
图表 15：1200VCool SiC 的节能效果.....	11
图表 16：英飞凌车载的全碳化硅模块.....	11
图表 17：蔚来 ET7 碳化硅模块.....	12
图表 18：Si 基 IGBT 与 SiC MOSFET 开通及关断损耗指标对比.....	12
图表 19：蔚来 ET7 碳化硅模块损耗情况.....	13
图表 20：小鹏 G9 800V 高压 SiC 平台及 480KW 高压超充电桩.....	14

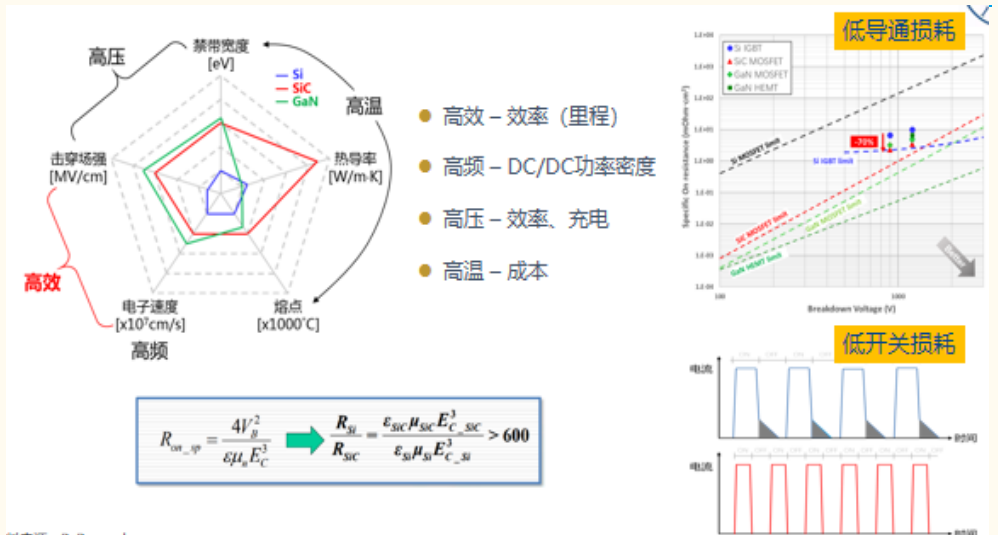
图表 21：碳化硅在各领域的应用时间表及在新能源车碳化硅应用情况.....	15
图表 22：全球已确定采用 SiC 功率器件的汽车品牌.....	15
图表 23：OBC 相关的车型、电池尺寸、充电时间和竞争性技术的比较.....	16
图表 24：碳化硅器件可提升 OBC 效率与功率密度 .....	16
图表 25：22kW 双向 OBC: Si vs SiC .....	17
图表 26：采用 SiC 与 Si 的 22kW 双向 OBC 系统成本明细比较.....	18
图表 27：主要电动汽车车型的最大充电功率.....	19
图表 28：2021 年 8 月公共充电桩整体情况 .....	19
图表 29：国内地铁采用碳化硅技术概况.....	20
图表 30：全球碳化硅半导体公司正在建立阵营.....	22
图表 31：预测 2026 年碳化硅市场将达到 50 亿美元.....	22
图表 32：全球碳化硅产业链主要公司 .....	23

## 一、800V 高压系统时代到来，碳化硅深度受益

### 1.1 碳化硅具有低导通损耗、低开关损耗优势

- 相对于 Si 基 IGBT，碳化硅具有低导通损耗、低开关损耗，应用于 800V 高压平台的电动汽车，可以充分体现快充、节能的优势。

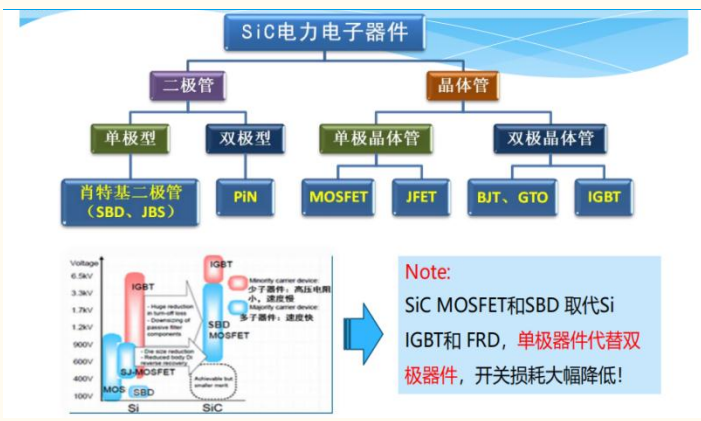
图表 1：碳化硅具有低导通损耗及低开关损耗优势



来源：宽禁带半导体、国金证券研究所

- 在车用方面，SiC MOSFET 在性能方面明显占优，可以降低损耗，减小模块体积重量，IGBT 在可靠性、鲁棒性方面占优。碳化硅器件应用于车载充电系统和电源转换系统，能够有效降低开关损耗、提高极限工作温度、提升系统效率。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；碳化硅器件应用于新能源汽车充电桩，可以减小充电桩体积，提高充电速度。

图表 2：SiC 器件在电动汽车中的应用



来源：旺材电动车、国金证券研究所

图表 3：SiC 在电动汽车应用中的优势

- 1200V SiC 模块应用于主驱逆变部分，可以有效降低损耗，减小体积重量，适应未来高压化的趋势。



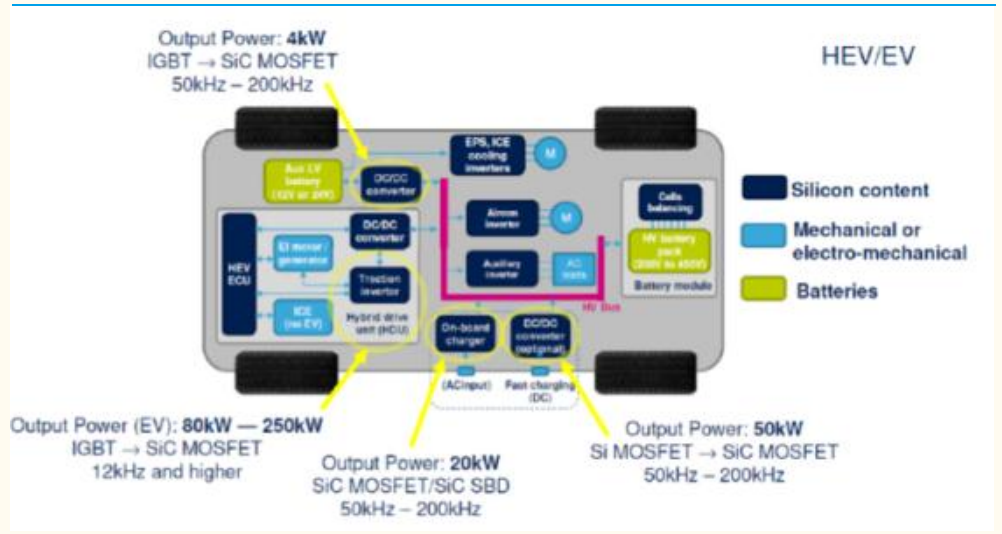
在电动汽车高压部分，如 OBC、PTC 及空调压缩机，DC/DC 变换，同样对 1200V 系列 SiC 分立器件具有应用需求。

来源：旺材电动车、国金证券研究所

- 碳化硅在新能源汽车中主要应用于 DC/DC 直流变压器、DC/DC 升压器、OBC 车载充电器以及动力电机控制器。



图表 4: 碳化硅在电动汽车中的应用

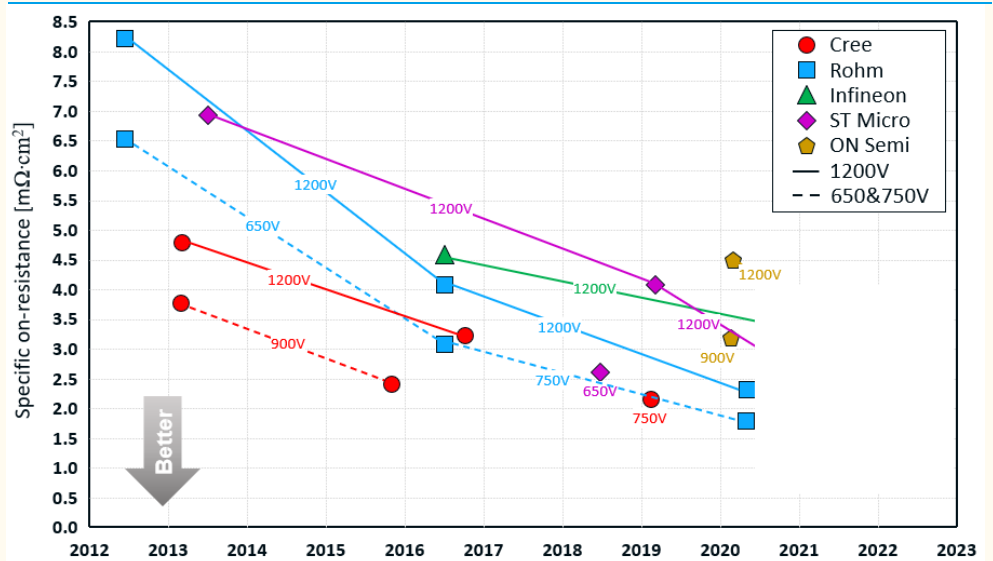


来源: ST、国金证券研究所

### 1.2 碳化硅有望在 800V 系统中大显身手

- **SiC 由于其高耐压的特性，在 1200V 的耐压下阻抗远低于 Si。**从 400V 提升到 800V，意味着电动汽车所有的高压元器件及管理系统都要提高标准，首当其冲的就是逆变器。功率器件是电动汽车逆变器的核心能量转换单元，目前，传统 IGBT 通常适应的高压平台在 600-700V 左右，如果直流母线电压提升到 800V 以上，那么对应的功率器件耐压则需要提高到 1200V 左右。SiC 由于其高耐压的特性，在 1200V 的耐压下阻抗远低于 Si，对应的导通损耗会相应降低，同时由于 SiC 可以在 1200V 耐压下选择 MOSFET 封装，可以大幅降低开关损耗，这将大幅提高功率器件的效率。
- **全球最高水平，1200V 碳化硅导通电阻控制在  $3\text{m}\Omega \cdot \text{cm}^2$  以下。**作为为全球碳化硅龙头，Wolf speed 在电阻率指标控制方面表现优异，750V 碳化硅导通电阻控制在  $2\text{m}\Omega \cdot \text{cm}^2$  左右，900V 碳化硅导通电阻控制在  $2.5\text{m}\Omega \cdot \text{cm}^2$  以下，1200V 碳化硅导通电阻控制在  $3.2\text{m}\Omega \cdot \text{cm}^2$  左右，Rohm 也表现出色，650V 碳化硅导通电阻控制在  $2\text{m}\Omega \cdot \text{cm}^2$  以下，1200V 碳化硅导通电阻控制在  $3\text{m}\Omega \cdot \text{cm}^2$  以下。

