

半导体

证券研究报告

2021年10月26日

第三代半导体：新能源汽车+AIOT+5G 撬动蓝海市场，碳中和引领发展热潮

投资评级

行业评级

上次评级

强于大市(维持评级)

强于大市

作者

潘暕

分析师

SAC 执业证书编号：S1110517070005

panjian@tfzq.com

1. 核心因素驱动：下游应用迭起+绿色能源需求+后摩尔时代驱动第三代半导体大发展

1) 下游应用迭起，第三代半导体因物理性能优异竞争力极强

新能源汽车等下游应用需求高起带动第三代半导体在大功率电力电子器件领域起量。快充装置、输变电系统、轨道交通、电动汽车和充电桩等都需要大功率、高效率的电力电子器件，基于 SiC、GaN 的电子电力器件因其物理性能优异在相关市场备受青睐。AIoT 时代，智慧化产品渗透率将迅速提升，智能家居照明的商机空间广阔。GaN 在蓝光等短波长光电器件方面优势明显。5G 时代驱动 GaN 射频器件快速发展。GaN 器件工作效率和输出功率优异，成为 5G 时代功率放大器主要技术。

2) 绿色能源需求迫在眉睫，第三代半导体助力“碳达峰、碳中和”目标实现

第三代半导体有望成为绿色经济的中流砥柱，助力光伏、风电，直流特高压输电，新能源汽车、消费电源等领域电能高效转换，推动能源绿色低碳发展。举例来看，若全球采用硅芯片器件的数据中心都升级为 GaN 功率芯片器件，将减少 30-40%的能源浪费，相当于节省了 100 兆瓦时太阳能和减少 1.25 亿吨二氧化碳排放量。

3) 后摩尔时代来临，新材料新架构的创新支撑各类新应用蓬勃发展，其中第三代半导体为代表的核心材料是芯片性能的提升的基石

材料工艺是芯片研发的主旋律。SiC、GaN 拥有高的击穿电场强度、高工作温度、低器件导通电阻、高电子密度等优势，在后摩尔时代极具潜力。

2. 供需测算：产业链各环节产能增长，但供给仍然不足

我国产线陆续开通，第三代半导体领域 6 英寸 8 英寸尺寸晶圆渐成主流。截至 2020 年底，国内约有 8 条 SiC 制造产线，10 条正在建设。7 条 GaN-on-Si 产线，4 条正在建设。**供给端**：我国 2020 年 SiC 导电型衬底产能（折合 6 英寸）约 18 万片，外延 22 万片，Si 基 GaN 外延约 28 万片。**需求端**：测算 2025 年我国仅新能源汽车板块就需 75 万片等效 SiC 6 寸晶圆，仅快充部分就需要 67 万片 GaN 相关晶圆，现有产能与需求差距较大，如不在 2025 年前加速扩产，供给会持续紧缺。

3. 成本测算：与传统产品价差持续缩小，综合成本优势大于传统硅基

SiC、GaN 器件与传统 Si 基产品价差持续缩小。1) 上游衬底产能持续释放，供货能力提升，材料端衬底价格下降，器件制造成本降低；2) 量产技术趋于稳定，良品率提升，叠加产能持续扩张，拉动市场价格下降；3) 产线规格由 4 英寸转向 6 英寸，成本大幅下降。**未来 SiC、GaN 综合成本优势显著**，可通过大幅提高器件能效+减小器件体积使其综合成本优势大于传统硅基材料，看好第三代半导体随着价格降低迎来大发展。

投资建议：看好下游应用迭起+绿色能源需求+后摩尔时代驱动下第三代半导体大发展，推荐前瞻布局+高质量研发第三代半导体的优质龙头企业，推荐三安光电/闻泰科技/立昂微；关注斯达半导/华润微/士兰微/纳微半导体/华虹半导体/新洁能/扬杰科技/赛微电子/捷捷微电/华微电子/时代电气/天岳先进/凤凰光学/宏微科技

风险提示：产业政策变化、国际贸易争端加剧、下游行业发展不及预期

行业走势图



资料来源：贝格数据

相关报告

- 《半导体-行业研究周报:台积电单月营收再创新高，A 股半导体进入预增窗口》2021-10-12
- 《半导体-行业研究周报:DDR5 放量在即，新一轮存储器迭代周期将开启》2021-09-27
- 《半导体-行业研究周报:半导体需求持续高企，碳中和时代引领第三代半导体发展热潮》2021-09-19

内容目录

1. 下游应用迭起+能源安全+后摩尔时代驱动第三代半导体大发展	8
1.1. 第三代半导体：优势显著，下游应用场景极为广阔.....	9
1.2. 物理性能：能力损耗低、封装尺寸小、散热能力强.....	10
1.3. 制备成本：与传统产品价差持续缩小，综合成本优势明显.....	12
1.4. 产业链：龙头效应初显，国内企业快速追赶.....	16
1.5. 能源安全：第三代半导体有望成为绿色经济的中流砥柱.....	20
2. 供需测算：产业链各环节产能增长，但供给仍然不足	22
2.1. 供给端：产线陆续开通，产能不断增加.....	22
2.2. 需求端：SiC 在新能源汽车中硅片用量测算.....	23
2.3. 需求端：GaN 在电力电子及射频中硅片用量测算.....	26
2.4. 需求端高速发展，但供给仍然不足，国产替代迫在眉睫.....	27
3. 下游应用：物理性能优势+节能减排需求，SiC 应用多点开花	27
3.1. SiC 在新能源汽车领域备受青睐，未来五年带动 60 亿美元市场.....	29
3.2. SiC 在充电基础设施市场空间广阔，将在直流充电桩带动下实现突破.....	31
3.3. SiC 在光伏发电领域优势显著，为系统的小型高效带来可能.....	32
4. 下游应用：光电+射频+电力电子起量，GaN 应用场景广阔	34
4.1. GaN 下游市场 2022 超十亿美元，电力电子、射频、光电领域起量朝夕.....	35
4.2. GaN 在光电子领域占据主要市场，是制造 Micro-LED 芯片的优选.....	36
4.3. GaN 在电力电子市场深受认可，消费快充+汽车电子增长空间广阔.....	37
4.4. GaN 在射频领域市场潜能可观，为 5G 时代功率放大器核心.....	38
4.5. GaN 异质外延方面产品线持续扩充完善，Si 基 GaN、SiC 基 GaN 前景广阔.....	41
5. 产业竞争格局：美日欧三足鼎立，我国渐行渐近	44
5.1. 海外市场持续渗透，美日欧三足鼎立.....	44
5.1.1. 全球展开全面战略部署，各国抢占第三代半导体战略制高点.....	44
5.1.2. SiC 美国优势显著，欧洲产业链完备，日本在设备和模块技术方面领先.....	45
5.1.3. GaN 国际产业格局初定，美日欧三足鼎立.....	46
5.2. 政策和市场双轮推动，中国第三代半导体产业发展前景光明.....	47
5.2.1. 我国政策持续向好，扶持力度不断增强.....	48
5.2.2. 我国碳化硅产业研发实力提升，与先进水平差距缩小.....	48
5.2.3. 多方配合推动创新，中国 GaN 产业发展正当时.....	50
6. 海外半导体公司情况：群雄争霸，先发制人	50
6.1. CREE：宽禁带化合物半导体龙头.....	50
6.2. 英飞凌：SiC 领域领军人，GaN 已投入量产.....	51
6.3. 意法半导体：与终端应用企业形成强绑定，完善产业布局.....	54
6.4. 住友电工：全球第三代半导体射频领域引领者.....	56
6.5. 三菱电机：第二代 SiC 功率模块优势显著，积极探索 GaN-HEMT.....	58
6.6. 纳微半导体：GaN 功率芯片设计领军者，推动下一代氮化镓技术发展.....	60
7. 我国公司情况：厚积薄发，未来可期	61
7.1. 三安光电：化合物半导体业务多轮驱动，加速替代海外供应商.....	61

7.2. 闻泰科技：持续高质量研发，新型化合物半导体迎来广阔空间	64
7.3. 斯达半导体：加码布局碳化硅功率芯片，加速国产替代提升核心竞争力	66
7.4. 华润微：旗下国内首条 6 英寸商用 SiC 晶圆生产线量产	67
7.5. 立昂微：GaN 芯片产能爬坡，规模化生产正当时	68
7.6. 士兰微：IGBT 产品营收再创新高，SiC 中试线实现通线	69
7.7. 华虹半导体：IGBT 在 12 英寸实现规模量产	70
7.8. 新洁能：国内 IGBT 等半导体功率器件市占率排名前列	71
7.9. 扬杰科技：瞄准 SiC 行业发展趋势，加强 SiC 功率器件等研发力度	72
7.10. 赛微电子：掌握业绩领先 SiC、GaN 外延技术，GaN 业务产能爬升迅猛	73
7.11. 捷捷微电：与研究所合作研发第三代半导体相关技术	74
7.12. 华微电子：积极布局第三代半导体器件技术	75
7.13. 时代电气：IGBT 技术达国际先进水平，应用于轨道交通和电网	76
7.14. 天岳先进：国内领先第三代半导体碳化硅衬底材料制造商	77
7.15. 凤凰光学：拟收购国盛电子和普兴电子，布局 SiC 外延材料	77
7.16. 宏微科技：自主设计研发 IGBT 芯片，参与制定国家相关标准	77
8. 投资建议	78
9. 风险提示	78

图表目录

图 1：2016-2025 年我国 SiC、GaN 电力电子器件应用市场规模（亿元）	8
图 2：第三代半导体实现能源安全	9
图 3：半导体材料的演化	10
图 4：硅和化合物半导体应用的范围	10
图 5：碳化硅综合优势比较	10
图 6：三类代表性半导体材料物理特性比较	11
图 7：同规格碳化硅器件与硅器件对比	13
图 8：2017 年-2020 年 650V 的 SiC SBD 价格持续下降(元/A)	13
图 9：2017 年-2020 年 1200V 的 SiC SBD 价格持续下降(元/A)	13
图 10：碳化硅单晶生长示意图（左：液相生长法；右：物理气相传输法）	14
图 11：HVPE 生长设备	15
图 12：氨热法生长示意图	15
图 13：助熔剂法生长过程示意图	15
图 14：GaN/SiC 不同衬底应用情况	16
图 15：SiC 产业链重点企业	17
图 16：GaN 产业链重点企业	17
图 17：SiC 产业链重点企业布局及投资情况	18
图 18：GaN 产业链重点企业布局及投资情况	19
图 19：采用 SiC MOSFET 的双通道升压模块	20
图 20：智能电网示意图	21
图 21：SiC 在新能源汽车中用量的估计	23

图 22: SiC 器件在新能源汽车的优势	23
图 23: 国内 SiC 衬底技术指标进展	24
图 24: 全球及我国新能源汽车销量测算 (万辆)	25
图 25: 新能源汽车 SiC 硅片需求量测算 (片)	25
图 26: PD 快充 GaN 电力电子器件市场规模 (亿元)	26
图 27: PD 快充 GaN-on-Si 晶圆需求量 (万片)	26
图 28: 5G 宏基站 GaN 晶圆需求量 (万片)	27
图 29: 碳化硅功率器件应用领域	28
图 30: 碳化硅功率器件市场规模预测, 2027 年突破百亿美元	28
图 31: SiC 市场广阔	28
图 32: SiC 在新能源汽车领域 2027 年带动 60 亿美元市场	29
图 33: SiC MOSFET 在牵引逆变器方面的优势	29
图 34: 碳化硅功率模块和硅 IGBT 功率模块电力损耗比较, SiC 显著降低	30
图 35: SiC 在快充领域发展迅猛	31
图 36: SiC 在光伏发电以及充电基础设施领域的优势	31
图 37: 2019-2025 年 SiC 在各应用领域的发展规模	32
图 38: SiC 在光伏发电领域的发展空间广阔	33
图 39: SiC 二极管在光伏并网逆变器中的应用	33
图 40: 光伏逆变器中碳化硅功率器件占比预测	34
图 41: 氮化镓(GaN)下游应用发展情况	34
图 42: 2020 年氮化镓(GaN)下游应用领域结构	35
图 43: Wolfspeed 预计 GaN 市场将在 2022 年达到 11 亿美元	35
图 44: 微尺寸 LED 芯片的结构示意图	36
图 45: Micro-LED 驱动阵列结构图	36
图 46: 全彩 Micro-LED 投影仪	36
图 47: 努比亚 30W GaN 充电器 (左) 对比苹果 30W PD 充电器	37
图 48: GaN 电源市场增长预测 (按季度)	37
图 49: 宝马汽车尝试无线充电	38
图 50: 2020-2025 年中国 48V 轻混系统车型销量及预测 (万辆)	38
图 51: VisIC 车载充电器	38
图 52: GaN 使 1) 4G 速度更快+2) 更快的从 4G-5G 的改变	39
图 52: 2020 年我国 GaN 射频器件下游应用领域	39
图 55: 氮化镓(GaN)赋能 5G 单片前端解决方案	39
图 56: GaN 射频处 5G 以外市场同样将迎来高增长, CAGR 高达 25%	40
图 57: 不同材料微波射频器件的应用范围对比	41
图 58: Si 基 GaN 和 SiC 基 GaN 和硅基氮化镓技术市场预测	41
图 59: 650V SiC MOSFET、GaN HEMT 和 Si IGBT 价格比较(元/A)	42
图 60: 国际上商业化的 GaN 射频产品性能	43
图 61: GaN-on-XX 技术应用领域 vs 元件出货量	43
图 62: GaN 领域海外重点机构技术布局 (专利数量) (截至 2019 年 4 月)	45
图 63: 2018 年导电型碳化硅晶片厂商市场占有率	46

图 64: 碳化硅全球市场三足鼎立	46
图 65: 第三代半导体材料专利申请趋势及技术来源国分布	47
图 66: 国内 SiC 衬底技术指标进展	49
图 67: 30 年全球 SiC 和 GaN 领导地位	50
图 68: Cree (Wolfspeed) GaN on SiC MMIC 产品	51
图 69: SiC 成本逐渐下降	51
图 70: SiC 成本逐渐下降	51
图 71: Cree 营收情况 (百万美元)	51
图 72: Wolfspeed 毛利润及毛利率情况 (百万美元)	51
图 73: 英飞凌的碳化硅产业发展历程	52
图 74: 英飞凌为充电桩系统提供 “一站式” 解决方案	52
图 75: 英飞凌采用高性能 ALN 陶瓷的新 EasyDUAL™ CoolSiC™ MOSFET 功率模块	53
图 76: 英飞凌氮化镓开关管驱动芯片 EiceDRIVERiC	53
图 77: 英飞凌营收情况 (亿元)	53
图 78: 英飞凌净利润情况 (亿元)	53
图 79: 英飞凌第三代半导体相关营业收入及其占比 (百万欧元)	54
图 80: 意法半导体制造首批 200mm 碳化硅晶圆	54
图 81: 意法半导体营收情况 (亿元)	55
图 82: 意法半导体净利润情况 (亿元)	55
图 83: 意法半导体 ADG 部分营业收入情况 (百万美元)	56
图 84: 住友电工商业发展	56
图 85: 住友电工销售额	57
图 86: 住友电工营业利润	57
图 87: 住友电工电子板块营收情况 (百万日元)	57
图 88: 截至 2017 年全球申请主体排名前十位	58
图 89: 第二代 SiC 功率模块产品与传统产品的比较	58
图 90: GaN-HEMT 部分正在开发中的新产品	59
图 91: 三菱电机营收情况 (百万人民币)	59
图 92: 三菱电机净利润情况 (百万人民币)	59
图 93: 三菱电机电子设备板块营收情况	60
图 94: 三菱电机电子设备板块净利润情况	60
图 95: 2020 年三菱电机各板块收入占比情况	60
图 116: 集成芯片功率图	60
图 117: DC-DC 转换器对比	61
图 118: 纳微半导体营收情况 (单位: 百万日元)	61
图 96: 三安光电化合物半导体布局广泛	62
图 97: 三安集成营收逐年增长 (亿元), 2021H1 超过 2020 全年营收	63
图 98: 三安光电在氮化镓的应用领域	63
图 99: 安世半导体 GaN FET 系列产品	65
图 100: 闻泰科技营收情况 (亿元)	65
图 101: 闻泰科技归母净利润情况 (亿元)	65

图 102: 闻泰科技毛利率、净利率情况.....	65
图 103: 斯达半导营收 (亿元) 稳步上升.....	66
图 104: 斯达半导净利润 (亿元) 稳步上升.....	66
图 105: 斯达半导毛利率、净利润率稳步上升.....	66
图 106: 华润微营收 (亿元) 情况.....	67
图 107: 华润微归母净利润 (亿元) 情况.....	67
图 108: 华润微毛利率、净利率情况.....	68
图 109: 立昂东芯技术路线.....	68
图 110: 立昂微营收 (亿元) 稳步上升.....	68
图 111: 立昂微净利润 (亿元) 稳步上升.....	68
图 112: 立昂微毛利率、净利率情况.....	69
图 113: 士兰微营收 (亿元) 情况.....	69
图 114: 士兰微净利润 (亿元) 情况.....	69
图 115: 士兰微毛利率、净利率情况.....	70
图 119: 公司营业总收入与同比增长情况.....	71
图 120: 扣非归母净利润与同比增长情况.....	71
图 121: 新洁能营收 (亿元) 情况.....	71
图 122: 新洁能归母净利润 (亿元) 情况.....	71
图 123: 新洁能毛利率、净利率情况.....	72
图 124: 扬杰科技营收 (亿元) 情况.....	72
图 125: 扬杰科技归母净利润 (亿元) 情况.....	72
图 126: 扬杰科技毛利率、净利率情况.....	72
图 127: 赛微电子营收 (亿元) 情况.....	73
图 128: 赛微电子归母净利润 (亿元) 情况.....	73
图 129: 赛微电子毛利率、净利率情况.....	74
图 130: 捷捷微电营收 (亿元) 情况.....	74
图 131: 捷捷微电归母净利润 (亿元) 情况.....	74
图 132: 捷捷微电毛利率、净利率情况.....	74
图 133: 华微电子营收 (亿元) 情况.....	75
图 134: 华微电子归母净利润 (亿元) 情况.....	75
图 135: 华微电子毛利率、净利率情况.....	75
图 136: 时代电气营收 (亿元) 情况.....	76
图 137: 时代电气归母净利润 (亿元) 情况.....	76
图 139: 公司营业收入与同比增长状况.....	77
图 138: 公司营收和同比增长情况.....	78
表 1: GaN 单晶衬底的生长工艺.....	15
表 2: 国内 SiC 晶圆制造产线.....	22
表 3: 国内 GaN 晶圆制造产线.....	22
表 4: 2020 年我国 SiC 产能统计.....	22
表 5: 2020 年我国 GaN 产能统计.....	23

表 6: GaN 异质外延产品主流尺寸及国内外代表企业	43
表 7: 国际主要企业 SiC 布局情况	44
表 8: 全球 GaN 产业格局	46
表 9: 2020 年度国家发布的半导体相关政策列表	48
表 10: 意法半导体 2020 年产业链合作情况	55
表 11: 三安光电核心技术服务	62
表 12: 安世半导体核心技术先进性	64

1. 下游应用迭起+能源安全+后摩尔时代驱动第三代半导体大发展

我们认为第三代半导体主要受三大核心因素驱动：

- 1) 下游应用迭起，第三代半导体因物理性能优异竞争力极强
- 2) 能源安全需求迫在眉睫，第三代半导体助力“碳达峰、碳中和”目标的实现
- 3) 后摩尔时代来临，第三代半导体为代表的核心材料是芯片性能的提升的基石

第三代半导体一般指禁带宽度大于 2.2eV 的半导体材料，也称为宽禁带半导体材料。半导体产业发展至今经历了三个阶段，第一代半导体材料以硅为代表；第二代半导体材料砷化镓也已经广泛应用；而以氮化镓和碳化硅、氧化锌、氧化铝、金刚石等宽禁带为代表的第三代半导体材料，相较前两代产品性能优势显著。

我们认为在下游应用+能源安全+后摩尔时代三者推动下，第三代半导体将迎来大发展。

1) 下游应用迭起，第三代半导体因物理性能优异竞争力极强

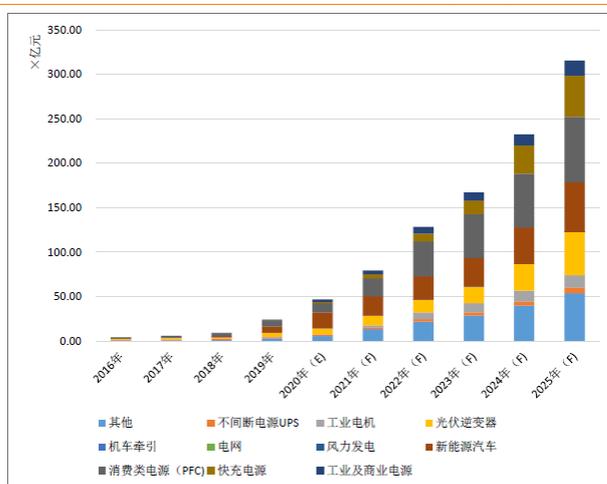
第三代半导体主要在三个领域有强大的市场的竞争力：

第一是新能源汽车等带动第三代半导体在大功率电力电子器件起量。快充装置、输变电系统、轨道交通、电动汽车和充电桩等都需要大功率、高效率的电力电子器件。无疑宽禁带半导体，尤其是碳化硅、氮化镓具有比其他半导体材料更为明显的优势。

第二是 AIoT 时代驱动的光电器件大发展。在 AIoT 时代，智慧化产品渗透率更加迅速提升，智能家居照明市场将迎来机遇。第三代半导体尤其在短波长光电器件方面有很明显的优势。例如蓝光，现在所有的半导体照明已经采用了氮化镓。在紫光、紫外光甚至在黄光、绿光等方面都可以直接用氮化物半导体作为材料。

第三是 5G 时代驱动 GaN 射频器件快速发展。相比于砷化镓和硅等半导体材料，在微波毫米波段的第三代半导体器件工作效率和输出功率明显高，适合做射频功率器件。民用射频器件主要用在移动通信方面，包括现在的 4G、5G 和未来的 6G 通信。例如，国内新装的 4G 和 5G 移动通信的基站几乎全用氮化镓器件。尤其是 5G 基站采用 MIMO 收发体制，每个基站 64 路收发，耗电量是 4G 基站的 3 倍以上，而且基站的密集度还要高于 4G 基站，不用高效率的氮化镓器件几乎是不可能的。未来 6G 通信频率更高、基站数更多，GaN 将更加突出。

图 1：2016-2025 年我国 SiC、GaN 电力电子器件应用市场规模（亿元）



资料来源：CASA Research、天风证券研究所

2) 能源安全需求迫在眉睫，第三代半导体助力“碳达峰、碳中和”目标的实现

第三代半导体助力“碳达峰、碳中和”目标的实现。第三代半导体材料和技术对于建成可循环的高效、高可靠性的能源网络起到至关重要的作用，可助力实现光伏、风电（电能生产），直流特高压输电（电能传输），新能源汽车、工业电源、机车牵引、消费电源（电能使用）等领域的电能高效转换，推动能源绿色低碳发展。

当前能源技术革命已经从电力高端装备的发展逐步向由材料革命的发展来带动和引领，第三代半导体有望成为绿色经济的中流砥柱。习近平总书记提出了“四个革命、一个合作”的能源安全战略，承诺中国在2030年前实现碳达峰，2060年前实现碳中和。国家电网“碳达峰、碳中和”行动方案提出了“两个50%”的目标，2050年清洁能源占电能生产的比例将超过50%，电能在终端能源消费中的占比将超过50%。实现“碳达峰、碳中和”关键在于加快推进能源开发清洁替代和能源消费电能替代，实现能源生产清洁主导、能源使用电能主导。

图2：第三代半导体实现能源安全



资料来源：Yole，界面新闻研究部、天风证券研究所

3) 后摩尔时代来临，第三代半导体为代表的核心材料是芯片性能的提升的基石

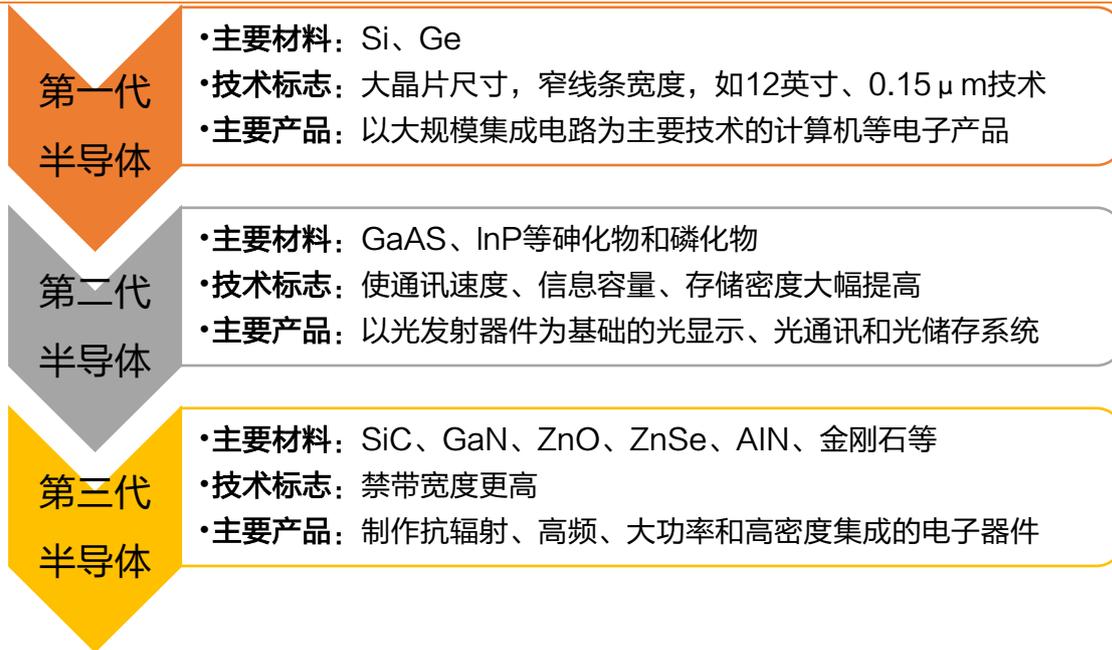
后摩尔时代来临，本土半导体板块迎来加速追赶黄金期。摩尔定律（Moore's Law）先进工艺驱动芯片持续微缩的同时也导致了所需成本指数级增长、开发周期拉长、良率下降，盈利风险明显升高。随着28nm推进到20nm节点，单个晶体管的成本不降反升，性能提升也逐渐趋缓，这标志着后摩尔时代来临。为此芯片行业需要去寻找新的技术去支撑芯片继续前进，这意味着摩尔定律形成的多年先发优势或不再受用，后者如果能够提前识别并做出前瞻性布局，完全存在换道超车的可能性。

材料工艺是芯片研发的主旋律。第三代半导体为主的新材料是芯片制造工艺中的核心挑战，是芯片性能的提升的基石。以SiC、GaN为代表的宽禁带半导体材料，拥有高的击穿电场强度、高的工作温度、低的器件导通电阻、高的电子密度等优势，目前宽禁带半导体主要在射频器件、大功率电力电子器件、光电器件三个领域有强大的市场的竞争力。同时，在化合物半导体与硅器件高度结合，在硅衬底上生长化合物，是后摩尔时代的一个非常有意义、非常有发展潜力的领域。

1.1. 第三代半导体：优势显著，下游应用场景极为广阔

第三代半导体物理性能优势显著，下游应用场景极为广阔。半导体材料领域至今经历了多个发展阶段，相较而言，第三代半导体在工作频率、抗高温和抗高压等方面更具优势。第一代半导体材料主要包括硅（Si）和锗（Ge），于20世纪40年代开始登上舞台，目前主要应用于大规模集成电路中。但硅材料的禁带宽度窄、电子迁移率低，且属于间接带隙结构，在光电子器件和高频高功率器件的应用上存在较大瓶颈，因此其性能已难以满足高功率和高频器件的需求。第二代半导体材料的主要代表是砷化镓（GaAs）、磷化铟（InP），这类材料已经具备了直接带隙的物理结构特性，发光效率高，而且相较于上一代材料在工作频率、抗高温和抗高压等方面更具优势，因此广泛运用于光电和射频领域。

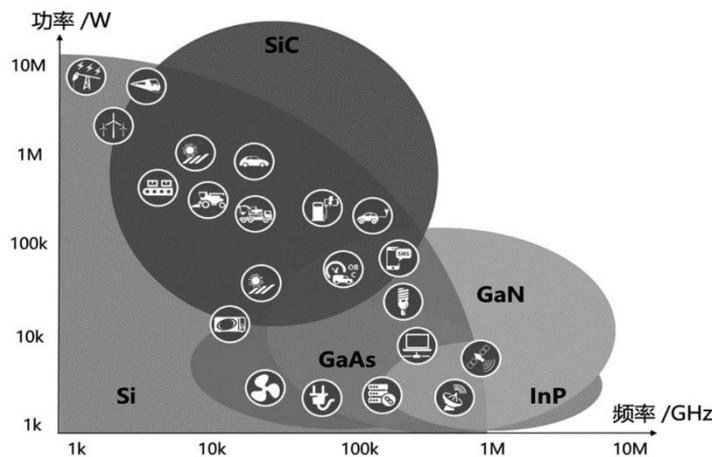
图 3：半导体材料的演化



资料来源：新材料在线、天风证券研究所

第三代半导体的优异性能使其在半导体照明、新一代移动通信、新能源并网、智能电网、高速轨道交通、新能源汽车、消费类电子等领域具有广阔的应用前景。第三代半导体包括碳化硅（SiC）、氮化镓（GaN）、氧化锌（ZnO）、氧化镓（GaO）、氮化铝（AlN），以及金刚石等宽禁带半导体材料，其中以碳化硅（SiC）和氮化镓（GaN）最具代表性。第三代半导体材料具备高击穿电场、高热导率、高电子饱和速率及抗强辐射能力等优异性能，是固态光源和电力电子、微波射频器件的“核芯”，正在成为全球半导体产业新的战略高地。本文主要论述的第三代半导体为碳化硅（SiC）和氮化镓（GaN）。

图 4：硅和化合物半导体应用的范围



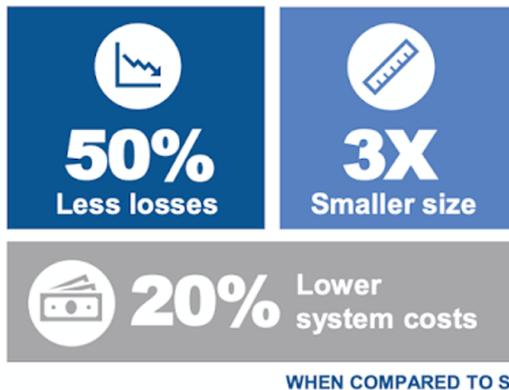
资料来源：英飞凌、《全球化合物半导体产业竞争格局及未来发展机遇》，作者宫学源、天风证券研究所

分类来看，SiC 适用于中高压器件，GaN 适用于中低压器件，两者重合部分为汽车电子和光伏板块。

1.2. 物理性能：能力损耗低、封装尺寸小、散热能力强

图 5：碳化硅综合优势比较

SiC ENABLES SYSTEMS THAT DELIVER UP TO:



相较传统硅 (Si) 晶片, 碳化硅 (SiC) 可以减少50%电能转换损耗, 因此可以提升电动车续航4%, 还能降低20%的电源转换系统成本。

更宽的能隙 - 提供更高的耐电压、电流能力
更薄的耐受电压隔离层 - 更低的导通电阻
更高的电子迁移率 - 更快速的切换
晶片更薄、3倍于硅的导热系数 - 更好的散热性能

资料来源: 美股探路客、天风证券研究所

SiC 材料相比于 Si 材料有着显著的优势。目前车规级半导体主要采用硅基材料, 但受自身性能极限限制, 硅基器件的功率密度难以进一步提高, 硅基材料在高开关频率及高压下损耗大幅提升。与硅基半导体材料相比, 以碳化硅为代表的第三代半导体材料具有高击穿电场、高饱和电子漂移速度、高热导率、高抗辐射能力等特点。下表是三代半导体衬底材料的指标参数对比, 可看出 SiC 材料具有 Si 材料不可比拟的优势, 具体优势体现在:

- (1) **能量损耗低。**SiC 模块的开关损耗和导通损耗显著低于同等 IGBT 模块且随着开关频率的提高, 与 IGBT 模块的损耗差越大, SiC 模块在降低损耗的同时可以实现高速开关, 有助于降低电池用量, 提高续航里程, 解决新能源汽车痛点。
- (2) **更小的封装尺寸。**SiC 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。
- (3) **实现高频开关。**SiC 材料的电子饱和漂移速率是 Si 的 2 倍, 有助于提升器件的工作频率; 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。
- (4) **耐高温、散热能力强。**SiC 的禁带宽度、热导率约是 Si 的 3 倍, 可承受温度更高, 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。

图 6: 三类代表性半导体材料物理特性比较

物理指标	Si	GaAs	InP	SiC	GaN	指标简介
禁带结构	间接带隙	直接带隙	直接带隙	直接带隙	间接带隙	直接带隙半导体发光效率高,适合制作光电子
禁带宽度/eV	1.1	1.4	1.3	3.3	3.4	禁带宽度决定器件的导通损耗、耐受温度和耐压
电子迁移率/(cm ² /Vs)	1350	8500	4600	1000	2000	迁移率越大,电阻率越小,电流承载能力越大
介电常数	11.9	13.1	10.8	10.1	9	介电常数越低,单位面积器件的寄生电容越小 以开发更高的RF功率水平
击穿场强/(MW/cm)	0.3	0.4	0.5	2.8	3.3	击穿场强越大,器件的阻断电压越大,更加适 压应用
电子饱和漂移速度/ (10 ⁷ cm/s)	1	1	2.2	2.2	2.7	电子饱和漂移速度越高,器件导通电阻越低, 损耗更低,高频性能更好
热导率/[W/(cm·K)]	1.5	0.5	0.7	4.9	1.3	热导率越高,器件散热更加容易,可在更高温 工作
最高工作温度/°C	175	350	—	600	800	数值越高,高温承受能力越强,高温环境下的 性更高
应用领域	集成电路 功率器件	射频器件 光电器件	光电器件	功率器件	功率器件 射频器件	半导体材料的物理性能不同,应用场景也相应有

资料来源:《全球化合物半导体产业竞争格局及未来发展机遇》,作者宫学源、天风证券研究所

GaN 作为第三代半导体具有宽带隙 (3.4 eV)、击穿场强大 (3.3 MW / cm)、电子饱和漂移速度高 (2.7 * 10⁷ cm / s) 等物理结构优势。在以往的半导体材料中, Si 是目前集成电路及半导体器件的主要材料,但其带隙窄,击穿电压低,在高频高功率器件的应用上效果不佳。以 GaAs 代表的第二代半导体材料由于电子迁移速率高,抗辐射等优点在微波通信领域有着重要的应用价值,是目前通信用半导体材料的基础。然而, GaAs 的带隙和击穿电压仍难以满足高频高功率器件的要求。而 GaN 相较前两代半导体材料具有更大的禁带宽度和击穿电压,同时化学稳定性高,能够耐高温,耐腐蚀,因此在光电器件以及高频高功率电子器件应用上具有广阔的前景。

1.3. 制备成本: 与传统产品价差持续缩小, 综合成本优势明显

第三代半导体制备方法:

Si 单晶主要采用直拉法, 生长速度较为缓慢。对于硅来说, 72h 可生长出 2m~3m 左右的硅单晶棒, 一根单晶棒一次能切下上千片硅片, 12in (305mm) 是高端 IC 芯片主流尺寸。SiC 没有液态, 只有固态和气态, 升华温度约 2700°C, 不能用拉硅单晶的方法制备。目前制备半导体级高纯度 SiC 单晶, 主要为 Lely 改良法, 最快的 SiC 单晶生长方法, 生长速度在每小时 0.1mm~0.2mm 左右, 72h 仅生长 7.2mm~14.4mm。

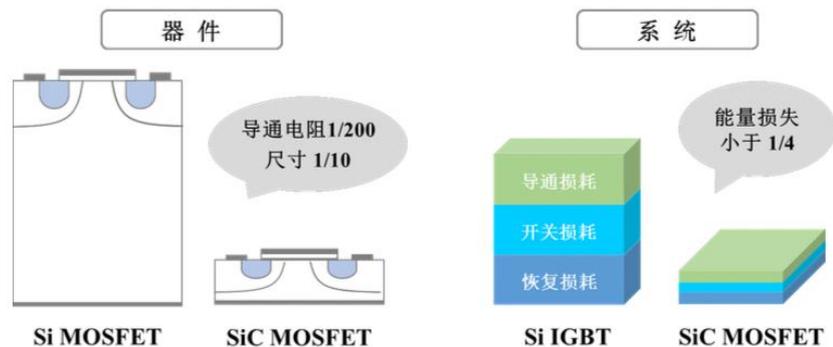
GaN 主要在蓝宝石衬底上生长 GaN 厚膜, 价格较为昂贵。GaN 极其稳定, 熔点约为 1700°C, 具有高电离度, 很难采用熔融的结晶技术制作 GaN 衬底。目前主要在蓝宝石衬底上生长 GaN 厚膜, 然后通过剥离技术实现衬底和厚膜分离, 将分离后的 GaN 厚膜做为外延用衬底, 主流尺寸为 2in (50mm)。由于价格昂贵, 限制了 GaN 厚膜衬底的应用。

产品价格不断下降, 达到甜蜜点。影响 SiC、GaN 功率器件价格下降的原因有以下四个方面: 第一, 上游衬底产能持续释放, 供货能力提升, 材料端衬底价格下降, 器件制造成本降低; 第二, 量产技术趋于稳定, 良品率提升, 产能持续扩张, 拉动市场价格下降; 第三, 器件的产线规格由 4 英寸转向 6 英寸、制造技术进一步提升, 单片晶圆产芯片量大幅提升, 导致成本大幅下降; 第四, 随着更多量产企业加入, 竞争加剧, 导致价格进一步下降。整体来看, 根据 CASA 的跟踪, SiC、GaN 产品的价格近几年来快速下降, 较 2017 年下降了 50%以上, 而主流产品与 Si 产品的价差也在持续缩小, 已经基本达到 4 倍以内, 部分产品已经缩小至 2 倍, 已经达到了甜蜜点。

