

电子

价格迎来甜蜜点，SiC 应用驶入快车道

技术进步，产品迭代结构持续优化。自 Wolfpseed 在 2011 年推出业内首款 SiC MOSFET 以来，过去十年受限于 SiC 电力电子器件价格、晶圆质量、工艺技术等限制，始终没有被下游大规模广泛使用。当前在技术层面，SiC 衬底位错密度下降，SiC 功率晶体设计不断迭代，产品性能，可靠性持续提升；主流晶圆尺寸由 4 英寸向 6 英寸过渡，领先厂商已经在大力扩产 8 英寸，主流产品从 SiC 二极管转变为 SiC MOSFET。

SiC 成本下降迎来价格甜蜜点，下游应用市场快速打开。成本层面，SiC 电力电子器件价格进一步下降，根据 CASA, Mouser, 从公开报价来看，1200V SiC SBD 与同类 Si 器件的差距约 4.5 倍。根据 CASA 调研，1200V SiC SBD 实际成交价与 Si 器件价差已缩小至 2-2.5 倍之间，已经达到了甜蜜点。若考虑系统成本（周边的散热、基板等）和能耗等因素，SiC 产品已经具备一定竞争力，随着产业链技术更加成熟和产能不断扩充，未来在下游新能源汽车、光伏逆变、消费类电子等市场应用有望加速渗透。

汽车电子驱动 SiC 需求，我们测算 2025 年汽车逆变器需求弹性中枢可带来 59~65 亿美元市场！新能源汽车高速发展，成为 SiC 电力电子器件需求快速增长的重要驱动力。SiC 功率器件已经历从 PFC 电源到光伏的应用发展，未来十年新能源汽车、充电设施、轨道交通等将是主要推动力。根据 Yole，到 2025 年新能源汽车用 SiC 功率器件市场规模将达到 15.5 亿美元，2019-2025 年 CAGR 38%，充电桩增速更是高达 90%。特斯拉 Model 3 和国内比亚迪率先在电机控制器中应用 SiC 模块。我们对新能源车用 SiC 需求规模弹性进行测算，预计 2025 年仅逆变器对 SiC 需求就有望打造 59~65 亿美元市场，车用 SiC 即将开启黄金十年！

全球龙头 Wolfspeed 战略转型聚焦第三代化合物半导体。CREE 近两年先后剥离照明及 LED 产品业务，2021 年 10 月，公司更是正式更名 Wolfspeed，彰显未来发展第三代半导体信心。公司具备 SiC 垂直产业链能力，营收连续五个季度环比提升，近期与通用汽车签订战略供应商协议，未来公司碳化硅器件将赋能通用汽车电动汽车动力系统。Wolfspeed 未来五年 10 亿美元扩产 SiC 等三代半核心业务，2022H1 有望全球率先实现 8 英寸 SiC 晶圆投产。公司 1) 专利优势；2) 规模优势；3) 技术优势；4) 车规级产品认证壁垒，并且科锐全产业链模式有利于加快研发及产业化，加速扩产、把握品控、提升交货力，巩固市场地位。

三安集成化合物板块全面开花。2014 年三安光电成立三安集成，布局化合物半导体；2017 年投资南安项目；2020 年长沙投资 SiC 项目。长沙 SiC 项目涵盖长晶—衬底制作—外延生长—芯片制备—封装产业链，投资总额 160 亿元。三安集成目前已形成 SiC 垂直产业链布局。2020 年 12 月，公司成为国内首家完成 SiC MOSFET 器件量产平台打造的厂商。2021H1 三安集成实现营收 10.2 亿元（不含泉州三安滤波器实现营收 1242.6 万元），同比大幅增长 170.6%，Q2 营收 6.1 亿元，环比增长 48.4%，Q3 收入 6.5 亿元，同比翻倍以上增长。

国内 SiC 产业链加速布局。国内 SiC 产业链布局如火如荼，凤凰光学近期公告拟通过定增收购国盛电子和普兴电子 100% 股权。国盛电子及普兴电子是国内领先的硅外延材料供应商，碳化硅外延材料也已具备量产能力。目前 SiC 产业链中重要的衬底环节，除了三安光电深度布局，天科合达和山东天岳已在全球范围内占据一定份额，未来随着产业链上厂商持续进行产品研发及产能扩张，国内厂商在 SiC 时代将加速追赶外资厂商，拉近距离

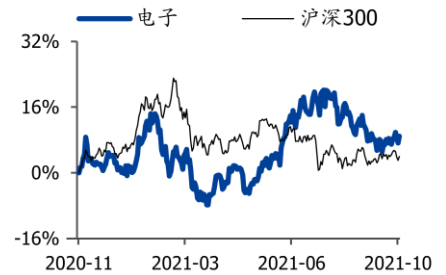
高度重视国内半导体产业格局将迎来空前重构、变化，以及消费电子细分赛道龙头：

1) 碳化硅产业链：衬底、外延、器件、模组；2) 半导体核心设计：光学芯片、存储、模拟、射频、功率、FPGA、处理器及 IP 等产业机会；3) 半导体代工、封装及配套服务产业链；4) VR、Miniled、面板、光学、电池等细分赛道；5) 苹果产业链核心龙头公司。

风险提示：化合物半导体进展不及预期，下游需求不达预期，行业竞争加剧风险。

增持（维持）

行业走势



作者

分析师 郑震湘

执业证书编号：S0680518120002

邮箱：zhengzhenxiang@gszq.com

分析师 余凌星

执业证书编号：S0680520010001

邮箱：shelingxing@gszq.com

研究助理 刘嘉元

邮箱：liujiayuan3409@gszq.com

相关研究

- 《电子：新能源汽车持续放量，车用半导体市场迅速成长》2021-10-17
- 《电子：半导体产值有望新高，硬核科技方兴未艾》2021-09-26
- 《电子：中报总结：Q2 核心龙头业绩耀眼，行业基本面向上延续》2021-09-06

内容目录

一、汽车电子驱动 SiC 功率市场黄金十年.....	5
1.1 功率器件下游应用分布广泛，需求景气度抬升.....	5
1.2 碳化硅：高压、大功率器件核心材料.....	8
1.3 多因素推动，SiC 大规模运用甜蜜点到来.....	12
1.3.1 产品升级迭代，性能及稳定性提升打开更大应用市场空间.....	12
1.3.2 SiC 成本下降迎来价格甜蜜点.....	15
1.4 新能源汽车是 SiC 器件最重要驱动力.....	18
二、产业链大力扩产应对需求爆发，国内企业有望同步成长.....	25
2.1 外资厂商主导 SiC 市场，大力扩产迎接需求.....	26
2.2 国内 SiC 产业链较完整，加速向国际水平看齐.....	35
三、投资建议.....	41
四、风险提示.....	42

图表目录

图表 1: 不同化合物半导体应用领域.....	5
图表 2: 化合物半导体材料性能更为优异.....	5
图表 3: 半导体材料演进图.....	6
图表 4: 不同化合物半导体的优势领域.....	6
图表 5: SiC 和 GaN 功率半导体市场规模（按应用分）.....	6
图表 6: SiC 功率器件市场规模（百万美元）.....	7
图表 7: 2020 年我国 SiC、GaN 电力电子及射频产业产值（亿元）.....	7
图表 8: 我国 SiC、GaN 电力电子器件应用市场规模预估（亿元）.....	7
图表 9: 2020 年我国 SiC、GaN 电力电子器件应用市场结构.....	8
图表 10: 新能源汽车领域 SiC、GaN 功率市场规模（亿元）.....	8
图表 11: 半导体材料特性对比.....	8
图表 12: SiC 应用特性和优势.....	9
图表 13: SiC 产业链.....	9
图表 14: SiC 肖特管器件的耐压分布.....	10
图表 15: Si 材料与 SiC 材料功率器件应用对比.....	10
图表 16: SiC MOSFET 电流密度可达 Si IGBT 的两倍.....	10
图表 17: SiC 应用领域.....	11
图表 18: SiC 下游应用比例.....	11
图表 19: SiC 在 MOSFET 里占比不断提升.....	11
图表 20: SiC MOSFET 器件未来市场分布.....	11
图表 21: 车用电机控制器逆变装置中功率模块的器件材料用量份额趋势.....	12
图表 22: DC-DC 转换器中功率器件的应用趋势.....	12
图表 23: 碳化硅晶体管领域部分供应商产品迭代历程.....	13
图表 24: 国外 SiC 衬底技术进展.....	13
图表 25: 国内 SiC 衬底技术指标进展.....	13
图表 26: 两种主流设计方案对比.....	14
图表 27: 两种 SiC MOSFET 设计对应制造过程对比.....	14
图表 28: Rhom 第二代和第三代的 SiC MOSFET 器件结构.....	14

图表 29: 第二代和第三代产品各项特性对比.....	14
图表 30: SiC MOSFET 产品升级迭代进程.....	15
图表 31: 英飞凌第二代 CoolSiC™ 性能将进一步提升 25-30%.....	15
图表 32: SiC 较 Si 基产品能够大幅减少 Die Size.....	15
图表 33: 目前的主流 SiC 和 Si 基 IGBT 产品.....	15
图表 34: 硅基 IGBT 与 SiC 基 MOSFET wafer cost 对比.....	15
图表 35: SiC MOSFET 前道成本拆分.....	16
图表 36: 部分厂商 SiC MOSFET 各环节成本占比对比.....	16
图表 37: SiC 衬底尺寸发展趋势.....	16
图表 38: SiC 衬底价格 (元/cm ²).....	17
图表 39: SiC 外延片成本结构.....	17
图表 40: SiC 外延片价格 (元/cm ²).....	17
图表 41: 650V SiC SBD 价格逐年降低 (元/A).....	18
图表 42: 1200V SiC SBD 价格同样逐年降低 (元/A).....	18
图表 43: SiC MOSFET 2020 年平均价格 (元/A).....	18
图表 44: 650V SiC MOSFET 和 Si IGBT 价格比较 (元/A).....	18
图表 45: 新能源汽车渗透速度超预期.....	19
图表 46: SiC 功率器件应用发展路径.....	19
图表 47: 2019 年-2025 年 SiC 功率市场规模按应用划分.....	19
图表 48: SiC 器件在新能源汽车中的优势应用.....	20
图表 49: 丰田的 SiC 控制器体积缩小 80%.....	20
图表 50: 新能源车充电桩对 SiC 功率器件需求.....	21
图表 51: 电动汽车电池系统.....	21
图表 52: 电动汽车充电机系统层面 BOM 物料清单成本对比.....	21
图表 53: 特斯拉季度交付量 (按车型, 辆).....	22
图表 54: 特斯拉 Model 3 逆变器拆解.....	22
图表 55: 特斯拉 Model 3 逆变器 PCB.....	22
图表 56: 比亚迪自主研发 SiC MOSFET 模块.....	23
图表 57: SiC 模块是比亚迪电动汽车未来发展方向.....	23
图表 58: 汽车 SiC 模块供应链厂商四个维度.....	23
图表 59: SiC 功率器件市场规模及预测 (百万美元).....	24
图表 60: 新能源汽车用 SiC 功率器件产能测算.....	24
图表 61: 科锐预计 SiC 衬底市场规模在 2024 年达到 11 亿美元.....	25
图表 62: 科锐预计 SiC 器件市场规模在 2024 年达到 50 亿美元.....	25
图表 63: 弹性测算: 2025 年纯电动新能源汽车逆变器 SiC 需求中枢在 59-65 亿美金.....	25
图表 64: 国内 SiC 晶圆产线情况.....	26
图表 65: Wolfspeed 发展历程.....	26
图表 66: Wolfspeed 股价复盘.....	27
图表 67: 科锐引领全球 SiC 晶圆发展历程.....	27
图表 68: Wolfspeed 材料产品组合.....	28
图表 69: Wolfspeed 功率产品组合.....	28
图表 70: 科锐生产制造及行政基地情况.....	28
图表 71: 科锐各业务季度营收情况 (百万美元).....	29
图表 72: 科锐各业务季度毛利率情况.....	29
图表 73: Wolfspeed 季度营收 (百万美元) 及同比增长率.....	29
图表 74: Wolfspeed 季度 ASP 及出货量变动情况 (6 月为财年末).....	29

图表 75: 2019 年 SiC MOSFET 专利市场格局.....	30
图表 76: Wolfspeed 与大客户签订长期 SiC 晶圆协议	31
图表 77: II-VI 公司 2020 财年营收划分	31
图表 78: II-VI 公司 SiC 晶圆发展及垂直整合历程	32
图表 79: Ascatron 业务概况.....	32
图表 80: II-VI SiC 衬底未来 5 年产能扩张计划	33
图表 81: SiC 衬底目前仍是 SiC 器件的成本占比最大部分	33
图表 82: 2019 年及 2020 年上半年 SiC 晶圆市场份额 (2018 年)	34
图表 83: 领先厂商 SiC 业务资本支出计划	35
图表 84: 海外 SiC 产业链.....	35
图表 85: 全球 SiC 产业链布局情况	36
图表 86: 国内外 SiC 产业环节情况对比.....	37
图表 87: 国盛电子财务情况 (亿元)	38
图表 88: 普兴电子财务情况 (亿元)	38
图表 89: 2020 年我国第三代半导体企业分布地图.....	39
图表 90: 国内 SiC 产业链公司业务情况汇总	40
图表 91: 国内 SiC 产业链公司业务情况汇总 (续上表)	41

一、汽车电子驱动 SiC 功率市场黄金十年

1.1 功率器件下游应用分布广泛，需求景气度抬升

化合物半导体主要应用于（1）光电子，如 LED、激光器等；（2）射频通信，如 PA、LNA。开关、滤波器等；（3）电力电子，如二极管、MOSFET、IGBT 等。

图表 1: 不同化合物半导体应用领域

产业分类	器件	材料	应用领域
 <p>光电子</p>	光子集成电路、激光器、LED、光探测器、光伏器件等	GaAs, InP, GaN	光纤通信、光无线通信、数据中心、通用照明、大尺寸显示屏、光伏电池等
 <p>射频通信</p>	功率放大器 (PA), LNA, 射频开关, 滤波器, 混频器, 振荡器, 单片微波集成电路等	GaAs, InP, GaN	移动通信设备和基站、军用/民用雷达、WiFi/蓝牙模组、卫星通信、CATV等
 <p>电力电子</p>	肖特基势垒二极管 (SBD)、MOSFET、IGBT	GaN, SiC, Si	家用电器、新能源汽车、UPS、光伏/风能电站、智能电网、高速列车等
 <p>量子高端集成电路</p>	—	GaAs, InP等	高性能计算机、服务器、光子计算机、量子计算机等

资料来源: 国盛证券研究所根据三安集成官网整理

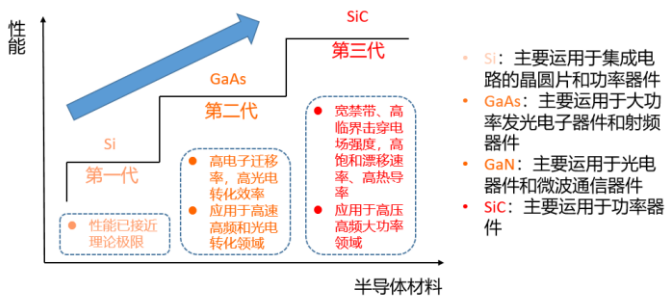
GaAs、GaN 受益于 5G 终端及基站，SiC 受益于新能源汽车。第二代化合物 GaAs 相对成熟，主要用于通讯领域，全球市场容量接近百亿美元，受益于射频芯片尤其是 PA 升级驱动。GaN 大功率、高频性能更出色，主要应用于军事领域，受益于基站 PA 对高频、高压需求；SiC 主要作为大功率半导体材料应用于汽车以及工业电力电子，在大功率转换应用中具有巨大的优势，有望受益于新能源汽车。

图表 2: 化合物半导体材料性能更为优异

材料	Si	GaAs	GaN
高频性能	差	好	好
高温性能	差	好	好
发展阶段	成熟	发展中	初期
制造成本	低	高	很高
应用领域	超大规模集成电路与器件	微薄集成电路与器件	大功率器件

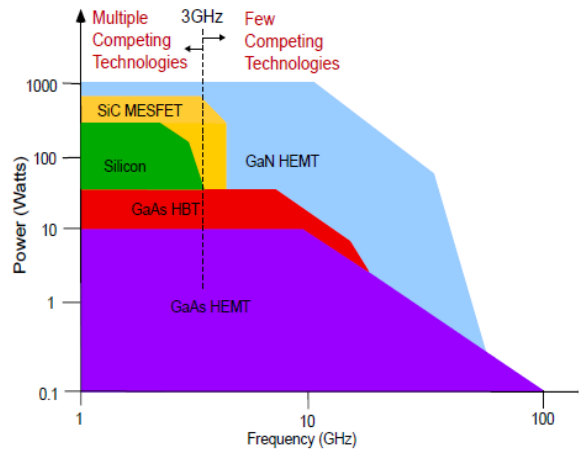
资料来源: yole development, 国盛证券研究所整理

图表3: 半导体材料演进图



资料来源: Yole, 国盛证券研究所

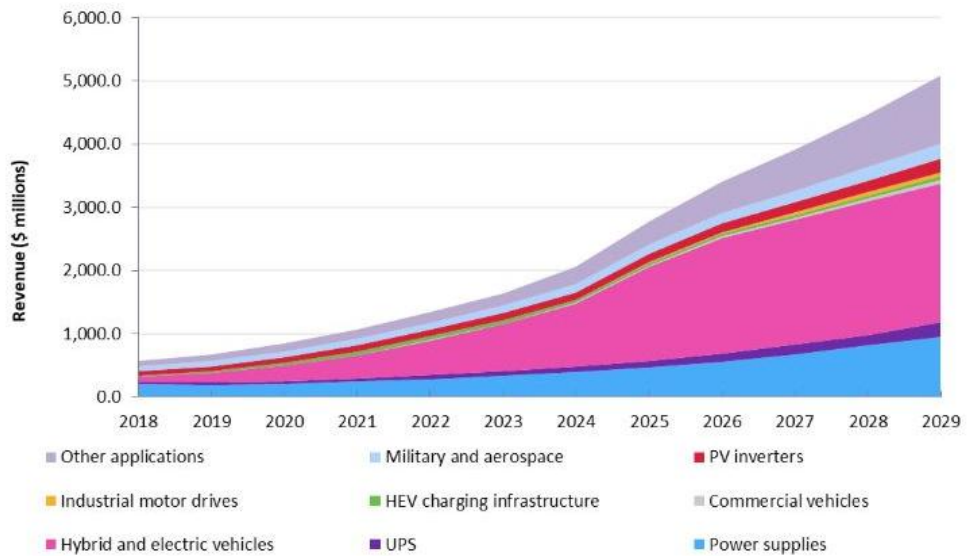
图表4: 不同化合物半导体的优势领域



资料来源: 英飞凌, 国盛证券研究所

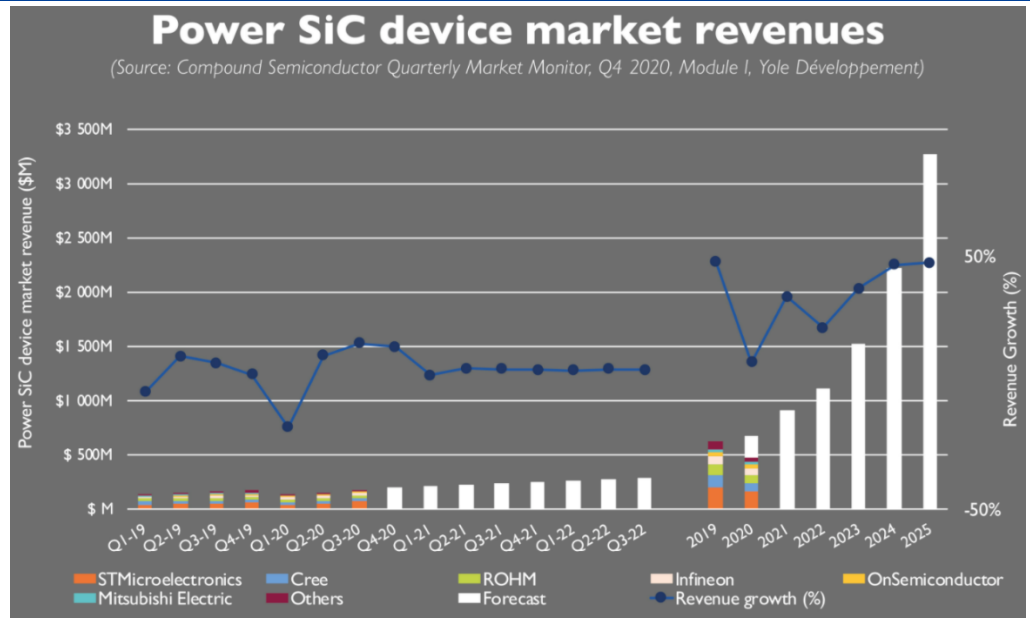
第三代化合物半导体渗透率稳步提升。根据 Yole 和 Omdia, 2020 年 SiC 和 GaN 功率半导体全球市场将增长至 8.54 亿美元, 其中 SiC 电力电子市场规模约 7.03 亿美元, 到 2025 年有望超过 30 亿美元。综合 Yole、IHS、Gartner 等多家三方机构数据, 2020 年全球功率半导体器件市场规模约 180~200 亿美元, SiC、GaN 电力电子器件渗透率约为 4.2%~4.5%, 同比提升 1%。

