

半导体材料系列：第三代半导体碳化硅行业前瞻

半导体

碳化硅性能优势突出，市场规模快速成长

碳化硅衬底的使用极限性能优于硅衬底，可以满足高温、高压、高频、大功率等条件下的应用需求，当前碳化硅衬底已应用于射频器件及功率器件，随着下游需求爆发，2022-2026年SiC器件的市场规模将从43亿美元提升到89亿美元，复合增长率为20%，对应的SiC衬底市场规模将从7亿美元增长到17亿美元，复合增长率为25%。

需求：下游产业链应用爆发，SiC市场需求红利释放

我们把SiC器件发展分为三个发展阶段：2019-2021年为初期，2022-2023年为拐点期，2024-2026年为爆发期。SiC随着在新能源汽车、充电基础设施、5G基站、工业和能源等应用领域展开，需求迎来爆发增长，其中，新能源汽车是SiC器件应用增长最快的市场，预计2022-2026年的市场规模从16亿美元到46亿美元，复合增长率为30%。

供给：短期产业链受限衬底产能，长期产能扩张带来价格下降

碳化硅市场产业链主要分为晶圆衬底制造、外延片生产、碳化硅器件研发和装备封装测试四个部分，分别占市场总成本的50%、25%、20%、5%，由于具备晶体生长过程繁琐，晶圆切割困难等特点，碳化硅衬底的制造成本一直处于高位。目前高质量衬底的应用主要集中于WolfSpeed、II-VI、ROHM三大供应商，CR3市场占有率达到80%以上，国内厂商为代表的衬底厂商的产品良率、品质和生产效率还有一定差距，短期看中高功率器件产业链的上游主要还受衬底CR3控制，另外随着CR3逐步提高材料自用比例提升，产能的提升的同时市场供给有限，整体供给偏紧状态。根据WolfSpeed数据显示，预计2022年和2024年的产能分别达到167K平方英尺到242平方英尺，折算6寸对应的85万片和123万片，通过测算预计全球2022年和2024年市场销量折合6英寸分别约为170万片至250万片。

碳化硅国产突破正加速，迎来中长期投资机会

碳化硅市场海外以IDM为主要运作模式，国内衬底厂商为天岳先进（绝缘型衬底为主）、天科合达（导电型衬底为主）、中电科（烁科）、露笑科技、晶盛机电；外延片方面：瀚天天成、东莞天域、中电科等均已完成了3-6英寸碳化硅外延的研发和生产；器件方面：斯达半导体、士兰微推出SiC MOSFET功率器件和模块；晶圆代工方面，X-Fab为最大代工厂，并为80-90%的无晶圆厂碳化硅厂商提供服务；汉磊和积塔大幅增加资本开支用以扩展SiC产能；IDM方面：三安光电具备全产业链整合生产能力（衬底/外延/器件/封测）。

风险提示：碳化硅及器件良率不及预期；下游需求不及预期；

维持

强于大市

刘双锋

liushuangfeng@csc.com.cn
15013629685

SAC 执证编号：S1440520070002

SFC 中央编号：BNU539

孙芳芳

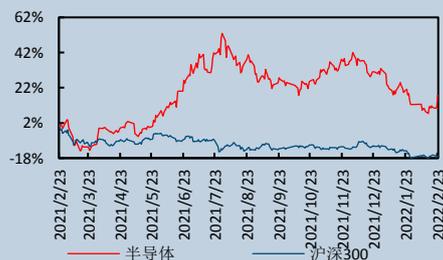
sunfangfang@csc.com.cn
15618077298

SAC 执证编号：S1440520060001

发布日期 2022年03月08日

期：

市场表现



相关研究报告

目录

一、碳化硅 SiC 为第三代半导体材料.....	1
1.1、半导体材料市场广阔.....	1
1.2、第三代半导体制造材料碳化硅性能优势突出.....	3
1.3、碳化硅产业链详概况.....	6
二、需求：下游产业链应用爆发，SiC 市场需求红利释放.....	16
2.1 SiC 市场处于成长期，规模增长迅速.....	16
2.2 新能源汽车.....	18
2.3 太阳能光伏.....	22
2.4 充电基础设施.....	24
2.5 轨道交通.....	26
2.6 UPS.....	28
三、供给：短期产业链受限衬底产能，长期产能扩张带来价格下降.....	30
3.1 碳化硅衬底制备存在多重挑战，位于产业链核心环节.....	30
3.2 碳化硅外延处于产业链中间环节，受制于碳化硅衬底技术缺陷.....	32
3.3 碳化硅功率器件制备存在技术难点，国外厂商先行.....	33
3.4 碳化硅衬底迎来产能爆发期，未来价格有望下降.....	34
四、全球碳化硅市场竞争格局.....	38
4.1 碳化硅成本以衬底为主，美、日、欧企业占据主导地位.....	38
4.2 细分领域龙头效应明显，国产替代成效显著.....	39
五、SiC 产业链代表公司.....	41
5.1、国外主要厂商.....	41
5.1.1 WolfSpeed.....	41
5.1.3 II-VI.....	47
5.2、大陆主要厂商.....	53
5.2.1 山东天岳—绝缘型衬底为主.....	53
5.2.2 天科合达—导电型衬底为主.....	55
5.2.3 露笑科技—SiC 衬底.....	58
5.2.4 晶盛机电—SiC 衬底.....	61
5.2.5 三安光电—IDM SiC 全产业链.....	64
5.2.6 凤凰光学—中国电科促进资源整合.....	68
5.3、晶圆代工厂商.....	70
5.3.1 X-Fab.....	70
5.3.2 汉磊.....	72
5.3.3 积塔.....	75
六、观点总结及内容概要.....	79

图表目录

图表 1：半导体产业链.....	1
图表 2：全球及中国半导体销售额情况（亿美元）.....	2
图表 3：半导体材料市场销售额情况（十亿美元）.....	2
图表 4：制造与封装材料销售额（十亿美元）.....	2
图表 5：三代半导体参数对比.....	3
图表 6：碳化硅物理化学性质总结.....	4
图表 7：SiC 单位晶体结构图.....	4
图表 8：3C\4H\6H-SiC 结构图.....	4

图表 9: SiC 产业链及代表企业.....	6
图表 10: 导电型碳化硅衬底	6
图表 11: 半绝缘型碳化硅衬底	6
图表 12: WolfSpeed 公司导电碳化硅衬底演进过程	7
图表 13: SiC 衬底制作工艺.....	8
图表 14: PVT 法生长碳化硅晶体示意图	8
图表 15: 用于制备碳化硅的籽晶	8
图表 16: CMP 过程示意图	10
图表 17: CVD 法制备碳化硅外延工艺流程	11
图表 18: SiC 功率器件种类	12
图表 19: SiC-SBD 与 Si-SBD 比较	13
图表 20: SiC-SBD 正向特性	13
图表 21: SiC-SBD 温度及电流依赖性低	13
图表 22: SiC-SBD 具有优异的 TRR 特性	13
图表 23: SiC MOSFET 与 Si IGBT 开关损耗对比.....	14
图表 24: SiC MOSFET 与 Si IGBT 导通损耗对比.....	14
图表 25: SiC MOSFET 体二极管动态特性	14
图表 26: N 沟道 SiC IGBT 制备技术图	15
图表 27: SiC 行业发展阶段曲线	16
图表 28: SiC 市场规模现状及预测	17
图表 29: 新能源汽车包含功率器件分布情况	18
图表 30: 对车载和非车载的器件要求	18
图表 31: 车载 OBC 发展趋势	19
图表 32: 硅基材料功率器件的工作极限	19
图表 33: 全球新能源汽车碳化硅 IGBT 市场规模	19
图表 34: 全球新能源汽车市场销量及增长率预测.....	20
图表 35: 中国新能源汽车市场销量及增长率预测.....	20
图表 36: 2020 年全球新能源乘用车车企销量 TOP10(辆).....	21
图表 37: 2020 年全球新能源乘用车车型销量 TOP10(辆).....	21
图表 38: 光伏碳化硅器件优越性	22
图表 39: 全球光伏需求预测	22
图表 40: 全球光伏碳化硅 IGBT 市场规模	23
图表 41: 全球光伏 IGBT 市场规模	23
图表 42: 2015-2021 年中国累计充电桩数量	24
图表 43: 2015-2020 年中国车桩比例	24
图表 44: 中国新能源汽车充电桩市场规模及预测.....	25
图表 45: 全球充电桩碳化硅器件市场规模	25
图表 46: 全球轨道交通碳化硅市场规模及预测	26
图表 47: 2020 年全球轨道交通运营里程 TOP10	26
图表 48: 轨道交通碳化硅器件占比预测	27
图表 49: 全球轨道交通碳化硅技术采用情况	27
图表 50: 2015-2025 年中国 UPS 市场规模及预测	28
图表 51: 2015-2021 年中国 UPS 器件类型情况	28
图表 52: 2011-2020 年全球 UPS 市场规模及预测	29
图表 53: 2019-2025 年全球 UPS 碳化硅器件市场规模	29
图表 54: 国外碳化硅衬底技术进展	30
图表 55: 碳化硅衬底尺寸市场占比演变	30

图表 56: 国内外厂商衬底技术指标对比	31
图表 57: 碳化硅外延片中 BPD 缺陷密度变化.....	32
图表 58: 平面 4H-SiC MOSFET 结构.....	33
图表 59: 平面与沟槽 MOSFET 特点对比.....	33
图表 60: 2020 年主要发达国家第三代半导体研发项目	34
图表 61: 国内第三代半导体材料支持政策	35
图表 62: 碳化硅衬底晶体缺陷 (TSD、BPD) 发展趋势	36
图表 63: 碳化硅衬底价格发展趋势 (RMB/cm ²)	36
图表 64: 碳化硅外延片成构成	36
图表 65: 碳化硅外延价格发展趋势 (RMB/cm ²)	36
图表 66: 650V 碳化硅 SBD 价格 (元/A)	37
图表 67: 1200V 碳化硅 SBD 价格 (元/A)	37
图表 68: 2019 与 2020 SIC MOSFET 价格对比 (元/A)	37
图表 69: 全球碳化硅市场成本结构情况 (%)	38
图表 70: 全球碳化硅衬底市场份额情况 (%)	38
图表 71: 全球半绝缘型碳化硅衬底份额情况 (%)	39
图表 72: 全球导电型碳化硅衬底份额情况 (%)	39
图表 73: 全球碳化硅器件份额情况 (%)	40
图表 74: 全球碳化硅器件应用情况 (%)	40
图表 75: WolfSpeed 公司发展历程.....	41
图表 76: WolfSpeed 公司产品介绍.....	42
图表 77: 2012-2021 年 WolfSpeed 营收情况.....	42
图表 78: 2012-2021 年 WolfSpeed 净利润情况.....	42
图表 79: 2012-2021 年 WolfSpeed 地区营收分布情况(%).....	43
图表 80: 2012-2021 年 WolfSpeed 业务营收分布情况(%).....	43
图表 81: 2012-2021 年 WolfSpeed 研发支出情况.....	43
图表 82: 2012-2021 年 WolfSpeed 毛利率和净利率情况.....	43
图表 83: 罗姆公司重点产品系列	44
图表 84: 罗姆公司发展历程	45
图表 85: 2012-2021 年罗姆营收情况 (亿美元)	45
图表 86: 2012-2021 年罗姆净利润情况 (亿美元)	45
图表 87: 2012-2021 年罗姆地区营收情况 (亿美元)	46
图表 88: 2012-2021 年罗姆业务营收情况 (%)	46
图表 89: 2012-2021 年罗姆研发支出情况 (亿美元)	47
图表 90: 2012-2021 年罗姆毛利和净利率情况 (%)	47
图表 91: II-VI 业务总结	47
图表 92: 2011-2020 年 II-VI 营收情况 (亿美元)	48
图表 93: 2011-2020 年 II-VI 净利润情况 (亿美元)	48
图表 94: 2016-2020 年 II-VI 按地区销售情况 (%)	49
图表 96: 2011-2020 年 II-VI 研发支出情况 (亿美元)	49
图表 97: 2011-2020 年 II-VI 毛利率和净利率情况 (%)	49
图表 98: ST 业务总结.....	50
图表 99: 2011-2020 年 ST 营收情况.....	51
图表 100: 2011-2020 年 ST 净利润情况.....	51
图表 101: 2011-2020 年 ST 按地区销售情况 (亿美元)	51
图表 102: 2014-2020 年 ST 按业务销售情况 (%)	51
图表 103: 2011-2020 年 ST 研发支出情况.....	52

图表 104: 2011-2020 年 ST 毛利率和净利率情况.....	52
图表 105: 碳化硅衬底可分为半绝缘型衬底和导电型衬底.....	53
图表 106: SiC 应用领域.....	53
图表 107: 2018-2020 年山东天岳营业收入情况.....	54
图表 108: 2018-2020 年山东天岳净利润情况.....	54
图表 109: 2018-2020 年山东天岳地区营收情况 (%).....	54
图表 110: 2018-2020 年山东天岳产品分类营收情况 (亿元).....	54
图表 111: 2018-2020 年山东天岳研发支出情况.....	55
图表 112: 2018-2020 年山东天岳毛利率和净利率情况.....	55
图表 113: 天科合达主要产品.....	56
图表 114: 2014-2019 年天科合达营业收入情况.....	57
图表 115: 2014-2019 年天科合达净利润情况.....	57
图表 116: 2014-2020 年天科合达地区销售情况 (%).....	57
图表 117: 2015-2020 年天科合达产品销售情况 (%).....	57
图表 118: 2017-2019 年天科合达研发支出情况.....	58
图表 119: 2015-2019 年天科合达毛利率和净利率情况.....	58
图表 120: 露笑集团发展历程.....	58
图表 121: 2015-2020 年露笑科技营业收入情况.....	59
图表 122: 2015-2020 年露笑科技净利润情况.....	59
图表 123: 2014-2020 年露笑科技地区销售情况.....	60
图表 124: 2014-2020 年露笑科技产品销售情况.....	60
图表 125: 2016-2020 年露笑科技研发支出情况.....	60
图表 126: 2017-2020 年露笑科技毛利率及净利率情况.....	60
图表 127: 晶盛机电主要事件.....	61
图表 128: 晶盛机电主要产品.....	61
图表 129: 2015-2020 年晶盛机电营业收入情况.....	62
图表 130: 2015-2020 年晶盛机电净利润情况.....	62
图表 131: 2015-2020 年晶盛机电地区销售情况.....	63
图表 132: 2015-2020 年晶盛机电产品销售情况.....	63
图表 133: 2015-2020 年晶盛机电研发支出情况.....	63
图表 134: 2015-2020 年晶盛机电毛利率及净利率情况.....	63
图表 135: 三安光电产品.....	64
图表 136: 三安光电子公司.....	65
图表 137: 2015-2020 年三安光电营业收入情况.....	66
图表 138: 2015-2020 年三安光电净利润情况.....	66
图表 139: 2015-2020 年三安光电地区销售情况 (亿元).....	66
图表 140: 2015-2020 年三安光电产品销售情况.....	66
图表 141: 2016-2020 年三安光电研发支出情况.....	67
图表 142: 2017-2020 年三安光电毛利率及净利率情况.....	67
图表 143: 三安光电主要事件.....	67
图表 144: 凤凰光学发展历程.....	68
图表 145: 普兴电子 4、6 英寸碳化硅外延片.....	69
图表 146: X-FAB 发展里程碑.....	70
图表 147: 2015-2020 年 X-FAB SiC 营收情况.....	71
图表 148: 2025 年 SiC 市场份额预计.....	71
图表 149: 2021-2025 年 SiC 在汽车与工业应用快速增长.....	71
图表 150: 2014-2021 年 X-FAB 营收情况.....	72

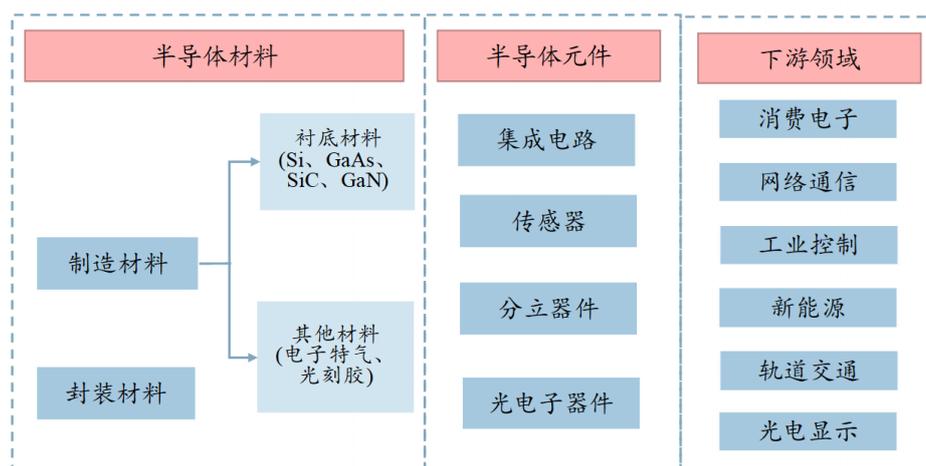
图表 151: 2014-2021 年 X-FAB 研发支出情况.....	72
图表 152: 2014-2021 年 X-FAB 净利润情况.....	72
图表 153: 2014-2021 年 X-FAB 毛利率及净利率情况.....	72
图表 154: 汉磊历史沿革.....	73
图表 155: 2014-2020 年汉磊营收情况 (亿台币).....	73
图表 156: 2014-2020 年汉磊净利润情况 (亿台币).....	73
图表 157: 20Q3-21Q3 产品销售组合—技术平台.....	74
图表 158: 21Q2 与 21Q3 产品销售组合—产品应用.....	74
图表 159: 2014-2019 年汉磊按地区销售情况 (%).....	74
图表 160: 2014-2019 年汉磊按业务销售情况 (%).....	74
图表 161: 2014-2020 年汉磊研发支出情况 (亿台币).....	75
图表 162: 2014-2020 年汉磊毛利率和净利率情况 (%).....	75
图表 163: 上海先进发展里程碑.....	76
图表 164: 上海先进对外开放工艺平台.....	76
图表 165: 2012-2017 年上海先进营收情况.....	77
图表 166: 2015Q4-2017Q4 上海先进营收组成情况.....	77
图表 167: 2012-2017 年上海先进净利润情况.....	77
图表 168: 2012-2017 年上海先进毛利率及净利率情况.....	77
图表 169: 2012-2017 年上海先进地区营收情况.....	78
图表 170: 2020 年公司达成战略协议及扩产状况.....	78
图表 171: SiC 产业链国内公司营业收入及 PS 对比.....	80

一、碳化硅 SiC 为第三代半导体材料

1.1、半导体材料市场广阔

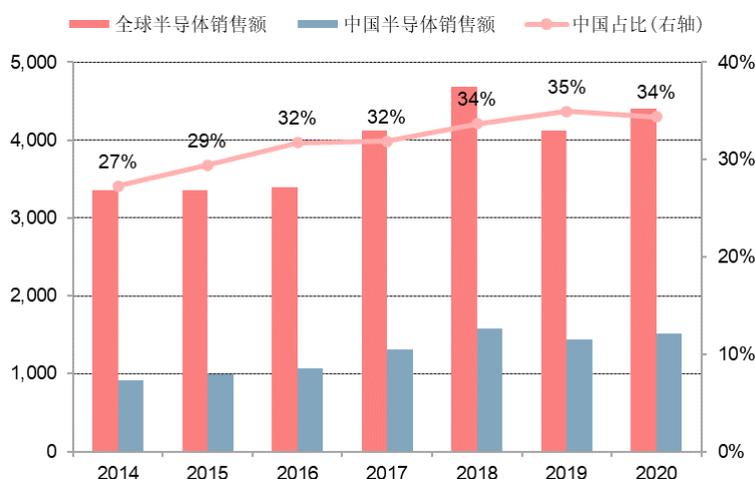
半导体行业市场规模较大，产业链较长，技术门槛较高且应用广泛，是现代电子信息产业的基础。半导体行业的产业链主要包括上游半导体材料、中游半导体元件以及下游应用领域。**上游材料半导体材料**是一类具有半导体性能（导电能力介于导体与绝缘体之间）、可用于制作半导体器件和集成电路的电子材料。**中游半导体元件**主要包括集成电路、传感器、分立器件以及光电子器件，集成电路（IC）是一种微型电子器件或部件，通过特殊工艺把一个电路中所需的晶体管、电阻、电容和电感等元件及布线互连一起；传感器是实现自动检测和自动控制的首要环节；分立器件是具有单一功能的电路基本元件，如晶体管、二极管、电阻、电容、电感等；光电子器件是光纤网络的构成要件，多应用于 5G 通信等领域。**半导体元件可应用于下游消费电子、网络通信、工业控制、新能源、轨道交通及光电显示等主要领域。**

图表1： 半导体产业链



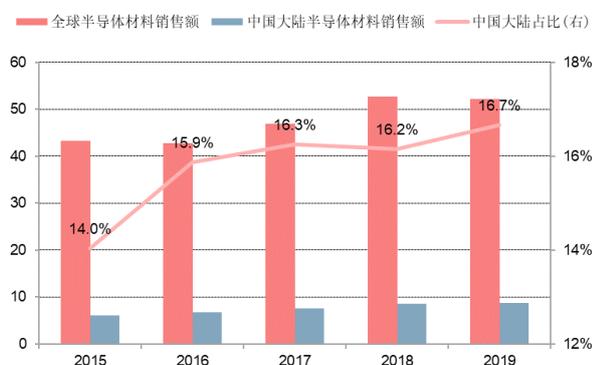
资料来源：天科合达招股说明书，中信建投

全球半导体产业规模呈现不断上升趋势，半导体材料是半导体产业链上游的主要组成部分。近年来全球半导体产业规模呈现不断上升趋势，2014 至 2020 年全球半导体销售额年复合增长率为 4.6%。中国半导体产业同样呈现规模持续扩大，在政策大力支持与下游应用快速繁荣等因素的推动下，2014 至 2020 年中国半导体销售额年复合增长率达 8.7%，占全球半导体销售额比例由 2014 年的 27% 上升至 2020 年的 34%，是当前全球最大的半导体消费市场。**半导体材料在集成电路和分立器件等半导体产品生产制造过程中起关键作用。**常见的半导体制造材料包括硅（Si）、锗（Ge）等元素半导体及砷化镓（GaAs）、碳化硅（SiC）、氮化镓（GaN）等化合物半导体材料，其中以碳化硅、氮化镓等化合物为材料的半导体属于第三代化合物半导体材料。

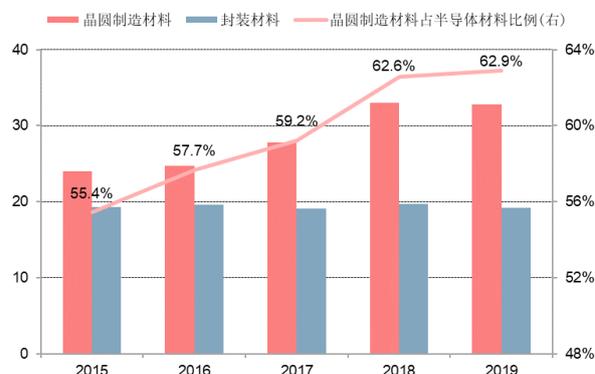
图表2：全球及中国半导体销售额情况（亿美元）


资料来源: wind, 中信建投

半导体材料市场空间广阔，制造材料销售额占比不断提高。全球半导体材料销售额规模不断上升，2015年至2019年复合增长率为4.8%；中国大陆半导体材料市场快速增长，2015至2019年复合增长率达9.3%，占全球半导体材料销售额比例不断攀升，由2015年的14%增长至2019年的16.7%。从材料类别来看，半导体制造材料销售规模占全部半导体材料销售额比例超50%，且呈现逐年上升的趋势，2015至2019年制造材料销售额复合增长率达8.1%，而封装材料2015至2019年销售额复合增长率为-0.1%。

图表3：半导体材料市场销售额情况（十亿美元）


资料来源: wind, 中信建投

图表4：制造与封装材料销售额（十亿美元）


资料来源: wind, 中信建投

1.2、第三代半导体制造材料碳化硅性能优势突出

第一代半导体材料主要是指硅（Si）、锗（Ge）为代表的元素半导体材料，应用极为普遍，包括集成电路、电子信息网络工程、电脑、手机等。其中，最典型的应用是集成电路，主要应用于低压、低频、低功率的晶体管和探测器中。硅基半导体材料是目前产量最大、应用最广的半导体材料，90%以上的半导体产品是用硅基材料制作的。但是硅材料的物理性质限制了其在光电子和高频电子器件上的应用，如其间接带隙的特点决定了它不能获得高的光电转换效率；且其带隙宽度较窄，饱和电子迁移率较低，不利于研制高频和高功率电子器件，硅基器件在 600V 以上高电压以及高功率场合就达到其性能的极限。

第二代半导体材料主要是以砷化镓（GaAs）、磷化铟（InP）为代表的化合物材料，目前手机所使用的关键通信芯片都采用类似材料制作。砷化镓材料的电子迁移率约是硅的 6 倍，具有直接带隙，故其器件相对硅基器件具有高频、高速的光电性能，因此被广泛应用于光电子和微电子领域，是制作半导体发光二极管和通信器件的关键衬底材料。由于第二代半导体材料的禁带宽度不够大，击穿电场较低，限制了其在高温、高频和高功率器件领域的应用。另外，由于砷化镓材料的毒性，可能引起环境污染问题，对人类健康存在潜在的威胁。

第三代半导体材料是指以碳化硅（SiC）、氮化镓（GaN）、氧化锌（ZnO）、金刚石、氮化铝（AlN）为代表的宽禁带半导体材料，多在通信、新能源汽车、高铁、卫星通信、航空航天等场景中应用，其中碳化硅、氮化镓的研究和发展较为成熟。与前两代半导体材料相比，第三代半导体材料禁带宽度大，具有击穿电场高、热导率高、电子饱和速率高、抗辐射能力强等优势，因此，采用第三代半导体材料制备的半导体器件不仅能在更高的温度下稳定运行，适用于高电压、高频率场景，此外，还能以较少的电能消耗，获得更高的运行能力。

图表5：三代半导体参数对比

指标参数	硅(第一代)	砷化镓(第二代)	碳化硅(第三代)	氮化镓(第三代)
禁带宽度(eV)	1.12	1.43	3.2	3.4
饱和电子漂移速率(10^7 cm/s)	1.2	1	2	2.5
热导率($Wcm^{-1} K^{-1}$)	1.5	0.54	4	1.3
击穿电场强度(MV/cm)	0.3	0.4	3.5	3.3

资料来源：山东天岳先进招股书，中信建投（注：上表第三代半导体列示的是目前主流的碳化硅晶型 4H-SiC 参数）

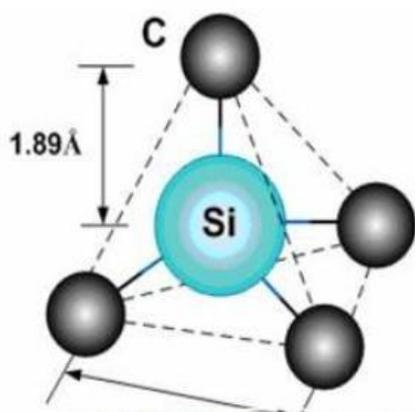
碳化硅是由碳和硅组成的IV-IV族化合物半导体材料，具有多种同素异构类型，是世界上硬度排名第三的物质，在热、化学和机械方面都非常稳定。在物理性质上，SiC 具有高硬度、高耐磨性、高导热率、高热稳定性以及散热性好的特点；在化学性质上，SiC 表面易形成硅氧化物薄膜以防止其进一步氧化，但在高温下该氧化膜会迅速发生氧化反应。碳化硅的典型结构可分为两类，一类是闪锌矿结构的立方碳化硅晶型，称为 3C-SiC 或 β -SiC，这里 3 指的是周期表性次序中面的数目；另一类是六角型或菱形结构的大周期结构其中典型的有 6H-SiC、4H-SiC、15R-SiC 等，统称为 α -SiC。其中，4H-SiC 和 6H-SiC 是两种半导体所需的材料，碳化硅与其他半导体材料具有相似的特性，4H-SiC 的饱和电子速度是 Si 的两倍，从而为 SiC 元件提供了较高的电流密度和较高的电压，常被用来作为碳化硅功率器件。而 6H-SiC 和 4H-SiC 最大的差异在于 4H-SiC 的电子迁移率是 6H-SiC 的两倍，这是因为 4H-SiC 有较高的水平轴（a-axis）的移动率。在碳化硅晶体生长过程中需要精确控制硅碳比、生长温度梯度、晶体生长速率以及气流气压等参数，否则容易产生多晶型夹杂，导致产出的晶体不合格。

图表6：碳化硅物理化学性质总结

性质	特点
物理性质	高硬度（克氏硬度为 3000kg/mm），可切割红宝石
	高耐磨性，仅次于金刚石
	热导率超过金属铜，是 Si 的三倍，是 GaAs 的 8-10 倍
	SiC 的热稳定性较高，在常压下不可能熔化
化学性质	散热性好，对于大功率器件非常重要
	SiC 表面易氧化成薄膜，能防止其进一步氧化，在高于 1700℃ 时，这层氧化膜熔化并迅速发生氧化反应
	4H-SiC 和 6H-SiC 带隙约是 Si 的三倍，是 GaAs 的两倍；其击穿电场强度高于 Si 一个数量级，饱和电子漂移速度是 Si 的 2.5 倍

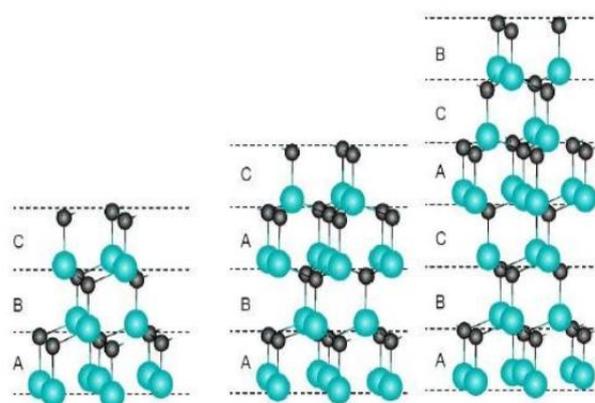
资料来源：中商情报网，中信建投

图表7：SiC 单位晶体结构图



资料来源：电子发烧友，中信建投

图表8：3C\4H\6H-SiC 结构图



资料来源：电子发烧友，中信建投

碳化硅在半导体中存在的主要形式是作为衬底材料，基于其优良的特性，碳化硅衬底的使用极限性能优于硅衬底，可以满足高温、高压、高频、大功率等条件下的应用需求，当前碳化硅衬底已应用于射频器件及功率器件。碳化硅器件优点如下：

（1）耐高压。击穿电场强度大，是硅的 10 倍，用碳化硅制备器件可以极大地提高耐压容量、工作频率和电流密度，并大大降低器件的导通损耗。所以在实际应用过程中，与硅基相比可以设计成更小的体积，约为硅基器件的 1/10。

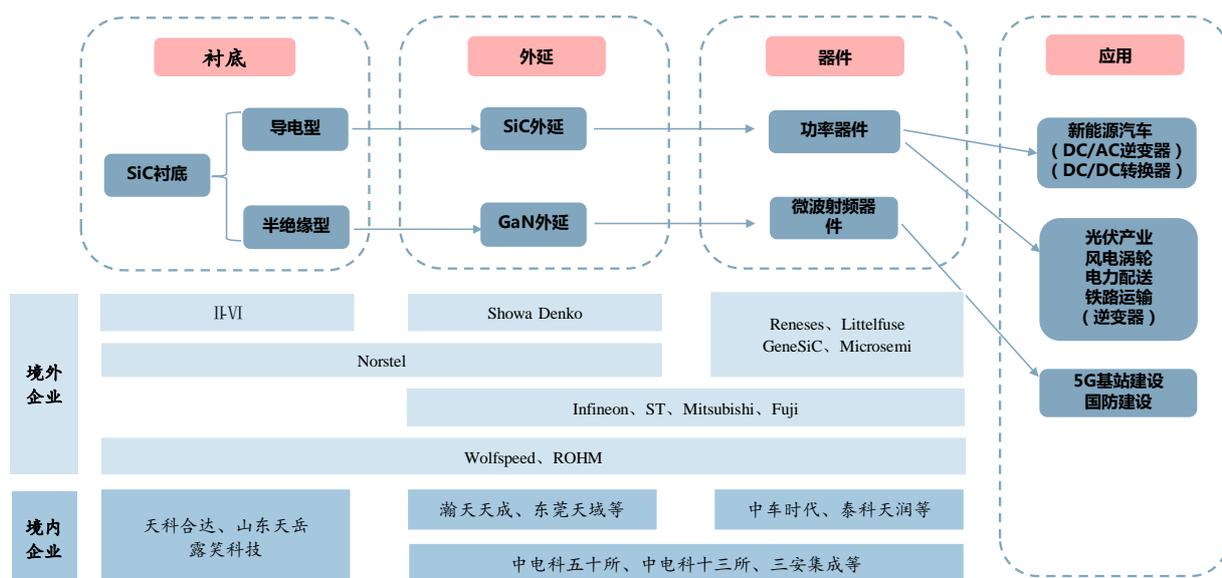
（2）耐高温。半导体器件在较高的温度下，会产生载流子的本征激发现象，造成器件失效。禁带宽度越大，器件的极限工作温度越高。碳化硅的禁带接近硅的 3 倍，可以保证碳化硅器件在高温条件下工作的可靠性。硅器件的极限工作温度一般不能超过 300℃，而碳化硅器件的极限工作温度可以达到 600℃ 以上。同时，碳化硅的热导率比硅更高，高热导率有助于碳化硅器件的散热，在同样的输出功率下保持更低的温度，碳化硅器件也因此对散热的设计要求更低，有助于实现设备的小型化。

（3）实现高频的性能。碳化硅的饱和电子漂移速率大，是硅的 2 倍，这决定了碳化硅器件可以实现更高的工作频率和更高的功率密度。同时碳化硅衬底材料能量损失更小。在相同的电压和转换频率下，400V 电压时，碳化硅 MOSFET 逆变器的能量损失约为硅基 IGBT 能量损失的 29%-60%之间；800V 时，碳化硅 MOSFET 逆变器的能量损失约为硅基 IGBT 能量损失的 30%-50%之间。因此碳化硅器件的能量损失更小。

1.3、碳化硅产业链详概况

近年来，以碳化硅晶片作为衬底材料的技术逐渐成熟并开始规模生产及应用。**SiC 生产过程主要包括碳化硅单晶生长、外延层生长及器件制造三大步骤**，对应的是碳化硅产业链衬底、外延、器件三大环节。

图表9： SiC 产业链及代表企业



资料来源：中商产业研究院，中信建投

1.3.1 衬底

衬底是所有半导体芯片的底层材料，主要起到物理支撑、导热及导电作用，碳化硅衬底主要包括导电型和半绝缘型两类，二者在外延层及下游应用场景不同。作为导电型衬底材料，经过外延生长、器件制造、封装测试，制成碳化硅二极管、碳化硅 MOSFET 等功率器件，适用于高温、高压等工作环境，应用于新能源汽车、光伏发电、轨道交通、智能电网、航空航天等领域；作为半绝缘型衬底材料，经过外延生长、器件制造、封装测试，制成 HEMT 等微波射频器件，适用于高频、高温等工作环境，主要应用于 5G 通讯、卫星、雷达等领域。

图表10： 导电型碳化硅衬底



资料来源：天科合达招股说明书，中信建投

图表11： 半绝缘型碳化硅衬底

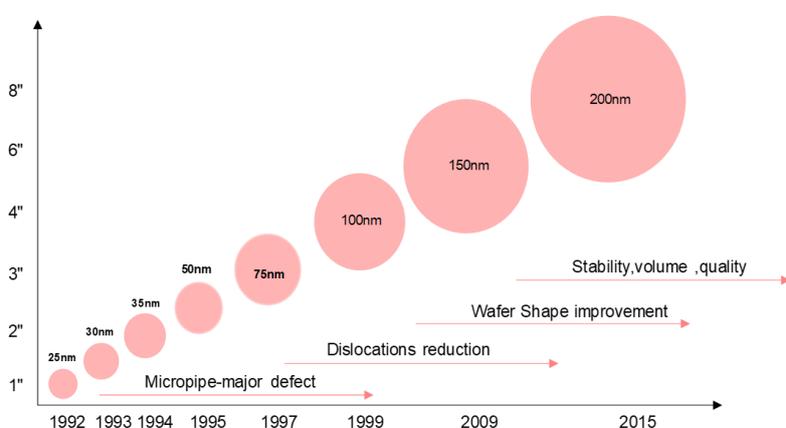


资料来源：天科合达招股说明书，中信建投

当前碳化硅衬底以 4、6 英寸为主，科锐公司已成功研发 8 英寸产品。在半绝缘型碳化硅市场，目前主流

的衬底产品规格为 4 英寸；在导电型碳化硅市场，目前主流的衬底产品规格为 6 英寸。碳化硅衬底的尺寸（按直径计算）主要有 2 英寸（50mm）、3 英寸（75mm）、4 英寸（100mm）、6 英寸（150mm）、8 英寸（200mm）等规格。碳化硅衬底正在不断向大尺寸的方向发展，目前行业内公司主要量产衬底尺寸集中在 4 英寸及 6 英寸。在最新技术研发储备上，以行业领先者 WolfSpeed 公司的研发进程为例，WolfSpeed 公司已成功研发 8 英寸产品。为提高生产效率并降低成本，大尺寸是碳化硅衬底制备技术的重要发展方向，衬底尺寸越大，单位衬底可制造的芯片数量越多，单位芯片成本越低；衬底的尺寸越大，边缘的浪费就越小，有利于进一步降低芯片的成本。由于现有的 6 英寸的硅晶圆产线可以升级改造用于生产 SiC 器件，所以 6 英寸 SiC 衬底的高市占率将维持较长时间。

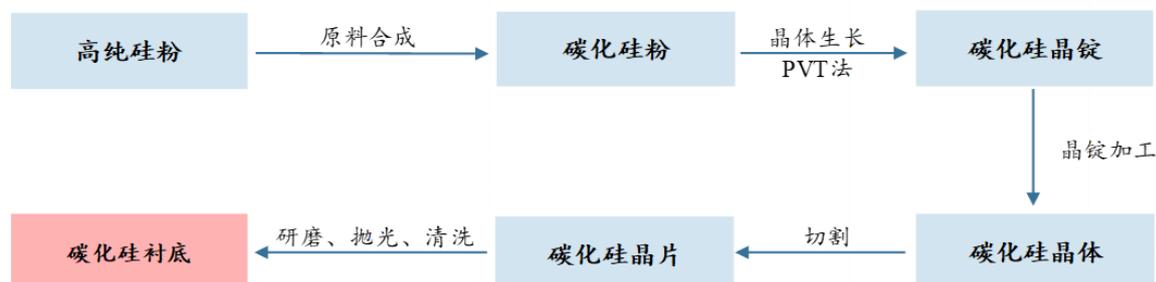
图表12： WolfSpeed 公司导电碳化硅衬底演进过程



资料来源：天岳先进招股说明书，科瑞公司，中信建投

碳化硅晶体生长是碳化硅衬底制备的关键技术，目前行业采用主流的方法为物理气相传输法（PVT）。碳化硅衬底行业属于技术密集型行业，是材料、热动力学、半导体物理、化学、计算机仿真模拟、机械等交叉学科应用，其制作过程首先是使晶体生长形成碳化硅晶锭，将其加工和切割形成碳化硅晶片后通过对晶片进行研磨、抛光和清洗最终形成碳化硅衬底。碳化硅晶体生长是碳化硅衬底制备的关键点，SiC 单晶主要有物理气相传输法（PVT）、顶部籽晶溶液生长法（TSSG）、高温化学气相沉积法（HTCVD）三种方法。其中，**TSSG 法生长晶体尺寸较小目前仅用于实验室生长，商业化的技术路线主要是 PVT 和 HTCVD，而与 HTCVD 法相比，采用 PVT 法生长 SiC 单晶具有所需设备简单、操作容易控制、设备价格以及运行成本低等优点。**因此，PVT 法是目前工业生产晶体所采用的主要方法，WolfSpeed 公司、II-VI 公司、SiCrystal、天科合达、山东天岳等国内外主要碳化硅晶片生产企业均采用 PVT 法，该法首先在高温区将材料升华，然后输送到冷凝区使其成为饱和蒸气，最后经过冷凝成核而长成晶体。基于 PVT 法制备碳化硅衬底的工艺流程主要包含原料合成、晶体生长、晶锭加工、晶体切割及晶片处理五大工艺流程。