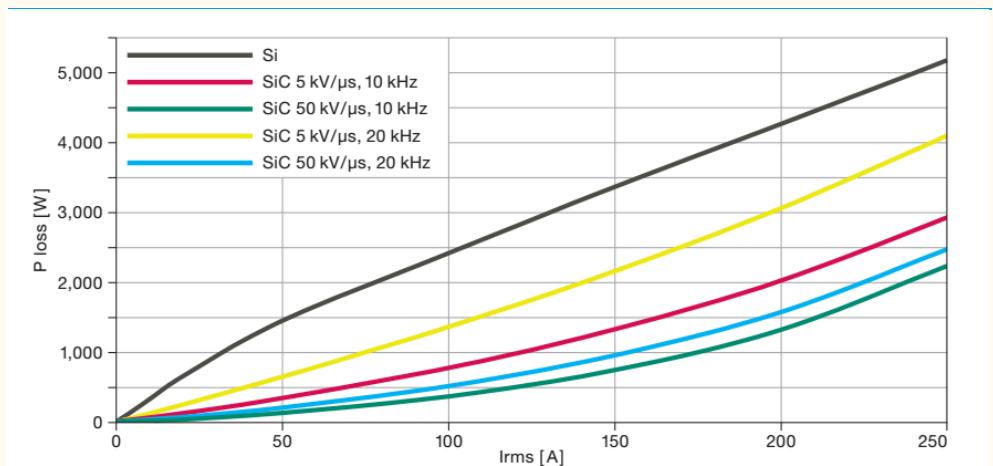
图表 5: 海外碳化硅厂商导通电阻指标控制情况



来源: Wolfspeed、Rohm、Infineon、ST、ON Semi、国金证券研究所

- 与 Si 逆变相比，SiC 逆变技术的全部潜力基于开关频率和压摆率高 10 倍的可能性。

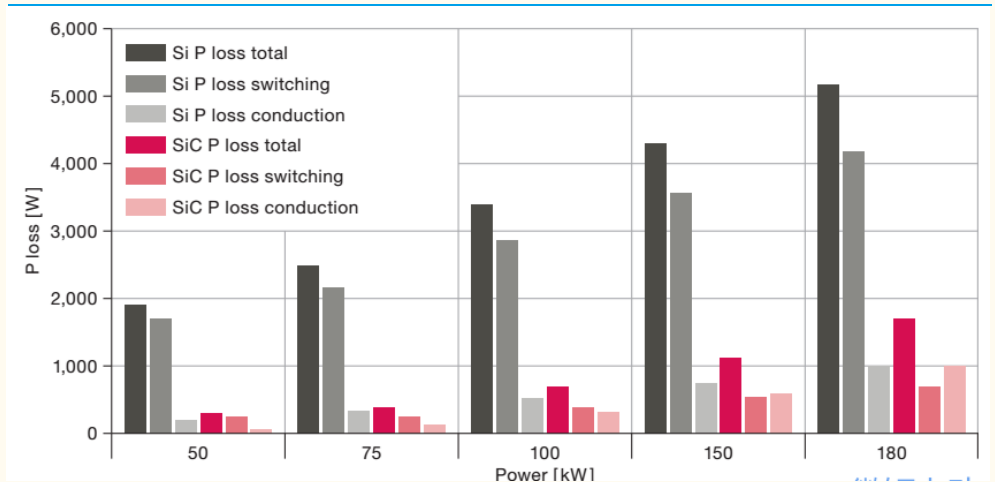
图表 6: 电压压摆率 (dv/dt) 对逆变损耗的影响



来源: 微矩电动、国金证券研究所

- 800V 下 SiC 总功率损耗显著低于 Si。当今最先进的 400 V Si- IGBT 逆变在 8 至 10 kHz 的开关频率下运行。电压压摆率通常高达 5 kV/μs。传统 Si 技术和 SiC 技术在 800V 下的总功率损耗之间存在显著差异。

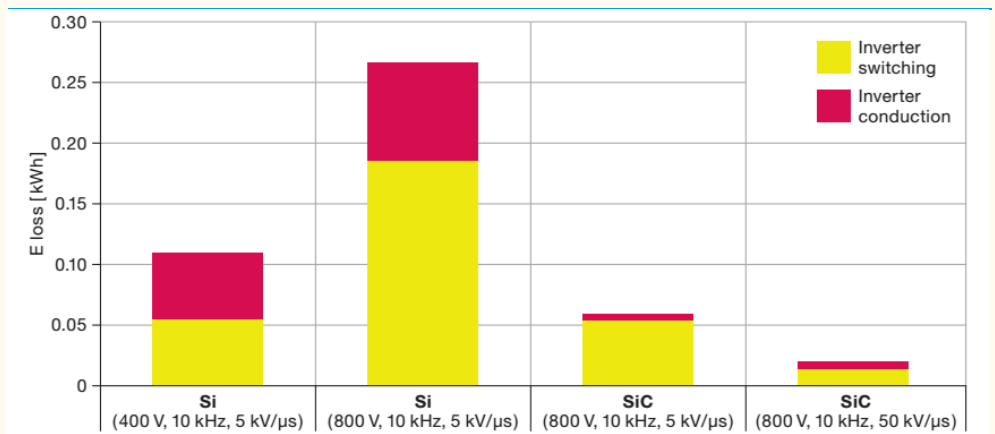
图表 7: Si/SiC 逆变系统不同输出功率下的损耗



来源: 微矩电动、国金证券研究所

- 在 800V, 10kHz, 电压压摆率 50kV/μs 条件下, SiC 逆变器的模块低损耗优势更加明显。

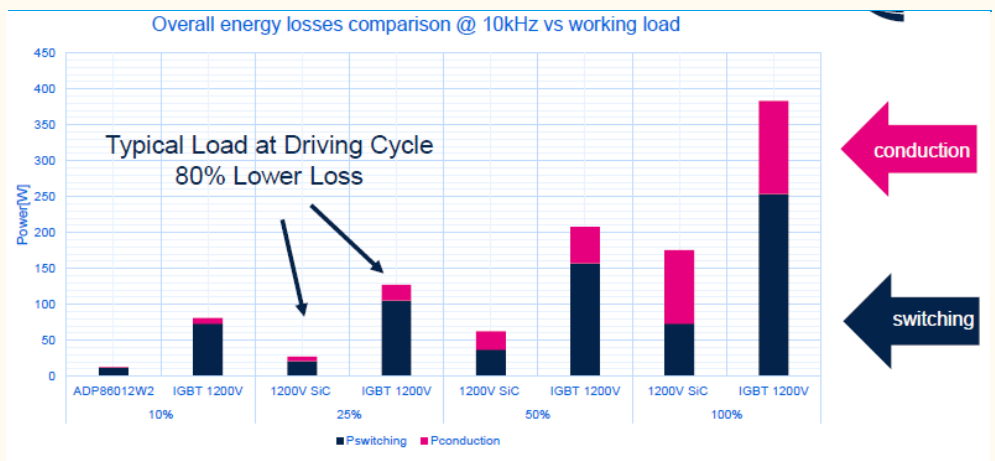
图表 8: 800 V SiC 相对于 800 V Si 解决方案的优势



来源: 微矩电动、国金证券研究所

- 根据 ST 数据, 碳化硅器件损耗大幅低于 Si 基 IGBT, 在常用的 25% 的负载下, 碳化硅器件损耗低于 IGBT 80%, 碳化硅器件在 1200V 时优势更加明显。

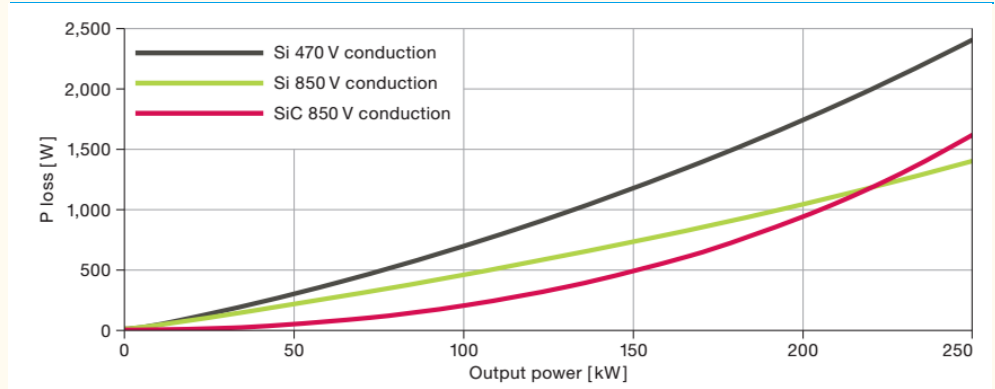
图表 9: SiC MOSFET 与 IGBT 损耗对比



来源：ST、国金证券研究所

- **SiC 可以实现更高的功率密度。**由于导通电阻低，在 SiC 半导体中产生的热损失很低。这允许更高的开关频率，紧凑的封装空间和减少功率模块的冷却能力需求。因此，SiC 半导体比 Si 半导体需要更小的封装空间，可以实现更高的功率密度。
- **轻载时，SiC 低导通损耗对续航提升更加明显。**使用 SiC 技术的 MOSFET 在开关过程中表现出比使用 Si 技术更高的效率。低  $R_{dson}$  的优势是 SiC MOSFET 半导体在 800V 逆变器应用的主要原因。较宽的带隙和较低的表面电阻上较高的击穿电压，允许以较高的压摆率切换高电压，以上这些都是 SiC 的材料优势。由于更低的  $R_{dson}$ ，开关损耗较低，可以应用较高的开关频率，特别是在轻载时，低导通损耗有对工况效率提升更加明显。