尽管第三代半导体衬底成本相对较高, 但综合成本优势大于传统硅基, 与传统产品价差持续缩小。未来随着全球半导体厂商加速研发及扩产, 产线良率将逐步提高, 从而提高晶圆利用率, 将会有效降低器件成本。以碳化硅为例分析, 由于生产设备、制造工艺、良率与成本的劣势, 碳化硅基器件过去仅在小范围内应用。SiC 功率半导体商业化的最大瓶颈是衬底成本过高。目前国际主流 SiC 衬底尺寸为 4 英寸和 6 英寸, 晶圆面积较小、芯

片裁切效率较低、单晶衬底及外延良率较低导致 SiC 器件成本高昂，叠加后续晶圆制造、封装良率较低，且载流能力和栅氧稳定性仍待提高，SiC 器件整体成本仍处于较高水平。晶体生产难度大导致 SiC 材料昂贵，根据 Yole Development 测算，单片成本 SiC 比 Si 基产品高出 7-8 倍。

图 7：同规格碳化硅器件与硅器件对比



资料来源：ROHM、天科合达科创板首次公开发行股票招股说明书(申报稿)、天风证券研究所

体积减少，功耗降低等优势使 SiC 综合优势大于传统硅基材料。以 SiC 材料在新能源电动汽车上的应用为例，在考虑成本的时候，除了器件本身的成本，还要考虑因为性能提高而带来的车辆总成本的下降。具体来说，采用 SiC 技术后，开关频率可以设计得更高，从而能提高器件能效，减小无源器件的尺寸，并缩减模块的整体规格。此外，SiC 解决方案所带来的高能效也可以降低动力电池冷却系统的尺寸。以上这些，在电动车总成本中有很高的占比。综合下来，与传统硅基解决方案相比，SiC 解决方案可使整车半导体成本节省近 2000 美元。显然，这是 SiC 给汽车制造商带来的实在的成本效益。

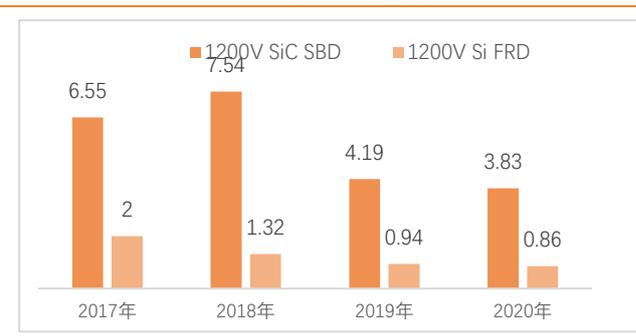
2020 年，SiC 电力电子器件价格进一步下降，与同类型 Si 器件价差缩小。CASA 第三代半导体产业发展报告的数据显示，在公开报价方面，650V 的 SiC SBD 2020 年底的平均价格是 1.58 元/A，较 2019 年底下降了 13.2%，与 Si 器件的价差在 3.8 倍左右。1200V 的 SiC SBD 的平均价是 3.83 元/A，较 2019 年下降了 8.6%，与 Si 器件的差距在 4.5 倍左右。据 CASA 调研显示，实际成交价低于公开报价。650V 的 SiC SBD 的实际成交价格约 0.7 元/A，1200V 的 SiC SBD 价格约 1.2 元/A，基本约为公开报价的 60%-70%，较上年下降了 20%-30%，实际成交价与 Si 器件价差已经缩小至 2-2.5 倍之间。而 SiC MOSFET 价格下降幅度达 30%-40%，与 Si 器件价差收窄到 2.5-3 倍之间。

图 8：2017 年-2020 年 650V 的 SiC SBD 价格持续下降(元/A)



资料来源：CASA 第三代半导体产业发展报告、天风证券研究所

图 9：2017 年-2020 年 1200V 的 SiC SBD 价格持续下降(元/A)



资料来源：CASA 第三代半导体产业发展报告、天风证券研究所

未来随着全球半导体厂商加速研发及，产线良率与晶圆利用率逐步提高，将会有效降低 SiC 器件成本，SiC 将迎来高速增长。2019 年，SiC 上游材料和芯片的主导企业如 CREE、II-VI、Rohm 等都处于供不应求状态，开展扩产并向产业链上下游延伸是大势所趋。各大机构的 SiC 技术布局主要集中在场效应晶体管 and 发光二极管等电子器件领域，以及沉积方法、介电层、电极、等加工工艺方面。作为新一代能源技术革命，SiC 和 GaN 电力电子器件在电源转换、逆变器等应用中已经具有技术和综合成本优势，规模化生产会促进价格进一步下降。因其高性能低成本的优势，SiC 器件在新能源车中的渗透率有望不断提升，据英飞凌预测渗透率将从 2020 年的 3% 提升至 2025 年的 20%。据国际能源署预测，在全

球可持续经济发展的大背景下，全球电动汽车保有量将从 2019 年的 720 万辆增长至 2030 年的 2.45 亿辆，随之车用 SiC 功率器件有望迎来快速增长。与此同时，新能源汽车充电桩的加速建设，也为 SiC 半导体产业打开了一个巨大的增量市场。一个直流充电桩大约需要 170 个 MOS，SiC 器件用在充电桩中具有高功率密度、超小体积的优势，并且支持快速充电，成为未来的发展趋势。随着 SiC 器件在充电桩渗透率的不断提升，对上游 SiC 衬底和外延片的需求量也将保持快速增长态势。

SiC 制备方法：

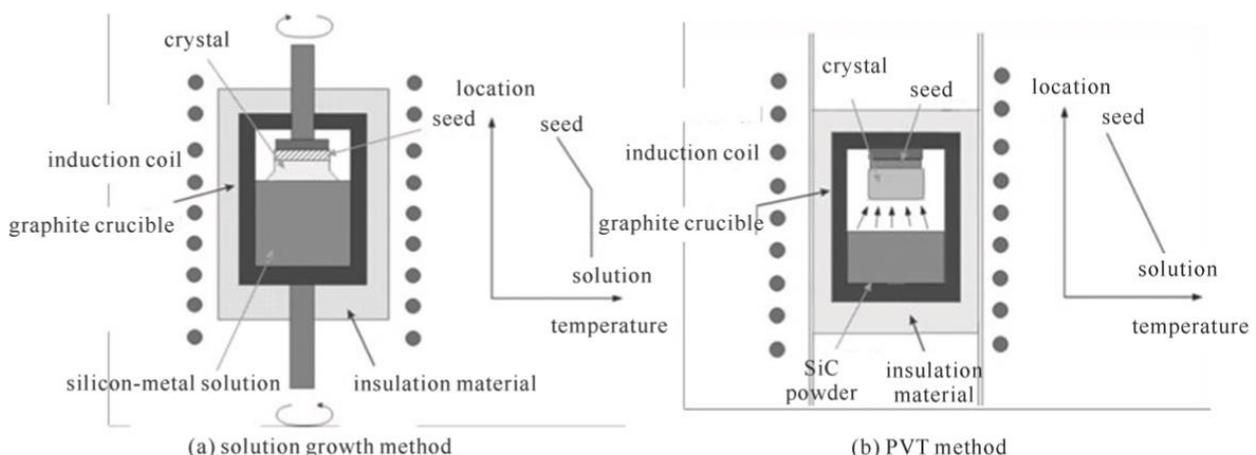
碳化硅传统的制备方法是将其石英砂与焦炭混合，利用其中的二氧化硅和石油焦，加入食盐和木屑，置于电炉中，加热到 2000 °C 左右高温，经过各种化学工艺流程后得到碳化硅微粉。目前 SiC 晶体的制备方法主要有液相生长法和物理气相传输法两种方法。

液相生长法主要集中在日本的高校和科研院所。其采用中频加热，高纯石墨坩埚作为容器，同时提供碳源。溶液加热到 1500~1900 °C 保温数小时，黏在石墨棒上的籽晶跟着石墨棒一同浸入溶液中，由于石墨坩埚中的温差，提供了晶体生长的过冷度，进而在籽晶上生长晶体。

物理气相传输法(physical vapor transport method, PVT 法)是目前大规模产业化主要采用的方法。该方法使用感应线圈进行加热，在涡流作用下高密度石墨发热体将被加热。将碳化硅(SiC)粉体填满石墨坩埚的底部，碳化硅(SiC)籽晶粘结在距原料面有一定距离的石墨坩埚盖内部，然后将石墨坩埚整体置于石墨发热体中，通过调节外部石墨毡的温度，使碳化硅(SiC)的原料置于高温区，而碳化硅(SiC)籽晶相应的处于低温区。在超过 2000 °C 高温下，碳化硅原料分解成升华的硅原子、SiC₂ 分子以及 Si₂C 分子等气相物质，气相物质在温度梯度的驱动下向低温区输送，在碳化硅(SiC)籽晶的 C 面上形核成晶，进而生长成碳化硅(SiC)晶体。为了提高碳化硅(SiC)原料的利用率，使处于石墨坩埚最底部的原料能够顺利输送上去，在生长过程中原料将缓慢上移。

SiC 制备技术门槛较高。这是由于在 2000°C 以上的高温密闭真空环境中生长出大尺寸、高品质、单一晶型的碳化硅晶体，需要精确的热场控制、材料匹配及经验积累。因此，行业参与者需要长期和大量的投入，才有可能在技术上取得突破，较高的技术门槛也制约了行业的快速发展。

图 10：碳化硅单晶生长示意图（左：液相生长法；右：物理气相传输法）



资料来源：宽禁带碳化硅单晶衬底及器件研究进展，作者肖龙飞、天风证券研究所

GaN 制备方法：

高质量的 GaN 基器件需要高质量的 GaN 体单晶材料作为衬底。尽管 GaN 材料具有广阔的运用前景，但是由于同质单晶衬底的尺寸、产能及成本的限制，目前大部分 GaN 基器件都是在异质衬底（比如硅、SiC、蓝宝石等）上制备的，因此容易使 GaN 外延层与衬底之间产生晶格失配及热失配并导致器件内部产生大量的位错、缺陷，进而引发电流崩塌、

阈值电压不稳定等问题，损耗 GaN 基器件的性能和使用寿命。因此，要使得 GaN 基器件性能接近理论值水平，就需要高质量的 GaN 体单晶材料作为衬底。

表 1: GaN 单晶衬底的生长工艺

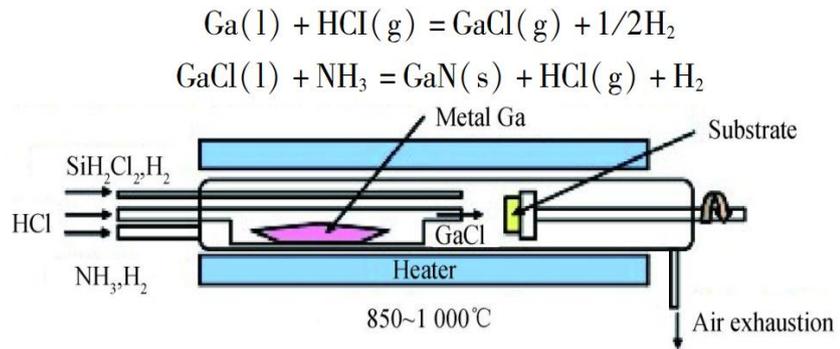
生长技术	位错密度	生长压力	生长温度	生长速度
HVPE 技术	105 ~ 106 cm ⁻²	1 atm(约 1.01 x 10 ⁵ Pa)	1 000 ~ 1 050 °C	100 ~ 200 μm/h
氨热法	102 ~ 103 cm ⁻²	100 ~ 600 MPa	400 ~ 750 °C	20 μm/d
助熔剂法	104 ~ 105 cm ⁻²	1 ~ 8 MPa	700 ~ 900 °C	10 ~ 60 μm/h

资料来源:《氮化镓单晶衬底制备技术发展展望》，作者姜元希、天风证券研究所

目前，GaN 单晶材料的生长方式主要分为气相外延与液相外延两种方式。前者主要使用氯化物气相外延技术（HVPE），后者主要采取氨热法和助熔剂法（即钠流法）。

HVPE 法由于生长速率高，能得到大尺寸晶体的优点，是目前制备 GaN 单晶衬底的主流生长技术。通过气态 HCl 与液态金属镓反应生成 GaCl 气体来提供 Ga 源，Ga 源与 N 源（气态 NH₃）在 1000 ~ 1050 °C 下反应，沉积结晶形成 GaN。通过优化反应设备和生长条件来实现对 HCl 及 NH₃ 气体的流量控制，使得 GaN 单晶能够快速生长。该法还运用侧向外延（ELO）技术使位错线弯曲、合并来促进位错的湮灭，进而减少位错密度等方法来提高晶体质量并释放生长应力。

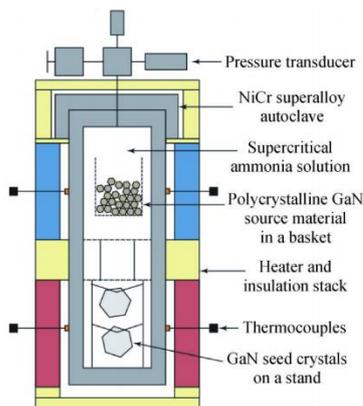
图 11: HVPE 生长设备



资料来源:《氮化镓单晶衬底制备技术发展展望》，作者姜元希、天风证券研究所

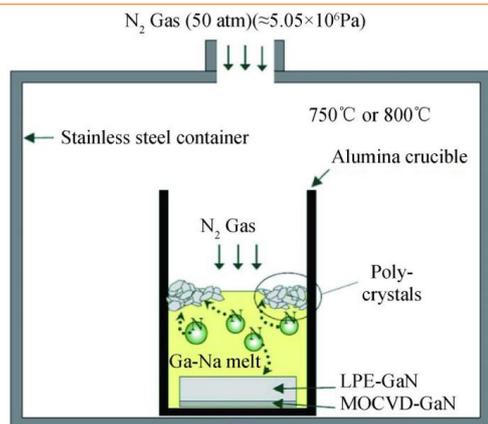
氨热法是在高压釜中进行生长的。生长过程中，将用作原料的金属 Ga 或 GaN 溶解在高压釜一个区域的氨中，通过对流将 GaN 传输至低溶解度的生长区，溶液达到饱和和在籽晶上重结晶生成 GaN 单晶。通常，通过矿化剂的加入可以提高加速氨的离解并增加 Ga 或 GaN 的溶解度，根据加入矿化剂的类型，可以分为酸性矿化剂和碱性矿化剂。

图 12: 氨热法生长示意图



资料来源:《氮化镓单晶衬底制备技术发展展望》，作者姜元希、天风证券

图 13: 助熔剂法生长过程示意图



资料来源:《氮化镓单晶衬底制备技术发展展望》，作者姜元希、天风证券

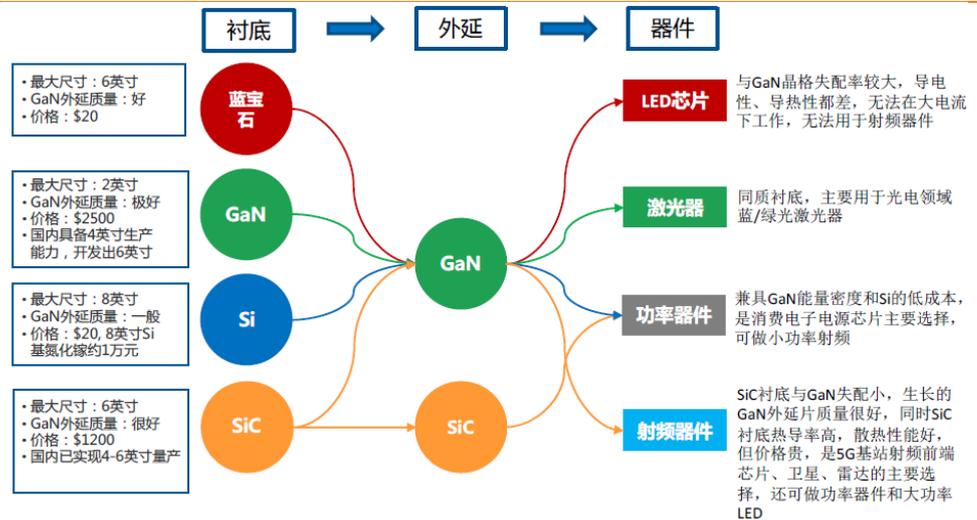
助熔剂法又称钠流法 (Na-Flux)。该法通过向 Ga 熔体中加入 Na，利用 Na 的强还原能力，促进 N₂ 的电离，提高 N 在 Ga 熔体中的溶解度，实现 Ga 和 N 的反应。该方法可以在相对低的温度 (~800 C°) 和压力 (<5 MPa) 下实现 GaN 的生长。Ga-Na 熔融液体中的 Na 在气液界面处使氮气的氮三键断裂，形成 N-3 离子。溶液内伴随着温度梯度或浓度梯度的驱动，N-3 离子逐渐趋于过饱和，当 Ga-Na 熔融液体中氮的溶解度超过 GaN 结晶生长所需的临界值时，则开始形成自发成核的 GaN，或在 GaN 籽晶上继续成核生长。

1.4. 产业链：龙头效应初显，国内企业快速追赶

第三代半导体产业链环节包括单晶衬底、外延片、器件设计、器件制造、封装测试、整机终端。与 Si 材料不同，SiC 和 GaN 器件不能直接制作在单晶衬底上，必须在衬底上生长高质量外延材料，在外延层上制造各类器件。

SiC 功率器件用外延片主要生长在 SiC 单晶衬底上。GaN 器件根据其应用领域不同衬底材料主要包括蓝宝石、GaN、Si、SiC，其中蓝宝石衬底目前最大尺寸为 6in (152mm)，生产 GaN 外延片质量好，价格便宜，主要用于光电子器件中 LED 芯片，由于其与 GaN 晶格失配度较大，导电性、导热性差，无法用于射频器件；GaN 单晶衬底目前量产最大尺寸为 2in (50mm)，外延片质量极好，但价格昂贵，目前主要用于光电子器件中激光器；Si 单晶衬底是 GaN 功率器件最主要的衬底材料，外延片质量良好，最大应用尺寸为 8in (203mm)，价格便宜，是消费电子电源芯片最主要选择；SiC 衬底目前国内量产尺寸为 4in~6in (101mm~152mm)，SiC 衬底与 GaN 的失配小，生长的 GaN 外延片质量很好，同时 SiC 衬底热导率高，散热性能好，但价格贵，主要应用于 5G 基站射频前端芯片、军用雷达等领域。单晶衬底和外延片的材料制造能力、晶圆尺寸、性能参数决定了第三代半导体产业的发展水平及进程。

图 14：GaN/SiC 不同衬底应用情况

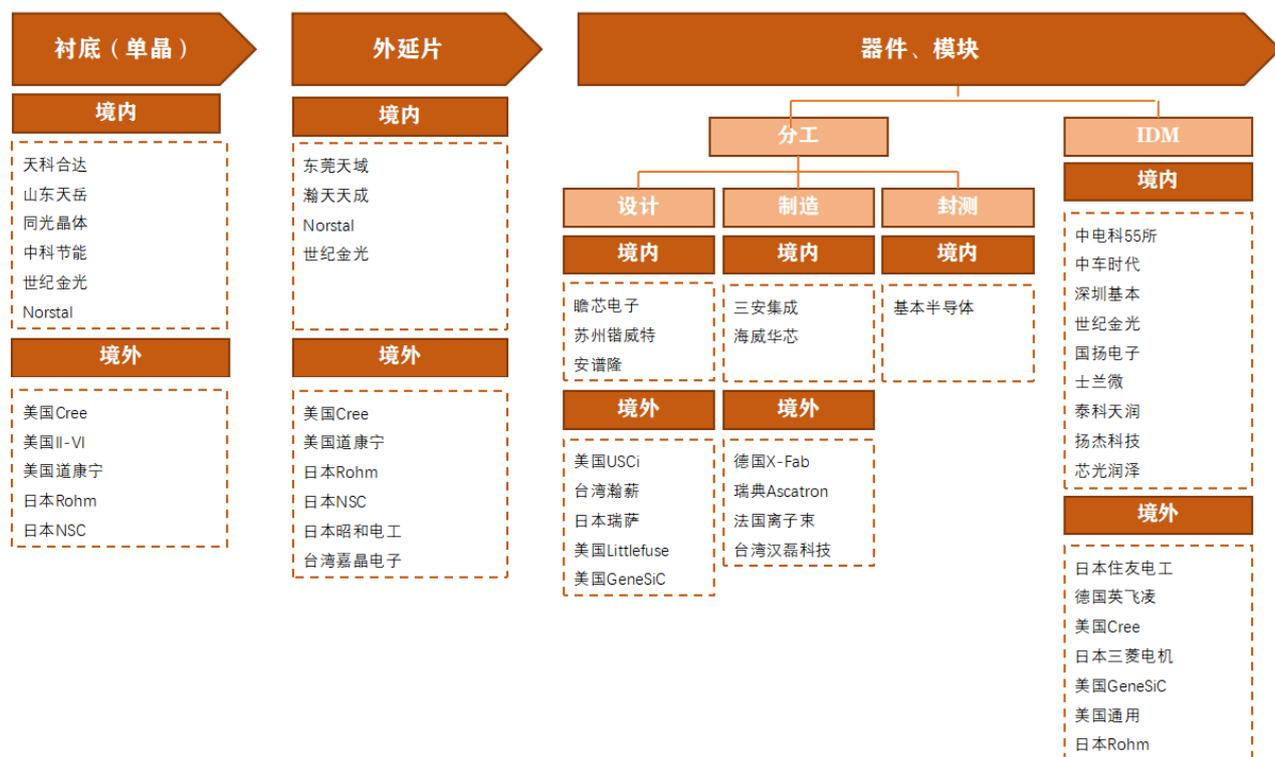


资料来源：广西壮族自治区大数据研究课题组、广西信息中心网、天风证券研究所

SiC 产业链主要包含粉体、单晶材料、外延材料、芯片制备、功率器件、模块封装和应用等环节。从产业链格局来看，美国仅科锐一家公司的 SiC 晶圆产量就占据全球 60%以上，日本和欧洲紧随其后。日本在 SiC 半导体设备和功率模块方面优势较大，比较典型的企业包括富士电机、三菱电机、昭和电工、罗姆半导体等。欧洲在 SiC 衬底、外延片等方面优势较大，典型的公司包括瑞典的 Norstel、德国的英飞凌和瑞士的意法半导体。与国外企业相比，国内企业整体竞争力较弱，但在全产业链上都有所布局，且近年来的进步十分迅速。在 SiC 衬底方面，山东天岳、天科合达可以供应 3~6 英寸的单晶衬底，产能亦在不断提升；在 SiC 外延方面，东莞天域和瀚天天成均能够供应 3~6 英寸的 SiC 外延；在

SiC 器件方面，以三安光电、中电科 55 所和中车时代为代表的国内企业在芯片设计与制造、模块封装等方面均已有了深厚的积累。

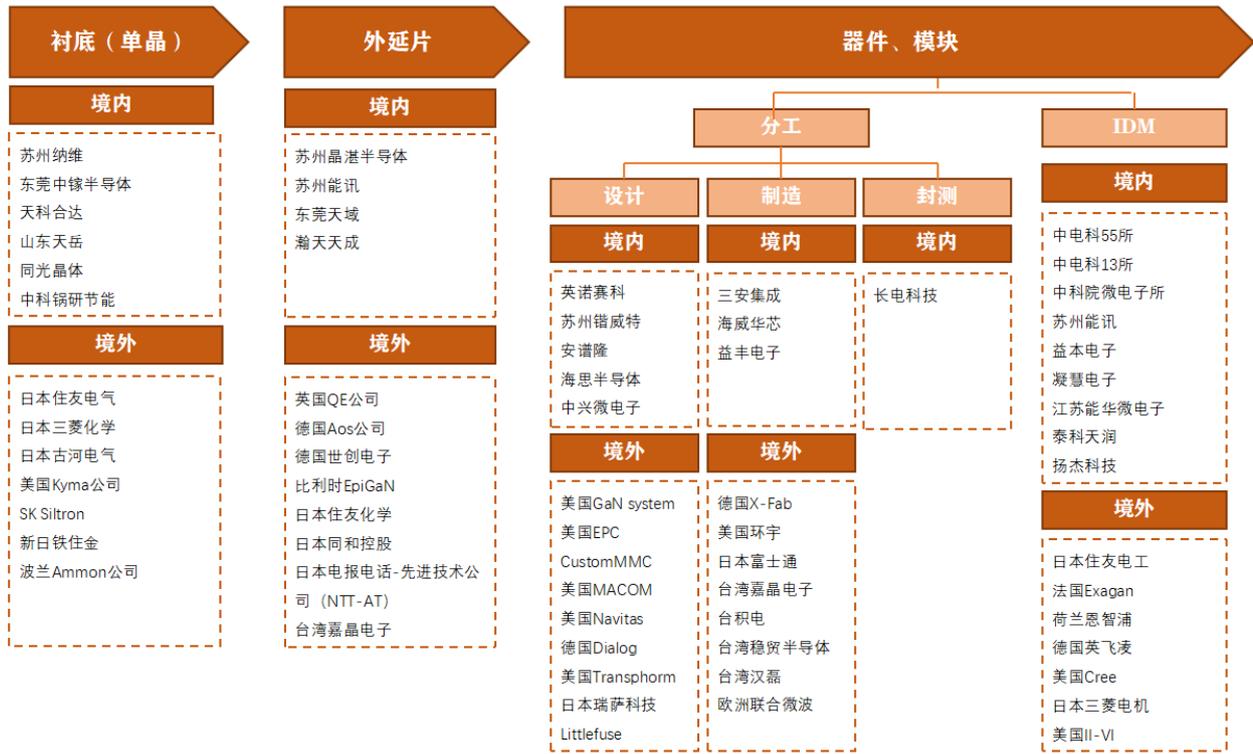
图 15: SiC 产业链重点企业



资料来源：材料深一度公众号、佐思汽车研究公众号、广西信息中心网、广西壮族自治区大数据研究课题组、第三代半导体联合创新孵化中心、天风证券研究所整理制图

GaN 产业链包括上游衬底、中游外延片、下游器件模块等环节。GaN 产业，住友电工和科锐是全球 GaN 射频器件领域的龙头企业，市场占有率均超过 30%，其次为 Qorvo 和 MACOM。苏州纳维科技，是国内唯一一家，国际上少有的几家能批量生产 2in（50mm）GaN 的企业；东莞中镓，建成国内首家专业氮化镓衬底生产线，可以制备出 1100μm 的自支撑 GaN 衬底；苏州晶湛、聚能晶源均可以生产 8in（203mm）硅基氮化镓外延片；世纪金光，是涵盖 SiC、GaN 单晶、外延、器件、模块研发设计生产销售一体的公司；润微电子收购中航微电子，拥有 8in（203mm）硅基氮化镓生产线和国内首个 600V/10A GaN 器件产品；士兰微，拥有 6in（152mm）硅基氮化镓功率器件生产线。

图 16: GaN 产业链重点企业



资料来源：广西信息中心网、锐观网、广西壮族自治区大数据研究课题组、第三代半导体联合创新孵化中心、天风证券研究所整理制图

我国第三代半导体主要公司布局情况：

图 17：SiC 产业链重点企业布局及投资情况

公司名称	产业链				已有产能	项目投资额	项目所在地	在建产能
	设备	衬底	外延	器件				
华润微 688396					拥有3条6吋产线；6英寸商用碳化硅（SiC）晶圆生产线正式量产；目前规划产能1000片/月	9.5亿元		正在建设的12吋产线
三安集成 600703					2021年6月，碳化硅晶圆36万片/年工厂落成	160亿元	湖南长沙	
斯达半导 603290						35亿元		20亿元将用于高压特色工艺功率芯片和SiC研发及产业化项目，预计将形成年产36万片；拟投2.2947亿元建设sic功率模组，年产8万颗
扬杰科技 300373						30亿元	扬州	功率半导体器件及集成电路封装测试项目主体工程
闻泰科技 600745					子公司安世半导体是全球知名的半导体IDM公司，每年可交付900多亿件产品	18.4亿元		碳化硅二极管产品已经出样，在德国汉堡晶圆厂的新增8寸晶圆产线已顺利投产运营。
捷捷微电 300623						5.1亿元	南通	建设“功率半导体6英寸晶圆及器件封测生产线建设项目”
士兰微 600460					SiC功率器件的中试线实现通线			
中微公司 688012								
天科合达 870013					江苏天科合达项目2019年完工，可实现年产4-8英寸碳化硅衬底6万片	IPO募资9.5亿元 (已终止上市)		拟IPO募资-年产12万片6英寸碳化硅晶片，其中6英寸导电型碳化硅晶片约为8.2万片，6英寸半绝缘型碳化硅晶片约为3.8万片；碳化硅衬底生产线，项目计划于2022年年初完工投产，建成后可年产碳化硅衬底12万片；另深圳投资22亿元SiC衬底及外延片项目，天科占股25%。
东尼电子 603595						定增-4.69亿元	吴兴	定增-拟建sic半导体材料项目，12万片/年sic材料
楚江新材 002171					子公司顶立科技拥有第三代半导体原材料的高纯碳粉的制备技术和装备，目前公司生产的高纯碳粉已实现小批量生产			
天通股份 600330					子公司凯成半导体从事碳化硅晶体材料的生产研发，目前业务处于前期中试阶段。			
露笑科技 002617					一期2021年9月份可实现6英寸导电型碳化硅衬底片的小批量试生产	100亿元	合肥市	第一期预计投资21亿，达产后年产24万片导电性SiC衬底、5万片外延片
华微电子 600360						102亿元		拟建设产业园用于SiC外延片、IGBT、MOSFET等芯片生产制造。
山东天岳 002069					6英寸半绝缘型和6英寸导电型衬底已形成小批量销售，SiC衬底2020年产量4.75w片	IPO-20亿元	上海临港	项目2022年试生产，预计2026年100%达产，主要生产6英寸导电型碳化硅半导体材料
鸿海（富士康） 2317						6亿元		收购6英寸SiC晶圆厂，计划2024年年产能将达18万片
中车时代电气 688187					国内首条6英寸碳化硅生产线，6万片/年；成功试制1200V碳化硅肖特基二极管功率芯片	3.5亿元		第一条投资10亿元的IGBT生产线产能释放，第二条投资35亿元的生产线预计2020年底开始试生产
稳懋半导体 3105						约23亿人民币	台湾南科园	建设周期三年，整个项目达产后，月产能将超10万片

资料来源：上海集成电路产业发展研究报告、华润微半年报、闻泰科技半年报、创道硬科技研究院、天风证券研究所制图

图 18：GaN 产业链重点企业布局及投资情况

公司名称	产业链				已有产能	项目投资额	项目所在地	在建
	设备	衬底	外延	器件				
立昂微 605358					GaN射频	43亿元	海宁	该项目建成后预计年产 36 万片 6 英寸砷化镓/氮化镓微波射频集成电路芯片。其中包括年产 18 万片砷化镓 HBT 和 pHEMT 芯片，年产 12 万片垂直腔面发射激光器 VCSEL 芯片，年产 6 万片氮化镓 HEMT 芯片；五年内分阶段实施，其中第一阶段工程 18 万片/年，第二阶段工程 18 万片/年。
华润微 688396					IDM，合计拥有 1,100 余项分立器件产品与 500 余项 IC 产品	2.44 亿元		650V 硅基氮化镓器件的研发，建立相应的材料生产、产品设计、晶圆制作和封装测试能力
士兰微 600460					公司拥有 6 英寸的硅基氮化镓集成电路芯片生产线，涵盖材料生长、GaN 电路研发、封装、系统应用的全技术链。			
赛微电子 300456					子公司聚能创芯是公司目前 GaN 业务的一级发展平台，业务范围包括 GaN 外延材料设计生产、GaN 芯片设计，同时正参股投资建设 GaN 芯片制造产线，公司在基于 8 英寸硅基氮化镓 (GaN-on-Si) 的材料生产与芯片设计方面具备突出优势。	10 亿元	山东	建设 6-8 英寸氮化镓项目，一期年产能将达到 6 万片，2022 年上半年投产。
闻泰科技 600745					子公司安世半导体在行业推出领先性能的第三代半导体氮化镓功率器件 (GaN FET)	约 45 亿人民币		
三安光电 600703					在硅基氮化镓产品方面，完成约 60 家客户工程送样及系统验证，24 家进入量产阶段，产品性能优越。	70 亿元	泉州	半导体研发与产业化项目一期工程
中微公司 688012					公司的 Prismo A7 设备技术实力突出，已在全球氮化镓基 LED MOCVD 市场中占据领先地位。	1.56 亿元		研发用于 8" 硅基氮化镓功率器件大规模生产的 MOCVD 设备及外延生长工艺

资料来源：上海集成电路产业发展研究报告、华润微半年报、闻泰科技半年报、YUQUE、天风证券研究所制图

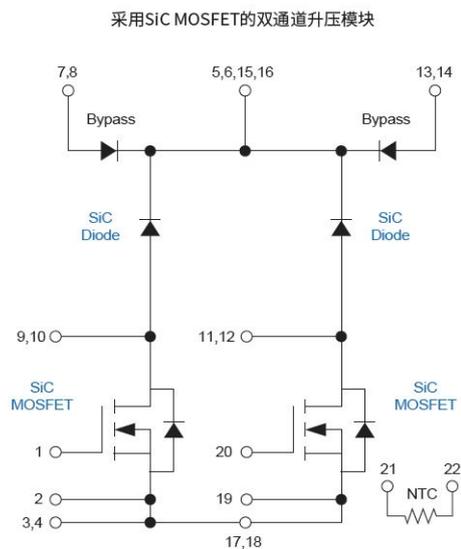
1.5. 能源安全：第三代半导体有望成为绿色经济的中流砥柱

SiC 助力汽车降低 5 倍能力损耗。以第三代半导体的典型应用场景——新能源汽车为例，根据福特汽车公开的信息，相比于传统硅芯片（如 IGBT）驱动的新能源汽车，由第三代半导体材料制成芯片驱动的新能源汽车，可以将能量损耗降低 5 倍左右。

SiC 提高电机逆变器效率 4%，整车续航里程约 7%。作为第三代半导体的代表，碳化硅技术的应用与整车续航里程的提升也有着紧密的联系，第三代半导体材料在提高能效、电源系统小型化、提高耐压等方面的性能已经达到了硅器件无法企及的高度。小鹏汽车动力总成中心 IPU 硬件高级专家陈宏表示，相比硅基功率半导体，第三代半导体碳化硅 MOSFET 具有耐高温、低功耗及耐高压等特点。采用碳化硅技术后，电机逆变器效率能够提升约 4%，整车续航里程将增加约 7%。

SiC 赋能光伏发电，增加太阳能转换效率。碳化硅作为典型的宽禁带材料，因其物理特性在太阳能管理中相比硅具有多种材料优势。碳化硅具备的材料优势诸如导热率是硅的三倍、可承受的击穿电场是硅的 10 倍、较低的导通电阻、栅极电荷和反向恢复电荷特性，使得碳化硅器件与硅同等器件相比，可以以更高的电压、频率和电流来开关，同时更高效地管理热量累积。碳化硅的这些优势在功率升压电路中发挥了作用，它使太阳能转换的效率更高。据国际能源署 IEA 估计，如果到 2024 年，假如仅 2% 的分布式太阳能光伏系统部署了碳化硅，其额外可产生的发电量将多达 10GW。

图 19：采用 SiC MOSFET 的双通道升压模块

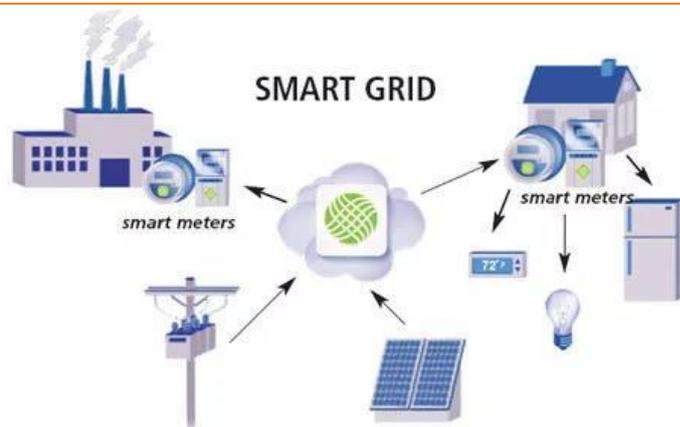


资料来源：安森美半导体，电子工程专辑，天风证券研究所

GaN 和 SiC 是太阳能逆变器的关键。据 Lux Research 研究，由氮化镓和碳化硅制成的分布式电力电子系统可以将太阳能微型和串状逆变器的效率提高 98%以上，二极管的能量增益超过 1.5%，而晶体管的能量增益超过 4%。氮化镓和碳化硅还可以通过降低无源元件的故障率、减少占地面积和节省安装成本等方式间接节约成本。此外，他们优越的热导率减少了逆变器中散热器的尺寸，进而减少了材料成本。

超高压 SiC 器件在智能电网固态变压器中的应用有利于智能电网的进一步发展。在电网系统建设中，电力变压器是电压变换和电气隔离的基础设备，是电力网络的核心。固态变压器(SST)又称电力电子变压器，与传统变压器相比，具有体积小、重量轻、供电质量高、功率因数高、自动限流、具备无功补偿能力、频率变换、输出相数变换等优点。

图 20：智能电网示意图



资料来源：半导体行业观察，天风证券研究所

但是由于在电压、功率耐量等方面的限制，硅基大功率器件在固态变压器应用中不得不采用器件串、并联技术和复杂的电路拓扑来达到实际应用的要求，这使得装置的故障率和成本大大增加。而宽禁带半导体材料碳化硅则因其耐高压和耐高温的物理特性，可以更好地适应于智能电网的固态变压器的材料需求，简化固态变压器的电路结构，减小散热器空间，并通过提升开关频率来提高单位功率密度。

GaN FET 在汽车和工业领域独具优势，助力减少碳排放。GaN FET 有较高功率密度和效率，并可以大幅减少电源磁性器件的尺寸、延长电池续航、提升系统可靠性、降低设计成本。第三代半导体材料在汽车和工业领域的应用也有助于生产生活中节约能耗，进而减少相

关活动的碳排放。

GaN 功率器件在数据中心的应用可以大幅降低数据中心的能耗，帮助减少 30-40%的能源浪费。据元拓高科官网资讯，若全球采用硅芯片器件的数据中心都升级为氮化镓功率芯片器件，那么全球的数据中心将减少 30-40%的能源浪费，相当于节省了 100 兆瓦时太阳能和减少 1.25 亿吨二氧化碳排放量。

2. 供需测算：产业链各环节产能增长，但供给仍然不足

2.1. 供给端：产线陆续开通，产能不断增加

产线陆续开通，大尺寸晶圆渐成主流。衬底方面：2020 年烁科晶体 SiC 衬底项目投产，同时天科合达、同光晶体、南砂晶圆等几大衬底生产商均在扩张 6 英寸衬底产能。器件方面：SiC 产线从 4 英寸向 6 英寸发展。据 CASA Research 不完全统计，2020 年国内投产 3 条 6 英寸 SiC 晶圆产线，截至 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。