图表5: SiC 和 GaN 功率半导体市场规模 (按应用分)



资料来源: Omdia (2020.7), 国盛证券研究所

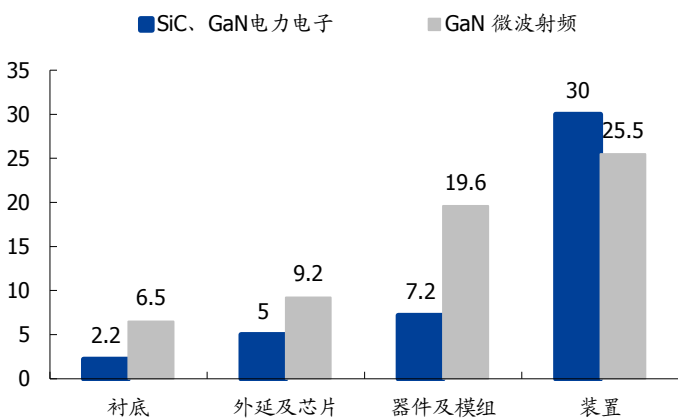
图表 6: SiC 功率器件市场规模 (百万美元)



资料来源: Yole, 国盛证券研究所

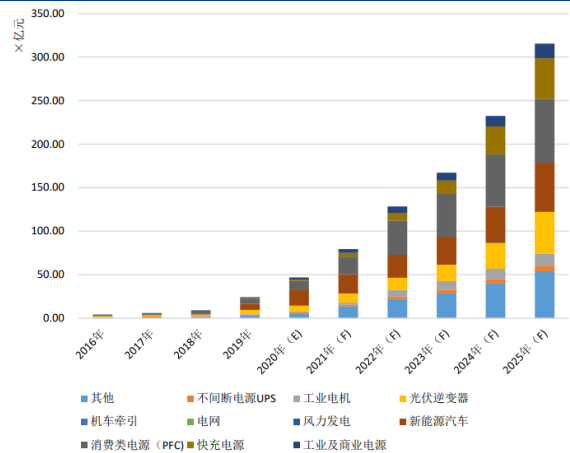
国内第三代半导体市场快速成长, 渗透率仍有较大提升空间。根据 CASA 统计, 2020 年我国第三代半导体电力电子和射频电子总产值超过 100 亿元, 同比增长 69.5%。其中, SiC、GaN 电力电子产值规模达 44.7 亿元, 同比增长 54%, 衬底材料约 2.2 亿元, 外延及芯片约 5 亿元, 器件及模组约 7.2 亿元, 装置约 30 亿元, 与前几年相比, 中下游的增速加快。据中国半导体行业协会数据, 2020 年国内 SiC、GaN 电力电子器件渗透率仅 1.56%, 低于全球的 4.2%~4.5% 的水平, 仍有较大上升空间。根据 CASA, 未来 5 年 SiC、GaN 电力电子器件应用市场有望以 45% 的 CAGR 增长到 2025 年的超过 300 亿元市场规模。

图表 7: 2020 年我国 SiC、GaN 电力电子及射频产业产值 (亿元)



资料来源: CASA, 国盛证券研究所

图表 8: 我国 SiC、GaN 电力电子器件应用市场规模预估 (亿元)



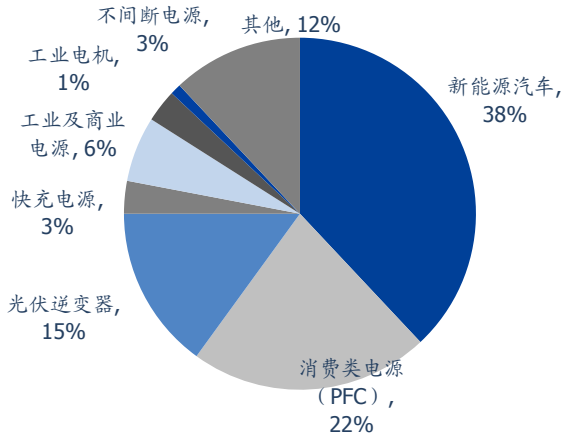
资料来源: CASA, 国盛证券研究所

第三代半导体材料器件在新能源汽车、太阳能光伏和消费类电源 (PFC) 三个领域应用取得较大进展。我国第三代半导体电力电子器件领域主要应用于新能源汽车、消费类电源 (PFC)、光伏逆变器、快充电源、工业级商业电源等。

其中, 新能源汽车是第三代半导体电力电子器件领域最大的市场, 规模约为 15.8 亿元,

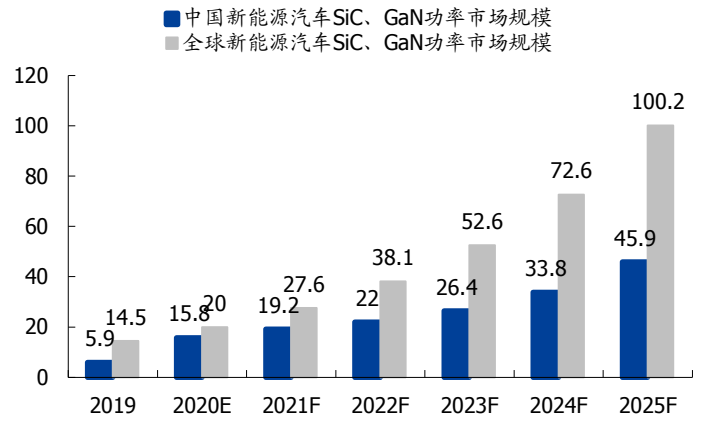
占到整个第三代半导体电力电子器件市场规模的38%。随着SiC分立器件或模块在汽车逆变器、车载充电器(OBC)和DC/DC转换器中被广泛使用,CASA预计国内SiC汽车领域CAGR有望达到30.6%,到2025年市场规模超45亿元,预计全球汽车SiC功率半导体市场预计将以38.0%的CAGR增长至2025年超过100亿元市场规模。

图表9: 2020年我国SiC、GaN电力电子器件应用市场结构



资料来源: CASA, 国盛证券研究所

图表10: 新能源汽车领域SiC、GaN功率市场规模(亿元)



资料来源: CASA, 国盛证券研究所

1.2 碳化硅: 高压、大功率器件核心材料

SiC作为第三代化合物半导体,相比Si具有大禁带宽度、高临界击穿场强、高热导率三个最显著特征。4H-SiC的禁带宽度是Si的3倍,因此SiC材料能够在更高温(如汽车电子)下稳定工作。SiC的临界击穿场强可以达到Si的10倍,与Si器件相比,SiC可以在更高杂质浓度、更薄漂移层厚度的情况下制作出高耐压功率器件。从而同时实现“高耐压”、“低导通电阻”、“高频”三个特性。SiC的导热率可达Si的3倍,因此能够提高热传导能力。随着电子元器件集成度提升,功率和密度增大,单位体积发热量增加,高导热率的材料有利于元器件向更小型化发展。

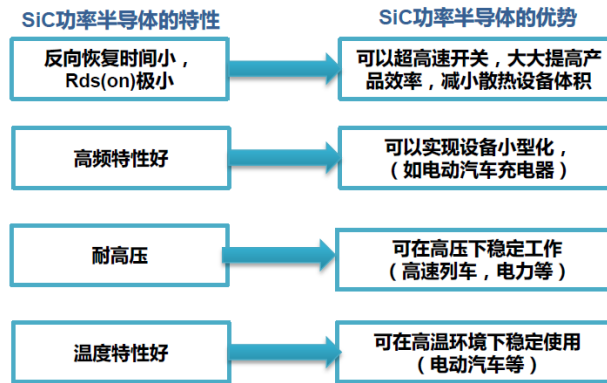
图表11: 半导体材料特性对比

	Si	GsAs	4H-SiC	GaN	金刚石	氧化镓	氮化硼
禁带宽度(eV)	1.1	1.4	3.3	3.39	5.5	4.8~4.9	6
熔点(°C)	1410	1238	>2700	1700	3800	1740	>2973
电子迁移率(cm ² /Vs)	1400	8000	550	600	2200	300	~1500
电子饱和速度(10 ⁷ cm/s)	13	2	2	2	3	2.42	1.9
击穿电场(10 ⁸ V/m)	0.3	0.4	2.5	3.3	10	8	~8
介电常数	11.8	12.9	9.7	9	5.5	10	7.1
热导率(W/cm K)	1.5	0.55	2.7	2.1	22	0.27	13
巴利加优值(εμE _b ³)	1	5	340	870	24664	3444	12224

资料来源: 电子发烧友, 国盛证券研究所

SiC在高电压、大功率领域应用具有优势。由于SiC材料具有耐高温、耐高压、低导通电阻(低开关损耗)、高频等优良特性,因此应用于汽车电子、光伏、轨道交通、工业控制等领域将带来比Si材料更显著的优势。

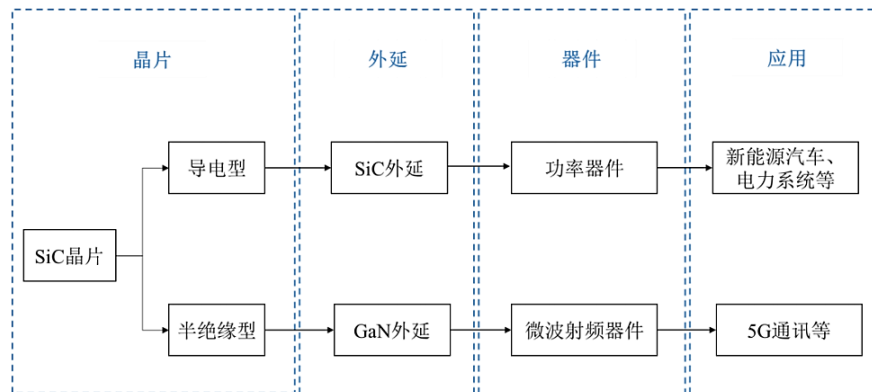
图表 12: SiC 应用特性和优势



资料来源: ROHM, 国盛证券研究所

目前 SiC 半导体仍处于发展初期。SiC 衬底处于行业上游, 1970 年代 SiC 单晶生长方法取得突破, 1990 年代 SiC 衬底实现产业化。SiC 衬底本身具有较高的成本。SiC 外延材料和 SiC 基电力电子器件性能及其可靠性仍然受到衬底结晶缺陷、表面加工质量的制约。晶圆生长过程中易出现材料的基面位错, 以致 SiC 器件可靠性下降。另一方面, 晶圆生长难度导致 SiC 材料价格昂贵, 想要大规模得到应用仍需一段时期的技术改进。

图表 13: SiC 产业链

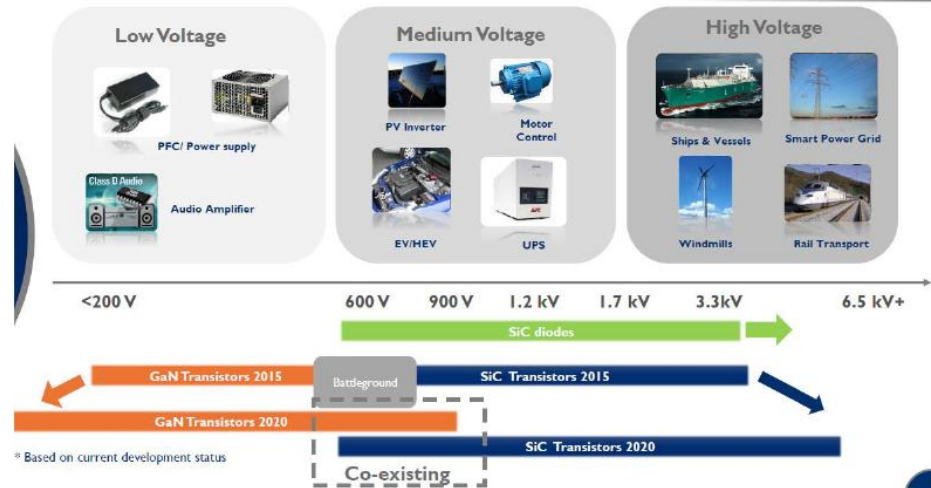


资料来源: 天科合达招股说明书, 国盛证券研究所

目前市场上 SiC 产品主要包括 SiC 二极管、SiC MOSFET、SiC 二极管与 SiC MOSFET 构成的全 SiC 模块、以及 SiC 二极管与 Si IGBT 构成的混合模块这四大类产品。SiC 裸片目前主要出售给大客户。SiC 二极管在挖矿机、数据中心电源、充电桩中有批量的商业应用。SiC MOSFET 应用于光伏逆变器、充电桩、电动汽车充电与驱动、电力电子变压器等。

SiC 二极管在功率因素校正 (PFC) 中应用较广, 是 SiC 器件主要的应用领域。当前的 SiC 器件主要包括纯肖特基接触的 SBD 器件和带有 p 型注入的结势垒型 JBS 器件。电压集中在 650V、1200V。

图表 14: SiC 肖特管器件的耐压分布

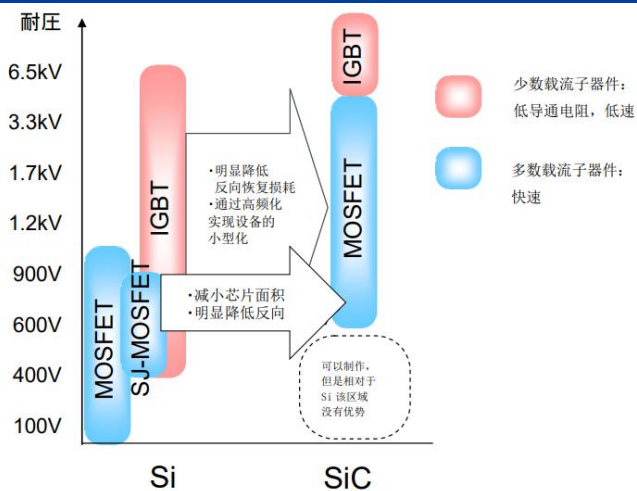


资料来源: CASA, 国盛证券研究所

SiC MOSFET 兼具耐高压和无尾电流的优点。 Si 材料器件会随着电压增加，单位面积导通电阻增加，因此 600V 以上的电压中主要采用 IGBT，IGBT 导通电阻比 MOSFET 还要小，但缺点在于关断时会产生尾电流，从而造成极大的开关损耗。SiC 器件漂移层电阻比 Si 器件低，SiC MOSFET 能够实现高耐压和低导通电阻，且 MOSFET 原理上不产生尾电流，所以用 SiC-MOSFET 替代 IGBT 能够明显地减少开关损耗，并且实现散热部件的小型化。

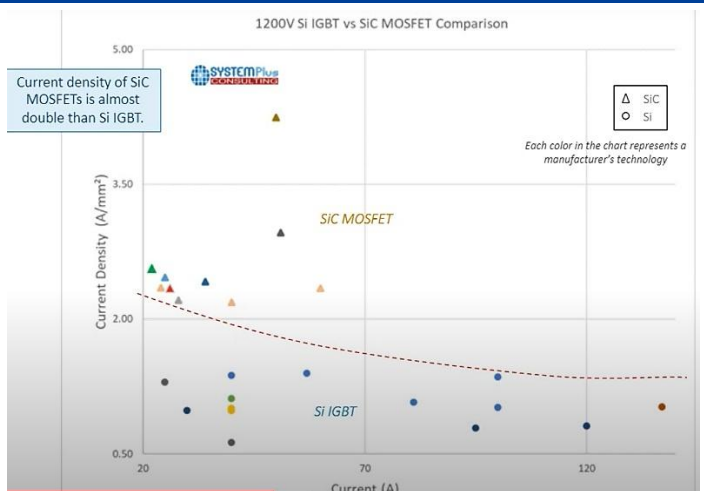
SiC MOSFET 相比 IGBT，还能在高频条件下驱动，从而实现无源器件的小型化。 与 600V~900V 的 Si MOSFET 相比，SiC MOSFET 芯片面积更小（可实现小型封装），且二极管的恢复损耗非常小，适用于工业机器电源、高效率功率调节器的逆变器或转换器中。目前 SiC 基电力电子器件已经广泛应用于光伏、功率因子校正电源、汽车、风电及牵引机车行业。

图表 15: Si 材料与 SiC 材料功率器件应用对比



资料来源: ROHM, 国盛证券研究所

图表 16: SiC MOSFET 电流密度可达 Si IGBT 的两倍



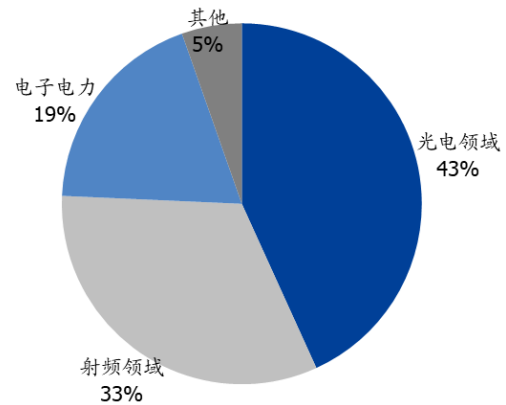
资料来源: Yole, 国盛证券研究所

图表 17: SiC 应用领域



资料来源: ROHM, 国盛证券研究所

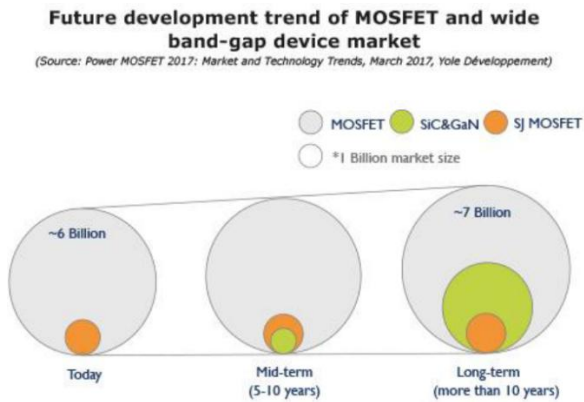
图表 18: SiC 下游应用比例



资料来源: ROHM, 国盛证券研究所

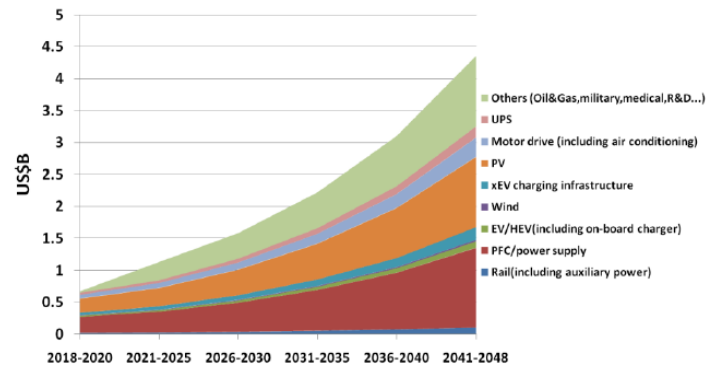
汽车领域已经较为广泛搭载 **SiC SBD** 和 **SiC MOSFET**。据 Yole 统计, 2018 年, 国际上有 20 多家汽车厂商已经在车载充电机 (OBC) 中使用 SiC SBD 或 SiC MOSFET。此外, 特斯拉 Model 3 的逆变器采用了意法半导体生产的全 SiC 功率模块, 该功率模块包含两个采用创新芯片贴装解决方案的 SiC MOSFET, 并通过铜基板实现散热。目前针对车用电机控制器的 SiC 模块主要包括: 650V、900V 和 1200V 三个电压等级, 电流从几十安培到几百安培不等。