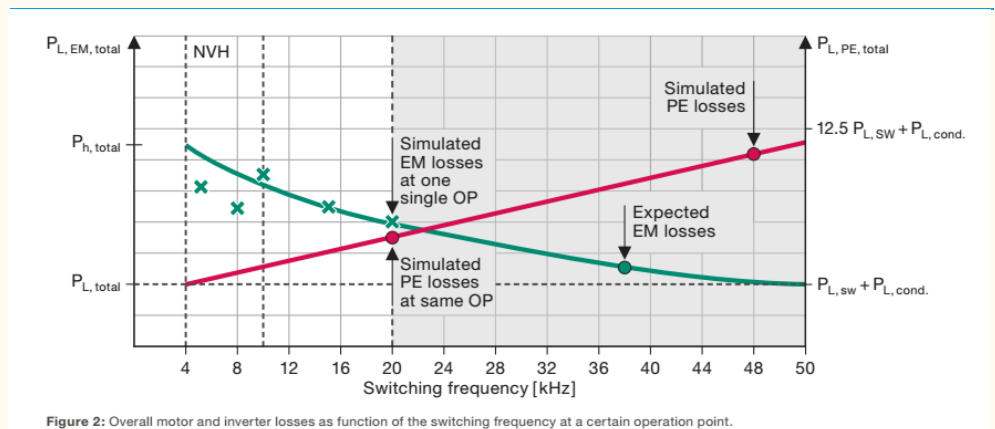
图表 10: 不同输出功率下 SiC 和 Si 损耗变化趋势



来源：微矩电动、国金证券研究所

- 在电机运行期间，逆变器会将电池提供的直流电压转换为快速脉冲电压，从而产生谐波交流（AC）电流，交流电又将产生转子跟随的旋转电磁场。通过这种方式，脉冲电信号逐渐接近均匀正弦波形（40kHz 及更高）的最佳值，高频损耗减小。电流的频谱也会变得“更干净”，从而减少了以发热形式出现的谐波损耗。

图表 11: 损耗开关频率之间的关系



来源：RIO 电驱动、国金证券研究所

注：1、 $P_{L,EM,total}$ ：电机总损耗；2、 $P_{L,PE,total}$ ：逆变器总损耗；绿色代表电机损耗曲线，红色代表逆变器损耗曲线

- **碳化硅在开关状态下比采用硅 IGBT 的当前标准解决方案具有更高的电导率。**在车辆层面，与 Si IGBT 相比，使用 SiC MOSFET 可将 800 V 电压水



平的系统效率提高多达 3%。除了这一优势之外，碳化硅还可以显著提高逆变器输出的电压压摆率  $> 20 \text{ kV}/\mu\text{s}$ （理论上），这是当今的硅半导体解决方案所不能达到的指标。与 Si IGBT 相比，在相同开关频率下的逆变器可以进一步提高 2-4% 的效率。

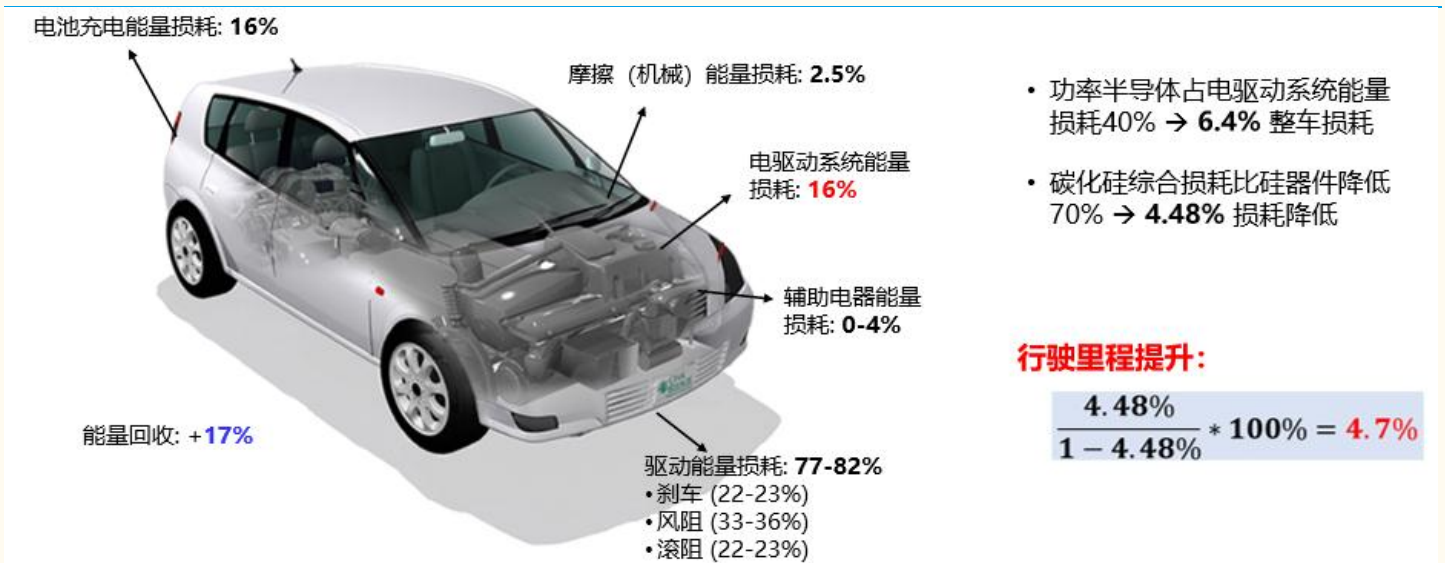
- 总体而言，电动机频率的增加导致效率进一步提高 1-2%。为了减少效率劣势，必须在 EMC 约束允许的情况下将电压压摆率调整为最高。通过使用 SiC 代替 Si 半导体，系统优化在 800 V 的电压水平下总共提高了 6-8% 的效率。为了实现 SiC 技术的效率提升，除了压摆率和开关频率的工作点相关调整之外，还必须软件优化及算法优化进一步提升系统效率。

## 二、800V 电驱采用碳化硅，整车可节能 5-10%

### 2.1 轻载、低速工况下，碳化硅优势更佳

- 电驱采用碳化硅总损耗有效下降。美国能源部对纯电动车 Nissan-Leaf 做了能耗分布，77-82% 能耗消耗在了风阻、刹车、滚阻上面，而电驱能量损耗约 16%，在 16% 里面功率半导体又占其中的 40% 左右，剩下的 60% 是电机的损耗，功率半导体在电控里占整车的能量损耗约为 6.4%，而碳化硅器件的总损耗相比硅器件下降了 70%，采用碳化硅器件，全车总损耗下降约 4.48%。