GaN 电力电子产线方面，已有 7 条 GaN-on-Si 晶圆制造产线，另有约 4 条 GaN 电力电子产线正在建设。GaN 射频产线方面，2020 年有 5 条 4 英寸 GaN-on-SiC 生产线，约有 5 条 GaN 射频产线正在建设。值得注意的是，大尺寸产线对材料技术和生产技术的要求更高，与国际相比，国内大尺寸晶圆制造技术尚未完全成熟，成本高昂、良率较低。企业要根据自身情况，综合考虑技术、成本、生产效率等多方面因素，选取最优的工艺路线。

表 2：国内 SiC 晶圆制造产线

应用环节	产线状态	产线数量	主要企业（不完全）
SiC 电力电子	已有产线	7 条	泰科天润、三安光电、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、富能半导体、广东芯聚能、南京百识电子、青岛惠科、华瑞微等

资料来源：CASA Research、天风证券研究所

表 3：国内 GaN 晶圆制造产线

应用环节	产线状态	产线数量	主要企业（不完全）
GaN 电力电子	已有产线	7 条	英诺赛科、赛微电子、华润微、能华微电子、宁波海特创电控、三安光电
	在建产线	3 条	英诺赛科、大连芯冠、欣忆电子

资料来源：CASA Research、天风证券研究所

产能统计：

据 CASA Research 数据显示，SiC 电力电子方面 SiC 导电型衬底折算 4 英寸产能约为 40 万片 / 年，SiC-on-SiC 外延片折算 6 英寸产能约为 22 万片 / 年，SiC-on-SiC 器件 / 模块（4/6 英寸兼容）产能约 26 万片 / 年。GaN 电力电子方面 GaN-on-Si 外延片折算 6 英寸产能约为 28 万片 / 年，GaN-on-Si 器件 / 模块折算 6 英寸产能约为 22 万片 / 年。GaN 微波射频方面 SiC 半绝缘衬底折算 4 英寸产能约为 18 万片 / 年，GaN-on-SiC 外延片折算 4 英寸产能约为 20 万片 / 年，GaN-on-SiC 器件 / 模块折算 4 英寸产能约为 16 万片 / 年。

表 4：2020 年我国 SiC 产能统计

应用方向	产业环节	2019 年产能(万片/年)	2020 年产能(万片/年)	同比
SiC 电力电	SiC 导电型衬底（折合 6 英寸）	7	18	150%

子	SiC-on-SiC 外延 (折合 6 英寸)	20	22	10%
	SiC-on-SiC 器件/模块 (折合 6 英寸)	16	26	63%

资料来源: CASA Research、天风证券研究所

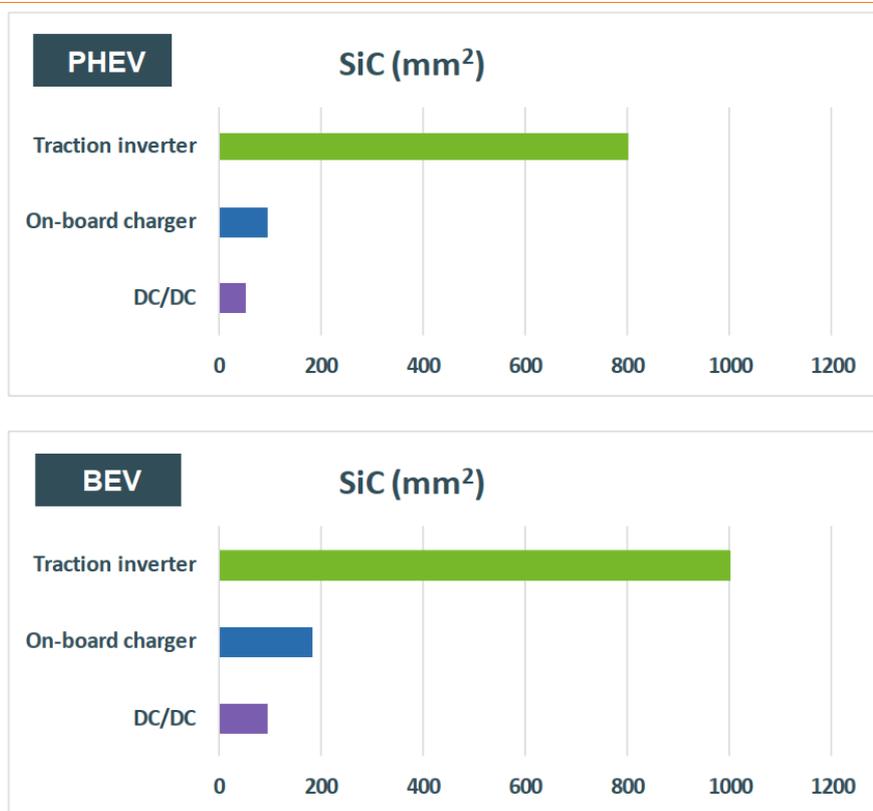
表 5: 2020 年我国 GaN 产能统计

应用方向	产业环节	2019 年产能(万片/年)	2020 年产能(万片/年)	同比
GaN 电力电子	GaN-on-Si 外延 (折合 6 英寸)	20	28	40%
	GaN-on-Si 器件/模块 (折合 6 英寸)	19	22	16%
GaN 微波射频	SiC 半绝缘衬底 (折合 6 英寸)	4	8	80%
	GaN-on-SiC 外延 (折合 6 英寸)	4	9	100%
	GaN-on-SiC 器件/模块 (折合 6 英寸)	4	7	100%

资料来源: CASA Research、天风证券研究所

2.2. 需求端: SiC 在新能源汽车中硅片用量测算

图 21: SiC 在新能源汽车中用量的估计

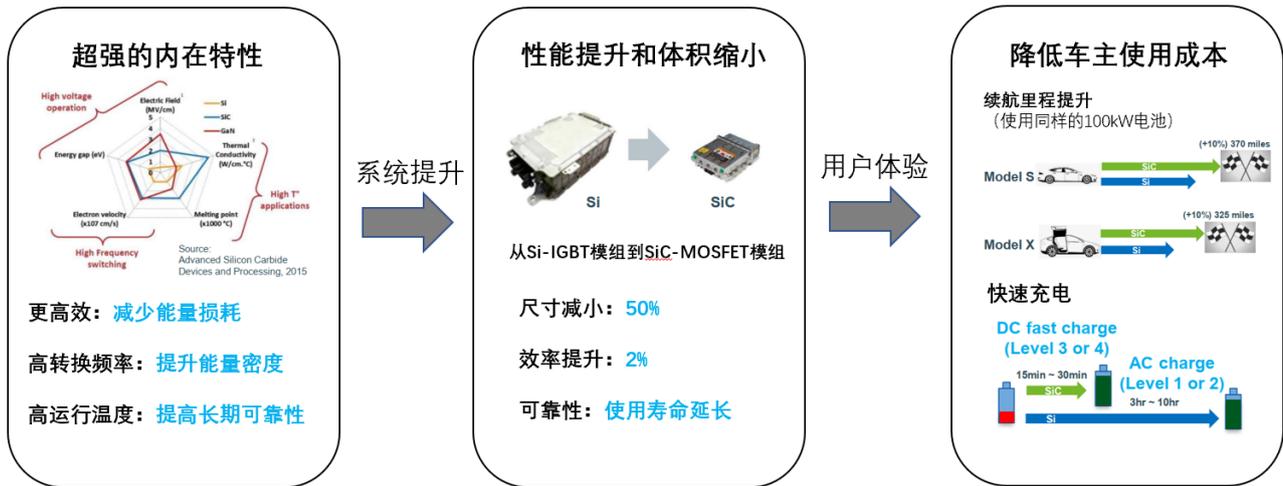


资料来源: Soitec、天风证券研究所

目前业界于电动车较积极导入 SiC 的主要装置和部件有主驱逆变器、车载充电器、车外充电器, SiC 功率元件发挥如下优势:

- 1) **极佳的内在特质:** 高效率, 降低能量损耗; 高转换频率, 增加能量强度; 可在更高的温度下运行, 提升长期可靠性。
- 2) **性能改进和小型化:** 从 Si-IGBT 模组到 SiC MOSFET 模组, 体积缩小了 50%, 效率提升了 2%, 器件的使用寿命得到延长。
- 3) **有助于降低电动车用户的使用成本:** 提升效率以达到节电目的, 在相同输出功率下可增加续航里程、提升充电速度。

图 22: SiC 器件在新能源汽车的优势



资料来源: Soitec、天风证券研究所

纯电动汽车: 8 寸晶圆可以满足 13 辆车的 SiC 需求; 6 寸晶圆可以满足 7 辆车的 SiC 需求

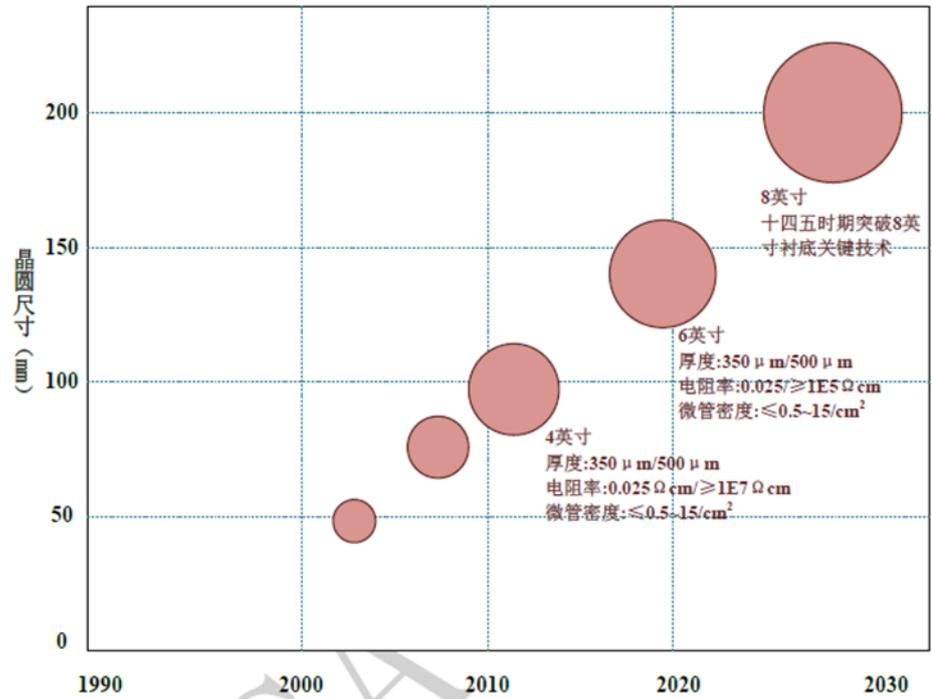
8inch wafer= 324.29 平方厘米, 假设良率为 50%, BEV 各部件需要的 SiC 晶圆面积: 1) 逆变器=10 平方厘米; 2) OBC=1.8 平方厘米; 3) DC/DC=0.9 平方厘米, 那么 1 张 8 寸晶圆可以满足 13 辆车的 SiC 需求。6inch wafer= 176.7 平方厘米, 假设良率为 50%, 那么 1 张 6 寸晶圆可以满足 7 辆车的 SiC 需求。

油电混合车: 8 寸晶圆可以满足 17 辆车的 SiC 需求; 6 寸晶圆可以满足 9 辆车的 SiC 需求

8inch wafer= 324.29 平方厘米, 假设良率为 50%, BEV 各部件需要的 SiC 晶圆面积: 1) 逆变器=8 平方厘米; 2) OBC=0.9 平方厘米; 3) DC/DC=0.5 平方厘米, 那么 1 张 8 寸晶圆可以满足 17 辆车的 SiC 需求。6inch wafer= 176.7 平方厘米, 假设良率为 50%, 那么 1 张 6 寸晶圆可以满足 9 辆车的 SiC 需求。

国内 SiC 商业化衬底以 4 英寸为主, 逐步向 6 英寸过渡, 微管密度小于 1 个 /cm², 实现 95%的衬底可用面积, 位错约在 1 × 10³/cm² 较上年有所进步。

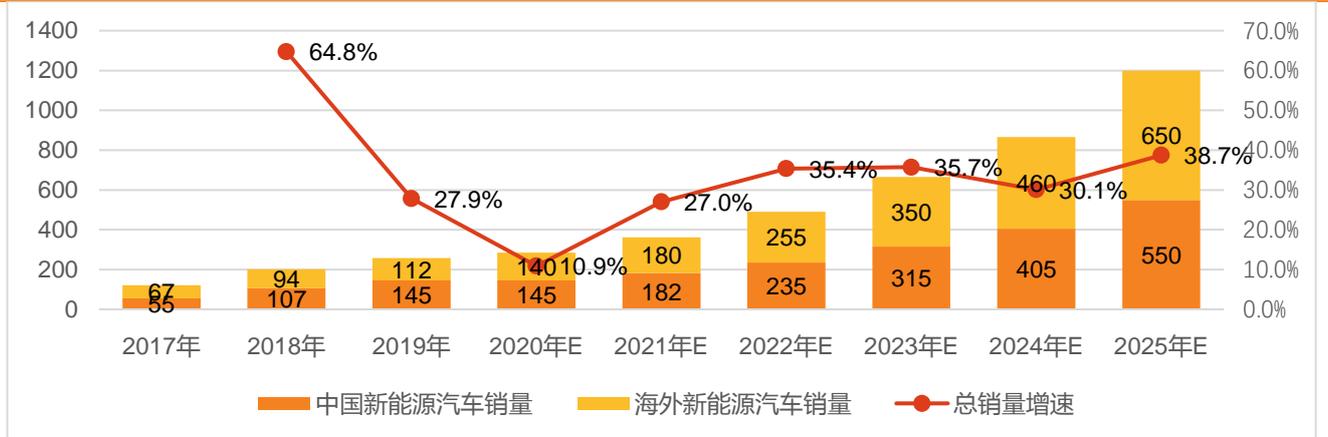
图 23: 国内 SiC 衬底技术指标进展



资料来源：CASA Research、天风证券研究所

我国新能源汽车 SiC 需求测算：

图 24：全球及我国新能源汽车销量测算（万辆）



资料来源：EVTANK、天风证券研究所

纯电动汽车占新能源汽车比重为 81%，以此数据假设，我国 2021-2025 年新能源汽车相关 8 英寸 SiC 晶圆需求为 14.0 万片、18.1 万片、24.2 万片、31.2 万片、42.3 万片，全球为 27.0 万片、36.5 万片、49.5 万片、64.4 万片、89.4 万片；6 英寸 SiC 晶圆需求我国为 24.9 万片、32.1 万片、43.1 万片、55.4 万片、75.2 万片，全球为 49.5 万片、67.0 万片、90.9 万片、112.8 万片、164.0 万片。

图 25：新能源汽车 SiC 硅片需求量测算（片）

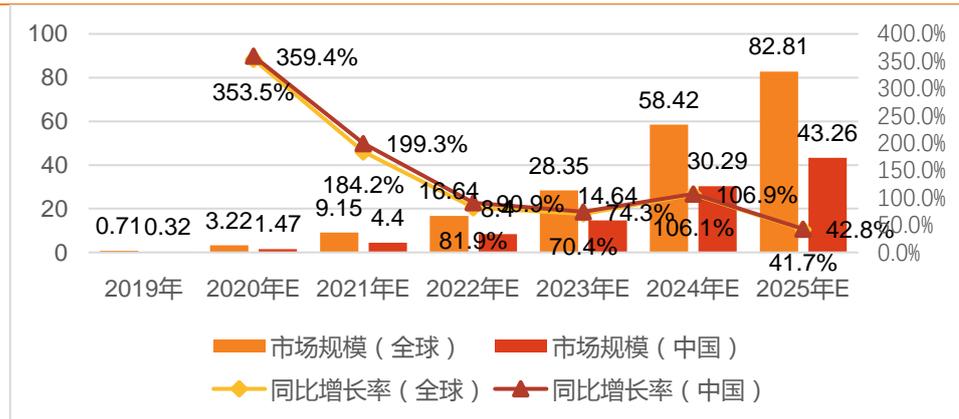


资料来源：产业信息网天风证券研究所

2.3. 需求端：GaN 在电力电子及射频中硅片用量测算

GaN 电力电子器件市场规模在国内外都将保持较高增速，带来需求高速增长。根据 CASA Research 的数据，未来 PD 快充 GaN 电力电子器件市场将迎来 3-4 年的黄金发展时期，2020 年国内 PD 快充 GaN 电力电子器件市场规模约 1.5 亿元，预计到 2025 年市场规模将超过 40 亿元，年均复合增长率高达 97%。

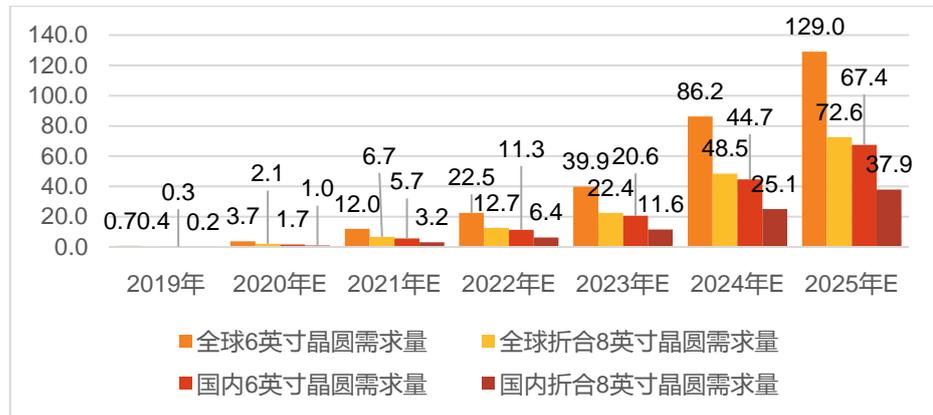
图 26：PD 快充 GaN 电力电子器件市场规模（亿元）



资料来源：CASA Research、天风证券研究所

终端应用市场的需求繁荣将拉动对 GaN 晶圆的广阔需求空间。据 CASA Research 估计，到 2025 年，全球相关 GaN 6 英寸晶圆需求将达到 129 万片，我国 GaN 6 英寸晶圆需求将达到 67.4 万片。6 英寸、8 英寸 GaN 晶圆的面积分别为 176.71、314.16 平方厘米，按照晶圆需求量与晶圆面积比例测算，那么可得 2025 年 GaN 电力电子器件在 PD 快充领域对 8 英寸的需求为全球 72.6 万片，我国 37.9 万片，数据测算结果如下。

图 27：PD 快充 GaN-on-Si 晶圆需求量（万片）



资料来源：CASA Research、天风证券研究所

2022 年，因 5G 基站建设带来的 GaN 晶圆增量需求将出现高峰。据 CASA 统计，我国 5G 宏基站新建带来的 4 英寸 GaN 晶圆总需求量约为 40 万片，2020 年需求量为 6.4 万片，2022 年需求量进一步增长至 10 万片。此外，若毫米波基站开始部署，其 4 英寸 GaN 晶圆总需求量约为 200-400 万片，将为晶圆厂带来较为可观的增量市场需求空间。4 英寸、6 英寸、8 英寸 GaN 晶圆的面积分别为 78.54、176.71、314.16 平方厘米，按照晶圆需求量与晶圆面积比例测算，数据测算结果如下。

图 28：5G 宏基站 GaN 晶圆需求量（万片）



资料来源：CASA Research、天风证券研究所

2.4. 需求端高速发展，但供给仍然不足，国产替代迫在眉睫

当前新能源汽车、PD 快充、5G 等下游应用市场增长超预期，国内现有产品商业化供给无法满足市场需求，尤其是 SiC 电力电子和 GaN 存在较大缺口。这也导致我国第三代半导体各环节国产化率较低，超过八成的产品依赖进口。在这种情况下，希望国内有实力的企业在谋划扩产增加产能供给的同时，还要加强技术攻关，提升产品性能、良率和可靠性，并加速降低成本。

SiC 在新能源汽车领域需求情况，2025 年为 164 万片等效 6 寸晶圆，与 2020 年产能差距甚大。GaN 在电力电子（仅快充）领域需求情况，2025 年为 129 万片等效 6 寸晶圆，与 2020 年产能差距甚大。

3. 下游应用：物理性能优势+节能减排需求，SiC 应用多点开花

SiC 在物理性能方面相较于 Si 优势显著，叠加节能减排和新能源领域的巨大变革，SiC 下游应用极为广阔。现有的功率器件大多基于硅半导体材料，由于硅材料物理性能的限制，

器件的能效和性能已逐渐接近极限，难以满足迅速增长和变化的电能应用新需求。碳化硅功率器件以其优异的耐高压、耐高温、低损耗等性能，能够有效满足电力电子系统的高效率、小型化和轻量化要求，在新能源汽车、光伏发电、轨道交通、智能电网等领域具有明显优势。经过近 30 年研究和开发，碳化硅衬底和功率器件制造技术在近年逐步成熟，并快速推广应用，正在掀起一场节能减排和新能源领域的巨大变革。碳化硅功率器件的应用领域如下：

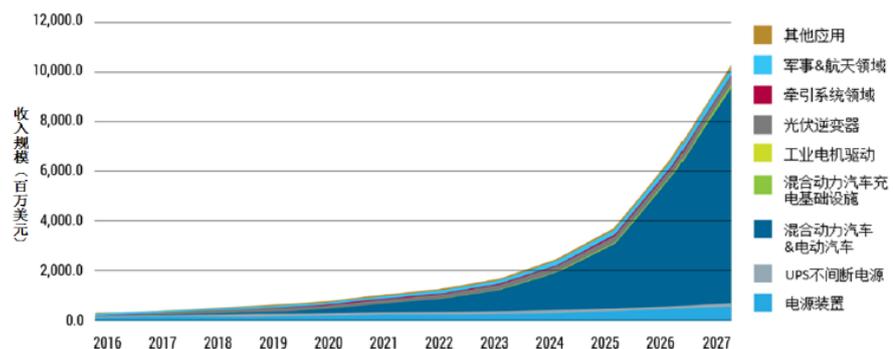
图 29：碳化硅功率器件应用领域



资料来源：天科合达招股书、天风证券研究所

伴随新能源汽车、光伏发电、轨道交通、智能电网等产业的快速发展，SiC 功率器件的使用需求大幅增加，2027 年将突破百亿美元。未来，随着碳化硅功率器件的加速发展，全球功率器件的销售预计将持续保持增长。预计 2018 至 2023 年期间，全球功率器件的销售复合年增长率达到 3.3%，2023 年全球功率器件收入将达到 192 亿美元。根据 IHSMarkit 数据，2018 年碳化硅功率器件市场规模约 3.9 亿美元，受新能源汽车庞大需求的驱动以及电力设备等领域的带动，预计到 2027 年碳化硅功率器件的市场规模将超过 100 亿美元，碳化硅衬底的市场需求也将大幅增长。

图 30：碳化硅功率器件市场规模预测，2027 年突破百亿美元

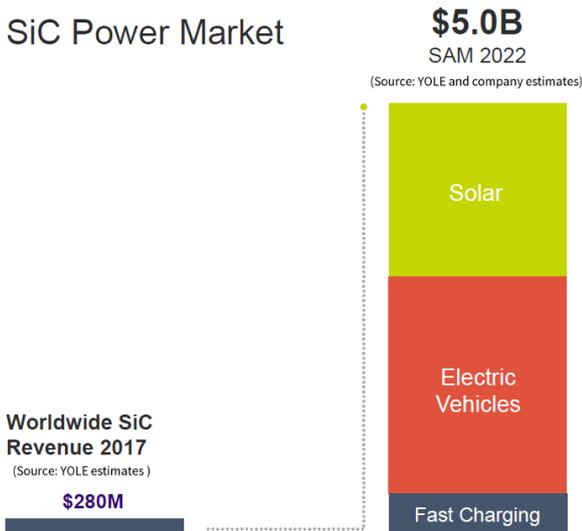


资料来源：天科合达招股书、天风证券研究所

2022 年，预计 SiC 下游市场预计高达 50 亿美元，其中新能源汽车及太阳能市场占比极高，电动车快充及 OBC 发展可期。

图 31：SiC 市场广阔

SiC Power Market



Drivers

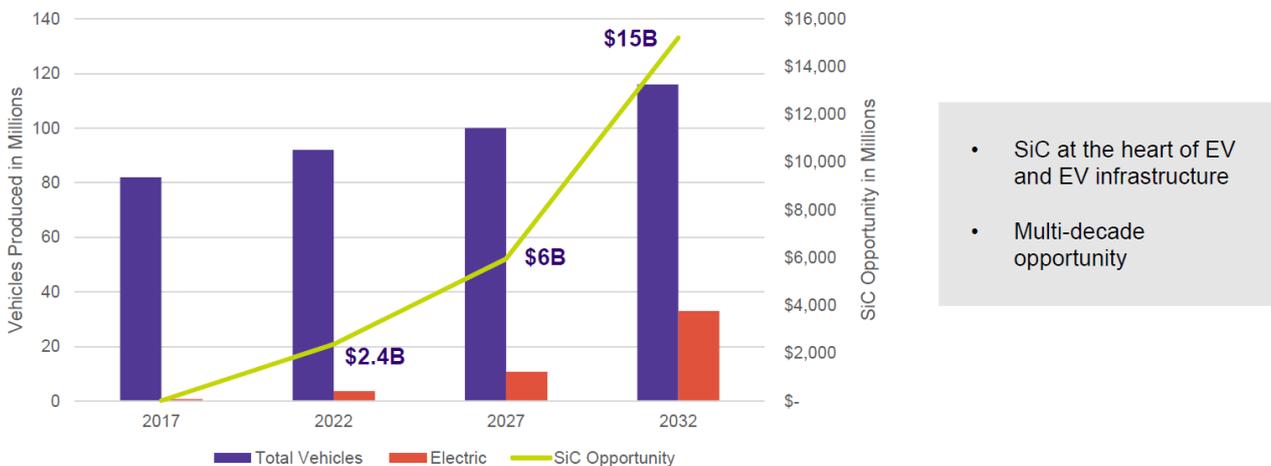
-  ≈30% of all vehicles made will be electric by 2032
-  Faster charging and long-term reliability
-  High efficiency and power density for commercial and industrial equipment
-  Legislation and social awareness for renewables

资料来源：Wolfspeed、天风证券研究所

3.1. SiC 在新能源汽车领域备受青睐，未来五年带动 60 亿美元市场

新能源汽车是 SiC 功率器件最大的应用领域，预计明年有 24 亿美元市场，2027 年达到 60 亿美元，2032 年超过 150 亿美元。在新能源汽车上，传统功率器件通常采用 IGBT 技术方案，但近年来随着材料科技的发展，碳化硅(SiC)正成为技术热点。根据意法半导体相关预测，2020 年约有 40% 以上的纯电动汽车采用 SiC 技术，而到 2025 年，SiC 的普及率将提高至 70%。

图 32：SiC 在新能源汽车领域 2027 年带动 60 亿美元市场



资料来源：Wolfspeed、天风证券研究所

SiC 已实现了车规级应用，在新能源汽车市场备受青睐。新能源汽车系统架构中涉及到功率半导体应用的组件包括：电机驱动系统、车载充电系统(OBC)、电源转换系统(车载 DC/DC)和非车载充电桩。目前，SiC 已实现了车规级应用，GaN 尚处于研发阶段。SiC 主要应用于大于 600V 的高压系统，如纯电动汽车的驱动电机逆变器。从目前来看，SiC 尚未完全取代 IGBT，因为这几类材料都有各自的技术优势。其中 SiC 凭借其在性能以及降低整车成本等方面的诸多优势，正越来越受到新能源汽车市场的青睐，特别是牵引逆变器中的应用越来越广，并且该趋势在未来几年会变得更加明显。

图 33：SiC MOSFET 在牵引逆变器方面的优势



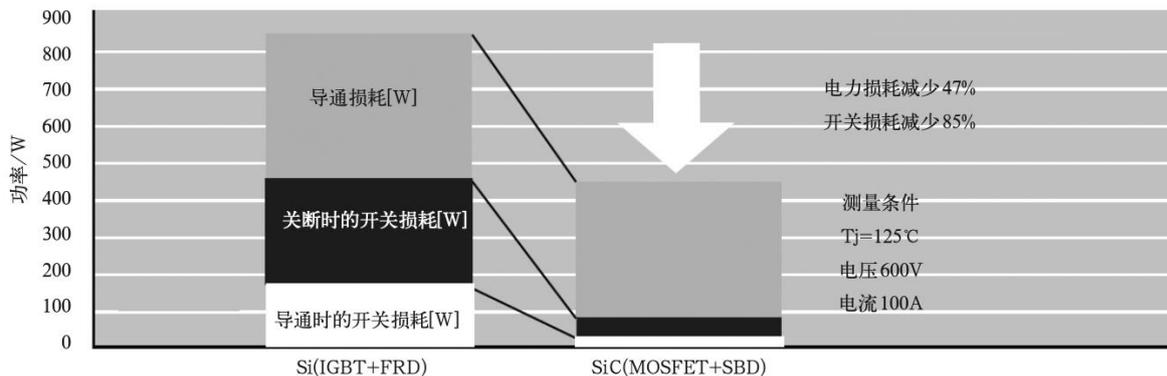
资料来源: 意法半导体:新能源汽车发展推动 SiC 和 GaN 应用, 作者朱敏慧、天风证券研究所

SiC 在新能源汽车领域的应用逐渐成为各大机构的技术布局热点。车用辅助设施、充电桩等的整个新能源汽车产业, 均会成为支撑碳化硅在中高电压领域高端应用的重要组成部分。

相比于传统硅基, SiC 在新能源汽车有较大的技术优势:

- 1) SiC 可有效提高能效, 并使得系统结构更为紧凑, 冷却设计也更为简化; 此外还有助于缩短充电时间、增加续航里程。如果比较一下传统的硅基器件和 SiC 技术, 前者的最大工作温度为 175 °C, 而后者可以达到 200 °C 以上。SiC 的这一技术特性使得器件能够耐受非常恶劣的工作环境, 并且耗散功率更低。
- 2) SiC 材料的高耐压、宽禁带和高导热率特性使得 SiC 更适合应用在高功率密度和高开关频率的场合。在低压、低开关频率下情况下, SiC MOSFET 相较于高性能 Si MOSFET, 如英飞凌 Cool-MOS 系列, 对效率的提升并不明显, 但随着电压等级、功率等级和开关频率的提高, SiC 优势逐渐显现。在高频场合 SiC MOS- FET 具有显著优势, 这使得高频开关电源设计成为可能。
- 3) SiC 技术如果应用于充电领域, 还能提高充电速度。高开关频率带来的磁性元件小型化和功率密度的提升将使采用 SiC MOSFET 的充电机在实际产品应用中更具优势。同时考虑到快充技术的发展和高压充电的应用, SiC MOSFET 将在今后的设计中发挥重要作用。

图 34: 碳化硅功率模块和硅 IGBT 功率模块电力损耗比较, SiC 显著降低



资料来源: 碳化硅功率器件与新能源汽车, 作者吴海雷、陈彤、天风证券研究所

我国新能源汽车将高速起量, SiC 迎来大发展时代。2021-2022 年得益于疫情后的车市反弹和财政补贴期限的延长, 新能源汽车销量将实现增长; 2023 年以后随着补贴退坡, 市场将回落到较为平稳的增长水平; 到 2025 年, 新能源汽车销量将达到约 542 万辆。

新能源汽车终端市场的强劲需求+SiC 优秀的物理性能, 使其成为 SiC 功率器件市场快速发展的首要驱动力。新能源汽车将新增大量与电池能源转换相关的功率半导体器件, 新能源汽车终端市场的强劲需求, 将带动整个功率半导体行业需求大幅度增长。与 Si (硅基的 IGBT 相比, SiC MOSFET 在产品尺寸、功率消耗方面大幅减小, 较大地提升了新能源汽车电池的电能转化效率。较大地提升了新能源汽车电池的电能转化效率。2018 年特斯拉的主逆变器开始采用 SiC MOSFET 方案, 随后采埃孚、博世等多家零部件制造商以及

雷诺等汽车生产商都宣布在其部分产品中采用 SiC MOSFET 方案，汽车领域成为 SiC 功率器件市场快速发展的首要驱动力。

3.2. SiC 在充电基础设施市场空间广阔，将在直流充电桩带动下实现突破

充电基础设施市场空间庞大，有望带动 SiC 应用实现突破。在缺少家用充电系统或超级充电桩时，电动汽车需要使用车载充电器来处理标准路边充电问题。充电时间取决于车载充电器的额定功率。目前电动汽车车载充电器额定功率在 3kW 到 9kW 之间。为缓解消费者对电动汽车续航里程的焦虑，加速电动汽车发展，各国都在建设公共充电桩。从 2019 年全球各国公共充电桩保有量统计来看，中国 51.6 万台，欧盟 25.5 万台，美国 7.2 万台，日本 3.2 万台，全球年复合增长率达 32%，中国充电产业规模位居全球之首，总量占比超过全球半数。进入 2020 年，我国公共充电桩保有量这一数据已达到 80.7 万台，较 2019 年增加超 56%，可见充电市场空间十分庞大。

图 35：SiC 在快充领域发展迅猛



资料来源：Wolfspeed、天风证券研究所

随着电动汽车保有量的上升，直流充电桩技术正发展迅猛，未来推广速度加快，有望带动 SiC 应用实现突破。现阶段，市场上主要由交流桩和直流桩两种充电桩类型构成。交流（慢充）桩是公共充电桩的主流。数据显示，2020 年我国 80.7 万台公共充电桩中，交流充电桩达到 49.8 万台，而直流充电桩为 30.9 万台。其原因在于，交流桩对电网改造要求低，可直接接入 220V 居民用电线路，技术比较成熟且建设成本比较低，但充电效率低，耗时更长，主要适用于家用领域。相比之下，直流充电桩充电速度较快，但技术复杂且成本高昂，因此早期推广速度不如交流充电桩。然而对于公共充电桩来说，提升充电效率缩短充电时间是用户的关注核心，因此直流充电桩技术的未来研发市场十分广阔。

碳化硅器件对电动汽车充电模块性能提升主要体现在三方面：

(1)提高频率，简化供电网络；

(2)降低损耗，减少温升。从电源模块收益上讲，如用普通硅功率器件，内部温度非常高，器件寿命较短，使用碳化硅器件后，低温升对延长充电桩使用寿命十分有益，其它部分所减少的投入可抵消碳化硅器件成本的提升，可使碳化硅充电桩寿命达 5~8 年以上，远高于硅基充电桩的使用寿命；

(3)缩小体积，提升效率，总成本低。基于对碳化硅器件在有线充电中的优势(高效率、低温升、高密度、低损耗)分析表明，其总体成本将较低。

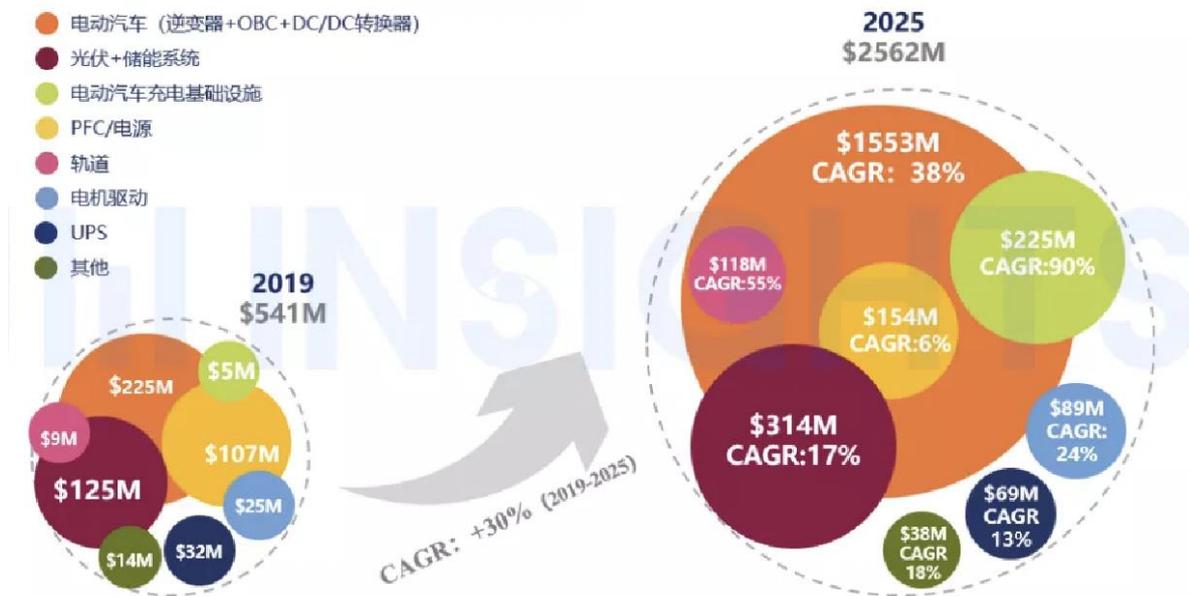
图 36：SiC 在光伏发电以及充电基础设施领域的优势



资料来源：WolfSpeed、天风证券研究所

SiC 在高功率充电桩领域极具竞争优势。充电桩电压随电动汽车电池组电压的增加而发生需求变化。在保时捷、现代及其他汽车制造商的推动下，电池电压从 400V 增加到 800V，充电桩电压也要从 500V 增加到 1000V，这也导致充电桩需要采用电压 1200V 的功率部件。而基于 SiC 技术的功率开关管和功率二极管，能提供比硅基 IGBT 尺寸更紧凑的解决方案，更高的效率、频率都能令高功率充电桩受益。Yole 也预测到，这一市场规模在 2019-2025 年间的 CAGR 预期将高达 90%，至 2025 年可增长至 2.25 亿美元。