图表 19: SiC 在 MOSFET 里占比不断提升



资料来源: CASA, 国盛证券研究所

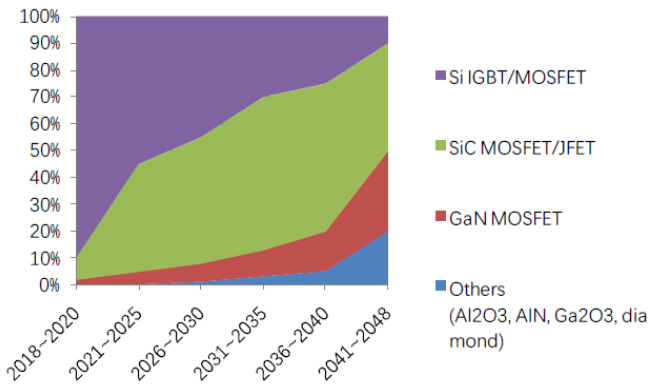
图表 20: SiC MOSFET 器件未来市场分布



资料来源: CASA, 国盛证券研究所

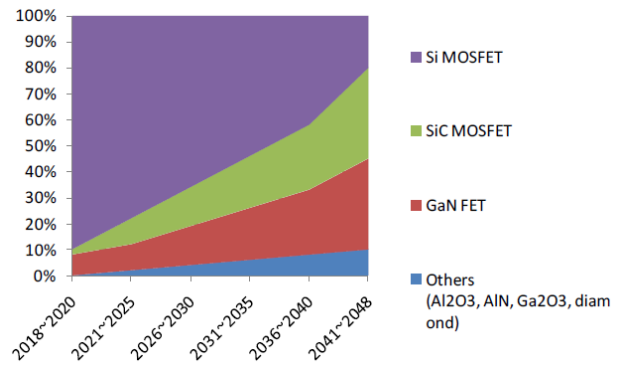
SiC 和 GaN 这两种第三代半导体材料均可作为 MOSFET 器件材料。基于其自身特性的差异, **600~900V** 应用采用 **GaN** 器件的居多, **900V** 以上应用采用 **SiC** 器件的居多。此外, 当前已有较多的 GaN FET 器件应用在高端的 DC-DC 转化器中, SiC MOSFET 的使用也会逐渐增多, 但分别应用在不同的场景和领域: **SiC MOSFET** 主要应用在高压大电流的模块, **GaN FET** 主要应用在高频的模块。

图表 21: 车用电机控制器逆变装置中功率模块的器件材料用量份额趋势



资料来源: CASA, 国盛证券研究所

图表 22: DC-DC 转换器中功率器件的应用趋势



资料来源: CASA, 国盛证券研究所

在高压、超高压器件，SiC 的优势尤为明显。目前 600V、1200V、1700V SiC 器件已实现商业化，预期未来 3300V（三菱电机已经生产出来）和 6500V 级、甚至万伏级以上的应用需求将快速提升。SiC 混合模块的电流可以做到 1000A 以上，与相同电流电压等级的 Si 模块比较，性能优势较为明显，成本和可靠性方面相对于全 SiC 模块较易被用户接受，因此，在要求有高电能转换效率的领域具有较大的应用市场。随着 SiC 产品向高压大容量方向发展，SiC 产品的应用领域、应用量都会越来越多。但在 600V 及以下小容量换流器中，在面临现有 Si MOSFET 强有力竞争之外，还可能会受到 GaN 器件的冲击。

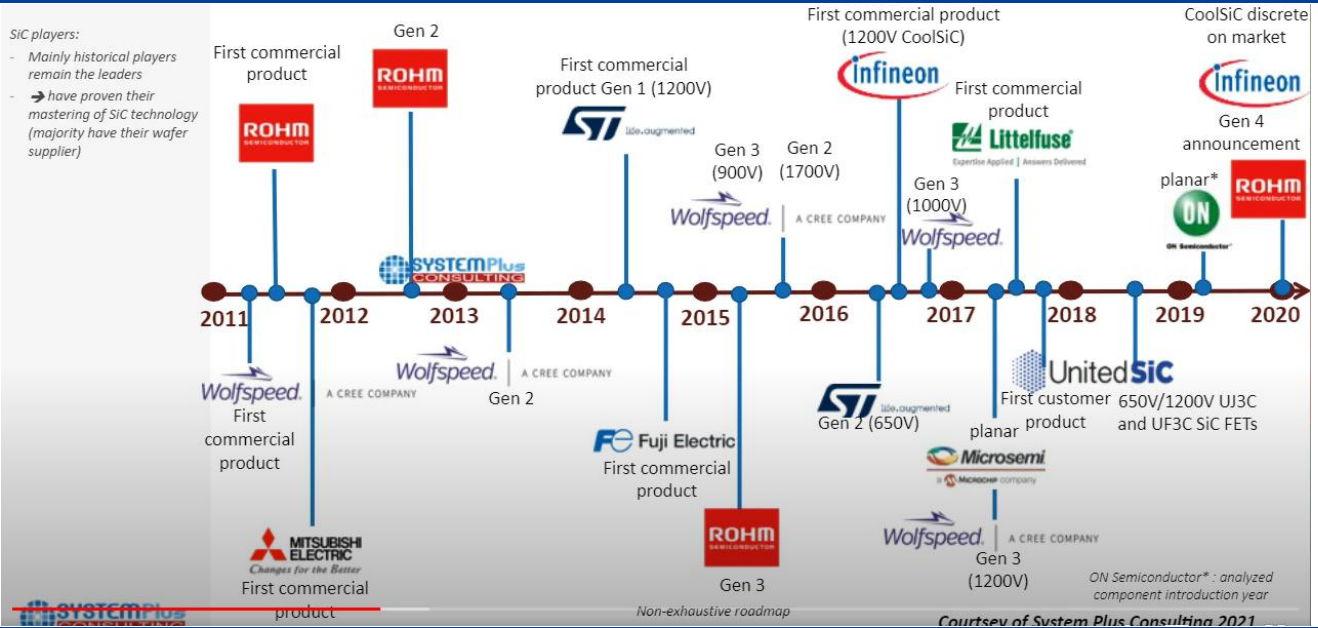
1.3 多因素推动，SiC 大规模运用甜蜜点到来

尽管 SiC 功率器件在性能上有诸多优势，但此前 SiC 的发展主要受到价格、晶圆质量、工艺技术等限制，没有被大规模使用。近两年，起步较早的 Wolfspeed、Rohm、英飞凌等海外厂商不断进行产品迭代，产品性能、质量持续提升；晶圆良率提升，尺寸升级，产能扩充，衬底价格快速下探，我们认为 SiC 器件广泛应用的甜蜜点已经到来。

1.3.1 产品升级迭代，性能及稳定性提升打开更大应用市场空间

自 Wolfspeed 发布 2011 年发布业界首款 SiC MOSFET 以来，罗姆、三菱电机、意法半导体、英飞凌等陆续也推出 SiC 功率产品并持续进行迭代。

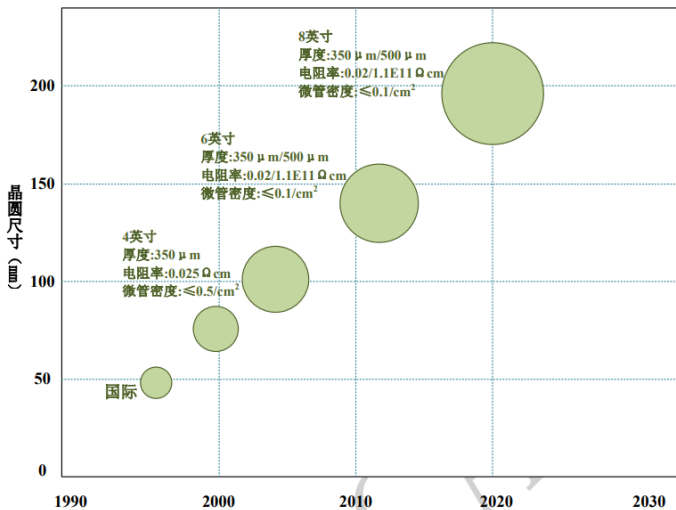
图表 23: 碳化硅晶体管领域部分供应商产品迭代历程



资料来源: Yole, 国盛证券研究所

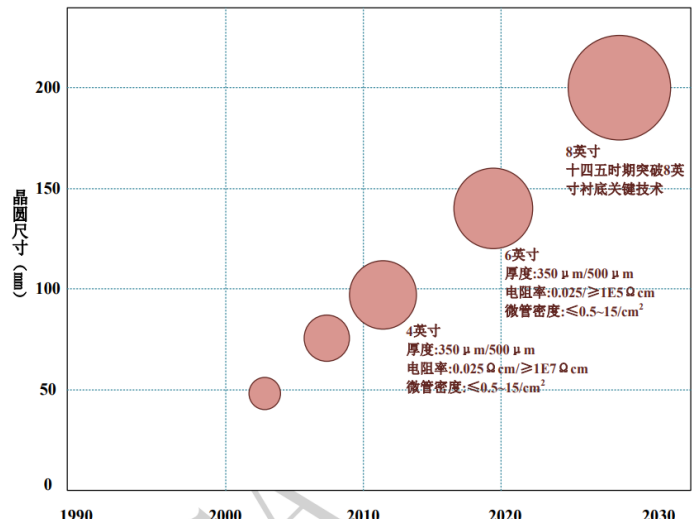
衬底质量不断提升。SiC 外延材料和 SiC 基功率器件性能及可靠性受到衬底结晶缺陷、表面加工质量的制约, 晶圆生长过程中易出现材料的基面位错, 以致 SiC 器件可靠性下降。2020 年以来, 国外 6 英寸 SiC 衬底产品已实现商用化, 主流大厂陆续推出 8 英寸衬底样品并开始投建 8 英寸 SiC 晶圆产线, 微管密度达到 0.6cm^{-2} 。SiC 外延方面, 6 英寸产品实现商用化。国内 SiC 商业化衬底仍然以 4 英寸为主, 并逐步向 6 英寸过渡, 微管密度小于 $1\text{个}/\text{cm}^2$, 衬底可用面积实现 95%。研发方面, 实现了高质量 6 英寸衬底材料的制备, 微管密度为 $0.5\text{个}/\text{cm}^2$, 螺位错密度为 $1200\text{个}/\text{cm}^2$ 。

图表 24: 国外 SiC 衬底技术进展



资料来源: CASA, 国盛证券研究所

图表 25: 国内 SiC 衬底技术指标进展



资料来源: CASA, 国盛证券研究所

SiC 功率晶体设计不断迭代, 产品性能持续提升。随着 SiC 功率晶体设计的不断发展, 各厂商近年来持续进行产品升级迭代, 可靠性和性能大幅提升。目前已量产的增强型碳化硅功率晶体的晶粒结构主要有平面式 (planar) 和沟槽式 (trench) 两种。平面式结构

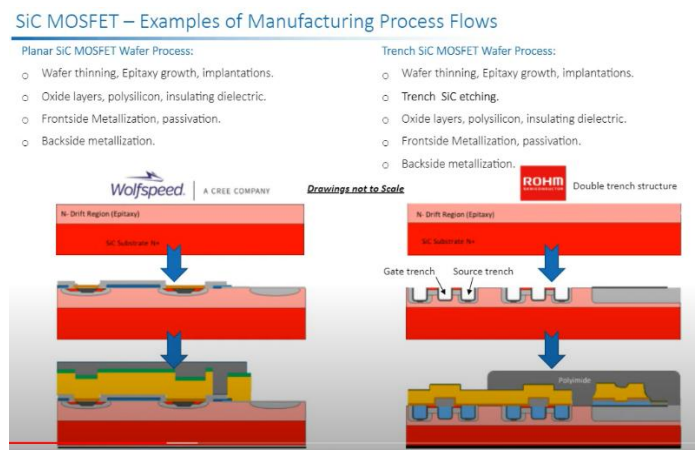
设计较为简单，沟槽式在制造过程中多一步栅槽刻蚀工艺。

图表 26: 两种主流设计方案对比



资料来源: Yole, 国盛证券研究所

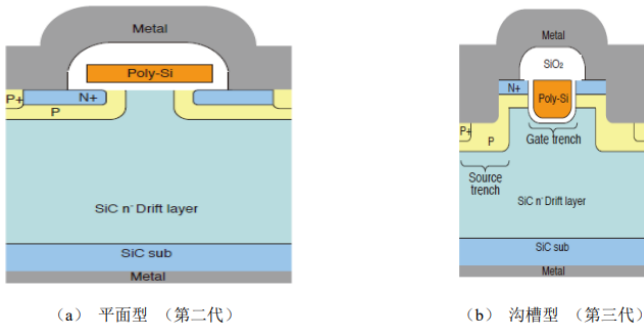
图表 27: 两种 SiC MOSFET 设计对应制造过程对比



资料来源: Yole, 国盛证券研究所

沟槽式结构能够更有效利用较高的电子迁移率，达到更低的通态电阻。以 Rohm 的第三代沟槽栅极 SiC MOSFET 为例，相比第二代产品，第三代采用了沟槽型栅极结构，将 RonA 减小了一半，获得相同导通电阻所需要的芯片面积有所减小，还可以降低成本。此外，Rohm 通过采用特殊双沟槽结构（Double trench），解决了沟槽栅极 MOSFET 结构底部的栅极氧化膜在关断时会承受较高的电场，难以保证长期可靠性的问题（英飞凌采取非对称沟槽式（Asymmetric Trench）结构解决这一问题）。

图表 28: Rhom 第二代和第三代的 SiC MOSFET 器件结构



资料来源: Rhom, 国盛证券研究所

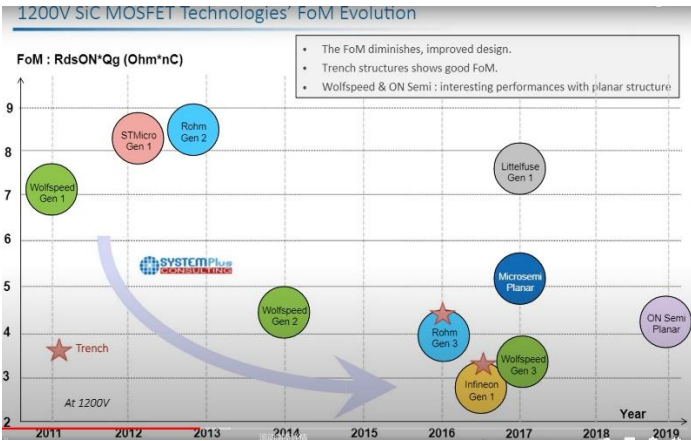
图表 29: 第二代和第三代产品各项特性对比

Device	第二代 SCT2080KE	第三代 SCT3040KL	
Package	TO247	TO247	
Tjmax	175°C	175°C	
Pd Tc=25°C	262W	262W	
Id Tc=25°C	40A	55A	
Vgs	-6 ~ 22V	-4 ~ 22V	
Ron	Tj=25°C	80 mΩ	Ron ↓50%
	Tj=125°C	125 mΩ	62 mΩ
Eon	Vdd=800V	760uJ	Esw ↓30%
Eoff	Id=20A	120uJ	
Ciss/Coss/Crss	2080 / 77 / 16 (pF)	1337 / 76 / 27 (pF)	Ciss ↓35%
Qg	106 nC	107 nC	
Rg	6.3Ω	7Ω	

资料来源: Rhom, 国盛证券研究所

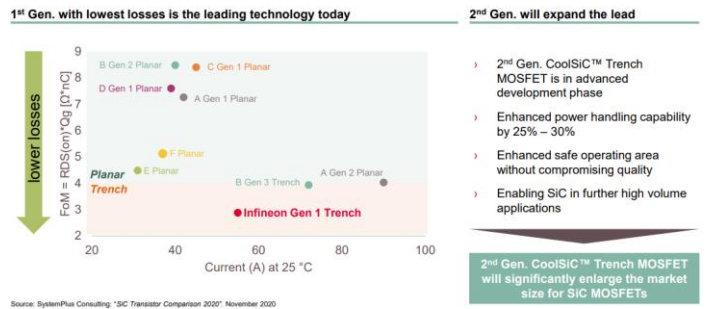
英飞凌依托在 Si 基功率器件领域强大实力，2016 年推出的 SiC MOSFET 产品基于 CoolSiC™沟槽栅设计，面向光伏逆变器、电池充电设备及储能装置，其系统性能在功率转换开关器件的优值系数（FOM）值上取得了巨大改进，从而带来更高的效率和功率密度，以及更低的系统成本。英飞凌即将推出的第二代产品已经处于成熟开发阶段，性能预计较第一代再提升 25-30%，同时可靠性进一步提升，有望打开更大的应用市场空间。

图表 30: SiC MOSFET 产品升级迭代进程



资料来源: Yole, 国盛证券研究所

图表 31: 英飞凌第二代 CoolSiC™ 性能将进一步提升 25-30%



资料来源: 英飞凌, 国盛证券研究所

1.3.2 SiC 成本下降迎来价格甜蜜点

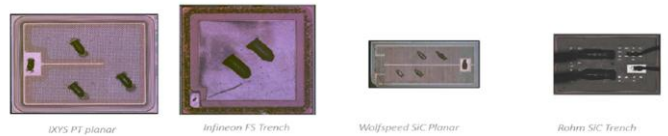
Die Size 和成本是 SiC 技术产业化的核心变量。我们比较目前市场主流 1200V 硅基 IGBT 及 SiC 基 MOSFET，可以发现 SiC 基 MOSFET 产品较 Si 基产品能够大幅减少 Die Size，且表现性能更好。但是最大阻碍仍在于 Wafer Cost，根据 yole development 测算，单片成本 SiC 比 Si 基产品高出 7~8 倍。

图表 32: SiC 较 Si 基产品能够大幅减少 Die Size

Transistor	Techno	Manufacturer	Current at 100°C	Current density	Die area
IXGP30N120B3	PT planar	IXYS	30A	0.98	30.6 mm ²
IHW40N120R3	FS trench	Infineon	40A	1.37	29.16 mm ²
C2M0040120D	SiC planar	Cree	40A	2.19	18.29 mm ²
BSM180D12P3C007	SiC trench	Rohm	36A	2.79	12.9 mm ²

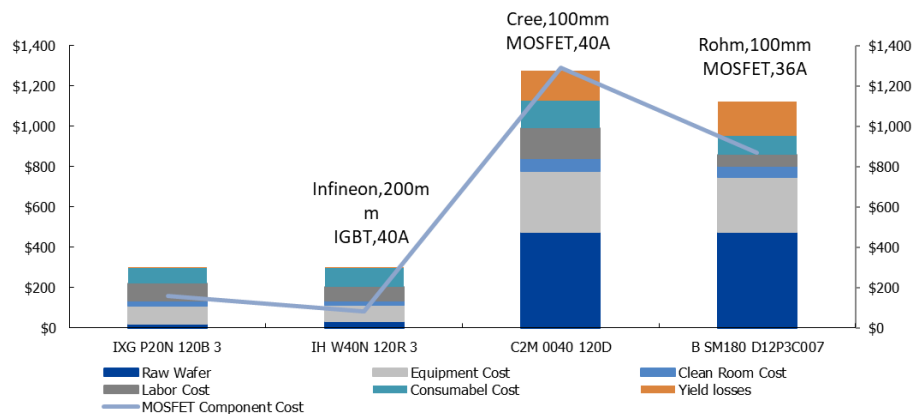
资料来源: Yole, 国盛证券研究所

图表 33: 目前的主流 SiC 和 Si 基 IGBT 产品



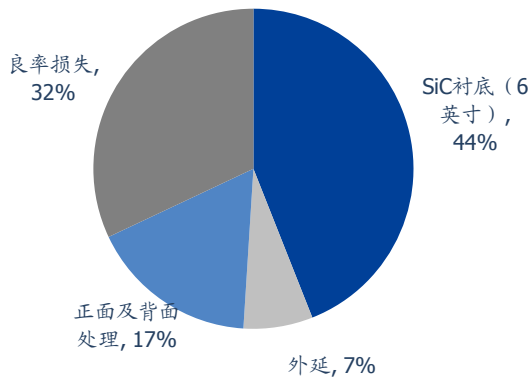
资料来源: Yole, 国盛证券研究所

图表 34: 硅基 IGBT 与 SiC 基 MOSFET wafer cost 对比



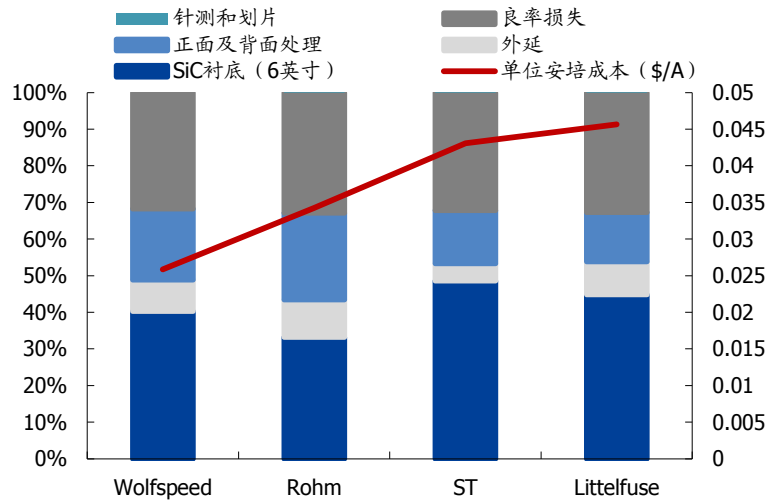
资料来源: Yole, 国盛证券研究所

图表 35: SiC MOSFET 前道成本拆分



资料来源: Yole, 国盛证券研究所

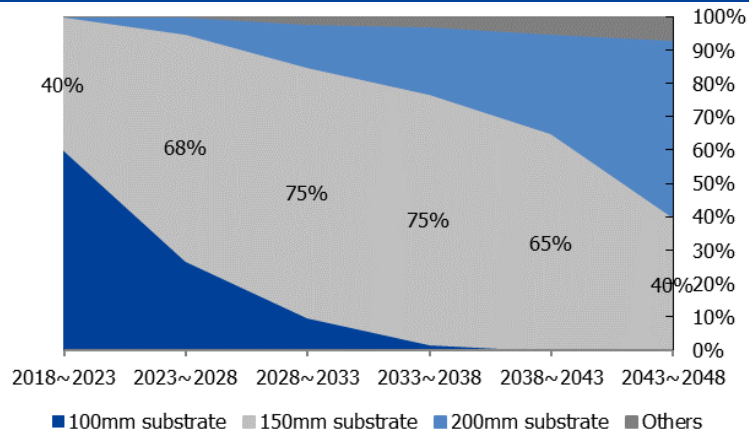
图表 36: 部分厂商 SiC MOSFET 各环节成本占比对比



资料来源: Yole, 国盛证券研究所

目前 SiC 主流尺寸处于 4 英寸向 6 英寸过渡阶段。单晶尺寸的增加往往会伴随结晶质量的下降, SiC 衬底从 1~8 英寸不等, 主流尺寸为 4~6 英寸。由于尺寸越大, 生产效率越高, 但生产品质控制难度越高, 因此目前 6 英寸主要用于二极管, 4 英寸主要用于 MOSFET。由于 6 英寸的硅晶圆产线可以升级改造用于生产 SiC 器件, 所以预计 6 英寸 SiC 衬底的高市占率会维持较长时间。