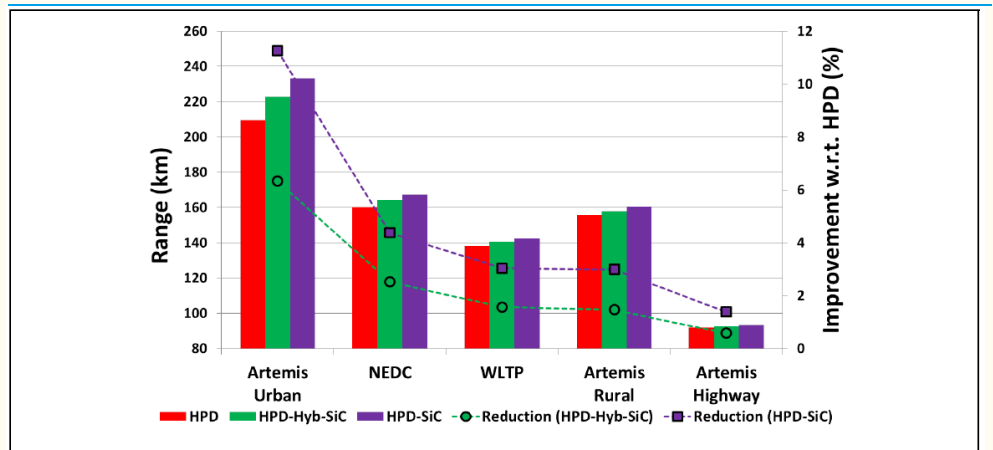
图表 12：纯电动汽车综合工况下的能量损耗分布（Nissan-Leaf）



来源: Energy、国金证券研究所

- 根据英飞凌、Fraunhofer 研究，在城市工况，全碳化硅模块比 Si 基 IGBT 模块多续航 10%。

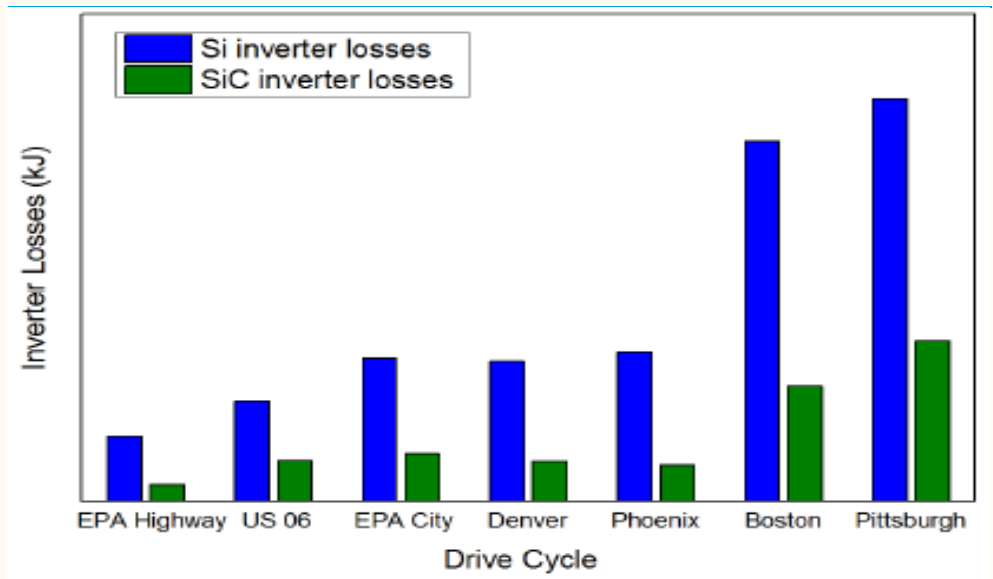
图表 13: 20KW/H 的续航里程比较



来源: 英飞凌、Fraunhofer、国金证券研究所

- 福特研究, 采用碳化硅模块较 Si 模块损耗大幅下降。

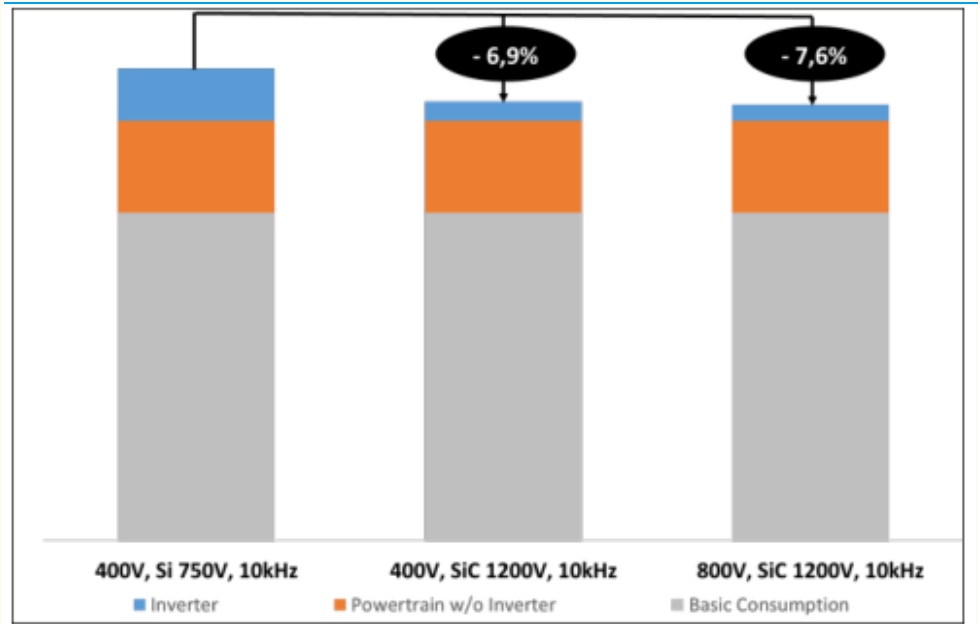
图表 14: 碳化硅模块与 Si 模块损耗对比



来源: 福特、国金证券研究所

- 根据戴姆勒奔驰研究, 采用碳化硅模块, 800V 高压平台, 采用碳化硅模块较 Si 基 IGBT 模块整车降低了 7.6% 的能耗。

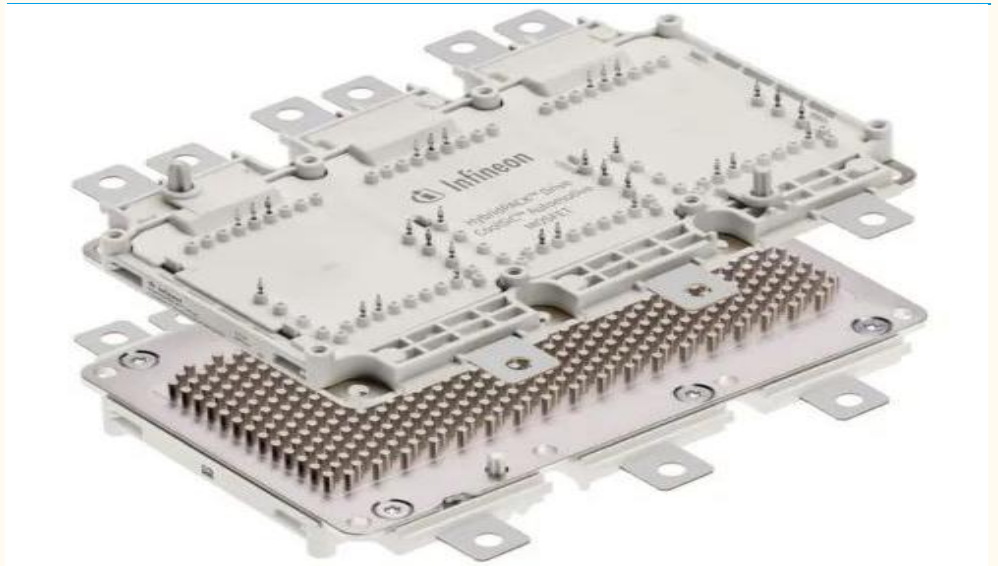
图表 15: 1200V Cool SiC 的节能效果



来源：戴姆勒奔驰、国金证券研究所

- 现代 800V 系统采用英飞凌 SiC 模块续航提升了 5% 以上。现代汽车在支持 800V 快速充电的 E-GMP 的主要装置上，采用了英飞凌的车载全 SiC 模块。通过采用低损耗的 SiC，将车辆的续航里程延长了 5% 以上。首次应用 E-GMP 的电动汽车(EV)是 2021 年 2 月发布的“IONIQ 5”。也就是说，该 EV 采用了英飞凌的车载全 SiC 模块。
- 英飞凌预计，在汽车需求增长的带动下，本财年其碳化硅业务达到 1.7 亿欧元（13.25 亿人民币），营收将翻一番，而英飞凌此前曾预计只增长 70%。

图表 16: 英飞凌车载的全碳化硅模块



来源：碳化硅芯观察、国金证券研究所

## 2.2 蔚来、小鹏发布 800V+碳化硅车型，优势明显

- 800V 系统采用碳化硅模块整体能耗降低 5%~10%。丰田、戴姆勒、福特、蔚来这样的整车厂，其他还有包括电装、英飞凌、罗姆都做了大量的研究，

仿真及实测在不同的工况、不同的车型得到的答案采用都是采用碳化硅模块将硅模块的能耗降低 5%~10%。

- **蔚来 ET7 采用碳化硅模块。** ET7 通过采用碳化硅功率模块 (SiC MOSFET)、减少零部件数量、优化电磁方案、优化减速器速比 (从 9.57 提升到 10.48)、采用扁线绕组等技术, 在功率提升 12.5% 的基础上, 重量依然保持在 88 公斤, 使功率密度超过了 2.04kW/kg, 在国产电驱系统中处于领先地位。

图表 17: 蔚来 ET7 碳化硅模块



来源：电动知士、国金证券研究所

- **蔚来 ET7 续航提升 4%~6%。** 蔚来所采用的碳化硅模块由安森美生产, 位于韩国的晶圆厂生产晶圆, 并在马来西亚进行模块封装。该模块的导通电阻仅 1.7mΩ、热阻 0.1°C/W, 是目前业内性能最优的碳化硅功率模块之一。与传统的硅基 IGBT 模块相比, 该模块在低载的工况下, 也就是我们日常通勤场景中, 导通电压、开通损耗、关断损耗上都有优势, 其中关断损耗要比传统 IGBT 模块要低 2~3 倍。同时, 该模块的开关频率可以达到 50~500kHz, 开关时间可以缩短到 50 纳秒, 比传统的 IGBT 模块快 5~6 倍。基于多重优势, 采用碳化硅模块的蔚来电驱驱动系统的电流能力提升了 30%, 功率提升 20%, 综合工况效率超过 91.5%, 并对续航带来了 4%~6% 的提升。

图表 18: Si 基 IGBT 与 SiC MOSFET 开通及关断损耗指标对比

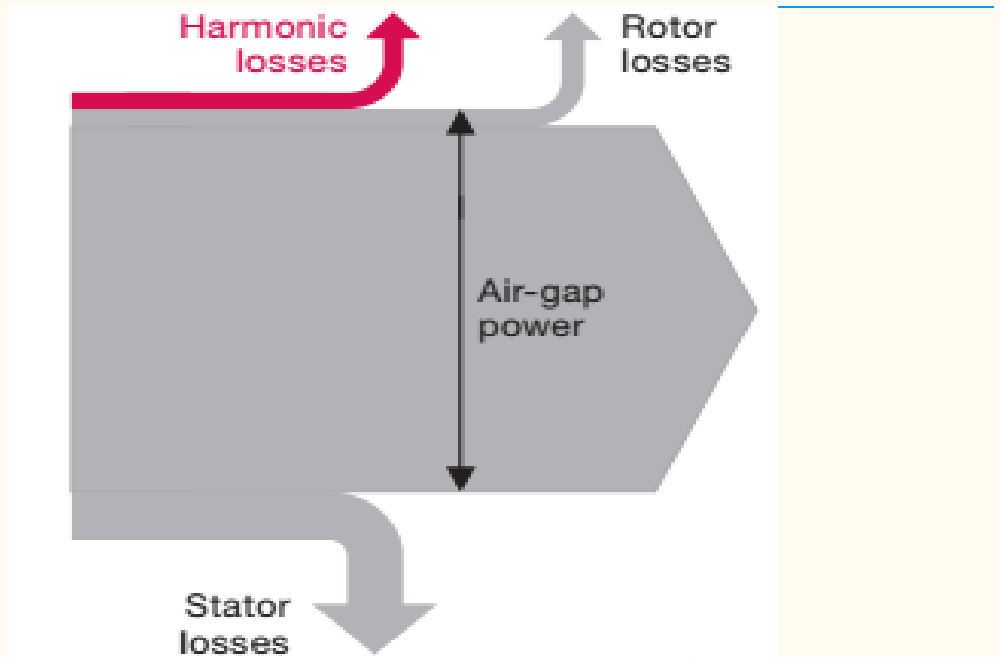


来源：电动知士、国金证券研究所

- **采用碳化硅技术可以降低 800V 电机的谐波损耗。** 通常的功率流(灰色)从输入功率, 通过气隙功率, 到轴上的机械输出功率。定子和后来的转子的功

率损失是通过散热传递的。红色表示的是完全转化为热量而不影响机械功率的谐波输入功率。

图表 19: 蔚来 ET7 碳化硅模块损耗情况



来源: 电动知士、国金证券研究所

- 小鹏 G9 800VSiC 平台，充电 5 分钟续航 200 公里。小鹏 SUV G9，首次采用 800V 高压 SiC 平台，小鹏汽车还将铺设中国首批量产的 480kW 高压超充桩，有望实现充电 5 分钟，续航 200 公里。