图 37：2019-2025 年 SiC 在各应用领域的发展规模



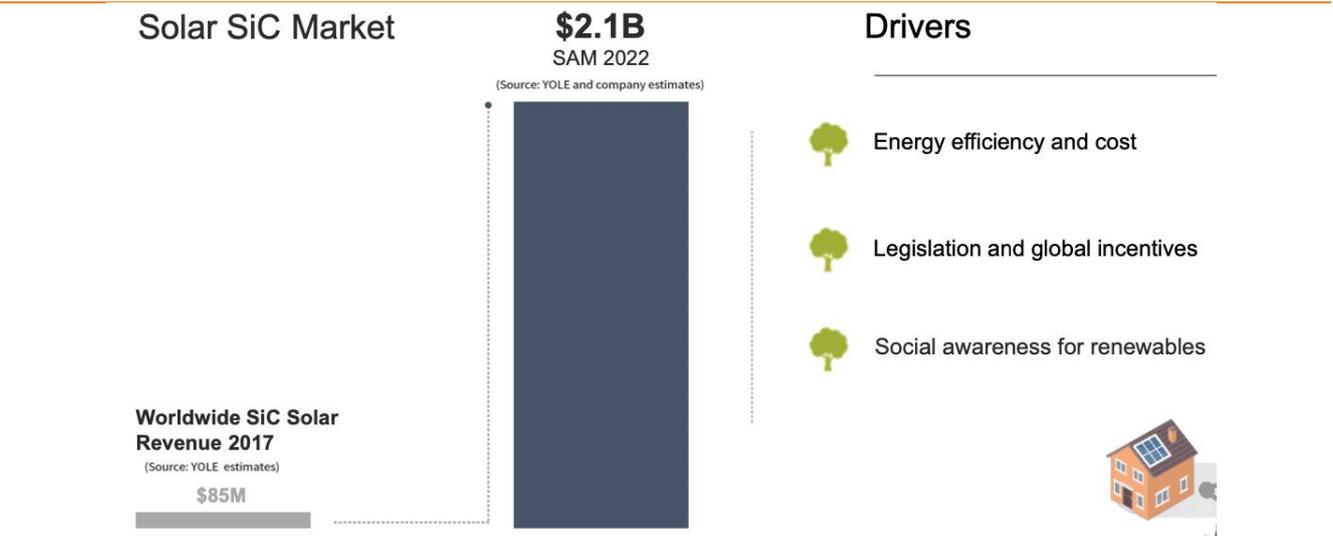
资料来源：Yole、集微咨询、天风证券研究所

3.3. SiC 在光伏发电领域优势显著，为系统的小型高效带来可能

可再生能源成为国家碳中和相关重点规划方向，SiC 为代表的相关技术和产品的研发市场广阔。太阳能和风能发电系统是利用光伏电池板光生伏打效应或风力带动发电机，直接将太阳能或风能转换成电能的发电系统，它的主要部件是光伏电池组件、风轮、储能电池、控制器，逆变器，电机驱动器等构成，其特点是可靠性高、使用寿命长、不污染环境、能独立发电或并网运行，受到各国政府和企业的重视，具有广阔的发展前景。2010 年，194 个国家组成的气候变化专门委员会发布《可再生能源报告》，该报告称，到 2050

年可再生能源将占到全球能源总量的 80%。

图 38：SiC 在光伏发电领域的发展空间广阔

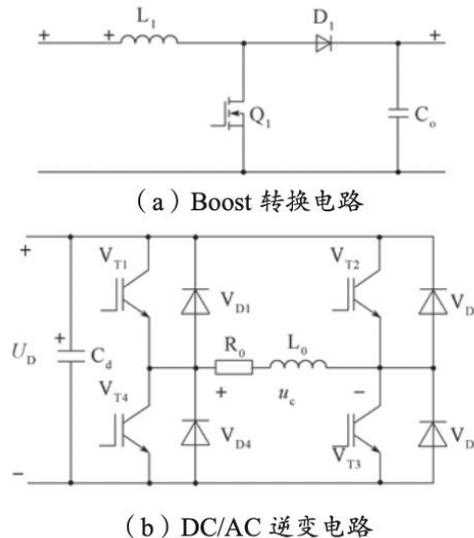


资料来源：Wolfspeed、天风证券研究所

高效、高功率密度、高可靠和低成本是光伏逆变器的未来发展趋势，SiC 功率器件能够突破 Si 材料对器件性能的限制。在光伏发电应用中，基于硅基器件的传统逆变器成本约占系统 10%左右，却是系统能量损耗的主要来源之一。使用碳化硅 MOSFET 或碳化硅 MOSFET 与碳化硅 SBD 结合的功率模块的光伏逆变器，转换效率可从 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，从而能够缩小系统体积、增加功率密度、延长器件使用寿命、降低生产成本。

并网光伏逆变器是光伏电站的核心功率转换设备，应用 SiC 功率器件对于提高并网光伏逆变器系统的效率及可靠性、提高光伏发电系统寿命及降低光伏发电系统的成本起到至关重要的作用。在光伏电站中，并网光伏逆变器损耗占系统损耗的 50% 以上，光伏电站的发电效率取决于光伏并网逆变器的效率。在光伏并网逆变器的 Boost 电路及逆变电路采用 SiC 功率器件后，其开关频率可以比 Si 器件的提高数倍，能量转换损耗也大大降低；并且在功率器件开关过程中，电压、电流的过冲振荡都非常小，可以简化相关的能量吸收电路以及软开关设计。因此，基于 SiC 功率器件的并网光伏逆变器的开关频率，可以从传统的基于 Si IGBT 功率模块的 20 kHz 左右提高到 30~80 kHz，大大减少了并网光伏逆变器输出电感量，从而减小整机体积并减轻重量，降低整机成本。

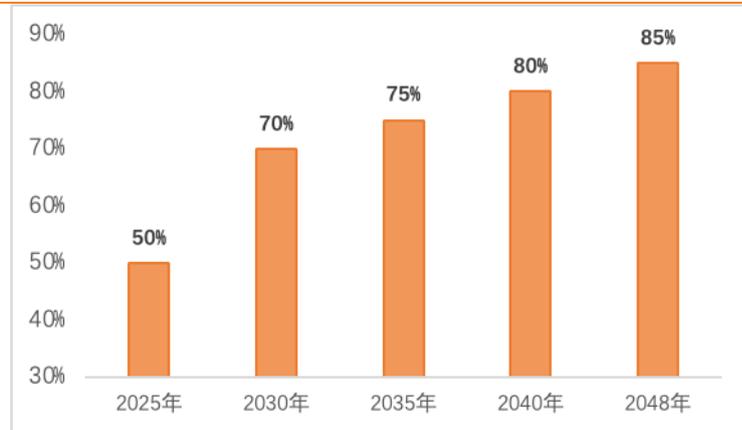
图 39：SiC 二极管在光伏并网逆变器中的应用



资料来源：SiC 功率器件在并网光伏逆变器中的应用研究，作者谢敬仁、洪小聪、黄树焜等、天风证券研究所

SiC 功率器件在光伏发电应用中，具有缩小系统体积、增加功率密度、延长器件使用寿命、降低生产成本等诸多优势，预计会逐渐取代硅基器件。碳化硅功率器件针对太阳能逆变器、不间断电源设备以及风能电机驱动器等大功率模组件的应用进行设计，以更小尺寸、更低物料成本以及更高的效率。新标准太阳能硅基逆变器典型的转换效率接近 96%，而采用碳化硅基逆变器的平均效率能提高到 97.5%，相当于减少 25%的逆变器损耗，碳化硅基逆变器在风力发电领域可提高转换效率 20%。

图 40：光伏逆变器中碳化硅功率器件占比预测



资料来源：CASA、天科合达科创板首次公开发行股票招股说明书(申报稿)、天风证券研究所

SiC 功率器件的市场接受程度不断增加，在光伏发电领域有光明的应用前景。目前，SiC 功率器件所使用的单晶体材料尺寸不断增大，质量大大提高，成本持续降低，使得 SiC 功率器件的电压、电流等级和可靠性提高，成本下降，市场接受程度不断增加。据 Yole 统计分析，目前的 SiC 功率器件 90% 以上是应用到低压(600~1 200 V)电力电子系统，主要包括电源系统、马达驱动以及并网光伏逆变器。根据 Omdia 数据，2020 年全球 SiC 和 GaN 功率半导体的销售收入达到 8.54 亿美元，在混合动力和电动汽车、电源和光伏逆变器等需求的推动下，未来十年保持两位数的年均复合增长率，到 2021 年市场预计超过 10 亿美元，并在 2029 年超过 50 亿美元。

4. 下游应用：光电+射频+电力电子起量，GaN 应用场景广阔

GaN 优势众多，在 5G 和 AIOT 推动的 100V 和 650V 集群中前景广阔，下游应用包括汽车，工业，电信和特定消费类产业。GaN 在功率应用方面比传统的硅基半导体材料具有显著的优势，这包括大大降低了寄生功率损耗，能在更高功率下实现更高能效等。GaN 技术还允许设计更紧凑的器件以实现更小的产品尺寸。此外，基于 GaN 的器件在较高的峰值温度下工作时，其切换速度比基于硅的器件快 10 倍。GaN 充电器可以在一个小型紧凑的装置中提供所需的电源，并同时给多个设备快速充电。同样，在电动汽车领域，GaN 的节能效果超过 20%，而在电信领域，5G 无线技术是“完美”的应用案例。随着更高的带宽和频率要求（这增加了 5G 智能手机的电池续航能力要求），耗电的 5G 设备可以利用更高效的 GaN 技术，该技术不仅可以更有效地散热，而且占用空间也更小。GaN 能够在更高频范围内工作，因此从基站到小型蜂窝应用都需要它，并且它已经开始涉足移动设备的设计。

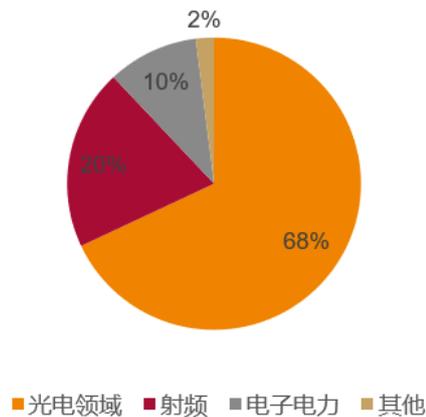
图 41：氮化镓(GaN)下游应用发展情况



资料来源：Yole、天风证券研究所

目前 GaN 材料的主要应用领域为电子电力领域（电源等）、光电子领域（LED 照明、激光等）和射频领域（通信基站等）。

图 42：2020 年氮化镓(GaN)下游应用领域结构



资料来源：前瞻产业研究院、天风证券研究所

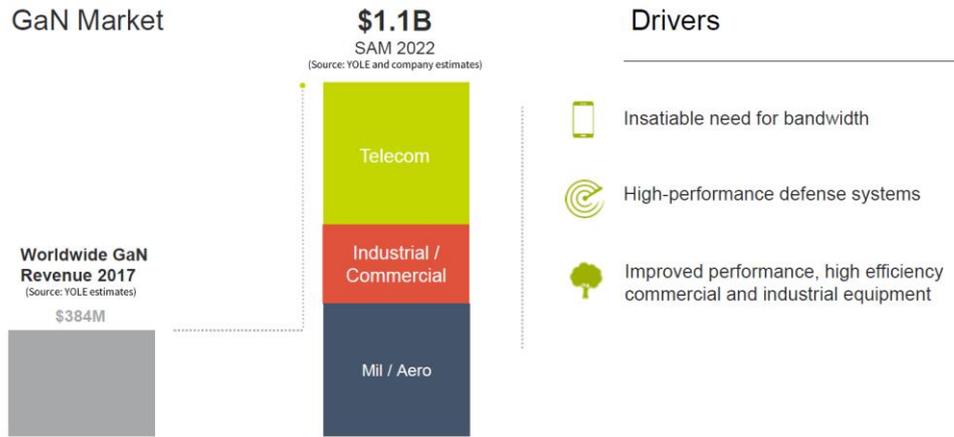
占比最高的是光电器件为 68%。宽禁带半导体尤其在短波长光电器件方面有很明显的优势。例如蓝光，现在所有的半导体照明已经采用了氮化镓。在紫光、紫外光甚至在黄光、绿光等方面都可以直接用氮化物半导体作为材料。

占比第二是射频器件，即微波毫米波器件，占比为 20%。GaN 相比于砷化镓和硅等半导体材料，在微波毫米波段的宽禁带半导体器件工作效率和输出功率明显高，适合做射频功率器件。民用射频器件主要用在移动通信方面，包括现在的 4G、5G 和未来的 6G 通信。例如，国内新装的 4G 和 5G 移动通信的基站几乎全用氮化镓器件。尤其是 5G 基站采用 MIMO 收发体制，每个基站 64 路收发，耗电量是 4G 基站的 3 倍以上，而且基站的密集度还要高于 4G 基站，不用高效率的氮化镓器件几乎是不可能的。未来 6G 通信频率更高、基站数更多，矛盾将更加突出。

占比第三是大功率电力电子器件，占比为 10%。快充装置、输变电系统、轨道交通、电动汽车和充电桩等都需要大功率、高效率的电力电子器件。无疑宽禁带半导体，尤其是 GaN 具有比其他半导体材料更为明显的优势。

4.1. GaN 下游市场 2022 超十亿美元，电力电子、射频、光电领域起量朝夕

图 43：Wolfspeed 预计 GaN 市场将在 2022 年达到 11 亿美元



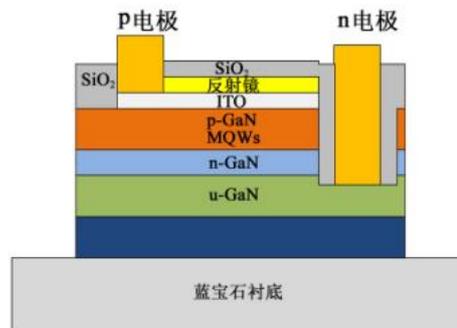
资料来源：Wolfspeed 业绩 PPT、Seeking Alpha、天风证券研究所

Wolfspeed 预计 GaN 市场将在 2022 年达到 11 亿美元，下游市场包括 5G 通信、消费电子、军工等等。

4.2. GaN 在光电子领域占据主要市场，是制造 Micro-LED 芯片的优选

GaN 是蓝、绿光 LED 不可替代的基础材料，也是制造 Micro-LED 芯片的优选。GaN 基发光二极管因具有高效、可靠、响应速度快、寿命长、功耗低等优点，不仅被广泛应用于全彩显示面板背光、交通信号灯、汽车照明、固态照明等领域，而且可以制造成由 COMS/TFT 控制集成的微尺寸 LED 阵列，用于小型投影仪、微显示器、可见光通信、医学研究等。近年来，研究者们对 GaN 基 LED 开展了大量的研究工作，有团队报道了实现 GaN 基 LED 颜色可调性的方法，比如结合荧光粉或者量子点等实现颜色转换，展示了其制备成彩色微显示器的应用前景。蓝光 GaN 基 LED 芯片结构可以分为两类：垂直芯片结构和倒装芯片结构，而研究人员根据芯片结构进行 p 和 n 电极总线设计，在制备有源矩阵和无源矩阵 Micro-LED 显示器上取得了不少成果。

图 44：微尺寸 LED 芯片的结构示意图

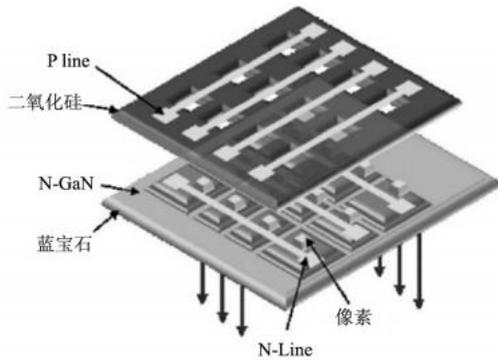


资料来源：《蓝光 GaN 基 Micro-LED 芯片制备及激光剥离工艺研究》，作者王仙翊等、天风证券研究所

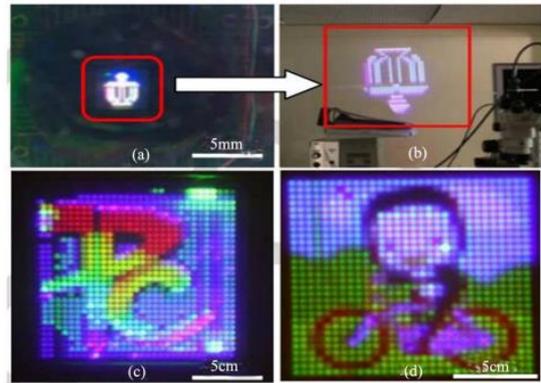
基于 GaN-on-Si 技术的 Micro-LED 有效提升显示品质，符合未来发展趋势。Micro-LED 被认为是消费电子领域下一个世代的显示技术。虽然其在芯片、巨量转移、全彩化等方面仍存在技术挑战,但其所展现出的高分辨、快响应、低能耗、长寿命等突出特点,能满足超小和超大显示的需求,如虚拟/增强显示和电子广告牌,展现出巨大的应用潜力。

图 45：Micro-LED 驱动阵列结构图

图 46：全彩 Micro-LED 投影仪



资料来源:《蓝光 GaN 基 Micro-LED 芯片制备及激光剥离工艺研究》,作者王仙翊等、天风证券研究所



资料来源:《蓝光 GaN 基 Micro-LED 芯片制备及激光剥离工艺研究》,作者王仙翊等、天风证券研究所

在物联网和 5G 新时代,光电子市场作为 GaN 的主要应用方向,具有较大潜力。小间距产品在我国已经发展了十年,产品性价比越来越高的同时,技术也日臻成熟,使用场景和市场体量亦同步增长。Mini/Micro LED 芯片不仅可以作为直显产品应用于商用显示领域,还可以作为背光源应用于电视、平板电脑、笔记本电脑和车载屏幕等终端显示产品中,市场前景巨大。Trend Force 集邦咨询的报告显示,到 2024 年,全球 Mini/Micro LED 市场规模将达 42 亿美元。

4.3. GaN 在电力电子市场深受认可,消费快充+汽车电子增长空间广阔

GaN 在电力电子市场深受认可,增长空间广阔。由于 GaN 器件相比于 SiC 器件拥有更高的工作频率、更低的导通电阻和更低的最低阈值电压,使用 GaN 器件制作的功率器件将拥有更强的转换效率和更小的器件体积,所以 GaN 电力电子器件更适合对高频率、小体积、成本敏感、功率要求低的电源领域。未来 GaN 在电力电子市场的增长空间主要集中在消费快充和汽车电子。

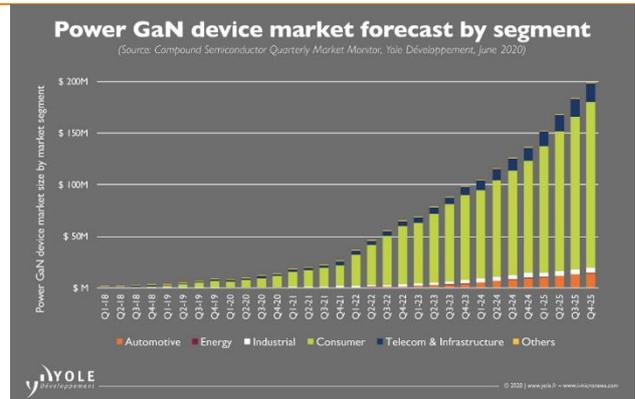
GaN 电源市场将成为 GaN 在电力电子领域最强的推动力,Yole 预测市场规模将在未来五年超过 15 亿美元。智能手机的屏幕越来越大,带来了对手机续航需求的水涨船高,这意味着电池容量将会进一步增加。传统充电头为匹配这种趋势,体积不得不相应膨胀,造成消费者体验的下降。而采用 GaN 的充电器体积小、重量轻、转换效率高、发热低、安全性强,较普通充电器有显著优势,因此势必受到下一代充电器市场的欢迎。

图 47: 努比亚 30W GaN 充电器(左)对比苹果 30W PD 充电器



资料来源:充电头网、天风证券研究所

图 48: GaN 电源市场增长预测(按季度)



资料来源:Yole Development、天风证券研究所

GaN 具有推动无线感应高频充电方案发展的潜力,未来将更多地配备在高端电动车上。目前设备中的感应充电器主要采用的是传统的磁感线圈技术,工作频率在 100 至 300KHz,并使用 E、F 及 S 类放大器的转换器拓扑。其缺点是工作频率很低,充电速度较慢,效率会伴随着距离增加而急剧下降,因此无线充电系统需要一个更高的频率标准。然而在更

高的频率下，传统的 Si 基 MOSFET 的开关性能已接近它的极限，因此可以在高频环境下工作的 GaN 电力电子器件在这一领域具有较大的应用潜力。GaN 场效应晶体管具备低电容、零反向恢复及低导通阻抗等优势，因此可确保低功耗，从而提高放大器的效率及确保低电磁干扰，能够为这种无线充电方案解决关键的放大器设计问题。目前苹果、华为、三星等移动设备厂商在研发高频无线感应充电产品来提升移动产品的无线充电性能。新能源汽车市场上，宝马等中高端汽车厂商早在 2018 年就开始尝试在其新能源汽车上配备集成无线感应充电系统，但由于目前的充电效率有待提升，且造价也相对较高，因此无线感应充电在未来可能更多地配备在高端电动车上。

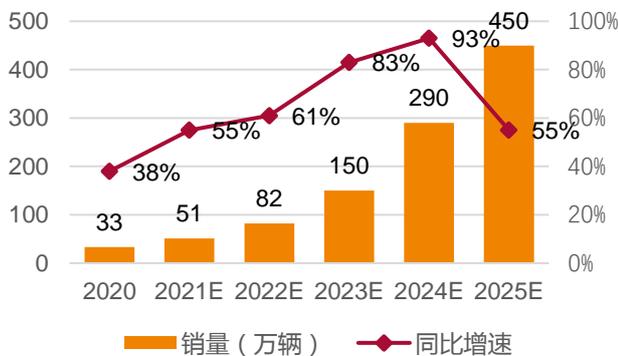
图 49：宝马汽车尝试无线充电



资料来源：BMW、集微网、天风证券研究所

车载方面，GaN 电力电子器件能够有效减少逆变器尺寸、重量和系统成，因此在 48V 的混合动力汽车领域将拥有较强的竞争力。GaN 可用于 48V DC/DC 以及 OBC (On board charger 车载充电机)。高工产研预计 48V 轻混系统车型将在中国迎来高速发展期，在 2020 年至 2025 年的五年时间里，实现年均增长率 69.4%，年销售量从 33 万辆增长到 450 万辆。同时 GaN 电力电子器件也可用于车载充电器 (OBC)，如以色列 VisiC 公司设计的 6.7 kW GaN 车载充电器实现了更低的功率损耗，更小的体积和更轻的重量，帮助电动汽车精简冷却系统、缩短充电时间，缩小尺寸并降低成本。

图 50：2020-2025 年中国 48V 轻混系统车型销量及预测 (万辆)



资料来源：高工产研、天风证券研究所

图 51：VisiC 车载充电器



资料来源：VisiC、与非网、天风证券研究所

4.4. GaN 在射频领域市场潜能可观，为 5G 时代功率放大器核心

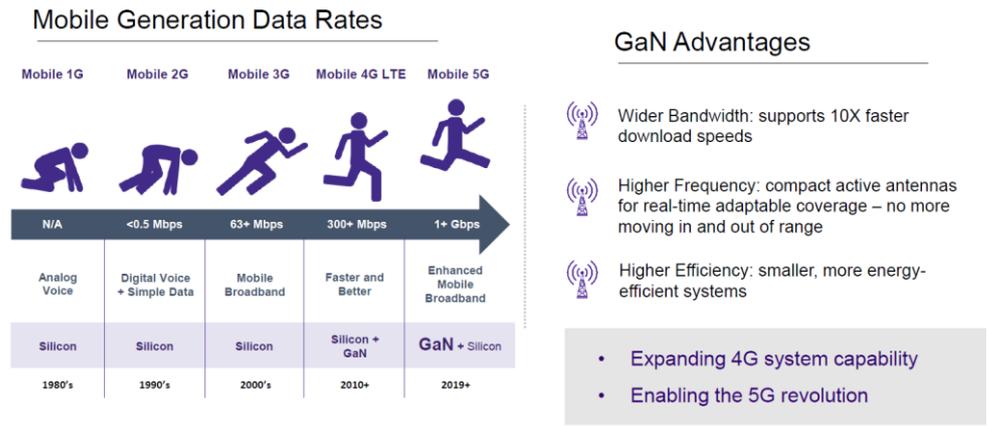
在射频通信领域，GaN 是未来最具成长潜能的半导体材料之一。与 GaAs、InP 相比，

GaN 器件输出功率更大，与 Si LDMOS 和 SiC 器件相比，GaN 的射频特性更好，GaN 射频器件已成为 5G 时代功率放大器主要技术。

如下图可见，GaN 的主要优点包括：

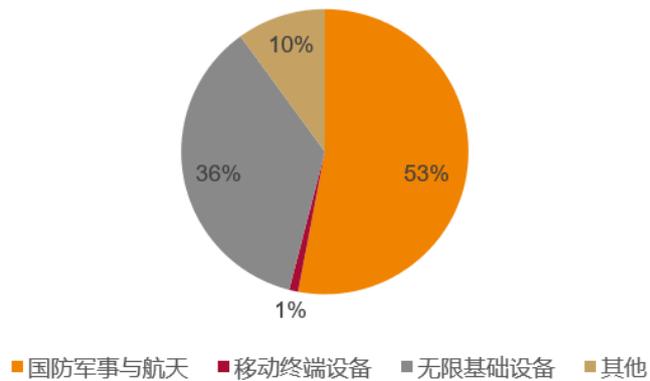
- 1) 更宽的带宽：支持速度快 10 倍下载速度
- 2) 更高频率：活动天线基于更高的频率可以做到实时动态覆盖
- 3) 更高的效率：更小，更高的能量系统

图 52：GaN 使 1) 4G 速度更快+2) 更快的从 4G-5G 的改变



资料来源：Wolfspeed 业绩 PPT、Seeking Alpha、天风证券研究所

图 53：2020 年我国 GaN 射频器件下游应用领域



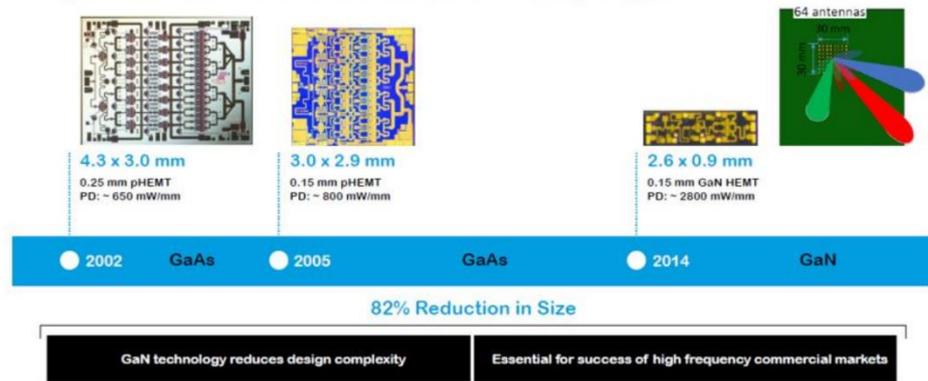
资料来源：第三代半导体产业技术创新战略联盟、天风证券研究所

GaN 赋能 5G 单片前端解决方案，5G 的蓬勃发展将会促进 GaN 应用的进一步推广。相比于 4G，5G 的通信频段往高频波段迁移。目前我国 4G 网络通信频段以 2.6GHz 为主，2017 年工信部发布了 5G 系统在 3-5GHz 频段（中频段）内的频率使用规划，后期会逐步增补 6GHz 以上的高频段作为容量覆盖。GaN 非常适合毫米波领域所需的高频和宽带宽，可满足性能和小尺寸要求，实现赋能 5G 单片前端。

图 54：氮化镓(GaN)赋能 5G 单片前端解决方案

GaN Enabling Monolithic Frontend Solution for 5G

Higher PD → Small size → Miniaturization & Easy Integration



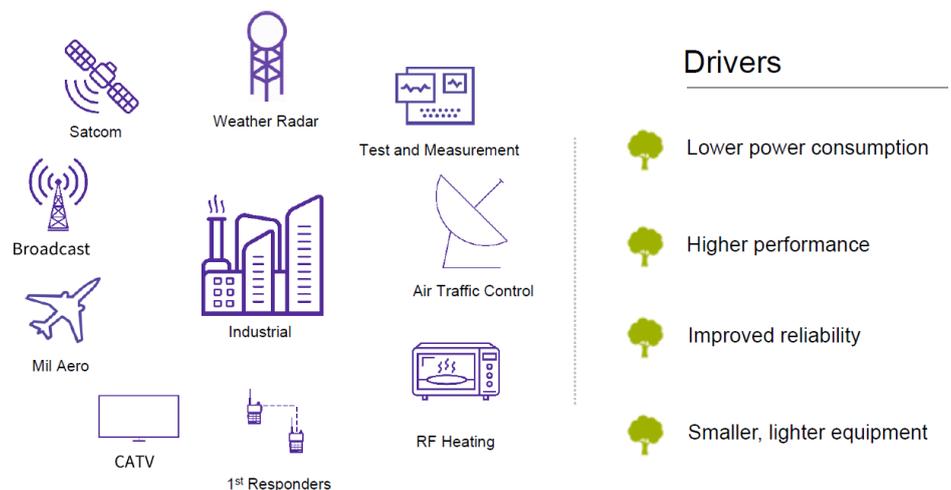
资料来源：Qorvo 半导体公众号、天风证券研究所

5G 基站建设放量为 GaN 市场带来增长空间。GaN 在高频下具有较高的功率输出和较小的面积，因此比传统半导体材料更加合适运用在 5G 基站端的功率放大器上。在 5G 毫米波的时代，高频段让传统 PA 的 LDMOS 工艺捉襟见肘。天生的性能缺陷让其在未来的高频应用中优势尽失，基站亟需高功率密度、高运行电压、高频率和高带宽的新工艺产品。于是，拥有材料性能优势的氮化镓就成为业界追逐的新增长点。根据前瞻产业研究院关于 5G 基站建设预测数据，未来 5 年中国 5G 基站建设将迎来高峰，每年投资金额为 3000 亿—5000 亿元，5 年总投资超过 2 万亿元。

除 5G 外，GaN 在雷达和电子战系统中具有优势，军工市场是 GaN 射频器件市场的主要推动力。据 StrategyAnalytics 的统计，国防和航天应用占了射频氮化镓总市场规模的 40%，雷达和电子战系统是射频氮化镓的最大应用市场。GaN 固态功率电子器件的迅速发展大幅度提高了军事雷达发射机的输出功率、功率密度，工作频带宽度和环境适应性以及可靠性，并且使得宽带大功率单片集成电路及相应组件模块的最终实现成为可能。GaN 器件的宽禁带在实现太阳盲区的紫外探测方面具有明显的优势。GaN 激光器的出现为精确激光引信制导，高密度信息存储提供了解决方法。GaN 当前已在关键的国防细分市场上展现出优势，例如雷神公司旗下的爱国者导弹防御系统采用了最新的基于氮化镓技术的天线系统，氮化镓工艺制造的功率放大器也已经用于点对点通信的军用手持式无线电中。国防应用需求的稳定性也将为 GaN 市场增长保驾护航。

图 55：GaN 射频处 5G 以外市场同样将迎来高增长，CAGR 高达 25%

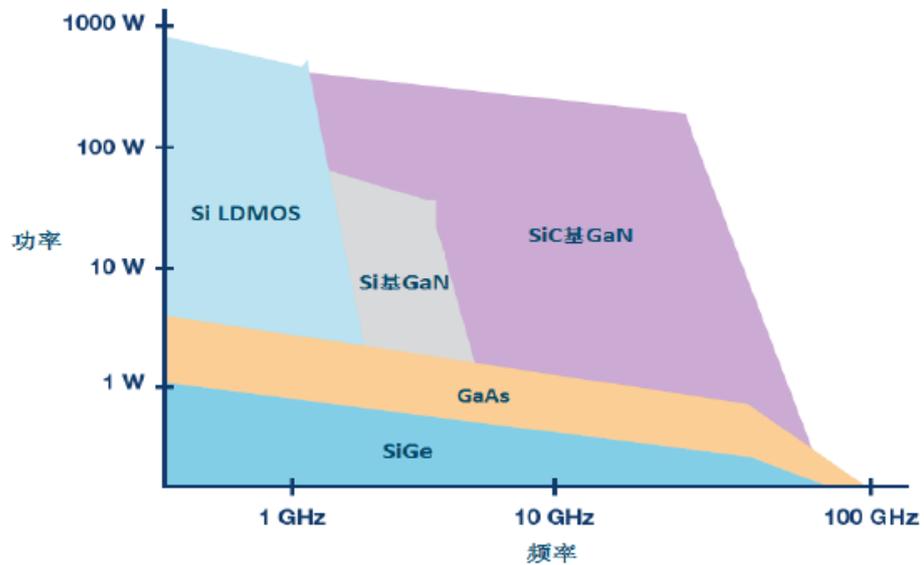
Non-Telecom RF Market CAGR 25% Through 2022



资料来源：Wolfspeed 业绩 PPT、Seeking Alpha、天风证券研究所

Si 基 GaN 和 SiC 基 GaN 射频器件已逐步成为 5G 功率放大器尤其宏基站功放大器的主流技术路线。以碳化硅为衬底的氮化镓射频器件同时具备了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，突破了砷化镓和硅基 LDMOS 器件的固有缺陷，能够满足 5G 通讯对高频性能和高功率处理能力的要求。

图 56：不同材料微波射频器件的应用范围对比

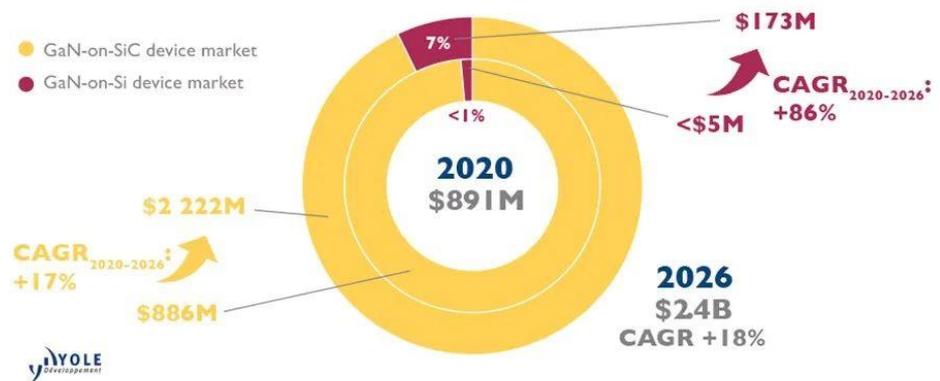


资料来源：天科合达招股书、天风证券研究所

4.5. GaN 异质外延方面产品线持续扩充完善，Si 基 GaN、SiC 基 GaN 前景广阔

GaN 异质外延方面产品线持续扩充完善，各类技术并行发展。GaN 外延主要有两种衬底技术，分别是 Si 基 GaN 和 SiC 基 GaN。近年来各技术路线均有较大进展，关键驱动因素是技术稳定性和成本。

图 57：Si 基 GaN 和 SiC 基 GaN 和硅基氮化镓技术市场预测



资料来源：TechSugar 公众号、Yole Development、天风证券研究所

由于具有价格低、生长速度快以及对 CMOS 工艺兼容等优势，Si 基 GaN 有望在电力电子应用方面成为市场主流，但性能略逊于 SiC 基 GaN。Si 基 GaN 生长速度较快，也较容易扩展到 8 英寸晶圆。目前国内外主流尺寸为 6 英寸，代表企业有 IQE、EpiGaN 等，国内英诺赛科率先实现 8 英寸 Si 基 GaN 外延材料及晶圆制造大规模量产，外延材料的均匀

性小于 1%。另外，硅基技术将对 CMOS 工艺兼容，使 GaN 器件与 CMOS 工艺器件集成在一块芯片上。这些使得 Si 基 GaN 成为市场主流，而且主要应用于电力电子领域，未来有望大量导入 5G 基站的功率放大器 (PA)。

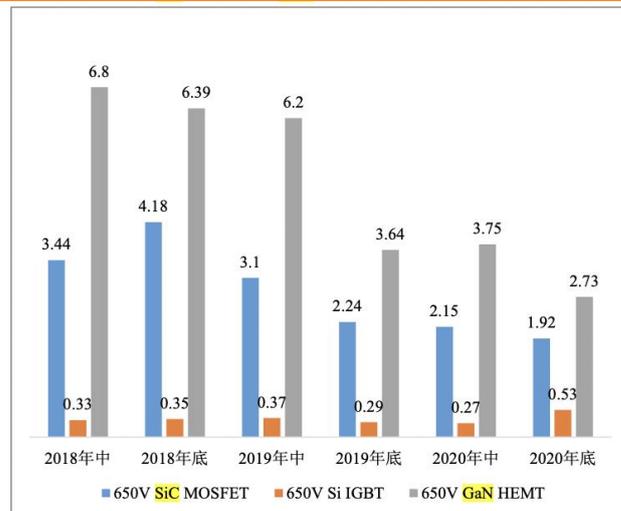
硅基氮化镓商用仍在起步阶段，有望提供经济高效和可扩展的解决方案，Yole Development 市场规模将在 2026 年达到 1.73 亿美元，复合年增长率达到 86%。

尽管截至 2021 年第二季度其市场容量很小，但硅基氮化镓 PA（功率放大器）凭借大带宽和小尺寸吸引了智能手机 OEM。随着创新厂商的重大技术进步，一些低于 6GHz 的 5G 手机型号很可能很快采用，无疑将是硅基氮化镓的一个里程碑。硅基氮化镓器件市场预计将在 2026 年达到 1.73 亿美元，复合年增长率达到 86%。

SiC 基 GaN 器件是射频市场主流产品和技术解决方案，性能相对较好，但价格高于 Si 基 GaN。 SiC 基 GaN 结合了 SiC 优异的导热性和 GaN 的高功率密度和低损耗的能力，此基板上的器件可以在高电压和高漏极电流下运行，结温将随射频功率而缓慢升高，因此射频性能更好，是射频应用的合适材料。在相同的耗散条件下，SiC 器件的可靠性和使用寿命更好。但受限于 SiC 衬底，目前国内外 SiC 基 GaN 外延片主流尺寸为 4 英寸，并逐步向 6 英寸发展，8 英寸还没有推广。在过去几年中，SiC 基 GaN 晶圆的成本已大大降低。

在 RF GaN 行业，Si 基 GaN 和 SiC 基 GaN 技术已成为 RF 功率应用方面 LDMOS 和 GaAs 的有力竞争者。除了军用雷达领域的深度渗透，它还是华为、诺基亚、三星等电信原始设备制造商 (OEM) 5G 大规模 MIMO 基础设施的首选。由于高带宽和高效率，Si 基 GaN 和 SiC 基 GaN 器件在 5G 市场上不断从 LDMOS 中抢占份额，并开始受益于向 6 英寸晶圆平台的转移。在这种情况下，Yole Development 预计 Si 基 GaN 和 SiC 基 GaN 器件市场将在 2026 年达到 22 亿美元以上，复合年增长率将达到 17%。