图表13: SiC 衬底制作工艺流程



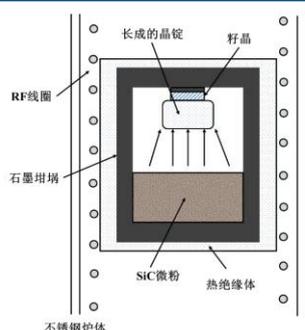
资料来源: 公开信息整理, 中信建投

1) PVT 法制备碳化硅衬底流程

原料合成:采用 PVT 法制备碳化硅单晶要求高纯度的碳化硅粉作为原料, 首先将高纯硅粉和高纯碳粉按工艺配方均匀混合, 在 2,000℃ 以上的高温条件下, 于反应腔室内通过特定反应工艺, 去除反应环境中残余的、反应微粉表面吸附的痕量杂质, 使硅粉和碳粉按照既定化学计量比反应合成特定晶型和颗粒度的碳化硅颗粒; 其次经过破碎、筛分、清洗等工序, 制得满足晶体生长要求的高纯度碳化硅粉原料。

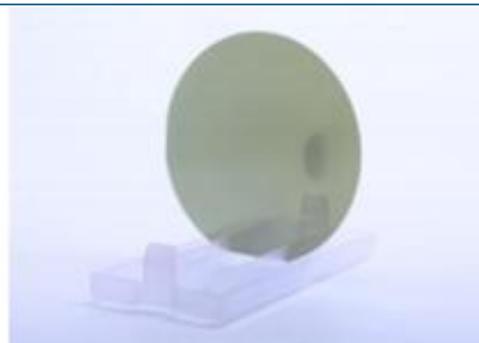
晶体生长:PVT 法通过感应加热的方式在密闭生长腔室内在 2,300℃ 以上高温、接近真空的低压下加热碳化硅粉料, 使其升华产生包含 Si、Si₂C、SiC₂等不同气相组分的反应气体, 通过固-气反应产生碳化硅单晶反应源; 由于固相升华反应形成的 Si、C 成分的气相分压不同, Si/C 化学计量比随热场分布存在差异, 需要使气相组分按照设计的热场和温梯进行分布和传输, 使组分输运至生长腔室既定的结晶位置。为了避免无序的气相结晶形成多晶态碳化硅, 在生长腔室顶部设置碳化硅籽晶(种子), 籽晶处于相对低温区, 输运至籽晶处的 Si_xC_y 气相组分在气相组分过饱和度的驱动下在籽晶表面原子沉积, 并在其上结晶形成圆柱状碳化硅晶锭。

图表14: PVT 法生长碳化硅晶体示意图



资料来源: 天科合达招股说明书, 中信建投

图表15: 用于制备碳化硅的籽晶



资料来源: 天科合达招股说明书, 中信建投

晶锭加工:将碳化硅晶锭使用 X 射线单晶定向仪进行定向, 之后通过精密机械加工的方式磨平、滚磨, 加工成标准直径尺寸的碳化硅晶体。

晶体切割:切割是使用相关技术及设备, 将 SiC 晶体沿着一定的方向切割成厚度不超过 1mm 的薄片, 而翘曲度小、厚度均匀、低切损的晶片对后续的晶片的研磨和抛光至关重要。针对半导体行业应用的 SiC 晶圆切割, 主要有砂轮划片、激光全划、激光半划、激光隐形划切、水导激光划切等几种加工方法。英飞凌为了提高产量,

就曾在 2018 年收购了 SiC 晶圆切割领域的新锐公司 Siltectura，Siltectura 的冷切割技术（Cold Spilt）相比传统工艺将提高 90% 的生产效率。当前，国内公司开发了多块拼接多线切割技术，其基本原理是优质钢线在晶锭表面高速来回运动，附着在钢丝上的切割液中的金刚石颗粒对晶锭产生剧烈摩擦，使得材料碎裂并从母体表面脱落，达到切割的效果。多线切割工艺解决了相邻碳化硅晶体之间切割质量差的难题，同一批次可实现多块晶体的切割，同时设计了独有的碳化硅晶体切削液配方，大幅度降低了切割片的表面损伤。

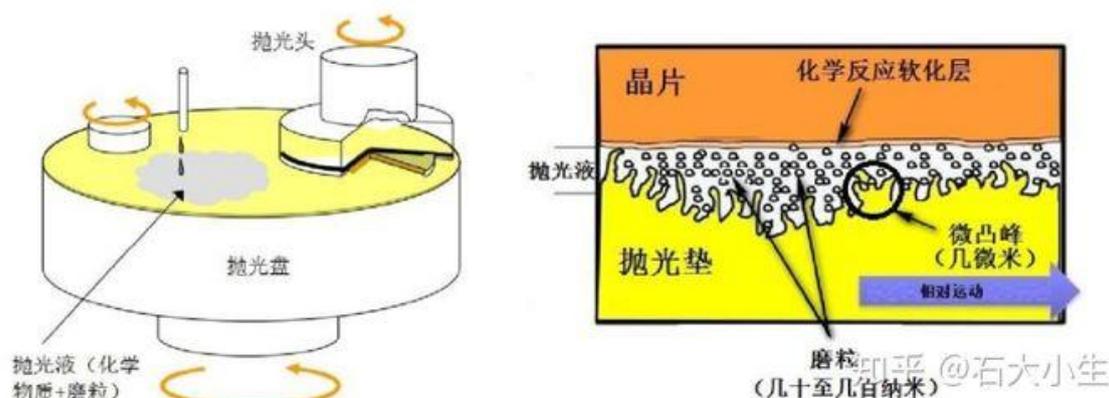
晶片处理包含晶片研磨、晶片抛光及晶片清洗三个步骤。

①**晶片研磨**:通过不同颗粒粒径的金刚石研磨液将碳化硅晶片研磨到所需的平整度和粗糙度，以去除切割过程中造成的 SiC 切片表面的刀痕以及表面损伤层。研磨根据工艺的不同可分为粗磨和精磨，粗磨主要是去除切割造成的刀痕以及切割引起的变质层，使用粒径较大的磨粒，提高加工效率；精磨主要是去除粗磨留下的表面损伤层，改善表面光洁度，并控制表面面形和晶片的厚度，利于后续的抛光，因此使用粒径较细的磨粒研磨晶片。天科合达公司通过计算机模拟获得晶片研磨、抛光轨迹分布，设计双面研磨、抛光的参数，例如转速、压力以及抛光液的流量等，通过大量实验数据总结分析，对研磨和抛光工艺进行优化改进，控制碳化硅晶片的平整度、翘曲度，改善晶片表面的粗糙度。

②**晶片抛光**:抛光主要包粗抛和超精密抛光两个过程。**粗抛主要采用机械抛光方式**，采用更小粒径的硬磨料，如 B4C、金刚石等，对晶片表面进行修整，以去除研磨过程的残留应力层和机械损伤层，提高表面平面度及表面质量，为后续的超精密抛光奠定基础。**超精密抛光是 SiC 表面加工工序中非常关键的一个环节**，主要是为进一步提高晶片的表面质量，改善表面粗糙度及平整度，使其表面质量特征参数符合后序加工中的精度要求。当前，碳化硅的主要抛光方法有机械抛光、磁流变抛光、化学机械抛光（CMP）、电化学抛光（ECMP）、催化剂辅助抛光或催化辅助刻蚀（CACP/CARE）、摩擦化学抛光（TCP，又称无磨料抛光）和等离子辅助抛光（PAP）等，其中**化学机械抛光（CMP）技术是目前实现 SiC 晶片全局平坦化最有效的方法**。

CMP 技术是目前半导体加工的重要手段，也是目前能将单晶硅表面加工到原子级光滑最有效的工艺方法，是能在加工过程中同时实现局部和全局平坦化的唯一实用技术。CMP 技术属于化学作用和机械作用相结合的技术，碳化硅晶片表面首先与抛光液中的氧化剂发生化学反应，生成一层相对容易去除的软质层，然后在抛光液中的磨料和抛光垫的机械作用下去除软质层，在化学作用和机械作用的交替进行的过程中完成表面抛光，过程较为复杂。其中，**抛光液是化学机械抛光技术的核心**，一般来说，**CMP 抛光液由磨粒、氧化剂、去离子水和添加剂组成**，因此可从这些因素入手对抛光效果进行调控，如单纯磨粒就包括了磨料种类、磨粒粒径、磨粒浓度等方面。目前，常用于 CMP 抛光液中的氧化剂主要是 H_2O_2 和 $KMnO_4$ ，磨粒主要有 SiO_2 、 CeO_2 和 Al_2O_3

图表16: CMP 过程示意图



资料来源: 知乎《详解碳化硅晶片的工艺流程》, 中信建投

③晶片清洗。以清洗药剂和纯水对碳化硅抛光片进行清洗处理，去除抛光片上残留的抛光液等表面沾污物，再通过超高纯氮气和甩干机将晶片吹干、甩干；将晶片在超净室封装在洁净片盒内，形成可供下游即开即用的碳化硅衬底。

2) PVT 法制备碳化硅衬底技术难点

目前主流的碳化硅晶圆生长法为 PVT 法，碳化硅单晶加工不仅要求晶片具备良好的几何形貌，如总厚度变化、翘曲度、变形，以及具备较高的晶片表面质量，如微粗糙度、划伤等，还要考虑单晶加工的效率 and 成本问题，这也就给碳化硅衬底制备提出很大的挑战。采用 PVT 法生长碳化硅晶体的三个主要技术难点是：**晶体杂质多、生长过程进程控制复杂以及制备完成后的后续工艺不健全。**

首先，PVT 法生长碳化硅晶体面临晶体内杂质浓度的控制问题。首先，采用何种方式对石墨材料进行再提纯处理，是 PVT 法生长碳化硅晶体时杂质控制的关键之一。应用 PVT 法生长碳化硅单晶，通常的生长温度在 2000℃ 以上，为避免引入杂质，晶体生长坩埚材料和保温材料只能是石墨，但市场上销售的石墨材料含有一定量的杂质。其次，PVT 法生长碳化硅晶体要求高纯度的碳化硅原料。目前，市场上销售的碳化硅原料杂质含量近百 PPM，如此高的杂质含量难以用于生长高纯度碳化硅晶体。因此，一些单位使用硅粉和碳粉自主合成高纯碳化硅原料，但合成的原料中仍然含有微量关键杂质，从而对生长的碳化硅晶体纯度造成影响。

其次，PVT 法生长碳化硅晶体速度缓慢且条件苛刻。碳化硅生长进程控制复杂，碳化硅气相生长温度在 2300℃ 以上，压力 350MPa，而硅仅需 1600℃ 左右。因此，高温作业除对设备和工艺控制带来了极高的要求外，生产过程几乎是黑箱操作难以观测。如果温度和压力控制稍有失误，则会导致生长数天的产品失败。此外，PVT 法生长碳化硅的速度缓慢，7 天才能生长 2cm 左右，而硅棒拉晶 2-3 天即可拉出约 2m 长的 8 英寸硅棒。

此外，由于碳化硅的硬度高、化学性质稳定，切割、研磨、抛光等加工的难度也较大。PVT 法生长的碳化硅单晶一般是短圆柱状，柱状碳化硅单晶的长度或高度在 20mm 以内，需要通过机械加工整形、切片、研磨、抛光等化学机械抛光和清洗等工艺，才能成为器件制造前的衬底材料，而机械化学的制造过程普遍存在着加工困难、制造效率低、制造成本高等问题。由于碳化硅不仅具有高硬度的特点，高脆性、低断裂韧性也使得其磨削加工过程中易引起材料的脆性断裂从而在材料表面留下表面破碎层，且产生较为严重的表面与亚表层损伤，从而影响加工精度。因此，在碳化硅晶体研磨、锯切和抛光阶段，挑战也非常大，并且晶圆尺寸越大需要的技术精度越高，其加工难主要体现在：（1）碳化硅材料硬度大，莫氏硬度分布在 9.2-9.6；（2）化学性质稳定，几乎不与任何强酸或强碱发生反应；（3）加工设备尚不成熟。

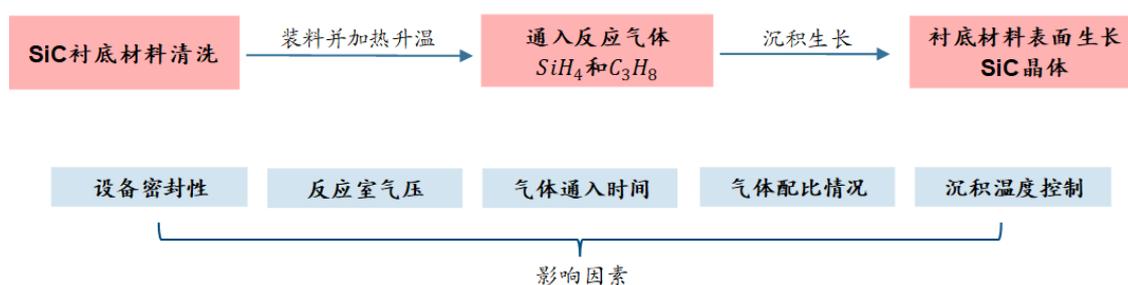
1.3.2 外延

外延层是在晶片的基础上，经过外延工艺生长出特定单晶薄膜，衬底晶片和外延薄膜合称外延片。其中，在导电型碳化硅衬底上生长碳化硅外延层制得碳化硅同质外延片，可进一步制成肖特基二极管、MOSFET、IGBT 等功率器件，应用于新能源汽车、光伏发电、轨道交通、智能电网、航空航天等领域；在半绝缘型碳化硅衬底上生长氮化镓外延层制得碳化硅基氮化镓（GaN-on-SiC）异质外延片，可进一步制成 HEMT 等微波射频器件，应用于 5G 通讯、雷达等领域。在全球市场中，外延片企业主要有 II-VI、Norstel、WolfSpeed、罗姆等 IDM 公司。近年来，国内瀚天天成、东莞天域、基本半导体已能提供 4 寸及 6 寸 SiC 外延片。

外延的质量受到晶体和衬底加工的影响，处在产业的中间环节，对产业的发展起到非常关键的作用。由于碳化硅功率器件与传统硅功率器件制作工艺不同，不能直接制作在碳化硅单晶材料上，必须在导通型单晶衬底上额外生长高质量的外延材料，并在外延层上制造各类器件，所以外延的质量对器件的性能是影响非常大。以往器件大多是在低电压的环境工作，但随着碳化硅功率器件制造要求和耐压等级的不断提高，碳化硅外延材料不断向低缺陷、厚外延方向发展。电压越大，所需要的外延就越厚，在 600 伏的低压情况下，器件需要的外延厚度大约为 6 μm ；在中压 1200~1700 伏下，需要的厚度为 10~15 μm ；在 1 万伏以上的高压情况下，需要的厚度为 100 μm 以上。在核心参数方面，外延片核心参数厚度、掺杂浓度在低压、中压领域已经可以做到相对较优的水平，但在高压领域，还有很多难题需要攻克，包括厚度、掺杂浓度的均匀性、三角缺陷等。在中低压应用领域，碳化硅外延的技术相对成熟，基本可以满足中低压 SBD、MOS、JBS 等器件需求；在高压应用领域，器件的类型趋向于使用双极器件。

碳化硅外延制备技术方面，当前主要的外延技术是化学气相沉积法（CVD），该法通过台阶流的生长来实现一定厚度和掺杂的碳化硅外延材料，根据不同的掺杂类型，分为 n 型和 p 型外延片。碳化硅外延的生长参数要求较高，受到设备密闭性、反应室气压、气体通入时间、气体配比情况、沉积温度控制等多重因素影响。而第三代半导体中，由于氮化镓材料作为衬底实现规模化生产当前仍面临挑战，因此是以蓝宝石、硅晶片或碳化硅晶片作为衬底，通过外延生长氮化镓器件。

图表17： CVD 法制备碳化硅外延工艺流程



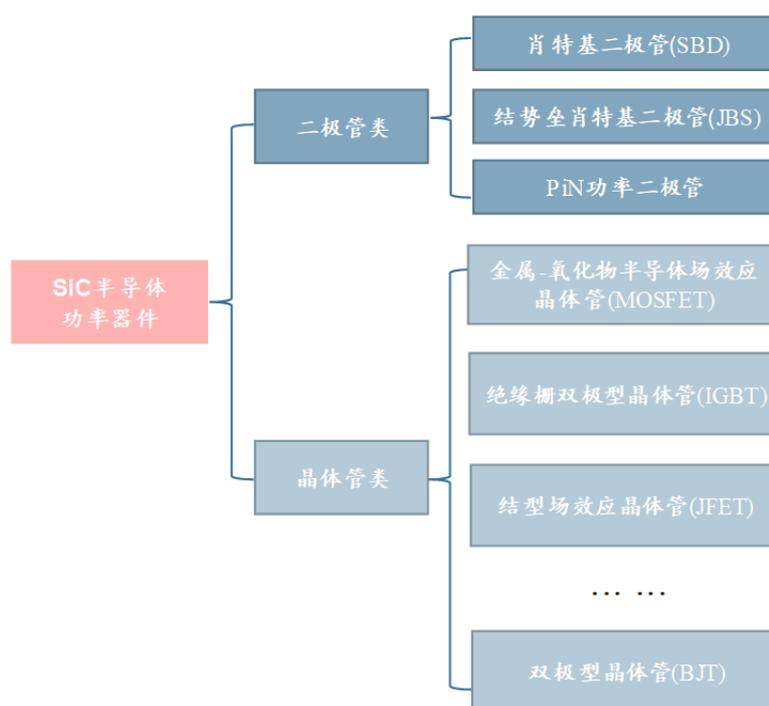
资料来源：中国化工仪器网，中信建投

1.3.3 碳化硅功率器件

碳化硅功率器件主要包含 SiC 功率二极管、SiC MOSFET 器件和碳化硅绝缘栅双极晶体管（SiC BJT/SiC IGBT）等 SiC 晶体管两大类。SiC 从上个世纪 70 年代开始研发，2001 年 SiC-SBD 开始商用，2010 年 SiC-MOSFET 开始商用，而 SiC-IGBT 的商用仍存在挑战。随着 6 英寸 SiC 单晶衬底和外延晶片的缺陷降低和质量提高，使得 SiC 器件制备能够在目前现有 6 英寸 Si 基功率器件生长线上进行，这将进一步降低 SiC 材料和器件

成本，推进 SiC 器件和模块的普及。当前，国际上 600~1700V SiC-SBD、MOSFET 已经实现产业化，主流产品耐压水平在 1200V 以下，封装形式以 TO 封装为主。价格方面，国际上的 SiC 产品价格是对应 Si 产品的 5~6 倍，正以每年 10% 的速度下降，随着上游材料纷纷扩产上线，未来 2~3 年后市场供应加大，价格将进一步下降，预计价格达到对应 Si 产品 2~3 倍时，由系统成本减少和性能提升带来的优势将推动 SiC 逐步占领 Si 器件的市场空间。

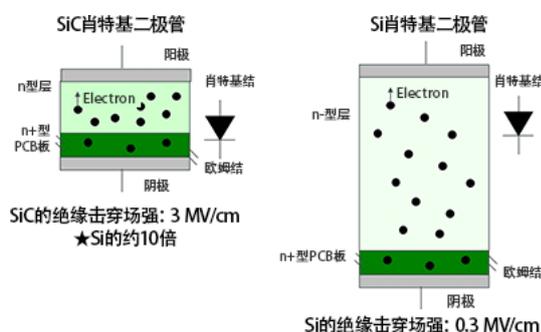
图表18： SiC 功率器件种类



资料来源：公开信息，中信建投

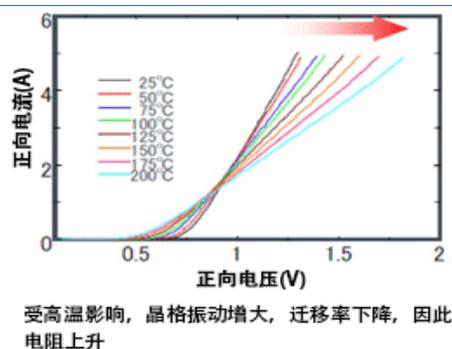
碳化硅功率二极管主要有肖特基二极管（Schottky Barrier Diode, SBD）、PIN 二极管（SiC-PIN）和结势垒控制肖特基二极管（SiC-JBS）三种，主要应用在电力电源领域，工作在开关状态。（1）SiC-SBD 为肖特基势垒二极管，利用金属与半导体接触形成的金属-半导体结原理制作的一种热载流子二极管，也被称为金属-半导体（接触）二极管或表面势垒二极管，结构与硅肖特基势垒二极管基本相同，仅电子移动、电流流动。与 Si-SBD 相比，SiC-SBD 不仅拥有优异的高速性且实现了高耐压，Si-SBD 的耐压极限为 200V，而 SiC 具有硅 10 倍的击穿场强。此外，SiC-SBD 还拥有正向特性以及优异的 TRR 特性，而且几乎没有温度及电流依赖性。当前主流的 SiC-SBD 产品耐压极限为 1200V，同时罗姆公司在推进 1700V 耐压的产品。（2）SiC-PIN 是一个在射频和微波频段受偏置电流控制的可变阻抗器。它的结构有三层，在碳化硅半导体二极管的 P 结和 N 结中间夹着高阻值的本征 I 层。与硅基 PIN 二极管相比，碳化硅 PIN 二极管具有高于硅的 2-3 个数量级的开关速度、高结温承受能力、高电流密度以及更高的功率密度。（3）由于 SBD 和 PIN 二极管为传统的二极管已无法满足高频、大功率、低功耗的市场需求，前者击穿电压低、反向漏电大，而后者高频特性较差，由此 JBS 应运而生，该结构将 SBD 结构和 PIN 结构巧妙地结合在一起，具有高耐压、低压降、小漏电、高频特性好及强抗过压和浪涌电流能力，SiC-JBS 较 Si-JBS 具有大电流密度、高工作结温的性能优势。

图表19: SiC-SBD 与 Si-SBD 比较



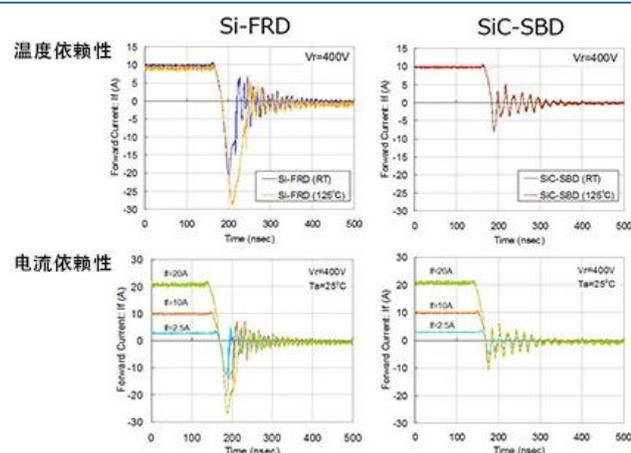
资料来源: 电子发烧友, 中信建投

图表20: SiC-SBD 正向特性



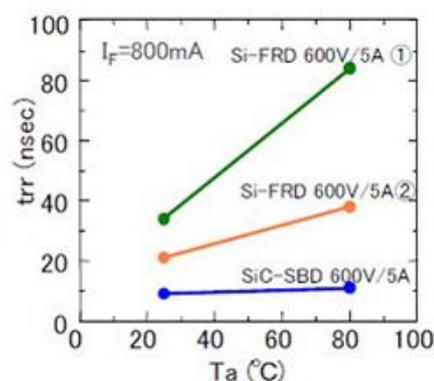
资料来源: 电子发烧友, 中信建投

图表21: SiC-SBD 温度及电流依赖性低



资料来源: 电子发烧友, 中信建投

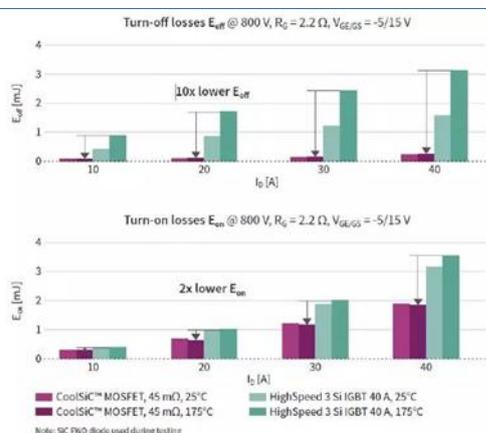
图表22: SiC-SBD 具有优异的 TRR 特性



资料来源: 电子发烧友, 中信建投 (注: TRR 是二极管的反向恢复时间)

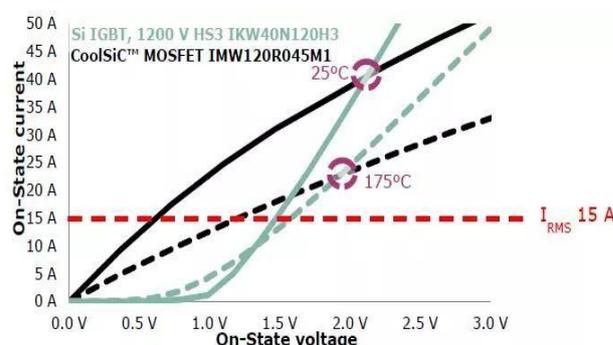
SiC MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) 是以碳化硅为衬底的金属-氧化物半导体场效应晶体管, 可以广泛使用在模拟电路与数字电路的场效应晶体管。在 300V 以下的功率器件领域, Si MOSFET 器件是首选, 具有较为理想的栅极电阻、高速的开关性能、低导通电阻和高稳定性。在 SiC MOSFET 的开发与应用方面, 与相同功率等级的 Si-MOSFET 相比, SiC MOSFET (以英飞凌产品为例) 的优势有: (1) 开关损耗低, 在 25°C 结温下, SiC-MOSFET 关断损耗大约是 IGBT 的 20%, 在 175°C 的结温下, SiC MOSFET 关断损耗仅有 IGBT 的 10% (关断 40A 电流), 且开关损耗温度系数很小; (2) 导通损耗低, 当负载电流为 15A 时, 在常温下, SiC MOSFET 的正向压降只有 IGBT 的一半, 在 175°C 结温下, SiC MOSFET 的正向压降约是 IGBT 的 80%; (3) 体二极管续流特性好, 在常温及高温下, 1200V SiC MOSFET 体二极管仅有 Si MOSFET 体二极管 Q_{rr} 的 10%。因此, SiC MOSFET 电阻、开关损耗大幅降低, 适用于更高的工作频率, 另由于其高温工作特性, 大大提高了高温稳定性, 由此在新能源汽车电机控制器、车载电源、太阳能逆变器、充电桩、UPS、PFC 电源等领域有广泛应用。

图表23: SiC MOSFET 与 Si IGBT 开关损耗对比



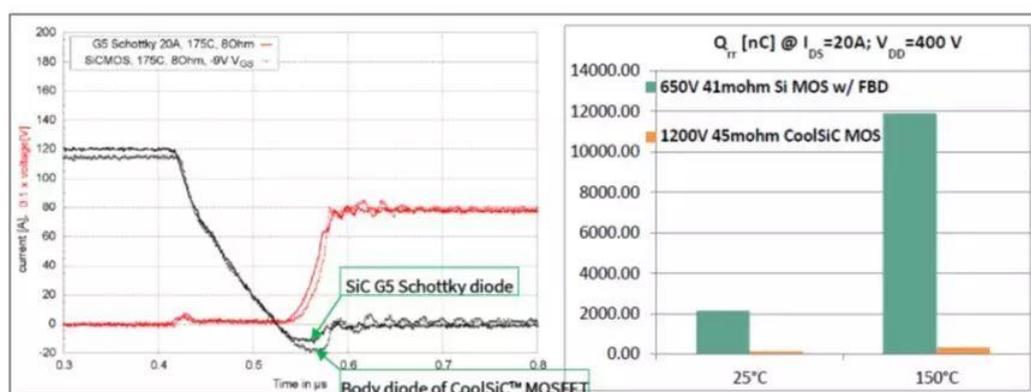
资料来源: 英飞凌, 中信建投

图表24: SiC MOSFET 与 Si IGBT 导通损耗对比



资料来源: 英飞凌, 中信建投

图表25: SiC MOSFET 体二极管动态特性



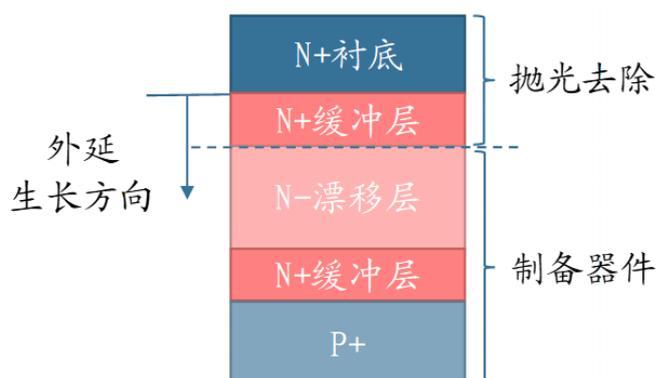
资料来源: 英飞凌, 中信建投

碳化硅绝缘栅双极晶体管 (Insulated Gate Bipolar Transistor, IGBT) 是一种复合全控型电压驱动式功率半导体器件, 是能源变换与传输的核心器件。SiC IGBT 结合了 SiC MOSFET 和 SiC 晶体管的优点, 得益于 SiC 的宽禁带和极高的电压等级, SiC 基 IGBT 的性能与 Si 基 IGBT 最大的差别是动态特性。正向性是静态特性的重要组成部分, 也就是导通特性, SiC IGBT 的正向导通电阻一般低于 Si IGBT 和 SiC MOSFET, 主要是由于其漂移区厚度小、电导调制更短所致, 且 n 沟道 SiC IGBT 相较于 p 沟道的 SiC IGBT 正向特性更优。此外, 动态特性方面, 与 Si IGBT 类似, SiC IGBT 由于其材料的特性, 导致动态参数有所不同; 门极驱动方面, SiC IGBT 的驱动和 Si 基 IGBT 在整体上差别不大, 需要考虑到高绝缘性能、低耦合电容、低成本、尺寸、高效率和高可靠性等因素。

对于 SiC IGBT, SiC 晶片质量、SiC/SiO₂ 界面特性、电磁干扰和短路耐受能力等却限制了它的使用, SiC IGBT 的制备存在一系列挑战。(1) 碳化硅晶片的质量直接决定其 IGBT 器件的性能、可靠性、稳定性和产率。碳化硅晶圆中材料的固有缺陷和外延生长的结构缺陷会大大降低碳化硅 IGBT 的载流子寿命, 高压 SiC 双极型器件需要很长的载流子寿命来降低导通压降, 此外, 寿命分布不均匀、不同缺陷密度之间的权衡等各类问题同样存在。大尺寸、高质量材料和低缺陷密度外延生长工艺都是实现 SiC IGBT 的关键。(2) 使用 SiO₂ 来作为栅极的氧化层, 带来 SiC/SiO₂ 界面性能新问题。SiC IGBT 可以像 Si 基的一样较容易形成 SiO₂ 层, 但是在氧化的过程中, 除了近界面陷阱外, 还会引入额外的 C 簇, 使得 SiC/SiO₂ 界面陷阱密度远大于 Si/SiO₂, 导致 SiC

MOS 的沟道迁移率大大降低；在 4H-SiC IGBT 中，SiO₂ 中的电场是 SiC 中的 2.5 倍，与 Si IGBT 相比，SiC IGBT 中较高的临界电场使得 SiO₂ 的电场更高。(3) 结端扩展(JTE)和场限环(FLRs)是目前 SiC IGBT 的两种主要终端技术，前者主要用于低压器件，后者用于高压器件，但 FLRs 在高压器件中需要消耗很大的面积。(4) SiC IGBT 仍封装在线绑定的模块中，绑定线失效和焊料的失效是常见的寿命限制因素。因此，从 SiC IGBT 的原材料到制备工艺到终端技术都存在阻碍 SiC IGBT 商业化的技术难点。

图表26：N 沟道 SiC IGBT 制备技术图



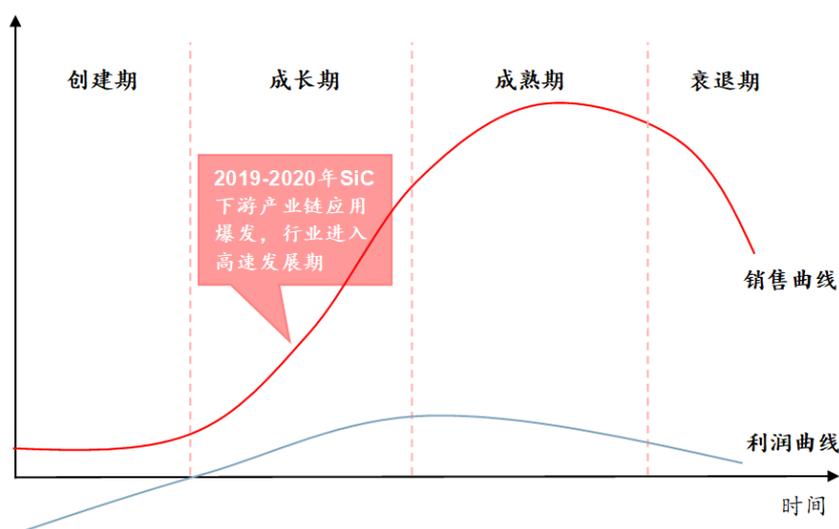
资料来源：功率半导体那些事儿，中信建投

二、需求：下游产业链应用爆发，SiC 市场需求红利释放

2.1 SiC 市场处于成长期，规模增长迅速

第三代半导体高速发展，市场红利逐步释放。2019 年及以前，以 SiC 和 GaN 为主的第三代半导体材料处于发展初期，晶圆设备开发、衬底外延制造、下游器件生产均处于研发阶段且尚未形成规模量产。随着美国、韩国、日本等半导体强国大力进行第三代半导体的相关研发，2020 年在产业链下游应用爆发的推动下，第三代半导体正式进入高速发展期。目前，SiC 衬底和外延技术已经可以应用于 8 英寸节点，相较于传统硅晶圆的 12 英寸来说仍有量级差距；SiC 功率器件（SBD、MOSFET）目前广泛用于新能源汽车、光伏、轨道交通等领域，国际领先企业已实现 MOSFET 器件的量产。此外，中国也发布了多项半导体行业建设政策，旨在打造国产先进半导体企业，这对第三代半导体的市场扩大具有积极意义。我们认为，第三代半导体已进入高速成长期，市场红利正在逐步释放，下游应用领域的快速发展将推动 SiC 市场的高增长，并加剧行业竞争。

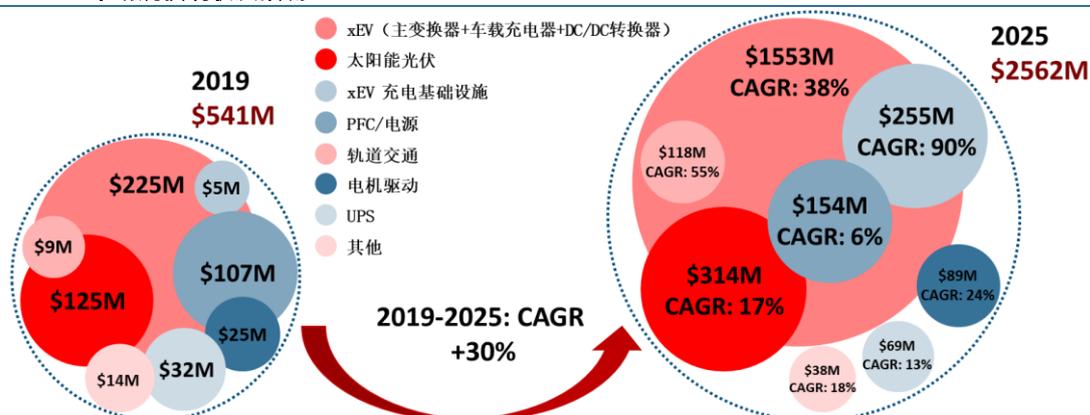
图表27： SiC 行业发展阶段曲线



资料来源：公司公告，中信建投

SiC 应用领域丰富，市场具备巨大潜力。2019 年，全球 SiC 市场的规模约为 5.41 亿美元，全球半导体市场规模约为 4123.07 亿美元，SiC 市场占总体比例不足 1%。预计 2025 年，全球碳化硅市场规模将达到 25.62 亿美元，未来 6 年 CAGR 约为 30%，市场成长空间巨大。由于 SiC 具有击穿电场高、热导率高、电子饱和速率高、抗辐射能力强等优势，碳化硅外延材料更适用于高电压、高频率等特定场景，主要应用领域包括：新能源汽车、光伏新能源、PEC 电源、充电基础设施、轨道交通等，下游产业广泛而丰富。其中，新能源汽车、光伏和充电基础设施占比最高，分别为 41.59%、23.11%和 19.78%，是碳化硅的主要应用领域。2020 年，新能源汽车和光伏发电市场的蓬勃发展很好地催动了碳化硅市场的上游需求，全球碳化硅晶圆呈现供给不足状态。我们预计，随着碳化硅晶圆产能的扩大和释放，下游终端市场的需求进一步增强，以及各国半导体政策的持续利好，全球碳化硅市场将迎来中长期的快速增长，同时惠及相关先进企业。

图表28: SiC 市场规模现状及预测

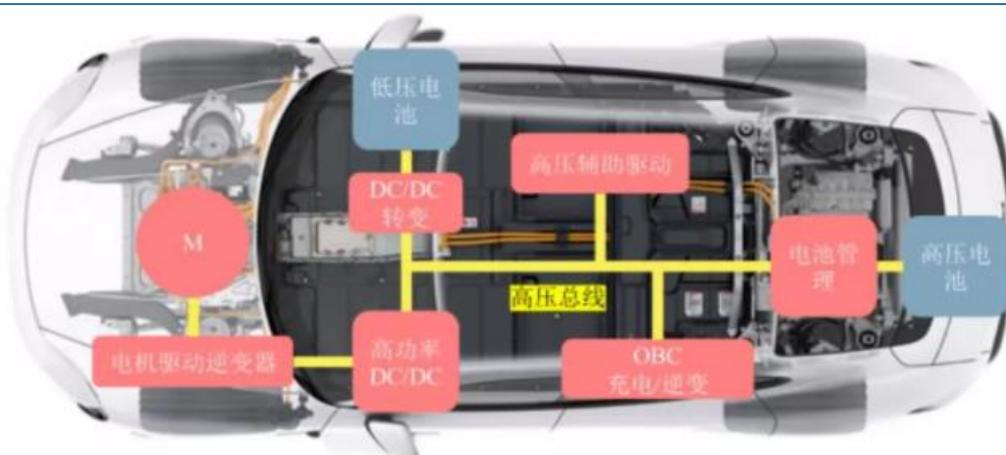


资料来源: Yole, 中信建投

2.2 新能源汽车

目前，SiC 器件在 EV/HEV 上的应用主要包括电机驱动系统逆变器、电源转换系统（车载 DC/DC）、电动汽车车载充电系统（OBC）及非车载充电桩等方面。基于 SiC 的解决方案使汽车电动系统效率更高、重量更轻、结构更加紧凑，尽管碳化硅器件成本较高，但它推进了电池成本的下降和续航里程的提升，降低了单车成本，无疑是新能源汽车最佳选择。其中，SiC SBD、SiC MOSFET 器件主要应用于 OBC 与 DC/DC，SiC MOSFET 主要用于电驱动。根据 WolfSpeed 预测，新能源汽车是 SiC 器件应用增长最快的市场，预计 2022-2026 年的市场规模从 16 亿美元到 46 亿美元，复合年增长率为 30%，其中到 2026 年用于电机驱动逆变器仍是最大市场，占比超过 80%。