图表 37: SiC 衬底尺寸发展趋势



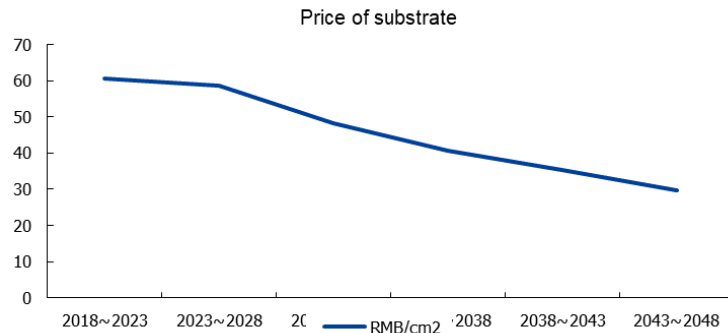
资料来源: CASA, 国盛证券研究所

未来 5 年内驱动 SiC 器件市场增长的主要因素将由 SiC 二极管转变为 SiC MOSFET。目前, SiC 电力电子器件市场的主要驱动因素是功率因数校正 (PFC) 和光伏应用中大规模采用的 SiC 二极管。然而, 得益于 SiC MOSFET 性能和可靠性的提高, 3~5 年内, SiC MOSFET 有望在电动汽车传动系统主逆变器中获得广泛应用, 未来 5 年内驱动 SiC 器件市场增长的主要因素将由 SiC 二极管转变为 SiC MOSFET。

SiC 成本下降依赖于尺寸增加、可用厚度增加和缺陷密度下降。伴随大直径衬底占比不断提高, 衬底单位面积生长成本下降。单晶可用厚度在不断增加。以直径 100mm 单晶为例, 2015 年前大部分单晶厂商制备单晶平均可用厚度在 15mm 左右, 2017 年底已经达到 20mm 左右。伴随衬底结晶缺陷密度下降的同时, 工艺复杂程度增加。在大部分衬

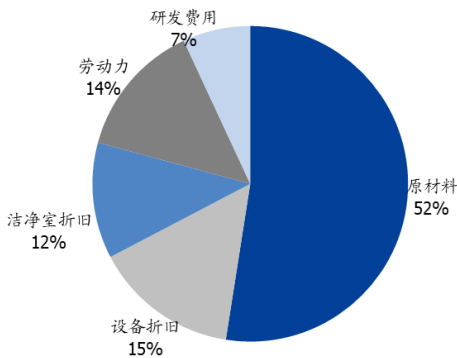
底提供商完成低缺陷密度单晶生长工艺及厚单晶生长工艺研发后，衬底单位面积价格会迎来相对快速的降低。

图表 38: SiC 衬底价格 (元/cm²)



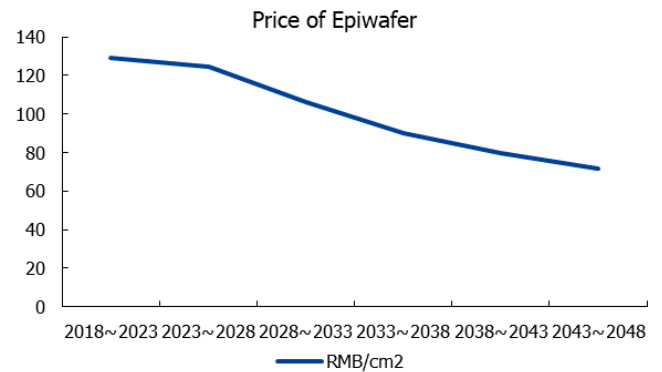
资料来源: CASA, 国盛证券研究所

图表 39: SiC 外延片成本结构



资料来源: CASA, 国盛证券研究所

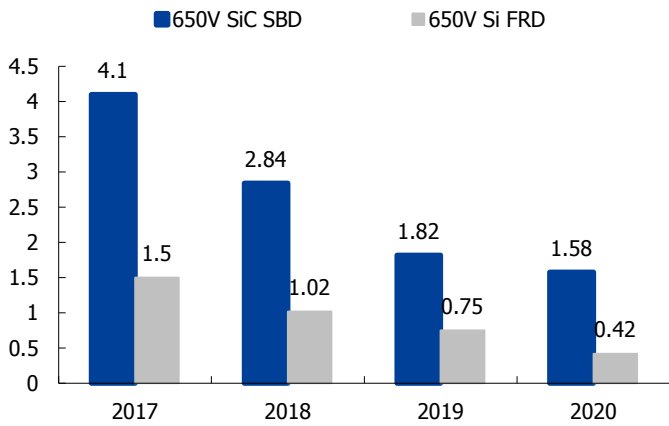
图表 40: SiC 外延片价格 (元/cm²)



资料来源: CASA, 国盛证券研究所

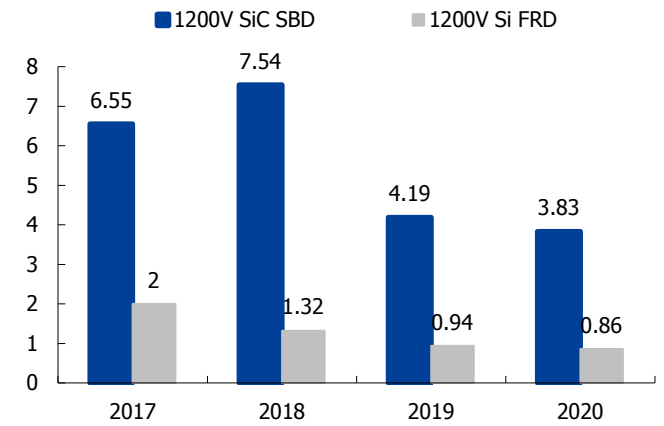
SiC 电力电子器件价格进一步下降，与同类型 Si 器件价差缩小。根据 CASA, Mouser, 从公开报价来看，2020 年底 650V SiC SBD 均价为 1.58 元/A，同比下降 13.2%，与 Si 器件的价差约 3.8 倍；1200V SiC SBD 均价为 3.83 元/A，同比下降 8.6%，与 Si 器件的差距约 4.5 倍。根据 CASA 调研，实际成交价低于公开报价，650V SiC SBD 实际成交价格约 0.7 元/A，1200V SiC SBD 价格约 1.2 元/A，约为公开报价的 60%-70%，同比则下降了 20%-30%，实际成交价与 Si 器件价差已经缩小至 2-2.5 倍之间，已经达到了甜蜜点。若考虑系统成本（周边的散热、基板等）和能耗等因素，SiC 产品已经具备一定竞争力，随着产业链技术更加成熟和产能不断扩充，未来在下游新能源汽车、光伏逆变、消费类电子等市场应用有望加速渗透。

图表 41: 650V SiC SBD 价格逐年降低 (元/A)



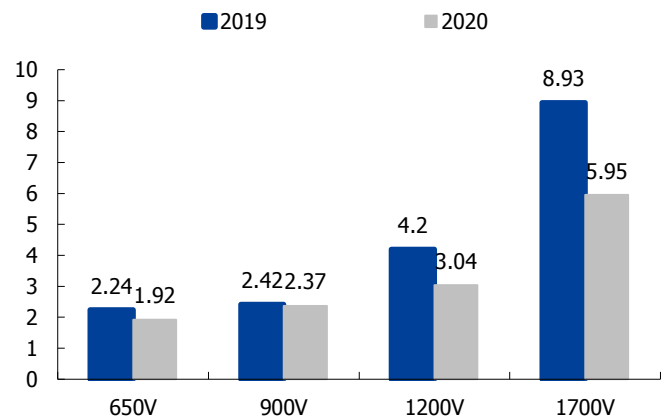
资料来源: Mouser, Digi-Key, CASA, 国盛证券研究所

图表 42: 1200V SiC SBD 价格同样逐年降低 (元/A)



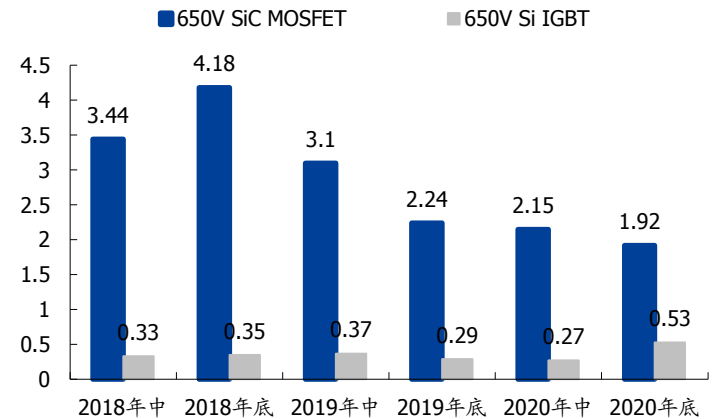
资料来源: Mouser, Digi-Key, CASA, 国盛证券研究所

图表 43: SiC MOSFET 2020 年平均价格 (元/A)



资料来源: Mouser, Digi-Key, CASA, 国盛证券研究所

图表 44: 650V SiC MOSFET 和 Si IGBT 价格比较 (元/A)



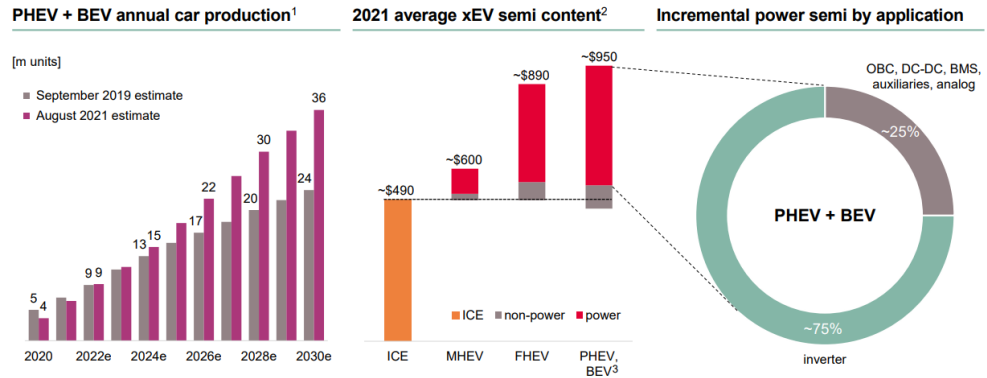
资料来源: Mouser, Digi-Key, CASA, 国盛证券研究所

1.4 新能源汽车是 SiC 器件最重要驱动力

随着全球对于气候变暖、二氧化碳减排的认知不断提升, 各国政府陆续推出一系列燃油车禁售目标及新能源车补贴措施, 例如我国《新能源汽车产业发展规划(2020-2035)》提出到 2025 年新能源汽车新车销量占比达到 25%左右。车企也纷纷制定新能源车销量占比目标, 例如奥迪预计到 2025 年其新能源车型销量占比达到 40%, 沃尔沃计划 2025 年达到 50%, 2030 年达到 100%, 宝马预计到 2030 年新能源车型销量占比达到 50% 等等。新能源汽车的高速发展为第三代半导体功率器件带来广阔应用空间。

图表 45: 新能源汽车渗透速度超预期

The penetration of PHEV + BEV is accelerating; the incremental content of power semis in xEV is a significant opportunity for Infineon

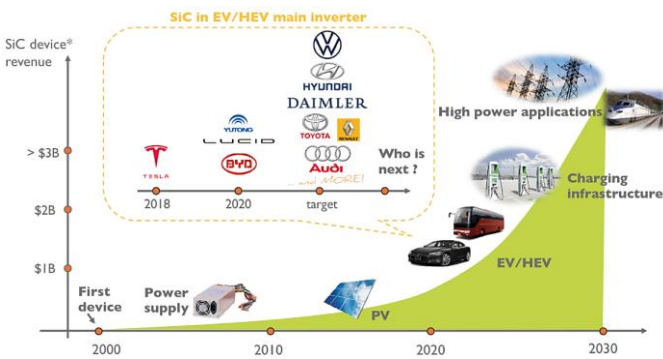


¹ Based on or includes content supplied by IHS Market Automotive: Alternative Population Forecast: September 2019, August 2021.
² Strategy Analytics: Automotive Semiconductor Demand Forecast 2019 - 2029, July 2021; Infineon: "power" includes voltage regulators, ADCs and ASICs.
³ Due to missing ICE engine in BEV the weighted incremental semiconductor content for PHEV and BEV starts below the ~\$490* line.

资料来源: 英飞凌, HIS (2021.8), 国盛证券研究所

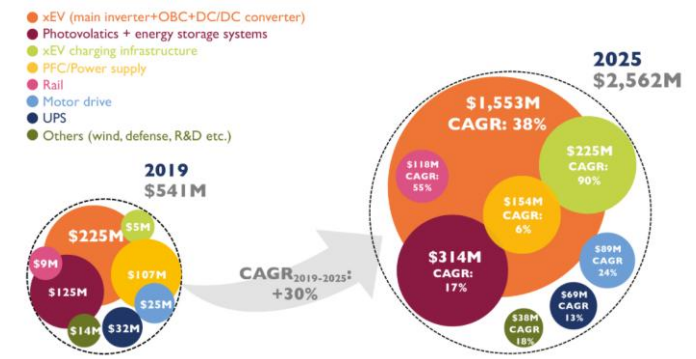
新能源汽车将是 SiC 器件需求规模大幅增长的主要推动力。按照 SiC 功率器件应用发展来看, 初期 SiC 器件主要用于 PFC 电源领域, 过去十年 SiC 在光伏及一些能源储存系统中被广泛, 未来十年, 新能源汽车、充电设施、轨道交通将是 SiC 器件需求规模大幅增长的主要推动力。根据 Yole, 2019 年 SiC 全球市场规模超过 5.4 亿美元, 到 2025 年将达到 25.6 亿美元, CAGR 30%, 其中新能源汽车占比最高, 2025 年市场规模将达到 15.5 亿美元, CAGR 38%, 充电桩增速高达 90%。

图表 46: SiC 功率器件应用发展路径



资料来源: Yole, 国盛证券研究所

图表 47: 2019 年-2025 年 SiC 功率市场规模按应用划分

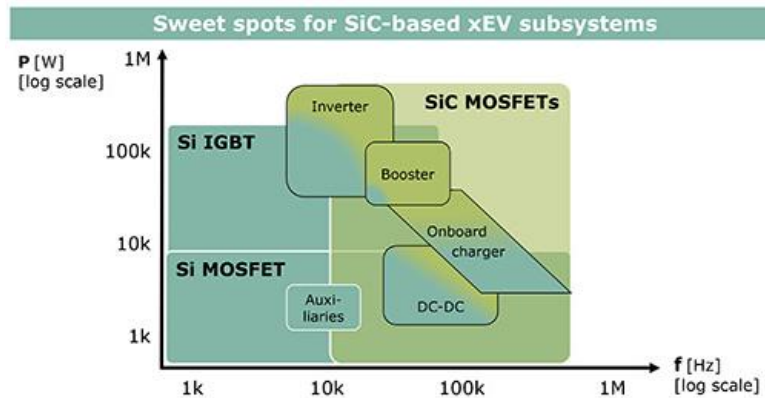


资料来源: Yole, 国盛证券研究所

新能源汽车系统架构中涉及到 SiC 应用的系统主要有电机驱动器、车载充电器 (OBC) /非车载充电桩和电源转换系统 (车载 DC/DC)。Si IGBT 具有导通压降小、耐压高、开关速度快的优势, 目前大量应用于新能源汽车的 OBC、DC/DC 和电机控制器中。

未来 SiC 器件将在新能源汽车应用中具有更大优势。IGBT 是双极型器件, 在关断时存在拖尾电流, 因此关断损耗大。MOSFET 是单极器件, 不存在拖尾电流, SiC MOSFET 的导通电阻、开关损耗大幅降低, 整个功率器件具有高温、高效和高频特性, 能够提高能源转换效率。

图表 48: SiC 器件在新能源汽车中的优势应用

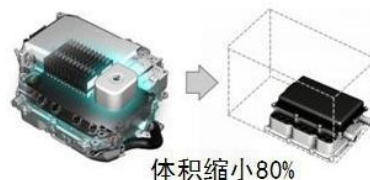
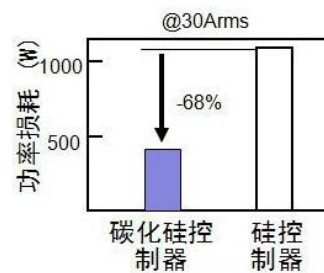


资料来源: 英飞凌, 国盛证券研究所

电机驱动: 电机驱动中使用 SiC 器件的优势在于提升控制器效率, 提升功率密度和开关频率, 减少开关损耗以及简化电路散热系统, 从而降低成本、大小, 改善功率密度。丰田的 SiC 控制器将电驱动控制器体积减小 80%。

图表 49: 丰田的 SiC 控制器体积缩小 80%

丰田碳化硅控制器



2020年投入实用

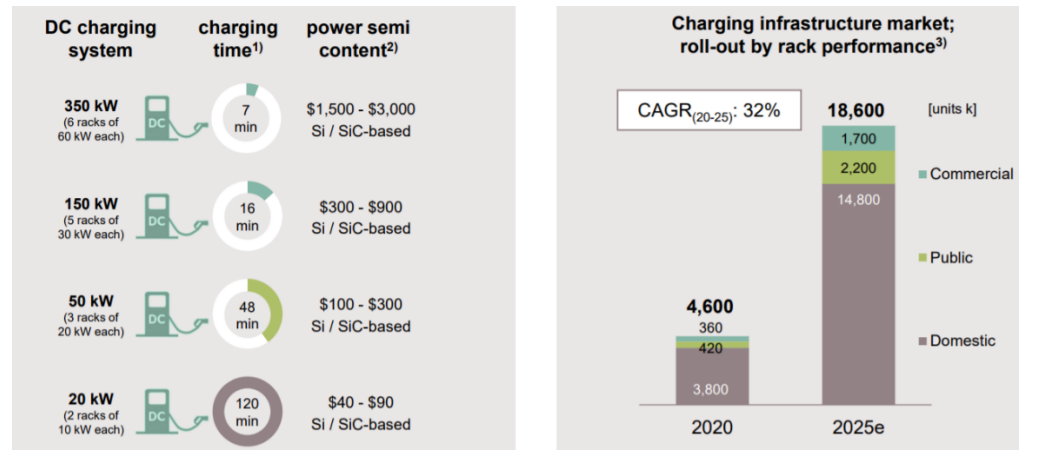
资料来源: 驱动视界, 国盛证券研究所

电源转换: 车载 DC/DC 变换器的作用是将动力电池输出的高压直流电转换为低压直流电, 从而为动力推进、HVAC、车窗升降、内外照明、信息娱乐和一些传感器等不同系统提供不同的电压。使用 SiC 器件可降低功率转换损耗并实现散热部件的小型化, 从而减小变压器体积。

充电模块: 车载充电器和充电桩使用 SiC 器件, 能够发挥其高频、高温和高压的优势, 采用 SiC MOSFET, 能够显著提升车载/非车载充电机功率密度、减少开关损耗并改善热管理。根据 Wolfspeed, 汽车电池充电机采用 SiC MOSFET 在系统层面的 BOM 成本将降低 15%; 在 400V 系统相同充电速度下, SiC 充电量较硅材料可以翻倍。