图 58：650V SiC MOSFET、GaN HEMT 和 Si IGBT 价格比较(元/A)



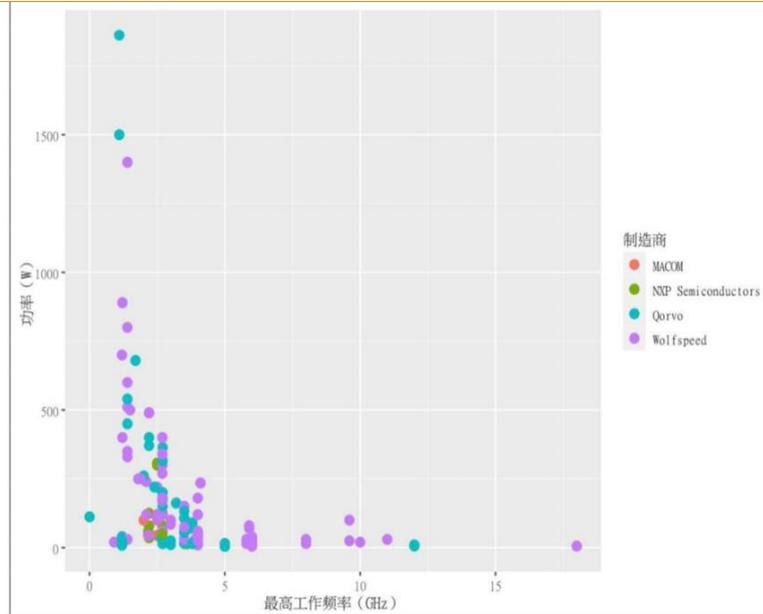
资料来源：CASA 第三代半导体产业发展报告、天风证券研究所

在 GaN 射频应用方面，对于 SiC 基 GaN 工艺，研发能力逐渐提升，技术逐渐成熟。4 英寸产线代表企业为日本住友电工和台湾稳懋，在 6GHz 以内各频段都有标准产品，输出功率 40W-400W。6 英寸产线主要集中在美国，代表企业 Cree | Wolfspeed、Qorvo 和 NXP，在 0.5GHz-6GHz 工作频段内输出功率为 10W-1400W。其中，Cree 拥有最强的实力，在射频应用的 GaN HEMT 专利竞争中，尤其在 SiC 基 GaN 技术方面处于领先地位，远远领先于其主要竞争对手住友电工和富士通。英特尔和 MACOM 是目前最活跃的射频 GaN 专利申请者，主要聚焦在 Si 基 GaN 技术领域。国内主流尺寸为 4 英寸，工作频段 DC-6GHz，输出功率 10-700W，代表企业主要有中电科 13 所、中电科 55 所、苏州能讯、三安光电等。

Si 基 GaN 射频应用属于非主流路线，但其成本优势在未来有较大竞争力，因此也有不少企业在布局。国内外 Si 基 GaN 外延片主流尺寸为 4 英寸和 6 英寸，并逐步向 8 英寸发

展。国际代表企业为美国 MACOM 公司，有 4、6、8 英寸 Si 基射频 GaN 器件工艺，其 0.5 μ m 工艺提供 6GHz 及以下频率分立器件与放大器模块，5W 6GHz 的分立器件效率>50%。国内代表企业有四川益丰(OMMIC)，其 Si 基工艺线为 6 英寸线，D01GH 工艺器件栅长 100nm，功率达 3.3W/mm，截止频率达 110/160GHz(ft/fmax)。

图 59：国际上商业化的 GaN 射频产品性能



资料来源：Mouser, CASA、天风证券研究所

GaN 光电子应用方面，Mini/Micro-LED 用 Si 基 GaN 外延片实现 8 英寸材料产业化，代表企业有晶湛半导体、晶能光电等。

表 6：GaN 异质外延产品主流尺寸及国内外代表企业

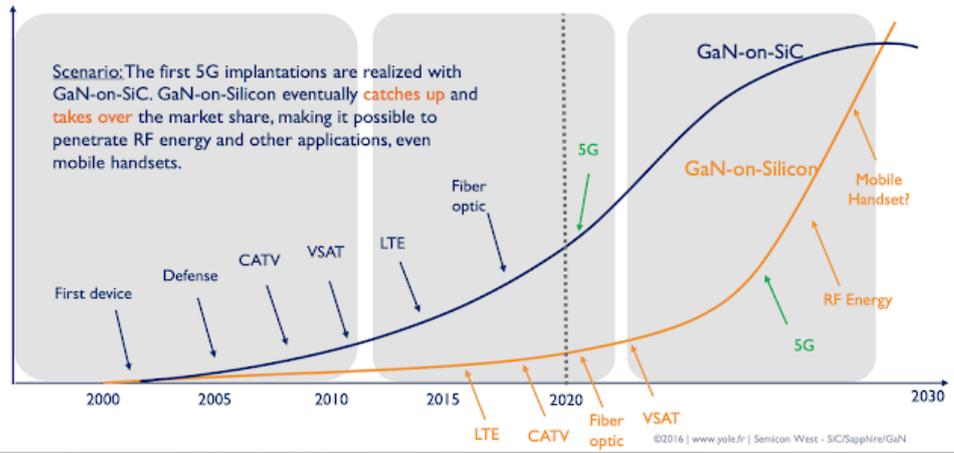
器件	主流尺寸	国外代表企业	国内代表企业
Si 基 GaN	4 英寸	OMMIC (被四川益丰收购) 和 MACOM、IQE、EpiGaN 等	英诺赛科、晶湛半导体、晶能光电等
	6 英寸		
	8 英寸		
SiC 基 GaN	4 英寸	住友电工	中电科 13 所、55 所、三安光电、苏州能讯等
	6 英寸	Cree Wolfspeed、Qorvo、NXP	

资料来源：CASA、天风证券研究所

多家晶圆代工厂和 IDM 均将生产 Si 基 GaN 和 SiC 基 GaN 视为重点发展对象。Si 基 GaN 方面，台积电已经开始提供 6 英寸的晶圆代工服务；嘉晶 6 英寸 Si 基 GaN 外延片，已进入国际 IDM 厂认证阶段，并争取新订单中；汉磊科则已量产 6 英寸 Si 基 GaN 产品，瞄准车用需求。SiC 基 GaN 方面，化合物半导体晶圆代工厂稳懋已开始提供 6 英寸的代工服务，应用瞄准高功率 PA 及天线；而环宇也拥有 4 英寸 SiC 基 GaN 高功率 PA 产能，且 6 英寸 SiC 基 GaN 晶圆代工产能已通过认证。

IDM 方面，国际龙头企业进一步扩大自身优势。2018 年，Cree 收购了英飞凌的 RF 部门，该部门主要设计制造 LDMOS 放大器，同时拥有 GaN-SiC/Si 器件生产能力。收购完成后，Cree 成为了全球最大的 GaN 射频器件供应商。Cree 除为自家生产 GaN 射频器件外，还向外提供 GaN 代工生产服务。而 Qorvo 在 GaAs 的基础上，进一步发展了 SiC 基 GaN；MACOM 则在早期看好 Si 基 GaN 工艺，近年也开始发展 SiC 基 GaN。

图 60：GaN-on-XX 技术应用领域 vs 元件出货量



资料来源：美股探路客、天风证券研究所

5. 产业竞争格局：美日欧三足鼎立，我国渐行渐近

5.1. 海外市场持续渗透，美日欧三足鼎立

5.1.1. 全球展开全面战略部署，各国抢占第三代半导体战略制高点

市场需求增强，龙头企业不断扩大产能，抢占市场份额。2019年，Cree 宣布投资 10 亿美元扩大 SiC 产能，建造一座采用最先进技术的自动化 200mm SiC 生产工厂和一座材料超级工厂，实现 SiC 晶圆制造产能和 SiC 材料生产的 30 倍增长，以满足 2024 年之前的预期市场增长。近日，科锐首席执行官也再次确认，其位于纽约州马西镇的碳化硅（SiC）晶圆厂有望在 2022 年初投产，该厂于 2019 年开始建设，为“世界上最大”的碳化硅晶圆厂，将聚焦车规级产品，是科锐 10 亿美元扩大碳化硅产能计划的一部分，也是该公司有史以来最大手笔的投资。同时，科锐宣布与意法半导体（ST）扩大现有的多年长期碳化硅（SiC）晶圆供应协议。根据新的供应协议，科锐在未来几年将向意法半导体提供 150 毫米碳化硅裸片和外延片。

表 7：国际主要企业 SiC 布局情况

企业	布局情况
Cree Wolfspeed	1. 出售 LED 照明业务，专注 SiC 电力电子和 GaN 射频 2. 收购了 Infineon 射频(RF)功率业务，巩固射频市场优势地位 3. 北卡罗来纳州总部建设超级材料工厂(8 英寸 SiC 衬底)，在纽约州建设 8 英寸 SiC 电力电子和 GaN 射频产线 4. 2024 年前，共投资 10 亿美元，产能扩充 30 倍
ROHM	1. 2009 年收购 SiCrystal，上游延伸至 SiC 衬底 2. 2018 年筑后工厂新建 6 英寸 SiC 晶圆产线，2020 年投产，产能约 15 万片/年 3. 2024 财年前进行约 600 亿日元投资，产能扩充 16 倍。2025 年在 SiC 功率半导体市场能获得 30% 左右的市场份额
II-VI	1. 2018 年，SiC 外延产能扩充为原来 4 倍 2. 2020 年，计划将 6 英寸 SiC 衬底产能扩大 5-10 倍 3. 2020 年，计划建立 6 英寸 SiC 垂直集成平台:与通用电气合作，获得 SiC 器件和模块制造技术;收购 Ascatron AB 和 INNOViON Corporation 4. 建立射频 GaN-on-SiC 技术平台
ST	1. 2019 年收购 Norstel，上游延伸至 SiC 衬底 2. 意大利卡塔尼亚工厂布局 6 英寸 SiC 晶圆产线，同时新建 8 英寸 SiC 晶圆产线 3. 新加坡工厂进行设备升级改造，建设 8 英寸 SiC 晶圆产线 4. 收购法国 SOMOS，推进 GaN-on-Si 射频产线

Infineon	1.在建 8 英寸 GaN-on-Si 生产线 2.拥有 15 年 SiC 生产和研发经验；6 英寸 SiC 晶圆量产线，积累 8 英寸晶圆量产技术 3.投资 3500 万欧元做碳化硅的技术研发
三菱电机	1.SiC 晶圆产线从 4 英寸过渡到 6 英寸，并完成了第二代生产线部署 2.日本广岛的功率半导体晶圆厂将于 2021 年正式启用 3.在变频家电和轨道牵引领域市场占有率较高
X-Fab	1.拉伯克工厂 SiC 芯片制造产能翻了一番，达到 26000 片/月 2.上游延伸，增加外延服务能力
住友	1.在山梨事业所扩大 4 英寸 GaN-on-SiC 产线，2020 年产能较 2017 年扩大 10 倍 2.华为 GaN 射频器件/模块主要供应商
NXP	美国亚利桑那州钱德勒(Chandler)的 6 英寸射频氮化镓(GaN)晶圆厂投产
SK Siltron	收购杜邦(DuPont)碳化硅晶圆 (SiC) 事业部

资料来源：CASA 第三代半导体产业发展报告、天风证券研究所

美日欧均推进第三代半导体技术的研发项目，抢占技术制高点。2014 年初，美国宣布成立“下一代功率电子技术国家制造业创新中心”，期望通过加强第三代半导体技术的研发和产业化，使美国占领下一代功率电子产业这个正出现的规模最大、发展最快的新兴市场，并为美国创造出一大批高收入就业岗位。

日本建立了“下一代功率半导体封装技术开发联盟”，由大阪大学牵头，协同罗姆、三菱电机、松下电器等 18 家从事 SiC 和 GaN 材料、器件以及应用技术开发及产业化的知名企业、大学和研究中心，共同开发适应 SiC 和 GaN 等下一代功率半导体特点的先进封装技术。

欧洲启动了产学研项目“LAST POWER”，由意法半导体公司牵头，协同来自意大利、德国等六个欧洲国家的私营企业、大学和公共研究中心，联合攻关 SiC 和 GaN 的关键技术。项目通过研发高性价比且高可靠性的 SiC 和 GaN 功率电子技术，使欧洲跻身于世界高效功率芯片研究与商用的最前沿。

图 61：GaN 领域海外重点机构技术布局（专利数量）（截至 2019 年 4 月）

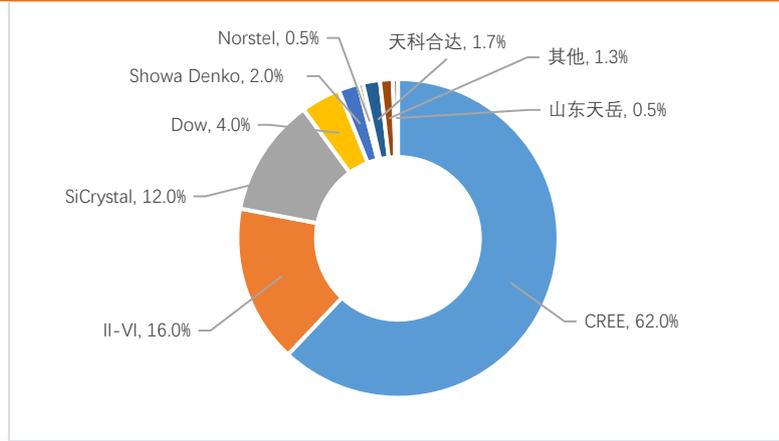
		松下	住友	三星	LG	三菱	中科院	东芝	夏普	丰田	富士通	索尼	日立	日亚	罗姆	加州大学	科锐
电子器件	发光二极管	570	410	600	819	305	235	358	324	375	37	206	162	236	159	127	119
	场效应晶体管	176	267	108	79	129	144	245	161	138	318	31	78	18	66	64	117
	激光二极管	438	229	128	84	135	57	182	274	92	31	261	95	178	92	61	25
	光电设备	131	83	178	358	67	56	99	88	66	9	33	21	34	35	60	25
加工工艺	电极	277	303	359	330	246	285	331	173	181	267	63	61	49	100	42	84
	介电层	173	297	292	254	187	248	189	174	143	188	44	82	45	70	57	53
	沉积方法	263	405	340	288	180	230	210	204	242	209	105	115	77	87	98	47
	外延生长	98	288	107	66	82	184	44	80	88	32	51	104	33	18	80	56
	掺杂	42	76	114	127	47	93	69	32	76	38	13	31	35	35	37	47
	导电层	75	63	114	156	73	99	64	44	45	64	17	23	12	23	16	30
	刻蚀工艺	62	70	93	77	44	131	48	43	74	59	16	15	19	27	21	13
	退火	35	61	57	24	70	69	25	25	39	29	12	28	13	6	19	25
	封装	48	48	60	129	102	22	48	35	25	18	18	11	14	26	14	35
	欧姆接触	44	36	48	34	14	72	30	28	18	30	4	11	9	9	3	40
其他	氮化镓相关化合物	598	812	625	647	452	534	474	434	423	313	261	218	205	199	162	185
	半导体结构	34	27	80	123	28	71	64	74	26	7	10	11	10	19	43	14
	车辆	23	47	40	67	84	58	24	6	29	52	4	16	10	30	7	17

资料来源：《聚焦产业关键技术，把握第三代半导体发展机遇》，赵婉雨、天风证券研究所

5.1.2. SiC 美国优势显著，欧洲产业链完备，日本在设备和模块技术方面领先

目前，碳化硅晶片产业格局呈现美国全球独大的特点。以导电型产品为例，2018 年美国占有全球碳化硅晶片产量的 70% 以上，仅 CREE 公司就占据一半以上市场份额，剩余份额大部分被日本和欧洲的其他碳化硅企业占据。

图 62：2018 年导电型碳化硅晶片厂商市场占有率



资料来源：Yole Development、天科合达科创板首次公开发行股票招股说明书(申报稿)、天风证券研究所

SiC 电力电子方面，美国在 SiC 领域全球独大，并且占有全球 SiC 70%~80% 的产量。欧洲拥有完整的 SiC 衬底、外延、器件、应用产业链，日本是设备和模块开发方面的绝对领先者。

图 63：碳化硅全球市场三足鼎立



资料来源：天科合达招股书、天风证券研究所

5.1.3. GaN 国际产业格局初定，美日欧三足鼎立

当前全球 GaN 产业仍处于由海外主导的寡头市场。在电力电子领域，美国拥有较完整的产业链，欧盟主要聚焦在外延环节，日本信越和富士电机等在衬底和外延占优。在微波射频领域，目前全球约有超过 30 家企业已经从事 GaN 的研发生产，其中 10 家左右已经实现了 GaN 的量产化和商业化。美国、欧洲、日本等在军事雷达和无线基站通信方面走在世界前列。欧洲在 5G 通信方面研发成果较多，技术创新能力强。日本在 GaN 射频领域的研发和应用，以民用通信为主，军事通信探测为辅。在半导体照明领域，截至 2019 年日亚化学在 LED 芯片方面的销售仍稳居全球第一，德国欧司朗 (Osram)、荷兰飞利浦照明 (Philip Lumileds)、韩国三星等在封装方面领先全球。在激光器方面，日本日亚 (Nichia)、德国欧司朗 (Osram) 走在了国际前列。日本的住友电工、日立电缆等企业在衬底材料方面具有较深的技术储备；而美国的 Kyma 公司、法国的 Lumilog 公司也相继实现了 2 英寸 GaN 衬底的研发和产业化开发。在探测器方面，美国通用电气 (GE) 公司于 2008 年已经发布了具有日盲特性，单光子探测效率可达到 9.4%，而暗计数仅为 2.5kHz 的 SAM 结构 4H-SiC APD。韩国的 Genicom 公司和日本的 Kyosemi 公司可以批量供应 GaN 紫外探测器并推出多款模块化应用产品。

表 8：全球 GaN 产业格局

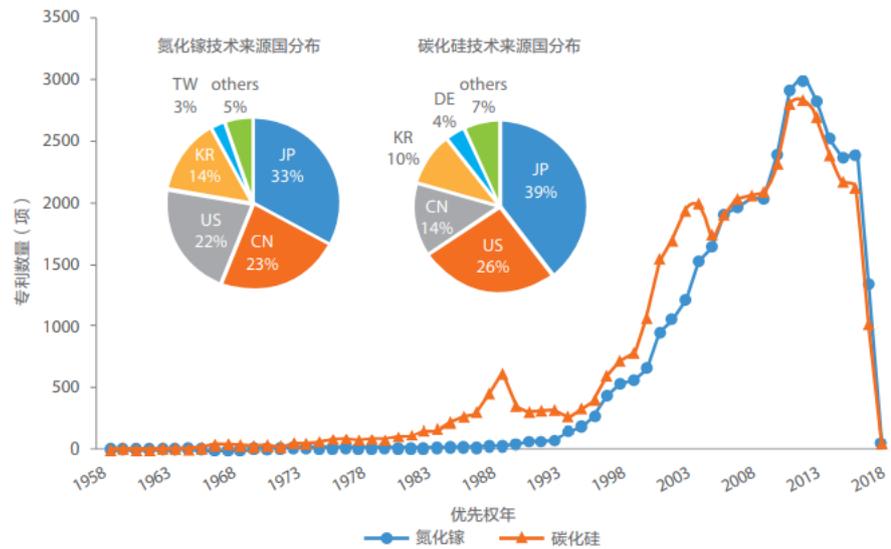
技术领域	国家/地区	重点机构
GaN 电力电子	美国	Transform、EPC、GaN system、Powerex
	欧洲	Azzurro、EpiGaN
	日本	信越、富士电机
	中国台湾	汉磊
微波射频	美国	Macom、Qorvo、Paytheon、Microsemi、

		Anadigics
	欧洲	IQE、Ampleon、UMS、NXP
	美国	Cree
半导体照明	欧洲	飞利浦、欧司朗
	日本	日亚
	韩国	三星
	中国	台湾晶元光电、三安光电、木林森
激光器	美国	Kyma
	欧洲	欧司朗、Lumilog
探测器	日本	日亚、佳友电工、日立电缆
	美国	通用电气
	日本	Kyosemi
	韩国	Genicom

资料来源：《聚焦产业关键技术，把握第三代半导体发展机遇》，赵婉雨、天风证券研究所

各国在 GaN 相关专利技术上取得较多突破，日本、美国处于领先地位。日本企业在 GaN 材料领域积累深厚，据中国信息通信研究院知识产权中心统计，截至 2018 年，全球 GaN 发明专利中有 39% 来源于日本，GaN 全球排名前 20 位的专利权人中，共有住友、松下、丰田等 12 家日本企业。这 12 家日本企业的 GaN 专利申请总量占全球 GaN 专利申请总量的 24%，由此可见日本企业在 GaN 领域技术实力处于领先地位。美国则有 3 家企业/机构进入 GaN 全球专利权人排名前 20 位，分别是加利福尼亚大学、科瑞、英特尔。

图 64：第三代半导体材料专利申请趋势及技术来源国分布



资料来源：《聚焦产业关键技术，把握第三代半导体发展机遇》，赵婉雨、天风证券研究所

5.2. 政策和市场双轮推动，中国第三代半导体产业发展前景光明

我国起步稍晚，厚积薄发快速发展与国外代差较小，但在 GaN 单晶等基础材料制备方面还存在一定代差。目前国外厂商 SiC 基 GaN 外延材料正在逐步向 6 英寸过渡，而我国用于微波射频器件的 SiC 基 GaN 外延材料也在逐步向 6 英寸发展，国内厂商用于电力电子器件的 Si 基 GaN 也与国外同步，逐步向 6 英寸发展过渡，基本实现了 6 英寸材料的产业化，并且完成了 8 英寸材料的样品研发，可见我国与海外在 GaN 材料加工及外延片制备方面与国外差距较小，但是在 GaN 单晶等基础材料制备方面还存在代差，未来在大尺寸、高质量籽晶方面还需要进一步破解。

当前，我国半导体产业面临“卡脖子”问题，主要卡在关键设备和材料方面。但在宽禁带半导体设备方面，大多数领域都实现了本土化，从材料生长、器件和电路工艺到测试封装设备，国内基本能够满足需求。唯独光刻机仍然没有解决。宽禁带半导体所需要的

光刻机工艺制程并不需要十分先进，光刻精度在 90 纳米左右。我国逐步在向世界巨头们追赶逼近。

5.2.1. 我国政策持续向好，扶持力度不断增强

第三代半导体助力“碳达峰、碳中和”目标的实现。 第三代半导体材料和技术对于建成可循环的高效、高可靠性的能源网络起到至关重要的作用，可助力实现光伏、风电(电能生产)，直流特高压输电(电能传输)，新能源汽车、工业电源、机车牵引、消费电源(电能使用)等领域的电能高效转换，推动能源绿色低碳发展。

在政策导向方面，国家多项新政策的出台，大大助力了第三代半导体材料产业的发展。 近年来，国务院及工信部、科技部等多部门出台了一系列扶持第三代半导体材料产业发展的利好政策。2016 年，国务院印发《“十三五”国家科技创新规划》，启动了一批面向 2030 年的重大项目，其中第三代半导体被列为国家科技创新 2030 重大项目中的“重点新材料研发及应用”重要方向之一。2017 年 2 月，国家新材料产业发展专家咨询委员会成立，作为战略性新兴产业和实现节能减排的重要抓手，第三代半导体技术和产业受到了中央政府、各级地方政府和企业的重视。

与此同时，多地区也已下发相关政策，大力扶持第三代半导体材料产业快速发展。 随着国务院及工信部、科技部等多部门出台了一系列扶持第三代半导体材料发展的利好政策，我国各地方政府机构为促进地方第三代半导体材料产业快速而有序的发展，也相继出台相关政策，政策内容涉及集群培育、科研奖励、人才培养、项目招商、生产激励等多个方面，地区包括深圳、北京、长沙、浙江、成都和广州等地。预计未来 2~3 年，国内第三代半导体产业将形成几个集聚区，分别是京津冀、长三角、珠三角和闽三角，注重第三代半导体产业对当地经济结构调整、产业转型升级的促进作用，政策的超前部署将促进第三代半导体产业呈现迅猛发展势头。

国家 2030 计划和“十四五”国家研发计划都已经明确，第三代半导体是重要发展方向，现在到了动议讨论实施方案的阶段。 第三代半导体材料具有高频、高效、高功率、耐高温、耐高温、抗辐射等特性，可以实现更好电子浓度和运动控制，特别是在苛刻条件下备受青睐，在 5G、新能源汽车、消费电子、新一代显示、航空航天等领域有重要应用。

国家布局“新基建”，第三代半导体是关键核心器件。 早在 2018 年底召开的中央经济工作会议上就明确了 5G、人工智能、工业互联网、物联网等“新型基础设施建设”的定位，随后“加强新一代信息基础设施建设”被纳入 2019 年政府工作报告。2020 年，在国务院常务会议、中央全面深化改革委员会第十二次会议等重要会议上多次提出推进新型基础设施建设，我国新型基础设施建设进入高层布局。以 SiC 和 GaN 第三代半导体材料为基础制备的电子器件是支撑“新基建”建设的关键核心器件。

表 9：2020 年度国家发布的半导体相关政策列表

政策名称	发布部门	发布时间
新时期促进集成电路产业和软件产业高质量发展若干政策	国务院	2020 年 7 月
关于扩大战略性新兴产业投资 培育壮大新增长点增长极的指导意见	国家发展改革委、科技部、工业和信息化部、财政部	2020 年 9 月
《关于促进集成电路产业和软件产业高质量发展企业所得税政策的公告》	财政部、国家税务总局、国家发展改革委、工信部	2020 年 12 月

资料来源：CASA 第三代半导体产业发展报告、天风证券研究所

5.2.2. 我国碳化硅产业研发实力提升，与先进水平差距缩小

我国即将形成以 4 英寸主体，6 英寸为骨干，8 英寸为后继的 SiC 衬底发展局面

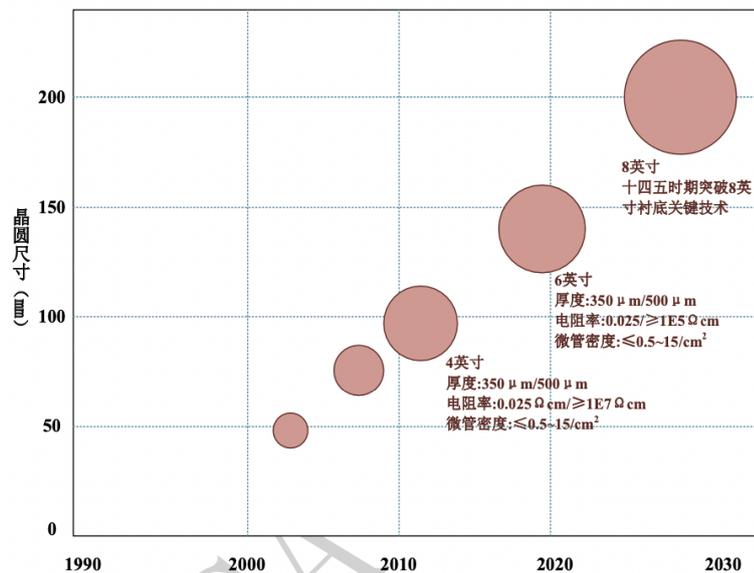
在 SiC 衬底方面，我国的生产企业主要有天科合达、山东天岳、河北同光晶体、世纪金

光、中电集团二所等。国外厂商如美国的 Cree、II-VI 和日本的昭和电工、三者合计占据了全球 75% 的市场份额。在技术上，目前正从 4 英寸衬底向 6 英寸过渡，8 英寸衬底正在研发中。我国的生产企业主要有天科合达、山东天岳、河北同光晶体、世纪金光、中电集团二所等，国内 SiC 衬底以 3-4 英寸为主，天科合达的 4 英寸衬底已达到世界先进水平。2019 年国内生产的导电型 SiC 衬底，折合成 4 英寸衬底的产能为 50 万片/年，半绝缘型 SiC 衬底折合成 4 英寸，产能为 20 万片/月。其中，中电科二所在 2018 年率先完成了 4 英寸高纯半绝缘 SiC 单晶衬底材料的工程化。2020 年，其山西 SiC 材料基地已经实现 4 英寸 SiC 晶片的批量生产。

国内 6 英寸 SiC 衬底研发也相继突破，已进入小批量生产阶段。2017 年山东天岳自主开发了高纯半绝缘体衬底材料，目前 4H 导电型 SiC 衬底材料已达到 6 英寸，还自主开发了 6 英寸 N 型 SiC 衬底材料。2018 年中电科二所也完成了 6 英寸高纯半绝缘 SiC 单晶衬底的开发。2018 年底，三安光电宣布已完成了商业版本的 6 英寸 SiC 晶圆制造技术的全部工艺鉴定试验。2020 年 7 月，三安光电在长沙的第三代半导体项目启动，主要用于生产 6 英寸 SiC 导电衬底、4 英寸半绝缘衬底以及 SiC 二极管和 SiC MOSFET 的外延芯片。

2020 年 10 月 6 日，山西烁科发布消息称，8 英寸 SiC 衬底已开发成功，即将进入工程化。

图 65：国内 SiC 衬底技术指标进展



资料来源：CASA 第三代半导体产业发展报告、天风证券研究所

在 SiC 外延片方面，目前国内 SiC 外延片以 4 英寸产品为主，也有少量提供 6 英寸外延片。目前以美国的 Cree、DowCorning、II-VI、日本的罗姆、三菱电机、德国的 Infineon 为主，其中美国公司就占据了全球的 70% 以上的份额。技术上已向 6 英寸过渡。国内的 SiC 外延片生产商主要有瀚天天成、东莞天城、国民技术子公司国民天成、世纪金光、以及中电科的 13 所和 55 所等。目前国内 SiC 外延片以 4 英寸产品为主，也有少量提供 6 英寸外延片。2019 年 SiC 外延片折算成 6 英寸产品的产能为 20 万片/年。其中瀚天天成已形成可 3 英寸、4 英寸及 6 英寸完整的 SiC 外延片生产线，可满足 600V、1200V 及 1700V 器件制作的要求。东莞天成已实现年产超过 2 万片的 3 英寸、4 英寸 SiC 外延片的产业化能力，目前还可以提供 6 英寸 SiC 外延片。国民技术、天成化合物也在近期建成了 6 英寸第二代和第三代半导体外延片项目，项目投资 4.5 亿元。

在 SiC 器件方面，我国相关企业较多。国外主要厂商有英飞凌、安森美、意法半导体、三菱电机、东芝、威世半导体、富士电机、罗姆、瑞萨科技等美、日、欧大型 IDM 半导体厂商。600-1700V SiC SBD、SiC MOSFET 已实现产业化，主要产品在 1200V 以下。近年来，我国从事 SiC 器件研发和生产的厂商较多。有 IDM 企业，如扬杰电子、苏州能讯高能半导体、株洲中车时代、中电科 13 所和 55 所、世纪金光等；有 Fabless 企业，如上

海瞻芯、瑞能半导体等；有 Foundry 代工企业，如三安光电；也有 SiC 模组厂商，如嘉兴斯达、河南森源、常州武进科华、中车时代电子等。在 SiC 器件制造方面，目前国内已有中车时代、世纪金光、全球能源互联网研究院和中电 55 所等 4 条 6 英寸 SiC 器件中试线，相继投入量产。其中，中车时代的 6 英寸 SiC SBD、PiN MOSFET 等器件的研发与制造更有特色。

5.2.3. 多方配合推动创新，中国 GaN 产业发展正当时

各企业积极扩产布局，产业进入扩张期，市场迅猛增长。为了迎合市场需求，争夺关键竞争位置，国内主流企业如天科合达、三安光电、同光晶体等纷纷扩产，在产业、产品和市场等多方面加强布局，这也预示着国内第三代半导体产业开始进入扩张期。同时，传统半导体企业如华润微、闻泰科技等依托资金、技术、渠道及商业模式的优势，积极布局第三代半导体，以谋求更多的利润增长点。

从研发角度来看，中国专利占据全球的 28%，产业化发展程度较欧美低但应用场景广阔。国内申请专利较多的机构主要有中科院、西安电子科技大学、中国电子科技集团公司第五十五研究所等。专利技术主要集中在 LED、FET 等电子器件，以及电极、沉积方法和外延生长等加工工艺。但我国发展的应用场景广阔：我国是全球最大的半导体照明产业生产地、全球规模最大的 5G 移动通信、全球增速最快的新能源汽车、智能手机和军工领域对功率半导体需求增速，这些应用的发展都离不开第三代半导体材料和器件的支撑。

国内投资 GaN 热度高涨，国家、地方、企业联动的投融资生态圈正在发挥积极作用。根据 CASA 数据统计，仅仅 2017 年一年，第三代半导体扩产项目共计 10 起，总投资金额达到 700 亿元。其中明确投产氮化镓材料相关项目金额已经超过 19 亿元，以宽禁带半导体或化合物半导体名义投资的项目金额近 615 亿元。

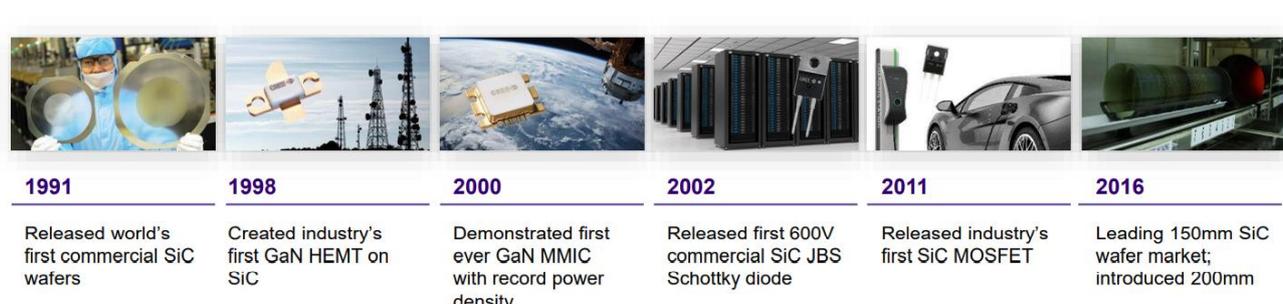
政策扶持、应用推进、资本追捧，以 GaN 为代表的第三代半导体产业前景广阔。在光明前景的驱动下，目前全球各国均在加大力度布局第三代半导体领域，但我国在产业化方面进度还较缓慢，技术亟待突破。当前，第三代半导体在电力电子和射频器件领域面临重要窗口期，国际半导体产业巨头尚未对行业标准和形成完全垄断，在政策和市场双重推动下，中国第三代半导体产业发展正当时。

6. 海外半导体公司情况：群雄争霸，先发制人

6.1. CREE：宽禁带化合物半导体龙头

SiC 领域最强者，8 英寸产业成功研发投建。CREE 公司成立于 1987 年，是集化合物半导体材料、功率器件、微波射频器件、LED 照明解决方案于一体的著名制造商，专业从事碳化硅、氮化镓等第三代半导体衬底与器件的技术研究与生产制造。

图 66：30 年全球 SiC 和 GaN 领导地位

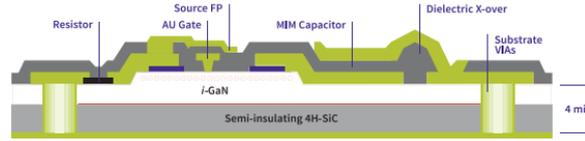


资料来源：Cree、天风证券研究所

4、6 英寸 SiC 晶圆量产，8 寸晶圆成功投建。CREE 在碳化硅晶片制造产业中拥有尺寸的代际优势，已成功研制并投资建设 8 英寸晶片产线。公司已具备成熟的 6 英寸晶片制备技术并实现规模化。

图 67: Cree (Wolfspeed) GaN on SiC MMIC 产品

	G28V5 MMIC	G28V3 MMIC	G28/40V4 MMIC	G50V3 MMIC
Gate Length	0.15 μm	0.4 μm	0.25 μm	0.4 μm
Bias	28 V	28 V	28 V to 40 V	50 V
Breakdown	>84 V	>120 V	>120 V	>150 V
Density	3.75 W/mm	4.5 W/mm	6 W/mm	8 W/mm
Performance	DC-40 GHz	DC-8 GHz	DC-18 GHz	DC-6 GHz

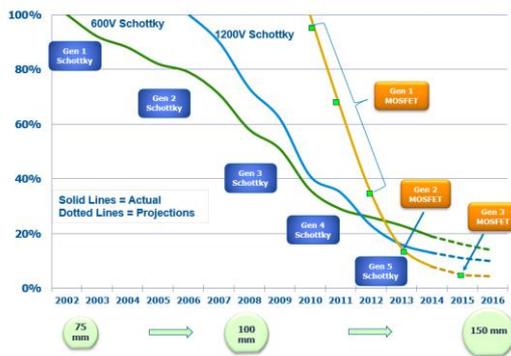


资料来源: Wolfspeed 官网、天风证券研究所

公司财务状况良好，成本逐渐下降，第三代半导体板块营收占比逐年上升。Cree 公司的营业收入分为两个部分：Wolfspeed 和 LED 芯片。Wolfspeed 部分的产品主要有碳化硅和氮化镓材料、电力设备以及射频设备。2018-2020 年，Wolfspeed 收入占总营业收入的比例分别为 36%，50%，52%，呈逐年上升的趋势。2020 年毛利率相较于 2019 年有所下降，主要原因是客户和产品结构的变化，工厂和技术转型导致成本上升。

图 68: SiC 成本逐渐下降

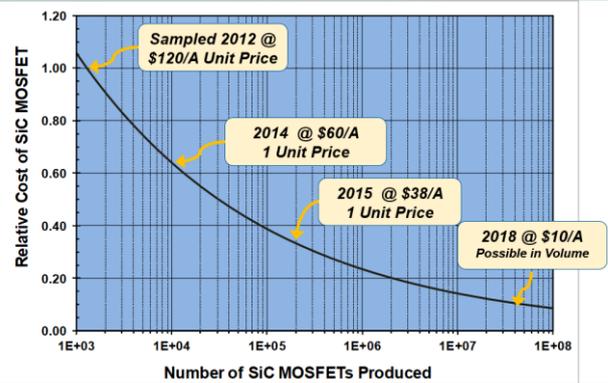
Cost reduction from volume and device refinement