图表 20: 小鹏 G9 800V 高压 SiC 平台及 480KW 高压超充电桩

**车辆**


中国首个量产800V高压SiC平台  
充电5分钟 续航200公里

China's first mass-production 800V high-voltage SiC platform  
5 mins of charging, 200km range

**>600A**  
充电峰值电流  
Peak charging current

**>95%**  
电驱最高效率  
Max efficiency

\*第二款车型中搭载, 从小鹏G9车型开始搭载。




---

**桩端**

480kW高压超充电桩  
率先量产铺设

480 kW high-voltage supercharging piles  
First to mass-produce and install

通流能力670A+ | IP67防护能力 | 安全监测芯片 | 轻量化设计  
670A+ flow rate capacity | IP67 protection | Safety monitor chip | Light-weight design

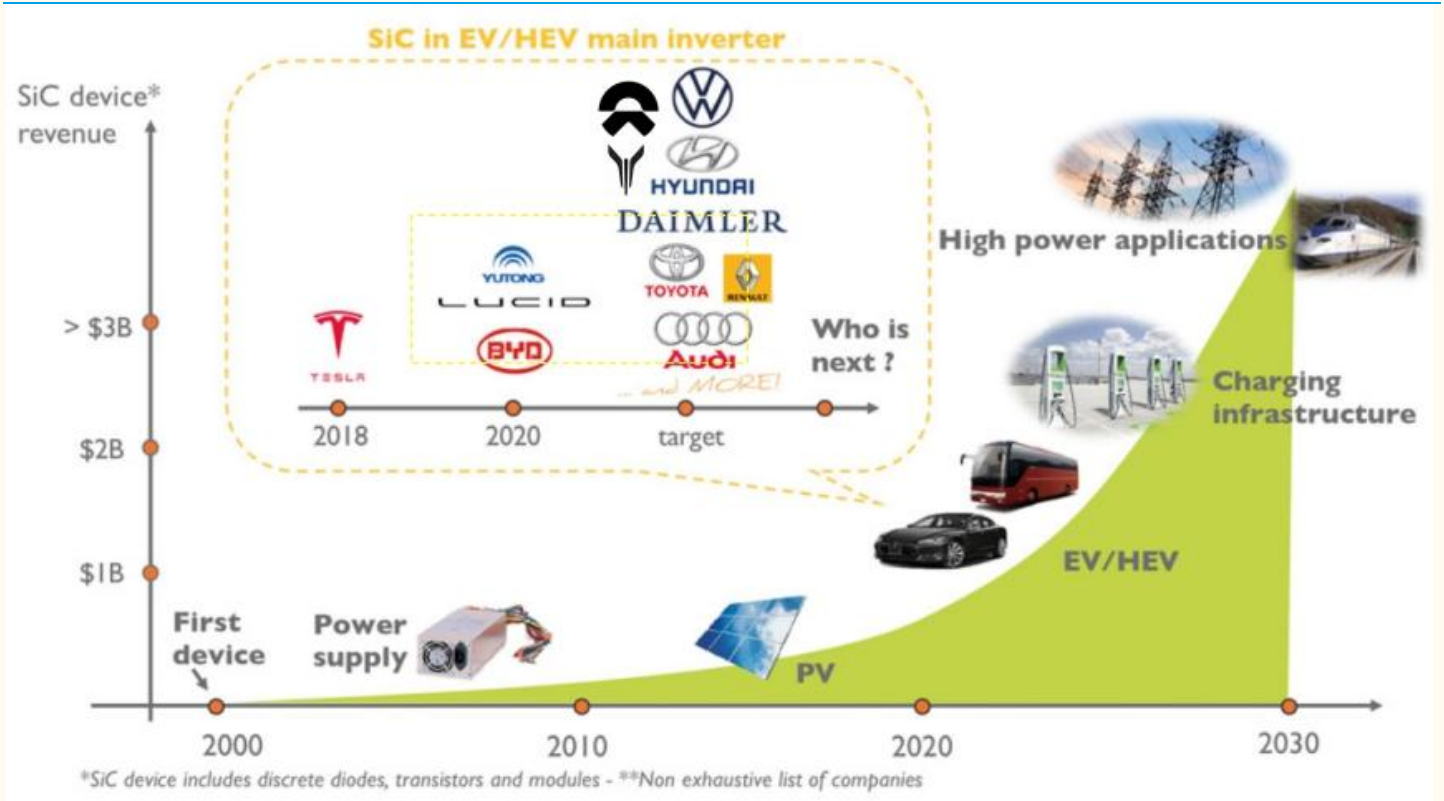


来源: 汽车公社、国金证券研究所

### 2.3 多家汽车品牌采用 800V+碳化硅方案

- **Model3 开创车用碳化硅先河。**2018年, 特斯拉 Model3 逆变器模组上率先采用了 24 颗碳化硅 SiC MOSFET, 该产品由意法半导体提供, 开启了碳化硅电动汽车应用的先河, 比亚迪汉电驱 2020 年也开始采用 SiC MOSFET, 2021 年开始, 电动汽车应用碳化硅呈现大幅增长态势。

图表 21: 碳化硅在各领域的应用时间表及在新能源车碳化硅应用情况



来源: Yole、国金证券研究所

- 根据不完全统计，全球已采用或确定采用 SiC 功率器件的近 30 家汽车品牌，预计 2022 年之后，电动汽车应用碳化硅出现爆发式增长。

图表 22: 全球已确定采用 SiC 功率器件的汽车品牌



来源: Yole、国金证券研究所

### 三、车载 OBC、DC-DC、PDU 开始大规模应用碳化硅

- 车载充电模块开始大规模采用碳化硅。动力电池电压平台升级到 800V，当前的 OBC、DC/DC 及 PDU 等电源产品都需要从 400V 等级提升至符合 800V 电压平台的应用，SiC 器件由于其优异的特性也将开始大规模的应用。

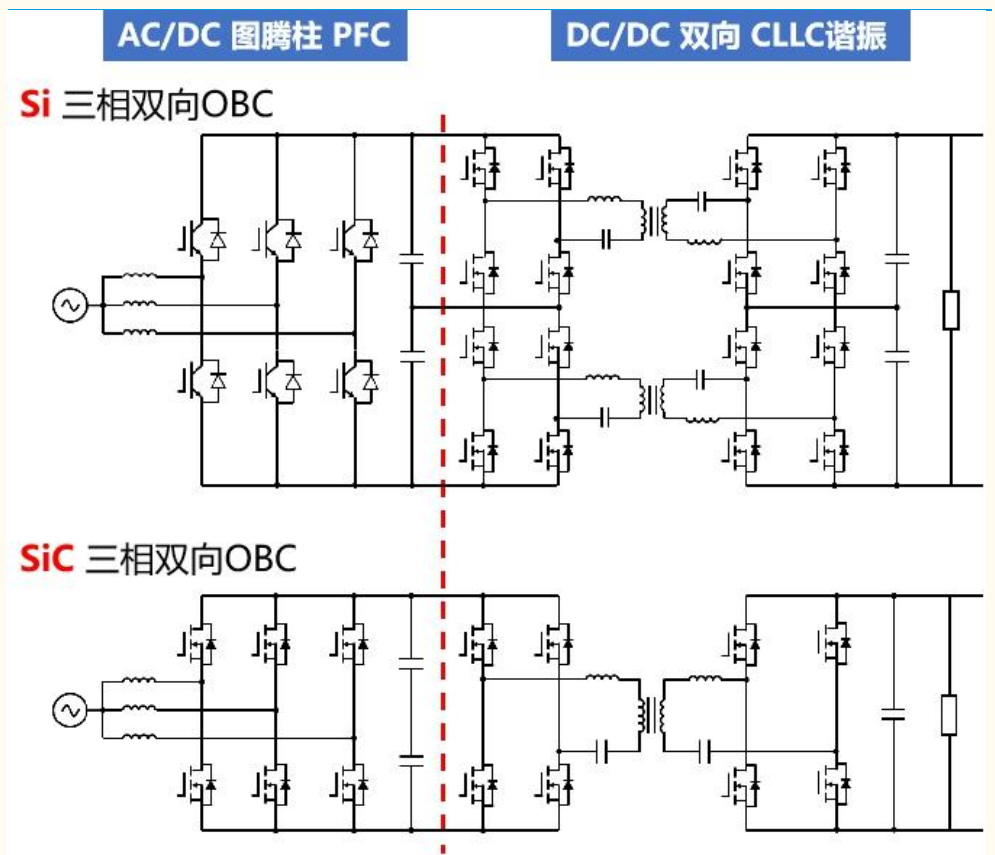
图表 23: OBC 相关的车型、电池尺寸、充电时间和竞争性技术的比较

OBC system design trends				
	3.3kW	6.6kW	11kW	22kW
Vehicle type	HEV / PHEV	commuter car BEV	commuter car/truck BEV	high performance / commercial BEV
Battery size	3 – 20kWh	20 – 80kWh	20 – 100kWh	100 - 300kWh
Typical 0-100% charge time	2.75 hours	7 hours	7.5 hours	9 hours
Competitive technology	1. Si superjunction 2. SiC 3. GaN	1. SiC 2. Si superjunction / IGBT 3. GaN	1. SiC 2. Si IGBT	1. SiC 2. Si IGBT
Key care abouts	1. Power density – smaller, lighter vehicles demand smaller, lighter OBCs. Can we mounted to inverter 2. Cost – proportion of OBC-to-vehicle cost needs to be the same as passenger vehicles 3. Efficiency – people expect motorcycles/scooters to charge extremely fast	1. Cost – economy class EVs require low cost systems to close the price gap with ICE 2. Power density – lightweight and small footprint valuable in compact car 3. Efficiency – further proves the system level advantage through faster and cheaper charges	1. Power density – seeing trends like OBC+DCDC one box designs to maximize power density 2. Efficiency – higher power deliver makes efficiency even more valuable 3. Cost – standard class EVs require low cost systems to close the price gap with ICE	1. Power density – higher performance cars have minimal space but need fast charges 2. Efficiency – higher power deliver makes efficiency even more valuable 3. Cost – fleet commercial vehicles in volume need lowest cost