- **非车载直流快速充电机:** 将输入的外部 AC 转换为电动汽车所需的 DC 电源, 并将其存储在电池中。SiC 的高开关速度是新型快速充电器的核心。

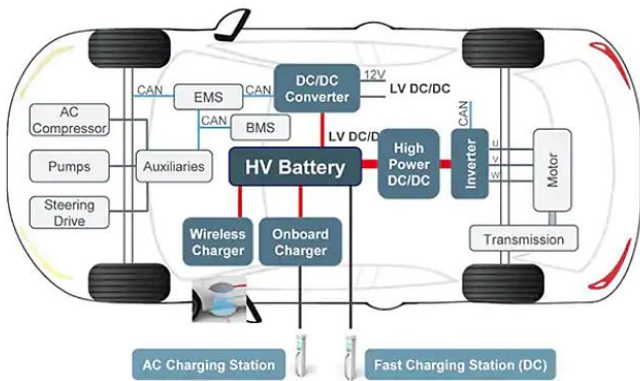
图表 50: 新能源车充电桩对 SiC 功率器件需求



资料来源: 英飞凌, 国盛证券研究所

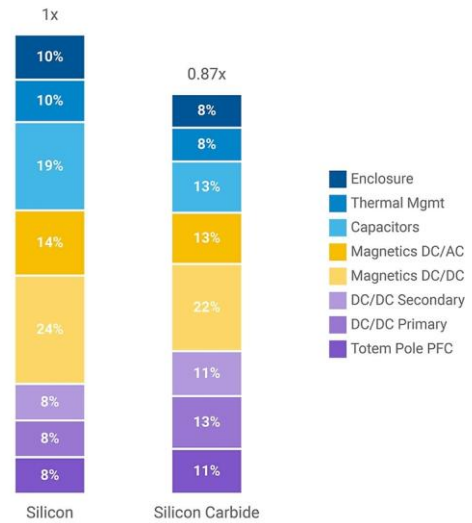
- 车载蓄电池充电机 (OBC): 将来自电池子系统的 DC 电源转换为主驱动电机的 AC 电源。在插入外部电源充电时, OBC 的整流电路将 AC 电源转换为 DC 电源, 为蓄电池充电。OBC 系统还可以通过再生制动收集车辆动量产生的动能, 并送到电池。与硅相比, SiC OBC 体积小 60%, 器件热量和能量损失都更少。

图表 51: 电动汽车电池系统



资料来源: ROHM, 国盛证券研究所

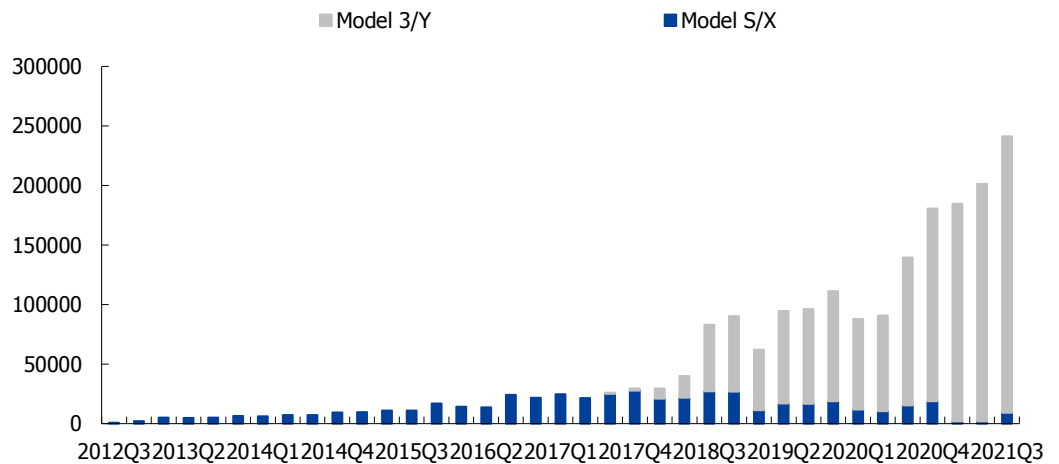
图表 52: 电动汽车充电机系统层面 BOM 物料清单成本对比



资料来源: Wolfspeed, 国盛证券研究所

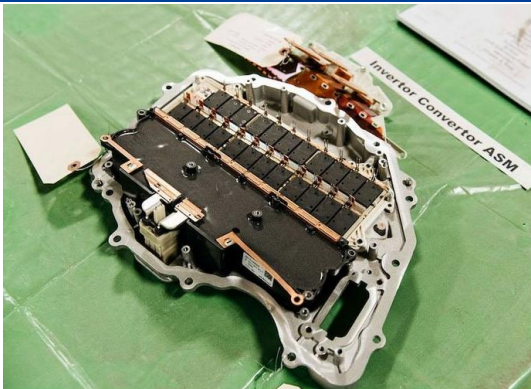
特斯拉引领行业潮流, 率先在逆变器上使用 SiC。特斯拉 Model 3 的电驱动主逆变器采用意法半导体的全 SiC 功率模块, 包含 650V SiC MOSFET, 其衬底由科锐提供。目前特斯拉仅在逆变器中引用了 SiC 材料, 未来在车载充电器 (OBC)、充电桩等都可以用到 SiC。

图表 53: 特斯拉季度交付量 (按车型, 辆)



资料来源: 特斯拉, 国盛证券研究所

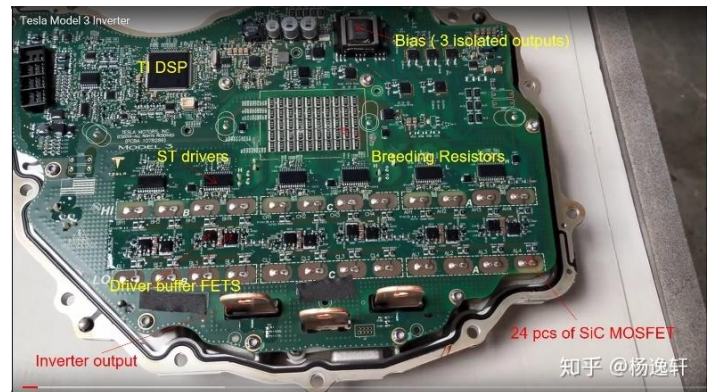
图表 54: 特斯拉 Model 3 逆变器拆解



Model 3 inverter. Note two rows of rectangular devices

资料来源: Munro&Associates teardown, 国盛证券研究所

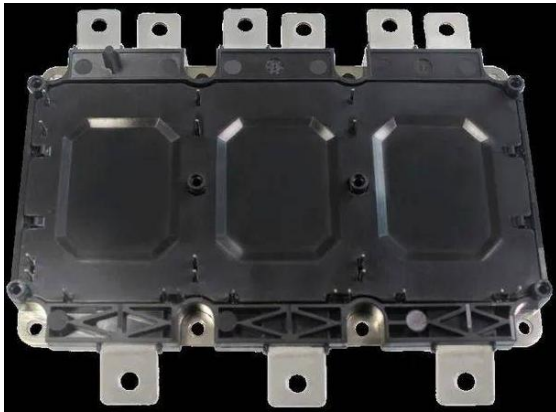
图表 55: 特斯拉 Model 3 逆变器 PCB



资料来源: Engineerix, 知乎, 国盛证券研究所

大陆电动车龙头厂比亚迪汉四驱版是国内首款在电机控制器中使用自主研发 SiC 模块的电动汽车。借助 SiC 的低开关及导通损耗及高工作结温特性, 汉 EV 的 SiC 模块同功率情况下体积较硅 IGBT 缩小一半以上, 功率密度提升一倍。根据比亚迪, 公司计划到 2023 年, 在旗下所有电动车中用 SiC 功率半导体全面替代 IGBT。2020 年 12 月, 比亚迪半导体公布目前在规划自建 SiC 产线, 预计 2021 年建成自有 SiC 产线。

图表 56: 比亚迪自主研发 SiC MOSFET 模块



资料来源: 比亚迪, 国盛证券研究所

图表 57: SiC 模块是比亚迪电动汽车未来发展方向

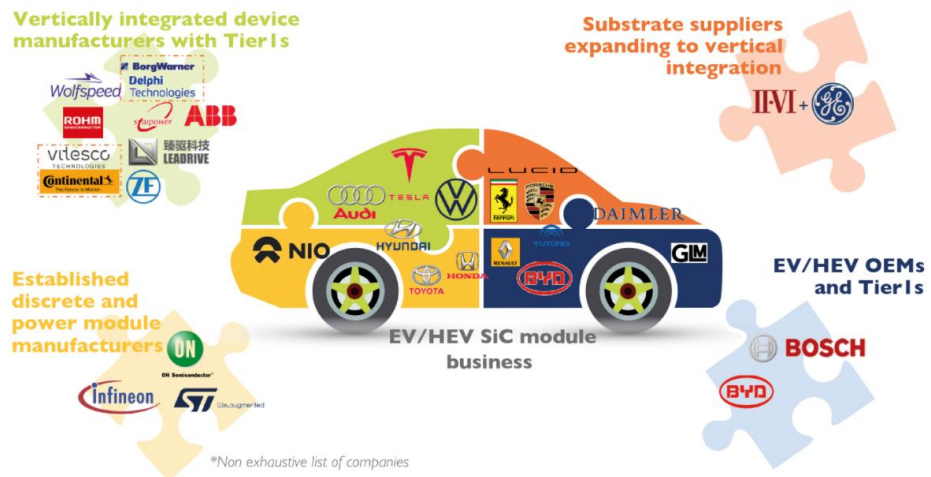


资料来源: 比亚迪, 国盛证券研究所

目前汽车 SiC 模块供应链厂商主要从四个维度进军市场。

- SiC 模组厂商与 Tier 1 厂商合作: 以罗姆为代表, 2020 年 6 月, 罗姆与大陆集团 (Continental) 动力总成事业群纬湃科技 (Vitesco Technologies) 达成合作协议, 共同开发 SiC 动力解决方案, 纬湃科技将首选合作伙伴罗姆提供的 SiC 功率器件, 提升电动汽车功率电子效率;
- 领先功率器件及模块厂商: 在全球 Si 功率器件领先的英飞凌、安森美、ST 意法半导体等厂商在 SiC 材料功率器件同样具备优势。
- 衬底厂商垂直整合: 以 II-VI 为代表, 通过收购 SiC 器件厂商, 及 GE 的 SiC IP 授权, 垂直整合 SiC 业务;
- 电动汽车 OEM 厂商同时也是 Tier 1: 例如比亚迪, 不仅是整车厂, 比亚迪半导体具备自主研发 SiC 模块能力。

图表 58: 汽车 SiC 模块供应链厂商四个维度



资料来源: Yole, 国盛证券研究所

车用 SiC 器件渗透率提升有望带来市场规模快速扩张。据 Yole 统计, 新能源汽车是 SiC 功率器件下游最重要的应用市场, 预计到 2024 年新能源车用 SiC 功率器件市场规模将达到近 12 亿美元。2018 年国际上有 20 多家汽车厂商已经在车载充电机 (OBC) 中使用 SiC SBD 或 SiC MOSFET。目前以特斯拉 Model 3、比亚迪汉为代表的车型在逆变器中采

用 SiC 功率模块只是车用 SiC 器件的起步，未来随着 SiC 在车载充电器、DC/DC 转换以及充电桩中渗透率提升，市场空间有望快速扩大。

图表 59: SiC 功率器件市场规模及预测 (百万美元)

SiC 功率器件市场规模 (百万美元)	2018	2019E	2020E	2021E	2022E	2023E	2024E
Rail(including aux power)	5	8	9	13	15	39	96
PFC/power supply	138	151	164	169	181	201	228
xEV(OBC+main inverter+DC-DC)	112	209	295	318	397	543	941
Wind					1	2	3
xEV charge infrastructure	6	21	42	65	101	160	257
PV+ESS	97	106	116	146	168	196	235
Motor drive	22	25	28	37	46	58	72
UPS	27	31	35	40	49	59	72
others(oil,gas,military,medical,R&D,etc)	13	14	15	16	17	20	24
Total	420	565	704	804	975	1378	1928

资料来源: Yole, 国盛证券研究所

仅考虑逆变器的使用，新能源车将消耗绝大部分 SiC 衬底产能；如果考虑车载 OBC、充电桩、DC/DC 的 SiC 使用渗透提升，需求量将更大。从产能角度来看，以特斯拉 Model 3 为例估算，根据拆解图，主逆变器中有 24 个 SiC 模块，每个模块 2 个 SiC MOSFET，共需要 48 颗芯片。一个 6 寸片面积约为 8.8 辆车所消耗的 SiC MOSFET 芯片面积，假设 10% 边缘损耗和 60% 良率，则单个 6 寸片足够供应约 4.7 辆车。Model 3/Y 2019 年交货量 30 万辆，消耗 6.4 万片 SiC，约占当年全球产能 24%。尽管 SiC 产业链在快速扩产，预计 2025 年产能为 2019 年的 10 倍，中期测算，仅考虑逆变器的搭载，新能源汽车将占 SiC 衬底产能 50%。

图表 60: 新能源汽车用 SiC 功率器件产能测算

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030
新能源车 (万辆)	254	371	501	636	782	980	1185	1394	2730
主逆变器 SiC 渗透率	13%	25%	30%	40%	45%	50%	55%	63%	70%
单车芯片用量 (颗)	48	48	48	48	48	48	48	48	48
单车消耗 6 寸数 (片)	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
消耗 6 寸片数量 (万片)	54	67	85	101	117	138	163	190	360
消耗产能单位 (K/M)	45	56	70	84	97	115	136	158	300

资料来源: Yole, Ingineerix 拆解, 国盛电子测算, 国盛证券研究所

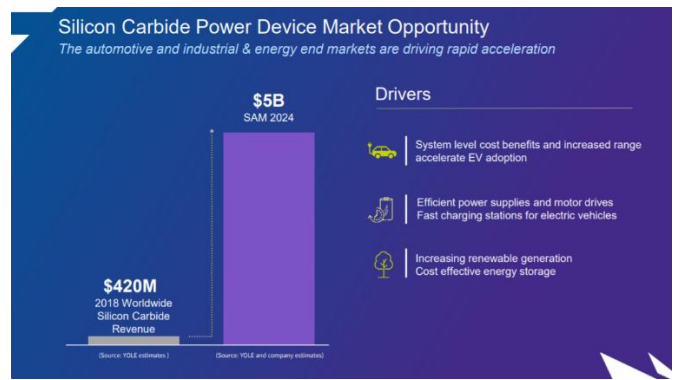
根据 Yole 及科锐业务情况，科锐预计到 2024 年，其 SiC 晶圆可服务市场规模约 11 亿美元，SiC 器件可服务市场规模达到 50 亿美元。

图表 61: 科锐预计 SiC 衬底市场规模在 2024 年达到 11 亿美元



资料来源: CREE, Yole, 国盛证券研究所

图表 62: 科锐预计 SiC 器件市场规模在 2024 年达到 50 亿美元



资料来源: CREE, Yole, 国盛证券研究所

考虑降价因素 2025 年新能源汽车 SiC 需求中枢在 59~65 亿美元。我们假设 2025 年全球新能源汽车出货量 1800 万~2000 万辆, 考虑 SiC 晶圆随着技术成熟价格下降, 假设单价约 2000 美元/片, 则预计到 2025 年新能源汽车仅逆变器 SiC 需求空间弹性中枢在 59~65 亿美元。此外, 新能源汽车 DC/DC、车载充电器系统及充电桩中 SiC 的应用将进一步提升新能源车用 SiC 市场规模!

图表 63: 弹性测算: 2025 年纯电动新能源汽车逆变器 SiC 需求中枢在 59-65 亿美金

新能源汽车逆变器 SiC 需求规模弹性测算 (亿美元)	1600 万辆	1800 万辆	2000 万辆	2200 万辆
\$1500/片	39.0	43.9	48.8	53.6
\$2000/片	52.0	58.5	65.0	71.5
\$2500/片	65.0	73.1	81.3	89.4

资料来源: 国盛电子测算国盛证券研究所

二、产业链大力扩产应对需求爆发, 国内企业有望同步成长

SiC 上游处于供不应求阶段, 诸多硅电力电子厂商积极参与。目前, 国外已有超过 30 家公司具备 SiC 材料、器件制造能力, 并从事相关商业活动。现有硅电力电子器件龙头制造商或多或少地活跃在 SiC 领域。目前有包括 Infineon、Rohm、Cree、STM 等 20 家企业提供 SiC 肖特基二极管产品。

据 CASA, 2020 年国内投产 3 条 6 英寸 SiC 晶圆产线, 到 2020 年底, 国内至少已有 8 条 6 英寸 SiC 晶圆制造产线 (包括中试线), 另有约 10 条 SiC 生产线正在建设。国内 600~3300V SiC SBD 的产业化初见成效, 开始批量应用, 面向电网的 6.5kV SiC SBD 正在研发。国内企业也已经研发出 1200V/50A SiC MOSFET。

图表 64: 国内 SiC 晶圆产线情况

产线状态	数量	主要企业
已有产线	7 条	泰科天润、三安集成、中电科 55 所、世纪金光、国家电网全球能源互联网研究院、中车时代半导体、华润微
新增产线	3 条	上海积塔半导体、芜湖启迪半导体、泰科天润
在建产线	10 条	三安光电、燕东微电子、中科汉韵、比亚迪、富能半导体、广东芯聚能、南京百识电子、青岛惠科、华瑞微、英唐智控

资料来源: CASA, 国盛证券研究所

2.1 外资厂商主导 SiC 市场，大力扩产迎接需求

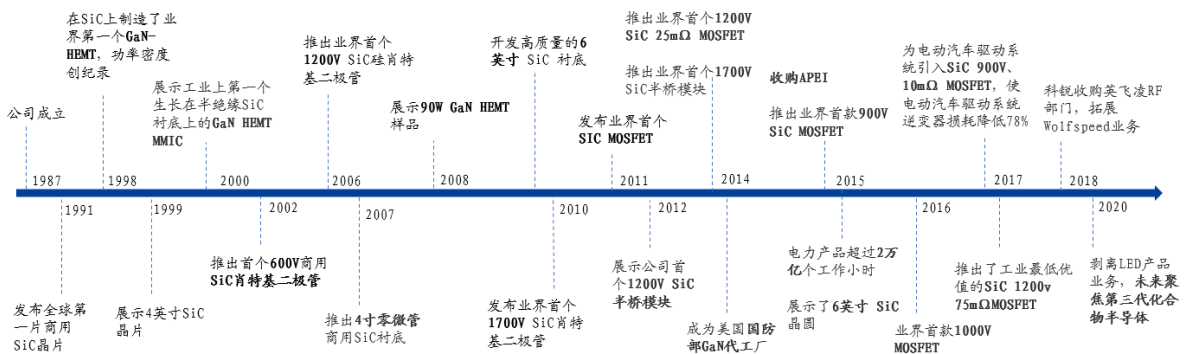
科锐: 全球 SiC 衬底龙头企业，引领行业升级

营收连续五个季度环比增长。公司 2022 财年第 3 季度营收 1.57 亿美元，环比增长 7.4%，同比增长 35.6%。单季度 Non-GAAP 净亏损 2380 万美元，Non-GAAP 毛利率 33.5%，Q2 为 32.3%，资本开支 2.09 亿美元。展望下季度，公司预计营收区间为 1.65 至 1.75 亿美金，环比再提升，单季度 Non-GAAP 净亏损收窄至 1900-2300 万美元。

与通用汽车达成战略合作。2021 年 10 月，Wolfspeed 宣布与通用汽车达成一项战略供应商协议，Wolfspeed 降维为通用汽车的未来电动汽车计划开发并提供碳化硅功率器件解决方案，Wolfspeed 碳化硅器件将赋能通用汽车电动汽车动力系统。