资料来源: Cree 产品路线图 PPT、天风证券研究所

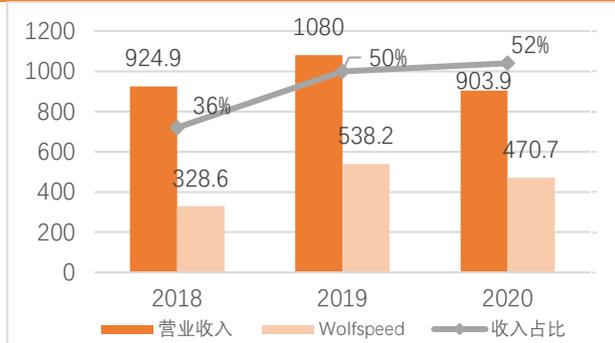
图 69: SiC 成本逐渐下降

10 kV SiC MOSFET Projected Cost Trend (Amps at 100C)



资料来源: Cree 产品路线图 PPT、天风证券研究所

图 70: Cree 营收情况 (百万美元)



资料来源: Cree2020 年年报、天风证券研究所

图 71: Wolfspeed 毛利润及毛利率情况 (百万美元)



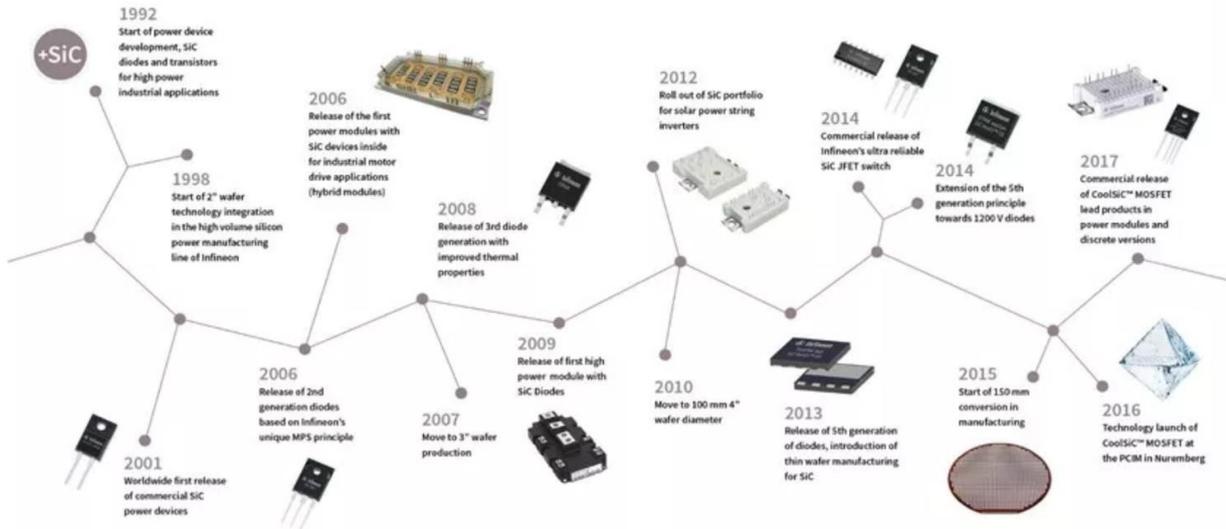
资料来源: Cree2020 年年报、天风证券研究所

6.2. 英飞凌: SiC 领域领军人, GaN 已投入量产

碳化硅领域领军人, 深耕行业 20 年。英飞凌 1992 年开始研发 SiC 功率器件, 1998 年建

立 2 英寸的生产线，2001 年推出第一个 SiC 产品。20 年来公司的碳化硅技术在不断进步，2006 年发布采用 MPS 技术的二极管，解决耐冲击电流的痛点；2013 年推出第五代薄晶圆技术二极管，2014 年——2017 年先后发布 SiC JFET，第五代 1200V 二极管，6 英寸技术和 SiC 沟槽栅 MOSFET。2019 年以来，英飞凌推出 CoolSiC™ MOSFET 系列，CoolSiC™ 单管产品采用 TO 和 SMD 封装，电压等级为 650 V、1200 V 和 1700 V，额定导通电阻为 27 mΩ-1000 mΩ，适用于硬开关和谐振开关拓扑，即使桥接拓扑中关断电压为零时，出色的寄生导通抗扰度也可在低动态损耗方面树立基准，优化了开关性能。

图 72：英飞凌的碳化硅产业发展历程



资料来源：英飞凌工业半导体公众号、天风证券研究所

电源管理及射频技术助英飞凌抢占新兴市场先机。英飞凌作为全球领先的半导体科技公司，在电源管理及射频领域不断革新，开发高性能产品来满足市场对高能效的需求。在整个功率器件（Power Device）市场，目前公司的硅产品包括低压 MOS、高压 MOS，以及 IGBT 等。英飞凌产品的优势包括：具备更高功率密度，可实现更加小巧、轻便的设计，从而降低系统总成本和运行成本，以及减少资本支出。

图 73：英飞凌为充电桩系统提供“一站式”解决方案



资料来源：《电源管理及射频技术助英飞凌抢占新兴市场先机》，王颖、天风证券研究所

进一步扩大自身优势，不断推出新产品，抢占市场份额。2018 年英飞凌收购了位于德累斯顿的初创公司 Siltecta。该公司的冷切割创新技术可高效处理晶体材料，最大限度减少材料损耗。英飞凌利用这一冷切割技术切割碳化硅晶圆，可使单片晶圆产出的芯片数量翻倍，从而有效降低 SiC 成本。在中低功率 SiC 器件方面，2020 年英飞凌在 1200V 系列基础上，发布了 TO-247 封装的 650V CoolSiC™ MOSFET，进一步完善了产品组合。

利用成熟的模块技术、低寄生电感、低热阻的封装技术等，针对不同的应用开发相应产品。比如，低寄生电感封装可以让 SiC 器件更好发挥高速性能，低热阻的封装技术虽然成

本略高，但可以有效提高器件电流输出能力，从而实际上降低了单位功率密度的成本。目前贴片封装的 650V 产品系列正在开发当中。在高压方面，碳化硅产品会继续朝着发挥其主要特性的方向发展，耐压更高，2-3kV 等级的产品会相继面世。

图 74：英飞凌采用高性能 ALN 陶瓷的新 EasyDUAL™ CoolSiC™ MOSFET 功率模块



资料来源：英飞凌半导体公众号、天风证券研究所

英飞凌 GaN 解决方案已投入量产。英飞凌推出的 GaN 解决方案 CoolGaN600V 增强型 HEMT 和 GaN 开关管专用驱动 IC (GaN EiceDRIVER IC) 产品具有优越性。CoolGaN600V 增强型 HEMT 采用可靠的常闭概念，经过专门优化，可实现快速开通和关断。它们可在开关模式电源 (SMPS) 中实现高能效和高功率密度，其优值系数 (FOM) 在当前市场上的所有 600V 器件中首屈一指。CoolGaN 开关的栅极电荷极低，且具有极少输出电容，可在反向导通状态下提供优异的动态性能，进而大幅提高工作频率，从而通过缩小被动元器件的总体尺寸，提高功率密度。英飞凌提供专为要求超高能效的高性能设备而优化的增强模式 GaN 平台，非常适用于服务器和电信设备中使用的开关电源产品。它可以通过提升服务器效率节省系统成本，从而大幅度节省耗电费用，迎合了具有成千上万服务器的数据中心的需求。

图 75：英飞凌氮化镓开关管驱动芯片 EiceDRIVER IC

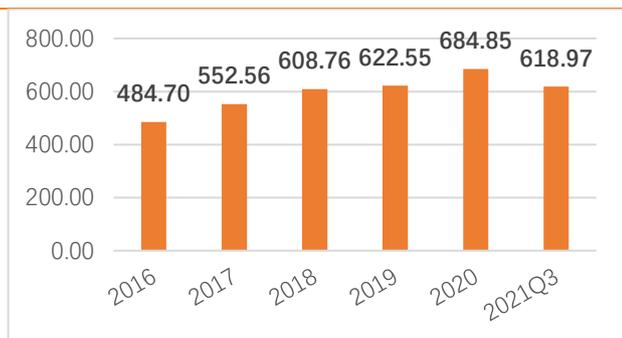


资料来源：《世界电子元器件》、天风证券研究所

公司经营状况良好，第三代半导体相关营业收入占比较稳定。2016-2020 年公司在工业电源控制以及电源&传感器系统这两部分的营业收入大体呈上升的趋势。2020 年工业电源控制部分营业收入较 2019 年有所下滑，主要因为一些领域市场需求的下降导致公司部分制造领域的产能利用率不足，一些闲置成本与上一财年相比增加，但公司今年采取的成本节约措施会弥补这一影响。

图 76：英飞凌营收情况 (亿元)

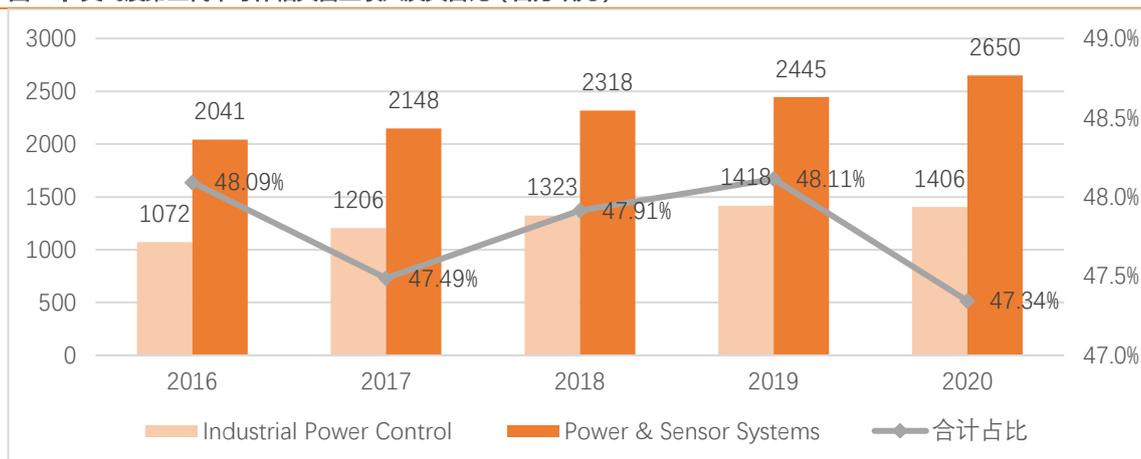
图 77：英飞凌净利润情况 (亿元)



资料来源: Wind、天风证券研究所

资料来源: Wind、天风证券研究所

图 78: 英飞凌第三代半导体相关营业收入及其占比 (百万欧元)



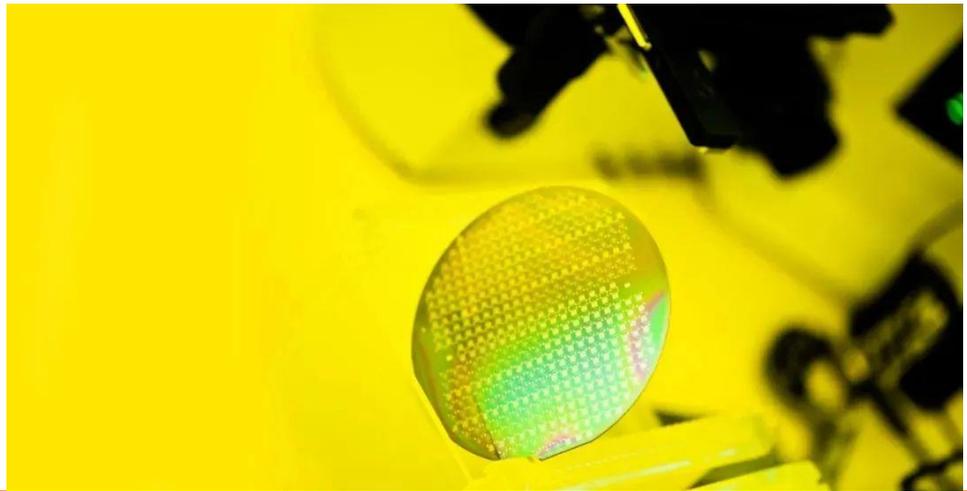
资料来源: 英飞凌公司官网、天风证券研究所

6.3. 意法半导体: 与终端应用企业形成强绑定, 完善产业布局

意法半导体通过战略收购并购加速布局 SiC 业务, 提高产品良率和产品竞争力。2019 年 12 月 2 日, 意法半导体完成对瑞典碳化硅晶圆制造商 Norstel AB 的整体收购。此次并购后, Norstel 将被完全整合到意法半导体的全球研发和制造业务中, 继续发展 150mm 碳化硅裸片和外延片生产业务研发 200mm 晶圆以及更广泛的宽禁带材料。在全球碳化硅产能受限的大环境下, 整体并购 Norstel 将有助于增强 ST 内部的 SiC 生态系统, 提高生产灵活性, 使 ST 能够更好地控制晶片的良率和质量改进, 并为碳化硅长远规划和业务发展提供支持。总目标是保证晶圆供给量, 满足汽车和工业客户未来几年增长的 MOSFET 和二极管需求。

首批 200mm 碳化硅晶圆落地, 意法半导体占据 8 寸 SiC 晶圆领先地位。2021 年 7 月 27 日, 意法半导体宣布, ST 瑞典北雪平工厂制造出首批 200mm (8 寸)碳化硅晶圆片, 这些晶圆将用于生产下一代电力电子芯片的产品原型。SiC 晶圆升级到 200mm 标志着 ST 面向汽车和工业客户的扩产计划取得重要的阶段性成功, 巩固了 ST 在这一开创性技术领域的领导地位, 提高了电力电子芯片的轻量化和能效。

图 79: 意法半导体制造首批 200mm 碳化硅晶圆



资料来源：意法半导体公众号、天风证券研究所

与龙头企业签订 SiC 衬底长期供应协议，补充内部产能缺口。2020 年 1 月 16 日，意法半导体与罗姆集团旗下的 SiCrystal 公司签署了一份碳化硅（SiC）晶圆长期供应协议。SiCrystal 为一家在欧洲 SiC 晶圆市场占有率领先的龙头企业。协议规定，SiCrystal 将向意法半导体提供总价超过 1.2 亿美元的先进的 150mm 碳化硅晶片，满足时下市场对碳化硅功率器件日益增长的需求。

表 10：意法半导体 2020 年产业链合作情况

企业	产业链合作情况
ST	1.与 Cree Wolfspeed 签订 5 亿美元合同，与 SiCrystal 签订 1.2 亿美元合同 2.与德国 Innoelectric 公司合作，推出 22kW SiC 车载充电器 3.与汇川技术合作，推动 SiC 在 DC-DC 转换器和中高压系统的应用 4.为雷诺(Renault)、日产汽车、三菱汽车联盟(Alliance)旗下的电动汽车搭载的 OBC 提供 SiC 器件，2021 年批量生产

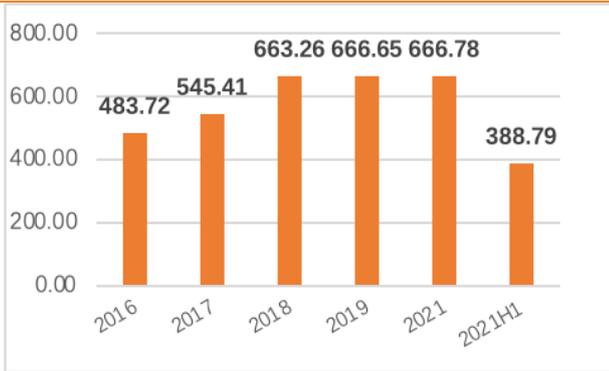
资料来源：CASA 第三代半导体产业发展报告、天风证券研究所

终端应用企业合作趋势明显，完善产业布局。2019 年 9 月 10 日，意法半导体被雷诺-日产-三菱联盟指定为高效碳化硅技术合作伙伴，为联盟即将推出的新一代电动汽车的先进车载充电器（OBC）提供功率电子器件。通过在 OBC 中使用 ST 的 SiC 技术实现小尺寸、轻重量和高能效，再加上电池效率的提高，联盟将能够缩短充电时间，延长电动汽车的续航里程，从而加快电动汽车的应用普及。含有意法半导体碳化硅的车载充电器计划于 2021 年投入量产。

推出高性能 GaN 系列 面向汽车应用、可靠性更高。2021 年 5 月，意法半导体宣布推出其新系列、智能集成的氮化镓（GaN）解决方案 STi2GaN。随着汽车行业不断转向电气化平台，STi2GaN 将采用创新独特方式将电力与智能相结合，推出汽车行业所需的紧凑、高性能解决方案。该 STi2GaN 系列将单片功率级、GaN 技术的驱动器和保护器以及用于特定应用程序 IC（集成电路）与附加的处理和控制电路相结合。此外，该解决方案还使用 ST 的新型无粘封装技术提供高鲁棒性、可靠性和性能。

图 80：意法半导体营收情况（亿元）

图 81：意法半导体净利润情况（亿元）



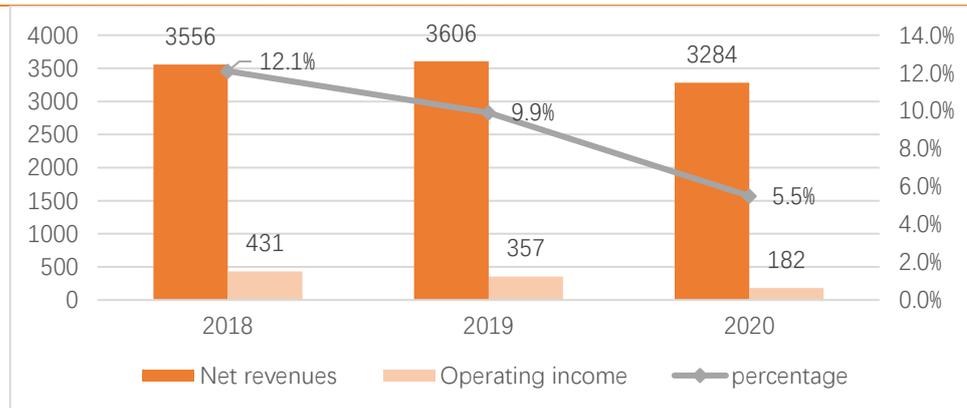
资料来源: Wind、天风证券研究所



资料来源: Wind、天风证券研究所

公司近三年营业收入保持平稳，受平均销售价格和产品结构的影响，ADG 部分收入有小幅波动。意法半导体公司的营业收入构成分为三部分：汽车和分立器件部门(ADG)；模拟器件、MEMS 和传感器部门(AMS)；微控制器和数字 IC 部门 (MDG)。SiC 和 GaN 功率器件包含于 ADG 中，因此公司并未披露第三代半导体产业相关的具体数据。2020 年，由于平均销售价格下降了 8%，受产品结构和销售价格的负面影响。ADG 收入同比下降了 8.9%。

图 82：意法半导体 ADG 部分营业收入情况（百万美元）

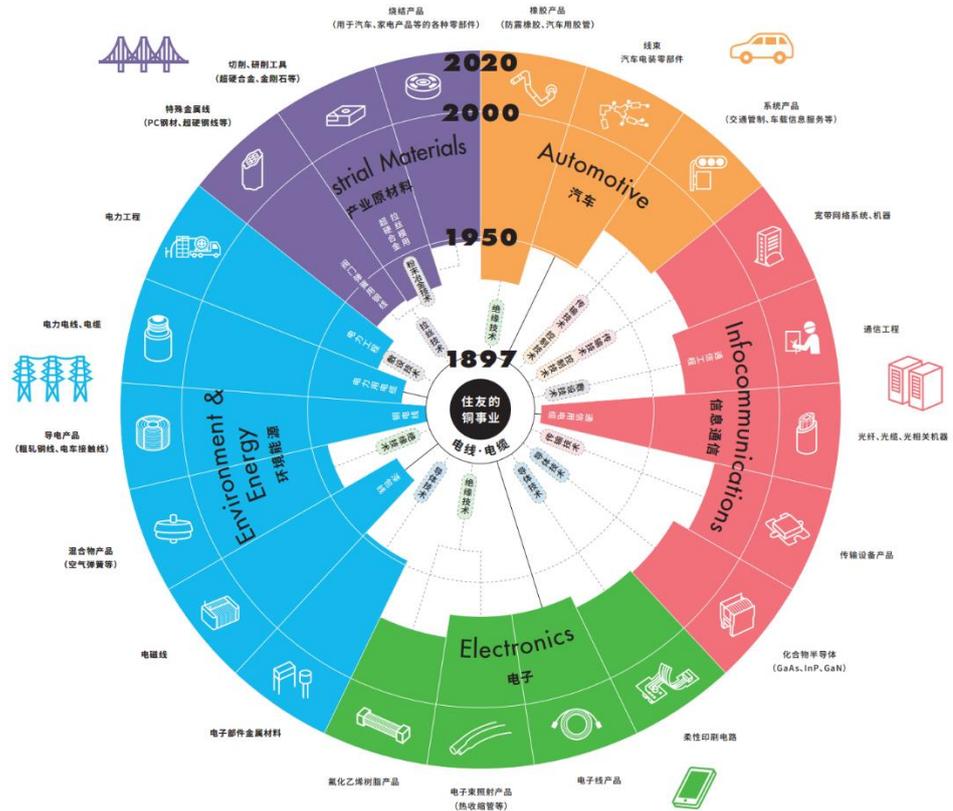


资料来源: 意法半导体 2020 年年报、天风证券研究所

6.4. 住友电工：全球第三代半导体射频领域引领者

通过开发独有技术和对新业务的挑战，确立了 5 大事业领域。以铜电线（裸铜线）的制造技术为基础，开发出以“电力用电缆”、“通信用电缆”为首的“电子线缆产品”等多种新产品。铜电线的导体技术又衍生出“化合物半导体”、“柔性印刷电路”等，绝缘技术则衍生出“电子束照射产品”、“橡胶产品”和“混合物产品”的开发。利用电线制造相关的控制技术和传输技术，将业务扩大到了“系统产品”等领域，现已确认了“汽车”、“信息通信”、“电子”、“环境能源”和“产业原材料”这 5 大事业领域。

图 83：住友电工商业发展

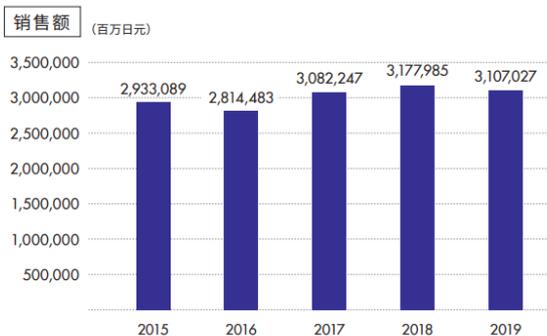


资料来源：住友电工公司官网、天风证券研究所

在第三代半导体射频领域具有压倒性占市率。公司也是日本国内唯一 GaAs 晶圆制造业者，目前除了已在美国据点展开量产之外，预计今年内在千叶县建立量产体制，以因应日渐成长的需求。目前子公司 SCIOCS 已整备 GaN 晶圆的增产体制，生产能力提高了 3~4 倍，且为了应对即将到来的 5G 普及化时代，更计划在今后 3 年将生产能力予以倍增。

具有稳定的业绩发展，计划强化并扩展现有五大领域。住友电工近年保持较稳定的营业收入和高投入的研发费用。其发展蓝图提出的目标是促进现有“移动”、“能源”、“信息通信”以及支撑这些事业的原材料、产品和解决方案群的各个事业领域不断成长、力求强化盈利基础并提高资本效率。目标 2022 年实现营业额达到 3.6 万亿日元，营业利润 2300 亿日元，ROIC 达到 9%以上，ROE 达到 8%以上。

图 84：住友电工销售额



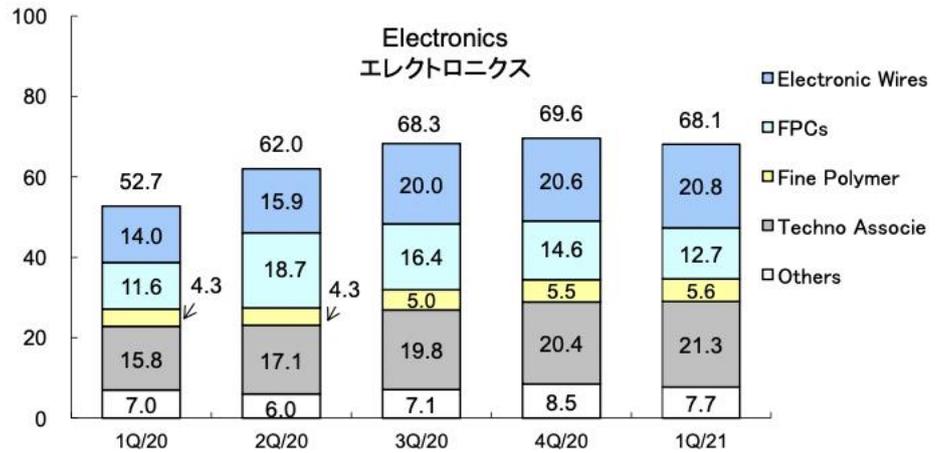
资料来源：住友电工公司官网、天风证券研究所

图 85：住友电工营业利润



资料来源：住友电工公司官网、天风证券研究所

图 86：住友电工电子板块营收情况 (百万日元)



资料来源：住友电工 2021 年一季度报、天风证券研究所

6.5. 三菱电机：第二代 SiC 功率模块优势显著，积极探索 GaN-HEMT

SiC 功率器件领域基础实力雄厚，申请大量相关专利。从表中可以看到，全球申请主体前 10 位中，日本申请主体由住友、三菱、电装、富士、NIIT、日立占据 6 席且包揽前 4 名，美国老牌龙头克里 (CREE) 排名第 5，德国的英飞凌占据第 10 位。日本显示出其在半导体器件领域的卓越实力，目前可以说引领着 SiC 功率器件的技术发展。

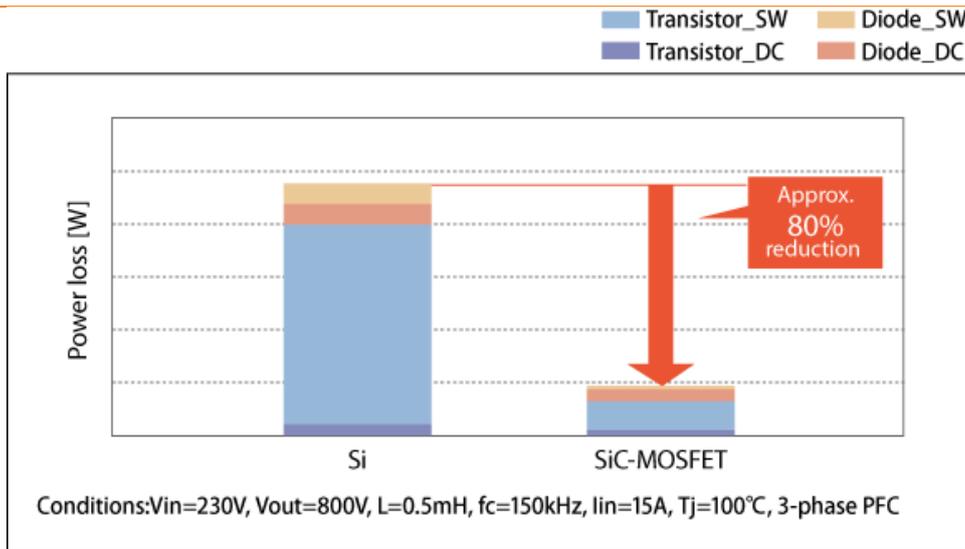
图 87：截至 2017 年全球申请主体排名前十位

排名	全球申请主体	申请量 (项)	近 3 年申请量 (2015-2017)	3 年/5 年活跃度
1	住友电气	285	76	55.1%
2	三菱电机	228	46	43.4%
3	电装	220	38	39.6%
4	富士电机	179	35	77.8%
5	克里	49	18	69.2%
6	NIIT	45	14	77.8%
7	电子科技大学	38	13	72.2%
8	西安电子科技大学	37	11	73.3%
9	日立	34	10	66.7%
10	英飞凌	30	10	66.7%

资料来源：SiC 功率器件专利布局的研究与分析，作者徐国亮、天风证券研究所

2020 年新推出第二代 SiC 功率模块产品，与传统产品相比显著降低了 80% 的耗电量。新产品采用了 JFET 掺杂技术，它与第一代相比导通电阻降低了约 15%，在降低导通电阻的同时，还能实现更低的开关损耗，与传统产品相比显著降低了 80% 的耗电量，主要应用于各类电力电子产品，如：空调、光伏发电、充电基础设施、车载充电器等的电源系统。它通过减少功率损耗和高频动作，电抗器和散热板等部件能够做到小型化。

图 88：第二代 SiC 功率模块产品与传统产品的比较



资料来源：三菱电机公司官网、天风证券研究所

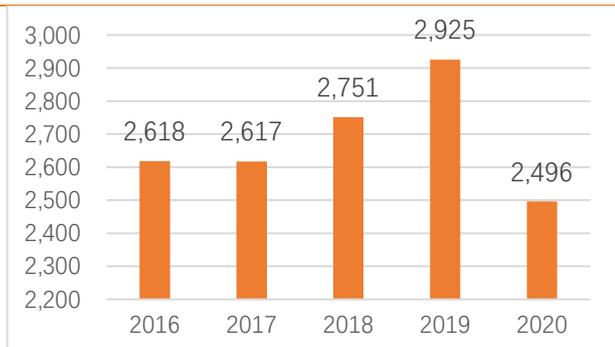
发布全球首款多单元结构金刚石基 GaN HEMT，持续开发满足多样化需求。2019 年三菱电机与美国国家先进工业科学与技术研究所（AIST）MEMS 和微工程研究中心（UMEMSME）合作，首次实现多单元 GaN-HEMT 直接键合到单晶金刚石衬底上，这种新型金刚石基 GaN HEMT 旨在提高移动通信基站和卫星通信系统中高功率放大器的功率附加效率，从而帮助降低功耗。目前，公司也在积极研发各个系列的 GaN-HEMT 产品，以满足小蜂窝基站、卫星通信地面站等多样化需求。

图 89：GaN-HEMT 部分正在开发中的新产品



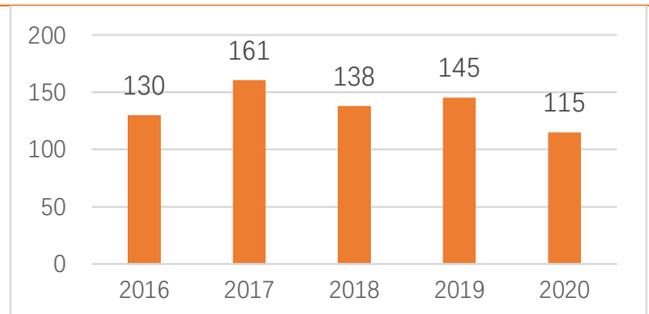
资料来源：SiC 功率器件专利布局的研究与分析，作者徐国亮、天风证券研究所

图 90：三菱电机营收情况（百万人民币）



资料来源：Wind、天风证券研究所

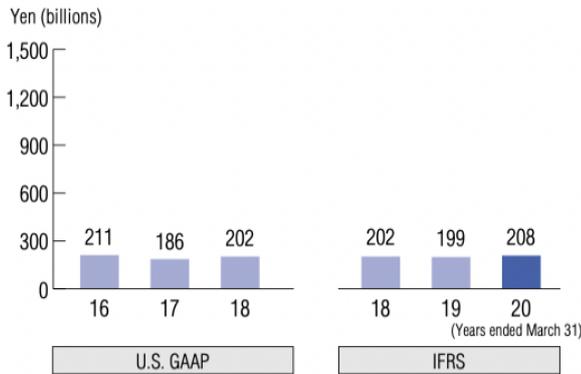
图 91：三菱电机净利润情况（百万人民币）



资料来源：Wind、天风证券研究所

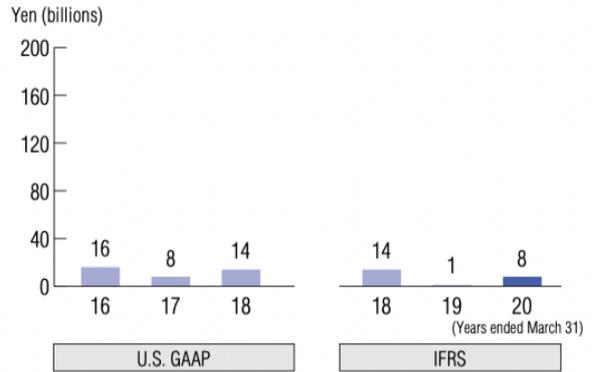
公司财务整体呈现下滑趋势，但在半导体板块维持增长态势。2020年3月31日至2021年3月31日，公司实现营收2496.17亿元，同比下降6.07%；归母净利润115.02亿元，同比下降12.94%。虽然公司近五年内营业收入有所下滑，但2020财年在电子设备板块的营收略有增长，净利润显著提高。

图 92：三菱电机电子设备板块营收情况



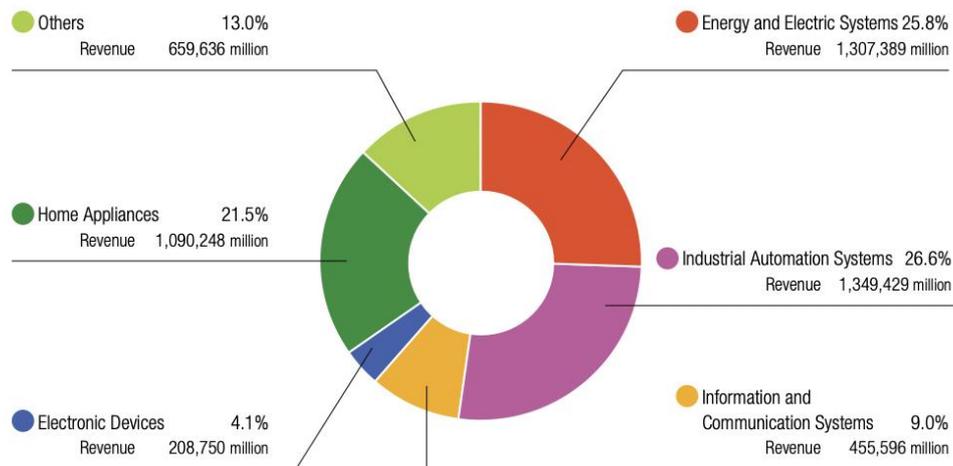
资料来源：三菱电机 2020 年年报、天风证券研究所

图 93：三菱电机电子设备板块净利润情况



资料来源：三菱电机 2020 年年报、天风证券研究所

图 94：2020 年三菱电机各板块收入占比情况

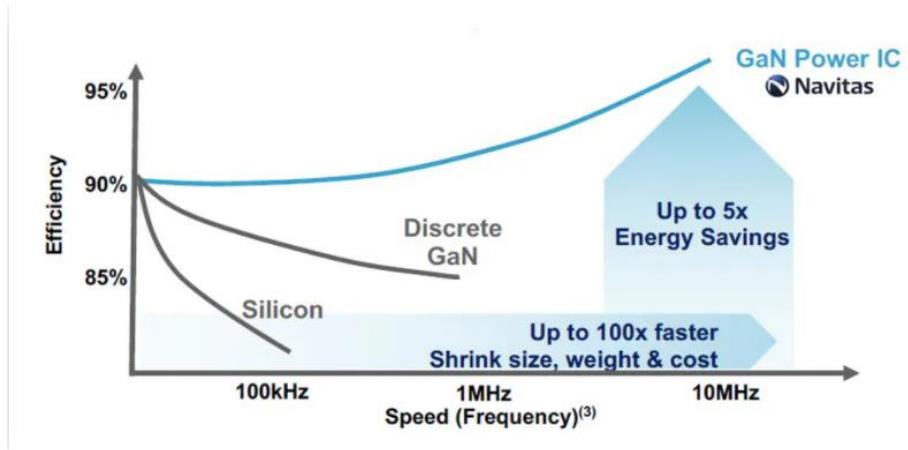


资料来源：三菱电机 2020 年年报、天风证券研究所

6.6. 纳微半导体：GaN 功率芯片设计领军者，推动下一代氮化镓技术发展

纳微半导体是 GaN 行业的领军者，推动下一代氮化镓的技术发展。纳微半导体成立于 2014 年，开发超高效氮化镓 (GaN) 半导体，在效率、性能、尺寸、成本和可持续性方面正在彻底改变电力电子领域。纳微半导体是唯一一家将 GaN 电源与驱动器、控制和保护集成到单芯片集成电路 (IC) 中的 GaN 公司。纳微半导体 GaNFast IC 是易于使用的“数字化、断电”构建基块，可加快高达一百倍的切换速度，同时可节省高达 40% 的能源。纳微半导体正在积极推动下一代半导体氮化镓的技术发展，实现氮化镓在移动设备快充、消费电子行业、数据中心、可再生能源、电动汽车等领域的大规模应用，加速氮化镓在功率半导体领域替代传统硅的历史性拐点的到来。

图 95：集成芯片功率图



资料来源：纳微半导体公司官网、天风证券研究所

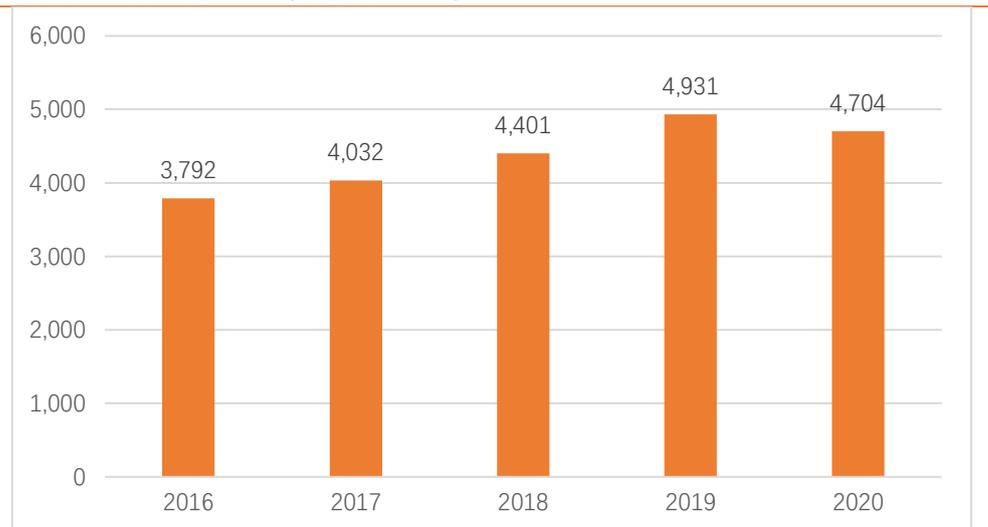
率先打造业内首款集成半桥氮化镓功率 IC，成为快充市场 GaN 功率芯片头部供应商。第一个半桥氮化镓(GaN)功率 IC 产品为 650V 的 NV6250，采用 6x8mm QFN 封装，具有上下管驱动器，电平转换器，两个 560mohm 功率 FET，自举电路和多种保护功能。集成了所有半桥功能，提供高达 2MHz 开关速度，在提供更快充电的同时，大大减少尺寸、成本和重量。简单数字 PWM 输入信号在所有频率下能轻松驱动半桥，为电源系统设计人员提供了极大的易用性和布局灵活性。纳微半导体还计划推出 65W ACF 半桥氮化镓(GaN) IC，可用在 200WLLC 拓扑中。与同类中 Si 基转换器相比具有较大优势。