来源：碳化硅芯观察、国金证券研究所

- **碳化硅器件可提升 OBC 效率与功率密度，降低损耗。** 车载 OBC 采用碳化硅器件，系统效率可提升 1.5% - 2.0%。器件开关频率 x2，减少被动器件体积，提升功率密度（30% - 50%）器件数量减少，简化驱动电路设计，减少驱动芯片使用量，有望降低系统成本。

图表 24: 碳化硅器件可提升 OBC 效率与功率密度



来源：RIO 驱动、国金证券研究所

- **800V 系统车型，车上需要加装大功率升压模块，广泛应用碳化硅。** 直流快充桩原本输出电压等级为 400V，可直接给动力电池充电，但升级为 800V 后充电桩电压不再能够继续充电，因此需要一个额外的升压产品使 400V 电压能够上升到 800V，进而给动力电池进行直流快充。在此技术方案下，



这个器件需要能够满足大功率充电的功率，因此其价值量相比传统 DC/DC 要更大，而电源企业也将充分受益于此升压 DC/DC 产品的配置。高电压对功率器件提出更高要求，碳化硅将借助耐高压、耐高温、开关损耗低等优势在功率器件领域进行广泛应用。

- 以 OBC 举例，从 Si 设计转到 SiC 设计，功率器件和栅极驱动的数量减少 30% 以上，开关频率提高一倍以上。降低了功率转换系统的组件尺寸、重量和成本，同时提高运行效率。

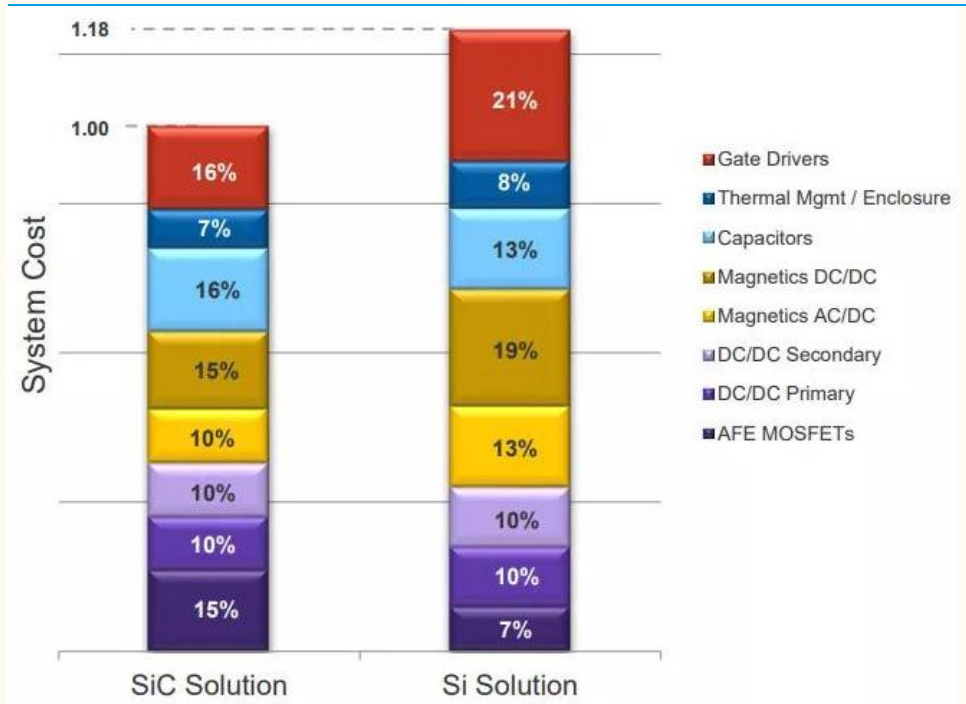
图表 25: 22kW 双向 OBC: Si vs SiC

Si 基		SiC 基	
AC/DC 图腾柱 PFC 规格		AC/DC 图腾柱 PFC 规格	
Vin	90-277 VAC (1-相) 304-504 VAC (3-相)	Vin	90-277 VAC (1-相) 304-504 VAC (3-相)
功率器件	8 × Si IGBT	功率器件	6 × E3M0032120x
Fs	20 kHz	Fs	45 kHz
DC/DC 转换器规格		DC/DC 转换器规格	
Vin (DC Link 电压)	380-425 V	Vin (DC Link 电压)	380-900 V
Vout	480-800 V	Vout	200-800 V
功率器件	16 × 650V Si SJ MOSFET	功率器件	8 × E3M0032120x
Fs	80-120 kHz	Fs	140-250 kHz

来源：碳化硅芯观察、国金证券研究所

- 车载电源产品主要向集成化、高功率化、双向化发展。
- (1) 集成化：通过将 DC/DC、OBC、电机、电控器件等集成可以减少车载电源的占用空间，减少电路板尺寸，降低组装成本以及 BOM 和 PCB 成本。
- (2) 高功率化：随着电动车续航、带电量的提高，10kW、20kW 以上的大功率将成为主流，主要通过三相交流电技术。
- (3) 双向化：双向 DC/DC 具有效率高、体积小、成本低的优点，同时还可将电池电能对外输出，有效提高电能利用率。双向车载充电机可以将电池的电能对外输出，实现车对车、车对负载、车对电网充电。
- 在车载电源系统中使用 SiC MOSFET 能以更高的频率进行开关，功率密度更高，能效更高，EMI 性能得到改善以及系统尺寸减小。同时，再以 22KW OBC 系统举例，再进一步细化成本结构：尽管相比单个 Si 基二极管和功率晶体管，分立式 SiC 基功率器件的成本更高。但从系统角度来说，SiC 器件的性能可减少所需元件的数量，从而降低电路元件成本以满足支持各种功率器件功能的要求。综合测算，SiC 系统比 Si 系统可节约近 20% 的成本。

图表 26: 采用 SiC 与 Si 的 22kW 双向 OBC 系统成本明细比较



来源: 碳化硅芯观察、国金证券研究所

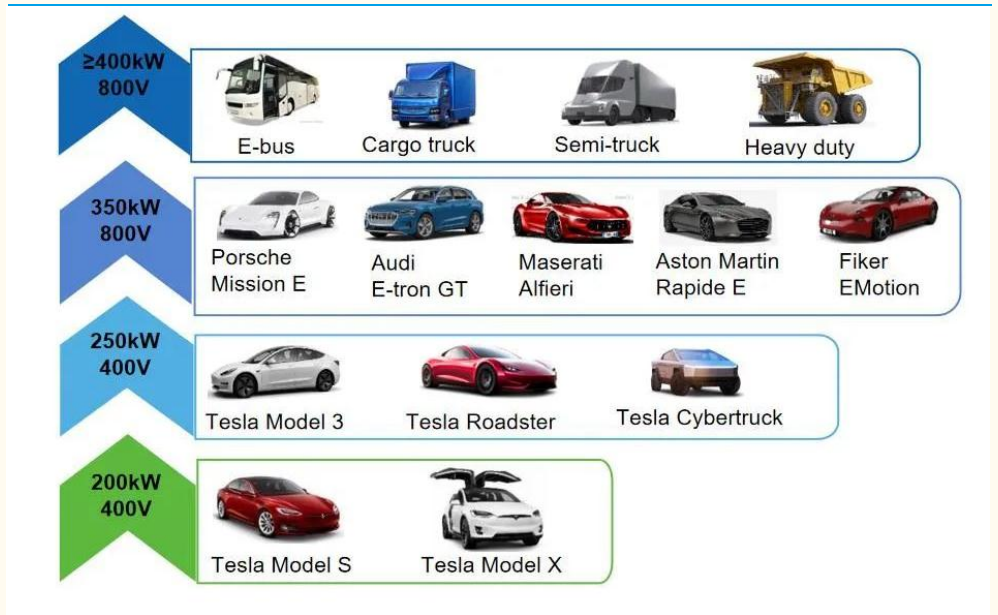
- 除了结构成本节约之外，SiC 系统在 3 kW/L 的功率密度下可实现 97% 的峰值系统效率，而 Si OBC 仅可在 2 kW/L 的功率密度下实现 95% 的效率。

#### 四、充电桩向大功率方向发展，全碳化硅模块用量增加

- 2021 年 8 月，广汽埃安发布了 A480 超级充电桩，电压可达 880V，最高充电功率为 480kW。2021 上海车展上，起亚 EV6 全系车型支持 400V 和 800V 充电，现代 IONIQ 5 最新 800V 高电压平台支持高达 350kW 的超大功率充电，吉利浩瀚架构下首款车型采用 800V 高压系统，东风旗下岚图汽车宣布研发基于超高压平台的超级快充技术。随着超充、快充需求的增加，全碳化硅模块开始在充电桩上大量采用，根据产业链调研，800V 架构的高性能充电桩大部分采用全碳化硅模块。