图表29： 新能源汽车包含功率器件分布情况



资料来源：NE 研究院，比亚迪半导招股书，中信建投

图表30： 对车载和非车载的器件要求

应用领域	器件种类	电压	电流	
OBC	SiC SBD、SiC MOSFET	650V~1200V	≥20A	
DC/DC	SiC SBD、SiC MOSFET	650V~1200V	≥20A	
电驱动	乘用车	SiC MOSFET	650V~1200V	≥100A
	商用车	SiC MOSFET	1200V~1700V	≥100A

资料来源：CASA，中信建投

电驱动系统一般由驱动电机、离合器、齿轮箱和差速器组成，这是纯电动汽车传动系统布置的常规形式。在新能源汽车中，功率器件是电驱动系统的主要组成部分，对其效率、功率密度和可靠性起着主导作用。目前，新能源汽车电驱动部分主要就硅基功率器件组成。随着电动汽车的发展，对电驱动的小型化和轻量化提出了更高的要求。当前，比亚迪、特斯拉等部分车型已经使用了碳化硅功率器件的电机驱动控制器。特斯拉处在碳化硅器件应用的前列，其最新产品 Model S Plaid 便使用了以 SiC 为主要材料的电动逆变器，现已成为全球百米加速最快的车型。此外，特斯拉旗下的 Model Y 和 Model 3 也均采用了 SiC MOSFET 逆变器技术，其续航能力和逆变效率都有了显著提升，且在 2020 年全球新能源乘用车车型销量中均进入前十。比亚迪推出的“汉”EV 高性能四驱版本也配备了 SiC MOSFET 功率控制模块，是中国首个采用相关技术的车型。新能源汽车新秀蔚来在 2021 年发布的纯电轿车中，也将会采用 SiC 模块作为电驱动平台。

电源转换系统 DC/DC 是转变输入电压并有效输出固定电压的电压转换器，DC/DC 转换器分为三类：升压型 DC/DC 转换器、降压型 DC/DC 转换器以及升降压型 DC/DC 转换器，**车载 DC/DC 转换器可将动力电池输出的高压直流电转换为低压直流电**。基于碳化硅研制的功率器件，为氢能汽车燃料电池 DC/DC 变换器带来革命性的创新。开关频率高、功率密度大是 SiC 基功率器件最为显著的优势，相比传统基于 IGBT 模块变换器产品，开关频率提升 4 倍以上、功率密度提升 3 倍以上，系统平均效率大于 97%，最高效率可达 99%。

车载充电机（OBC） 是完成将交流电转换为电池所需的直流电，并决定了充电功率和效率的关键部件。汽车由内燃机驱动转变为电驱动，最明显的变化就是发动机和油箱分别被电机和电池取代了，同时随之而来的便是其它辅助器件的增加，如增加了 OBC 为电池充电。**SiC SBD、SiC MOSFET 等器件可使得 OBC 的能量损耗减少、热能管理改善**。根据 WolfSpeed，相较于传统的硅基器件，OBC 采用碳化硅器件可使其**体积减少 60%，BOM 成本将降低 15%**。此外，双向逆变技术是未来 OBC 标配的功能之一，使 OBC 不仅可将 AC 转化为 DC 为电池充电，同时也可将电池的 DC 转化为 AC 对外进行功率输出；将 OBC 及 DC/DC 等器件进行功能集成化将会提高成本上、体积上的优势。

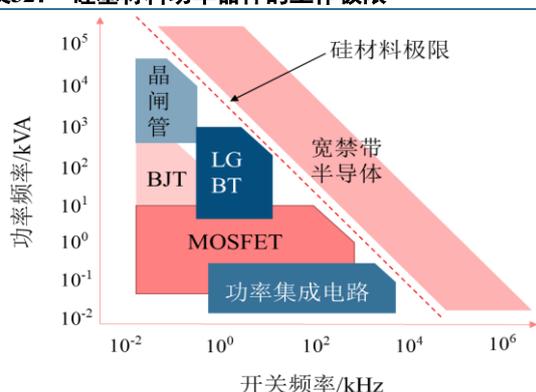
图表31：车载 OBC 发展趋势

性能	发展趋势
大功率	3.3kw(2015)、6.6kw(2017)、11kw(2020)...
新功能	单向 OBC(2015)、双向 OBC(2017 年研发)
多合一	OBC(2015 及以前)、OBC&电驱二合一(2017)、OBC&DC/DC 二合一(2018)...
新材料	Si MOS(2015 及以前)、SiC MOS(2018 年研发)

资料来源：电子研习社，中信建投

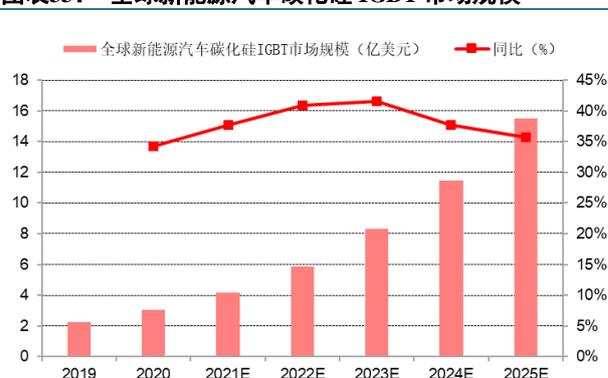
碳化硅材料性能上限高，与新能源车高度适配。目前，传统硅材料在 MOSFET、IGBT、功率 IC 等领域的器件性能已经逐渐接近极限，已无法适应新兴市场快速发展的变革需要，基于宽禁带半导体 SiC 制造的功率器件具有更为优越的物化性能。**通过在导电型碳化硅衬底上生长碳化硅外延，即可得到适用于新能源汽车、光伏、交通轨道等领域的功率器件**。它们相较于硅基器件具有更高的工作温度、击穿电压以及优越的开关性质，其开关频率和功率频率都轻易突破了传统材料的上限，因此广泛用于新能源汽车等领域。

图表32：硅基材料功率器件的工作极限



资料来源：CNKI，中信建投

图表33：全球新能源汽车碳化硅 IGBT 市场规模

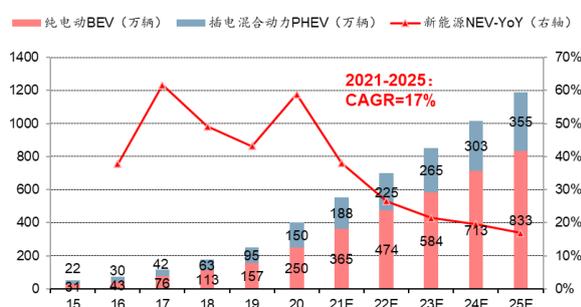


资料来源：Yole，中信建投

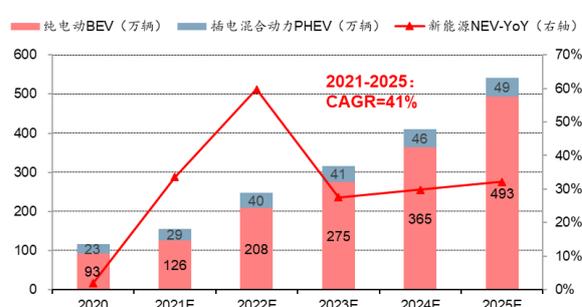
在新能源汽车的应用中，SiC 功率器件主要具有以下特点：**1) 显著降低散热器的体积和成本**：在主流的

HEV（混合动力汽车）中，车载逆变器的散热器件具有两套水冷系统，冷却温度均在 75-105 摄氏度。由于碳化硅具有的导热性能几乎为 Si 的三倍，因此在高温环境中 SiC-SBD 具有极佳的优势。若将两套冷却系统合二为一，HEV 散热器的成本和体积就可以得到有效地改善；2) 减小功率模块的体积：SiC 功率器件的电流密度、开关损耗都显著低于 Si 基器件，这使得同样的功率下，SiC-MOSFET 和 SiC SBD 可以在 100kHz 开关频率下工作。SiC 功率器件的封装体积显著低于 Si-IGBT，同时高频工作环境也能够减少器件的成本；3) 提高系统效率：传统 Si-IGBT 的导通电阻较大，在开关过程中具有较大的反向电流，趋于稳定的过程中会产生巨大的损耗。SiC-SBD 器件则具有优越的正向压降和反向电流，可以有效降低器件的损耗，从而进一步提高系统效率。目前，SBD 是新能源汽车领域应用最成熟的 SiC 器件，MOSFET 在国外范围内也得到了初步地生产和应用。实际上，SiC-SBD/MOSFET 的耐压范围已经与 Si-SBD(FRD) / Si-MOSFE(IGBT)十分接近，由于耐压范围的全覆盖，目前无需制作成本更高的 SiC-IGBT 器件，这也意味着碳化硅器件的性能上限要远高于硅基器件。

新能源汽车市场日益火爆，需求释放推动碳化硅市场快速增长。2020 年，全球新能源汽车市场销量为 400 万辆，其中插电混合动力 PHEV 类占比 37.50%，纯电动 BEV 类占比 67.50%，是当前市场的主要品类。我们预计，2021-2025 年全球新能源汽车的销量将以 14% 的 CAGR 快速增长。同时，中国已成为全球最大的新能源汽车市场，2020 年总体销量为 116 万台，占全球市场的 29.00%，未来五年的 CAGR 预测为 31%。新能源汽车市场的日益火爆，极大地拉升了碳化硅市场的增长幅度。2019 年，全球新能源汽车 IGBT 的市场规模约为 2.25 亿美元，预计该数值 2025 年将为 15.53 亿美元，市场将以 38% 的 CAGR 快速增长。同时，新能源汽车市场的应用也占据了碳化硅器件总市场的 41.59%，预计这一占比将于 2025 年提升至 60.62%。目前，用于电机驱动逆变器的碳化硅功率器件是车用 SiC 产品中最主要且潜在增长空间最巨大的部分，碳化硅在新能源汽车领域的应用已经达到了批量生产的临界区域，相关下游市场的大量需求正在逐步释放。预计随着新能源车市场渗透率的进一步扩大，以及功率模块和相关应用的迅速发展，碳化硅市场将在中期内迎来爆发。

图表34：全球新能源汽车市场销量及增长率预测


资料来源：LMC Automotive, 中信建投

图表35：中国新能源汽车市场销量及增长率预测


资料来源：IDC 中国, 中信建投

目前，全球的碳化硅厂商也在积极寻求合作，纷纷与先进新能源汽车企业签订协议。特斯拉 Model 3 所采用的 SiC MOSFET 功率模块正是由意法半导体提供的，且后者与碳化硅领先企业 Wolfspeed 签订了 150mm 碳化硅晶圆扩展协议，旨在为全球的 SiC 晶圆供给加码。此外，意法半导体还于 2021 年 6 月与雷诺集团达成战略合作，以提供用于电动和混合动力汽车的 SiC 功率器件供应，此举旨在降低汽车的电池成本、增加充电里程、缩短充电时间最终使成本降低近 30%。同时，日本先进半导体制造商 ROHM 也于 2021 年 9 月与吉利汽车达成合作，后者将使用 ROHM 提供的 SiC 功率器件实现高效的逆变效率和充电性能，从而进一步提高用户体验。WolfSpeed 也为郑州宇通集团提供了 1200V 的 SiC 功率器件，后者交付的首辆电动客车采用了碳化硅解决方案。目前，全球顶尖碳化硅器件制造商都纷纷与新能源车企寻求合作，以扩大自身在相关市场的领先地位，新能源汽车市场的快速发展必将加剧全球碳化硅企业的竞争，预计市场集中度将进一步提高。

图表36：2020年全球新能源乘用车车企销量 TOP10(辆)

排名	车企	销量合计	市场占有率
1	特斯拉	936172	14.4%
2	比亚迪	593878	9.1%
3	上汽通用五菱	456123	7.0%
4	大众汽车	319735	4.9%
5	宝马	276037	4.2%
6	梅赛德斯奔驰	228144	3.5%
7	上汽集团	226963	3.5%
8	沃尔沃	189115	2.9%
9	奥迪	171371	2.6%
10	现代汽车	159343	2.5%

资料来源：ev-sales.blog，中信建投

图表37：2020年全球新能源乘用车车型销量 TOP10(辆)

排名	车型	销量合计	市场占有率
1	特斯拉 Model 3	500713	7.7%
2	五菱宏光 MINIEV	424138	6.5%
3	特斯拉 Model Y	410517	6.3%
4	大众 ID.4	121631	1.9%
5	比亚迪 秦 PLUS DM-i	111553	1.7%
6	理想 ONE	90491	1.4%
7	比亚迪 汉 EV	86901	1.3%
8	比亚迪 宋 Pro/PLUS DM-i	78973	1.2%
9	长安奔奔 E-star	76454	1.2%
10	大众 ID.3	76278	1.2%

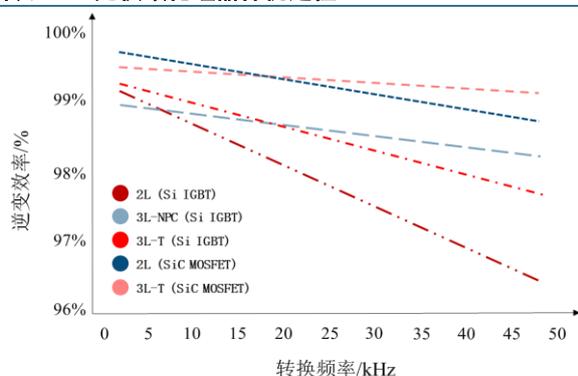
资料来源：ev-sales.blog，中信建投

电动电子和逆变器领域，据 ev-sales.blog 数据统计，2021 年包括插电混动、纯电动、燃料电池在内的新能源乘用车全球销量达到了 649.54 万辆。2021 年特斯拉全球新能源乘用车销量为 93.62 万辆，市占率达 14.4%，位列全球首位。其中，Model 3 销量为 50.07 万辆，市占率达 7.7%。特斯拉的热门型号车型将保持对 SiC 功率器件的搭载，结合其较高的市场占有率，这将继续推动 SiC 器件的需求高涨。车载充电系统和电源转换系统方面，碳化硅功率器件能够有效降低开关损耗、提高极限工作温度、提升系统效率，目前全球已有超过 20 家汽车厂商在车载充电系统中使用碳化硅功率器件。碳化硅器件应用于新能源汽车充电桩，可以减小充电桩体积，提高充电速度。2020 年 12 月，丰田汽车推出并公开发售“Mirai”燃料电池电动汽车，这是丰田汽车首次使用碳化硅功率器件。预计未来五年内，随着碳化硅相关功率器件在新能源汽车中的渗透率上升，碳化硅市场将会迎来更为快速的增长，我们对此抱有乐观预期。

2.3 太阳能光伏

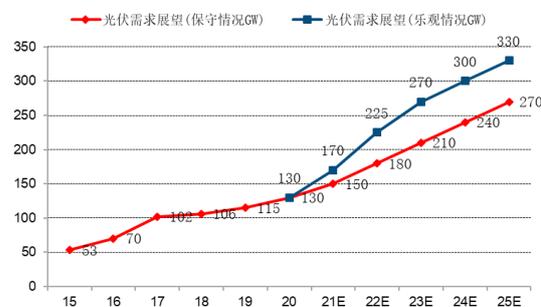
碳化硅物化性质优越，光伏原材料迭代升级。碳化硅具有较宽的带隙，导热能力近乎达到了硅原料的 3 倍，在太阳能光伏领域中发挥了重要作用。与传统的 Si 材料相比，SiC 具有极高的击穿电压和较低的导通电阻，因而其功率器件拥有更好的开关效率并且能高效地进行热量积累。碳化硅制造的高电压 MOSFET 具有优越的开关性能，其功能不受温度影响，由此能很好地在升温系统中保持稳定效力。此外，SiC MOSFET 也可以在具备高转换频率的同时，拥有 99% 以上的逆变效率。因此，SiC 可以广泛应用于太阳能光伏功率器件，主要包括光伏逆变器、控制器、功率模组等。尽管碳化硅器件具有较高的制造成本，但其高导热率、高击穿电场、低损耗等特性，都使得光伏系统效率更高，从而进一步降低成本。无论从光伏产业链上游的材料制造看，还是从下游应用的高效能看，碳化硅都具有无与伦比的高效能。预计中长期内，碳化硅将会成为太阳能光伏领域功率器件的主要制造原料，同时带动产业链整体实现迭代升级。

图表38：光伏碳化硅器件优越性



资料来源: Electronic Products, 中信建投

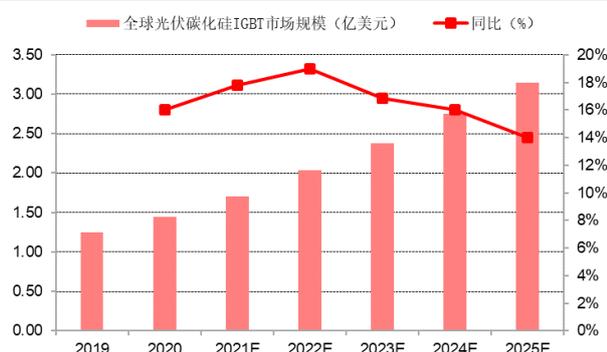
图表39：全球光伏需求预测



资料来源: GPIA, 中信建投

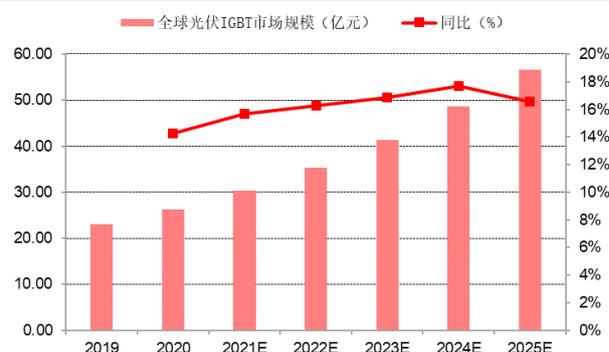
光伏新能源市场发展空间广阔，碳化硅材料仍有较大潜在空间。2018 年我国能源消费中煤炭消费占比高达 59%，风光等优质能源消费占比仅 4%。而根据“十四五”规划要求，2025 年要实现单位 GDP 能源消耗降低 13.5%，光伏等新能源产业发展空间广阔。2020 年，全球光伏能源需求为 130GW，乐观情况下预计 2025 年该项指标将到达 330GW，以 20.48% 的 CAGR 快速增长。即使在保守情况下，全球光伏需求也将以 15.74% 的 CAGR 提升，预计 2025 年实现 270GW 的广泛需求。同时，2019 年全球太阳能光伏碳化硅 IGBT 市场规模约为 1.25 亿美元，未来五年内将以 17% 的 CAGR 快速增长，预计 2025 年将到达 3.14 亿美元。目前，全球的光伏 IGBT 市场规模约为 23 亿元，碳化硅器件占比约为 35%，该渗透率仍将继续增长。我们认为，随着全球光伏需求的进一步增长，以及碳化硅 IGBT 器件渗透率的不断提高，表现强势的太阳能光伏市场将持续拉升对碳化硅的需求，并进一步推动碳化硅功率器件市场的快速增长，碳化硅材料增长潜在空间仍然巨大。

图表40：全球光伏碳化硅 IGBT 市场规模



资料来源: Yole, 中信建投

图表41：全球光伏 IGBT 市场规模

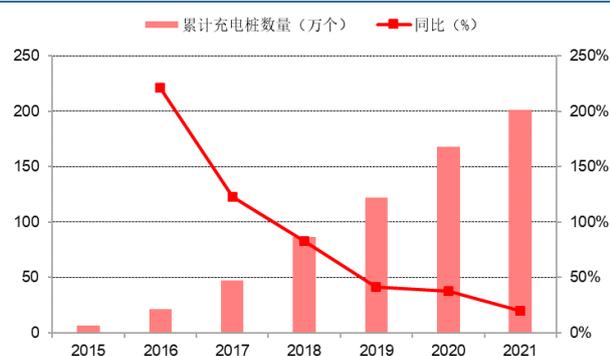


资料来源: IEA, 中信建投

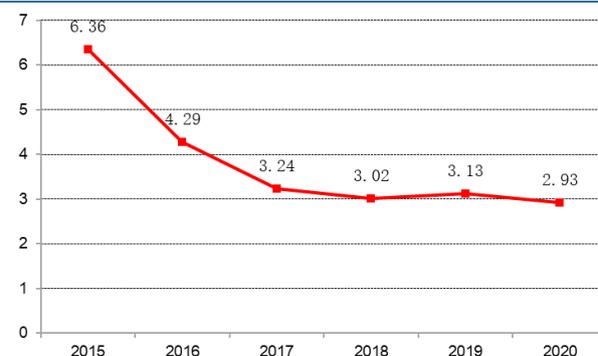
光伏功率器件性能显著，诸多领先厂商纷纷加码。在光伏太阳能领域中，以硅为原料制作的逆变器成本约为系统总体的 10%，但却是能量损耗的来源之一。然而，以碳化硅为基础的 MOSFET 和功率模组可以将光伏逆变器的转换效率从提高至 99% 以上，能量损耗可以减少 50% 以上，设备寿命提高 50 倍左右。目前，国外领先碳化硅功率器件厂商意法半导体、ROHM 都已实现了 MOSFET 器件的量产，并将广泛应用于光伏太阳能领域。同时，国际著名半导体器件制造商 Onsemi 已推出了适用于光伏逆变器的 SiC 功率模组，该模组集成了 1200V 40mΩ 的 MOSFET 和升压二极管，将较好地提升逆变器的性能效率。著名太阳能和光伏组件制造商 Tainergy Tech 也已成立相关子公司，专门生产用于 GaN 外延的 SiC 衬底，并且致力于实现碳化硅对自身业务发展的良好推动。国内方面，三安集成也已完成 SiC 器件的量产平台打造，其首发产品 1200V 80mΩ 碳化硅 MOSFET 已实现了一系列性能和可靠性测试，可应用于光伏系统组成。此外，露笑科技和斯达半导体也积极投入碳化硅器件生产，并广泛布局光伏业务。目前，无论是领先的半导体器件制造商，还是先进的太阳能光伏组件企业，都积极投入碳化硅 IGBT，并使其广泛应用于光伏领域。我们预计，未来五年内碳化硅功率器件将更为广泛地应用于光伏市场，后者亦将为 SiC 器件带来至少 15% 以上的快速增长。

2.4 充电基础设施

中国累计充电桩数量创新高，车桩比例趋向合理。截止 2021 年 7 月，中国累计充电桩数量约为 201 万台，同比增长 20%，近六年 CAGR 为 76.69%，整体呈现爆发式增长。目前，新能源汽车充电桩分为公共、专用和私人用类，还可以分为交流充电和直流充电两类。2020 年我国主要以私人交流和直流充电桩为主，两者分别占比 57.45% 和 61.67%，是碳化硅器件的主要应用方向。然而，我国充电桩数量仍然低于 480 万的预期规划，供不应求仍将推动充电桩数量迅速增长，从而创造巨大的市场需求并推动行业增长。同时，2015-2020 年中国系新能源汽车和充电桩比例不断下降，从 6.36 收窄至 2.93，充电桩供应迅速提高。尽管充电配套设施整体有所改善，但仍然低于比例为 1 的预期目标，市场仍具有较大的增长空间。基于 IEA 预测，预计 2025 年全球充电桩保有量将达到 4580-6500 万个，私人充电桩预计为 3970-5670 万个，公共充电桩保有量约为 610-830 万个，整体数量迅速增长且仍以私人充电类型为主。与此相适应的，预计 2025 年中国新能源汽车保有量将突破 2500 万辆，则充电桩数量推算约为 800 万个，复合增长率将达到 41.42% 左右，市场预期状况良好。因此，我们认为中国以及全球的充电桩需求仍存在较大的增长空间，车桩比例仍将进一步趋近合理化，从而推动碳化硅市场的发展。

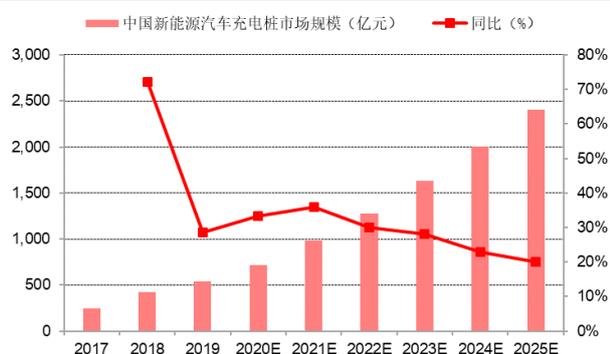
图表42： 2015-2021 年中国累计充电桩数量


资料来源：EVCIPA，中信建投

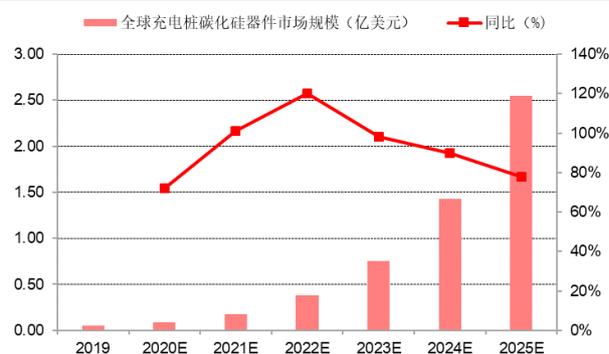
图表43： 2015-2020 年中国车桩比例


资料来源：EVCIPA，中信建投

充电桩市场增长迅速，碳化硅器件助力充电桩性能升级。2019 年中国新能源汽车充电桩市场需求规模约为 540 亿元，同比增长 29%。预计 2025 年，中国充电桩市场将以 28.27% 的 CAGR 达到 2400 亿元，成长潜力十分巨大。实际上，SiC MOSFET 和二极管产品具有耐高压、耐高温、开关频率快的特性，可以很好地用于充电桩模块。与传统硅基期间相比，碳化硅模块可以增加充电桩近 30% 的输出功率，并且减少损耗高达 50% 左右。同时，碳化硅器件还能够增强充电桩的稳定性，减小器件系统体积，降低成本并进一步增加碳化硅 IGBT 器件在充电桩市场的渗透率。目前，新能源汽车充电桩中碳化硅器件的渗透率仅为 10% 左右，仍然具有很大的潜在发展空间。2019 年，全球充电桩碳化硅器件市场规模约为 5 百万美元，预计 2025 年将增长至 2.55 亿美元，未来六年 CAGR 高达 90%，增长十分迅速。预计随着碳化硅期间渗透率的提高，充电桩需求的持续上涨，配套设施的进一步完善，全球充电桩碳化硅器件市场仍将持续增长，从而引起碳化硅市场的高度火热。

图表44：中国新能源汽车充电桩市场规模及预测


资料来源：前瞻，中信建投

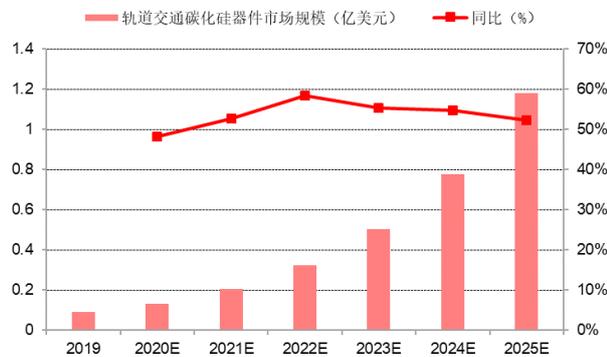
图表45：全球充电桩碳化硅器件市场规模


资料来源：Yole，中信建投

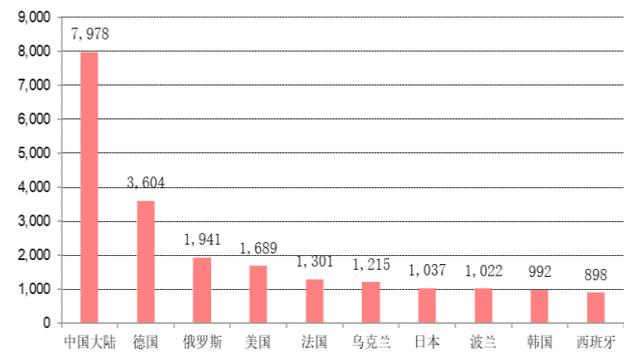
罗姆等碳化硅器件领先企业进入充电桩市场，相关领域技术研发进一步加速。目前，ROHM 已经推出了基于碳化硅的充电基础设施解决方案，从而应用于高效和小型化的大功率充电桩。首先，针对单向充电桩罗姆提出使用 FRD、SiC MOS 和 SBD 的解决方案，可以很好地提高功率密度和充电效率。ROHM 通过高耐压的 1200V 碳化硅 MOSFET 来削减器件个数，从而进一步降低充电桩的体积。其次，针对双向充电桩罗姆提出了三相 B6-PFC 拓扑方案，通过使用 1200V 的 SiC MOSFET 和全碳化硅功率模块，制造具备多功能的小型充电桩。此外，安森美也在开发用于直流充电桩的碳化硅功率器件和模块，希望构建更高功率的充电方式，并通过 AC-DC 和 DC-DC 级的升压转换器提高充电效率。由此可见，碳化硅器件龙头都在进行充电桩技术模块的研发，英飞凌、WolfSpeed、STM 等公司都在积极进入碳化硅充电桩市场。预计未来，充电桩市场将会迎来更多的发展机遇，领先企业将发挥龙头效应，与政府机构积极合作，构建更完好的充电桩生态系统。

2.5 轨道交通

全球交通轨道碳化硅器件市场增长迅速，轨道交通运营需求旺盛。2019 年，全球交通轨道碳化硅功率器件市场规模已达 9 百万美元，未来五年以 55% 的 CAGR 增长，预计 2025 年将实现 1.18 亿美元的规模，增长空间巨大。目前，半导体器件主要用于交通轨道领域中的牵引变流器、主辅一体变流器、电力电子变压器、辅助变流器、电源充电机等系统，且牵引流变器是功率交流传动系统中的核心装备，对于提高机车性能有重要意义。此外，碳化硅器件可以广泛用于轨道交通领域，提高牵引流变器等装置的功率密度和工作效率，从而提高系统的整体性能，达到减轻轨道交通载重的目的。同时，全球轨道交通运营里程合计近 3 万公里，2020 年中国大陆以 7978 公里位列第一，占全球总里程的 23.9%，且地铁与轻轨运营能力均位居首位。此外，2018 年全球地铁和轻轨累计运送客量达到 681 亿次，整体来看全球交通轨道需求量较大，且仍将持续攀升。因此，我们认为交通轨道领域仍有较为长久的发展空间和上升渠道，城市地铁轻轨仍然供不应求，整体运力有待提升。碳化硅器件将有效降低交通轨道运营成本，提高机车整体性能，从而满足该领域的高度需求。

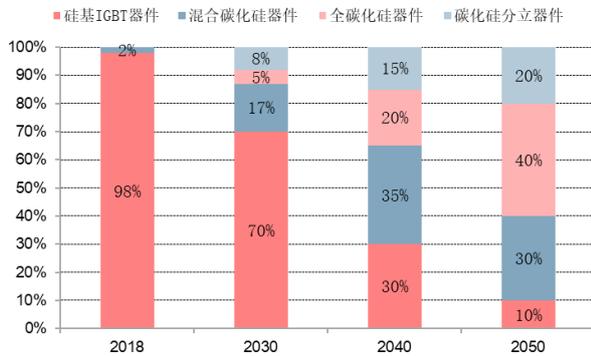
图表46：全球轨道交通碳化硅市场规模及预测


资料来源：天科合达，中信建投

图表47：2020 年全球轨道交通运营里程 TOP10


资料来源：前瞻，中信建投

交通轨道碳化硅器件占比逐渐增加，轨道交通已成功采用碳化硅材料。2018 年，轨道交通领域中硅基 IGBT 器件占功率器件整体的 98%，仅有 2% 为混合碳化硅器件。由于碳化硅功率器件的电流容量存在限制，全球仅能使用混合碳化硅器件进行替代。未来随着碳化硅器件容量逐步释放，我们预计混合碳化硅器件、全碳化硅器件和碳化硅分立器件将占据主要地位，2050 年将分别实现 30%、40% 和 20% 的比例，成功替代传统硅基器件。实际上，碳化硅器件可以较好地实现轨道交通领域设备的小型化和高效化，利用其巨大的技术优势提高整体运力。早在 2012 年，日本地铁银座线已完成了包含碳化硅 SBD 的混合器件的商业应用，显著增强了列车的牵引系统节能效果，电动机能量损耗同时大幅下降，冷却单元也实现了小型化。2014 年，日本小田急电 1000 列车已经搭载了由三菱提供的 3300V/1500A 全碳化硅功率模块逆变器，达到了开关损耗降低 55%、体积降低 65%、电能损耗降低近 30% 的效果。2015 年，日本新干线 N700S 也已将碳化硅功率器件应用于牵引流变器，从而大幅度降低了机车重量，进一步实现了运载效率并降低了运营成本。

图表48： 轨道交通碳化硅器件占比预测


资料来源: Yole, 中信建投

图表49： 全球轨道交通碳化硅技术采用情况

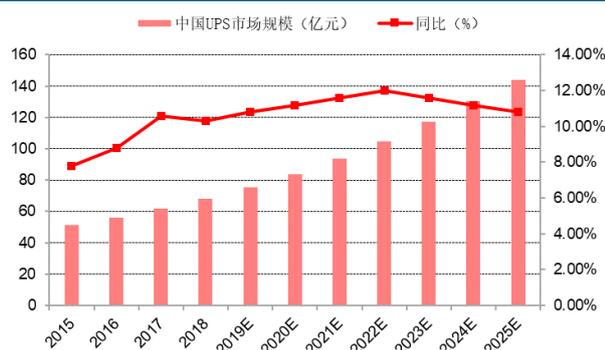
地区	时间	线路	供应商
中国	2018.1	西安地铁4号线	中车永济电机
中国	2020.7	珠海1号线	中车大连公司
中国	2020.1	上海8号线	中车永济电机
中国	2020.1	上海6号线	中车永济电机
中国	2021.3	苏州3号线	中车浦镇公司
中国	2021.5	深圳1号线	中车株洲电机
日本	2012.2	地铁银座线	三菱
日本	2014	小田急电1000列列车	三菱
日本	2015.6	JR东海新干线	日立、富士、三菱
日本	2019	山手线E235系列	东芝
欧洲	2018.3	瑞典斯德哥尔摩C20地铁	
欧洲	2019.4	欧盟Shift2Rail项目	
欧洲	2019	西班牙EUSKOTREN列车	CAF、IKERLAN

资料来源: 百度, 中信建投

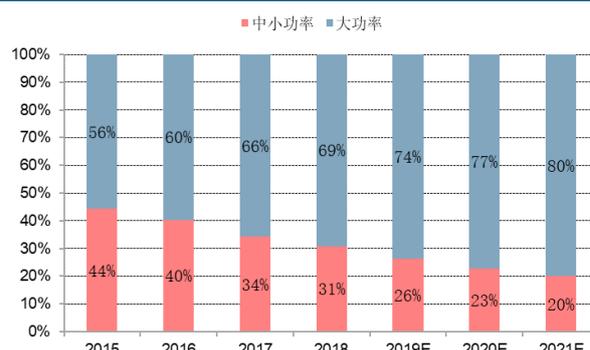
领先企业加码交通轨道领域，中国地铁持续应用碳化硅器件。2013年，中车永济和株洲公司已开始SiC器件的封装及应用研发，2018年中车时代也推出了用于牵引流变器的碳化硅混合模块。2021年3月，苏州3号线采用全碳化硅半导体技术，牵引系统、直驱电机等重要器件均搭载碳化硅模块。经预算，碳化硅器件的应用可以实现5%以上的节能，同时具有效率高、噪音低、损耗小的特点。2021年5月，深圳1号线已搭载由3300V大功率SiC MOSFET制作的全碳化硅牵引逆变器，耗能降低了10%以上，且研发、生产、实验等过程均由深圳和中车完成。国内公司方面，泰科天润已与2015年研制出用于交通轨道领域的碳化硅肖特基二极管产品；基本半导体也已完成了相关领域SiC MOSFET和模块的研发；山东天岳也与荷兰STRUKTON公司成立交通牵引系统合资项目。国外公司中，ABB已与2016年推出用于轨道交通领域的碳化硅功率器件；2019年WolfSpeed也与ABB达成合作，旨在帮助WolfSpeed部门进入高铁市场；JR东海、川崎、三菱等日本企业也已提高技术标准，以满足高铁市场的高需求。显然，国内外的领先碳化硅半导体企业纷纷加注交通轨道市场，寻求政府机构进行项目合作，以抓住高速增长的需求机遇。我们预计，未来将有更多领先企业投资交通轨道市场，从而推动后者的快速增长，并提高碳化硅器件在该领域中的渗透率，增长前景巨大。

2.6 UPS

中国 UPS 市场规模创造新高，大功率 UPS 器件占据主要地位。2018 年中国 UPS 市场规模约为 68.1 亿元，同比增长 10.30%，创造历史新高。UPS 市场整体保持 9% 左右的增速，增长表现较为迅速。同时，UPS 的销售核心区域仍是发达国家地区，因此国内的 UPS 市场仍有较大的成长潜力。一方面，医疗、汽车、军事、航空航天等热门领域都需要搭载 UPS 系统，保持供电的稳定性，这些领域的持续发展推进将为 UPS 市场带来良好的潜在发展空间。另一方面，随着全球 5G 建设的不断加深以及生物医药、轨道交通、光纤宽带等新兴领域的火热发展，UPS 将更好地应用于相关市场，从而引起自身规模的进一步增长。因此，我们认为中国的 UPS 市场仍有较大的发展潜力和成长空间，且整体增速将远高于国外市场。与此同时，2018 年中国大功率 UPS 器件占比约为 69%，近年来比例不断上升，成为了 UPS 的主要应用类型。大功率 UPS 器件主要用于金融、物联网、电信等高端产业，国家在交通轨道和医疗领域的大力投资也扩大了大功率 UPS 的适用范围。此外，中小功率 UPS 价格较低，大功率则具备较好的利润优势，因此整体发展要优于小功率器件。大功率 UPS 器件占据主导地位，将为 UPS 的市场发展带来更高的增速。预计 2025 年中国 UPS 市场规模将达到 144 亿元，并且将以 11.31% 的 CAGR 持续增长，市场整体发展前景广阔，也将为 SiC 市场的发展带来更多机遇。