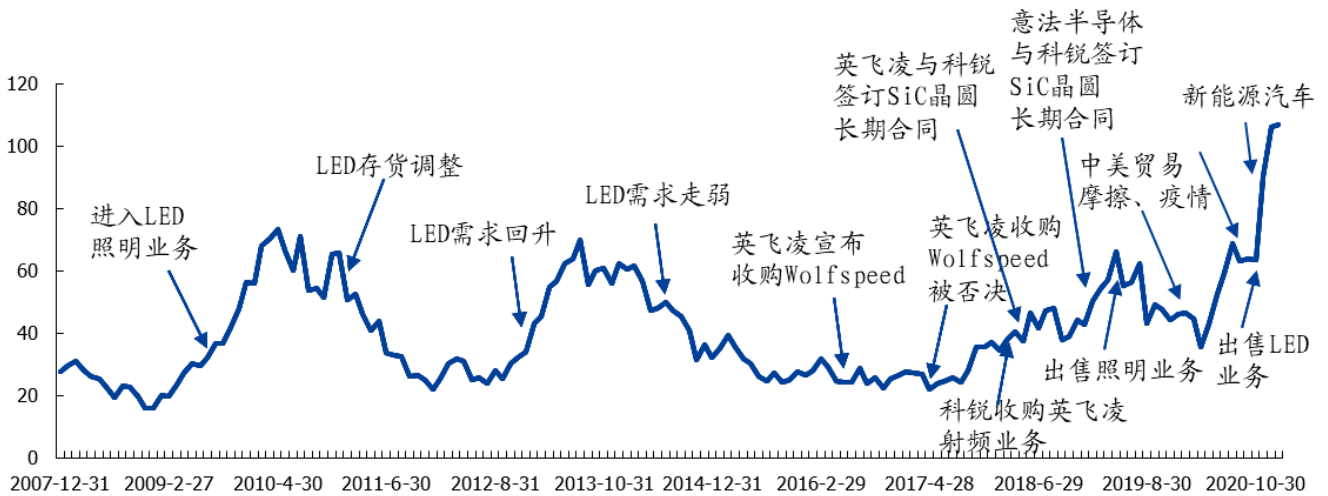
更名 **Wolfspeed**，战略重大转变，第三代化合物半导体成核心业务。科锐 (Cree|Wolfspeed, 美) 是目前全球最大的 SiC 衬底制造商，公司 1987 年成立于达勒姆，创始人曾在北卡罗来纳州立大学从事 SiC 物理特性相关科研工作。公司技术最初商业化用于 LED 市场，小部分产品进入军用和航空航天领域，后进入照明市场。近年来，科锐战略发生重大转变，2021 年 10 月，公司公告正式更名 Wolfspeed，Wolfspeed 原本是 Cree 的主营第三代化合物半导体业务的子公司，公司在 2019 年出售了照明业务，2020 年 10 月宣布出售 LED 业务，足见公司在第三代化合物半导体领域的信心。Wolfspeed 业务的竞争对手包括其他材料供应商，如 II-VI 公司和日本 Rohm，在功率器件领域，竞争对手还包括英飞凌和意法半导体。

图表 65: Wolfspeed 发展历程



资料来源: 公司官网, 公司公告, 国盛证券研究所

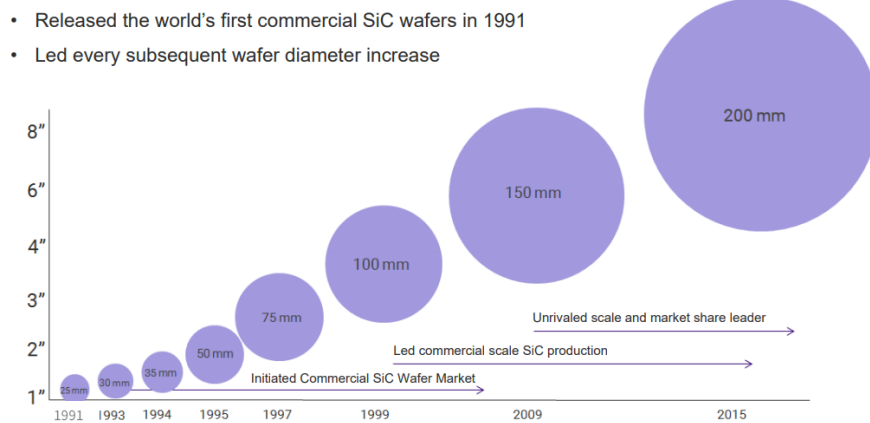
图表 66: Wolfspeed 股价复盘



资料来源: Wind, 国盛电子整理, 国盛证券研究所

引领行业升级, 向 8 英寸衬底发展。Wolfspeed 1991 年推出全球第一款商用 SiC 晶圆, 后陆续引领全球实现 2 英寸、4 英寸、6 英寸 SiC 单晶量产商用, 8 英寸 SiC 单晶衬底也已研制成功。

图表 67: 科锐引领全球 SiC 晶圆发展历程



资料来源: CREE, 国盛证券研究所

业务垂直涵盖衬底和器件。Wolfspeed 第三代化合物射频和电力电子材料和器件业务分为材料、射频产品、功率产品三部分。其中材料产品包括 4 英寸/6 英寸的硅基和 SiC 基衬底, SiC 外延包括 n 型、p 型和厚膜外延以及氮化物异质外延。Wolfspeed 功率产品包括 SiC MOSFET 裸芯片、SiC MOSFET、SiC 模块、SiC 基肖特基二极管裸芯片、SiC 基肖特基二极管以及栅极驱动板和参考设计, 主要应用于汽车电子、工业和再生能源领域。

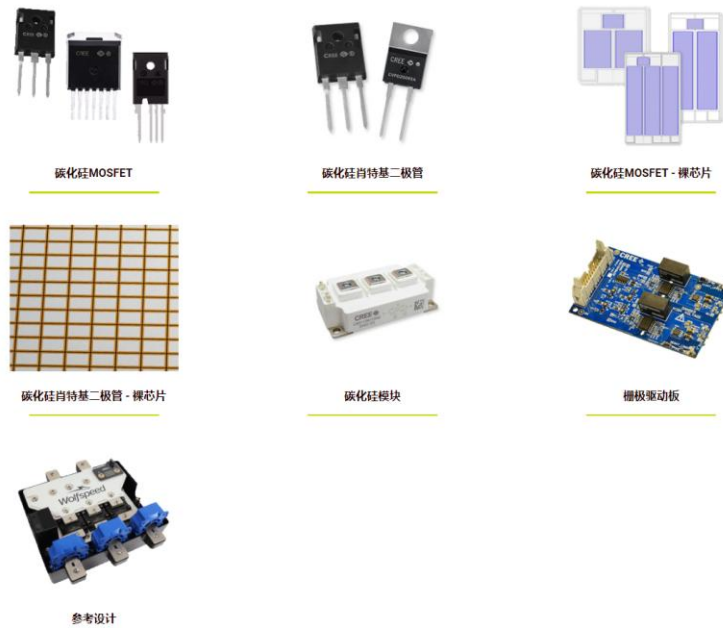
图表 68: Wolfspeed 材料产品组合

MATERIALS PORTFOLIO

Supported Diameters	SiC Substrates	SiC Epitaxy	Nitride Epitaxy
<ul style="list-style-type: none"> • 100 mm • 150 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • n-type • High Purity Si 	<ul style="list-style-type: none"> • n-type • p-type • Thick epitaxy 	<ul style="list-style-type: none"> • GaN, AlN • AlGaIn, AlInN • SiN • HEMT structures

资料来源: Wolfspeed, 国盛证券研究所

图表 69: Wolfspeed 功率产品组合



资料来源: Wolfspeed, 国盛证券研究所

公司功率和射频产品主要由位于北卡罗莱纳州的自有工厂以及在加州 **Morgan Hill** 的租赁工厂生产。其 **LED** 生产基地位于广东惠州。

图表 70: 科锐生产制造及行政基地情况

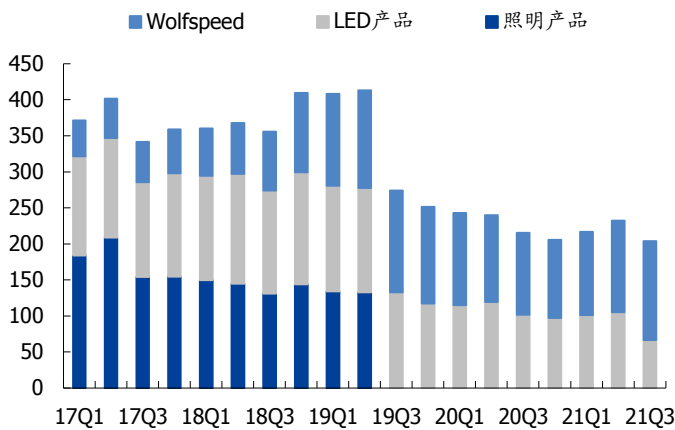
地点	部门	状态	应用	面积 (千平方英尺)
Durham (美)	Wolfspeed/LED 产品	自有	行政, 生产, 研发	1482
中国惠州	LED 产品	自有	生产	824
Research Triangle Park (美)	Wolfspeed	自有	生产	187
Morgan Hill (美)	Wolfspeed	租赁	生产	84
Fayetteville (美)	Wolfspeed	租赁	研发	38
中国香港	Wolfspeed/LED 产品	租赁	行政	30
Ipoh, 马来西亚	Wolfspeed	租赁	生产	26

资料来源: SEC filing, 国盛证券研究所

Wolfspeed 有望 **2022H1** 率先实现 **8 英寸 SiC 衬底** 量产。Wolfspeed 是全球第一个推出 8 英寸 SiC 衬底的厂商, 根据公司最新法说会, Mohawk Valley 仍有望在 2022 年上半年投产, 代表着公司将在全球率先实现 8 英寸 SiC 衬底量产外售。通常随着晶圆尺寸增

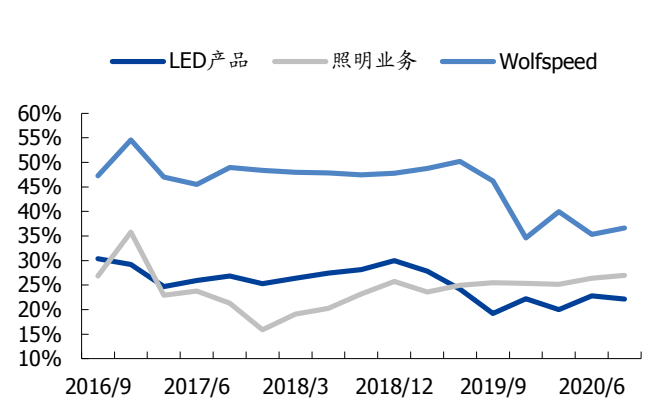
加另存，成本会下降 35%-40%，预计 Wolfspeed 从 6 寸向 8 寸转移，成本将下降至少 50%。

图表 71: 科锐各业务季度营收情况 (百万美元)



资料来源: 公司公告, 国盛证券研究所

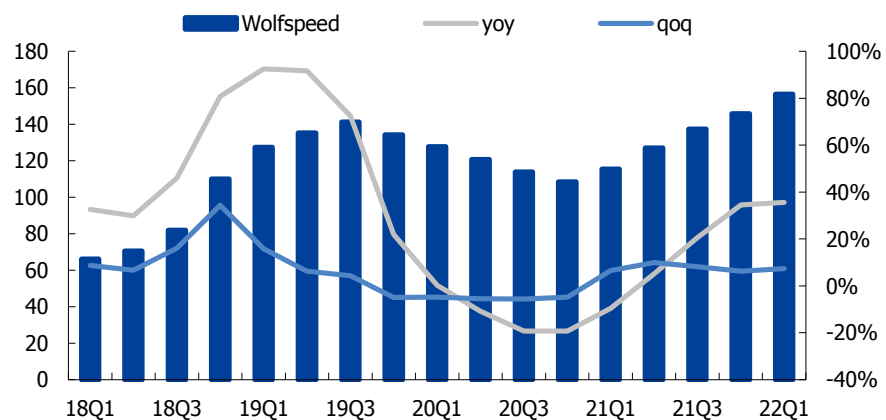
图表 72: 科锐各业务季度毛利率情况



资料来源: 公司公告, 国盛证券研究所

需求旺盛, Wolfspeed 营收恢复增长。复盘 Wolfspeed 季度营收、毛利率、ASP 及出货量, 第三代化合物半导体业务营收从 2019 年年中开始下滑, 2019 年的下滑主要是因为功率及射频需求减少, 出货量降低, 2020 年开始, 受中美贸易摩擦、疫情影响, 公司营收同比下降, 尤其是贸易摩擦, 导致亚洲需求减少, 部分客户调整供应链, 转向其他供应商。2021 年以来, 随着下游对功率及射频需求的增长, 公司营收恢复增长。

图表 73: Wolfspeed 季度营收 (百万美元) 及同比增长率



资料来源: 公司公告, 国盛证券研究所

图表 74: Wolfspeed 季度 ASP 及出货量变动情况 (6 月为财年末)

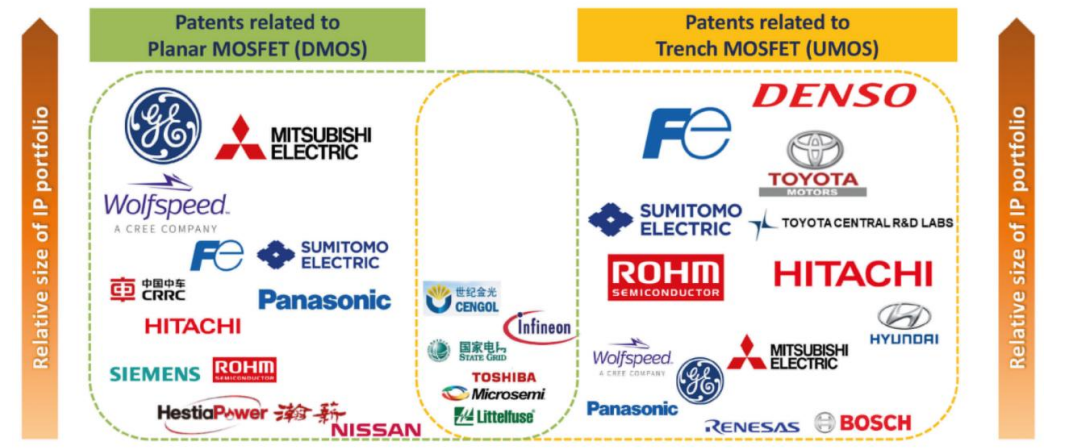
	2017/3	2017/6	2017/9	2017/12	2018/3	2018/6	2018/9	2018/12	2019/3
ASP yoy	-11%	全年ASP同比+2%	+22%	+8%	+23%	全年ASP同比+21%	+29%	+39%	+97%
出货量 yoy	+50%	全年出货量同比+29%	+17%	+21%	+20%	全年出货量同比+30%	+52%	+39%	-7%
	2019/6	2019/9	2019/12	2020/3	2020/6	2020/9	2020/12	2021/3	2021/6
ASP yoy	2019年全年营收增加得益于强劲内生增长, 射频业务合并以及高ASP产品营收的增加, 全年ASP同比+58%	+50%	+6%	-33%	2020年全年营收同比减少主要是因为中美贸易摩擦, 降低了亚洲	营收同比减少主要是因为疫情带来的供需影响, 以及中美贸易摩擦导致部分客户调整其产业链, 转向其他供应商, 以及部分客户出货延迟后	季度营收增长主要得益于功率及射频需求增长, 但下半年同比营收减少主要受疫情及中国射频需求减少, 但公司功率产品和产能需求增加	季度营收增长主要得益于功率及射频需求增长, 以及功率产能提升, 部分被疫情影响抵消	截至 2021.6.27, 公司backlog达到 7.64亿美金, 上年同期为 6.03亿美金, 主要与产品交期和客户订单结构相关
出货量 yoy	全年出货量同比+4%	-33%	-16%	+20%					

资料来源: 公司公告, 国盛电子整理, 国盛证券研究所

Wolfspeed 的竞争优势及壁垒在于:

- 1) **专利数量多:** 截至 2019 年 6 月, Wolfspeed 拥有 1379 项美国授权专利和约 2394 项国外专利, 最长有效期至 2039 年。此外 Wolfspeed 还与 LED、SiC、GaN 和电源设备市场的主要厂商达成了约 20 项专利及交叉许可协议。

图表 75: 2019 年 SiC MOSFET 专利市场格局



资料来源: KnowMade, Yole, 国盛证券研究所

- 2) **规模大、市占率高:** SiC 衬底全球市占率接近 60%, 近年来有所下降, 未来随着公司大力扩产, 聚焦 SiC 业务, 有望维持高市占率。
- 3) **超过 20 年 SiC 领域经验积累:** SiC 衬底制造过程需要超高温控制, 以提升结晶质量; SiC 材料硬度高, 需要掌握 SiC 划切技术 (英飞凌曾收购具备可减少损耗的特殊划切技术厂商 Siltectura)。
- 4) **车规级认证周期长、要求严格:** 车规级 SiC 器件对产品性能要求高, 具有认证周期长, 通过认证后与客户合作关系稳固长久的特点, 目前 Wolfspeed 已有多款车规级产品, 在建的 North Fab 将满足车规级 8 寸工艺标准。

Wolfspeed 计划未来大幅扩产 30 倍 (相比 2016Q3)。 目前全球 SiC 衬底市场主要由科锐主导, 其市场份额占全球 6 成。2019 年 5 月, 科锐宣布未来 5 年投资 10 亿美元用于扩大 SiC 产能, 与 2016Q3 产能比, 科锐 2024 年的 SiC、GaN Device (GaN on SiC RF)、SiC 晶圆产能将分别最大扩大 30 倍。

Wolfspeed 同时扩产现有工厂和投建新工厂, 扩厂 SiC 衬底及器件产能。 Wolfspeed 10 亿 Capex 中 4.5 亿美元用于 “North Fab” 新工厂, 增产 SiC 和 GaN 器件, 同时筹备符合车载认定要求的生产产线, 预计在 2020 年开始生产。预计到 2024 年 6 英寸 SiC 晶圆产能将提高 30 倍, 8 英寸 SiC 晶圆将会实现量产, 产能将进一步提高。另外将对达勒姆总部的园区内的现有工厂投资 4.5 亿美元, 作为其 SiC 晶圆的第一个 “Mega Factory”, 增加 SiC 晶圆产能。剩下一亿美元用于其他领域相关业务投资。

除自用生产 SiC 器件外, Wolfspeed 与意法半导体、英飞凌、安森美等公司均签订长期 SiC 晶圆供货战略协议, 为这些公司提供 6 寸 SiC 晶圆。

图表 76: Wolfspeed 与大客户签订长期 SiC 晶圆协议

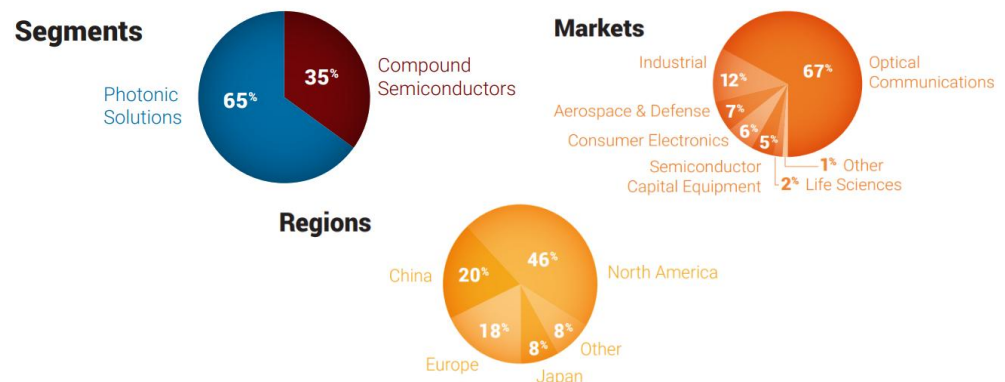
时间	客户	协议内容	应用领域
2019.11	ST 意法半导体	原有 2.5 亿美元长期协议，规模扩大到 5 亿美元，为意法半导体提供 6 寸 SiC 晶圆	汽车电子及工业
2019.8	安森美	8500 万美元长期协议，为安森美提供 6 寸 SiC 晶圆	汽车电子及工业
2019.1	ST 意法半导体	2.5 亿美元长期协议，为意法半导体提供 6 寸 SiC 晶圆	汽车电子及工业
2018.2	英飞凌	1 亿美元长期协议，为英飞凌提供 6 寸 SiC 晶圆	光伏逆变器、汽车电子、工业机器人、充电设施、工业电源等

资料来源：公司公告，国盛证券研究所

II-VI: 垂直布局 SiC 产业链，五年扩产 5~10 倍

美国 II-VI 公司成立于 1971 年，其主营业务包括光电材料和化合物半导体，产品应用于光通信、工业、航空国防、消费电子等领域。2020 财年总营收 23.8 亿美元，其中化合物半导体营收占比 35%，约 8.3 亿美元。