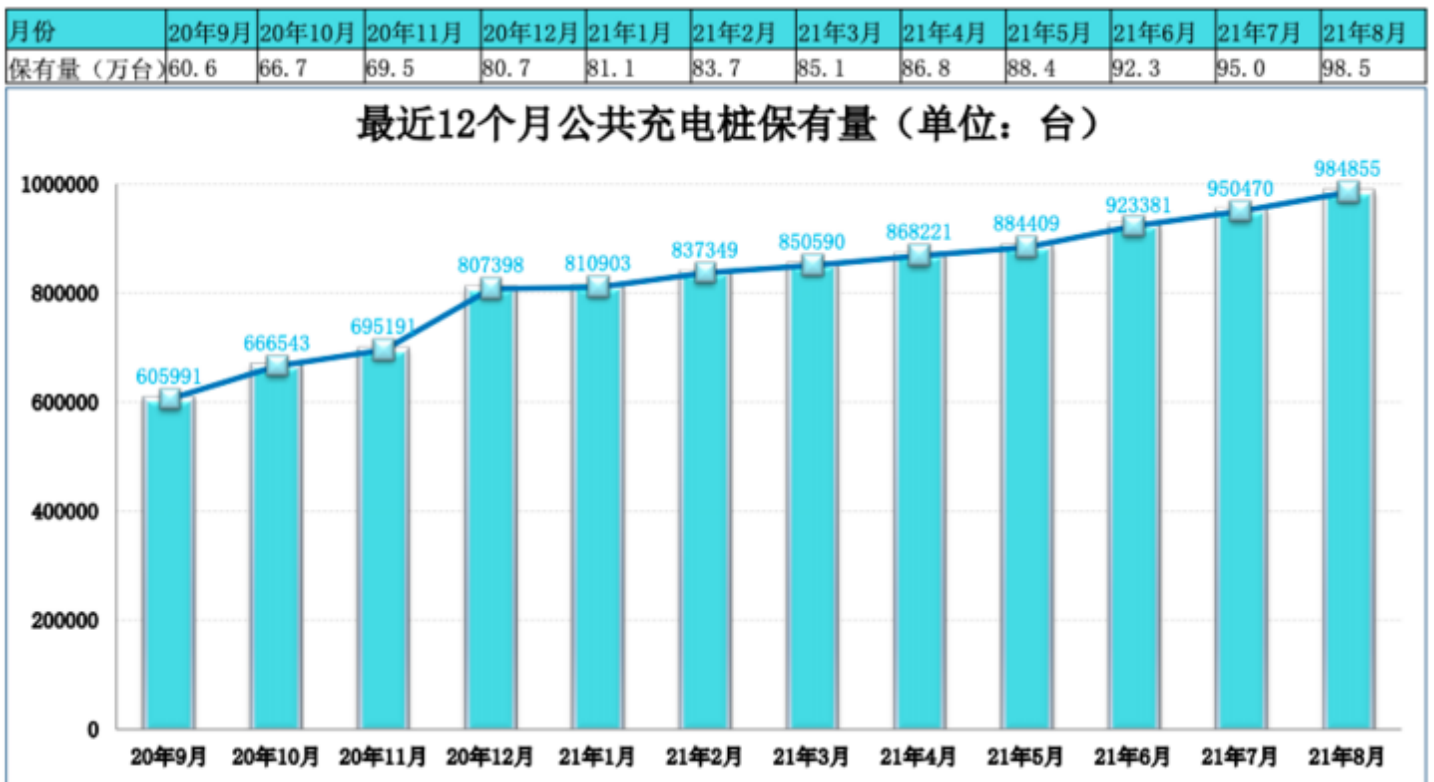
图表 27: 主要电动汽车车型的最大充电功率



来源: 行家产研 Celia、国金证券研究所

- 公共充电桩快速增长。根据中国电动汽车充电基础设施促进联盟 9 月 10 日发布的数据, 2021 年 8 月比 2021 年 7 月公共充电桩增加 3.44 万台, 8 月同比增长 66.4%。1-8 月国内公共充电基础设施增量同比上涨 322%。

图表 28: 2021 年 8 月公共充电桩整体情况



来源: 行家产研 Celia、国金证券研究所

### 五、全球轨交逐渐推广碳化硅技术

- **碳化硅技术有望在整个欧洲轨交推广应用**
- **碳化硅应用于有轨电车，减少 10% 能耗。**2021 年 12 月 3 日，西门子官方公布了他们的碳化硅有轨电车的测试结果，即将正式批量投入使用。2021 年 8 月，西门子铁路系统和慕尼黑市政公司在慕尼黑的 Avenio 有轨电车上成功完成了为期一年的 SiC 半导体技术的测试。目前，装备 SiC 芯片的 Avenio münchen 号已经运行一年时间，总共行驶了 6.5 万里。根据西门子最近公布的研究结果，碳化硅电车在操作过程中噪音水平较低，电机噪音总体上有所降低，而且能源消耗大约减少了 10%。
- 目前碳化硅转换器的初始规划阶段和车辆试验阶段已经完成。这次测试的 Avenio 电车两个牵引转换器中只有其中一个安装了 SiC 半导体，接下来，PINTA 项目将重点在双系统有轨电车中使用 SiC 来实现系统优化。预计测试完成后，碳化硅将有望在整个欧洲推广使用。
- **日本多条列车线路采用碳化硅**
- 日本轨道交通对碳化硅的使用更为领先，9 月 22 日，JR 东日本横滨分公司推出了搭载碳化硅的 E131 Series 500 系列列车，以替代相模线上现有的 205 机型，预计将于年底正式投入商业运营。
- 11 月 22 日，日本 JR Central 表示，将于 2022 年 3 月 5 日在名古屋至中津川的中央干线上推出新的 315 系列通勤列车。
- JR Central 公司表示，与之前的 211 系列相比，315 系列列车的牵引系统配备了碳化硅(SiC)，可以节约大概 35% 的能耗。
- 预计 2023 财年年底前，315 系列列车将全面替代中央线上的 211 系列八节车厢列车。同时，315 系列列车还将部署在东海道干线以及名古屋和静冈附近的通勤线路上，并将在 2026 年 3 月前分四批交付。
- **中国 8 条地铁搭载碳化硅**
- 中国方面，今年 5 月，搭载碳化硅技术的深圳地铁 1 号线也已通过专家认证，根据《2021 第三代半导体调研白皮书》，目前国内已有 8 条地铁线路已经搭载碳化硅技术。

图表 29：国内地铁采用碳化硅技术概况

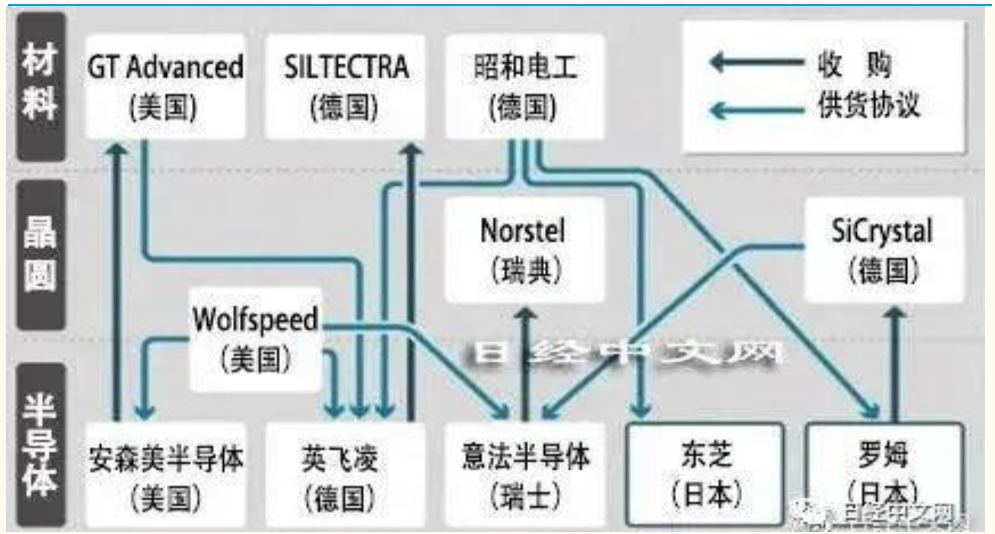
2018年12月	西安地铁4号线	中车四方股份	整车综合节能15%以上
2019年11月	广州地铁8号线	中车青岛四方机车	整车减重13%，综合节能15%
2020年7月	珠海1号线	中车大连公司	采用SiC器件后设备体积减少50%、重量减轻56%，效率提高到95.5%以上。
2020年7月	武汉东湖有轨电车	中车四方股份	变流装置功率等级超过200kW、能耗降低40%以上、重量和体积均减少30%。
2020年10月	上海8号线	西安中车永济	不详
2020年10月	上海6号线	西安中车永济	不详
2021年3月	苏州轨道交通3号线	中车南京浦镇	仅采用碳化硅可节能5%以上，加上永磁直驱牵引电机列车节能达20%。
2021年5月	深圳地铁1号线	中车株洲电力机车研究所	无故障运营5个月以上，累计载客公里数超过6.5万公里，各项性能参数均达到世界先进水平。

来源：2021 第三代半导体调研白皮书、国金证券研究所

## 六、全球碳化硅公司大举扩产，强化合作，迎接需求大时代

- **全球碳化硅龙头 Cree 10 亿美元扩产碳化硅。**2019 年 5 月，Cree 宣布将投资 10 亿美元用于扩大碳化硅产能，在美国总部北卡罗莱纳州达勒姆市建造一座采用最先进技术的自动化 8 英寸 SiC 碳化硅生产工厂和一座材料超级工厂，材料产能比 2017 年增加 30 倍，器件产能比 2017 年增加 18 倍。
- **特斯拉供应商 ST 碳化硅器件扩产 10 倍。**ST 向 Cree 及罗姆下了长期采购碳化硅衬底的订单，并收购了 Norstel，已开发出 8 寸，ST 在美国及新加坡积极扩产器件产能，2024 年产能将是 2017 年的 10 倍，2020 年的 2.5 倍。
- **ROHM 投资 500 亿日元（约 28 亿元人民币）扩产碳化硅。**罗姆的目标是在 2025 年前将 SiC 功率半导体的产能扩大 5 倍以上，罗姆目前已在日本福冈工厂建成了制造相关产品的厂房，预计明年投产。罗姆与丰田、三菱有深入合作开发，吉利等汽车品牌也均有计划使用罗姆的产品。在市占率方面，罗姆目标能够将现在 20% 左右的全球份额尽快提高到 30%。
- **东芝 SiC 扩产 10 倍。**东芝旗下的半导体业务子公司东芝 Devices&Storage 计划在 2023 年将位于日本兵库的半导体工厂中的 SiC 功率半导体产量提升到 2020 年的 3 倍以上，且在未来要尽快提高到 10 倍。此外，东芝也有着在 2023 年前抢占全球 10% 以上全份额的野心。东芝 Devices&Storage 此前的主要业务是在铁路用设备方面，年销售额可高达 10 亿日元以上。东芝表示，将在今后将 SiC 的应用领域扩展到用于服务器和工业电源领域的产品，并在 2024 年之后投放车载产品。东芝还表示，将在今后将 SiC 的应用领域扩展到用于服务器和工业电源领域的产品，并在 2024 年之后投放车载产品。
- **富士电机目前也在考虑将 SiC 投产的时间提前，**对于富士来说，增产的最大挑战是材料的来源是否稳定，由于 SiC 产品的加工技术要求颇高，所以和材料供应商的合作也至关重要，在今年日本的半导体企业和上游原材料供应商之间签订合同或合作协议的动态也越发积极。东芝 Devices&Storage 就在今年 9 月和昭和电工签订了两年半的长期供应合同，主要供应材料就是 SiC 晶圆。此外，昭和电工在 5 月还和全球最大的半导体企业英飞凌签订了优先供货合同。
- **在日本的半导体企业之间还出现了并购——与材料商垂直整合的动向。**罗姆早在 2010 年收购的德国 SiC 晶圆制造商 SiCrystal，在去年和意法半导体 ST 就 SiC 晶圆达成了 1.2 亿美元以上的长期供应协议。美国安森美半导体在今年 8 月宣布，以 4 亿美元的价格收购了一家专业从事 SiC 生产的美国本土企业。