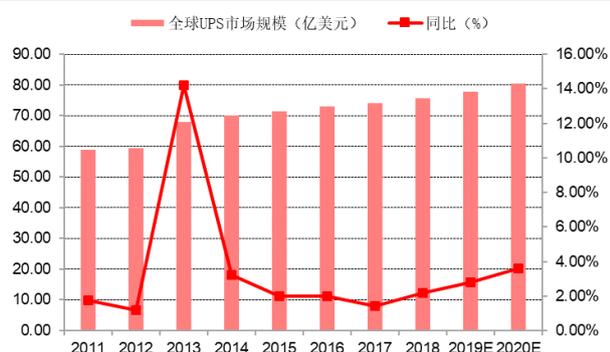
图表50： 2015-2025 年中国 UPS 市场规模及预测


资料来源：CCID，中信建投

图表51： 2015-2021 年中国 UPS 器件类型情况


资料来源：前瞻，中信建投

全球 UPS 市场潜在发展空间较大，UPS 碳化硅器件市场增长迅速。2018 年全球 UPS 市场规模约为 75.6 亿美元，同比增长 2.20%，近五年内市场整体增长平缓。同时，2019 年全球 UPS 碳化硅约为 0.32 亿美元，整体渗透率不足 3%，预计市场规模将以 13% 的 CAGR 持续增长并于 2025 年达到 0.69 亿美元。实际上，目前用于 UPS 的 IGBT 功率器件具有易于驱动、开关频率优越、抗冲击能力强等特点，但却存在由于更高的开关速度导致较高的电力损失。然而，碳化硅功率器件则具有两个主要特点：1) 较小的芯片尺寸，可以用于提高系统集成度从而改善 UPS 器件效率；2) 较低的动态损耗，可以有效增加输出功率并减轻重量体积，进一步降低器件成本。搭载碳化硅 IGBT 器件，可以将 UPS 的转换效率达到 99% 及以上，进一步实现高效节能。因此，尽管碳化硅器件的成本较高，但包含 SiC MOSFET 和二极管的 UPS 系统可以有效提高其功效并改良缺陷。我们预计，未来碳化硅器件在 UPS 市场的渗透率将进一步提高，并更好地用于政府、工业、电机、物联网等实体经济领域。因此，全球 UPS 的市场和渗透率增长潜在空间较大，从而进一步推动碳化硅市场的发展。

图表52： 2011-2020 年全球 UPS 市场规模及预测


资料来源：立鼎产业研究，中信建投

图表53： 2019-2025 年全球 UPS 碳化硅器件市场规模


资料来源：Yole，中信建投

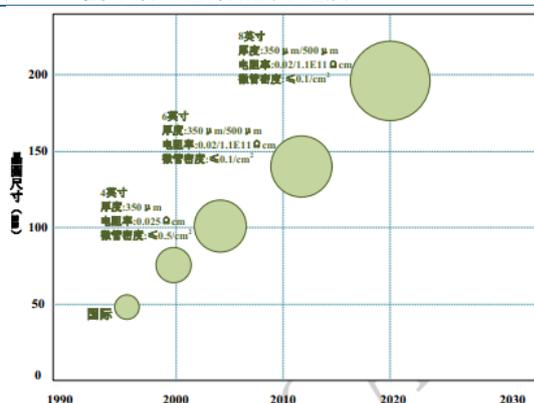
碳化硅领先企业驻入 UPS 市场，碳化硅 UPS 应用将持续升级。目前，罗姆已经生产了一系列的 SiC 二极管和 MOSFET 先进器件，其全碳化硅功率模块可以降低 70% 以上的功率损耗，可实现较为高效的 UPS 系统。WolfSpeed 也成功开发了 1200V/450A 的半桥模块，可以很好地提高功率密度并降低电感，以确保极端环境下的稳定工作，可以很好用于 UPS 器件制造。安森美也研发了一系列 IGBT 驱动器件，可以广泛用于 UPS 电源，提高其工作的可靠性和效率。国内方面，基本半导体专注于碳化硅器件的原料制备、芯片设计和封装测试等，产品可用于 UPS 电源领域。华润微也向 UPS、逆变器、变频器等领域拓展，其量产的 IGBT 产品主要用于 UPS 系统和电焊机等领域，对 8 英寸 SiC 晶圆衬底的研究也将为 UPS 市场带来性价比更好的功率器件。由此看来，国内外的碳化硅龙头企业和新兴企业都有积极推进自身功率器件的研发，从而快速推动 UPS 的应用升级和市场革新。我们预计，未来将会有更多的先进企业推进自身碳化硅产业在 UPS 领域的应用，进一步提高混合和全 SiC 器件的渗透率，满足 UPS 市场的巨大需求并推进 SiC 市场持续增长。

三、供给：短期产业链受限衬底产能，长期产能扩张带来价格下降

3.1 碳化硅衬底制备存在多重挑战，位于产业链核心环节

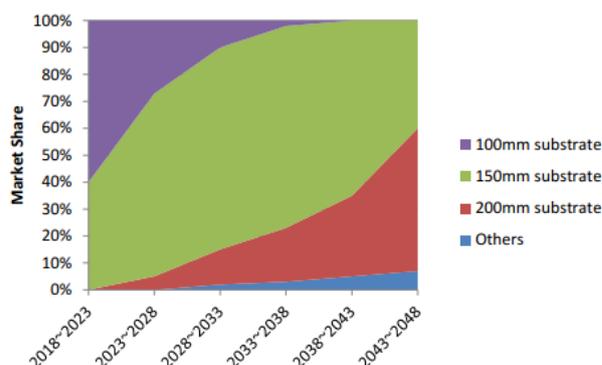
国际上 6 英寸 SiC 衬底产品实现商用化，未来占据市场份额主流地位。目前，全球市场上 6 英寸 SiC 衬底已实现商业化，且在未来几年里 6 英寸衬底将占据市场主要份额。此外，主流大厂也陆续推出 8 英寸样品，微管密度达到 0.6cm^{-2} ，预计 5 年内 8 英寸将全面商用。当前，WolfSpeed 公司能够批量供应 4 英寸至 6 英寸导电型和半绝缘型碳化硅衬底，且已成功研发并开始建设 8 英寸产品生产线。2021 年 7 月，意法半导体就宣布其可制造出首批 8 英寸 SiC 晶圆片。随着碳化硅基电子电力器件的逐步推广与应用，大直径衬底可以有效降低器件制备成本，以 6 英寸衬底为例，使用直径 150mm 的衬底相较于 4 英寸的衬底能够节省 30% 的器件制备成本。因此，未来大尺寸碳化硅衬底的比例将会不断增加，4 英寸碳化硅衬底市场份额将被压缩，6 英寸及 8 英寸碳化硅衬底将是未来市场主流。

图表54： 国外碳化硅衬底技术进展



资料来源：CASA，中信建投

图表55： 碳化硅衬底尺寸市场占比演变



资料来源：CASA，中信建投

碳化硅衬底制备面临多重技术挑战，降低结晶缺陷密度技术使得制备成本增加。碳化硅衬底制备主要有以下技术难点：（1）碳化硅衬底制备过程中，碳化硅单晶的制备对于温度场设计要求较高。适宜的温度场是制备碳化硅单晶的基础，不适宜的温度场极易导致单晶开裂等问题。此外，随着碳化硅衬底直径的增加，温度场的设计及实现难度也在增加。（2）降低结晶缺陷密度。衬底中结晶缺陷（如：微管、穿透性螺位错（TSD）、基平面位错（BPD））会对器件造成负面影响。由于碳化硅较高的生长温度，为降低结晶缺陷密度，传统的工艺条件（如掩膜法）已经不能满足低结晶缺陷密度单晶的生长，势必需要导入新工艺，增加工艺复杂性，这会推高单晶成本。因此，需要投入较长的时间及较大的物料成本研发新工艺，较长的研发周期可能会阻碍衬底单位面积成本的下降，且随着单晶生长厚度的增加，单晶残余内应力迅速增加，这会导致单晶结晶质量下降甚至导致单晶开裂等问题，如何有效兼顾单晶可用厚度及单晶结晶质量存在较大难度。

当前，国内厂商碳化硅衬底生产的技术指标与国际主流厂商相比仍有明显差距。衬底主要的三个几何参数为 TTV（总厚度偏差）、Bow（弯曲度）及 Wrap（翘曲度），国内厂商与国外领先厂商仍存在明显差距。此外，产品的一致性问题是难以攻克的短板，国产衬底目前较难进入主流供应链。具体来说，国产衬底技术短板以及一致性问题的主要包含两个方面：（1）由于国内厂商起步相对较晚，在材料匹配、设备精度和热场控制等技术角度需要长时间的专门知识累积；（2）国内厂商的客户较少且比较分散，客户的反馈速度更慢，反馈内容不彻底。相比较起来，WolfSpeed 的产品线覆盖衬底、外延、器件乃至模组，后端反馈充分且及时。因此，国内厂商的

技术差距直接导致衬底综合性能较差，无法用于要求更高的产线中；一致性则则表示优质衬底比例较低，直接导致衬底的成本大幅上升，上述两点导致国内厂商制造的衬底还无法进入主流供应链。

图表56： 国内外厂商衬底技术指标对比

参数	天科合达	同光晶体	WolfSpeed
直径 Diameter(mm)	150.0±0.2	150.0±0.25	150.0±0.25
厚度 Thickness(μm)	350±25	350±25	350±25
总厚度偏差 TTV(μm)	≤15	≤15	≤5
弯曲度 Bow(μm)	≤40	≤40	< ±20
翘曲度 Wrap(μm)	≤60	≤60	≤10
表面粗糙度 Roughness(nm)	≤0.5	<0.3	
微管密度 Micropipe Density(cm^{-2})	≤0.5	≤1	
电阻率 Resistivity($\Omega \cdot cm$)	0.015~0.025	0.015~0.028	μ
多型 Polytype Areas	None	0	
六方空洞 Hex Plates	累计面积≤0.05%	NA	
裂纹 Cracks	None	NA	

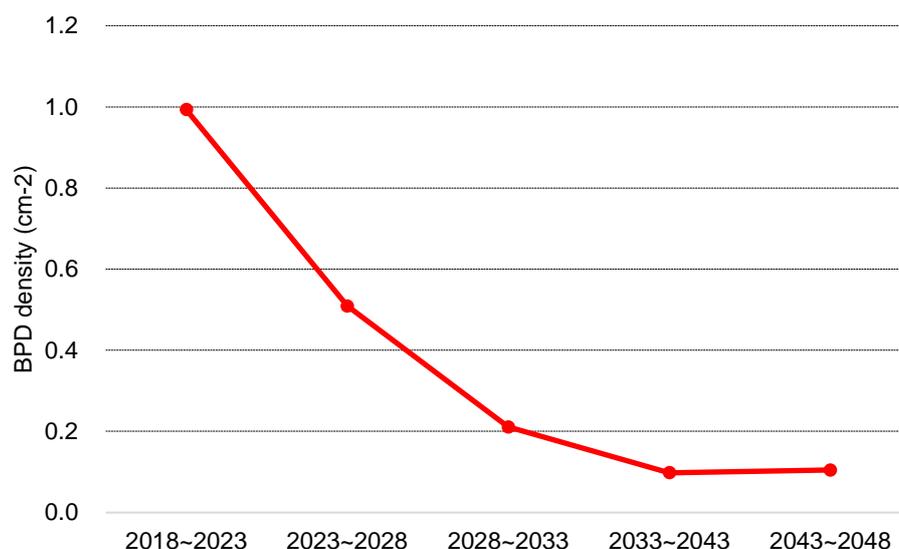
资料来源：电子发烧友《火热的投资环境以及政策保障下，我国SiC产业已完成基本布局》，中信建投

3.2 碳化硅外延处于产业链中间环节，受制于碳化硅衬底技术缺陷

当前外延主要以 4 英寸及 6 英寸为主，大尺寸碳化硅外延片占比逐年递增。碳化硅外延尺寸主要受制于碳化硅衬底尺寸，当前 6 英寸碳化硅衬底已经实现商用，因此碳化硅衬底外延也逐渐从 4 英寸向 6 英寸过渡。在未来几年里，大尺寸碳化硅外延片占比会逐年递增。由于 4 英寸碳化硅衬底及外延的技术已经日趋成熟，因此，**4 英寸碳化硅外延晶片已不存在供给短缺的问题，其未来降价空间有限。**此外，虽然当前国际先进厂商已经研发出 8 英寸碳化硅衬底，但其进入碳化硅功率器件制造市场将是一个漫长的过程，随着 8 英寸碳化硅外延技术的逐渐成熟，未来可能会出现 8 英寸碳化硅功率器件生产线。

碳化硅外延主要解决外延晶片均匀性控制和外延缺陷控制两大问题。(1) 外延晶片均匀性控制方面，由于外延片尺寸的增大往往会伴随外延晶片均匀性的下降，因此大尺寸外延晶片均匀性的控制是提高器件良率和可靠性、进而降低成本的关键。(2) 外延缺陷控制问题。基晶面位错 (BPD) 是影响碳化硅双极型功率器件稳定性的一个重要结晶缺陷，不断降低 BPD 密度是外延生长技术发展的主要方向。**由于物理气象传输法 (PVT) 制备碳化硅衬底的 BPD 密度较高，外延层中对器件有害的 BPD 多来自于衬底中的 BPD 向外延层的贯穿。**因此，提高衬底结晶质量可有效降低外延层 BPD 位错密度。随着碳化硅器件的不断应用，器件尺寸及通流能力不断增加，对结晶缺陷密度的要求也不断增加，在未来技术的进步下，碳化硅外延片结晶缺陷密度会随之不断下降。

图表57： 碳化硅外延片中 BPD 缺陷密度变化



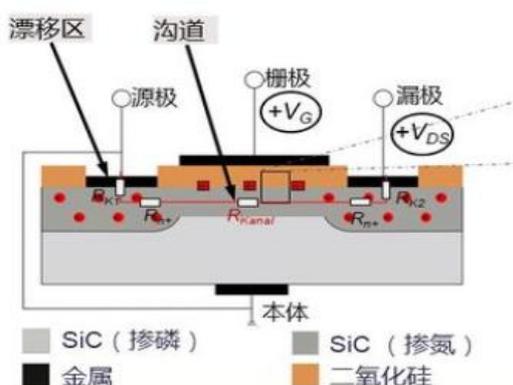
资料来源：CASA，中信建投

3.3 碳化硅功率器件制备存在技术难点，国外厂商先行

碳化硅中高压功率二极管商业化产品逐年增多，主要以碳化硅 SBD 和结势垒型 JBS 器件为主。2020 年，国际上有超过 20 家公司量产碳化硅二极管系列产品，击穿电压主要分布在 600V-3300V，根据 Mouser 数据显示，2020 年共有约 800 款碳化硅 SBD 产品在售，较 2019 年新增 122 款，中高压商业化产品逐年增多。碳化硅 SBD 器件当前在专利设计方面几乎没有壁垒，国内领先企业如派恩杰已经开始第六代碳化硅 SBD 的研发，与国外差距较小。而碳化硅 SBD 器件制造产线方面，国内外差距较为明显，国内碳化硅 SBD 制造产线多数处于刚通线的状态，还需经历产能爬坡等阶段，离大规模稳定量产还有一定距离。

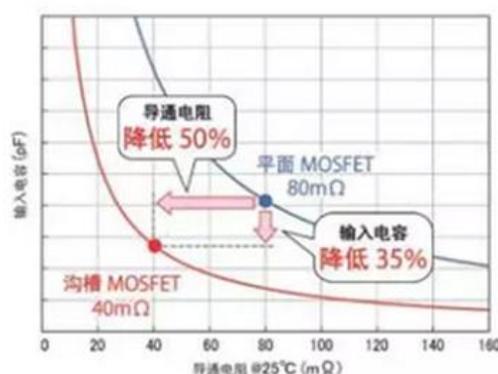
当前，碳化硅 MOSFET 制备技术要求较高，碳化硅 MOSFET 采用沟槽结构可最大限度地发挥 SiC 的特性，栅级氧化物形成技术挑战较高。平面 SiC MOSFET 的缺陷密度较高，MOSFET 沟道中电子散射降低沟道电子迁移率从而使得性能下降，即沟道电阻上升、功率损耗上升而沟道电流下降。由于 SiC MOSFET 的 N+源区和 P 井掺杂都是采用离子注入的方式，在 1700℃ 温度中进行退火激活，一个关键的工艺是 SiC MOSFET 栅氧化物的形成，而碳化硅材料中同时有 Si 和 C 两种原子存在，因此需要非常特殊的栅介质生长方法。

图表58：平面 4H-SiC MOSFET 结构



资料来源：英飞凌，中信建投

图表59：平面与沟槽 MOSFET 特点对比



资料来源：电子发烧友，中信建投

碳化硅 MOSFET 质量不断改善推动产品商业化。自 2010 年以来，碳化硅功率 MOSFET 在汽车、光伏及铁路等多个市场取代硅技术，科瑞公司于 2011 年推出了市场上第一个垂直 N 沟道增强型碳化硅功率 MOSFET，碳化硅 MOSFET 市场规模不断扩大。当前，碳化硅 MOSFET 的质量不断改善，已基本达到业界使用的要求。以市售的 1200V 碳化硅 MOSFET 为例，其沟道迁移率已经提高到适当水平，多数主流工业设计的氧化物寿命达到了可接受的水平，阈值电压变得越来越稳定。因此，在碳化硅 MOSFET 质量不断改善的激励下，目前其商用在不断推进，市场上有多家供应商可以供应生产水平量的碳化硅 MOSFET。

碳化硅 MOSFET 国外厂商已实现量产，MOSFET 稳定性需要时间验证。目前英飞凌、ST、罗姆等国际大厂 600-1700V 碳化硅 SBD、MOSFET 均已实现量产，而国内所有碳化硅 MOSFET 器件制造平台仍在搭建中，部分公司的产线仍处于计划阶段，离正式量产还有很长一段距离。同时，最新的 Gen 4 Trench SiC MOSFET 专利被国外公司掌握，未来可能存在专利方面的问题。产线方面 WolfSpeed、英飞凌等已开始布局 8 英寸线，而国内厂商还在往 6 英寸线过渡。此外，碳化硅 MOSFET 的产品稳定性需要时间验证。根据英飞凌 2020 年功率半导体应用大会上专家披露，目前 SiC MOSFET 真正落地的时间还非常短，在车载领域才开始商用（Model 3 中率先使用了 SiC MOS 的功率模块），一些诸如短路耐受时间等技术指标没有提供足够多的验证，SiC MOSFET 在车载和工控等领域验证自己的稳定性和寿命等指标需要较长时间。

3.4 碳化硅衬底迎来产能爆发期，未来价格有望下降

近年来，全球发达国家及中国不断推出相关政策支持第三代半导体材料发展。据不完全统计，2002年-2019年，美国共计出台了23项第三代半导体相关的规划政策，总投入经费超过22亿美元。2020年全年，虽然美国并未正式出台相关政策，但本年度相关提案涉及的经费超过480亿美元。2020年，欧盟24个国家中有17个国家联合发布了《欧洲处理器和半导体科技计划联合声明》，宣布了未来2-3年内对半导体领域的投入将达到1450亿欧元。韩国于2020年6月，抛出万亿韩元半导体振兴计划，从2020年到2029年在系统级芯片（SoC）领域投资总计1万亿韩元（约59亿元人民币）。日本大力巩固第三代半导体领域技术优势，日本经济省准备资助日企和大学围绕GaN材料部署研发项目，预计2021年将拨款2030万美元，未来5年斥资8560万美元。我国自2015年发布《中国制造2025》规划以来，近五年不断推出相关产业政策，大力支持国内第三代半导体材料的发展。

随着下游新能源汽车等产业的需求带动下，国外碳化硅衬底生产商纷纷宣布扩产。全球市场上，第三代半导体龙头厂商科锐公司2019年开始建设“世界上最大”的碳化硅晶圆厂有望在2022年初开始投产，聚焦车规级产品，是科锐公司10亿美元扩大碳化硅产能计划的一部分。此外，科锐宣布与意法半导体扩大现有的多年长期碳化硅晶圆供应协议，科锐在未来几年将向意法半导体提供6英寸碳化硅裸片和外延片。丰田通商株式会社于2021年初正式宣布其成功开发出“零缺陷”的6英寸碳化硅衬底，能够同时提高SiC衬底的良率和产能，且其技术可以让任何尺寸、任意供应商的SiC衬底的BPD（基底面位错）降低至1以下。II-VI也计划将150毫米（6英寸）碳化硅材料的产能扩大5-10倍，同时扩大差异化200毫米材料技术的批量生产，以满足未来五年预期的不断增长的需求。

在宽禁带半导体产业的政策支持和行业快速发展刺激下，国内厂商开始布局碳化硅产业链。当前，在国内政策支持和行业发展吸引下，国内诸多企业开始进入第三代半导体产业链制造中，如露笑科技、三安光电、天通股份等上市公司均已公告进入碳化硅领域；斯达半导在今年3月宣布加码车规级SiC模组产线；而比亚迪半导体、闻泰科技、华润微等也有从事SiC器件业务。此外，天科合达、山东天岳等国内厂商也都走在扩产路上。2021年8月，山东天岳子公司上海天岳总投资25亿元计划建设碳化硅半导体材料项目开工，在达产年将形成年产导电型碳化硅晶圆2.6块，对应衬底产品30万片的产能。项目计划于2022年试生产，预计2026年100%达产，其中6英寸半绝缘型衬底预计在2023年形成量产。湖南三安半导体基地一期项目于2021年正式投产，该项目将打造国内首条、全球第三条碳化硅全产业生产线，项目全面建成投产后，月产能将达到3万片6英寸碳化硅晶圆。

图表60：2020年主要发达国家第三代半导体研发项目

出资方	承担单位	项目金额	研发内容
美国能源部	纽约州立大学	62.5万美元	研究降低用于高性能应用的碳化硅功率器件的制造成本
美国能源部	DELTA公司	700万美元	研发极速EV充电器的固态变压器
美国国防部	Qorvo公司	7500万美元	建造先进异质集成封装射频制造和原型设计中心
欧盟 GaNext 项目	英国 CGD 公司牵头，13 个欧洲相关企业和研究机构参与	1030 万欧元	研发带有集成传感器和控制器的全球最紧凑、最具能效的 650V GaN 功率模块
英国南威尔士州	-	2544 万英镑	Csconnected 项目启动了化合物半导体产业集群建设重大项目
德国研究部	-	4500 万欧元	补充经济部先有的芯片生产供货计划，并扩大微电子研究计划

资料来源：CASA，中信建投

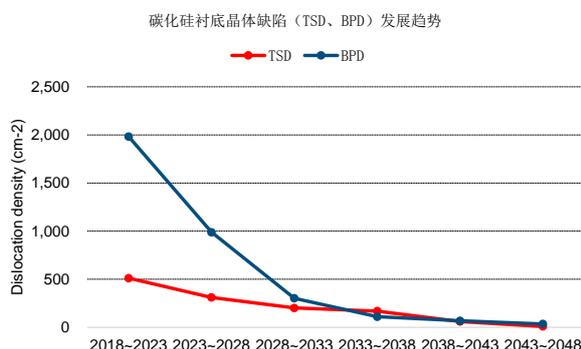
图表61：国内第三代半导体材料支持政策

序号	发布时间	发布单位	名称	主要内容
1	2015	国务院	《中国制造 2025》	突破大功率电力电子器件、高温超导材料等关键元器件和材料的制造和应用技术，形成产业化能力
2	2016	全国人大	《国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》	提升新兴产业支撑作用，大力推进先进半导体等新兴前沿领域创新和产业化，形成一批新增长点
3	2016	国务院	《“十三五”国家科技创新规划》	围绕重点基础产业、战略性新兴产业和国防建设对新材料的重大需求，加快新材料技术突破和应用，发展先进功能材料技术，重点是第三代半导体材料等技术与应用
4	2016	科技部、国家发改委、外交部、商务部	《推进“一带一路”建设科技创新合作专项规划》	共同开展第三代半导体等先进材料制造技术合作研发
5	2016	工信部、国家发改委、科技部、财政部	《新材料产业发展指南》	加强大尺寸硅材料、大尺寸碳化硅单晶、高纯金属及合金溅射靶材生产技术研发，加快高纯特种电子气体研发及产业化，解决大规模集成电路材料制约；面向智能输变电装备领域，突破大尺寸碳化硅单晶及衬底、外延制备及模块封装材料技术；开展重点新材料应用示范，以宽禁带半导体材料等市场潜力巨大、产业化条件完备的新材料品种，组织开展应用示范。
6	2016	国家能源局	《能源技术创新“十三五”规划》	研究 8 英寸碳化硅衬底材料稳定制备技术，实现 6 英寸碳化硅晶体衬底材料批量生产；突破 10kv 以上低损耗 SiC 器件关键技术及 SiC 多芯片级联关键技术，实现 10kv/100A 以上的功率器件稳定运行
7	2017	国家发改委	《战略性新兴产业重点产品和服务指导目录》	将碳化硅衬底材料列入战略性新兴产业重点产品目录
8	2017	科技部、交通运输部	《“十三五”交通领域科技创新专项规划》	建立汽车电子控制技术创新及测试评价平台，开展 IGBT、碳化硅、氮化镓等电力电子器件技术研发及产品开发和零部件、系统的软硬件测试技术研究及测试评价规范体系研究
9	2017	工信部、国家开发银行	《关于组织开展 2017 年工业强基工程重点产品、工业“一条龙”应用计划工作的通知》	提出以城市轨道交通应用为源头，实现 3.3KV 和 6.5KV 高频高压回合 SiC IGBT 及 SiC MOSFET 器件、驱动和变流装置的技术突破
10	2018	统计局	《战略性新兴产业分类（2018）》	将集成电路制造和半导体分立器件制造列为战略性新兴产业
11	2019	财政部、国家税务总局	《关于集成电路设计和软件产业企业所得税政策的公告》	依法成立且符合条件的集成电路设计企业和软件企业，在 2018 年 12 月 31 日前自获得年度起计算优惠期，第一年至第二年免征企业所得税，第三年至第五年按照 25% 的法定税率减半征收企业所得税，第三年至第五年，并享受期满后为止
12	2019	工业和信息化部	《关于印发重点新材料首批次应用示范指导目录（2019 年版）的通知》	对重点新材料首批次应用给予保险补偿，GaN 单晶衬底、功率器件用 GaN 外延片、SiC 外延片、SiC 单晶衬底等第三代半导体产品进入目录
13	2019	国务院	《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》	面向量子信息、类脑芯片，第三代半导体、下一代人工智能、靶向药物、免疫细胞治疗、干细胞治疗、基因检测八大领域，加快培育布局一批未来产业。

资料来源：中商产业研究院，中信建投

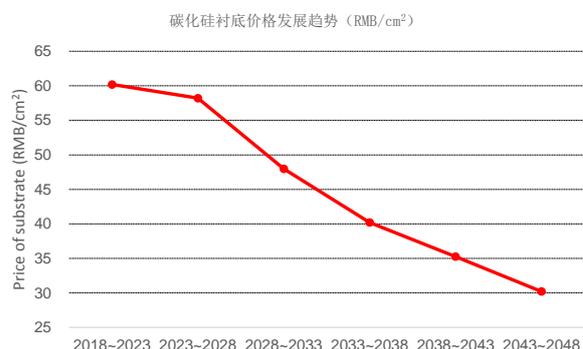
随着碳化硅衬底制备技术的提升及产能扩张，碳化硅衬底及外延单位面积价格或将下降。目前主流厂商均有能力制备低微管密度衬底 ($<1/\text{cm}^2$)，TSD、BPD 密度的降低将会成为衬底厂商研发工作的重点，因此预计衬底中的 TSD 及 BPD 密度将会不断下降。此外，随着衬底直径不断扩大、单晶可用厚度不断增加，单位面积衬底成本将不断降低。伴随大直径衬底占比不断提高，衬底单位面积生长成本下降，以直径 150mm 单晶与直径 100mm 单晶为例作比较，150mm 生长成本大约为 100mm 的 1.5-2 倍，可用面积却是 100mm 的 2.25 倍。当前单晶可用厚度在不断增加，以直径 100mm 单晶为例，2015 年前大部分单晶厂商制备单晶平均可用厚度在 15mm 左右，2017 年底已经达到 20mm 左右，预期单晶的平均可用厚度仍将持续增加。据半导体时代产业数据中心（TD）预测，在 2020 年至 2025 年期间，碳化硅晶片在半导体领域出货量的复合增长率将达到 43.8%，到 2025 年还将达到 80 万片，可大规模应用于电动汽车等领域，碳化硅衬底价格有望下降。碳化硅衬底是碳化硅外延的主要成本来源，未来单位面积价格有望下降。在外延价格构成中，衬底占据了外延 50% 以上的成本，随着衬底价格下降，碳化硅外延价格也有望降低。碳化硅外延的成本构成还包括设备、厂务和人工成本部分，随着设备的改进，此类成本也将降低。随着客户对外延质量要求的提高，研发和良率损失部分成本也将保持在 7% 左右。

图表62：碳化硅衬底晶体缺陷（TSD、BPD）发展趋势



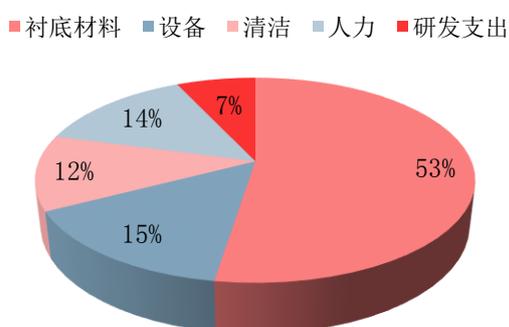
资料来源：CASA，中信建投

图表63：碳化硅衬底价格发展趋势（RMB/cm²）



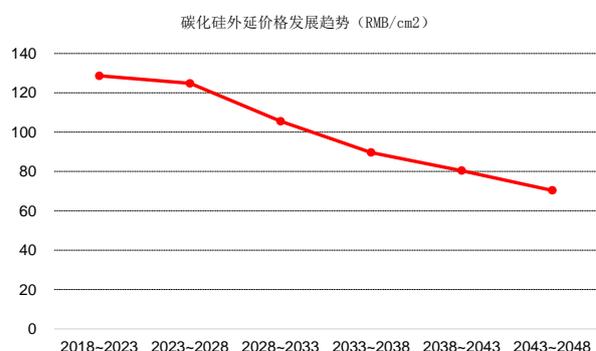
资料来源：CASA，中信建投

图表64：碳化硅外延片成构成



资料来源：CASA，中信建投

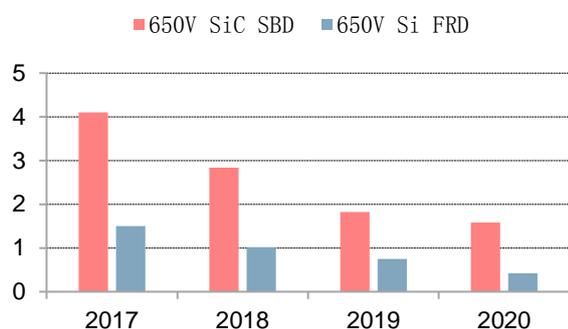
图表65：碳化硅外延价格发展趋势（RMB/cm²）



资料来源：CASA，中信建投

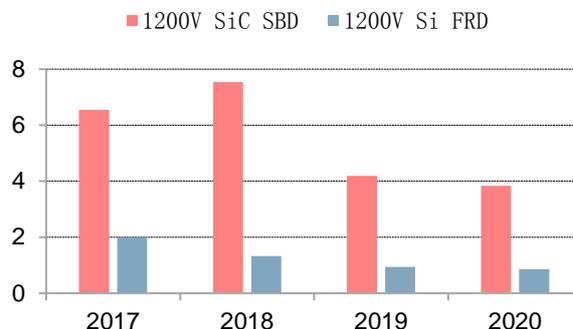
碳化硅电力电子器件价格进一步下降，与同类型 Si 器件价差缩小。当前碳化硅器件成本约为硅的 4-5 倍，而器件的主要成本来源是碳化硅衬底，在上游衬底材料商纷纷扩产后，未来 2-3 年碳化硅衬底供应加大，衬底价格下降有望带动碳化硅器件的成本下降。以汽车级碳化硅 MOSFET 器件为例，由于使用碳化硅 MOSFET 器件可以大幅提高汽车性能，目前是新能源汽车电机控制器、车载电源器件制备的首选，但受制于碳化硅衬底产能的影响当前价格较高。2020 年受疫情影响，产品供货周期延长，但从全年情况来看，碳化硅器件有所下降，与传统产品的价差持续缩小。SiC SBD 产品价格略有下降，降幅较前两年有所收窄。根据 CASA 中 Mouser 数据显示，650V 的碳化硅 SBD 年底均价较 2019 年底下降了 13.2%，1200V 的碳化硅 SBD 均价 2020 年较 2019 年下降了 8.6%，与硅器件的差距在 4.5 倍左右。SiC MOSFET 降价明显，与硅器件价差收窄到 2.5~3 倍之间。根据 CASA 中的 Mouser 数据，650V、900V、1200V、1700V 的 SiC MOSFET 在 2020 年底的平均价格分别同比下降了 13%、2%、27.62%、33.4%。而从实际成交价格来看，650V、1200V 的 SiC MOSFET 价格较 2019 年下降幅度达 30%-40%，与 Si 器件价差也缩小至 2.5~3 倍之间。因此，随着 6 英寸晶圆不断扩产形成规模经济后，碳化硅 MOSFET 的价格有望下降。

图表66： 650V 碳化硅 SBD 价格（元/A）



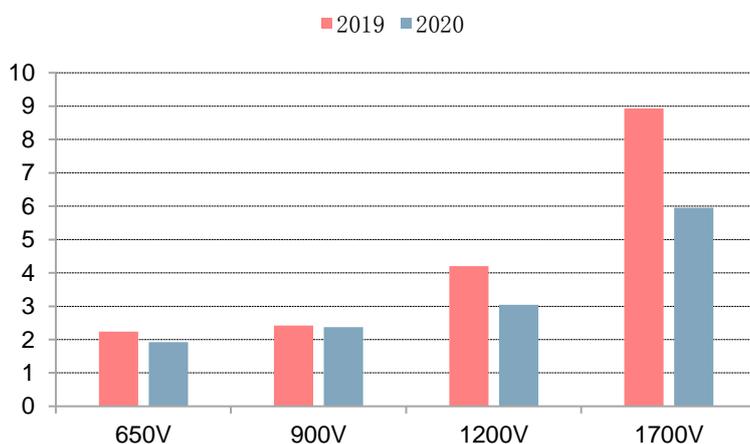
资料来源：Mouser, Digi-key, CASA, 中信建投

图表67： 1200V 碳化硅 SBD 价格（元/A）



资料来源：Mouser, Digi-key, CASA, 中信建投

图表68： 2019 与 2020 SIC MOSFET 价格对比（元/A）



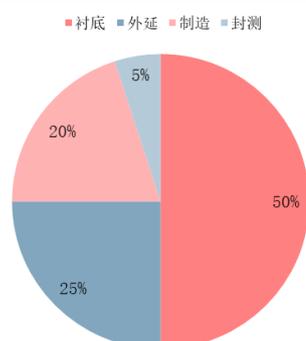
资料来源：Mouser, CASA, 中信建投

四、全球碳化硅市场竞争格局

4.1 碳化硅成本以衬底为主，美、日、欧企业占据主导地位

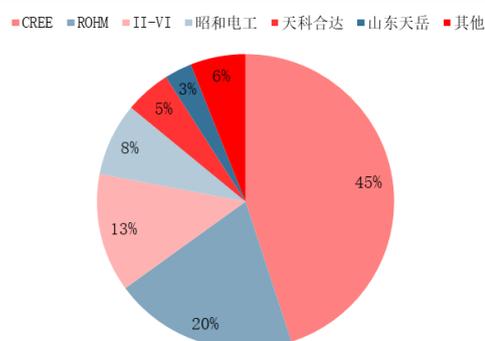
碳化硅器件成本以衬底制造为主，全球市场国外企业具备领先地位。碳化硅市场产业链主要分为晶圆衬底制造、外延片生产、碳化硅器件研发和装备封装测试四个部分，其中碳化硅衬底是产业链的核心区域，占据市场总成本的 50%左右。此外，碳化硅外延片和器件制造分别占据产业成本的 25%和 20%，同样是市场成本的主要贡献者。封测分为封装和测试两个部分，是芯片和器件完成制造后进行性能试验的重要环节，由于程序和依赖程度相对较低，整体占比仅为总成本的 5%。实际上，由于具备晶体生长过程繁琐，晶圆切割困难等特点，碳化硅衬底的制造成本一直处于高位。其次，碳化硅外延的质量对器件性能影响较大，同时外延自身也受到衬底质量的影响，其材料具有高品质的需求，因而在产业链中具备较高的成本。

图表69：全球碳化硅市场成本结构情况（%）



资料来源：CASA，中信建投

图表70：全球碳化硅衬底市场份额情况（%）



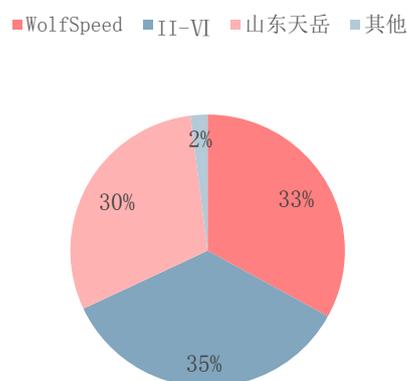
资料来源：Yole，中信建投

外国企业占据市场主导地位，行业集中度高。全球碳化硅衬底市场目前仍以国外企业为主，2020 年上半年科锐(WolfSpeed)、罗姆(ROHM)、II-VI、昭和电工、天科合达五家企业合计市场占比分别达到 91%，市场高度集中。其中，WolfSpeed 独占 45%的市场份额，是全球的龙头企业，且国外企业合计占比超过 85%，占据市场主导地位。目前，碳化硅市场以 IDM 为主要运作模式，WolfSpeed、ROHM 和 STM 都是领先的 IDM 企业，后两者均通过收购的方式成功进入碳化硅衬底和外延市场，II-VI 则是传统的衬底和外延片生产商。国内企业中，山东天岳和天科合达都致力于衬底领域，瀚天天成、东莞天域则主要覆盖外延片，华润微、基本半导体等企业则集中进行期间生产。目前国内暂未出现碳化硅的 IDM 企业，且整体份额占比较小，但受益于政策利好等因素，国产替代进程仍在不断加快。2020 年伴随着电动汽车、5G 基站、物联网等领域的快速发展，碳化硅市场也迎来了高度景气。然而，2019 年全球碳化硅市场规模约为 5.4 亿美元，预计 2025 年将突破 25 亿美元，相较于传统硅半导体市场来说规模仍然较小。尽管行业目前集中度高，但领先企业仍将面临来自其他公司的激烈威胁，其业绩在中长期内将有波动风险。国内企业仍可抓住快速发展期，实现衬底和外延等技术更迭。