图 96：DC-DC 转换器对比



资料来源：纳微半导体公司官网、天风证券研究所

图 97：纳微半导体营收情况（单位：百万日元）



资料来源：纳微半导体 2018、2019、2020 年年报、天风证券研究所

7. 我国公司情况：厚积薄发，未来可期

7.1. 三安光电：化合物半导体业务多轮驱动，加速替代海外供应商

三安光电通过设立厦门三安光电全资子公司发力化合物半导体市场，项目总规划用地 281 亩，总投资额 30 亿元。三安光电电路是涵盖微波射频、高功率电力电子、光通讯等

领域的化合物半导体制造平台；具备衬底材料、外延生长、以及芯片制造的产业整合能力，拥有大规模、先进制程能力的 MOCVD 外延生长制造线。

图 98：三安光电化合物半导体布局广泛

器件	材料	器件种类	应用领域
光电	GaAs、GaN、蓝宝石	LED、光伏电池	照明、显示、背光、农业、医疗、光伏发电等
微波射频	GaAs、InP、GaN、LT/LN	功率放大器、滤波器、低噪声放大器、射频开关器、混频器、振荡器、单片微波集成电路等	移动通信设备和基站、WiFi/蓝牙模组、卫星通信、CATV 等
电力电子	GaN、SiC	肖特基势垒二极管、金属氧化物半导体场效应晶体管、绝缘栅双极型晶体管、氮化镓场效应晶体管等	消费电源快速充电器、家用电器、新能源汽车、不间断电源、光伏/风能电站、智能电网、高速铁路等
光通讯	GaAs、InP	光电探测二极管、垂直腔面激光发射器、分布反馈式激光器	通信基站、数据中心/云计算、光纤到家、3D 感应等

资料来源：三安光电 2020 年年报、天风证券研究所

三安光电覆盖多种化合物半导体，积极开拓相关客户获得高度认可。三安光电作为致力成为化合物半导体专业制造的领导公司，主要从事生产砷化镓半导体芯片及氮化镓高功率半导体芯片产品，包含第二代（砷化镓（GaAs）和磷化铟（InP））、第三代（碳化硅（SiC）和氮化镓（GaN））。碳化硅二极管开拓客户 182 家，送样客户 92 家，转量产客户 35 家，超过 30 种产品已进入批量量产阶段。二极管产品已有 2 款产品通过车载认证，送样客户 4 家，目前封装测试中。在硅基氮化镓功率器件方面，完成约 40 家客户工程送样及系统验证，已拿到 12 家客户设计方案，4 家进入量产阶段。三安光电产品性能获得客户高度认可，客户寻求代工意愿强烈，每块业务产能均在大力扩充，订购的设备也在陆续到位，随着产能的逐步释放，营收规模将会持续增大，盈利能力也将会逐步体现。

表 11：三安光电核心技术服务



微波射频

在微波射频领域，当前已推出具有国际竞争力的 GaAs HBT、pHEMT 等面向射频应用的先进制程工艺，已建成专业化、规模化的 4 吋、6 吋化合物晶圆制造产线。



电力电子

在电力电子领域。现已推出高可靠性、高功率密度的 SiC 功率二极管及硅基氮化镓功率器件。



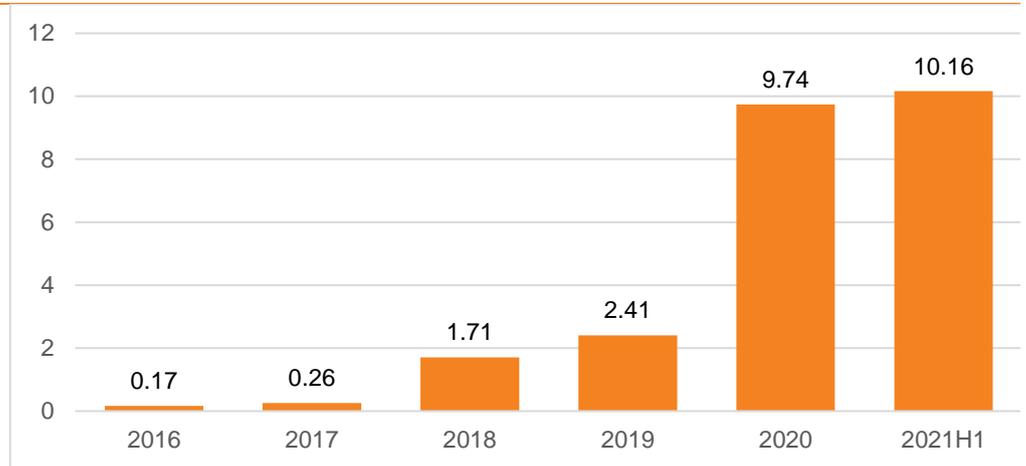
光通讯

在光通讯领域，已具备生产 DFB、VCSEL、PD APD 等数通产品的能力，并面向 3D sensing，红外 LiDAR 等消费应用领域开发出高功率可见波段，红外波段 VCSEL、及端面发光激光器（EEL）等产品。

资料来源：三安光电官网、天风证券研究所

三安集成 2021H1 实现收入 10.16 亿元，半年度收入实现对去年全年收入超越。包含泉州三安滤波器在内，则实现收入 10.28 亿元。随着公司 H2 产能逐步释放，我们看好公司全年集成电路收入持续保持高增长。在客户进展方面，2021 上半年滤波器开拓 41 家客户（其中 17 家国内手机和通信模块客户），砷化镓射频累计客户近 100 家，光技术量产客户 104 家，碳化硅二极管上半年新开拓客户 518 家，出货客户超过 180 家，并有 2 款碳化硅二极管产品通过车载认证并送样行业标杆客户，其中，碳化硅 Mos 工业级产品送样验证，车规级正配合多家车企做流片设计及测试。

图 99：三安集成营收逐年增长（亿元），2021H1 超过 2020 全年营收



资料来源：Wind、天风证券研究所

砷化镓射频上半年扩产设备已逐步到位，产能达到 8,000 片/月，出货产品全面覆盖 2G-5G 手机 PA、WIFI 等应用领域，国内外客户累计近 100 家，已成为国内领先射频设计公司的主力供应商。随着后续扩产设备的逐步到位，产能不断提升，加上产品技术工艺不断成熟，高阶工艺导入及客户新流片增加，客户粘性将不断加强。滤波器 SAW 和 TC-SAW 产品已开拓客户 41 家，其中 17 家为国内手机和通信模块主要客户，产品已成功导入手机模块产业供应链。公司开发的自主知识产权温度补偿型滤波器，产品已经与国际厂商的同类产品性能相当，高品质、高性能的产品能快速导入客户端，目前已有多家手机终端厂商与公司接洽，随着手机终端厂商的直接导入以及公司产能的提升，未来在该领域的市场份额将进一步提升。

首条碳化硅 IDM 生产线投产，集成电路业务多轮驱动。今年 6 月 23 日，公司投资 160 亿元的一座全产业链超级工厂正式投产，月产量可达 30,000 片 6 寸碳化硅晶圆。公司长沙工厂具备由上游衬底至下游器件的能力，当下拥有碳化硅晶圆制造能力的工厂数量也屈指可数。公司建成了国内首条碳化硅垂直整合产业链，对下游企业的议价能力较强，在新能源汽车快速提高渗透率的浪潮中，碳化硅市场将快速成长，公司预计将显著受益。

图 100：三安光电在氮化镓的应用领域

Technology	Process	Application
GaN RF	0.45 um GaN/SiC /0.25 um GaN/SiC /0.15 um GaN/SiC	无线通讯基站, 有线电视, Wimax 5G基站, 卫星通讯, V-SAT等 高速数据通讯, 5G基站等
汽车雷达 (20-27/76-81 GHz)	V-SAT (12-40 GHz)	通讯卫星 (13-14 GHz)
4G基站 (0.8-2.7 GHz)	有线电视 (<1 GHz)	天次星广播 (73-280 GHz)
Wimax (2.3-4.9 GHz)		
700MHz	2GHz	5GHz
	8GHz	12GHz
		20GHz
		>40GHz

资料来源：三安光电公司官网、天风证券研究所

7.2. 闻泰科技：持续高质量研发，新型化合物半导体迎来广阔空间

积极布局第三代半导体，氮化镓已通过车规认证测试并实现量产。随着汽车电气化、5G通信、工业互联网市场的不断增长，GaN、SiC 的第三代半导体技术应用正越来越广泛。安世半导体在行业推出领先性能的第三代半导体氮化镓功率器件 (GaN FET)，目标市场包括电动汽车、数据中心、电信设备、工业自动化和高端电源，特别是在插电式混合动力汽车或纯电动汽车中，氮化镓技术是其使用的牵引逆变器的首选技术。目前公司的 650V 氮化镓 (GaN) 技术，已经通过车规级测试，2021 年将开始交付给汽车客户。碳化硅 (SiC) 产品目前已经交付了第一批晶圆和样品。目前氮化镓已推出硅基氮化镓功率器件 (GaN FET)，已通过车规认证测试并实现量产，碳化硅技术研发也进展顺利，碳化硅二极管产品已经出样。

与联合汽车电子有限公司就氮化镓领域达成深度合作绑定，为客户提供更为先进和高效的新能源汽车电源系统解决方案。据安世半导体的高层表示：新能源汽车电源系统有望在未来主导半导体器件持续增长的市场需求，硅基氮化镓场效应晶体管的功率密度和效率将在汽车电气化应用中发挥关键作用。2021 年 3 月 11 日，闻泰科技全资子公司、全球功率半导体领先企业安世半导体宣布与国内汽车行业龙头企业联合汽车电子有限公司(简称 UAES)在功率半导体氮化镓(GaN)领域展开深度合作，旨在满足未来对新能源汽车电源系统不断提升的技术需求，并共同致力于推动 GaN 工艺技术在中国汽车市场的研发和应用。

子公司安世半导体在 GaN 产品应用和生产制造方面都领先行业。2019 年 11 月安世半导体发布首款 GaNFET，如今安世半导体的 GaN 功率器件已达到行业领先水平，未来有望持续布局新型化合物领域，提供更多高性能产品。

表 12：安世半导体核心技术先进性

序号	核心技术	应用阶段	技术先进性
1	双极性晶体管和二极管及 ESD 保护器件领域	大规模量产	在双极性晶体管和二极管领域，该领域已历经 60 多年发展，客户的需求主要在于性能参数的不断完善升级、随着产品微型化后对封装技术的要求升级。安世集团在该领域处于领先地位，通过先进的封装技术提高尺寸性能比、降低功耗、减少热量产生。在 ESD 保护器件领域，随着高速的数据速率相互连接，新设备和媒体应用程序无处不在、系统芯片的静电放电灵敏度正在不断提高；安世集团的 ESD 保护器件能充分满足客户对于元器件的保护需求。
2	逻辑器件领域	大规模量产	在逻辑器件领域，已有传统逻辑器件基的基础上，持续研发满足创新应用领域的逻辑器件需求。
3	MOSFET 器件领域	大规模量产，新技术持续研发	在满足基于已有的传统汽车领域的半导体元器件需求的基础上，安世集团持续研发符合汽车动力系统电子化需求的半导体元器件，并推出行业领先性能的高效率氮化镓功率器件 (GaN FET)，安世集团的氮化镓技术已经可以量产，并能够灵活的扩产。

资料来源：闻泰科技公司公告、天风证券研究所

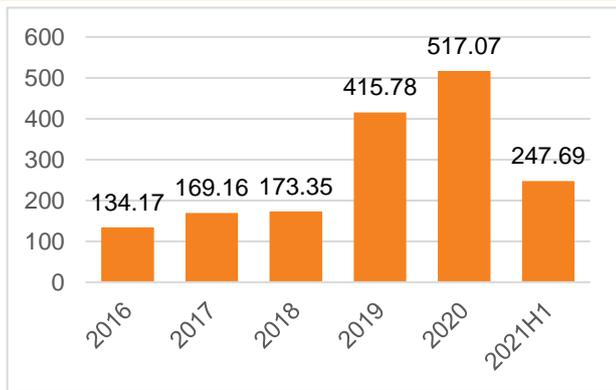
加码 GaN 产品研发，联合行业伙伴全力推动汽车领域增长。2020 年安世宣布与 Ricardo 建立合作伙伴关系，为基于氮化镓技术制成的电动汽车逆变器研发技术验证机，2021 年 4 月，安世半导体推出符合汽车 AEC-Q101 标准的新一代 GaN 产品，更好的应对高温、高湿、高效率、高振动环境及高功率密度的需求；2021 年 3 月，安世宣布与联合汽车电子（UAES）就氮化镓半导体达成全面合作伙伴关系，将共同开发使用 GaN 技术的电动汽车电源系统解决方案，打造基于 GaN 工艺的联合实验室。

图 101：安世半导体 GaN FET 系列产品

精选产品	描述
GAN063-650WSA	650 V、50 mΩ氮化镓(GaN) FET，采用TO-247封装
GAN041-650WSB	650 V、35 mΩ氮化镓(GaN) FET，采用TO-247封装
GAN039-650NBB	650 V、33 mΩ氮化镓(GaN) FET，采用CCPAK1212封装
GAN039-650NTB	650 V、33 mΩ氮化镓(GaN) FET，采用CCPAK1212封装
GAN039-650NBBA	650 V、33 mΩ氮化镓(GaN) FET，采用CCPAK1212封装
GAN039-650NTBA	650 V、33 mΩ氮化镓(GaN) FET，采用CCPAK1212封装

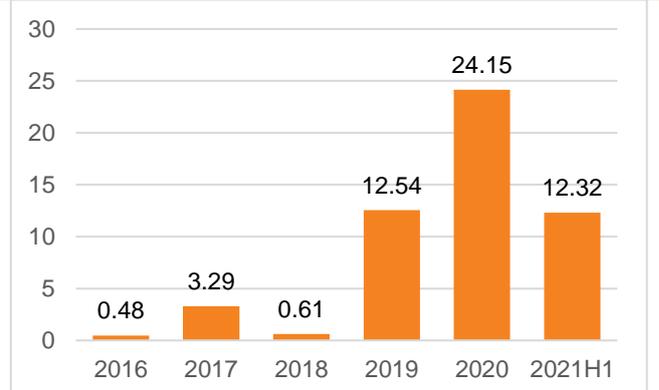
资料来源：闻泰科技公司官网，天风证券研究所

图 102：闻泰科技营收情况（亿元）



资料来源：Wind、天风证券研究所

图 103：闻泰科技归母净利润情况（亿元）



资料来源：Wind、天风证券研究所

2021 半年度实现营业收入 247.69 亿元，同比增长 3.91%，实现归母净利润 12.32 亿元，同比减少 27.56%。其中，半导体业务 2021 年 H1 实现营收 67.73 亿元，毛利率 35.06%，实现净利润 13.10 亿元，同比增长 234.52%。盈利能力达到历史最高水平，半导体业务仍然保持快速增长态势。经营整合的协同效应推动安世集团进入了发展的历史新阶段。2021 上半年以来，面对全球疫情的反复，公司进一步加快经营管理效率的提升。并在产品普遍涨价的背景下加大研发优化产品结构，加强高毛利率产品包括逻辑、模拟、功率 Mos 等的产能和料号扩充，目前 100V 以上的 Mosfet 料号已经超过 100 种，进一步弱化了价格因素对公司业务的影响，保障长期增长的基础。在产品价格方面，公司一方面积极强化同汽车客户、工业客户、消费电子客户更紧密的合作关系，同时因应市场供需紧张的局面，向主要 MassMarket 经销商的销售价格在 2020 年四季度价格相对稳定的基础上，在 2021 年以来实施了分批次涨价，主要涨价产品包括标准逻辑与模拟、小型号二极管/三极管，功率二极管/三极管、Mosfet 等。公司将继续抓好生产，保障客户稳定供应。

图 104：闻泰科技毛利率、净利率情况



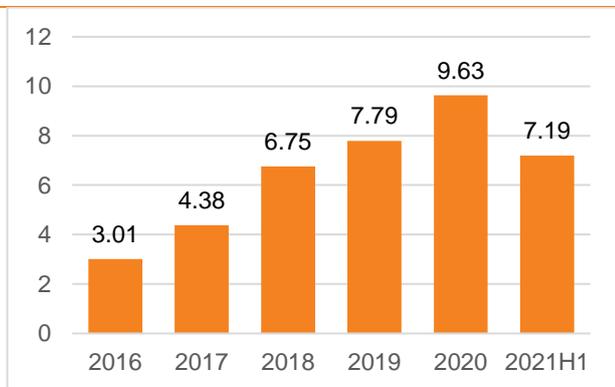
资料来源：Wind、天风证券研究所

7.3. 斯达半导体：加码布局碳化硅功率芯片，加速国产替代提升核心竞争力

斯达半导体将以 IGBT 技术为基础，不断突破和积累下一代以 SiC、GaN 器件为代表的宽禁带功率半导体器件的关键技术，大力发展车规级功率器件。2021 年 8 月公司宣布投资 5 亿元在 SiC 芯片研发及产业化项目；2021 年 3 月公司宣布投资 20 亿元与高压特色工艺功率芯片和 SiC 芯片研发及产业化项目。

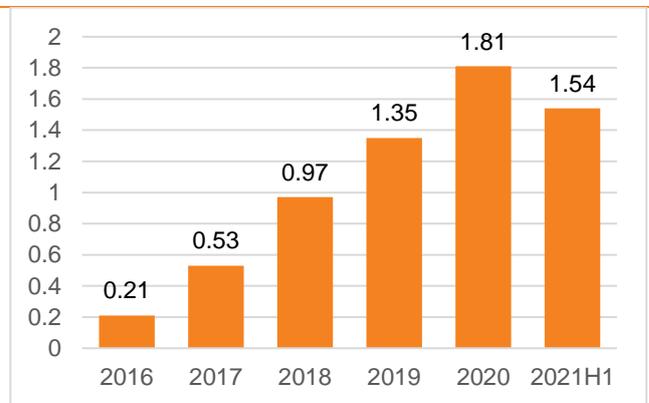
斯达半导体近期多次加码布局碳化硅功率芯片，布局蓬勃发展的新能源汽车市场，加速国产替代提升核心竞争力。斯达微电子依托母公司在功率半导体的技术积累，向碳化硅芯片研发及产业化领域拓展，目前在 600V/650V、1200V、1700V 等中低压 IGBT 芯片已经实现国产化，但是 SiC 芯片仍依赖进口，急需国产化以提高公司的竞争力。为此，公司拟采用先进技术和设备，实施 SiC 芯片研发及产业化项目，产品由企业自主研发，具有完全自主知识产权，各项指标均达到国外同类产品技术要求，部分指标优于进口产品。

图 105：斯达半导体营收（亿元）稳步上升



资料来源：Wind、天风证券研究所

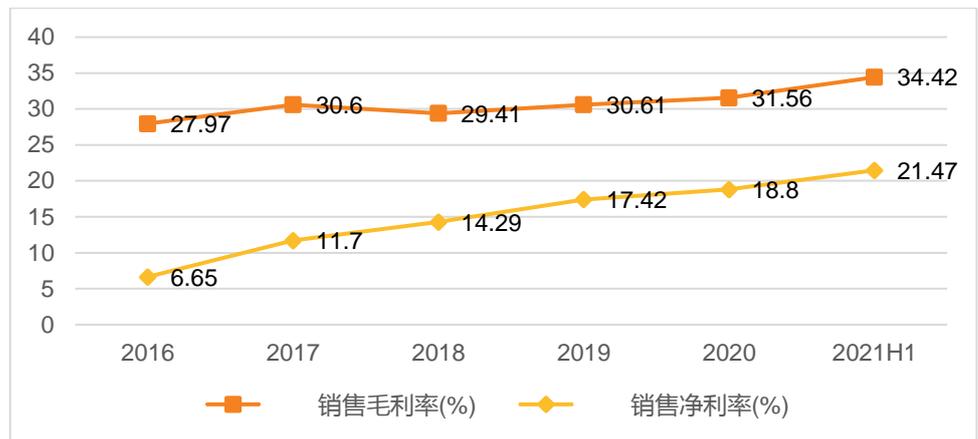
图 106：斯达半导体净利润（亿元）稳步上升



资料来源：Wind、天风证券研究所

公司 2021 年上半年实现营业收入 7.19 亿元，同比增长 72.62%，实现归母净利润 1.54 亿元，同比增长 90.88%。公司财务情况良好，净利润及营收逐年提升，同时毛利率与净利润也稳步上升，2021H1 再创新高，达到 34.42% 的毛利率及 21.47% 的净利润率。

图 107：斯达半导体毛利率、净利润率稳步上升



资料来源：Wind、天风证券研究所

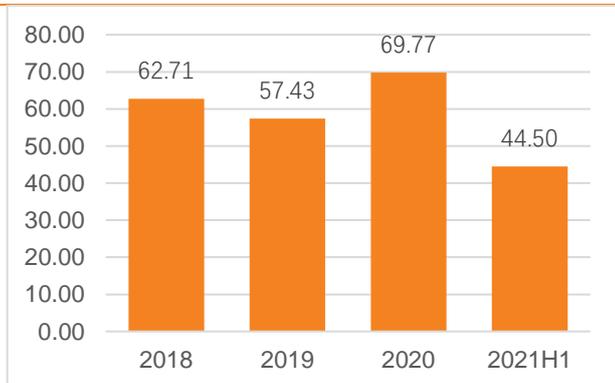
公司将持续发力新能源汽车及燃油汽车半导体器件市场，为高端车型提供成熟的车规级 SiC 模块。2020 年，公司继续布局宽禁带功率半导体器件。在机车牵引辅助供电系统、新能源汽车行业控制器、光伏行业推出的各类 SiC 模块得到进一步的推广应用。公司应用于新能源汽车的车规级 SiC 模块获得国内外多家著名车企和 Tier1 客户的项目定点，将对公司 2022 年-2028 年车规级 SiC 模块销售增长提供持续推动力。未来公司将持续发力新能源汽车及燃油汽车半导体器件市场，在新能源汽车用驱动控制器领域为客户提供全功率段的车规级 IGBT 模块，并为高端车型提供成熟的车规级 SiC 模块，完善辅助驱动和车用电源市场的产品布局；在燃油车用汽车电子市场，依托 48V BSG 功率组件，开发更多的燃油用车规级功率器件。

7.4. 华润微：旗下国内首条 6 英寸商用 SiC 晶圆生产线量产

旗下国内首条 6 英寸商用 SiC 晶圆生产线量产，充分利用 IDM 模式优势和在功率器件领域雄厚的技术积累开展 SiC 功率器件研发，向市场发布第一代 SiC 工业级肖特基二极管(1200V、650V)系列产品，国内首条 6 英寸商用 SiC 晶圆生产线正式量产。公司中低压功率 SGT MOSFET 产品实现关键核心技术突破，器件性能达到对标产品的国际先进水平。公司完成光电高压可控硅成品平台研发，推出过零触发和随机相位触发等多颗产品。MEMS 硅麦克风工艺平台从 6 英寸升级到 8 英寸，首颗代表产品参数达标。

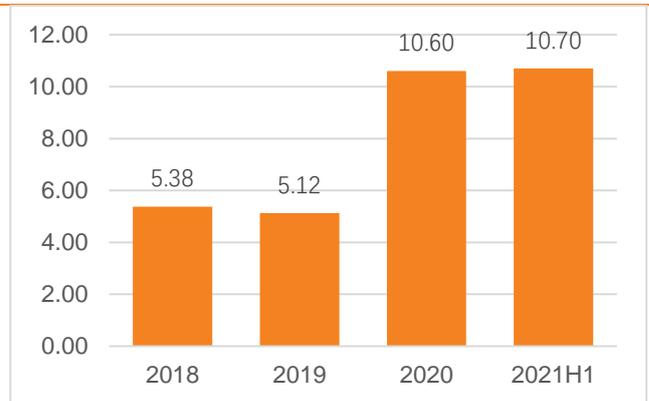
积极布局和拓展碳化硅业务及供应链，公司通过华润微电子控股有限公司与国内领先的碳化硅外延晶片企业-瀚天天成电子科技（厦门）有限公司达成《增资扩股协议》，增资后公司持有瀚天天成 3.2418%的股权，通过资本合作和业务合作积极带动 SiC 业务的发展和布局。

图 108：华润微营收（亿元）情况



资料来源：Wind、天风证券研究所

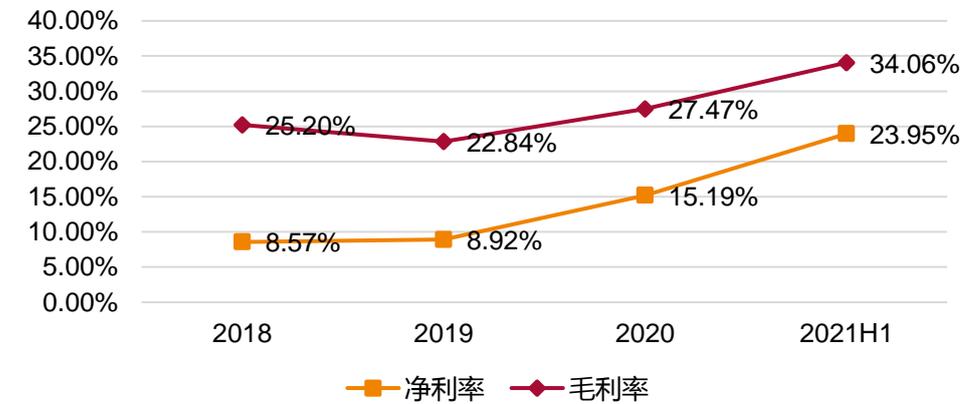
图 109：华润微归母净利润（亿元）情况



资料来源：Wind、天风证券研究所

华润微营收快速增长，毛利率大幅提升。公司上半年实现营收 44.5 亿元，同比增长 45%，归母净利润 10.7 亿元，同比增长 165%。其中二季度单季实现营收 24.1 亿元，归母净利润 6.7 亿元。受益于产能利用率和价格提升，上半年毛利率 34.1%，同比增长 6.8 个百分点。

图 110：华润微毛利率、净利率情况

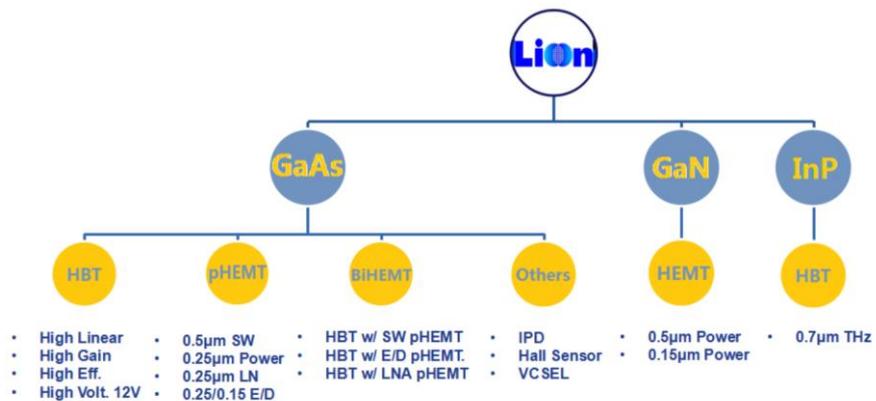


资料来源：Wind、天风证券研究所

7.5. 立昂微: GaN 芯片产能爬坡，规模化生产正当时

杭州立昂东芯是专业从事砷化镓/氮化镓微波射频芯片研发与制造的公司，在国内较早建成了商业化射频芯片生产线，目前客户群已经具备，技术已经突破，正处于产能和销量爬升的阶段。

图 111：立昂东芯技术路线



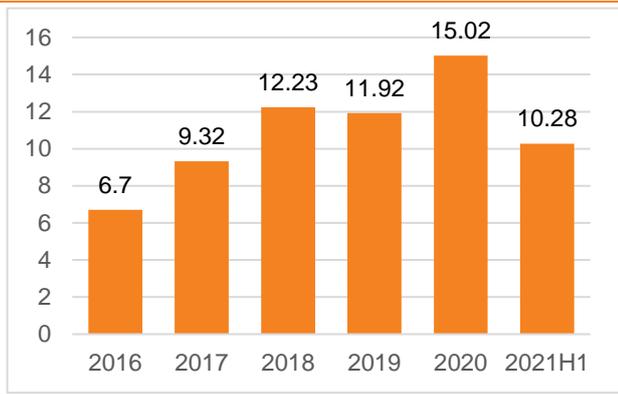
资料来源：立昂微公司官网、天风证券研究所

投资子公司，布局年产 36 万片 6 英寸砷化镓/氮化镓微波射频集成电路芯片。2021.1 月立昂微子公司立昂东芯项目总投资约 43 亿元，其中设备投资 36.05 亿，土地及生产、动力、环境等各类厂房投资 3.8 亿，流动资金和其他配套投资 3.15 亿。建成后预计年产 36 万片 6 英寸砷化镓/氮化镓微波射频集成电路芯片。其中包括年产 18 万片砷化镓 HBT 和 pHEMT 芯片，年产 12 万片垂直腔面发射激光器 VCSEL 芯片，年产 6 万片氮化镓 HEMT 芯片。该项目由海宁公司在五年内分阶段实施，其中第一阶段工程 18 万片/年，第二阶段工程 18 万片/年。

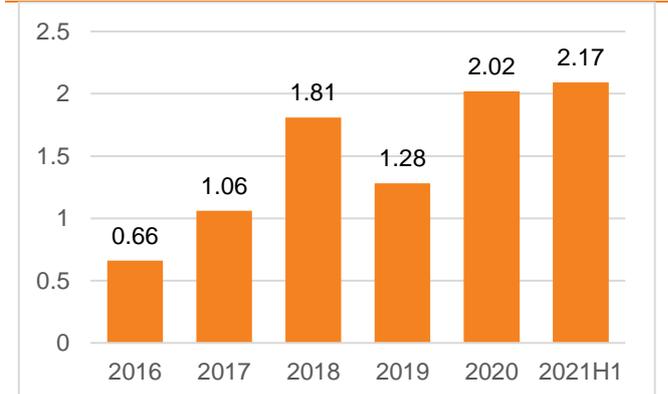
公司盈利能力稳步提升，公司 2021H1 净利润预计为 21,728.18 万元，同比增长 152.54%。

图 112：立昂微营收（亿元）稳步上升

图 113：立昂微净利润（亿元）稳步上升



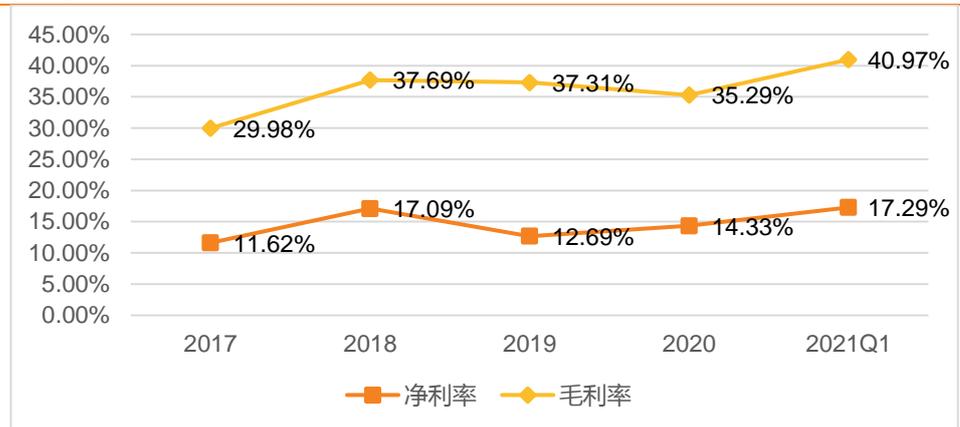
资料来源: Wind、天风证券研究所



资料来源: Wind、天风证券研究所

公司 2021H1 实现营业收入 10.28 亿元, 同比增长 58.57%, 实现归母净利润 2.09 亿元, 同比增长 174.21%。公司整体营收及净利润稳步上升。器件产品的应用端光伏新能源行业、新能源汽车行业市场景气度有显著提升, 对公司生产的高端器件产品的需求持续增加, 虽然产能有较大提升, 但仍难以满足市场的旺盛需求, 供不应求态势明显。公司依据市场供需状况对半导体硅片、半导体功率器件芯片实施了涨价, 直接增加了公司上半年的经营业绩。

图 114: 立昂微毛利率、净利率情况



资料来源: Wind、天风证券研究所

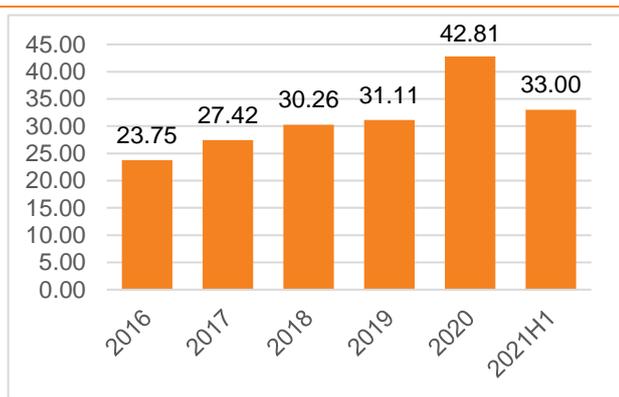
7.6. 士兰微: IGBT 产品营收再创新高, SiC 中试线实现通线

产品线不断丰富, IGBT 产品营收再创新高。公司建立了可持续发展的产品和技术研发体系, 其中包括以 IGBT 等为代表的功率半导体产品。在工艺技术平台研发方面, 公司依托于已稳定运行的 5、6、8 英寸芯片生产线和正在建设的 12 英寸芯片生产线和先进化合物芯片生产线, 建立了新产品和新工艺技术研发团队, 完成了国内领先的超薄片槽栅 IGBT 工艺研发。2020 年, 基于公司自主研发的 V 代 IGBT 和 FRD 芯片的电动汽车主电机驱动模块, 已通过部分客户测试并开始小批量供货。2020 年, 公司 IGBT 产品 (包括器件和 PIM 模块) 营业收入突破 2.6 亿元, 较上年同期增长 60% 以上。

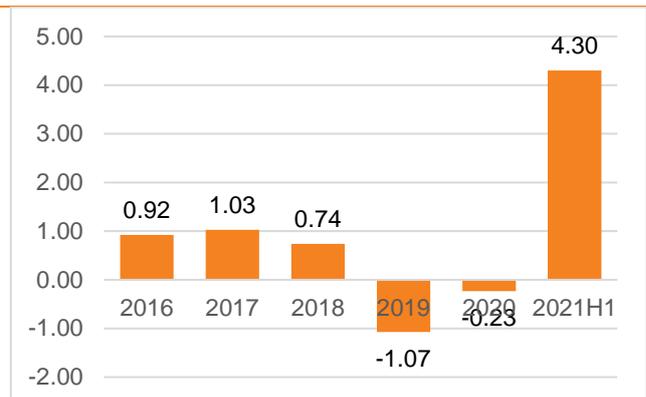
GaN 研发持续推进, SiC 中试线实现通线: 2021 年上半年, 公司硅基 GaN 化合物功率半导体器件的研发在持续推进中, 公司 SiC 功率器件的中试线已在二季度实现通线。未来士兰微将在化合物功率半导体器件的研发上继续加大投入, 尽快推出硅基 GaN 功率器件以及完整的应用系统; 同时加快 SiC MOSFET 功率器件的研发, 尽快推出自产芯片的车用 SiC 功率模块。

图 115: 士兰微营收 (亿元) 情况

图 116: 士兰微净利润 (亿元) 情况



资料来源: Wind、天风证券研究所



资料来源: Wind、天风证券研究所

士兰微上半年收入 33 亿元, 同比增长 94%。归母净利润创历史新高高达 4.3 亿元, 同比增加 1306%。公司营业利润和利润总额均扭亏为盈, (1) 2021 年上半年公司子公司士兰集昕公司 8 英寸芯片生产线保持较高水平的产出, 芯片产量较去年同期有较大幅度的增长, 产品综合毛利率提高至 18.35%, 亏损大幅度减少; (2) 公司子公司士兰明芯公司 LED 芯片生产线基本处于满负荷生产状态, LED 芯片产量较去年同期有较大幅度的增长, 产品综合毛利率提高至 6.87%, 亏损大幅度减少; (3) 士兰微(母公司) 集成电路和分立器件产品销量较去年同期大幅度增长, 产品毛利率提高至 23.94%, 营业利润大幅度增长

图 117: 士兰微毛利率、净利率情况



资料来源: Wind、天风证券研究所

7.7. 华虹半导体: IGBT 在 12 英寸实现规模量产

华虹半导体在 IGBT 制造领域拥有深厚经验, 技术先进、量产产品种类繁多, 前瞻布局新技术以适应增长性需求。华虹半导体作为全球首家提供场截止型 (FS, Field Stop) IGBT 量产技术的 8 英寸晶圆代工企业, 在 IGBT 制造领域具有深厚经验, 无论是导通压降、关断损耗还是工作安全区、可靠性等目前均达到了国际领先水平。公司拥有先进的全套 IGBT 薄晶圆背面加工工艺。华虹半导体量产的 IGBT 产品系列众多, 电压涵盖 600V 至 1700V, 电流从 10A 到 400A, 产品线逐渐从民生消费类跨入工业商用、新能源汽车等领域。除了追求高压功率器件所需的更高功率密度和更低损耗, 公司正在开发片上集成传感器的智能化 IGBT 工艺技术与更高可靠性的新型散热 IGBT 技术, 以更好地服务全球市场对 IGBT 产品的增长性需求。

华虹半导体是全球首家同时在 8 英寸与 12 英寸生产线量产先进型沟槽栅电场截止型 IGBT 的纯晶圆代工企业。2019 年公司在无锡顺利投产的 12 英寸厂在 2021 年上半年一切进展顺利, 产能利用率保持高位。在保证现有产能持续稳定供应并不断扩增产能的情况下, 仍然保持服务质量的不断精进, IGBT 在 12 英寸实现规模量产, 更好地支持客户产能需求。公司分立器件 2021 上半年业绩同比增长 40%, 其中 IGBT 表现亮眼, 出货量同比增长 121%。