图表 77: II-VI 公司 2020 财年营收划分



资料来源：II-VI，国盛证券研究所

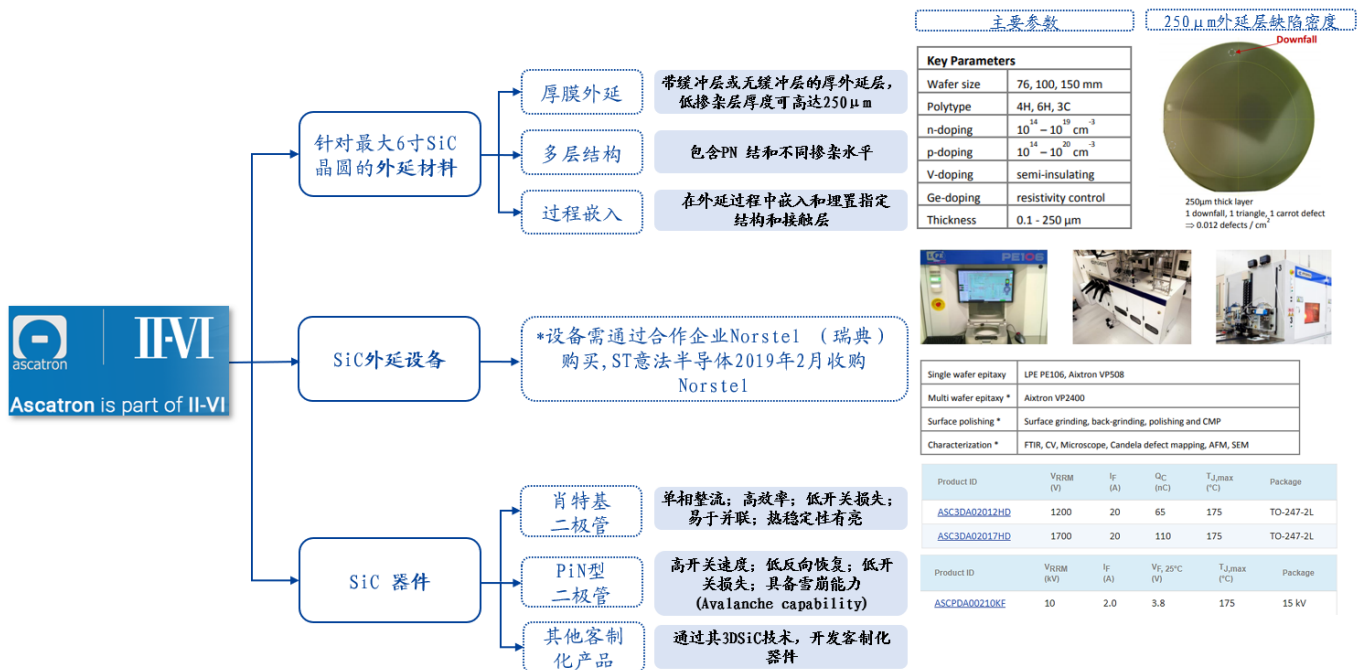
垂直整合打通 SiC 产业链。II-VI 在 SiC 领域有接近 20 年的研究经验，目前也已经研发成功 8 寸 SiC 晶圆。II-VI 在 SiC 的布局采用的是垂直整合的方式，在其衬底产能基础上，2020 年 6 月，获得通用电气 SiC 器件及功率模组技术，2020 年 8 月收购 Ascatron（瑞典）以及 INNOVION（美国）。Ascatron 是瑞典国家科研所旗下公司，由宽带隙材料专家团队带领，专注于 SiC 外延及器件。INNOVION 是全球最大的离子注入服务供应商，全球范围内有 30 台注入设备，技术覆盖从 2 英寸到 12 英寸晶圆，以及各种半导体材料，包括硅、砷化镓、磷化铟和 SiC。通过垂直整合，预计公司未来将在 SiC 器件市场占据一定份额。

图表 78: II-VI 公司 SiC 晶圆发展及垂直整合历程



资料来源: II-VI, 国盛证券研究所

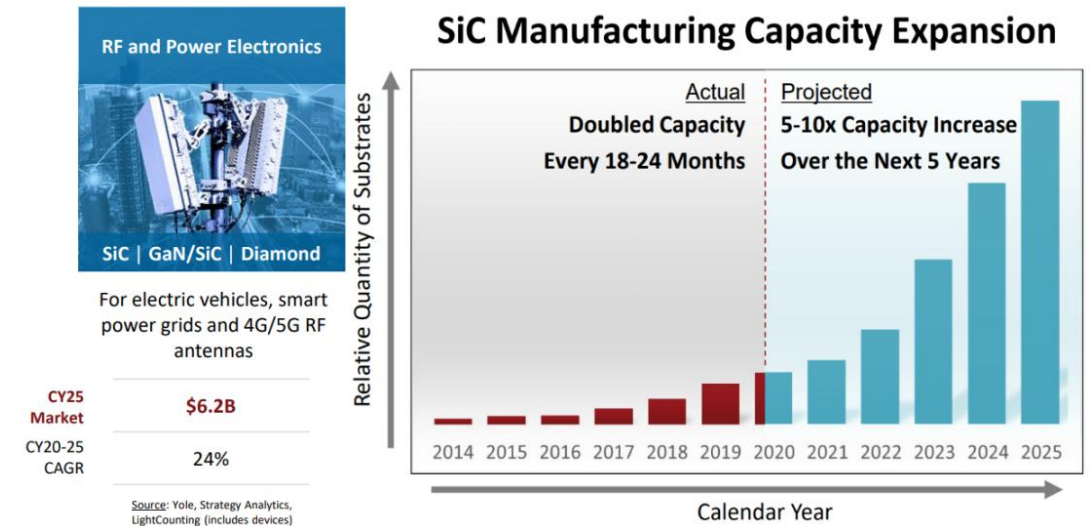
图表 79: Ascatron 业务概况



资料来源: Ascatron, 国盛电子整理, 国盛证券研究所

未来五年衬底扩产 **5-10 倍**。就 II-VI 公司衬底业务来讲, 自 2014 年以来, 其 SiC 衬底产能平均每 18-24 个月翻倍, 公司计划自 2020 年开始, 5 年内 6 寸晶圆产能扩张 5-10 倍, 同时扩大运用差异化的材料技术的 8 寸晶圆产能。II-VI 的 SiC 产品应用领域聚焦射频及汽车电子用功率半导体。结合 Yole, Strategy Analytics, LightCounting 等数据, 公司预计化合物半导体及金刚石在射频及功率器件中的市场规模将在 2025 年达到 62 亿美元。

图表 80: II-VI SiC 衬底未来 5 年产能扩张计划

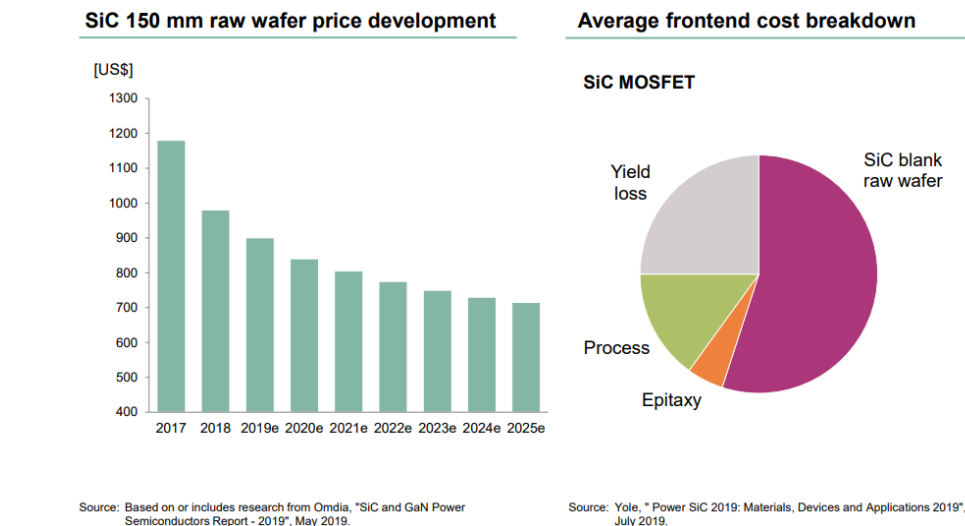


资料来源: II-VI, 国盛证券研究所

SiC 衬底: 价值量占比最高的环节, 目前受海外龙头主导

SiC 衬底是 SiC 器件价值量最高的环节。SiC 器件发展主要分为 3 个部分: SiC 单晶的制备、SiC 晶体外延生长、SiC 电力电子器件应用。根据英飞凌, SiC 衬底目前仍是 SiC 器件成本中占比最高的部分。

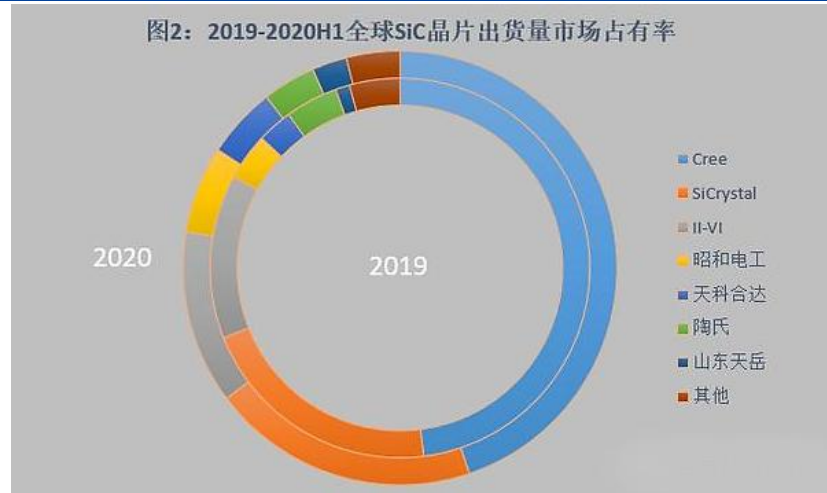
图表 81: SiC 衬底目前仍是 SiC 器件的成本占比最大部分



资料来源: 英飞凌, Yole, 国盛证券研究所

全球衬底市场仍由外资厂商主导。SiC 衬底制备是生产 SiC 器件的关键技术, 科学家最早于 1955 年制备出 3C-SiC 孪晶, 奠定了 SiC 发展基础, 20 世纪 80 年代初, 科研人员制备出 SiC 晶体, 全球对 SiC 的投入开始增加。根据 CASA, 2020 年上半年科锐 (45%)、II-VI (13%)、罗姆 (20%, 收购 SiCrystal) 三家占据全球 78% 市场份额。

图表 82: 2019 年及 2020 年上半年 SiC 晶圆市场份额 (2018 年)



资料来源: CASA, 国盛证券研究所

SiC 器件: 产业链垂直整合, 加强布局迎接新能源汽车机会

全球 SiC 功率器件集中度高。SiC 功率器件方面, 意法半导体占比最高, 此外 Wolfspeed、罗姆、英飞凌、三菱电机均占据一定市场份额, 市场集中度同样较高。我们认为, 形成这一格局的原因主要是:

- **意法半导体**在 Si 基功率器件领域原本就具备优势, 还成为特斯拉 Model 3 全 SiC 模块的定制化供应商, 此外 ST 与科锐、SiCrystal 自 2019 年 1 月以来签订了超过 6 亿美元的 SiC 晶圆供应合同, 提前锁定上游材料;
- **Wolfspeed 与罗姆**自身有 SiC 衬底产能, 具备从衬底到器件设计、生产的全产业链能力;
- **II-VI** 虽然具备衬底产能, 但 2020 年才通过收购的方式垂直整合, 未来也有望在器件抢占部分市场份额;
- **英飞凌**凭借其在功率器件方面的领先技术, 通过与 Wolfspeed 合作, 在器件领域占比也较大。

产业链厂商通过上下游延伸, 提升竞争力。前面提到, II-VI 公司 2020 年收购 Ascatron 和 INNOViON, 向下游器件延伸。罗姆收购 SiCrystal 获得 SiC 晶圆产能。此外, 英飞凌在 2018 年 11 月收购 Siltectura, Siltectura 成立于 2010 年, 具备一项能够大幅减少材料损耗的切割晶体材料的技术, 能使得 SiC 晶圆产出芯片数量在 2022 年增加 2 倍。意法半导体 2019 年 12 月收购瑞典 Norstel, Norstel 能够提供 6 寸 SiC 衬底及外延。头部厂商积极进行产业链上下游延伸, 以提升市占率。

积极扩产只待需求爆发。无论是衬底厂商还是器件厂商, 均在积极扩产, 以承接未来 2-3 年后汽车电子、工业领域 SiC 器件应用需求的全面爆发。

图表 83: 领先厂商 SiC 业务资本支出计划

公司	时间	SiC 业务资本支出计划	应用领域
科锐	2019.5	未来 5 年投资 10 亿美元用于扩大 SiC 和 GaN 产能, 达产后 SiC 晶圆产能达到 2017 财年一季度的 30 倍	汽车、5G、工业
II-VI		2020 年开始, 五年后 SiC 衬底产能扩张 5-10 倍	射频、汽车电子
罗姆	2019.2	福冈县筑后市建一座 3 层的 SiC 功率器件厂, 投资 200 亿日元, 于 2020 年倍增 SiC 电源控制芯片产能, 2025 年 3 月底前累计投资 600 亿日元, 对宫崎县进行增资扩产, 到 2025 年 SiC 电源控制芯片产能达到 2016 年的 16 倍	电动车等用 SiC 电源控制芯片
意法半导体	2020.1	公司 SiC 业务 2020 年营收将超过 3 亿美元, 收购 Norstel 之后, 将投资 SiC 衬底产能, 尤其是 8 寸产能	汽车、5G、工业

资料来源: 公司公告, 国盛证券研究所

图表 84: 海外 SiC 产业链

衬底	外延	设计	制造	封测	应用
		Cree (美国) Rohm (日本)			
道康宁 (美国)			三菱电机 (日本) (电机控制、电源和白色家电等)		
昭和电工 (日本)			Microsemi (美国) (汽车、卫星、通讯及军用/航天)		
II-VI (美国)			英飞凌 (德国) (智能电网、汽车电子、太阳能与风能)		
	NOVA SiC (法国)		安森美 (美国) GeneSiC (美国) Littelfuse (美国) 东芝 (日本) 意法半导体 (意大利/法国) 松下 (日本) 瑞萨电子 (日本)		美国 Powerex (不间断电源、电动汽车等)
	ETC (意大利)	UnitedSiC (美国)		安靠 (美国)	瑞士 ABB (电力变压器和配电变压器)
	嘉晶电子 (中国台湾)	Bruckewell (美国)	离子束 (法国)	日月光 (中国台湾)	美国 GE (发电机、电气设备)
		CISSOID (比利时)			日本丰田 (电动汽车)
		瀚新科技 (中国台湾)			日本 Fuji Electric (中低压变频器、)

资料来源: 赛迪顾问、国盛证券研究所

2.2 国内 SiC 产业链较完整, 加速向国际水平看齐

三安垂直产业链布局, 在国内具备显著优势。三安光电是国内极少有的已形成 SiC 垂直产业链布局的厂商, 三安集成 2014 年成立, 2018 年推出 SiC 二极管, 目前已完成 650V 和 1200V 布局。在长沙投资 160 亿于 SiC 等化合物三代半垂直产业链, 资本开支力度远超国外厂商。湖南三安收购福建北电新材料 100% 股权, 向衬底等上游延伸。三年时间, 公司完成 SiC 器件产品线覆盖。我们认为三安大力加快 SiC 垂直产业链布局及扩产, 在国内 SiC 产业链中具备技术及资金优势, 同时产品具备国际竞争力, 未来将充分受益新能源汽车等需求爆发。

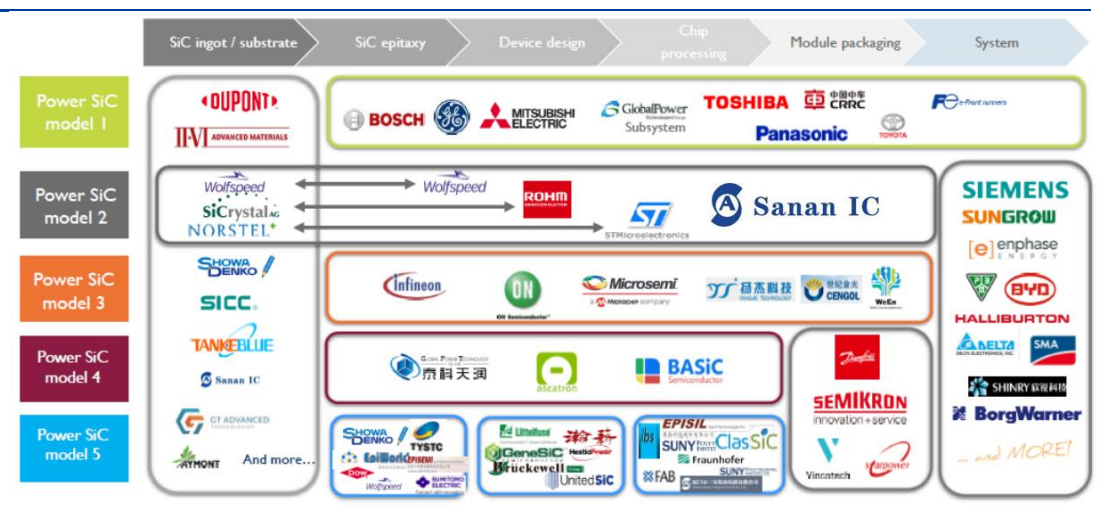
化合物半导体快速起量, 持续加码布局。2021H1, 三安集成实现营收 10.2 亿元 (不含

泉州三安滤波器实现营收 1242.6 万元)，同比大幅增长 170.6%，Q2 营收 6.1 亿元，环比增长 48.4%，Q3 收入 6.5 亿元，同比翻倍以上增长。公司 GaAs 已经达到 8000 片/月产能，覆盖 2G~5G、wifi 领域，国内外客户累计近 100 家。滤波器 SAW 和 TC-SAW 开拓客户 41 家。光通讯产品 PD、VCSEL、DFB 稳步上升。电力电子产品 SiC、硅基 GaN 逐步进入量产阶段。光通信及 VCSEL 客户数量及质量逐步提升。

SiC 投资：长沙项目重点布局 SiC，整合材料公司。

三安集成是全球少数实现 SiC 从材料到封装一体化的半导体公司。目前，三安集成是继科锐、罗姆后，全球少数实现 SiC 垂直产业链布局的厂商，在国内更是行业先驱者。与 Si 材料相比，SiC 晶圆生长速率满、晶圆长度短、晶圆大小受品种限制，且硬度高，不易切割、研磨、抛光，进而影响 SiC 器件质量及稳定性，故目前衬底市场格局集中、价格高企、产能有限。三安具备的产业链一体化能力有利于增强品控、提高交货能力、提升公司盈利能力。

图表 85: 全球 SiC 产业链布局情况



资料来源：Yole, 国盛证券研究所

三安集成实现国内 SiC 产业链一体化具有重要意义。目前国内外产业链在各环节仍有一定差距。国外衬底正从 6 英寸向 8 英寸转移，国内仍处于 4 英寸至 6 英寸过渡阶段；国内外延质量较国外仍有提升空间；SiC 二极管国内外发展均较成熟，但国内 MOSFET 进度较缓；封装设备国产化率低；国内 SiC 车规级产品可靠性验证经验欠缺；仅少数领域应用开始渗透，未来批量应用空间更大。国外 SiC 产业链各环节形成闭环反馈，有利于加速研发及产品落地，三安集成的垂直产业链能力对于国内 SiC 产业链发展、公司技术研发及产品商业化具有重要意义。

图表 86: 国内外 SiC 产业环节情况对比

环节	国外	国内
衬底	6 英寸: 2015 年产业化	4 英寸: 大批量生产
	8 英寸: 预计 2022 年量产	6 英寸: 小批量生产, 成本较高
外延	<12um: 20A 成品率>85%	<12um: 成本偏高, 质量不稳定
	>30um: 质量控制良好	>30um: 缺陷密度偏高
器件	二极管: 批量生产	二极管: 批量生产
	MOSFET: 三代技术	MOSFET: 少量实现产业化
封装	高温封装材料与专用设备	关键封装材料与设备尚未国产
	先进封装结构	沿用硅基封装结构
可靠性	车规级测试经验丰富	测试经验少, 设备认可度不高
	测试标准尚在摸索	测试方法尚在摸索中
应用	电动车、新能源发电等批量应用	少数行业开始渗透、尚未批量应用
	大容量、高频电力应用预研开发	大容量高频电力电子应用预研开发
生态	产业链各环节闭环反馈, 研发与产业化加速	产业链各环节条块分割, 缺乏垂直产业链布局龙头企业

资料来源: 国盛电子整理, 国盛证券研究所

长沙加码 160 亿投资 SiC 等第三代化合物半导体, 抢先卡位布局。2020 年 6 月, 公司公告在长沙高新技术园区成立子公司, 投资 160 亿元于 SiC 等化合物第三代半导体项目, 包括长晶—衬底制作—外延生长—芯片制备—封装产业链。长沙投资的具体项目的产品包括 6 寸 SiC 导电衬底、4 寸半绝缘衬底、SiC 二极管外延、SiC MOSFET 外延、SiC 二极管外延芯片、SiC MOSFET 芯片、SiC 器件封装二极管、SiC 器件封装 MOSFET。该项目 2020 年 7 月开工, 计划 2021 年 6 月试产, 预计 2 年内完成一期项目并投产, 4 年内完成二期项目并投产, 6 年内达产。