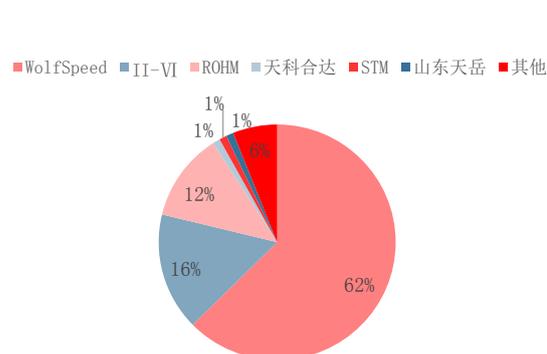
4.2 细分领域龙头效应明显，国产替代成效显著

4.2.1 碳化硅衬底技术产生更迭，国内企业逐步推进国产替代

国外龙头已突破 8 英寸节点，国内企业竞争劣势明显。2020 年，碳化硅衬底的技术节点主要分布在 4-6 英寸，而国际主流企业 WolfSpeed、II-VI 和 STM 已经实现了 8 英寸衬底样品的研发，技术水平居全球首位。目前，国内外主流企业均已实现 4-6 英寸晶圆的规模化生产，但国内的 8 英寸晶圆仍处于研发阶段。尽管国内企业在 4-6 英寸衬底的技术实力可以与国际先进水平相媲美，但仍然存在较多的不利竞争因素。首先，碳化硅半导体属于资金、人才和技术密集型行业，由于国内 SiC 产业起步较晚，整体来说仍然受到发展限制。其次，碳化硅企业需要大量的资本支出和技术投入，国内企业的融资渠道较为单一，这较大地限制了公司的发展空间和竞争力。国内外公司还在产能供给方面存在较大差异，国际一流厂商均已建立十分完善的 2-6 英寸碳化硅衬底工厂，国内企业受到自身瓶颈限制，产能供应仍处于相对劣势地位。

图表71：全球半绝缘型碳化硅衬底份额情况（%）


资料来源：Gartner, 中信建投

图表72：全球导电型碳化硅衬底份额情况（%）


资料来源：Gartner, 中信建投

国产替代进程加快，半绝缘型衬底进步显著。目前，国内企业在 2-6 英寸的半绝缘型和导电型碳化硅衬底领域均已实现部分国产替代，8 英寸晶圆也在研制过程中。2020 年，山东天岳在半绝缘型的碳化硅衬底市场中已占据 30% 的市场份额，与国际龙头 WolfSpeed 和 II-VI 相比差距很小。实际上，该数值在 2019 年仅为 18%，山东天岳在一年内将市占率提高了 12 个百分点，进入行业第一梯队。而在导电型碳化硅衬底市场，2018 年 WolfSpeed 以 62% 的市占率位居全球首位，其次为 II-VI 和 ROHM，三者合计占比达 90%。天科合达和山东天岳的全球市占率合计不足 5%，但随着公司技术水平不断提升以及产能释放，预计两者在导电型衬底领域的市占率将会进一步提升。尽管国外企业在两类衬底市场均占据领先地位，但山东天岳已经快速实现半绝缘型碳化硅衬底的进口替代，同时天科合达也在积极推进导电型衬底的技术研发，国产替代进程将持续突破。

4.2.2 碳化硅外延市场逐步实现国产替代，国内企业产能逐步提高

国外企业技术领先，国产供给仍在提高。目前，碳化硅衬底具有两类外延片：1) 半绝缘型：该类衬底通常与 GaN 外延结合形成异质晶圆，并主要用于生产微波射频器件；2) 导电型：该类型衬底与 SiC 外延结合产生同质晶圆，主要用于新能源汽车等领域的功率器件生产。WolfSpeed、ROHM、II-VI 和 STM 均覆盖了 SiC 外延的生产业务，基本可以实现 6 英寸衬底上进行外延生产，并且可以实现 250 微米及以上的厚层生长。此外，国外企业在小于 12 微米和大于 30 微米的外延片均具有良好的成品率和质量控制，国内企业则存在质量不

稳和缺陷密度高的问题。瀚天天成和东莞天域均已完成了 3-6 英寸碳化硅外延的研发和生产，并为全球提供 N-型和 P-型外延掺杂材料。此外，中电科十三所、五十五所等也拥有碳化硅衬底的供应部门。

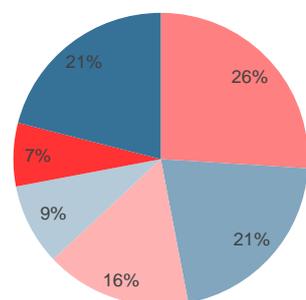
国内企业瀚天天成已实现 3-6 英寸的外延供给，同时还可生产用于 600-1700V 的碳化硅功率器件的外延片。目前，公司一期产能约为 6 万片每年，在纯碳化硅外延生产商中其产能位居全球前列。同时，公司将建设 10 条 6 英寸的碳化硅外延生产线，预期产能将提高至 40 万片每年，以满足日益增长的订单需求。东莞天域目前也是全球碳化硅外延片的主要生产商之一，早期已经实现 3 和 4 英寸的外延片产业化供给，目前也可提供 6 英寸外延片和相关碳化硅功率器件产品。此外，中电科也从事 4-6 英寸的碳化硅外延生产，同时还提供 N-型 4H-SiC 衬底和高纯 4H-SiC 衬底材料。目前，国内外在碳化硅外延层面的技术差别相对较小，均可满足 3-6 英寸的各类外延片生产，国内企业的供给量也在逐年提升，逐步成为全球主要的供应商。

4.2.3 碳化硅器件市场发展迅速，国内企业积极布局

国外企业器件技术发展较快，新能源汽车为主要应用领域。2017 年全球碳化硅器件市场主要由国外企业领导，WolfSpeed、ROHM、Infineon、STM 市占率分别为 26%、21%、16% 和 7%，合计占比为 70%，市场集中度较高。目前，国外企业基本实现了 MOSFET 的完备研发和大批量销售，碳化硅二极管和功率模块等产品也早已实现大批量出货。然而，国内企业基本聚焦于二极管产品的生产，MOSFET 仍处在积累阶段。实际上，国内企业泰科天润目前以碳化硅肖特二极管为核心产品，可以提供 600-3300V 的功率器件，主要用于新能源汽车、轨道交通等领域。基本半导体集中研发 SiC 功率器件，主要产品包括二极管和 MOSFET 模块等，广泛应用于能源发电、新能源汽车等领域。华润微已实现第四代 650V 的 SiC JBS 产品研发，综合技术质量已达世界先进水平，同时其 1200V 的 SiC MOSFET 也已完成样品制造，预计将在未来两年内进行规模生产。斯达半导体新增多个使用全 SiC MOSFET 模块的 800V 系统的主电机控制器项目定点，将对公司 2023 年-2029 年 SiC 模块销售增长提供持续推动力。士兰微同时也加快 SiC MOSFET 功率器件的研发，推出自产芯片的车用 SiC 功率模块。目前，全球碳化硅功率器件主要应用于新能源汽车、电源、光伏等领域，三者占比分别为 30%、22% 和 15%。世界龙头企业已与特斯拉等著名电动车企形成合作，致力于碳化硅功率器件和模组的供应。同时，我国基本半导体也与特斯拉形成合作，进行碳化硅 MOSFET 模块的研发。尽管我国在技术层面和器件出货进度方面与国际领先企业仍有一定差距，但预计随着未来产能释放和技术进步，国内外企业将逐步缩小差距。

图表73：全球碳化硅器件份额情况（%）

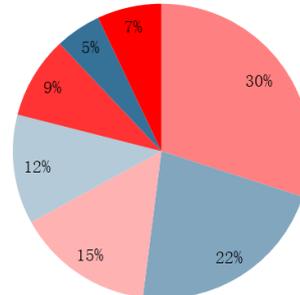
■ WolfSpeed ■ ROHM ■ Infineon ■ 三菱 ■ STM ■ 其他



资料来源：Yole，中信建投

图表74：全球碳化硅器件应用情况（%）

■ 新能源汽车 ■ 电源 ■ 光伏 ■ 军工和航天 ■ 牵引系统 ■ 充电桩 ■ 其他



资料来源：智研咨询，中信建投

五、SiC 产业链代表公司

5.1、国外主要厂商

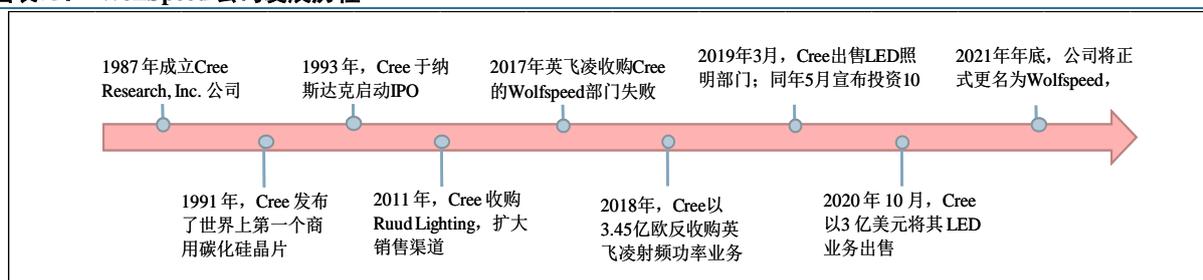
5.1.1 WolfSpeed

科锐 (WolfSpeed) 成立于 1987 年，是一家开发制造半导体材料和设备的美国公司，也是全球碳化硅基半导体材料及器件龙头。该公司主要基于碳化硅、氮化镓和相关化合物生产半导体材料以及发光二极管、照明、电源盒射频等半导体产品。WolfSpeed 最初拥有四大业务部门：WolfSpeed、LED、照明业务和电源及射频业务。由于 LED 和照明业务部门利润下降，而专注于制造碳化硅材料的 WolfSpeed 的增长速度超越其他业务，因此公司先后出售了其他三大业务部门，现已完全转型为以 SiC 和 GaN 为主的半导体企业。WolfSpeed 部门目前主要生产 SiC 和 GaN 衬底及外延，并且将半导体材料广发应用于电源、射频、功率器件等领域的生产。2020 年上半年 WolfSpeed 在碳化硅衬底市场的占有率为 45%，在碳化硅器件市场占有率为 26%，均位居首位。

公司的重大发展历程如下：

- 2016 年 7 月，英飞凌表示同意以 8.5 亿美元现金收购科锐的 WolfSpeed 业务部门（射频和电力电子设备）。然而，在两家公司无法解决监管机构的国家安全问题后，该交易于 2017 年 2 月被取消。
- 2018 年 3 月，科锐宣布以 3.45 亿欧元收购英飞凌射频功率业务（反收购）。
- 2019 年 3 月，科锐宣布将旗下 LED 照明部门（WolfSpeed Lighting）以 3.1 亿美元出售给美国 Ideal Industries 公司。科锐出售的业务包括用于商业的 LED 照明灯具和企业照明解决方案。
- 2019 年 5 月，科锐宣布将投资 10 亿美元用于扩大 SiC 碳化硅产能。
- 2020 年 10 月，科锐宣布以高达 3 亿美元的价格将其 LED 业务出售给 SMART Global Holdings，并将于 2021 年 10 月正式更名为 WolfSpeed。本次交易进一步明确了公司的战略定位，WolfSpeed 将引领从硅到碳化硅的产业转型。

图表75： WolfSpeed 公司发展历程



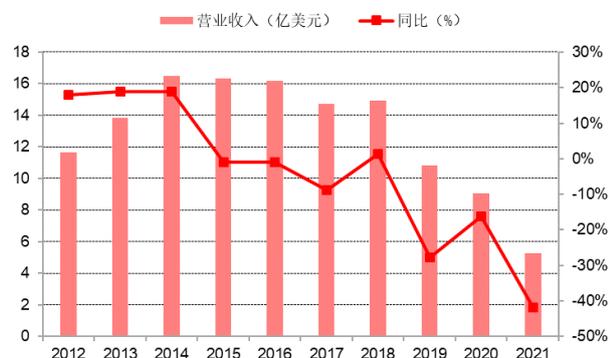
资料来源：公司官网，中信建投

图表76： WolfSpeed 公司产品介绍

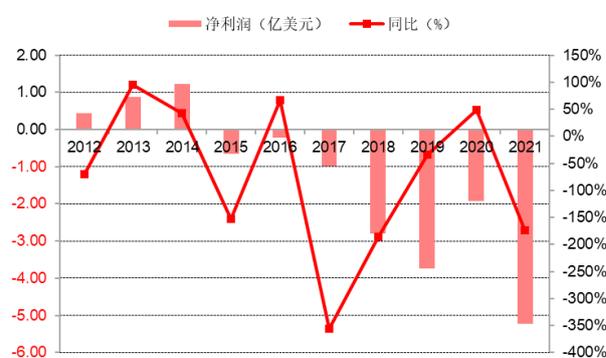
产品系列	产品大类	产品名称	产品说明
WolfSpeed	功率产品 (Power)	分立式碳化硅 MOSFET	公司于 2011 年开发出了业界首款全面符合认证的碳化硅 MOSFET，碳化硅 MOSFET 取代硅器件，可降低开关损耗和传导损耗，并实现更高阻断电压和雪崩能力。
		碳化硅肖特基二极管	WolfSpeed 拥有种类广泛的碳化硅肖特基二极管，二极管特有的 MPS（合并后的 PiN 型肖特基）设计，使其比标准的肖特基势垒二极管更强大、更可靠。
		碳化硅模块	WolfSpeed 的标准电源模块，采用最新的碳化硅芯片组、最小化的封装寄生效应，提高了产品性能。这些模块使用人们熟知的工业标准，有完整的设计文档和门极驱动板。
	射频产品(RF)	GaN HEMT 器件	WolfSpeed 射频器件核心在于 GaN HEMT。它所能实现的性能远超任何其他技术，而且适用于任何应用。
	射频代工	GaN 代工	作为 GaN-on-SiC MMIC 技术的领导者，公司拥有设计协助、测试和支持，可帮助实现从初始开发到重复生产的规格。
	半导体材料	SiC 和 GaN 材料	WolfSpeed 正在通过行业最广泛的 SiC 和 GaN 材料推动创新。WolfSpeed 提供直径达 150 毫米的衬底和外延选项，提供垂直集成的材料产品，
LED 组件	Xlamp, J Series LED, LED 模块	可广泛应用于照明应用，包括一般照明、便携式、建筑、信号和交通照明等领域。	

资料来源：公司官网，中信建投

业务结构重大调整，公司业绩触底。2021 财年公司实现营业收入 5.26 亿美元，同比下降 41.85%，系公司出售其 LED 业务引起的大幅收窄。**2012 至 2019 年，随着照明市场竞争日趋激烈，科锐照明业务的毛利率低于公司总体毛利率，且呈现逐年下降的趋势。**由于照明业务业绩表现不佳，公司于 2019 年将该业务出售，同年营收同比下降 27.70%，该消极影响一直持续至 2020 财年。与此同时，公司于 2020 年同样因毛利原因将其 LED 业务出售，公司完全转型为半导体材料和器件供应商。受益于其他业务的出售，科锐将有充足的资金持续投资研发半导体，并广泛利用汽车、5G 和工业领域等终端市场增强业绩。**预计随着 SiC 和 GaN 市场的持续景气，科锐有望以市占率第一的地位实现业绩的触底反弹，并且在中长期内维持快速增长。**此外，2015 年起公司净利润由正转负，2021 财年报净利润为-5.24 亿美元，系主营业务毛利率表现不佳和后期相关业务出售所致。预计随着高毛利的半导体业务持续增长和费用管控，公司的净利润有望在未来几年内扭转为正。

图表77： 2012-2021 年 WolfSpeed 营收情况


资料来源：wind，中信建投

图表78： 2012-2021 年 WolfSpeed 净利润情况


资料来源：wind，中信建投

欧美成为公司销售重心，业务结构单一带来风险波动。自 2012 年以来，科锐在中国大陆的销售占比持续收窄，该情况于 2018 财年的业务结构更改后有所缓解，但因公司出售其 LED 业务而于 2021 年达到历史低点。2021 年欧洲、美国和中国大陆销售额分别为 1.89、1.17 和 1.00 亿美元，三者合计占比超过 75%。目前，公司

的销售重心位于欧美，这与其更为成熟的 SiC 市场相关。然而，中国已成为全球最大的半导体市场，且在政策扶持和终端市场的快速增长下，其 SiC 和 GaN 方面将迎来爆发期。预计公司的销售情况会向中国大陆有所偏移，业绩表现也将因此而持续改善。

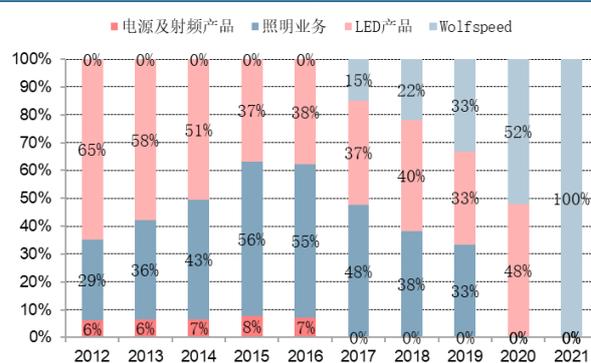
2012-2018 年，LED 及照明产品为科锐的核心业务，两大部门营收合计占公司总体的 75% 以上。随着公司出售该两项业务，WolfSpeed 成为公司的唯一收入来源。2021 年 WolfSpeed 系列实现收入 5.26 亿美元，同比增长 11.59%，表现良好。根据 WolfSpeed 数据显示，预计 2022 年和 2024 年的产能分别达到 167K 平方英尺到 242 平方英尺，折算 6 寸对应的 85 万片和 123 万片，2024 年至 2026 年公司营业收入将从 15 亿美元增长到 21 亿美元。

图表79： 2012-2021 年 WolfSpeed 地区营收分布情况(%)



资料来源: Wind, 中信建投

图表80： 2012-2021 年 WolfSpeed 业务营收分布情况(%)



资料来源: Wind, 中信建投

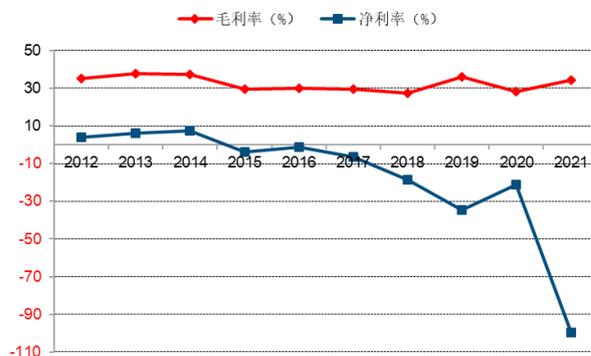
半导体研发成效显著，公司应推进费用管控。2021 年 WolfSpeed 的研发支出为 1.78 亿美元，同比下降 3.47%，占营收比例为 34%。整体来看，公司的研发支出一直保持稳定，在剥离业务期间研发费用的波动较小，且公司在 2020 财年大幅增加了该项支出。目前，公司已经研制出了 100-150mm 的 SiC 衬底和相应的碳化硅和氮化物外延技术，并完成了首批 200mm 碳化硅晶圆的样品制备。其研发费用大量投资于 200mm 的 SiC 材料制造，同时用于扩充产能，其他部分则广泛用于提高衬底和外延质量、高性能的功率和射频器件开发。2021 年 8 月公司与意法半导体签订了扩大现有 150mm 碳化硅晶圆的供应协议，WolfSpeed、将在未来几年向意法提供 150mm 的 SiC 衬底和外延片。此举将为 WolfSpeed 带来稳定的收入来源，并有助于公司度过目前的虚弱阶段。2021 年公司的毛利率为 34.25%，同比上升近 8 个百分点，出售业务带来的毛利提升成效显著。同时，净利率-99.68%，为近十年来历史低点，系研发和销售费用大幅上升所致。

图表81： 2012-2021 年 WolfSpeed 研发支出情况



资料来源: Wind, 中信建投

图表82： 2012-2021 年 WolfSpeed 毛利率和净利率情况



资料来源: Wind, 中信建投

5.1.2 罗姆(ROHM)

罗姆是全球著名半导体厂商，以制造和销售半导体、集成电路和电子元件为主，产品包括 IC、二极管、LED、SiC 功率器件等。罗姆公司以高功率、模拟、标准产品这三个产品系列为中心，加速技术开发。公司拥有三大产品部门：(1) IC：该部门主要负责集成电路的生产和销售，主要产品包括 DRAM、驱动器 IC、通用 IC、传感器 IC 等；(2) 分立半导体器件：该部门进行以 Si 和 SiC 为材料的半导体器件制造，包括 MOSFET、晶体管、二极管、LED、碳化硅功率元器件等；(3) 模块：该部门主要负责无线通信模块和打印头的生产，主要包括 Wi-Fi 模块、LAPIS、传真打印头；此外，公司还具备无源设备、芯片组的生产能力以及晶圆、MEMS 和先进封装的代工服务。2020 年上半年 ROHM 在 SiC 衬底市场的占有率为 20%，在 SiC 器件市场的占比为 21%，均位居全球第二位，其子公司 SiCrystal 专注于 SiC 衬底的生产。

图表83：罗姆公司重点产品系列

高功率

以先进的SiC为中心的富有特色的功率元器件以外，还备有追求尽可能发挥元器件性能的控制IC和功率二极管、分流电阻器等周边元器件。



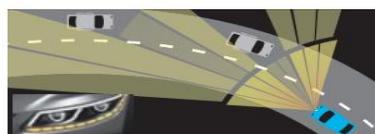
罗姆优良的SiC功率元器件，在各应用领域大显身手。

模拟

融合了“电路设计”、布局、“工艺”3大核心技术的先进模拟IC相继问世。为汽车和工业设备的高效节能化和小型化贡献力量。

集模拟技术精华于一身的创新型电源Nano系列

- 搭载超高速控制技术“Nano Pulse Control™”的IC
可通过极窄的脉宽进行稳定控制，实现汽车和工业设备的小型化、系统简约化。
- 搭载超低消耗电流技术“Nano Energy™”的IC
通过降低IC本身的功耗，为搭载小型电池的设备的长时间驱动作出贡献。
- 搭载拥有超稳定控制技术“Nano Cap™”IC
将不需要的寄生因素极小化，从而降低各种电源电路输出电容器的容值。



LED驱动器IC (支持ADB®)

使用远光灯行驶时，检测照射范围内的车辆，通过配光控制调整车灯的照射范围。采用部分遮光以避免远光灯照射到前方车辆及对向车辆，为汽车的安全作出贡献。

※ADB(Adaptive Driving Beam)自适应远光系统

标准产品

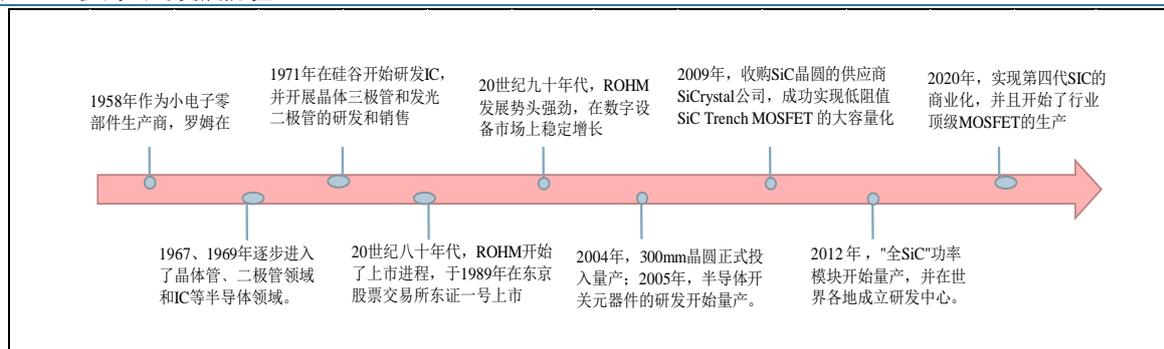
以市场份额稳居前列的小信号晶体管、二极管为中心，提供融合了先进技术和丰富经验的高品质产品。通过持续不断的设备投资提高生产能力，在追求高可靠性的汽车、工业设备市场实现长期稳定的供应。

为了能够随时在离客户最近的地方迅速提供满足其要求的产品，罗姆集团在世界各地设立了提供技术支持的“技术中心”。

京都 横浜 圣克拉拉 杜塞尔多夫
北京 上海 深圳 台北 首尔 班加罗尔

资料来源：公司官网，中信建投

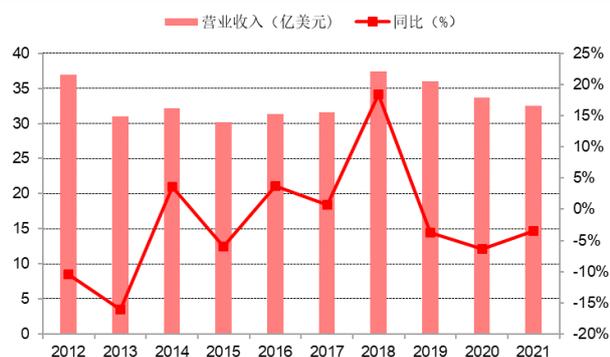
图表84： 罗姆公司发展历程



资料来源：公司官网，中信建投

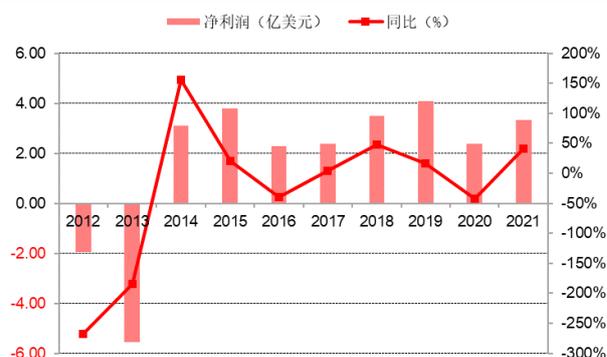
公司受疫情影响严重，市场景气或将推动营收回暖，。2021 财年罗姆的营业收入为 32.54 亿美元，同比下降-3.51%，这是自 2018 财年的历史高点后连续第三个下降的年份，但降幅逐步收窄。受到新冠疫情的影响，全球集成电路、半导体器件、打印头和光学模组市场都出现了下行风险，市场整体表现不佳。同时，上游零件和材料的采购端也受到疫情的消极影响， ROHM 所覆盖的其他市场均表现迟缓，这些因素均较大地影响了公司的销售收入。这些市场从 2020 年第三季度开始表现出一定的回暖趋势，受益于全球芯片供应短缺以及电动汽车和电子射频器件等终端市场的高度景气，下游产品需求上涨从而推动了营收下降幅度收窄。当前，随着疫苗接种率提升，全球疫情好转，市场对电子产品的需求逐渐上升以及半导体下游各类利好政策等因素，半导体行业仍将处于高景气状态。然而，尽管中长期内电动汽车、5G 终端市场以及半导体行业仍将维持高度景气，但疫情反复和 SiC 市场的竞争格局加剧仍将对公司造成不利影响。2021 年罗姆报净利润 3.35 亿美元，同比增长 40%，系成本和各项费用较去年均出现下降。全球疫情反复下，预计公司将持续控制成本和费用支出，这可能会降低同期的营收增长，但利润表现或将持续平滑。

图表85： 2012-2021 年罗姆营收情况（亿美元）



资料来源：Wind，中信建投

图表86： 2012-2021 年罗姆净利润情况（亿美元）



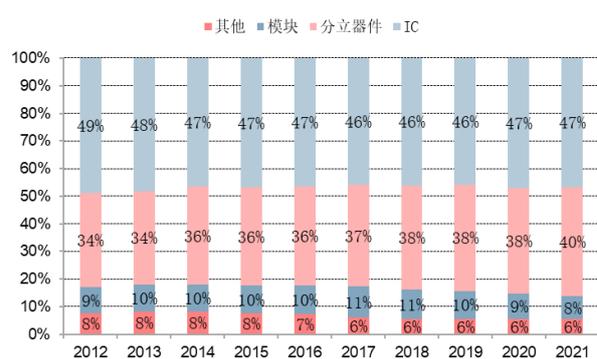
资料来源：Wind，中信建投

亚洲为公司销售重心，IC 和半导体器件为收入核心。2021 年 ROHM 在日本的销售额为 11.55 亿美元，亚洲其他地区为 17.30 亿美元，分别占比为 36%和 53%，亚洲是公司的绝对销售重心。同时，2020 年公司在中国的销售额为 9.46 亿美元，占比 28.05%，是日本之外最大的销售地区。ROHM 在中国已形成了以 4 家销售公司和 18 家分公司为结构的销售网络，同时中国也是其广泛的技术支持基地。罗姆建立了包括各类产品研发、销售和技术支持在内的综合服务系统，用以积极拓展海外客户并且成功推动了收入 and 市场份额的增长。2021 财年公司的海外收入并没有大幅收窄的情况，但疫情的消极影响仍使得相关业务的预期存在较大的不确定性。此外，随着中国半导体和电动汽车市场的快速发展以及政策支持，公司在中国的销售额或将保持稳定甚至增长，这将作为短中期内 ROHM 营收稳定的基石因素。

2021 年 ROHM 的 IC 和分立半导体器件业务的营收额分别为 15.20 和 12.87 亿美元，两者合计占比超过 85%，是公司的核心收入部门。公司拥有完整的 Si 和 SiC 产业链，涵盖衬底生长、外延制备以及器件生产的全套工序，这种垂直的综合业务体系不仅能保证产品和材料的稳定供应，也可以满足客户灵活多样的需求。与此同时，ROHM 也在持续开发生产线，并外包半导体的封装测试工序来建立新型的供应系统，以此跟进市场变化同时满足各类需求。公司稳健的半导体部门为其 IC 器件的生产奠定了基础，长期来看半导体部门的持续增长支撑了 IC 业务的稳定占比。受到半导体市场的利好因素影响，预计公司的两项核心业务将有可能实现稳中有增，但仍需注意来自疫情和市场竞争格局加剧的中期风险。

图表87： 2012-2021 年罗姆地区营收情况（亿美元）

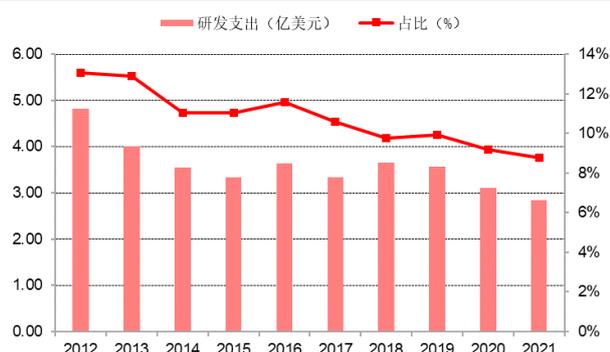

资料来源：ROHM，中信建投

图表88： 2012-2021 年罗姆业务营收情况（%）


资料来源：ROHM，中信建投

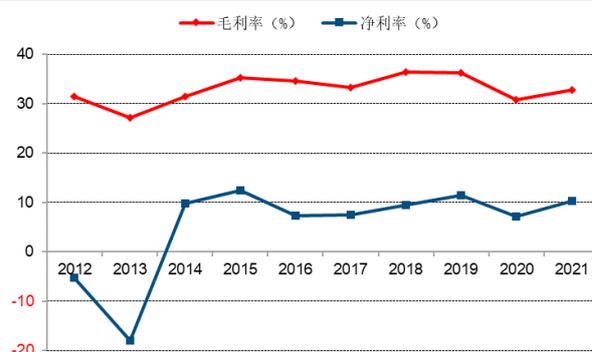
公司研发支出受疫情有所下降，创新与研发仍是关键要素。2020 年 ROHM 的研发支出为 2.85 亿美元，同比下降 8.09%，占营收比例为 8.76%。受新冠疫情影响，近两个财年公司强力减少了各项费用支出，但公司的研发费用基数在半导体行业中仍位居前列。近年来，随着汽车电子以及物联网等市场的智能化发展，半导体产品在新兴领域中的需求正在急速增长。ROHM 打造了一套完整的研发方案，以电力电子、传感器、AI 为核心进行研发突破，完成了汽车、工业设施以及机器人行业的产品升级。此外，随着新能源汽车和光伏产业等领域的爆发，下游市场对以 SiC 为衬底的功率半导体器件的需求也将大幅增加。目前，ROHM 已经实现了 150mm 的碳化硅衬底制作，并提供由 SiC 晶棒生产到晶圆制造，再到封装测试等完整的垂类服务。公司的 SiC 材料可以提供 SiC-SBD、SiC-MOS，还可用于功率器件的生产。2020 年 1 月，ROHM 的子公司 SiCrystal 与意法半导体签订了长期协议，公司将持续向意法供应超过 1.2 亿美元的 150mm 碳化硅晶圆，以满足功率半导体的需求增长。2021 年 8 月，吉利汽车与罗姆进一步缔结战略合作，前者将利用罗姆先进的碳化硅功率方案开发高效的电控和充电系统。这意味着 ROHM 进一步扩大了其 SiC 业务，并致力于电动汽车及相关领域的半导体应用研发。长期来看，创新和研发仍是公司实现业绩增长的关键因素。面对竞争激烈的 SiC 市场，ROHM 必须积极推动 200mm 碳化硅晶圆生产，同时进一步开拓功率器件领域的应用。

图表89： 2012-2021年罗姆研发支出情况（亿美元）



资料来源: Wind, 中信建投

图表90： 2012-2021年罗姆毛利和净利率情况（%）



资料来源: Wind, 中信建投

5.1.3 II-VI

II-VI 成立于 1971 年，是一家全球领先的开发、制造和销售工程材料和光电元件设备以及材料的垂直整合类公司，为通信、工业、航天、半导体设备、消费电子和智能汽车的多元化应用提供创新产品。II-VI 拥有两个业务部门：1) 化合物半导体：该部门主要提供 SiC 衬底、外延和器件以及砷化物外延晶片，同时包括用于高功率二氧化碳激光器的光电组件和材料，应用领域包括航空、国防、医疗、半导体等；2) 光子解决方案：该部门主要提供用于光通信网络、消费电子、生命科学等领域的晶体材料和光学器件，还为激光终端用户、系统集成商和政府提供微芯片激光器和光电模块。目前，II-VI 在半导体领域的成果主要包括 SiC 的衬底和外延技术开发，2020 年上半年公司在 SiC 衬底市场的占有率为 13%。

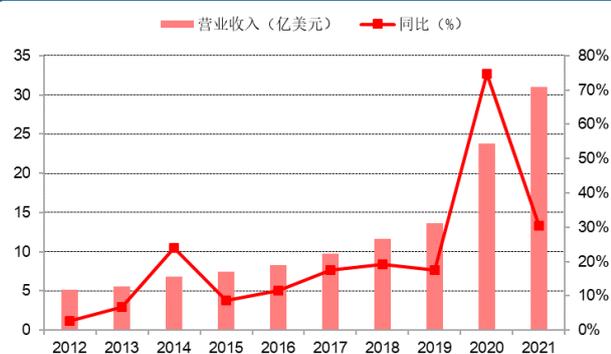
图表91： II-VI 业务总结



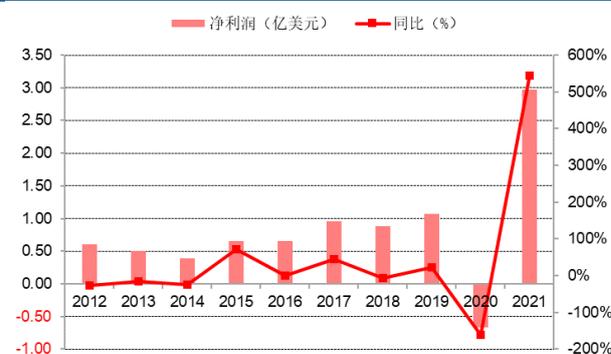
资料来源: Wind, 中信建投

公司业绩持续增长，收购行为作用关键。2021 财年 II-VI 的营业收入为 31.06 亿美元，同比增长 30.50%；2020 财年营收为 23.80 亿美元，同比增长 74.68%，近 10 年营收 CAGR 为 22.06%，业绩增长势头强劲。一方

面，2019年9月II-VI以32亿美元完成了对Finisar的收购，一家世界领先的光通信组件和系统制造商。该项收购向2020财年贡献了9.38美元的营收，并且较大地提升了公司在光电通信领域的实力，该业务的营收占比提高了18%。同时，Finisar的收购使得II-VI获得了大量的研发投资，并且其原有客户的加入很好地消除了公司的获客成本。另一方面，2020财年芯片的持续短缺以及5G、消费电子、汽车等领域的持续景气，导致用于射频电子和高功率系统的SiC衬底的强劲需求，从而与Finisar收购一同推动了把半导体部门高达13%的业务增长。这一市场的火热影响和收购的协同效应一直持续至2021财年，同样推动了II-VI整体的营收增长。与此同时，公司与2021年3月敲定了对Coherent的收购，一家领先的激光和光电设备供应商。该项收购将继续扩大公司在光电领域及通信、物联网、汽车等终端市场的布局，预计将推动2022财年的营收超过42亿美元。2021财年公司的净利润为2.98亿美元，同比增长544%，成功扭亏为盈。受到Finisar库存的公允价值调整的0.88亿美元额外销售成本的负面影响，2020财年公司的净利润首度出现负值。然而，2021财年的净利润仍然处于历史的高点，这受益于收购和市场景气的推动作用。预计随着II-VI完成对Coherent的收购、SiC供应链短缺和光电终端市场的持续增长，公司的业绩将继续突破高点。

图表92：2011-2020年II-VI营收情况（亿美元）


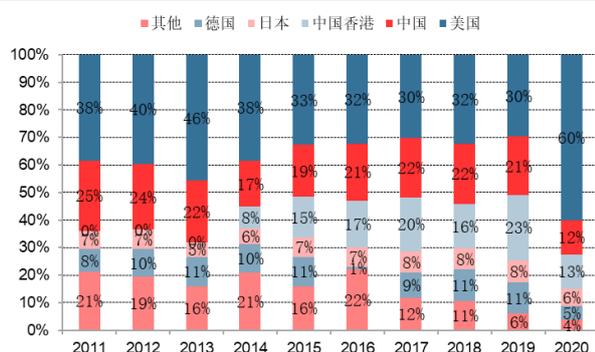
资料来源：Wind，中信建投

图表93：2011-2020年II-VI净利润情况（亿美元）


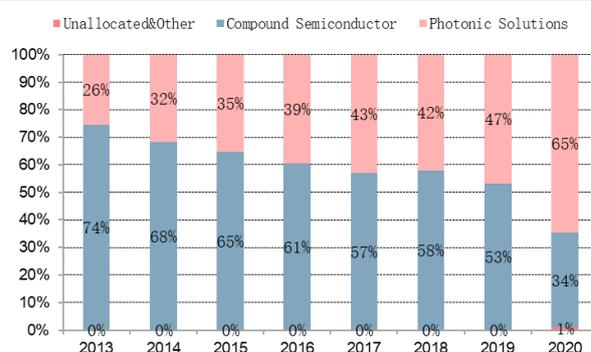
资料来源：Wind，中信建投

公司销售重心位于美国，光电业务成为公司核心。2020年II-VI在美国的销售额为14.32亿美元，中国大陆和中国香港分别为2.92和2.99亿美元，三者占比分别为60%、12%和13%，合计约为85%。实际上，Finisar的收购大举增加了公司在美国的销售额，但对中国整体的情况影响轻微。目前，II-VI的用户包括苹果、ASML、Nikon、腾讯、阿里巴巴等领先企业，多数分布在美国和中国地区，Finisar还为公司带来了来自苹果的大多数订单。同时，由于公司在5G、消费电子、医疗和半导体领域的布局和中国相应市场的高度火热，公司在中国的营收预计会呈现良好的增长趋势，而在美业务则是公司的基石。此外，公司在2021年4月宣布扩大在中国的SiC晶圆制造规模，以服务全球最大的电动汽车和清洁能源市场。II-VI已在中国福州建立了一条用于生产SiC衬底的后端加工线，业务包括边缘研磨、CMP、清洁和检查等，该厂预计将在五年内将SiC衬底的制造能力提高5-10倍，包括200mm的SiC衬底制造。