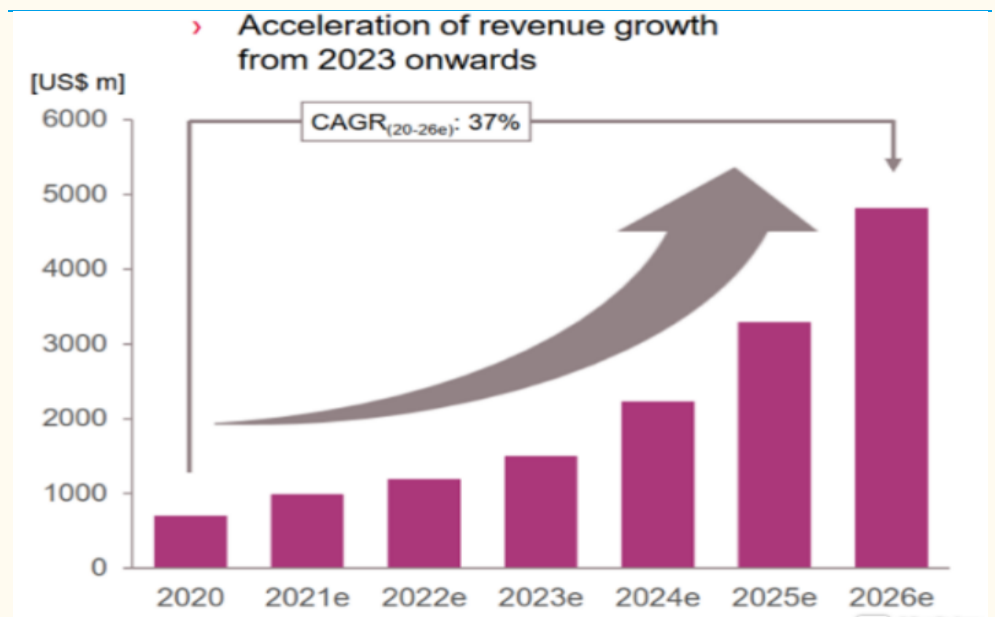
图表 30: 全球碳化硅半导体公司正在建立阵营



来源: 日经中文网、国金证券研究所

- **全球各大厂商深入合作。**2019年9月, 雷诺-日产-三菱联盟就与意法半导体达成合作, 选择意法半导体 SiC 产品, 开发车载充电器 (OBC)。2019年9月, 大众/保时捷与德尔福签订了为期8年的 SiC 逆变器批量生产订单, 订单额为27亿美元 (约175亿人民币)。2019年11月, 科锐与采埃孚推进电驱动领域合作, 应用碳化硅技术。合作签订时特别提到利用 SiC 技术协同800V电压的车辆电气系统。今年4月21日, 江淮汽车与博世签订了碳化硅逆变器等方面战略合作协议。
- **预测2026年车用碳化硅功率器件市场规模超30亿美元。**当前整个碳化硅功率器件的市场规模在10亿美元左右, 还没有迎来渗透率的拐点。根据Yole的预测, 到2026年整个碳化硅功率器件的市场规模有望达到50亿美元, 其中60%以上用于新能源汽车领域。

图表 31: 预测2026年碳化硅市场将达到50亿美元



来源: yole、国金证券研究所

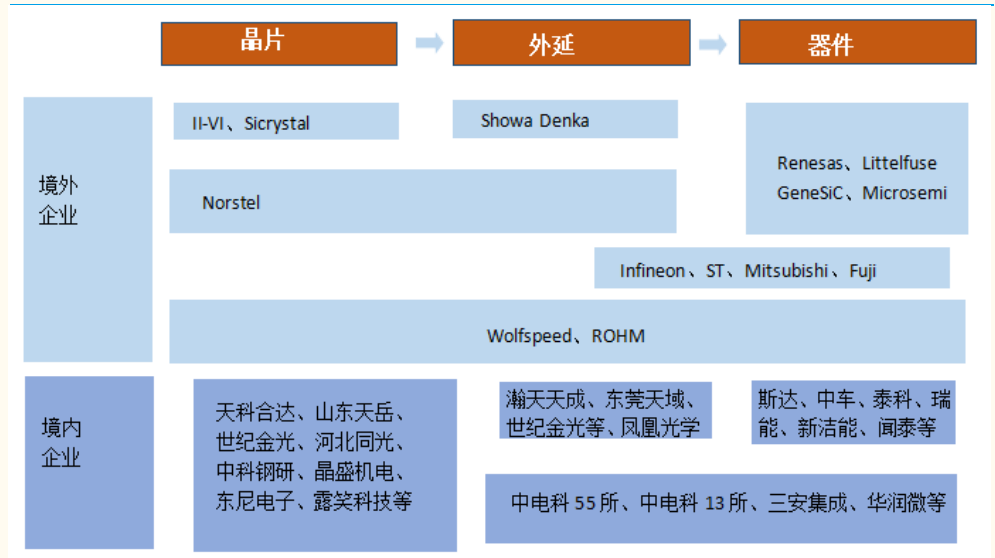
## 七、看好行业细分龙头



### 7.1 投资建议

- 美国公司占全球 SiC 产量的 70%~80%。在 SiC 领域，欧美日企业领先，其中美国优势最为明显。全球 SiC 产量的 70%~80% 来自美国公司，海外 SiC 单晶衬底企业主要有 Cree、DowCorning、SiCrystal、II-VI、新日铁住金、Norstel 等；外延片企业主要有 DowCorning、II-VI、Norstel、Cree、罗姆、三菱电机、Infineon 等；器件方面相关主要企业包括 Infineon、Cree、罗姆、意法半导体等。中国碳化硅产业虽然基础薄弱，但是在大力发展，在碳化硅外延方面做的较好，如东莞天域、瀚天天成等，衬底企业天科合达、山东天岳也取得了一定的发展，器件方面二极管方面成熟性相对较好，已大量应用于光伏、大功率电源、充电桩等，如三安光电、泰科天润、派恩杰等，但是 SiC MOSFET 还非常薄弱，尤其是车用，但是中国电动汽车发展较好，中国碳化硅企业本土化优势明显，未来具有较好的发展机会。

图表 32：全球碳化硅产业链主要公司



来源：电子发烧友、国金证券研究所

- 我们认为 800V 高压系统在电动汽车领域有望快速渗透，看好碳化硅重点受益公司：三安光电、斯达半导体、闻泰科技、时代电气、士兰微、天岳先进、晶盛机电、凤凰光学、华润微、新洁能。

### 7.2 风险提示

- 800V 高压系统发展不达预期；
- 快充、超充电桩安装数量不达预期；
- SiC 技术难度较大，国内进展缓慢；
- 全球 SiC 产能扩张低于预期，供给不达预期；
- SiC 价格居高不下。



**公司投资评级的说明：**

- 买入：预期未来 6 - 12 个月内上涨幅度在 15% 以上；
- 增持：预期未来 6 - 12 个月内上涨幅度在 5% - 15%；
- 中性：预期未来 6 - 12 个月内变动幅度在 -5% - 5%；
- 减持：预期未来 6 - 12 个月内下跌幅度在 5% 以上。

**行业投资评级的说明：**

- 买入：预期未来 3 - 6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 15% 以上；
- 增持：预期未来 3 - 6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 5% - 15%；
- 中性：预期未来 3 - 6 个月内该行业变动幅度相对大盘在 -5% - 5%；
- 减持：预期未来 3 - 6 个月内该行业下跌幅度超过大盘在 5% 以上。

**特别声明:**

国金证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

本报告版权归“国金证券股份有限公司”（以下简称“国金证券”）所有，未经事先书面授权，任何机构和个人均不得以任何方式对本报告的任何部分制作任何形式的复制、转发、转载、引用、修改、仿制、刊发，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。经过书面授权的引用、刊发，需注明出处为“国金证券股份有限公司”，且不得对本报告进行任何有悖原意的删节和修改。

本报告的产生基于国金证券及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，但国金证券及其研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，对由于该等问题产生的一切责任，国金证券不作出任何担保。且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，在不作事先通知的情况下，可能会随时调整。

本报告中的信息、意见等均仅供参考，不作为或被视为出售及购买证券或其他投资标的邀请或要约。客户应当考虑到国金证券存在可能影响本报告客观性的利益冲突，而不应视本报告为作出投资决策的唯一因素。证券研究报告是用于服务具备专业知识的投资者和投资顾问的专业产品，使用时必须经专业人士进行解读。国金证券建议获取报告人员应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。报告本身、报告中的信息或所表达意见也不构成投资、法律、会计或税务的最终操作建议，国金证券不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。

在法律允许的情况下，国金证券的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供多种金融服务。

本报告反映编写分析员的不同设想、见解及分析方法，故本报告所载观点可能与其他类似研究报告的观点及市场实际情况不一致，且收件人亦不会因为收到本报告而成为国金证券的客户。

根据《证券期货投资者适当性管理办法》，本报告仅供国金证券股份有限公司客户中风险评级高于 C3 级(含 C3 级)的投资者使用；非国金证券 C3 级以上(含 C3 级)的投资者擅自使用国金证券研究报告进行投资，遭受任何损失，国金证券不承担相关法律责任。

此报告仅限于中国大陆使用。

上海	北京	深圳
电话: 021-60753903	电话: 010-66216979	电话: 0755-83831378
传真: 021-61038200	传真: 010-66216793	传真: 0755-83830558
邮箱: researchsh@gjzq.com.cn	邮箱: researchbj@gjzq.com.cn	邮箱: researchsz@gjzq.com.cn
邮编: 201204	邮编: 100053	邮编: 518000
地址: 上海浦东新区芳甸路 1088 号 紫竹国际大厦 7 楼	地址: 中国北京西城区长椿街 3 号 4 层	地址: 中国深圳市福田区中心四路 1-1 号 嘉里建设广场 T3-2402