SiC 产品: 从二极管到 MOSFET, 产品线覆盖逐渐增强。

打造 SiC MOSFET 器件量产平台, 完成 SiC 器件产品线覆盖。2020 年 12 月三安集成首次推出 1200V 80mΩ SiC MOSFET, 目前已完成研发并通过一系列产品性能和可靠性测试, 可广泛用于光伏逆变器、开关电源、脉冲电源、高压 DC/DC、新能源汽车充电和电机驱动等领域, 能够减小系统体积、降低系统功率, 提升电源系统功率密度, 目前多家客户处于样品测试阶段。

三安 SiC MOSFET 性能优异, 可有效降低成本。三安此次推出的 SiC MOSFET 采用平面型设计, 通过反复优化, 提升 SiC 栅氧结构质量, 阈值电压稳定性得到明显提高, 1000 小时的阈值漂移在 0.2V 以内, 进而提升了器件可靠性。此外, 三安通过优化 SiC MOSFET 器件结构和布局, 提升了其 SiC 体二极管通流能力, 使器件在实际应用过程中, 可以不需要额外并联二极管, 从而有效降低系统成本、减小体积, 有利于系统向小型化、轻量化和更高集成度发展, 在新能源汽车车内充电器 OBC、服务器电源应用中具备优势。

SiC 客户: 绑定家电龙头企业, 联手新能源车企。

战略合作美的, 加速白电芯片国产化。2019 年 3 月, 三安集成与美的达成战略合作共同成立“第三代半导体联合实验室”, 推进第三代半导体功率器件研发应用, 未来合作方向将聚焦 GaN、SiC 功率器件芯片与 IPM 的应用电路相关研发, 加速国产芯片导入白色家电领域并探索新的应用场景。美的作为家电龙头, 选择三安光电作为第三代半导体国内

供应商，凸显了三安集成在第三代化合物半导体研发、产品质量方面的优势，以及规模量产、交付速度、服务水平等全方位优秀的综合能力。

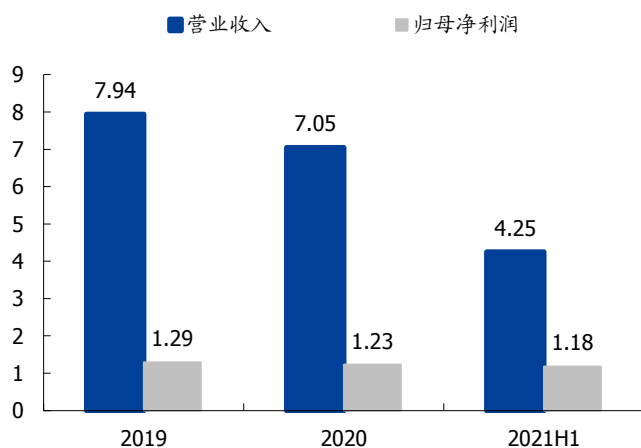
格力 20 亿入股，强强合作推进氮化镓、砷化镓和特种封装。2019 年底，格力认购三安光电定增 20 亿元，成为三安第五大股东，持股占比 2.56%。定增资金用于建设高端 GaN LED 衬底、外延、芯片；高端 GaAs LED 外延、芯片；大功率 GaN 激光器；特种封装产品应用四个产品方向的研究及生产基地。未来有望应用于格力的中央空调、智能装备、精密模具、光伏及储能等领域。与国内家电领军者合作，有利于三安加快推进第三代半导体研发与量产，保持公司在三代半领域的先发优势。

联手新能源客车龙头，受益新一轮电动客车替换周期。2020 年 9 月，三安集成与金龙新能源签订战略合作协议，共同推进 SiC 器件在新能源客车电机控制器、辅驱控制器的样机试制及批量应用。根据 Wood Mackenzie，中国目前纯电动客车保有量超过 40 万辆，占全球纯电动客车保有量 98%。随着上一轮客车补贴结束，车企正积极寻求技术创新。在 DC/DC、车载充电器、控制器及充电桩中使用 SiC 器件有利于电动汽车实现轻量化、快速充电、提升续航里程。2021 年新一轮电动客车替换周期即将开启，Wood Mackenzie 预计中国新能源客车 2023 年保有量超过 100 万辆，到 2025 年将达到 130 万辆。三安与电动客车龙头合作，最有望受益电动客车 SiC 渗透率提升。

加快导入汽车产业链，提升营收天花板。车规级器件通常对产品性能要求最严格，认证周期长，但价值量也相应更高。三安光电具备第三代半导体垂直产业链能力，能够更有效把控产品可靠性，未来随着 SiC 器件成本下降，车用 SiC 器件渗透率提升，公司已提前布局新能源汽车产业链，有望享受汽车电子用三代半器件带来的营收空间增厚。

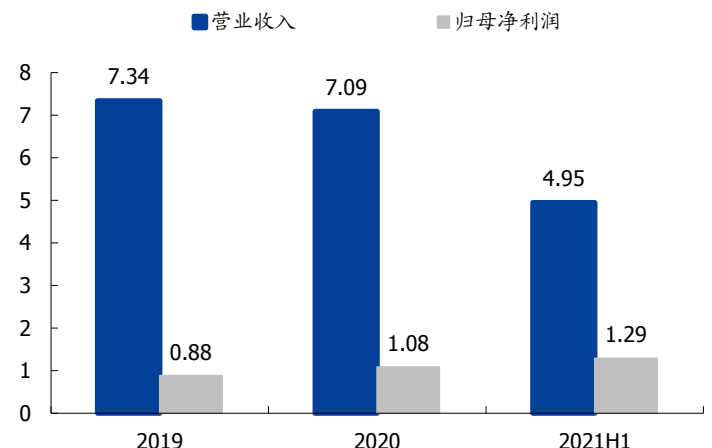
凤凰光学收购国盛电子和普兴电子 100% 股权。凤凰光学 2021 年 9 月底公告拟定增收购国盛电子和普兴电子 100% 股权。国盛电子及普兴电子主要从事半导体外延材料的研究、生产和销售，产品包括半导体硅及碳化硅外延材料等，广泛应用于 IGBT、FRED、MOSFET、HEMT 等功率、射频器件等领域。国盛电子及普兴电子是国内最早从事硅外延材料研究的单位之一，目前均处于国内硅外延材料供应商第一梯队，碳化硅外延材料也已具备量产能力，客户遍布全球。

图表 87: 国盛电子财务情况 (亿元)



资料来源: 公司公告, 国盛证券研究所

图表 88: 普兴电子财务情况 (亿元)



资料来源: 公司公告, 国盛证券研究所

国内 SiC 产业链百花齐放。衬底领域国内较为领先的企业有天科合达、山东天岳等，根据 CASA，2020 年上半年，两家衬底 SiC 衬底合计市占率市占率达到 7.9%。外延领域国

图表 90: 国内 SiC 产业链公司业务情况汇总

公司	成立时间	产业链环节	具体产品	应用领域	SiC相关业务情况
三安集成	2014年	垂直产业链及代工	SiC衬底、外延、晶圆及分立器件, 650V/1200V SiC JBS、SiC MOSFET	消费类电子用电源适配器、数据中心、电动汽车、工业电机和可再生能源采集等	2020年6月公司公告投资160亿元于SiC等化合物第三代半导体项目, 包括长晶—衬底制作—外延生长—芯片制备—封装产业链。2020年7月开工, 计划2021年6月试产, 预计2年内完成一期项目并投产, 4年内完成二期项目并投产, 6年内达产。2020年8月湖南三安拟以现金3.815亿元收购福建北电新材料100%股权
世纪金光	2010年	垂直产业链	4-6英寸SiC单晶片、4-6英寸SiC外延片、SiC SBD、SiC MOSFET、全桥、半桥混合功率模块及全SiC功率模块	SiC产品已大批量用于新能源汽车、光伏、充电桩、高能服务器电源等	2020年3月, 合肥投资资本与世纪金光签署协议, 在合肥高新区投资建设6英寸SiC单晶生长及加工项目, 2018年营收2.52亿元, 净利润4600万元
天科合达	2006年	衬底	SiC衬底(4英寸为主, 向6英寸过渡)、SiC单晶生长炉	向国内60余家科研机构批量供应衬底(包括半绝缘、导电、沿c轴和偏角度等)	2020年1月启动8英寸衬底研发工作, 2020年8月启动SiC衬底产业化项目, 总投资9.5亿元, 计划2022年初投产, 建成后年产能SiC 6英寸衬底12万片, 但科创板IPO今年10月被终止, 2019年SiC衬底营收7440万元
山东天岳	2010年	衬底	半绝缘型和导电型SiC衬底	电力电子、微波电子、光电子	2019年初山东确定了120个省重点项目之一为“山东天岳高品质4H-SiC单晶衬底材料研发与产业化项目(年产6英寸SiC单晶衬底3万片)”, 2017年底在济南建成一项大功率SiC衬底项目, 规模10万片/年, 2020年11月开始接受上市辅导
中电科2所	2007年开始从事SiC单晶研究	衬底	实现了5N以上高纯度的碳化硅单晶粉料量产, 4英寸高纯半绝缘SiC单晶衬底量产, 6英寸高纯半绝缘SiC单晶衬底已开始工程化验证		2020年3月, 中国电科(山西)SiC材料产业基地正式投产。基地一期项目可容纳600台SiC单晶生长炉, 项目建成后将具备年产10万片4-6英寸N型SiC单晶晶片、5万片4-6英寸高纯半绝缘型SiC单晶晶片的产能, 是目前国内最大的碳化硅材料产业基地, 良率65%
同光晶体	2012年	衬底	4英寸和6英寸导电型、半绝缘SiC衬底		2020年3月, 公司与河北涞源县政府签约年产10万片4-6英寸SiC单晶衬底项目, 项目投资建设500台单晶生长炉, 2021年, 公司将推进下一个2000台单晶生长炉厂区建设, 预计2022年一期项目500台投产运行, 计划在2025年完成全部设备投资
中科钢研	2016年	衬底	4英寸导电型及高纯半绝缘型SiC晶体及衬底制备, 开展6英寸SiC长晶工艺开发		青岛莱西中科钢研碳化硅项目投资10亿元, 达产后年产5万片4英寸SiC晶体衬底片, 5000片4英寸高纯度半绝缘型SiC晶体衬底片; 2020年7月, 公司在陕西西咸新区空港新城再签一个碳化硅项目
瀚天天成	2011年	外延	国内首家产业化6、4、3英寸碳化硅外延晶片	汽车电子	2020年12月获得哈勃投资的战略投资, 认缴出资额为977.1987万元
东莞天域	2009年	外延	4寸, 6寸n/p型掺杂超厚度外延晶片		2019年7月报道, 月产量可达五千片
中电科13所		外延、设计、制造、封测	SiC功率器件, SiC外延材料		
中电科55所		外延、设计、制造、封测	4、6英寸SiC外延, SiC肖特基二极管量产, 二极管覆盖600V-3300V, 初步建立SiC MOSFET技术	电源、充电装置、光伏逆变器	2014年55所成立国扬电子公司, 主要产品包括IGBT模块、SiC混合功率模块、SiC MOSFET功率模块等, 年产各类功率模块30万块, 未来计划进一步提升6英寸SiC器件平台能力, 产能提高到4万片/月
泰科天润	2011年	设计、制造、封测	SiC肖特基二极管、SiC MOSFET和SiC模块		2019年底, 泰科天润和湖南浏阳高新区共同出资一期项目7亿元人民币, 成立全资子公司浏阳泰科天润, 建设六英寸电力电子器件(芯片)生产线项目, 达产后产能为6万片/年的6寸SiC功率芯片, 年销售收入可达10-14亿元人民币
斯达半导	1995年	设计、制造、封测	SiC功率模组	汽车电子、光伏等	2020年12月公告, 拟投资2.29亿元在嘉兴现有厂区内投建年产8万颗车规级全SiC模组产线及研发测试中心, 项目建设期2年
中车时代电气	1959年, 2010年左右开始研究SiC	设计、制造、封测	SiC二极管、SiC MOSFET芯片	轨道交通、电动汽车、新能源等	2017年12月, 中车时代电气总投资3.5亿元人民币的6英寸SiC产业基地技术调试成功, 2018年1月首批芯片试制成功, 为国内首条6英寸SiC生产线
国家电网全球能源互联网研究院	前身为国网智能电网研究院	设计、制造、封测	3300V/50A 碳化硅二极管		SiC功率器件主要开展3.3kV/50A及以上SiC二极管芯片设计与制备工艺技术, 掌握电力电子芯片制备系列关键工艺和封装测试关键技术。未来, 开展6kV级SiC二极管和MOSFET芯片制备和全SiC压接型封装器件, 全SiC MOSFET器件驱动, 10kV级及以上SiC器件新型结构设计、载流子控制技术, 器件制备工艺开发、高温高压封装与驱动技术以及测试技术研究

资料来源: 中国化工报, 人民网, 保定日报, 中国粉体网, 公司公告, 国盛电子整理, 国盛证券研究所

图表 91: 国内 SiC 产业链公司业务情况汇总 (续上表)

公司	成立时间	产业链环节	具体产品	应用领域	SiC相关业务情况
瑞能半导体	从恩智浦半导体标准产品事业部分离出来, 2015年注册在上海	设计、制造、封测	SiC 肖特基二极管 (650V、1200V)	新能源及汽车等 (光伏和充电桩)	目前以提交科创板上市申请, 审核状态为已问询, 募集资金超过1亿元用于SiC领域
芯光润泽	2013年	设计、制造、封测	SiC SBD、SiC MOSFET	港口重机、白色家电、高铁、数据机房、新能源汽车充电桩等	2020年9月, 国内首条SiC智能功率模块 (SiC IPM) 生产线在厦门芯光润泽科技有限公司正式投产
基本半导体	2016年	外延、设计、制造、封测	650V 和 1200V SiC SBD及 1200V SiC MOSFET 裸芯片和晶圆、车规级全SiC功率模块、6寸SiC外延片	汽车电子、光伏、新能源发电、轨道交通、智能电网等	国内SiC MOSFET量产领先企业, 深圳坪山区筹建车规级器件封装基地。南京江北新区外延制造基地开始建设, 日本名古屋是车规级模块封装研发中心, 瑞典Kista是SiC外延研发中心, 与国内合作伙伴进行SiC晶圆片制造工厂的工作
扬杰科技	2000年	设计、制造、封测	650V、1200V SiC SBD、SiC JBS等量产	电动汽车、光伏微型逆变器、UPS电源等	目前业务板块销售收入占比较小
绿能芯创	2017年	设计、制造、封测	SiC SBD		2019年底在淄博签约SiC项目, 总投资20亿元, 建成后三年内可实现年产SiC芯片12万片, 销售额10亿元
瞻芯电子	2017年	设计	SiC SBD、SiC MOSFET、SiC模块、SiC MOSFET驱动	风能逆变、光伏逆变、工业电源、新能源汽车、电机驱动、充电桩等	2020年10月公告, 公司于2020年完成过亿人民币B轮融资, 投资方包括临芯投资、金浦投资等, 青桐资本担任财务顾问
陆芯科技	2017年	设计	SiC二极管、SiC MOSFET		2018年7月获凯峰创投、武岳峰资本等A轮数千万人民币融资
露笑科技	1989年	设备, 向衬底、外延发展	SiC长晶炉		2019年8月与国宏中宇科技签订SiC长晶设备合同80台设备, 总金额1.26亿元人民币; 2019年11月与中科钢研、国宏中宇签订SiC长晶炉合同, 为国宏中宇提供200台SiC长晶炉, 设备采购额约3亿元; 2020年8月, 与合肥政府共建SiC产业园, 包括SiC晶体生长、衬底只做、外延生长等, 投资规模预计100亿元

资料来源: 中国化工报, 人民网, 保定日报, 中国粉体网, 公司公告, 国盛电子整理, 国盛证券研究所

三、投资建议

【碳化硅产业链】

三安光电、斯达半导、时代电气、凤凰光学、华润微、士兰微、扬杰科技、新洁能;

【半导体核心设计】

韦尔股份、卓胜微、兆易创新、恒玄科技、圣邦股份、芯朋微、晶丰明源、思瑞浦、芯原股份;

【军工芯片】

紫光国微、景嘉微;

【功率】

华润微、士兰微、斯达半导、扬杰科技、新洁能;

【半导体代工、封测及配套】

IDM: 三安光电、闻泰科技、士兰微;

晶圆代工: 中芯国际、华润微;

封测: 长电科技、通富微电、深科技、华天科技、晶方科技;

材料: 鼎龙股份、彤程新材、兴森科技、上海新阳、安集科技、雅克科技、沪硅产业、立昂微、晶瑞股份、南大光电;
设备: 北方华创、中微公司、华峰测控、长川科技、精测电子、至纯科技、万业企业、盛美半导体;

【苹果链龙头】

立讯精密、歌尔股份、京东方、欣旺达、领益智造、大族激光、鹏鼎控股、比亚迪电子、工业富联、信维通信、东山精密、长盈精密;

【光学】

瑞声科技、舜宇光学、丘钛科技、欧菲光、水晶光电、联创电子、苏大维格;

【消费电子】

精研科技、杰普特、科森科技、赛腾股份、智动力、长信科技;

【面板】

京东方 A、TCL 科技、激智科技;

【元器件】

火炬电子、三环集团、风华高科、宏达电子;

【PCB】

鹏鼎控股、生益科技、景旺电子、胜宏科技、东山精密、弘信电子;

【安防】

海康威视、大华股份。

四、风险提示

化合物半导体研发进展不达预期:

化合物半导体研发及量产工艺难度大,如 SiC 衬底及外延研发、产能提升低于预期,市场需求可能低于预期。

下游需求不达预期:

未来 SiC 需求主要由汽车电子推动,如果新能源汽车推广不及预期,或新能源汽车中采用 SiC 功率器件需求不及预期,则存在需求不达预期的风险。

行业竞争加剧风险:

国内 SiC 产业链较为完善,未来需求逐渐实现国产化,国内有部分厂商已经在积极布局 SiC 领域,行业竞争加剧可能导致价格下降的压力和盈利水平下降的压力。

免责声明

国盛证券有限责任公司（以下简称“本公司”）具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。本报告仅供本公司的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。

本报告的信息均来源于本公司认为可信的公开资料，但本公司及其研究人员对该等信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告中的资料、意见及预测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，可能会随时调整。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。本公司不保证本报告所含信息及资料保持在最新状态，对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。

本公司力求报告内容客观、公正，但本报告所载的资料、工具、意见、信息及推测只提供给客户作参考之用，不构成任何投资、法律、会计或税务的最终操作建议，本公司不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保。本报告中所指的投资及服务可能不适合个别客户，不构成客户私人咨询建议。投资者应当充分考虑自身特定状况，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。

投资者应注意，在法律许可的情况下，本公司及其本公司的关联机构可能会持有本报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司正在提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。

本报告版权归“国盛证券有限责任公司”所有。未经事先本公司书面授权，任何机构或个人不得对本报告进行任何形式的发布、复制。任何机构或个人如引用、刊发本报告，需注明出处为“国盛证券研究所”，且不得对本报告进行有悖原意的删节或修改。

分析师声明

本报告署名分析师在此声明：我们具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，本报告所表述的任何观点均精准地反映了我们对标的证券和发行人的个人看法，结论不受任何第三方的授意或影响。我们所得报酬的任何部分无论是在过去、现在及将来均不会与本报告中的具体投资建议或观点有直接或间接联系。

投资评级说明

投资建议的评级标准		评级	说明
评级标准为报告发布日后的6个月内公司股价（或行业指数）相对同期基准指数的相对市场表现。其中A股市场以沪深300指数为基准；新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以摩根士丹利中国指数为基准，美股市场以标普500指数或纳斯达克综合指数为基准。	股票评级	买入	相对同期基准指数涨幅在15%以上
		增持	相对同期基准指数涨幅在5%~15%之间
		持有	相对同期基准指数涨幅在-5%~+5%之间
		减持	相对同期基准指数跌幅在5%以上
	行业评级	增持	相对同期基准指数涨幅在10%以上
		中性	相对同期基准指数涨幅在-10%~+10%之间
减持		相对同期基准指数跌幅在10%以上	

国盛证券研究所

北京

地址：北京市西城区平安里西大街26号楼3层

邮编：100032

传真：010-57671718

邮箱：gsresearch@gszq.com

南昌

地址：南昌市红谷滩新区凤凰中大道1115号北京银行大厦

邮编：330038

传真：0791-86281485

邮箱：gsresearch@gszq.com

上海

地址：上海市浦明路868号保利One56 1号楼10层

邮编：200120

电话：021-38124100

邮箱：gsresearch@gszq.com

深圳

地址：深圳市福田区福华三路100号鼎和大厦24楼

邮编：518033

邮箱：gsresearch@gszq.com