2020年II-VI的半导体业务收入为8.21亿元，同比增长13.40%；光电业务营收为15.37亿美元，同比上升140.53%，两者占比分别为34%和65%。公司在光电部门的收入暴涨来自于对Finisar的收购，而半导体业务也实现了较以往更高的增长，收购带来的协同效应仍将继续推动销售情况向好。此外，光电市场集中度较低，公司目前占据了约18%的市场份额，未来面临的竞争格局加剧或将影响公司的整体业绩；SiC衬底市场集中度高，公司市占率约为13%，公司在该领域的营收或将随市场的迅速增长而逐步扩大。但就目前来看，II-VI频繁的收购动作意味着其希望率先占领光电及相关市场，对半导体行业的布局将随着SiC市场及其终端的进一步发展而有所完善。预计未来光电业务将成为公司收入核心，半导体相关则会持续研发。

图表94： 2016-2020年 II-VI 按地区销售情况 (%)


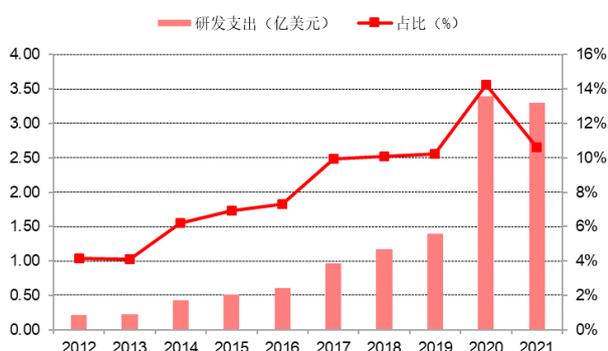
资料来源: Wind, 中信建投

图表95： 2011-2020年 II-VI 按业务销售情况 (%)


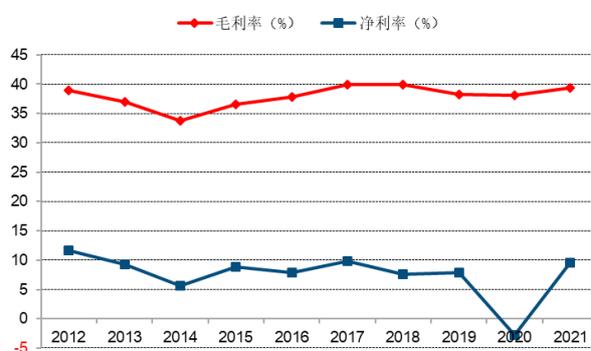
资料来源: Wind, 中信建投

研发水平逐步增加，SiC 技术处于领先。2021 年公司的研发支出为 3.30 亿美元，同比下降 2.64%，占营收比例为 10.63%。同样的，收到收购业务的影响，公司的研发支出在 2020 财年大幅上升，这些费用用于投资新资产和业务流程，包括 5G、3D 传感、磷化铟、激光雷达和其他新兴市场。目前，II-VI 所拥有的碳化硅衬底具备高质量和低位错密度，且晶圆尺寸已达 200mm 并处于世界领先地位，该衬底目前已用于电动汽车和 5G 等电力电子以及射频电子领域。同时，II-VI 可在 150mm 的晶圆上生产一流均匀性的 SiC 外延，包括 250 微米及以上的厚层生长和低浓度掺杂层，是世界最先进的 SiC 外延技术之一。公司所独创的 3DSiC 技术可以充分利用 SiC 材料，以最小损耗实现极高的功率处理，可将电流密度提高 30% 并缩小相应的芯片尺寸，这对 SiC 为原料的芯片制程压缩具有重要意义。

此外，公司还提供以 III、IV 主族为主的包括 GaAs、InP 等化合物的外延晶片，晶圆尺寸涵盖 2-6 英寸，且广泛用于射频和光子领域。特别地，II-VI 在 2021 年 6 月推出了用于 150 毫米 SiC 晶圆的加热离子注入代工服务，可以很好消除晶体缺陷并且提供高水平的掺杂度，II-VI 是世界唯一拥有该项技术的企业。这些成果表明 II-VI 的研发支出具有较高的收益，使得公司在 SiC 衬底、外延和离子注入领域处于世界领先地位。公司 2021 年的毛利率为 39.37%，净利率水平为 9.58%，两者表现就历史角度看表现平稳，均受益于收购业务而得以拉升。II-VI 对 Finisar 和 Coherent 的收购将有望进一步推动毛利增长，直至超越 40% 的历史高位，而净利率也将在公司营收的强劲增长和费用管控下得以增加。预计随着研发支出增加和半导体及光电领域的广泛布局，公司在 SiC 市场将获得更多的市场份额并且实现较好地业绩。

图表96： 2011-2020年 II-VI 研发支出情况 (亿美元)


资料来源: Wind, 中信建投

图表97： 2011-2020年 II-VI 毛利率和净利率情况 (%)


资料来源: Wind, 中信建投

5.1.4 ST Microelectronics

意法半导体(ST Microelectronics)成立于 1987 年，是一家位于瑞士负责设计、开发、制造和销售半导体产品的跨国企业。该公司由法国的“Thomson Semiconducteurs”和意大利的“SGS Microelettronica”两家公司合并而成，是欧洲目前收入最高的半导体芯片制造商。ST 目前拥有三项主营业务：1) 汽车和分立器件业务(ADG)：该部门负责专用于汽车的 IC，以及面向汽车、工业、通信等终端市场的分立器件和功率晶体管的制造和销售；2) 模拟、MEMS 和传感器业务(AMS)：该部门主要提供用于模拟、智能电源、低功率射频、MEMS 传感器和执行器以及光学传感领域的解决方案和产品；3) 微控制器和数字 IC 业务(MDG)：该部门致力于设计、生产和销售微控制器（通用和安全）、存储器（RF 和 EEPROM）和 RF 通信等相关产品。目前，公司的主要客户包括苹果、三星、华为、特斯拉等智能手机和电动汽车龙头企业，且 2020 年苹果贡献了公司 23.9% 的收入，是公司的第一大客户。2019 年 12 月，ST 完成了对 SiC 晶圆制造商 Norstel 的收购，标志着公司正式覆盖 SiC 衬底和外延业务。截止 2020 年上半年，意法半导体在碳化硅器件市场的占有率约为 8% 左右。

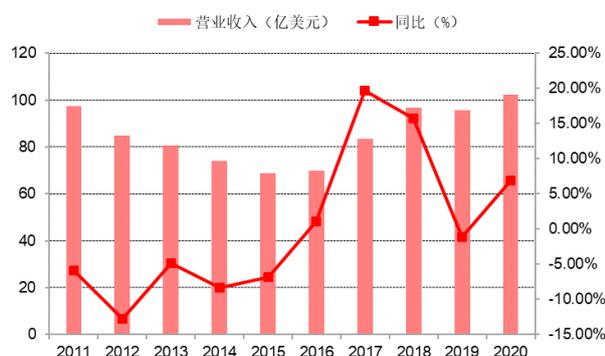
图表98： ST 业务总结



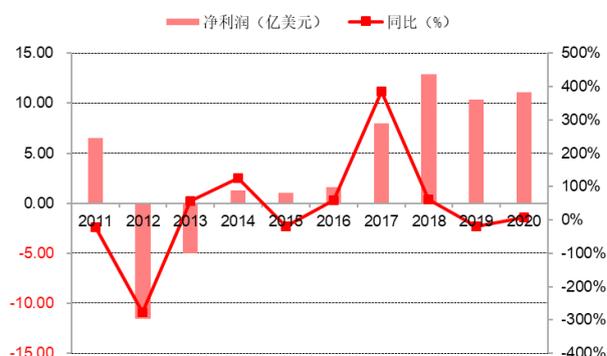
资料来源：ASML，中信建投

公司业绩稳中有升，积极布局碳化硅产业链。2020 年 ST 的营业收入为 102.19 亿美元，同比增长 6.94%，是公司近 10 年来的历史最高水平。2019 年受新冠疫情影响，公司的营收略有下滑，销量下降的部分负面影响被平均售价的上浮所抵消，营收整体保持稳定。受益于芯片短缺和半导体市场的高度景气，公司所布局的汽车、物联网、射频等终端市场同样快速增长，下游汽车和工业客户的需求改善将持续推动公司营业收入的上升，并且抵消疫情反复带来的消极影响。2019 年公司完成了对 Norstel 的收购，此举将扩大意法内部的 SiC 生态系统，使其能够更好地控制晶圆的质量和产量，并支持 ST 内部的长期碳化硅路线图和业务。同时，收购有利于保证为汽车和工业客户制造 MOSFET 和二极管所需的晶圆水平，并持续扩大产能以满足未来几年的长期需求。目前，意法半导体 24% 的晶圆生产业务为外包性质，公司于 2021 年 8 月与 WolfSpeed 扩大了 150mm 碳化硅晶圆的供应协议，后者将会向 ST 持续提供 150mm 的 SiC 衬底和外延，总价值超 8 亿美元。此举将补充公司的晶圆产能，以更好满足多项业务的产品需求。ST 将利用碳化硅市场的增长机会推动业绩发展，并积极由 Si 向 SiC 设备市场转型。2020 年公司净利润为 11.06 亿美元，同比增长 7.17%，系其他经营收入增加引起利润上升。尽管 ST 已涉足多个领域，但并未在主要细分市场建立领导地位，整体要落后于其他竞争者，公司还必须面对来

自包括 SiC 等新兴市场的竞争加剧，长期内仍具有风险波动

图表99： 2011-2020 年 ST 营收情况


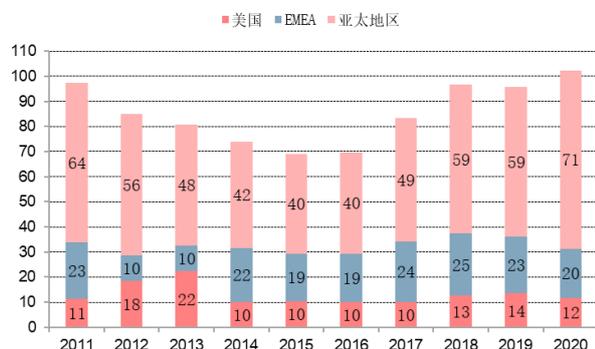
资料来源: Wind, 中信建投

图表100： 2011-2020 年 ST 净利润情况


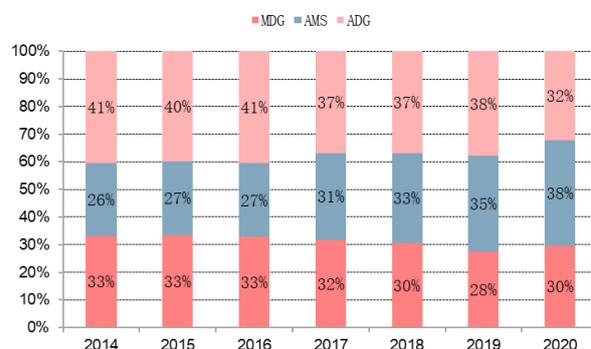
资料来源: Wind, 中信建投

亚太地区为销售重心，三大业务发展均衡。2020 年意法半导体在亚太地区的销售额为 71 亿美元，占总体比例为 69%，收入增长受到微控制器、成像和模拟设备的支持；美国和 EMEA 的收入分别同比下降 13.7% 和 13.2%，系汽车和功率分立器件的销售额下降。中国地区正在积极推进国内半导体产业和供应链的发展，一方面中国半导体市场的高度景气将为 ST 带来更多的收入增长；另一方面，由于国产替代进程的加快，中长期内公司将面临日益激烈的市场竞争，因此具有一定的风险因素。此外，2018-2020 三年内苹果占 ST 收入的比例分别为 13.1%、17.6% 和 23.9%，客户集中度较高，公司正利用广泛的产品组合和强大的合作伙伴关系来降低风险，公司必须继续拓展产能以满足其在各个地区的销售需求。

2020 年 ST 在 ADG、AMS 和 MDG 的销售收入分别为 32.84、38.92 和 30.30 亿美元，占比均在 30% 以上，业务布局整体均衡。具体的，ADG 部门收入同比下降 8.9%，主要原因是平均销售价格的降低，且该负面影响也使得销量略微下降。受到智能手机业绩强劲和影像模拟领域的积极影响，AMS 收入同比增长 18.0%，是公司营收上升的主要推动力。MDG 部门收入同比上升 14.9%，系 MCU 需求增长和 RF 业务收缩带来的销量大幅上升，该影响覆盖了平均价格下降带来的消极因素。目前，ST 仍在提高其资本支出，并将广泛支持模拟、电源和碳化硅业务。同时，苹果是公司在 3D 传感领域的主要客户，英特尔和特斯拉作为 SiC 的重要终端将推动公司在该新兴市场的预期业绩升高，用于处理器、存储和射频的芯片组件的需求上升也将持续稳定公司业绩。预计公司将在传统领域中仍将稳定向好，新兴市场的份额扩展和激烈竞争将成为不确定因素。

图表101： 2011-2020 年 ST 按地区销售情况 (亿美元)


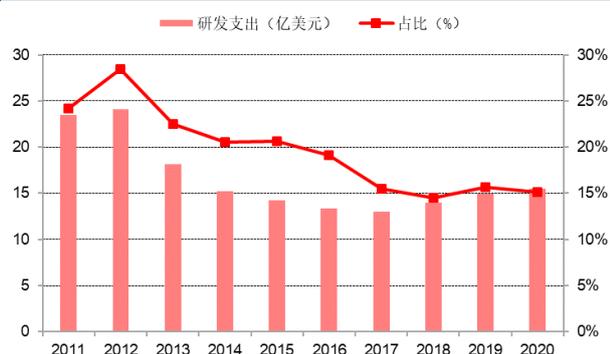
资料来源: ST, 中信建投

图表102： 2014-2020 年 ST 按业务销售情况 (%)


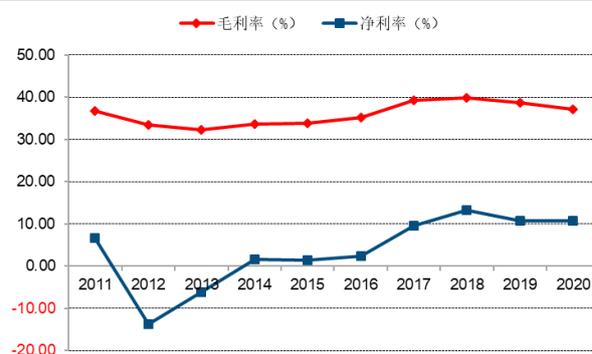
资料来源: ST, 中信建投

公司逐步提高研发支出，双率水平整体稳定。2020 年 ST 的研发支出为 15.48 亿美元，同比增长 3.34%，近十年均保持 15% 以上的稳定占比。公司于 2012 年逐步削减研发支出，用以缩小净损失，并在 2017 年利润大幅上涨后增加该项支出。ST 利用其研发费用发展了包括 CMOS、光学传感、MEMS、SiC、GaN 工艺等先进技术

术，同时还具备晶圆级封装和高度集成芯片封装等后道技术。目前，ST 已经宣布完成了首批 200mm 的 SiC 晶圆的制造，基于对 Norstel 的收购公司获得了硅锭生长的技术积累，并进一步实现了晶体位错缺陷最小化。公司正在积极推进 200mm 的碳化硅衬底制造，并将率先确立在 SiC 市场的领先地位，这一过渡将为公司带来汽车和工业客户的巨大优势，并持续地推动业绩增长。此外，公司在碳化硅功率器件和二极管制造方面也取得了较高的技术成就，可以很好的完成先进封装等一系列工程需求。2020 年 ST 的毛利率为 37.08%，较去年进一步收窄，系价格压力和不饱和费用的增加所致；净利率为 10.82%，同比略有增长，系公司非经营收入增加引起利润上升。预计随着价格压力减缓和疫情恢复，公司仍将实现稳定毛利，净利率将受到营收增长和费用支出增加带来的双重影响。ST 需确立其在细分市场的领先地位，并且注意新兴市场的激烈竞争。

图表103： 2011-2020 年 ST 研发支出情况


资料来源: Wind, 中信建投

图表104： 2011-2020 年 ST 毛利率和净利率情况


资料来源: Wind, 中信建投

5.2、大陆主要厂商

5.2.1 山东天岳—绝缘型衬底为主

山东天岳先进科技股份有限公司成立于 2010 年，主营业务是宽禁带半导体（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。经过十余年的技术发展，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。公司作为我国碳化硅衬底领域的领军企业，在国家亟需的时候，担当起国家核心战略物资的保障供应重任，批量供应了半绝缘型碳化硅衬底材料，成功实现该产品的自主可控。根据国际知名行业咨询机构 Yole 的统计，2019 年及 2020 年公司已跻身半绝缘型碳化硅衬底市场的世界前三。公司的产品以半绝缘型衬底和导电型衬底为主，其应用范围涵盖光电子，电子电气，微波通讯等领域。

图表105： 碳化硅衬底可分为半绝缘型衬底和导电型衬底

产品种类	图示	产品用途
半绝缘型		通过在半绝缘型碳化硅衬底上生长氮化镓外延层，制得碳化硅基氮化镓外延片，可进一步制成 HEMT 等微波射频器件，应用于信息通讯、无线电探测等领域。
导电型		通过在导电型碳化硅衬底上生长碳化硅外延层，制得碳化硅同质外延片，可进一步制成肖特基二极管、MOSFET、IGBT 等功率器件，应用在新能源汽车，轨道交通以及大功率输电变电等领域。

资料来源：天岳招股书，中信建投

图表106： SiC 应用领域

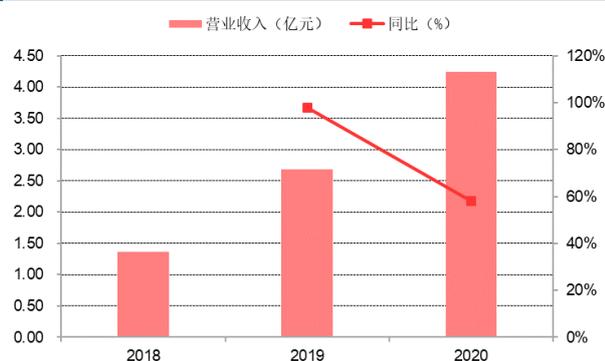
应用领域	优势
光电子领域	发光二极管（LED）是利用半导体中电子与空穴复合发光的一种电子元器件，是一种节能环保的冷光源。SiC 材料具有与 GaN 晶格失配小、热导率高、器件尺寸小、抗静电能力强、可靠性高等优点是 GaN 系外延材料的理想衬底，由于其良好的热导率，解决了功率型 GaN-LED 器件的散热问题，特别适合制备大功率的半导体照明用 LED，这样大大提高了出光效率，又能有效的降低能耗。
电力电子领域	以 SiC 为代表的第三代半导体具有禁带宽、热导率高，击穿场强高，饱和电子漂移速率高，化学性能稳定，硬度高，抗磨损，高键和高能量以及抗辐射等优点，可广泛用于制造高温，高频，高功率，抗辐射，大功率和高密集集成电子器件，用 SiC 衬底开发的电力电子器件（SBD、MOSFET、IGBT、BJT、JFET 等）用在输变电、风力发电、太阳能、混合动力汽车等电力电子领域，降低电力损失，减少发热量，高温工作，提高效率，增加可靠性
微波通讯领域	SiC 作为一种宽禁带的半导体材料，同时还具有较宽的工作频带，（0~400GHz），加之其优异的高温特性，高击穿电场，高热导率和电子饱和速率等特性，在微波通讯领域也占有一席之地。实现了通讯器件的高效能，高机动，高波段和小型化的，特别是在 X 波段以上的 T/R 组件，5G 通讯基站中的应用备受关注。

资料来源：天岳招股书，中信建投

山东天岳专注于衬底制造，2020 年占总业务份额的 80%，相较 2019 年提升 10%。财务数据显示 2020 年公司实现营收 4.25 亿元，同比增长 58%；净利润-6.42 亿元，同比下降 219%。与前三年相比，公司的营业收入不断提高，但是净利润持续下滑，主要系 2019 年和 2020 年实施股权激励和持续的高成本费用所致，剔除非经常性损益因素后公司已于 2019 和 2020 年实现盈利。然而，随着未来山东天岳的研发项目落地，产品效益将

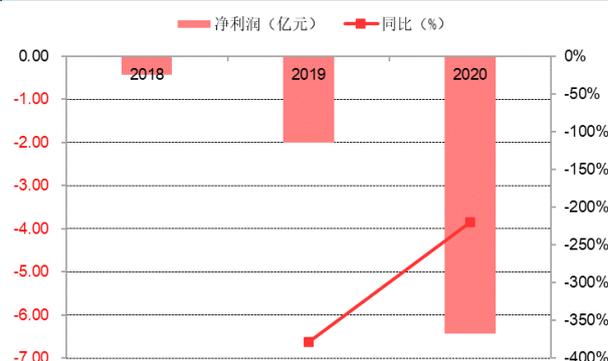
会促进公司扭亏为盈。目前，山东天岳投资 45 亿，布局三大项目：1) 2018 年投资建设了“高品质 4H-SiC 单晶衬底材料研究与产业化项目”，该项目拟投资 4.5 亿元，建成后可达到年产 6 英寸 4H-SiC 单晶衬底（兼容 4 英寸）产品 3 万片的生产能力；2) 2018 年 11 月 13 日，天岳碳化硅材料项目开工活动在长沙浏阳高新区举行。该项目总投资 30 亿元，分为两期建设，主要生产碳化硅导电衬底，二期生产还包括功能器件、电力器件封装模块及装置等；3) 2020 年投资 10 亿元，建设碳化硅半导体材料单晶生产项。随着市场需求的不断扩大以及国家政策的同步发力，产能的持续上升将为公司带来巨大收益。2021 年上海天岳承接了母公司山东天岳的技术和资源，建设“碳化硅半导体项目”，总投资 25 亿元，预计将会有年产导电型碳化硅晶圆 2.6 万块，对应衬底产品 30 万片的生产能力。

图表107： 2018-2020 年山东天岳营业收入情况



资料来源：天岳招股书，中信建投

图表108： 2018-2020 年山东天岳净利润情况



资料来源：天岳招股书，中信建投

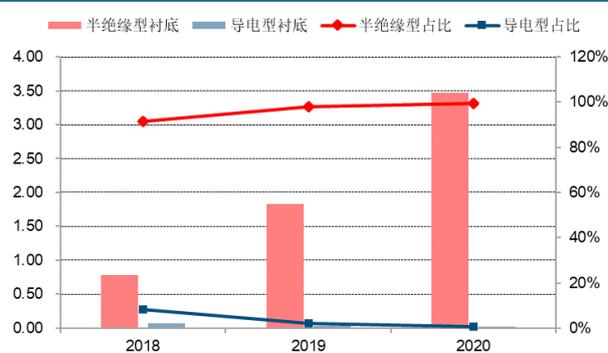
公司收入几乎全部来自境内，产品以半绝缘型衬底为主。2020 年，公司境内收入约为 3.40 亿元，同比增长 89.4%，近三年占比稳居 90% 以上并且持续增加。然而，目前公司的半绝缘型衬底已经具备世界一流技术水平，市场份额占比 30% 左右，预计未来长期内公司将扩展海外市场，从而进一步实现业务扩张。同时，公司的产品结构较为简单，主营业务均为碳化硅衬底销售，其中半绝缘型衬底占据绝对主导。2020 年，半绝缘型衬底营收为 3.47 亿元，同比增长 89.8%，占比为 99.3%，近年来导电性衬底收入和占比不断下降。这一趋势系半绝缘型衬底受国外禁运，为满足国家战略需要，公司优先将产能用于半绝缘型衬底。同时，由于导电型衬底可搭载碳化硅外延并用于新能源汽车、光伏能源、交通轨道等领域，下游市场的火热使得该衬底市场具有较大潜力，预计未来公司将持续布局导电型衬底市场。

图表109： 2018-2020 年山东天岳地区营收情况 (%)



资料来源：天岳招股书，中信建投

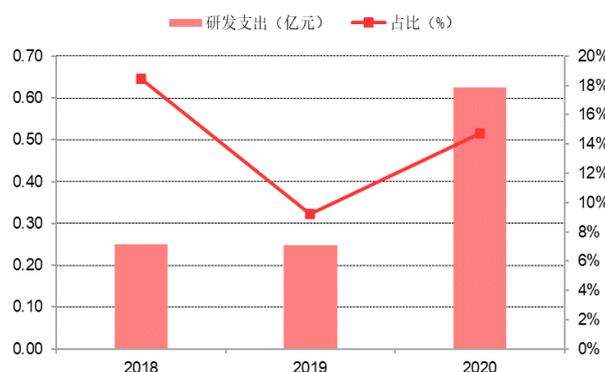
图表110： 2018-2020 年山东天岳产品分类营收情况 (亿元)



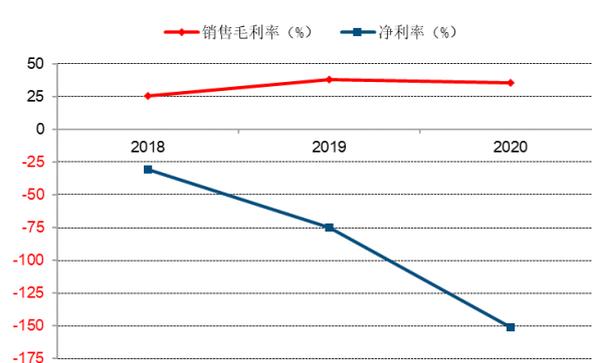
资料来源：天岳招股书，中信建投

公司对研发保持较高投入，毛利水平整体稳定。2018-2020 年研发投入分别为 2510、2475 和 6253 万元，

占营收比例分别为 18%、9% 以及 15%。截至 2019 年末，公司拥有研发和技术人员 64 名，拥有专利 286 项，包括 1 例境外专利。实际上，公司一直坚持自主研发和技术创新，近年来占比基本稳定在 15% 以上，高于行业平均水平。2020 年的高研发支出同时带来了较高的营业收入，预计研发仍将持续转化为公司收入，并带来长久效益。同时，公司研发费用主要用于 6 英寸 N 型 4H-SiC 单晶衬底材料、4 英寸高纯半绝缘 4H-SiC 单晶衬底材料、碳化硅器件与模组技术、单晶智能化生长设备以及碳化硅单晶用高纯粉料提纯技术。目前，前三项关键技术已经完成研发，后两项仍在持续研究并且不断增加费用投入，这将加强山东天岳在碳化硅衬底领域的市场地位。2020 年公司毛利率和净利率分别为 35% 以及 -151%，近三年内毛利率基本稳中有升，系公司研发成果顺利转化为收入所致。然而，由于公司需要持续大量增加研发投入，未来一段时间内仍将面临亏损风险。

图表111： 2018-2020 年山东天岳研发支出情况


资料来源：天岳招股书，中信建投

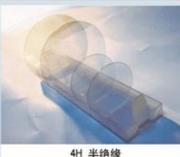
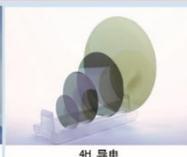
图表112： 2018-2020 年山东天岳毛利率和净利率情况


资料来源：天岳招股书，中信建投

5.2.2 天科合达—导电型衬底为主

北京天科合达半导体股份有限公司设立于 2006 年 9 月 12 日。公司是国内领先的第三代半导体材料——碳化硅晶片生产商。公司主要从事碳化硅领域相关产品研发、生产和销售，主要产品包括碳化硅晶片、其他碳化硅产品和碳化硅单晶生长炉，其中碳化硅晶片是公司核心产品。公司建立了国内第一条碳化硅晶片中试生产线，是国内最早实现碳化硅晶片产业化的企业，在国内率先成功研制出 6 英寸碳化硅晶片，相继实现 2 英寸至 6 英寸碳化硅晶片产品的规模化供应。公司掌握了覆盖碳化硅晶片生产的“设备研制—原料合成—晶体生长—晶体切割—晶片加工—清洗检测”全流程关键技术和工艺，在设备环节可以提供碳化硅单晶生长炉，在晶片环节可以提供 2-6 英寸导电型和半绝缘型碳化硅晶片，在其他碳化硅产品环节可以提供碳化硅籽晶、晶体等。

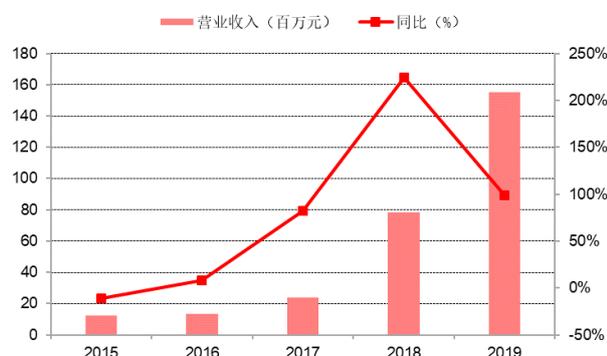
图表113：天科合达主要产品

产品与服务	介绍		
SiC晶片	4.6寸半绝缘型衬底和导电型衬底		
SiC晶体			
莫桑钻	1. 原石 2. 裸钻 3. 饰品		 
SiC单晶生长炉	自主研发设计的SiC单晶生长设备，可用于4到6寸导电及半绝缘型碳化硅单晶的生长制备。采用单室立式双层水冷不锈钢结构，由炉膛、真空获得及测量系统、坩埚杆拉送系统、感应加热系统、电控系统、中频电源等组成。可根据客户对单晶生长设备特殊要求进行产品定制，并提供基础碳化硅单晶生长技术支持。		
切磨抛代加工	通过选取合适的磨料以及采用适当的加工设备和加工工艺，对碳化硅晶片以及晶片进行切割、研磨、抛光和CMP加工，获得高表面质量和平整度的碳化硅晶片，适用于外延和器件客户的使用。		
清洗、返抛	具有完整的碳化硅加工生产线，可以提供从碳化硅晶体切割、晶片研磨、抛光、CMP到清洗检测，以及外延片的清洗返抛等服务。		

资料来源：天科合达招股书，中信建投

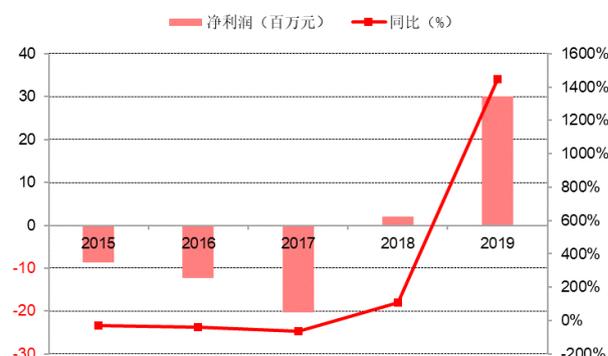
天科合达已成为是国内领先的第三代半导体材料——碳化硅晶片生产商。财务数据显示，2019 年公司业绩改善，实现营收 1.56 亿元，同比增长 99% 左右。实际上，公司自 2017 年首季度开始，各季度的营业收入都在不断增加，主要系公司产能不断扩大，产品交付能力持续提升。随着半导体产业宏观环境的持续景气，以及新能源汽车、光伏等下游市场对碳化硅市场的进一步推动，预计公司的营收业绩仍将持续增长。目前，天科合达在导电型碳化硅衬底领域具有相对优越的市场优势，2018 年全球占有率约为 1.7%，预计随着产能进一步释放以及规模效应逐渐显著，公司将进一步提高其市场份额。此外，2019 年天科合达的净利润为 0.30 亿元，同比增长 1448%，并与 2018 年成功扭亏为盈。2017 年以前，由于公司持续研发投入，以及受碳化硅半导体材料工业化应用进程较慢影响，公司呈现持续亏损状态。2018 年以来，随着公司产品工艺的成熟和下游需求的增加，公司收入规模快速增长，并实现持续盈利。同时，由于天科合达与产业链上下游合作紧密，具备优秀的产品质量口碑，公司的销售费用率等单位支出持续下降，营收的较大增长也使得 2019 年的净利润实现巨额增幅。预计随着天科合达研发成果进一步转化，以及产能扩张和费用管控，公司业绩将持续好转。

图表114: 2014-2019年天科合达营业收入情况



资料来源: 天科合达, 中信建投

图表115: 2014-2019年天科合达净利润情况



资料来源: 天科合达, 中信建投

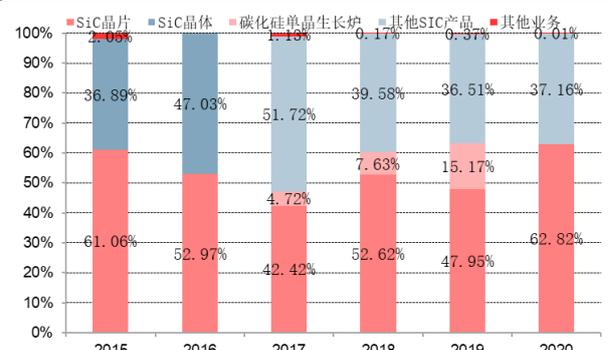
天科合达核心销售区域向中国大陆转移, 产品矩阵仍以碳化硅晶片为主。2019年天科合达中国大陆销售金额为1.19亿元, 同比增长100%, 占总体比例为77.41%。这一趋势实际上在2020年第一季度有了更为显著的提升, 公司中国大陆收入高达86.44%, 已成为绝对领先的核心区域。一方面, 中国的半导体行业在政策支持下高度景气, 碳化硅下游市场持续火热; 另一方面, 天科合达面临的国际竞争压力较大, 顶尖碳化硅企业已完成8英寸衬底产品研制, 公司与世界领先水平技术差异较高。同时, 公司的主营业务收入几乎全部来源于碳化硅晶片和其他碳化硅业务, 后者主要包括碳化硅晶体、籽晶等, 2020年合计占比近乎为100%。此外, 为了持续满足公司产能需求, 天科合达将进一步专注于碳化硅单晶生长炉的研发和制造, 下游厂商的积极采购也将改善生长炉的销售情况。预计未来碳化硅晶体、碳化硅单晶生长炉和其他碳化硅产品将成为公司的主要业务类型。此外, 天科合达也在积极拓展清洗设备领域, 公司的业务和产品矩阵不断丰富, 在一定程度上降低了其经营风险。随着公司研发技术和产能的逐步跟进, 其海外业务拓展也将更进一步。

图表116: 2014-2020年天科合达地区销售情况 (%)



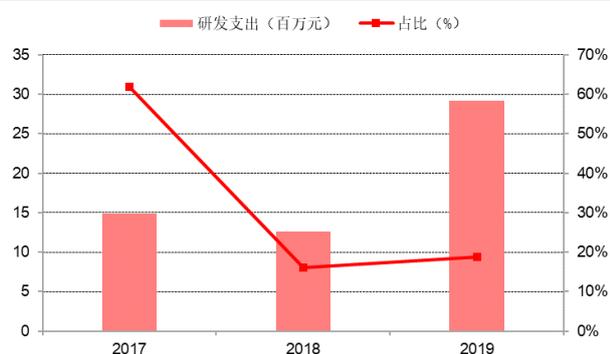
资料来源: 天科合达, 中信建投

图表117: 2015-2020年天科合达产品销售情况 (%)

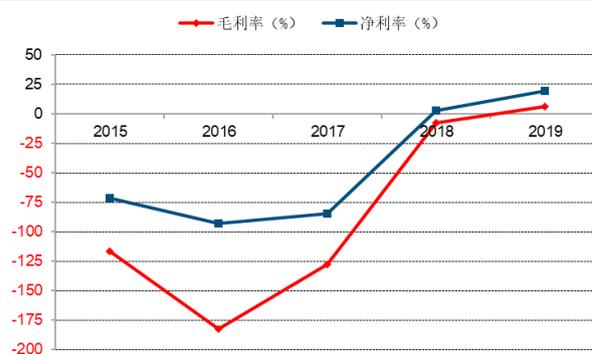


资料来源: 天科合达, 中信建投

公司对研发保持较高投入, 技术成果转化良好。2018-2020年研发投入分别为0.15、0.13和0.29亿元, 2020年研发投入大幅增长152.71%, 占比约为19%。目前, 公司的主要研发费用基本用于PVT碳化硅单晶生长技术、碳化硅晶体切割技术和精密研磨抛光及清洗技术, 相关的技术成熟度均已实现成熟应用, 公司的研发支出效果明显。天科合达研发支出稳中有升, 净利润实现新高表示公司研发费用转化效果较好, 预计随着单晶生长设备和衬底技术的进一步提高, 公司有望增强研发成果转化效力, 从而提振公司业绩。2020年公司销售毛利率为6.01%, 销售净利率19.36%, 两者自2016年起便持续增加, 且曲线大致相似。曲线差距收窄意味着公司利润增长和毛利增长不断趋同, 说明公司整体费用利用情况和管控效果较好。预计未来随着业务不断盈利, 费用管控不断加强, 公司的毛利和净利水平将稳中有升, 并呈现较小分化。

图表118： 2017-2019年天科合达研发支出情况


资料来源：天科合达，中信建投

图表119： 2015-2019年天科合达毛利率和净利率情况


资料来源：天科合达，中信建投

5.2.3 露笑科技—SIC 衬底

露笑科技设立于 2003 年，是一家有多元化业务的综合公司，产业涵盖铜芯、铝芯电磁线、LED 蓝宝石衬底片、碳化硅衬底片、新能源汽车电机电池电控、光伏发电、现代农业、投资管理、国际贸易等十多个领域。露笑科技以漆包线为起点赚得第一桶金并成功在深交所上市。但漆包线行业因准入门槛低，同质化程度越来越高，随之带来的利润率也越来越低，成长空间受限，故 2014 年开始产业转型。公司先后收购上海正昀，江苏鼎阳绿能电力有限公司进军新能源汽车和光伏产业，并与伯恩光学合作开展蓝宝石业务并积极探索国外市场。目前第三代半导体处在早期部署阶段，露笑科技凭借着在布局蓝宝石业务期间积累的大量的生产蓝宝石长晶炉的经验进入了碳化硅领域，总投资近百亿。公司拥有浙江省级研究院、博士后科研工作站、省级技术中心等平台，拥有一支优秀的研发团队，多次承担国家、省部级科技计划项目，多次获得各级科技奖，参与制修订国家/行业标准 48 项，累计拥有国内领先的科技成果近 20 项。

图表120： 露笑集团发展历程

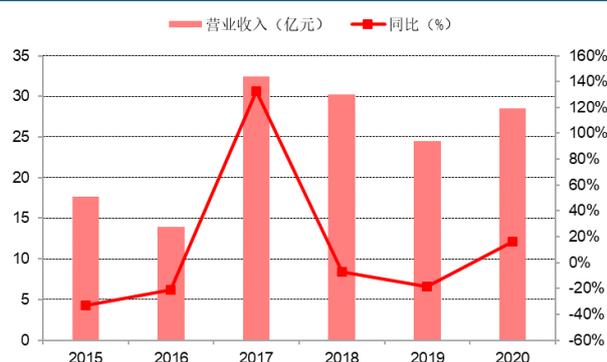

资料来源：公司官网，中信建投

凭借着顶尖的碳化硅生产团队以及依托于蓝宝石业务上的深厚积淀，目前露笑科技已经突破以下几项碳化硅生长炉及生长环节的关键技术：

- 完成 6 寸石英管式碳化硅晶体生长炉开发，以独特密封结构解决设备高真空度获取与长时间保持的难题，极限真空 $<2 \times 10^{-5}$ Pa，具备工程化使用条件；
- 完成大尺寸碳化硅单晶制备相关理论的研究，通过计算机模型辅助计算，形成了单晶制备过程物质与热量传输、缺陷演变的基本规律，解决了热场均匀性差、大尺寸单晶应力聚集、单晶扩径难等问题，为 6 寸及以上半绝缘碳化硅晶体的制备打下了坚实基础；