2021 年 H1 业绩表现亮眼。2021 年 1-6 月，公司实现营业收入 6.59 亿元，同比增长 51.55%；扣除非经常性损益后归属于母公司所有者的净利润 7622.20 万元，同比增长 193.52%。

图 118：公司营业总收入与同比增长情况



资料来源：wind、天风证券研究所

图 119：扣非归母净利润与同比增长情况



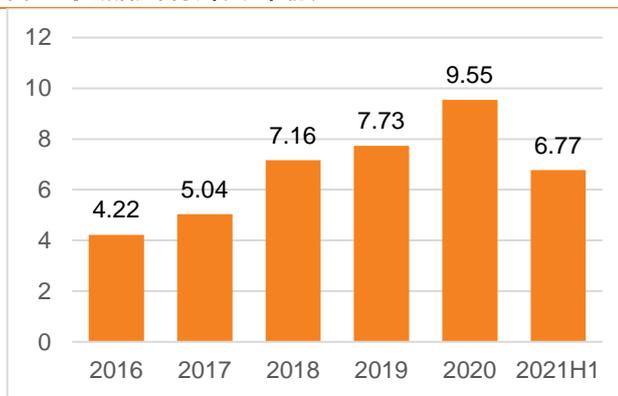
资料来源：wind、天风证券研究所

7.8. 新洁能：国内 IGBT 等半导体功率器件市占率排名前列

2021 年 H1，公司 IGBT 业务实现一系列进展，IGBT 产品营收强劲增长。2021 年上半年，12 寸的 1200V IGBT 目前有五个系列的不同特性的 IGBT 产品量产；针对工业变频和工业逆变的 1200V IGBT 功率集成模块（PIM）陆续产出，并形成批量销售；专门针对光伏储能市场的开发的低损耗高频 IGBT 系列产品已经通过多家行业代表客户测试，并接到客户批量订单。借助于公司核心供应商华虹宏力的 8+12 英寸先进的特色工艺，公司上半年 IGBT 取得了长足发展，目前在光伏逆变、储能逆变（UPS）、工控、电动工具马达驱动、家电变频控制等行业都获得突破性进展，与相关行业头部企业都展开了紧密合作。此外公司的 IGBT 模块自二季度推出相关产品后，已经取得了部分客户的订单。2021 年上半年，公司 IGBT 产品实现销售收入 2,642.22 万元，相比去年同期增长了 1114.60%。

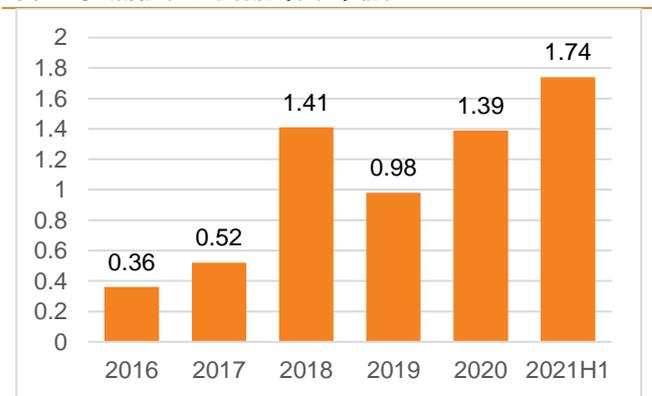
第三代半导体功率器件平台：目前 1200V 新能源汽车用 SiC MOSFET 和 650V PD 电源用 GaN HEMT 在境内外芯片代工厂的处于流片验证阶段，进展顺利。**驱动 IC 产品平台：**为了更好的满足终端客户对功率器件及整体解决方案的需求，公司已立项研发用于控制和驱动功率开关器件（MOSFET/IGBT/SiC MOSFET/GaN HEMT）的 IC 系列产品，目前已完成 IC 研发团队的组建，并与多家芯片代工厂建立了合作关系，已开发数款 IC 产品，相关产品处于客户验证阶段，预计该类产品将成为公司新的业绩增长点。

图 120：新洁能营收（亿元）情况



资料来源：Wind、天风证券研究所

图 121：新洁能归母净利润（亿元）情况



资料来源：Wind、天风证券研究所

新洁能上半年营业收入 6.77 亿元，同比增长 76.21%。归母净利润 1.74 亿元，同比增加 215.29%。2021 上半年，（1）受到疫情影响、电子元器件国产化加快、新兴应用领域兴起等因素的持续影响，功率半导体行业景气度日趋升高。（2）围绕市场需求、客户需求以及行业发展趋势，公司积极进行研发升级与产品技术迭代；（3）持续开发与维护供应链

资源，争取更多的产能支持；（4）优化市场结构、客户结构及产品结构，开拓新兴市场与开发重点客户，最终实现经营规模和经济效益的较好增长。

图 122：新洁能毛利率、净利率情况

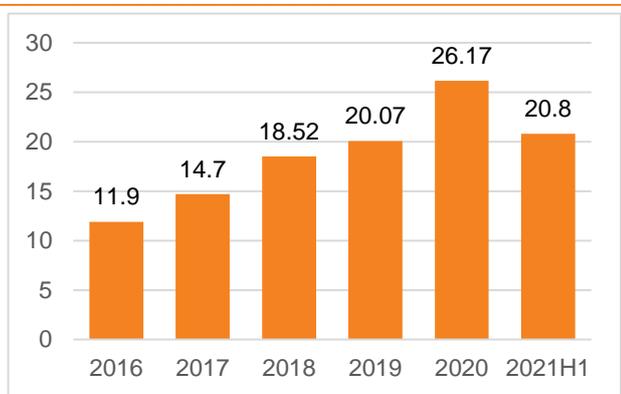


资料来源：Wind、天风证券研究所

7.9. 扬杰科技：瞄准 SiC 行业发展趋势，加强 SiC 功率器件等研发力度

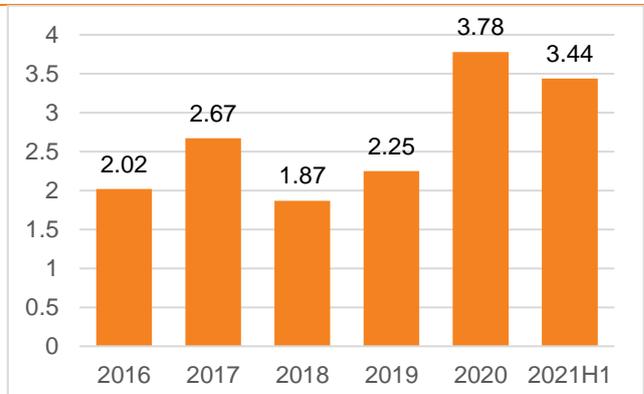
瞄准第三代半导体材料行业发展趋势，在碳化硅功率器件等产品研发方面加大力度，以进一步满足公司后续战略发展需求，现已成功开发并向市场推出碳化硅模块及 650V 碳化硅 SBD 全系列产品，1200V 系列碳化硅 SBD 及碳化硅 MOS 已取得关键性进展，为实现半导体功率器件全系列产品的一站式供应奠定坚实的基础。

图 123：扬杰科技营收（亿元）情况



资料来源：Wind、天风证券研究所

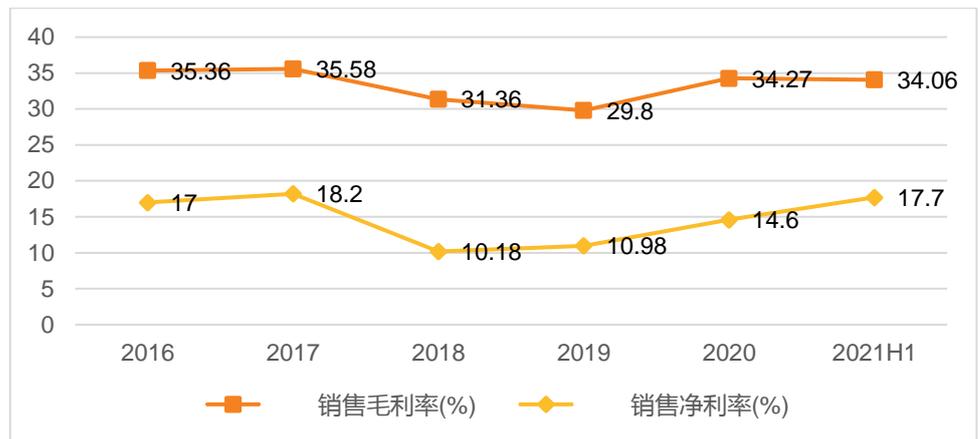
图 124：扬杰科技归母净利润（亿元）情况



资料来源：Wind、天风证券研究所

公司 2021H1 实现归母净利润 3.44 亿元，同比增长 138.57%。公司整体营收及净利润稳步上升。同时公司前期在研发上的大力投入逐步释放效益，新产品业绩突出。MOS、小信号、IGBT 及模块等产品的业绩同比增长均在 100%以上。

图 125：扬杰科技毛利率、净利率情况



资料来源: Wind、天风证券研究所

7.10. 赛微电子: 掌握业绩领先 SiC、GaN 外延技术, GaN 业务产能爬升迅猛

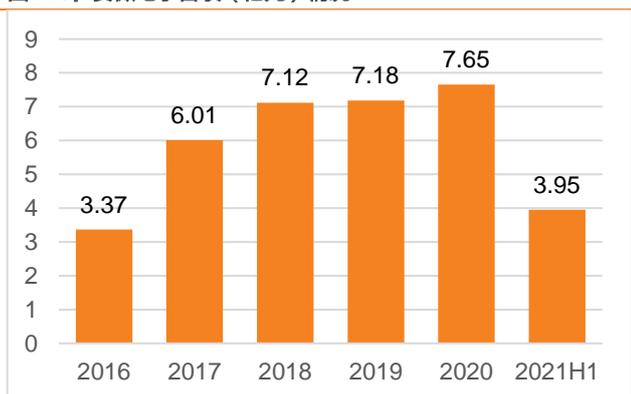
以研发为基础, 赛微电子掌握业界领先的 8 英寸硅基 GaN 外延与 6 英寸碳化硅基 GaN 外延生产技术, 由小规模试产转向量产。赛微电子自主掌握了 GaN 外延材料生长的工艺诀窍并积累了丰富的 GaN 功率及微波器件设计经验。目前, 公司已经就 GaN 外延材料产品签订了千万级销售合同, 并根据商业条款安排生产及交付。截至目前, 公司 GaN 外延晶圆和功率器件的订单金额合计已超过 3,000 万元人民币。

赛微电子通过投资设立全资子公司和参股联营等方式, 在与地方政府积极合作的基础上, 推动产能建设和产业链布局。公司半年报表明, 在 GaN 外延片方面, 公司已经建成 6-8 英寸的 GaN 外延材料制造项目(一期)的产能为 10000 片/年。目前在生产中遇到的困难主要来自产能供应端受限, 存在产能瓶颈问题。一方面, 公司通过签订批量流片合同以缓解产能瓶颈问题, 另一方面, 公司 GaN 业务子公司聚能创芯参股投资设立青州聚能国际。目标在 2021 年内建成 GaN 产线并做好投产准备, 以尽快推动产能建设, 完善 IDM 布局。

赛微电子与政府达成密切合作, 以推动其相关产业布局的实现, 助力公司进一步完善 GaN 业务的全产业链 IDM 布局。赛微电子与青州市人民政府于 2020 年 4 月签订的《合作协议》中, 青州市政府承诺于青州经济开发区提供租赁厂房, 支持新产线建设等等, 并提供税费优惠。项目一期建成后将形成 6-8 英寸晶圆月产 5000 片的生产能力, 二期建成后产量将达 12,000 片/月。项目预计 2021 年底前做好投产前准备, 2022 年上半年投入生产, 一期产能投产达效后预计可新增年销售收入 5 亿元。

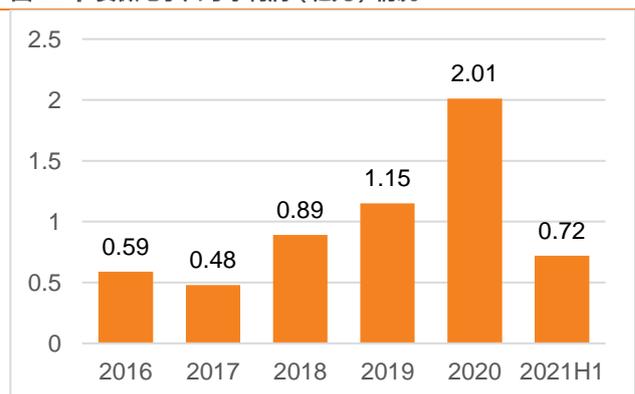
2021 年上半年, 公司实现营收 3.95 亿元, 同比增长 9.74%; 归母净利润 0.72 亿元, 同比增长 515.57%。

图 126: 赛微电子营收(亿元)情况



资料来源: Wind、天风证券研究所

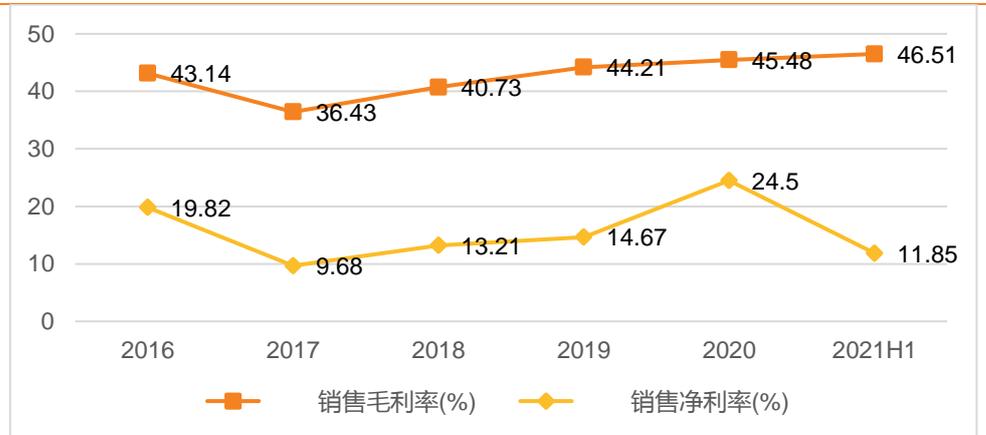
图 127: 赛微电子归母净利润(亿元)情况



资料来源: Wind、天风证券研究所

赛微电子上半年营业收入 3.95 亿元，同比增长 9.74%。归母净利润 0.72 亿元，同比增加 515.57%。主要业绩驱动因素为 MEMS 业务。公司子公司瑞典 Silix 是全球领先的纯 MEMS 代工企业且产能持续扩充，子公司赛莱克斯北京已建成规模化 MEMS 代工能力并正式投产。

图 128：赛微电子毛利率、净利率情况

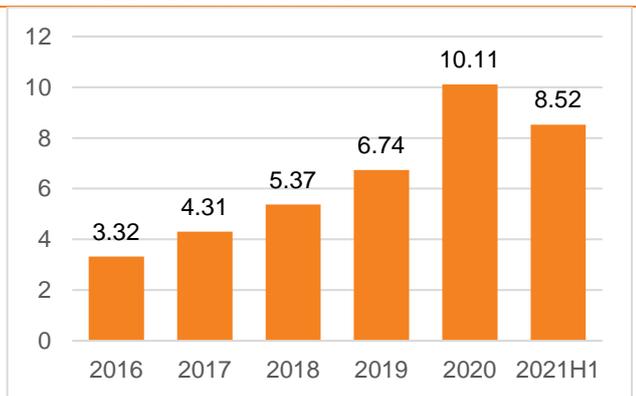


资料来源：Wind、天风证券研究所

7.11. 捷捷微电：与研究所合作研发第三代半导体相关技术

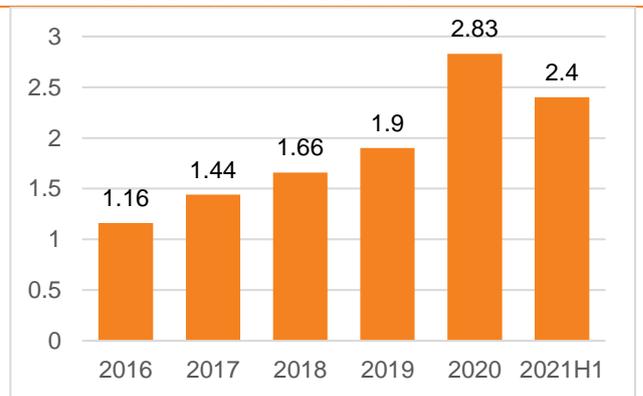
公司已与中科院微电子研究所、西安电子科大合作研发以 SiC、GaN 为代表第三代半导体材料的半导体器件，具有耐高压、耐高温、高速和高效等优点，可大幅降低电能变换中的能量损失，大幅减小和减轻电力电子变换装置，是当前新型电力电子器件的研发主流，其相关技术与产品在工业传动、军工、铁路、智能电网柔性输变电、消费电子、无线电力传输等领域，以及智能汽车及充电桩、太阳能发电、风力发电等新能源领域具有广阔的市场，宽禁带电力电子器件产品将是未来电力电子技术的重要价值增长点。

图 129：捷捷微电营收（亿元）情况



资料来源：Wind、天风证券研究所

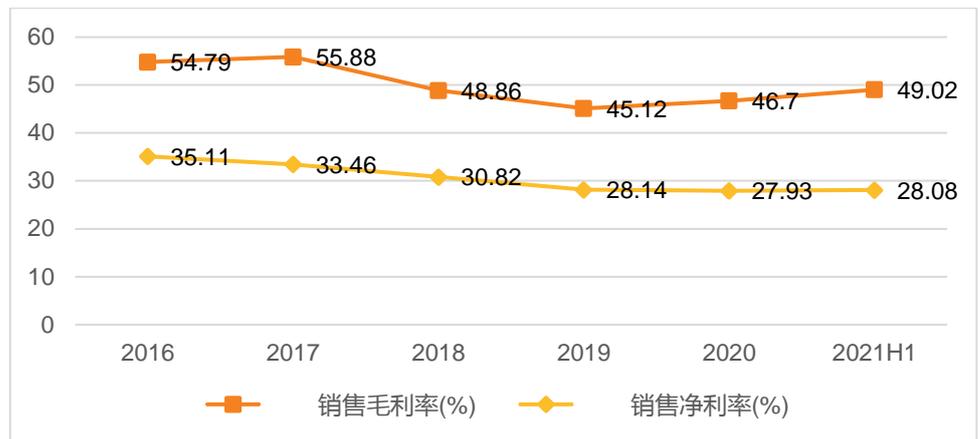
图 130：捷捷微电归母净利润（亿元）情况



资料来源：Wind、天风证券研究所

捷捷微电上半年营业收入 8.52 亿元，同比增长 109.03%。归母净利润 2.4 亿元，同比增加 105.21%。2021 年上半年，公司拥有的核心技术与研发能力、产品质量控制能力以及全行业覆盖的市场与销售体系仍是公司立足行业领先地位的核心竞争力。

图 131：捷捷微电毛利率、净利率情况

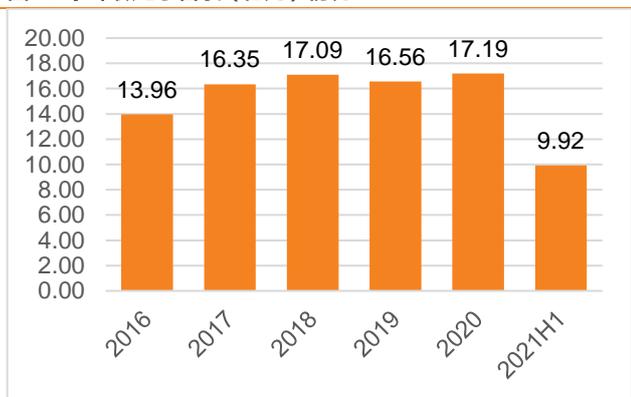


资料来源：Wind、天风证券研究所

7.12. 华微电子：积极布局第三代半导体器件技术

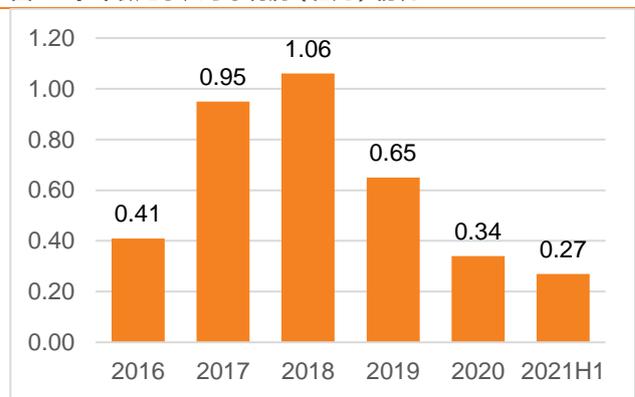
公司正在积极布局以 SiC 和 GaN 为代表的第三代半导体器件技术，重点推进 SiC SBD 产品和 650V GaN 的开发。作为首家国内功率半导体器件领域上市公司，华微公司坚持生产一代、储备一代、研发一代的技术开发战略，早已积极布局以 SiC 和 GaN 为代表的第三代半导体器件的研发、制造。目前 SiC 产品已经可以提供二极管产品、GaN 器件可以提供快充使用的 FET。华微电子表示，下一步，将进一步发挥公司的 IDM 模式的优势，集中精力研究三代半导体的关键技术和应用技术，完善相关生产线开发和制造能力，为消费类、工业类和汽车电子领域提供优异的三代半导体电力电子器件。

图 132：华微电子营收（亿元）情况



资料来源：Wind、天风证券研究所

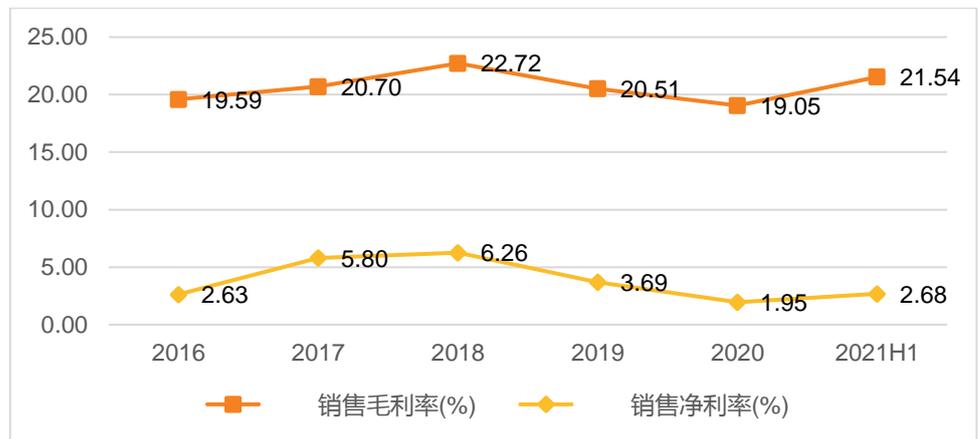
图 133：华微电子归母净利润（亿元）情况



资料来源：Wind、天风证券研究所

2021 年上半年公司实现营业收入 9.92 亿元，同比增长 23.45%；实现归属于上市公司股东的净利润 0.27 亿元，同比上升 43.59%。2021 年上半年，公司紧紧抓住国产化替代契机，充分发挥自身产品、技术优势，加大产品研发投入和市场推广力度，实现了公司产品在中高端市场的规模化应用。

图 134：华微电子毛利率、净利率情况



资料来源：Wind、天风证券研究所

7.13. 时代电气：IGBT 技术达国际先进水平，应用于轨道交通和电网

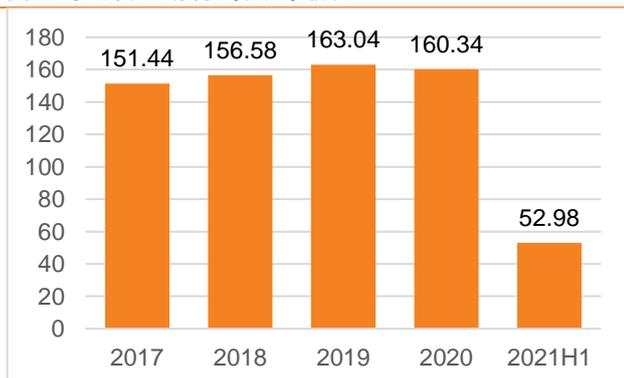
突破 IGBT 关键核心技术，打破轨道交通和特高压输电关键器件由国外企业垄断的局面。公司一直以来致力于功率半导体技术的自主研究，目前已成长为我国功率半导体领域集器件开发、生产与应用于一体的代表企业，主要产品覆盖双极器件、IGBT 和 SiC 等。在功率半导体器件领域，公司建有 6 英寸双极器件、8 英寸 IGBT 和 6 英寸碳化硅的产业化基地，拥有芯片、模块、组件及应用的全套自主技术。公司生产的全系列高可靠性 IGBT 产品打破了轨道交通核心器件和特高压输电工程关键器件由国外企业垄断的局面，目前正在解决我国新能源汽车核心器件自主化问题。

IGBT 技术达到国家先进水平，产品广泛应用于轨道交通、电网和新能源汽车行业。公司在 IGBT 领域的技术经湖南省科技厅及组织的专家评审团评估，成果总体技术达到国际领先水平。在轨道交通行业，公司的高压 IGBT 产品大量应用于我国轨道交通核心器件领域；在输配电行业，公司生产的 3300V 等系列 IGBT 批量应用于柔性直流输电、百兆级大容量电力系统，为我国柔性输配电工程的建设提供核心技术保障；在新能源汽车行业，公司最新一代产品已向国内多家龙头汽车整车厂送样测试验证，有助于构建我国新能源汽车核心器件自主技术及产业化体系。

部分 SiC SBD、MOSFET 产品已得到应用。公司建有 6 英寸双极器件、8 英寸 IGBT 和 6 英寸碳化硅的产业化基地，拥有芯片、模块、组件及应用的全套自主技术，除双极器件和 IGBT 器件在输配电、轨道交通、新能源等领域得到广泛应用外，公司的“高性能 SiC SBD、MOSFET 电力电子器件产品研制与应用验证”项目已通过科技成果鉴定，实现了高性能 SiC SBD 五个代表品种和 SiC MOSFET 三个代表品种，部分产品已得到应用。

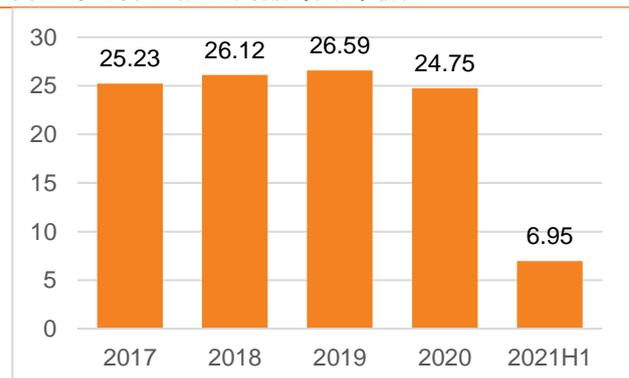
2021 年上半年公司实现营业收入 52.98 亿元，同比下降 4.88%；实现归属于上市公司股东的净利润 6.95 亿元，同比上升 1.03%。

图 135：时代电气营收（亿元）情况



资料来源：Wind、天风证券研究所

图 136：时代电气归母净利润（亿元）情况



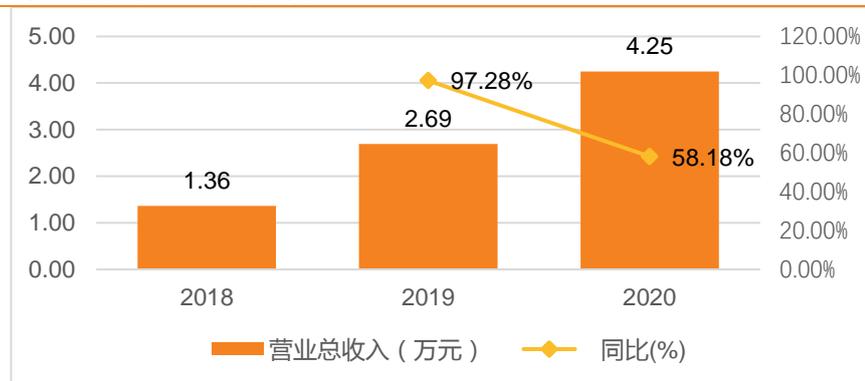
资料来源：Wind、天风证券研究所

7.14. 天岳先进：国内领先第三代半导体碳化硅衬底材料制造商

天岳先进主要从事宽禁带半导体（第三代半导体）碳化硅衬底材料的研发、生产和销售，产品可应用于微波电子、电力电子等领域。目前，公司主要产品包括半绝缘型和导电型碳化硅衬底。公司已掌握涵盖了设备设计、热场设计、粉料合成、晶体生长、衬底加工等环节的核心技术，自主研发了不同尺寸半绝缘型及导电型碳化硅衬底制备技术。截至2020年末，公司拥有授权专利286项，其中境内发明专利66项，境外发明专利1项。通过数千次的研发及工程化试验，公司核心技术不断创新，所制产品已达到国内领先、国际先进水平。

2018-2020年，公司主营业务收入金额及占比持续提高，分别为8,502.15万元、18,635.93万元和34,919.17万元，2019年及2020年分别较上年度增长119.19%和87.38%，主要由于公司半导体级碳化硅衬底销量和收入持续增长。

图 137：公司营业收入与同比增长状况



资料来源：wind、天风证券研究所

7.15. 凤凰光学：拟收购国盛电子和普兴电子，布局 SiC 外延材料

凤凰光学宣布将收购两家 SiC 外延相关企业。公告称公司拟筹划以发行 A 股股份的方式，100%购买南京国盛电子有限公司和河北普兴电子科技股份有限公司股权。

普兴电子是国内最大的硅基外延材料供应商，碳化硅外延材料已具备量产能力。2018年普兴电子就搭建了碳化硅外延生产和测试平台，2019年率先在河北省实现6英寸碳化硅外延片产业化，2020年开发了快速碳化硅外延生长工艺，单台设备产能提高20%以上。2021年8月，普兴电子正在建设“6英寸碳化硅外延以及8英寸硅外延生产基地”，总建筑面积约为63915.23 m²，投资总额1.8亿元，项目已由河北石家庄鹿泉经开区批准建设。招标信息显示，普兴的6英寸碳化硅外延片批量生产线年产能为6万片。

国盛电子是中电材料的控股子公司，国内优秀的硅外延、碳化硅外延生产服务供应商，主营产品包括碳化硅外延片（4英寸至6英寸）。9月27日，中电材料的“外延材料产业基地项目”签约落户江宁开发区，而实施单位正是国盛电子。该项目占地面积约10万平方米，分两期实施，其中一期将建设成立第三代化合物（SiC等）外延材料基地。

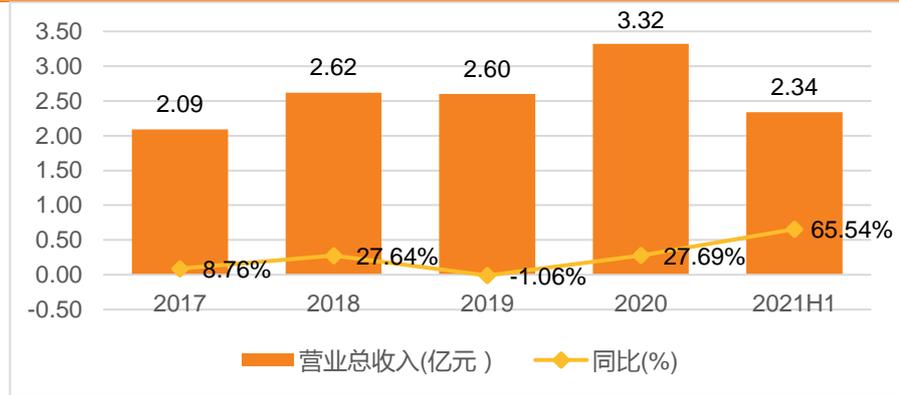
7.16. 宏微科技：自主设计研发 IGBT 芯片，参与制定国家相关标准

自主设计研发 IGBT 芯片，参与制定国家相关标准。宏微科技主要从事以 IGBT、FRED 为主的功率半导体芯片、单管、模块和电源模组的设计、研发、生产和销售，IGBT、FRED 单管和模块的核心是 IGBT 芯片和 FRED 芯片，公司拥有自主研发设计市场主流 IGBT 和 FRED 芯片的能力。公司积极组织或参与国家 IGBT 相关标准的制定，以及承担国家和省部级科技重大项目等。公司作为主要起草单位之一，制定了已实施的1项国家标准和10项团体标准，以及已发布即将实施的2项国家标准和尚未发布的5项 IGBT 相关行业标准。

2021H1 营收与归母净利润快速增长，彰显较强盈利能力。2021年1-6月，公司实现营业收入2.34亿元，同比增长65.54%；归属于母公司股东净利润为3,178.76万元，较上年

同期增加 2,116.39 万元，增长 199.21%；扣除非经常性损益后归属于母公司所有者的净利润 2,265.28 万元，较上年同期增加 1,405.87 万元，增长 163.59%。

图 138：公司营收和同比增长情况



资料来源：wind、天风证券研究所

8. 投资建议

投资建议：看好前瞻布局+高质量研发第三代半导体的优质龙头企业，推荐三安光电/闻泰科技/立昂微；关注斯达半导/华润微/士兰微/纳微半导体/华虹半导体/新洁能/扬杰科技/赛微电子/捷捷微电/华微电子/时代电气/天岳先进/凤凰光学/宏微科技

三安光电：化合物半导体业务多轮驱动，加速替代海外供应商

闻泰科技：持续高质量研发，新型化合物半导体迎来广阔空间

斯达半导：加码布局 SiC 功率芯片，加速国产替代提升核心竞争力

华润微：旗下国内首条 6 英寸商用 SiC 晶圆生产线量产

立昂微：GaN 芯片产能爬坡，规模化生产正当时

士兰微：IGBT 产品营收再创新高，SiC 中试线实现通线

纳微半导体：GaN 功率芯片设计领军者，推动下一代氮化镓技术发展

华虹半导体：IGBT 在 12 英寸实现规模量产

新洁能：国内 IGBT 等半导体功率器件市占率排名前列

扬杰科技：瞄准 SiC 行业发展趋势，加强 SiC 功率器件等研发力度

赛微电子：掌握业绩领先 SiC、GaN 外延技术，GaN 业务产能爬升迅猛

捷捷微电：与研究所合作研发第三代半导体相关技术

华微电子：积极布局第三代半导体器件技术

时代电气：IGBT 技术达国际先进水平，应用于轨道交通和电网

天岳先进：国内领先第三代半导体碳化硅衬底材料制造商

凤凰光学：拟收购国盛电子和普兴电子，布局 SiC 外延材料

宏微科技：自主设计研发 IGBT 芯片，参与制定国家相关标准

9. 风险提示

产业政策变化风险

第三代半导体属于国家重点鼓励、扶持的战略性新兴产业。为实现我国第三代半导体产业的快速发展，我国政府近年来出台了一系列产业扶持政策，以推动包括碳化硅晶体与晶片制造在内的第三代半导体产业链的发展。若未来国家相关产业政策支持力度减弱，将经营业绩和后续发展产生一定不利影响。

国际贸易争端加剧风险

近年来，伴随着全球产业格局的深度调整，贸易保护主义风潮不断加剧，以美国为代表的西方发达国家开始推动中高端制造业回流，对全球半导体产业的发展带来较大不确定性。如果相关国家（地区）对中国贸易争端进一步加剧，对第三代半导体相关产品限制进出口或提高关税，将对公司的产品销售、原材料采购和设备采购造成不利影响，从而影响生产经营和业务扩张。

下游行业发展不及预期导致的需求风险

随着全球第三代半导体的快速发展，近年来国内第三代半导体材料和器件需求旺盛。下游厂商对碳化硅器件的投资不断加大，也相应持续扩大产能，晶片供给能力不断提升。未来如下游器件研发或市场应用不及预期，将影响行业对碳化硅衬底材料的需求，可能面临产品售价下降、库存上升等风险，将对盈利能力产生不利影响。

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，本报告所表述的所有观点均准确地反映了我们对标的证券和发行人的个人看法。我们所得报酬的任何部分不曾与，不与，也将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。

一般声明

除非另有规定，本报告中的所有材料版权均属天风证券股份有限公司（已获中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）及其附属机构（以下统称“天风证券”）。未经天风证券事先书面授权，不得以任何方式修改、发送或者复制本报告及其所包含的材料、内容。所有本报告中使用的商标、服务标识及标记均为天风证券的商标、服务标识及标记。

本报告是机密的，仅供我们的客户使用，天风证券不因收件人收到本报告而视其为天风证券的客户。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但天风证券对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告中的信息、意见等均仅供客户参考，不构成所述证券买卖的出价或征价邀请或要约。该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。客户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，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专家的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，天风证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告出具日的观点和判断。该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。过往的表现亦不应作为日后表现的预示和担保。在不同时期，天风证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。天风证券的销售人员、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。天风证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。天风证券的资产管理部门、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。

特别声明

在法律许可的情况下，天风证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司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。因此，投资者应当考虑到天风证券及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突，投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一参考依据。

投资评级声明

类别	说明	评级	体系
股票投资评级	自报告日后的 6 个月内，相对同期沪深 300 指数的涨跌幅	买入	预期股价相对收益 20%以上
		增持	预期股价相对收益 10%-20%
		持有	预期股价相对收益 -10%-10%
		卖出	预期股价相对收益 -10%以下
行业投资评级	自报告日后的 6 个月内，相对同期沪深 300 指数的涨跌幅	强于大市	预期行业指数涨幅 5%以上
		中性	预期行业指数涨幅 -5%-5%
		弱于大市	预期行业指数涨幅 -5%以下

天风证券研究

北京	武汉	上海	深圳
北京市西城区佟麟阁路 36 号 邮编：100031 邮箱：research@tfzq.com	湖北武汉市武昌区中南路 99 号保利广场 A 座 37 楼 邮编：430071 电话：(8627)-87618889 传真：(8627)-87618863 邮箱：research@tfzq.com	上海市浦东新区兰花路 333 号 333 世纪大厦 20 楼 邮编：201204 电话：(8621)-68815388 传真：(8621)-68812910 邮箱：research@tfzq.com	深圳市福田区益田路 5033 号平安金融中心 71 楼 邮编：518000 电话：(86755)-23915663 传真：(86755)-82571995 邮箱：research@tfzq.com