- 解决晶型生长控制难、微管密度大、晶体背向腐蚀严重等难题，提升了单晶质量，通过长晶过程中的除杂工艺实现了高电阻率晶体生长；
- 高纯度碳化硅原料合成，有效降低原料中对电阻率提升有害的特定杂质含量浓度，达到小于 1ppm 量级。

公司业绩波动明显，净利润情况持续好转。2020 年露笑科技营业收入为 28.48 亿元，同比增长 16.15%，业绩实现四年内的首次增幅。疫情期间，光伏发电以及其漆包线行业受到影响较小，营收下降程度有所减缓。随着碳化硅产业布局力度的加大，预计未来营收将会增加。然而，由于漆包线行业低准入门槛、高污染性以及激烈的市场竞争，公司自 2011 年起业绩持续下滑，同时积极寻求转型。目前，公司进入半导体行业，旗下业务包括三项：1) **碳化硅业务**：公司主要进行碳化硅衬底和外延的生产销售；2) **漆包线业务**：公司生产用于新能源汽车、电子信息等行业的漆包线产品；3) **光伏发电业务**：公司为光伏电站进行投资、建设和运营，并且集中建设集中式和分布式光伏电站。然而，由于公司自身现金流不足，造血能力差，在 2021 年定增 6.15 亿，但仍难以抵消负债和研发需要，对半导体行业的百亿投资仍然颇具难度。2020 年，公司净利润为 1.28 亿元，同比增长 16.15%，成功扭亏为盈持续增长。业绩上升主要系内疫情后公司制造业端上下游复工复产较快，同时国外受疫情影响严重，制造业向国内转移，行业景气度较高。同时，我们预计公司的半导体业务或将因资金缺乏面临经营风险，长期内的业绩波动仍将持续，需求研发不及预期都将对公司的经营带来影响。

图表121： 2015-2020 年露笑科技营业收入情况


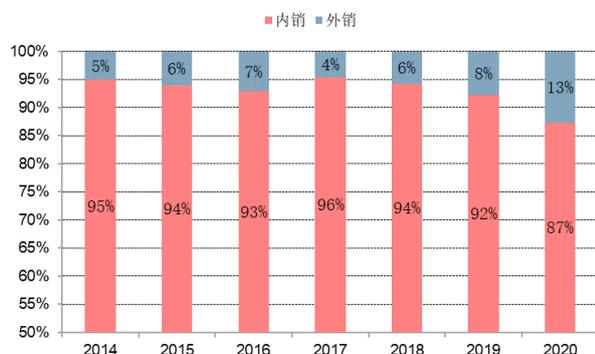
资料来源：Wind，中信建投

图表122： 2015-2020 年露笑科技净利润情况


资料来源：Wind，中信建投

公司积极拓展 SiC 衬底，合肥项目预计投资规模达到 100 亿元。2020 年，露笑科技在国内的营业收入为 17.59 亿元，同比增长 15.03%，占总体营收比例约为 87%。近年来，公司在积极部署境外业务，境外业务占比从 2014 年的 4.98% 涨到 12.59%，公司试图积极寻求业务增长。同时，露笑科技的主营业务非常丰富，虽然进行了产业转型，但是目前仍以漆包线和光伏业务为主。公司于 2020 年 8 月 8 日与合肥市长丰县人民政府在合肥市政府签署《合肥市长丰县与露笑科技股份有限公司共同投资建设第三代功率半导体（碳化硅）产业园战略合作框架协议》，包括但不限于碳化硅等第三代半导体的研发及产业化项目，包括碳化硅晶体生长、衬底制作、外延生长等的研发生产，项目投资总规模预计 100 亿元。同时公司在 2021 年 11 月份发布拟募集资金不超过 29.4 亿元预案，其中 19.4 亿元投资第三第三代功率半导体（碳化硅）产业园项目，本项目由合肥露笑组织实施，建设期 24 个月，拟生产 6 英寸碳化硅导电型衬底片等产品，项目产品具有尺寸较大、更宽的禁带宽度、更高的击穿电场、更高的热导率、更大的电子饱和度以及更高的抗辐射能力，本项目完成后将形成年产 24 万片 6 英寸导电型碳化硅衬底片的生产能力。另外，5000 万元用于大尺寸碳化硅衬底片研发中心项目，本项目总投资主要涉及研发厂房建设、研发设备购置及安装、研发人才引进等研发投入。

图表123： 2014-2020年露笑科技地区销售情况



资料来源: Wind, 中信建投

图表124： 2014-2020年露笑科技产品销售情况



资料来源: Wind, 中信建投

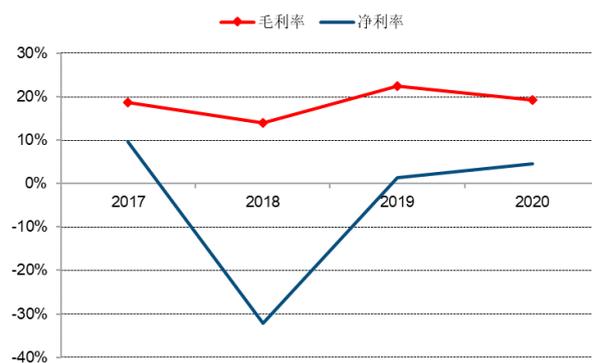
公司研发费用较低，净利率近年来稳中有升。2020年露笑科技研发支出额为0.44亿元，同比增长51.21%，占营收比例约为1.53%。近年来，公司的研发支出整体比例较低，几乎在1%附近波动，2020年该项费用逐步增加，但仍难以满足半导体行业的研发需求，目前显著低于行业平均水平。较低的研发投入可能使得公司无法长期发展半导体产业，更无法实现在相关市场建立领先地位，长期经营风险较为明显。公司从2020年11月份破土开工建设，2021年3月份一期厂房结项，5月份内部公辅设备开始安装调试，6月份部分设备开始进场安装。随着衬底加工设备、清洗设备和测试设备的逐步到位及加工工艺优化，预计在9月份基本可实现6英寸导电型碳化硅衬底片的小批量生产。露笑科技2018-2020年的毛利率分别为13.95%、22.42%和19.21%，比率波动较为明显；同时近三年内公司净利率分别为-32.23%、1.41%和4.49%，整体表现有所回暖，但仍需注意长期风险。公司毛利率的逐渐上升，主要是受到行业转型的影响。露笑科技进军毛利率较高的光伏行业，同时压缩了毛利率较低的漆包线业务，使得整体水平得到回升，净亏损收窄也与公司转型密切相关。预计随着公司持续加码半导体和光伏业务，双率水平将持续向好。

图表125： 2016-2020年露笑科技研发支出情况



资料来源: Wind, 中信建投

图表126： 2017-2020年露笑科技毛利率及净利率情况



资料来源: Wind, 中信建投

5.2.4 晶盛机电—SIC 衬底

晶盛机电是国内晶体硅生长设备龙头，主要从事晶体生长设备研发、制造、销售。公司的产品主要有碳化硅长晶设备及外延设备，业务下游涉及光伏、半导体、蓝宝石等行业方向。在光伏领域、半导体领域，LED 照明领域还分为晶体生长设备，智能化加工设备等。在蓝宝石领域，公司可提供满足 LED 照明衬底材料和窗口材料所需的蓝宝石晶锭和晶片。2006 年上虞晶盛机电工程有限公司成立，2010 年整体改制为上虞晶盛股份有限公司，同年更名为浙江晶盛机电股份有限公司（简称：晶盛机电），2012 年公司在深交所创业板上市（代码：300316.SZ），2014 年成立晶瑞电子运营蓝宝石切磨抛业务，拓展了蓝宝石业务，2018 年拓展半导体业务，并在 2020 年 SIC 研发取得突破性进展。晶盛机电公司在高端精密加工领域的技术实力处于行业前列，建立了半导体材料关键加工设备的国产化领先优势。目前，公司的主要客户有中环股份、有研半导体、合晶科技、上机数控等知名上市公司以及大型企业，密切合作的下游客户为公司的发展提供了坚实基础。

图表127： 晶盛机电主要事件

	时间	主要事件
主攻晶体硅生产设备	2006	上虞晶盛机电工程有限公司成立
	2007	研制出全自动直拉式单晶硅生长炉
	2008	研制出国内规格最大的直拉式单晶硅生长炉
	2010	变更为股份制公司
	2012	创业板挂牌上市
拓展蓝宝石业务	2014	成立晶瑞电子运营蓝宝石切磨抛业务
	2015	收购中为光电，拓展 LED 业务
	2016	募集 13.2 亿元投入蓝宝石生产项目
拓展半导体业务	2018	拓展半导体业务
	2019	设立子公司研发半导体，拓展半导体抛光材料研发及销售业务
	2020	SIC 的研发取得关键进展，成功生长出 6 英寸晶体

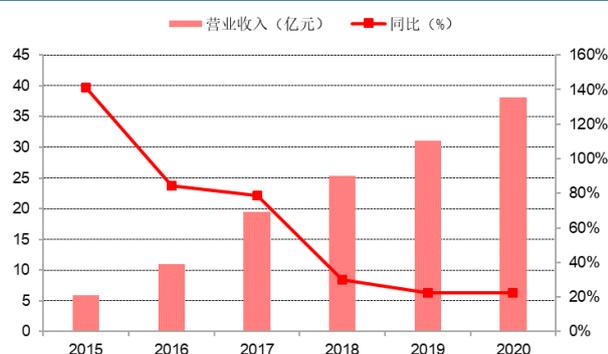
资料来源：公司官网，中信建投

图表128： 晶盛机电主要产品

光伏领域	半导体领域	LED 照明领域	工业 4.0 领域
TDR 系列全自动晶体生长炉	全自动晶体生长炉	700kg 级超大尺寸蓝宝石晶体	无人抛光车间
CFZ 专用区熔硅单晶炉	区熔硅单晶炉	蓝宝石晶棒	组件自动化产线
多晶硅铸锭炉	全自动半导体单晶硅截断机	2-6 寸蓝宝石抛光片	IMES 智慧工厂管理系统
单晶硅棒切磨复合加工一体机	全自动半导体单晶硅滚磨机	超大尺寸蓝宝石面板	单晶硅棒自动化检测线
晶棒单线开方机	全自动晶体滚磨一体机	宝石晶体系列	自动化电池产线
单晶滚圆磨面一体机	半导体单晶硅滚磨一体机		多晶硅块加工自动化生产线
硅金刚线切片机	全自动单片式 8 英寸半导体硅片抛光机		LED 球泡灯全自动产线
晶棒单线截断机	金刚线半导体硅棒截断机		
硅块单线截断机	双面研磨机	2-6 寸蓝宝石抛光片	
多晶硅块倒角磨面加工一体机			
PECVD	半导体单晶硅抛光机		
叠瓦串焊机	全自动晶体截断磨面复合加工一体机		

资料来源：公司官网，中信建投

晶盛机电是国内晶体硅生长设备龙头，近年来业绩持续向好。2020 年公司业绩大幅增长，实现营收 38.11 亿元，同比增长 22.54%。近五年来，公司营收持续保持高增长，尽管增速下滑但同比仍保持在 20% 及以上。一方面，国家“碳中和”政策推动下光伏等新能源领域持续利好，硅片产能需求持续扩大，公司设备出货量持续上升；另一方面，第三代半导体受到下游新能源汽车、充电基础设施等领域的火热推动，整体需求实现高企，碳化硅产业得以高速发展，公司相关设备需求上涨。同时，集成电路产业也受到政策积极扶持，Mini LED 和消费电子窗口也推动了蓝宝石材料新增长，这同样推动了公司业绩的持续向好。此外，公司与上下游产业链的客户形成了紧密联系，这为公司巩固市场地位，推动产品持续迭代奠定了坚实基础。2020 年晶盛机电净利润为 8.52 亿元，同比增长 36.48%，重新实现较高增长。然而，由于光伏硅片的技术变革能力较弱，潜在增长逻辑不足，利润将面临下行风险；公司半导体和蓝宝石等相关技术处于领先地位，发展前景较为良好，但公司对单一客户的依赖程度较大，可能存在长期风险。预计中长期内，晶盛机电将依靠半导体和蓝宝石领域的先进优势，弥补光伏 LED 领域的增长减缓，与此同时公司仍将面对一定的市场风险。

图表129： 2015-2020 年晶盛机电营业收入情况


资料来源: Wind, 中信建投

图表130： 2015-2020 年晶盛机电净利润情况


资料来源: Wind, 中信建投

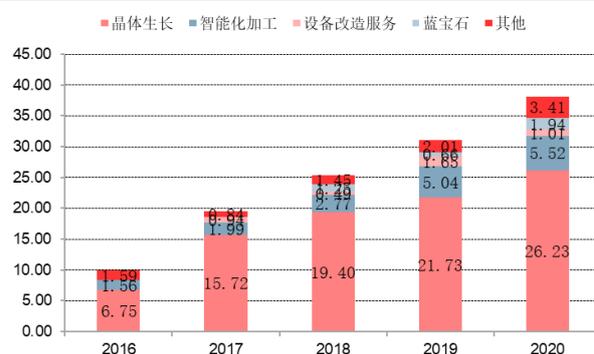
晶盛机电主要销售区域位于国内，晶体生长为核心业务。2020 年公司国内销售额约为 35.94 亿元，同比增长 16.16%，同时占比 94.31%，略有下降。目前，晶盛机电在国内的半导体 8-12 英寸硅片重大项目已陆续落地，公司积极推动单晶炉、抛光机等面向主流半导体厂商的先进设备，从而建立了半导体高端设备的领先市场地位，高端市场占有率国内位居首位。此前公司业务全部集中于国内，但 2018 年起公司努力拓展海外业务，份额连年扩大，预计公司未来仍将持续开拓海外市场，业绩也将因此受到拨动。与此同时，2020 年公司在晶体生长领域的销售额为 26.23 亿元，同比增长 20.71%，占营收总比例为 68.83%，是公司的主要业务增长区。同时，公司在蓝宝石和智能化加工领域也实现了业务增长，同比较以往有所提升。尽管光伏硅片设备仍为晶盛机电的主要产品，但公司于 2018 年前后成功进入半导体和蓝宝石领域，并在部分技术实现世界领先水平，业务范围将持续扩大，从而降低单一产品结构的风险。预计公司将长期加码碳化硅设备和蓝宝石业务，从而弥补光伏领域的增速减缓，多元化的产品结构也将稳定公司长期内的经营。

图表131: 2015-2020年晶盛机电地区销售情况



资料来源: Wind, 中信建投

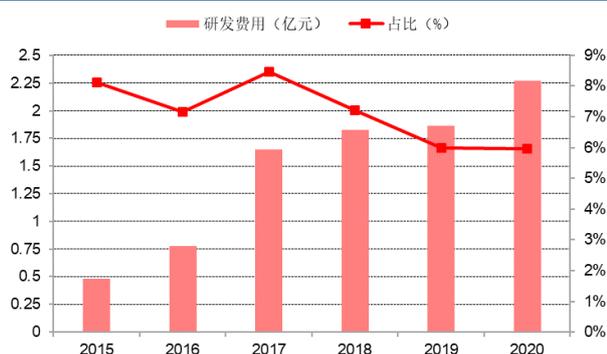
图表132: 2015-2020年晶盛机电产品销售情况



资料来源: Wind, 中信建投

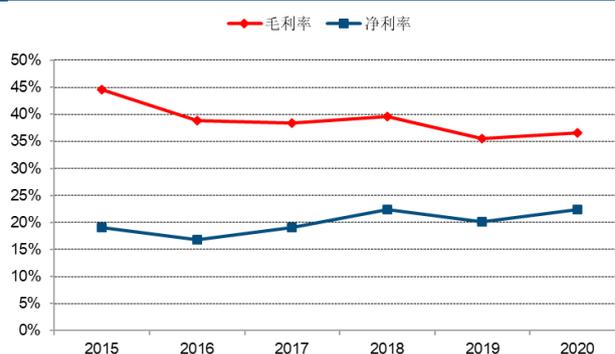
晶盛机电研发支出持续增长, 公司双率稳中有升。2020年公司研发支出数额为2.27亿元, 占营收比例约为5.96%, 同比增长22.04%, 近五年内费用持续增加。公司目前已实现8英寸半导体长晶设备的批量销售, 12英寸长晶、研磨和抛光设备均通过客户验证并进入销售环节。同时, 晶盛机电在碳化硅领域积极研发, 碳化硅外延设备已通过客户验证, 同时在晶体生长、切片、抛光等产业链环节建立测试线, 以实现装备和工艺技术的领先。而在蓝宝石材料领域, 晶盛机电已经成功掌握国际领先的超大尺寸700kg级蓝宝石晶体生长技术, 公司的蓝宝石材料业务具备较强的成本竞争力与规模优势。公司将持续加大研发费用, 定增投产碳化硅衬底晶片生产基地项目, 计划在宁夏银川建设年产40万片6英寸以上导电+绝缘型碳化硅衬底产能, 总投资33.6亿元。项目达产后预计年实现新增营收23.56亿元、利润5.88亿元。目前公司已经获得23万片意向碳化硅衬底订单, 并预估2022-2025年国内导电型碳化硅衬底总需求合计超过800万片, 碳化硅衬底晶片生产基地项目的实施有利于打破WolfSpeed、II-VI等传统国外碳化硅生产龙头企业的行业垄断地位, 逐步改变国内碳化硅衬底主要依靠进口的现状。随着碳化硅在下游市场的不断拓展, 公司将加快推进碳化硅业务的前瞻性布局, 从而为公司的持续发展贡献新的动力。

图表133: 2015-2020年晶盛机电研发支出情况



资料来源: Wind, 中信建投

图表134: 2015-2020年晶盛机电毛利率及净利率情况



资料来源: Wind, 中信建投

5.2.5 三安光电—IDM SIC 全产业链

三安光电成立于 2000 年，主要从事化合物半导体所涉及的部分核心原材料、外延片生长和器件制造，材料包括氮化镓、碳化硅、磷化铟、蓝宝石等第三代半导体。公司具有国内产销规模首位的化合物半导体生产规模，属于技术、资本密集型的产业，是化合物半导体集成电路产业链布局最为完善、领先 IDM 企业。公司目前的主要业务包括四个板块：**1) 光电**：以 GaAs、GaN、蓝宝石为基础，进行 LED 和光伏电池器件生产，产品用于照明、光伏、医疗等领域；**2) 微波射频**：主要以 GaN、GaAS 和 InP 为主，生产制造功率放大器、滤波器、射频开关器等，可用于移动通信基站、蓝牙模组等；**3) 电力电子**：通过 SiC、GaN 等第三代半导体，进行各类二极管和晶体管的研究，主要用于新能源汽车、光伏、智能电网、快充电源等下游领域；**4) 光通讯**：借助 GaAs、InP 等原材料，制造二极管、激光器件，通常适用于通信基站、云计算、3D 感应等市场。公司致力于将化合物半导体集成电路业务发展至全球行业领先水平，努力打造具有国际竞争力的半导体厂商。目前，公司已与主要供应商和采购客户建立起了长年稳定的合作关系，形成较为稳定的原材料供应渠道。

图表135：三安光电产品

业务领域	晶圆代工制程	制程系列	主要用途
微波射频	HBT (砷化镓异质结双极型晶体管)	H20HL (高线性制程)	无线宽带功率放大器 无线宽带低杂讯放大器 增益器
		H20HR (高韧性制程)	
	pHEMT (砷化镓伪型态高电子迁移率晶体管)	P25ED (增强/耗尽混合型)	通讯信号切换器 通讯微波器件 增益器 通讯信号切换器 通讯微波器件
		P25PA (功率型)	
		P25sW (低启动阻抗型)	
	SAW (表面声波滤波器)	LAS0882A01	蜂窝系统频段 非授权频段 其他无线射频
电力电子	SiC SBD/MPS (碳化硅肖特基二极管)	快速回复肖特基二极管	消费电子产品的电源转换/反向器 汽车/交通工具使用电源转换/反向器 工业用大功率电源转换/反向器
光通信	GaN FET (氮化镓场效应晶体管)	耗尽型场效应三极管	
		增强型场效应三极管	
	VCSEL	垂直腔面发射激光器	传感器/3D 人脸识别 HDMI

资料来源：三安光电官网，中信建投

回顾公司发展历程，公司逐步拓展业务布局广度和深度，主要可以分为四个阶段：

- **2000-2008 年：公司成立，主攻 LED 业务。**2000 年公司成立，主攻 LED 业务；2003 年公司通过全色系超高亮度 LED 芯片科技成果鉴定，成为国内首家实现全色系超高亮度发光二极管的厂家；2008 年公司顺利借壳上市。
- **2009-2012 年：公司布局蓝宝石衬底，开始向上游关键物料延伸。**公司发布国内首创的“RS-B1 超高亮度功率红色发光二极管芯片”，性能达到国际水平；2011 年公司开始布局蓝宝石衬底；2012 年公司获中国专利优秀奖。

- **2013-2015 年：公司进入加速成长期，开始布局通用照明和微电子器件。**2013 年公司收购 luminous，布局通用照明领域；2014 年，公司成立三安集成，开始布局通讯微电子器件业务。
- **2016 年至今：公司进军化合物半导体领域。**公司被认定为国家知识产权优势企业；2017 年，公司成立泉州三安，布局七大项目，全面提升产能规模，并于同年收购 Norstel，布局碳化硅衬底制造。

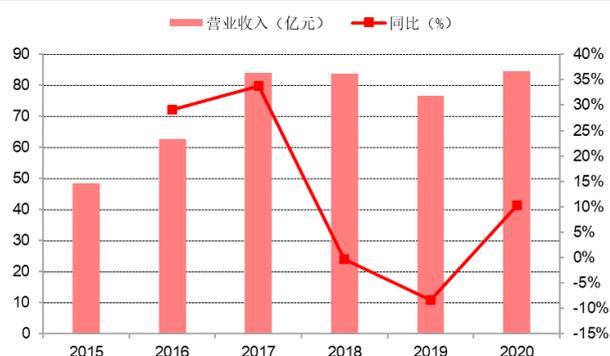
图表136：三安光电子子公司

子公司	主营业务
厦门三安光电科技有限公司	从事全色系超高亮度 LED 外延片、芯片，化合物太阳能电池、PIN 光电探测器芯将的研发、生产与销售
厦门市三安集成电路有限公司	新建砷化镓和氮化镓外延片生产线，以及适用于专业通讯微电子器件市场的砷化镓高速半导体芯片与氮化镓高功率半导体芯片生产线
厦门三安光电有限公司	拥有规模化的 LED 蓝、绿光外延片、芯片生产线
福建晶安光电有限公司	专注于蓝宝石晶体生长和切、磨、抛等精细加工
芜湖安瑞光电有限公司	从事汽车 LED 光源封装、LED 车灯模组、LED 汽车灯具设计、开发与制造
天津三安光电有限公司	从事半导体 LED 外延片，芯片、太阳能外延片、芯片的研发与生产
安徽三安光电有限公司	专门从事 LED 外延片、芯片的研发、生产与销售
安徽三安科技有限公司	专业从事 LED 照明应用产品的设计、销售和服务
Luminus Inc.	公司专门研发及生产 LED 专业照明和通用照明领域
泉州三安半导体科技有限公司	公司正在建设 7 大产业化项目，主要包括高端氮化镓 LED 衬底、外延、芯片研发与制造、光通讯器件的研发与制造等
湖北三安光电有限公司	布局 Mini/Micro LED 芯片产业

资料来源：三安光电官网，中信建投

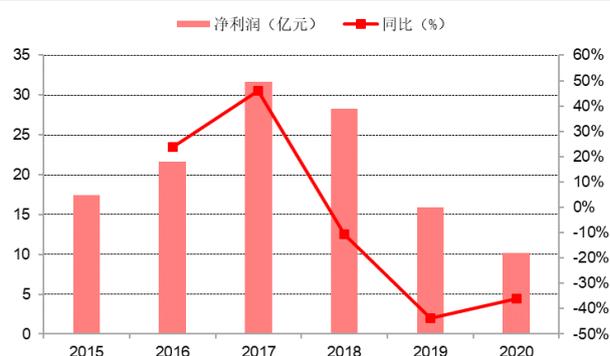
公司业绩稳中有升，净利润近年来持续下降。2020 年，三安光电营业收入为 84.54 亿元，同比增长 10.37%，营收数额达到历史新高。2012 年之后，受益于 LED 产业整体转向中国大陆，国内企业快速扩产抢占市场份额，国内 LED 需求的提升也使得公司盈利快速增长。2018 年后由于贸易战、国内需求增速放缓、相关企业库存水平处于高位等不利因素，LED 行业逐步进入周期下行阶段，产品价格下跌，三安光电的盈利水平也伴随行业周期受到较大的影响。此外，公司也在大力布局半导体领域，向第三代半导体衬底、外延、芯片等领域进行转型，是国内化合物半导体领域中布局最为全面的企业。公司于 2014 年成立厦门三安集成，作为化合物半导体业务的主要生产基地，业务涵盖微波射频、高功率电力电子、光通讯等领域，致力于打造集成完整的化合物半导体制造平台。2019 年起，公司化合物半导体业务以三安集成为主要产业基地，并开始逐步放量。受益于 Mini LED、射频和滤波器需求的显著提升，公司的营业收入于 2020 年重新实现增长。由于目前以碳化硅和氮化镓为核心材料的产品被广泛用于通信、新能源汽车、消费类电子等应用领域，下游市场成为全球企业的重要布局焦点。随着技术研发不断推进，成本和费用管控进一步优化，预计公司业绩发展前景广阔。2020 年三安光电净利润为 10.16 亿元，同比下降 36.14%。近四年来公司净利润持续下降，系转型半导体带来的研发支出费用高企，同时 LED 产品成本上升所致。三安光电的基本面仍向好，预计随着第三代半导体技术研发逐步转化为销售成果后，公司将实现费用管控，并进一步增加营收，从而实现净利润的增长。

图表137: 2015-2020年三安光电营业收入情况



资料来源: 三安光电, 中信建投

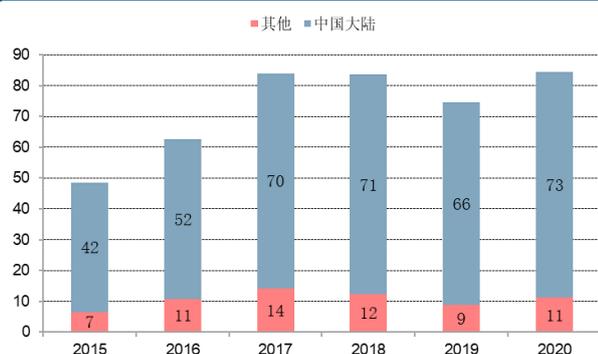
图表138: 2015-2020年三安光电净利润情况



资料来源: 三安光电, 中信建投

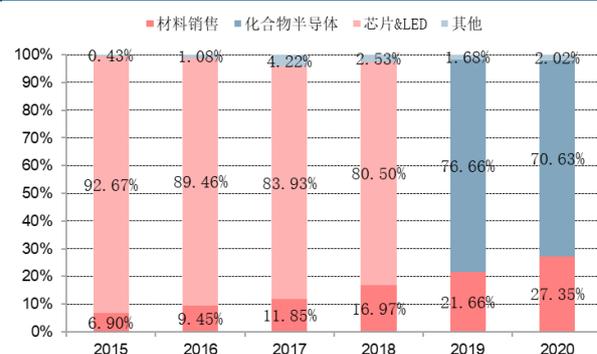
公司收入来源核心为中国大陆, 产品中化合物半导体占主导地位。2020年三安光电在中国大陆的销售额为73亿元, 同比增长10.61%, 占总体比例为86.90%。近六年内, 公司在中国大陆的销售占比均在80%以上, 港澳台及海外市场表现稳定, 销售额均在10亿元左右。显然, 由于国内政策支持下半导体行业高度景气, 且海外领先企业的技术壁垒较难突破, 公司难以扩大其在其他地区的销售额。同时, 公司的产品主要包括化合物半导体、材料销售和其他, 2020年三者占比分别为70.63%、27.35%和2.02%。实际上, 2019年以前公司的核心产品为芯片&LED, 但从2015年起业务规模逐渐萎缩, 系LED产品成本上升, 需求不及预期导致LED市场进入下行周期。公司选择成立子公司, 向第三代半导体产业进行转型, 并将LED并入化合物半导体业务, 后者成为公司的主要研发产品。然而, 目前全球芯片供应短缺, LED器件需求旺盛, LED市场或将迎来周期性拐点。预计未来几年公司仍将持续经营LED业务, 并且其业务占比将持续提高。

图表139: 2015-2020年三安光电地区销售情况 (亿元)



资料来源: 三安光电, 中信建投

图表140: 2015-2020年三安光电产品销售情况

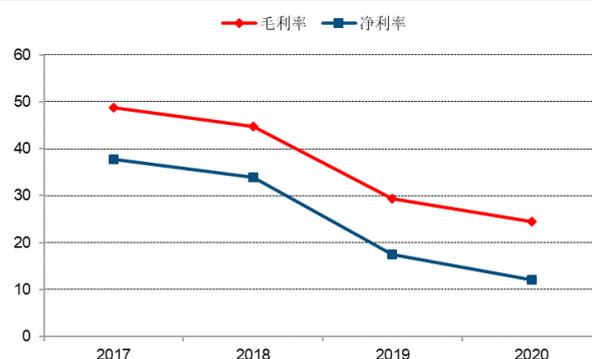


资料来源: 三安光电, 中信建投

公司近三年研发支出持续走高, 双率则表现持续下降态势。2020年三安光电研发支出为4.06亿元, 同比增加106%, 占营收比例为4.8%, 呈现历史新高。目前, 公司的研发费用主要用于第三代半导体衬底、外延以及器件制造等产业方向, 积极进行化合物半导体器件研发生产。预计随着公司的研发成果进一步转化, 下游市场的广泛需求将推动业绩持续增长。同时, 公司2020年毛利率为24.47%, 净利率为12.02%, 近三年内呈现持续收窄态势。2019年及2020年毛利率大幅下滑, 主要系LED芯片产品价格下降导致; 净利率持续下滑与各项费用不断上升以及成本管控不及所致。预计公司未来一段时间内仍将面临毛利和净利率下降的情况, 但长期内研发成果转化销售业绩, 将有效降低成本和相关费用, 双率或将有所回升。

图表141： 2016-2020年三安光电研发支出情况


资料来源：三安光电，中信建投

图表142： 2017-2020年三安光电毛利率及净利率情况


资料来源：三安光电，中信建投

2014年成立厦门三安集成具备衬底材料、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；2017年总投资333亿元的泉州南安项目也在顺利推进中，现已有部分设备调试完成，产能正在逐步释放；2020年投资160亿元建设湖南三安SiC产线，进一步加强上游布局，且一期项目已于2021年6月建设完成，产能可达3000片/月（6寸片）；2年内达产后预计将达到30000片/月。产业链方面，公司2020年8月收购北电新材，将SiC衬底工艺内化，掌握SiC产业链核心，夯实SiC衬底基础，有望提高产品良率，发挥产业链协同作用。目前，三安光电的各类产品客户验证均稳步进行，随着化合物半导体下游需求显著提升，以及研发成果的进一步转化，各产业基地产能布局优势已开始显现。

三安光电在长沙投产建成的两条SiC生产线，已经全面整合了衬底、外延、晶圆生产、封测的垂直环节，预计2022年下半年到2023年可以实现整车产品达产，客户包括国内外的各芯片应用企业。其中，湖南生产线拥有的6英寸长晶炉多达200台，可以专注进行SiC垂直产业链的覆盖。同时，SiC-SBD等二极管功率器件（四英寸晶圆为基础）已经出货，产能为2000片/月，订单处于供不应求状态，预计未来产能释放后仍有较大增长空间。公司顺应新能源汽车对碳化硅器件的强烈需求，已实现1200V SiC-MOSFET的量产，并仍在积极研发与车企相关的下游应用器件。然而，由于衬底技术受限导致生长缓慢，三安光电在衬底领域遭遇瓶颈，与国内其他SiC企业趋势相同，但晶圆良率整体相对较高。作为国内唯一的SiC IDM企业，三安光电的功率器件生产水平已达国内领先地位，衬底和外延的制造也具备一定的先进性。我们预计，随着下游订单持续增长和产能不断释放，三安光电将实现客观的业绩增长，上游产业也将因此获得更快速的推进。

图表143： 三安光电主要事件

时间	主要事件
2014年5月	注册成立厦门三安集成电路有限公司
2015年3月	通过定增募集16亿元，实际投资30亿元于厦门三安集成建设通讯微电子（一期）项目，建设通讯用外延片36万片/年（以6吋计算）的产能和通讯用芯片36万片/年（以6吋计算）
2016年11月	出资196万美元，与GCS成立合资公司
2017年12月	建设泉州南安333亿元投资项目，包括化合物半导体、集成电路等7个项目
2018年12月	推出6英寸SiC代工制程，成为国内首家基于6英寸晶圆的化合物半导体晶圆代工厂
2020年7月	投资160亿元的湖南三安SiC等第三代化合物半导体项目
2020年8月	以3.815亿元收购北电新材100%股权，加强SiC上游布局
2021年7月	三安集成获得富智康SAW滤波器订单，预计单月出货超1000万颗

资料来源：三安光电，中信建投

5.2.6 凤凰光学—中国电科促进资源整合

凤凰光学股份有限公司成立于 1997 年，是一家拥有五十余年历史的综合光学元件及产品的生产商，近年来成为集研发、设计、制造一体化的精密加工、光学组件国内重要供应商，主要产品包括光学组件，精密加工，光学仪器等。其光学组件产品主要用于安防视频监控、车载等；精密加工产品主要用于照相机、投影机、车载等产品的金属结构件精密加工和光学镜片精加工；光学仪器产品主要用于普教、工业、科研院所等领域的光学显微镜。**2019 年收购海康科技智能控制器业务前，公司主营业务为光学元件加工和锂电芯加工。收购完成后，公司主营业务变更为光学产品、智能控制器产品和锂电芯产品的研发、制造和销售。**

图表144： 凤凰光学发展历程



资料来源：公司官网，中信建投

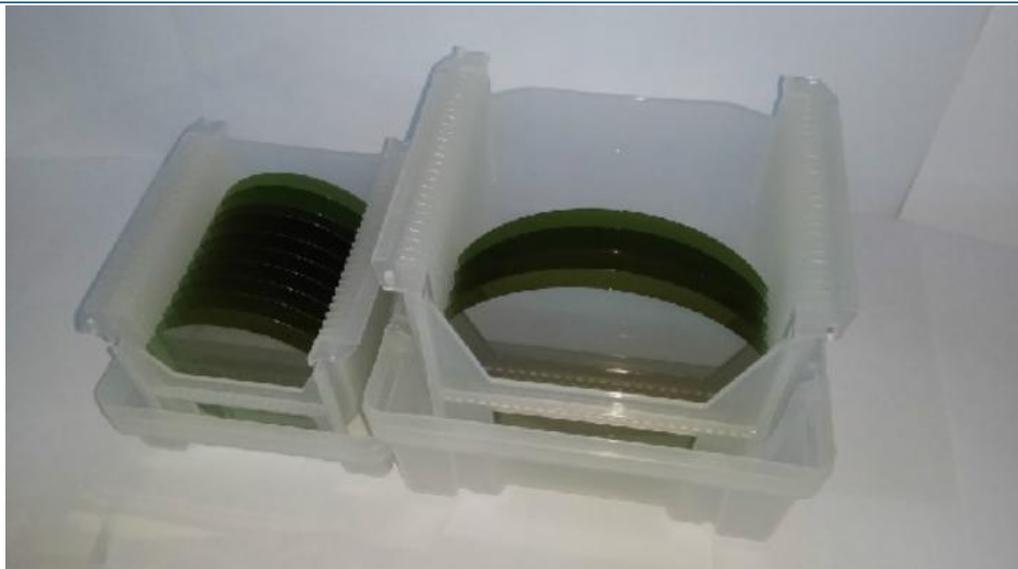
在国务院鼓励提高上市公司质量，支持上市公司做强做优做大；中国电科促进资源整合，利用关键领域优势资源打造上市平台；上市公司原有业务市场竞争激烈，盈利能力有待提升的大背景下。为了达成践行国家战略，支撑我国半导体领域高水平科技自立自强；借助资本市场，打造我国半导体外延材料核心力量；完成战略转型，提高上市公司股东的投资回报水平的综合目标，**凤凰光学于 2021 年 9 月发布重大资产出售及发行股份购买资产并募集配套资金暨关联交易预案中提出：**拟以现金的方式向中电海康或其指定的全资子公司出售其截至评估基准日除上市公司母公司层面全部货币资金、无法转移的税项和递延所得税负债，英锐科技 100% 股权，凤凰光电 75% 股权，丹阳光明 17% 股权，江西大厦 5.814% 股权之外的全部资产及负债；拟向电科材料、中电信息、睿泛科技、盛鸿科技、盛芯科技发行股份购买其合计持有的国盛电子 100% 股权，拟向电科材料、天创海河、良茂投资、鸿基控股、汇得丰投资、磊聚投资、宝联控股、中电信息及刘志强等 26 名自然人发行股份购买其持有的普兴电子 100% 股权。

国盛电子及普兴电子主要从事半导体外延材料的研发、生产和销售，主要产品包括半导体硅及碳化硅外延材料等，产品主要面向分立器件与集成电路市场，广泛应用于 IGBT、FRED、MOSFET、HEMT 等功率、射频器件以及集成电路领域，产品下游应用涵盖 IC、家电、智能手机、计算机、5G 通讯、绿色能源、汽车电子、医疗、安防电子等行业。拟购买标的公司从事的业务符合相关行业政策。**国盛电子及普兴电子是国内最早从事硅外延材料研究的单位之一，技术水平处于国际先进、国内领先地位，**承担了包括“02 专项”等国家半导体材料领域的重大工程和重大科研任务。目前，国盛电子及普兴电子处于国内硅外延材料供应商第一梯队，碳化硅外延材料也已具备量产能力，客户遍布中国大陆、港台地区，以及美国、日本、韩国、俄罗斯、印度等国际市场，在业界和国内外客户中享有较高的声誉。国盛电子及普兴电子多次荣获中国电子材料行业五十强企业、半导体材料十强企业、全国电子信息行业百强优秀企业、国家优秀火炬计划项目等荣誉和奖项。

国盛电子和普兴电子主要从事半导体外延材料的研发、生产和销售，通过向下游芯片制造企业销售半导体

外延材料实现收入和利润。建立了完善的供应链管理体系及采购管理制度，原材料采购以订单为导向，对于重要原辅料主要通过直接采购的模式，从“合格供应商名单”的厂家中进行采购，确保主辅材料供应渠道及产品质量的稳定。以销定产的生产模式，工艺效率、工艺水平和生产效率稳居行业前列，产品质量获得客户广泛认可。主要采用直销的模式，客户遍布中国大陆、港台地区，以及美国、日本、韩国、俄罗斯、印度等国际市场。销售流程主要包括客户开发、客户资格审核、产品规格审核、订单确认、订单评审、签订合同、交付以及售后服务等环节。

图表145：普兴电子 4、6 英寸碳化硅外延片



资料来源：公司官网，中信建投

国盛电子及普兴电子自成立以来，紧抓历次市场发展机遇，不断拓展市场份额，目前已形成了系列化大批量的生产能力，是国内最大的半导体外延材料供应商之一，市场占有率国内领先。在国内率先稳定量产硅外延材料，形成了全面的核心工艺技术体系，技术水平处于国内领先地位。目前，国盛电子及普兴电子已经掌握了常压、减压、多层、高阻超厚层、过渡区、金属杂质、晶格缺陷、均匀加热、硅片清洗等外延关键核心制备技术，实现了外延温度、气氛、气流、时间等工艺参数的精确控制，产品技术水平及质量获得客户高度认可。以自主研发为主，经过多年的实践与积累，建立起一套符合行业发展特征、满足公司业务需要的研发体系，研究领域覆盖硅基外延材料和化合物半导体外延材料等。国盛电子及普兴电子拥有优秀、稳定的技术团队，研发实力雄厚，技术水平和科技创新能力都处于国内同行的领先水平，承担了包括“02 专项”等在内的国家半导体材料领域的重大工程和重大科技专项任务，荣获多项国家及省级科研奖项。普兴电子《6 英寸碳化硅外延片产业化》项目在工信部《2020 年产业基础再造和制造业高质量发展专项》任务投标活动中中标。

普兴电子石家庄外延材料产业基地一期项目目前正在施工中，实施总投资 16.7 亿元的外延材料产业基地建设项目，该项目一期占地 130 亩，总建筑面积 6 万平方米，总投资 5 亿元，主要建设生产车间、办公研发楼、动力站等，计划于 2022 年 11 月竣工投产，目前正在按照时间节点，加快推进项目建设。建设完成后，将由普兴电子在此完成搬迁升级。预计将新购置各类外延生产及清洗检验设备共 392 台（套），预计达到年产 300 万片 8 英寸硅外延片、预计 36 万片 6 英寸碳化硅外延产品的生产能力，可实现年均收入 31.38 亿元。

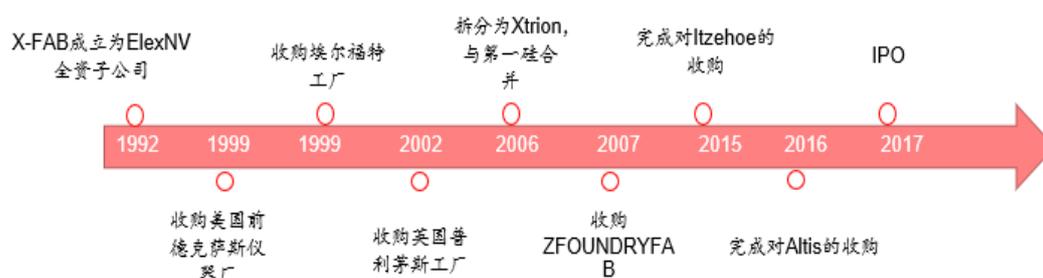
5.3、晶圆代工厂商

5.3.1 X-Fab

X-FAB Silicon Foundries SE 是世界领先的模拟/混合信号半导体技术专业代工厂集团之一。为汽车，工业，消费，医疗，消费和移动通信以及其他应用制造硅片、模数集成电路、传感器和微机电系统。业务遍及全球，提供全面的技术和设计 IP。凭借在模拟/混合信号 IC 生产、微机电系统（MEMS）和碳化硅（SiC）方面的专业知识，为客户提供强大的设计支持技术。核心市场汽车、医疗和工业的特点是高增长和长生命周期。

X-FAB 成立于 1992 年，是 Elex NV 的全资子公司。从德国国家托管组织 Treuhandanstalt 收购后，开始在德国埃尔福特运营其第一家半导体工厂。1999 年，X-FAB 收购了美国德克萨斯州卢伯克的前德克萨斯仪器厂和埃尔福特工厂；2002 年从 Zarlink 收购了英国普利茅斯的一家工厂；2007 年，从 ZMD AG 收购了位于德累斯顿的 ZFOUNDRY FAB；2011 年，X-FAB 通过投资 MEMS 铸造厂 Itzehoe（随后于 2015 年完全收购）；2016 年 10 月 1 日起，X-FAB 完成了对 Altis 的收购。自 2016 年以来，X-FAB 拥有 6 家工厂，分别位于德国（3 家），法国，马来西亚和美国。

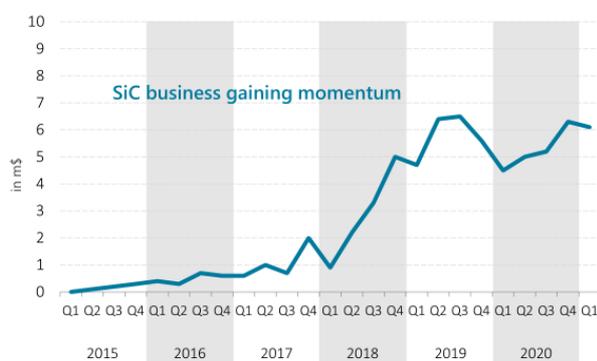
图表146： X-FAB 发展里程碑



资料来源：公司招股说明书，中信建投

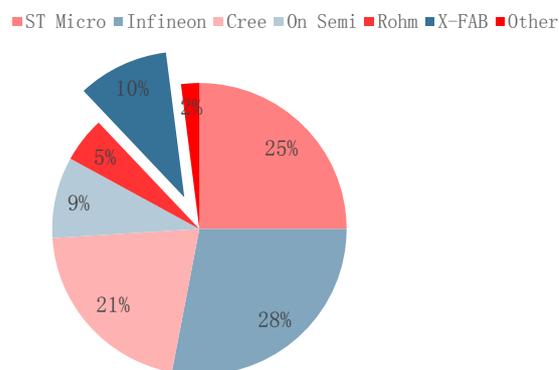
X-FAB 作为一家纯粹的代工厂，为避免与客户竞争而没有自己的 IC 产品。专注于复杂技术、设计支持和制造解决方案，提供制造和强大的设计支持服务，设计模拟/混合信号集成电路（IC）和其他半导体器件，用于客户的产品。模块化的制造方法在半导体技术、设计和工艺中提供了多种增强选项，包括互补金属氧化物半导体（CMOS）、绝缘体上硅（SOI）、碳化硅（SiC）和微机电系统（MEMS）。提供的工艺技术在 150mm 晶圆上的特征尺寸为 1.0 μ m、0.8 μ m 和 0.6 μ m，在 200mm 晶圆上的特征尺寸为 0.6 μ m、350nm、250nm、180nm 和 130nm。X-FAB 的目标是到 2025 年实现 9-10% 的市场份额，通过不断增长的产量保持稳定的市场份额，并为 80-90% 的无晶圆厂碳化硅厂商提供服务。

图表147： 2015-2020年 X-FAB SiC 营收情况



资料来源：公司财报，中信建投

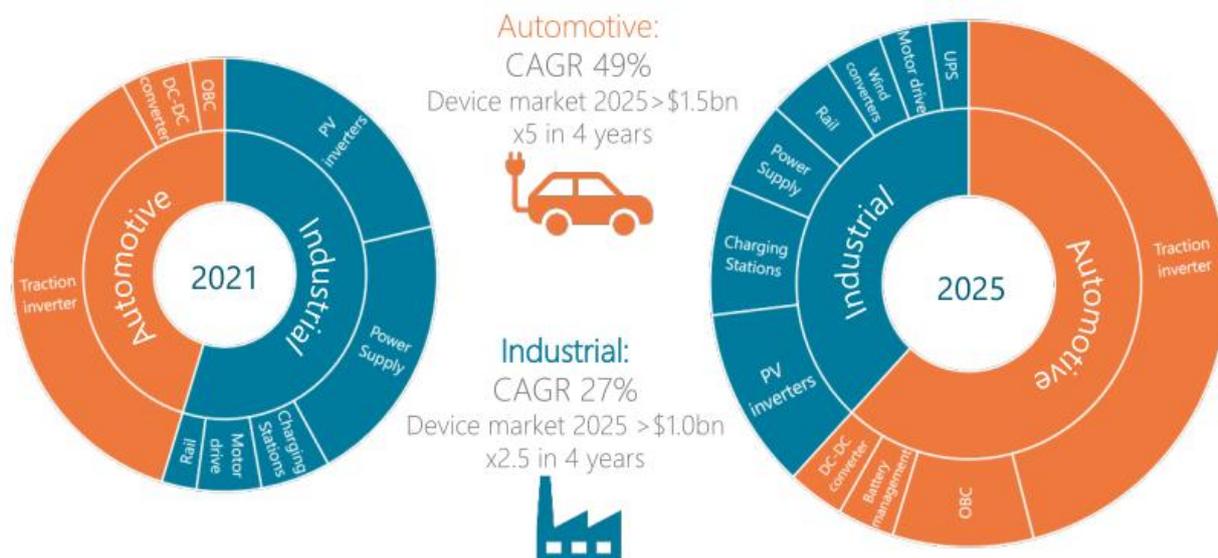
图表148： 2025年 SiC 市场份额预计



资料来源：公司财报，中信建投

X-FAB 生产的产品有一半进入了汽车市场。解决方案应用于汽车的各个领域：从燃烧汽车的传感器、传感器接口和执行器到电流传感器、锂电池监控 IC，以及电动汽车的碳化硅（SiC）晶体管。平均每生产一辆汽车会有 16 块由 X-F AB 制造的芯片。随着汽车电气化的不断发展，这个数字将会上升。X-FAB 先进的碳化硅制造工艺，进一步推动着市场份额高速增长。预计在汽车领域拥有 49% 市场复合年增长率，并在 2025 年前，市场份额超过 15 亿美元。

图表149： 2021-2025年 SiC 在汽车与工业应用快速增长



资料来源：Yol é HIS Markit,X-FAB，中信建投

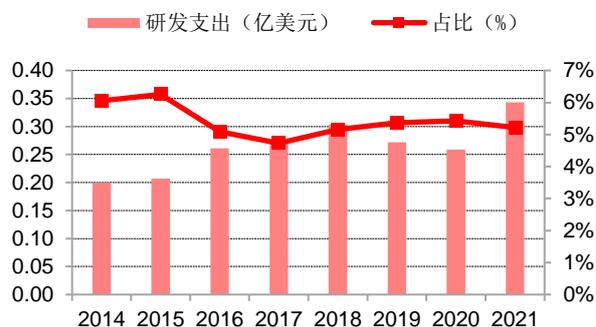
X-FAB 持续领导着 SiC 的制造市场，与 2019 年相比，SiC 预订量大幅增加，全新设计产品的数量增加了一倍多。X-FAB2020 年的营业收入为 4.776 亿美元，与 2019 年相比下降了 6%，总体收入下降的主要原因是 CCC 业务（通信、消费者、计算），同比下降 22%，主要是由于 X-FAB France 计划减少传统业务。而核心市场，即汽车、工业和医疗市场的收入增长了 1%。汽车业务下降了 3%，但工业和医疗业务分别以 6% 和 19% 的速度强劲增长。

图表150： 2014-2021年 X-FAB 营收情况



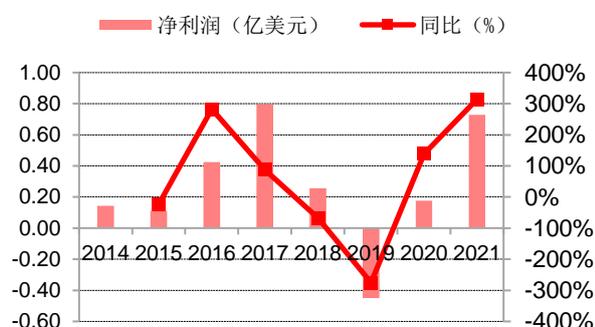
资料来源: Wind, 中信建投

图表151： 2014-2021年 X-FAB 研发支出情况



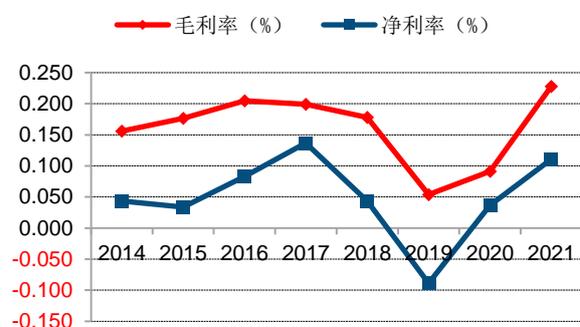
资料来源: Wind, 中信建投

图表152： 2014-2021年 X-FAB 净利润情况



资料来源: Wind, 中信建投

图表153： 2014-2021年 X-FAB 毛利率及净利率情况

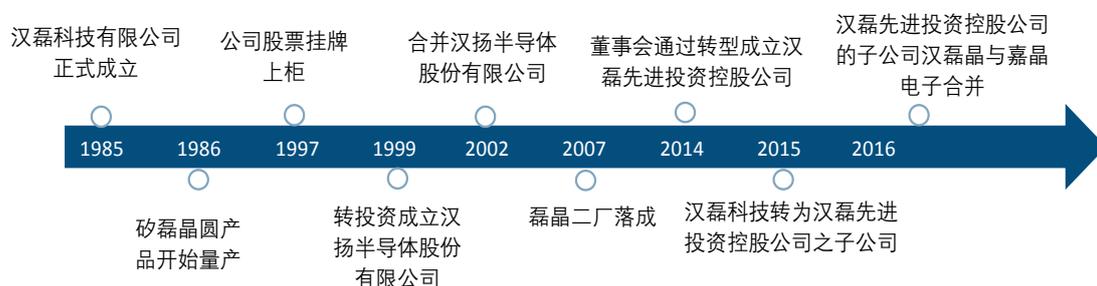


资料来源: Wind, 中信建投

5.3.2 汉磊

汉磊先进投资控股股份有限公司(Episil)是一家台湾控股公司，主体主要从事一般投资业务，通过其子公司进行功率半导体、模拟集成电路、外延片和晶圆代工系统的开发、设计、制造和销售，主要产品包括硅外延、模拟组件和集成电路等。目前，公司主要有三大业务板块：**1) 硅晶圆**：主要从事传统硅、碳化硅、氮化镓等先进半导体材料的晶圆和外延片代工，以及相关领域的产品生产；**2) 原件及集成电路代工**：主要负责半导体功率器件、集成电路等应用领域的产品销售及代工服务；**3) 其他**：主要包括半导体组件等杂项产品生产及销售。汉磊是典型的 Foundry 半导体企业，可以提供包括 SiC 和 GaN 在内的一系列宽禁带半导体代工服务。目前，汉磊能够进行高良率规模化的碳化硅器件生产，是中国唯一且具备世界领先水平的纯晶圆代工厂。

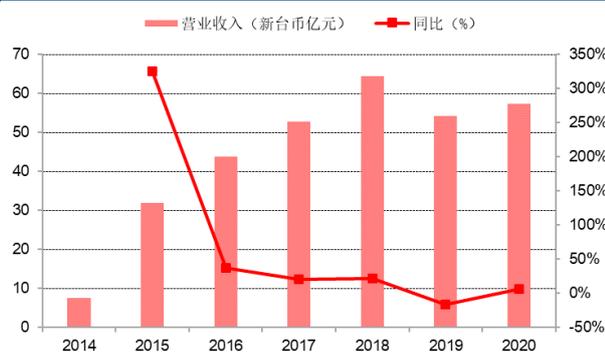
图表154：汉磊历史沿革



资料来源：公司官网，中信建投

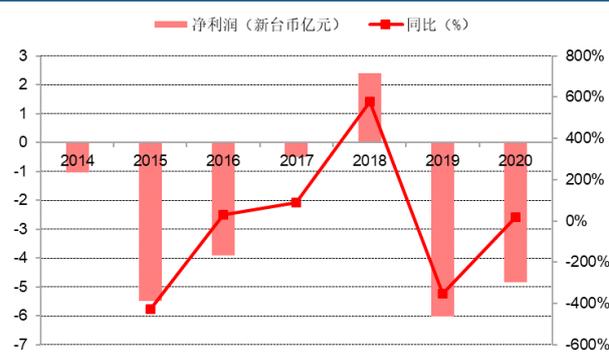
公司业绩持续波动，受疫情影响较为明显。2020年，汉磊营业收入为57.42亿新台币，同比增长5.96%，较去年情况略有改善，但仍然低于历史高点。实际上，2019年受到中美贸易战影响，半导体产业遭受到较大影响，晶圆代工方面产业链断损严重。其次，2020年受到全球芯片短缺影响以及半导体行业的高度景气，汉磊公司的营收增长得以缓慢恢复，但碍于新冠疫情仍低于过往平均水平。在全球经济短暂衰退期间，公司仍然专注于半导体功率器件产品和晶圆代工业务，并且实现了短暂增长。目前，汉磊已经拥有硅和宽禁带半导体代工、碳化硅和氮化镓三座晶圆厂，为600V-1200V肖特基势垒二极管和MOSFET提供4英寸SiC代工服务。同时，汉磊也在建立6英寸的SiC生产线，旨在提高自身的业务能力并且着力扩大新兴市场份额。此外，汉磊旗下嘉晶电子也完成了用于碳化硅衬底的氮化硅外延生产，目前正在进入产品评估阶段，1700V和3300V的SiC外延平台也得以开发完成。汉磊还具有大规模的SiC业务客户名单，累积涉及300多款产品。因此，我们预计汉磊将在SiC领域持续进行开发，并在晶圆代工领域占据绝对领先地位，这将持续推进其营收业绩的快速增长。2020年汉磊净亏损情况为4.85亿元，同比收窄20%，2019年和2020年严重亏损系公司产品销售成本持续走高。实际上，公司的营收增长仍有较大空间，但整体成本仍处于高位，中长期内净利润仍难以扭亏为盈。

图表155：2014-2020年汉磊营收情况（亿台币）



资料来源：汉磊，中信建投

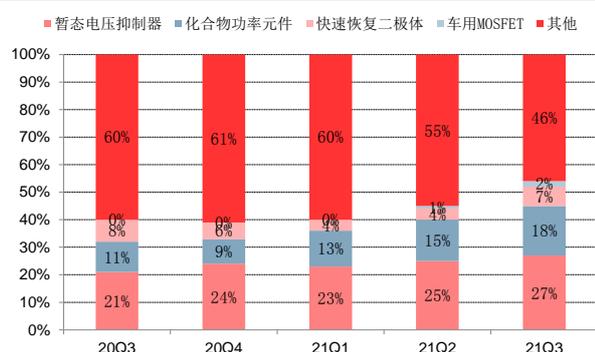
图表156：2014-2020年汉磊净利润情况（亿台币）



资料来源：汉磊，中信建投

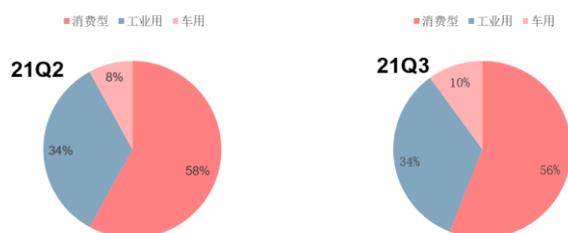
车用半导体持续提升，大幅增加资本开支用以扩展SiC产能，汉磊聚焦技术平台(化合物半导体/快速恢复二极管/暂态电压压制器/车用MOSFET)，明年占比可达6-7成，2-3年内有望占比超过8成，车用半导体持续提升。此外，汉磊由于6英寸碳化硅(SiC)与氮化镓(GaN)产能满负荷，在2021年底法人首度表态将进入8英寸SiC制程，预期8英寸SiC基板成本将大幅减少二至三成。同时预计2022年资本支出3500-4500万美元，主要用以扩大化合物半导体产能，其中氮化镓产能增加至目前2倍，SiC产能增加至目前三倍，目前公司6英寸SiC、GaN月产能各约1000片。随电动车与绿能时代的到来，半导体将是汉磊未来的主要成长引擎，计划未来2-3年内将投入资本支出8000万至1亿美元，主要用以扩增SiC，产能将达目前的5-7倍。

图表157： 20Q3-21Q3 产品销售组合—技术平台



资料来源：汉磊，中信建投

图表158： 21Q2与21Q3 产品销售组合—产品应用



资料来源：汉磊，中信建投

公司销售重心位于亚洲区域，晶圆代工业务占比持续走高。2019年，汉磊在中国台湾地区的销售额为23.15亿新台币，占比约为42.72%；而在亚洲其他地区的销售额为25.05亿新台币，占比为46.22%。因此，汉磊的销售重心在亚洲地区，且主要集中于中国大陆及台湾地区。同时，汉磊在中国台湾地区的销售占比持续波动，目前基本占比超过40%；亚洲地区的销售增长则自2016年起持续增长，这与中国大陆的半导体行业高度景气以及韩国日本的成熟下游应用相关。我们认为公司未来的核心销售区仍集中在亚洲，但公司作为全球少有的SiC代工厂仍将继续拓展美洲区域业务，从而进一步实现业绩增长。

目前，公司的主要营收业务包括晶圆生产和功率原件及IC代工，前者2019年销售额为36.20亿新台币，后者营收为17.69亿新台币，两者占比分别为66.80%和32.65%。晶圆生产方面，嘉晶电子在磊晶功率半导体领域不断投入研发，近五年内营收占比不断提升。同时，嘉晶电子是极少的具备SiC磊晶生产能力的厂商，其新技术的不断推广可以带来更多的市场机遇。原件及IC代工领域，汉磊积极开发碳化硅应用，包括节能原件、车用电子等功率器件。此外，公司也积极拓展集成电路服务领域的市占率，旨在持续改善成本控制。预计中长期内，受到碳化硅下游应用的强力推动，汉磊的晶圆代工业务占比仍将持续增加。

图表159： 2014-2019年汉磊按地区销售情况(%)



资料来源：Wind，中信建投

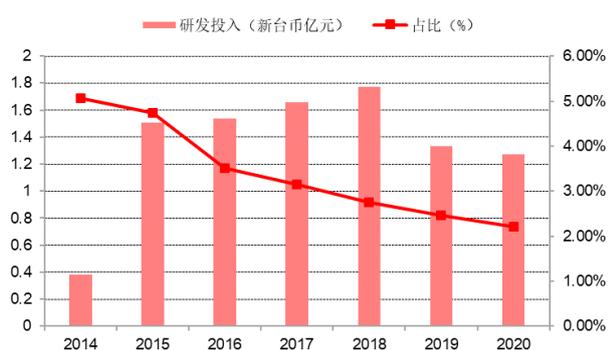
图表160： 2014-2019年汉磊按业务销售情况(%)



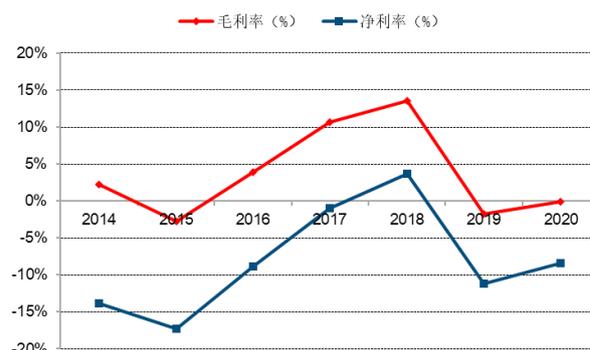
资料来源：Wind，中信建投

研发水平随营收波动，双率水平起伏较大。2020年汉磊的研发支出为1.27亿新台币，同比下降4.51%，

占比约为 2.21%，整体研发水平持续下降。新冠疫情和中美贸易战期间，公司的成本持续处于高位，研发支出也相应缩减但占比持续收窄。目前，公司的肖特基势垒二极管和 MOSFET 产品良率已超过 95%，交付周期约在 1-2 月内，在上游市场中极具竞争力。同时，汉磊还在积极开发 1700V 的 SiC SBD，同时也在攻克碳化硅 MOSFET 沟槽工艺，6 英寸、8 寸的 SiC 晶圆外延生产线也在积极筹备中。2020 年公司的毛利率约为-0.1%，净亏损率为 8.45%，较去年来说整体有所收窄。实际上，受市场环境的影响，上游材料和设备支出大幅上升，双率于 2019 年陡然下降。然而，毛利率和净利率的波动近乎处于同一频率，说明公司的费用支出变化较为稳定。长期内，汉磊的毛利率仍有提升空间，但成本和其他费用支出仍然处于不利地位。

图表161： 2014-2020 年汉磊研发支出情况（亿台币）


资料来源: Wind, 中信建投

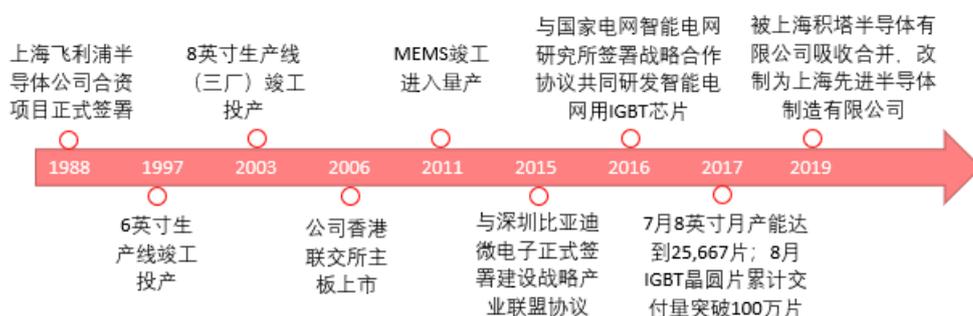
图表162： 2014-2020 年汉磊毛利率和净利率情况 (%)


资料来源: Wind, 中信建投

5.3.3 积塔

上海积塔半导体有限公司是一家半导体芯片研发商，成立于 2017 年，公司两大股东为华大半导体有限公司和上海集成电路产业投资基金股份有限公司，分别持股 55%和 45%，上海先进半导体制造有限公司为上海积塔全资子公司。上海先进于 1988 年由中荷合资成立为上海飞利浦半导体公司，于 2006 年于香港联交所主板上市并在 2018 年退市，2019 年被上海积塔半导体有限公司吸收合并，此后上海积塔的主营业务便由上海先进构成。上海先进是一家大规模集成电路芯片制造公司，有 5 英寸、6 英寸、8 英寸晶圆生产线，专注于模拟电路、功率器件的制造，8 英寸等值晶圆年产能 66.4 万片，被上海市科委认定为“高新技术企业”。同时，公司通过了 ISO9001、VDA6.3(Grade A)、IATF 16949、14001、ISO/IEC 27001 等质量、环境及信息安全管理体认证，是国内最早从事汽车电子芯片、IGBT 芯片制造的企业。此外，2018 年 8 月，积塔半导体特色工艺生产线在上海临港开工，总投资 359 亿元。2018 年 10 月，积塔半导体与上海先进半导体制造股份有限公司(以下简称“先进半导体”)签订合并协议，合并后积塔半导体将分为临港和虹漕两个厂区。虹漕厂区拥有 5 英寸、6 英寸、8 英寸生产线；临港厂区拥有 8 英寸、12 英寸、6 英寸 SiC 生产线，产品主要应用于工控、汽车、电力、能源等领域。

图表163：上海先进发展里程碑



资料来源：公司官网，中信建投

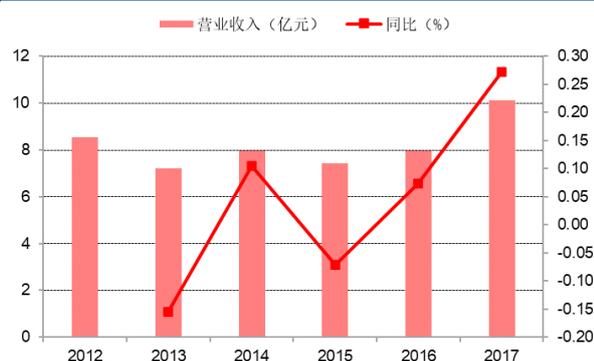
公司是一家专注于模拟电路工艺和功率器件工艺的领先晶圆代工厂，拥有两个晶圆厂及双极型工艺（Bipolar）、功率集成电路（Power IC）、分立元件（Discrete）、微系统（MEMS）组成的对外开放工艺平台。晶圆厂方面，上海先进 1/2 号晶圆厂制造厂主要生产 6 英寸晶圆，以模拟电路生产为主，有十年以上的汽车电子芯片制造经验，也是中国 IGBT 工艺芯片最大的生产厂；上海先进 3 号晶圆制造厂以生产 8 英寸晶圆片为主。对外开放工艺平台方面，硅片双极型工艺主要包括 LV 和 HV 两种，多用于智能手机、发光照明、智能电表等；功率集成电路包括 BCD 功率集成、HVMOS 和 BiCMOS，主要用于智能电视、家电以及电焊等；分立器件主要包括碳化硅分立器件、TVS 二极管、IGBT/FRD 以及 MOSFET，多应用于新能源风电、新能源汽车以及高铁等；微系统包括 AFS、麦克风和压力传感器，多用于平板电脑及汽车机电系统等方面。上海先进的客户来自于全球领先的集成器件制造商及无生产线的半导体公司，公司制造的产品广泛应用于智能身份证、汽车电子、电源管理、通讯及电子消费品等领域。公司通过建立建设战略产业联盟合作，其产品已融入高铁、新能源汽车、智能电网、节能等国家战略产业。

图表164：上海先进对外开放工艺平台



资料来源：公司官网，中信建投

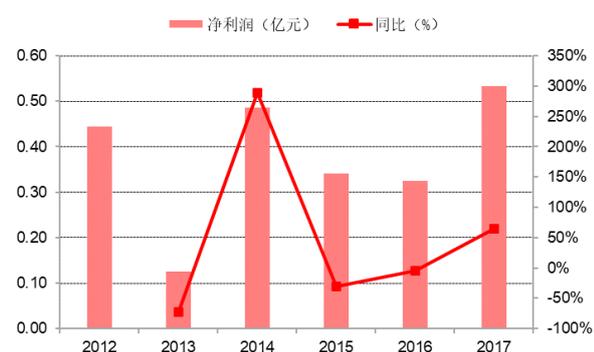
公司营收及净利润增速较快，毛利率与净利率稳步上升，6英寸及8英寸晶圆为公司的主要营收来源。2015年初期订单流入缓慢，公司业绩承受较大负面压力，在此背景下公司不断推进和深化现有战略产业合作项目，提高生产线产能利用率。公司通过增加合理的投资来解除其8英寸生产线瓶颈以满足市场对8英寸晶圆产能日益增长的需求，**2016年8英寸生产线各项运营指标不断创造季度或者年度历史最高水平，产能利用率也不断刷新历史记录。**此外，在存储市场及传感器市场高增长的推动下，加上公司8英寸晶圆生产线产能释放以及国内外客户订单的持续支持下，公司2017年业绩表现良好，产能利用率达95%创历史新高。6英寸及8英寸晶圆为公司主要的营收来源，营收占比合计超过90%以上，其中8英寸晶圆营收占比超过50%，6英寸晶圆营收占比不断上升。公司营收与净利润增速不断上升，2015至2017年营收及净利润同比增速不断增加，三年复合增速分别为16.93%和25.14%。2016至2017年公司毛利率及净利率也不断提升。2021年11月30日，积塔半导体官方微信公众号显示，积塔半导体已完成80亿元人民币战略融资，官方微信公众号消息，积塔半导体已完成80亿元人民币战略融资，按照计划，项目一期投资89亿元，规划建设月产能6万片8英寸晶圆的0.11μm/0.13μm/0.18μm（微米）工艺生产线，月产能3000片12英寸特色工艺晶圆的55nm/65nm（纳米）工艺先导生产线，以及月产能5000片6英寸晶圆的SiC（碳化硅）化合物半导体生产线。

图表165： 2012-2017年上海先进营收情况


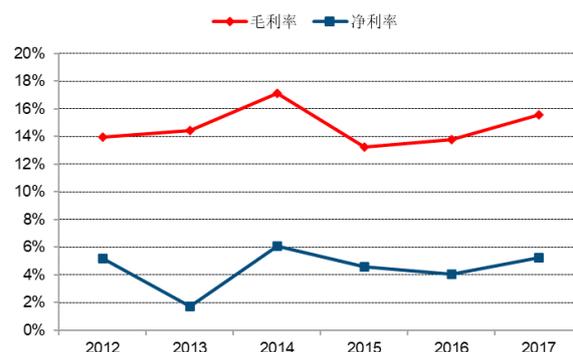
资料来源: Wind, 中信建投

图表166： 2015Q4-2017Q4上海先进营收组成情况


资料来源: 公司年报, 中信建投

图表167： 2012-2017年上海先进净利润情况


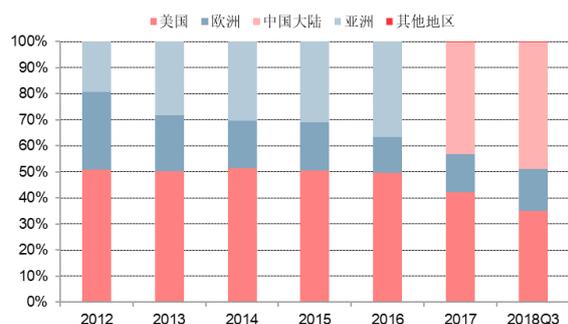
资料来源: Wind, 中信建投

图表168： 2012-2017年上海先进毛利率及净利率情况


资料来源: Wind, 中信建投

中国大陆营收占比不断提升，公司产能不断扩张并与同业达成多项战略协议。2017年以来，公司扩大在中国的业务布局规模，中国大陆营收占比由2017年的43%增加至2018年第三季度的49%。同时，美国及欧洲地区的营收占比不断缩小。2020年以来，公司不断与同业达成战略协议，分别与北方华创、盛美半导体以及拓荆科技合作加强并推进在半导体设备及集成电路产业链创新方面的合作。此外，公司特色工艺生产线于2020年3月正式投产，积塔特色工艺生产线建设项目作为上海市重大产业项目，建成将以国内领先的汽车级

特色工艺半导体生产线，专注于模拟电路及功率器件的制造，支撑工控、汽车、电力、能源等产业发展，提供“芯”动能。公司上海临港新厂于 2020 年 7 月投产，在临港新片区打造国内领先的面向模拟和功率器件的汽车电子生产线，这一重要时刻标志着积塔项目自 2018 年 8 月 16 日启动集成电路高端生产线建设以来，实现了新的里程碑跨越。

图表169： 2012-2017 年上海先进地区营收情况


资料来源: Wind, 中信建投

图表170： 2020 年公司达成战略合作协议及扩产状况

日期	合作方	合作领域/扩产
2020 年 1 月	北方华创	半导体设备应用
2020 年 3 月	——	特色工艺生产线正式投产
2020 年 6 月	盛美半导体	集成电路产业链创新
2020 年 7 月	——	上海临港新厂投产
2020 年 7 月	拓荆科技	推进集成电路产业链协同创新

资料来源: 公司官网, 中信建投

六、观点总结及内容概要

1、碳化硅性能优势突出，市场规模快速成长

碳化硅衬底的使用极限性能优于硅衬底，可以满足高温、高压、高频、大功率等条件下的应用需求，当前碳化硅衬底已应用于射频器件及功率器件，随着下游需求爆发，2022-2026年SiC器件的市场规模将从43亿美元提升到89亿美元，年复合增长率为20%。

2、需求：下游产业链应用爆发，SiC市场需求红利释放

我们把SiC器件发展分为三个发展阶段，2019-2021年初期，特斯拉等新能源汽车开始试水搭载SiC功率器件；2022-2023年为拐点期，SiC在新能源汽车领域的应用已经达到了批量生产的临界区域，并且充电基础设施、5G基站、工业和能源等应用逐步采用SiC器件；2024-2026年为爆发期，SiC加速渗透，在新能源汽车、充电基础设施、5G基站、工业和能源等得到广泛应用。

新能源汽车是SiC器件应用增长最快的市场，预计2022-2026年的市场规模从16亿美元到46亿美元，复合年增长率为30%，其中用于电机驱动逆变器的碳化硅功率器件是车用SiC产品中最主要且潜在增长空间最巨大的部分，到2026年用于电机驱动逆变器仍是最大市场，占比超过80%。其次，射频器件市场规模将从21亿美元提升至29亿美元，复合年增长率为8%；工业和能源用的SiC器件市场规模从6亿元增长到14亿元，复合年增长率为24%。

3、供给：短期产业链受限衬底产能，长期产能扩张带来价格下降

碳化硅市场产业链主要分为晶圆衬底制造、外延片生产、碳化硅器件研发和装备封装测试四个部分，分别占市场总成本的50%、25%、20%、5%，由于具备晶体生长过程繁琐，晶圆切割困难等特点，碳化硅衬底的制造成本一直处于高位。目前高质量衬底的应用主要集中于WolfSpeed、II-VI、ROHM三大供应商，CR3市场占有率达到80%以上，国内厂商为代表的衬底厂商的产品良率、品质和生产效率还有一定差距，短期看中高功率器件产业链的上游主要还受衬底CR3控制，另外随着CR3逐步提高材料自用比例提升，产能的提升的同时市场供给有限，整体供给偏紧状态。根据WolfSpeed最新的投资者大会所公布的数据显示，2026年SiC衬底市场规模有望达到17亿美元，2022-2026年复合增速达到25%。预计2022年和2024年的产能分别达到167K平方英尺到242平方英尺，折算6寸对应的85万片和123万片，假设WolfSpeed继续维持全球50%的市场份额（剔除自供衬底，总的衬底片占比超过60%），那么全球2022年和2024年市场销量折合6英寸分别约为170万片至250万片。

4、碳化硅国产突破正加速，迎来中长期投资机会

碳化硅市场海外以IDM为主要运作模式，国内衬底厂商为天岳先进（绝缘型衬底为主）、天科合达（导电型衬底为主）、中电科（烁科）、露笑科技、晶盛机电；外延片方面：瀚天天成、东莞天域、中电科等均已完成了3-6英寸碳化硅外延的研发和生产；器件方面：斯达半导体、士兰微推出SiC MOSFET功率器件和模块；晶圆代工方面，X-Fab为最大代工厂，并为80-90%的无晶圆厂碳化硅厂商提供服务；汉磊和积塔大幅增加资本开支用以扩展SiC产能；IDM方面：三安光电具备全产业链整合生产能力（衬底/外延/器件/封测）。

图表171： SiC 产业链国内公司营业收入及 PS 对比

代码	公司	股价	市值 (亿)	营业收入 (亿元)				业绩增速 (%)			PS		
				2020	2021E	2022E	2023E	2021E	2022E	2023E	2021E	2022E	2023E
688234.SH	山东天岳	72	308	4	5	7	11	18%	50%	40%	62	41	29
A20375.SH	天科合达	0	0	0									
600703.SH	三安光电	29	1292	85	125	166	213	48%	33%	28%	10	8	6
300316.SZ	晶盛机电	63	805	38	67	95	119	76%	43%	25%	12	8	7
002617.SZ	露笑科技	14	225	28	36	44	55	27%	23%	25%	6	5	4
600071.SH	凤凰光学	41	114	13									
603290.SH	斯达半导	347	593	10	17	26	36	76%	51%	41%	35	23	16
600460.SH	士兰微	56	786	43	74	99	127	72%	35%	29%	11	8	6
688396.SH	华润微	58	769	70	94	111	128	35%	18%	16%	8	7	6

资料来源: Wind 一致预期, 中信建投备注: 收盘日期为 2022 年 2 月 23 日

分析师介绍

刘双锋：中信建投证券电子首席分析师。3 年深南电路，5 年华为工作经验，从事市场洞察、战略规划工作，涉及通信服务、云计算及终端领域，专注于通信服务领域，2018 年加入中信建投通信团队。2018 年 IAMAC 最受欢迎卖方分析师通信行业第一名团队成员，2018《水晶球》最佳分析师通信行业第一名团队成员。

孙芳芳：同济大学材料学硕士，2015 年 8 月加入浙商证券，任电子行业首席，专注研究电子材料、半导体、消费电子、5G 板块等领域，2020 年 5 月加入中信建投电子团队。

评级说明

投资评级标准		评级	说明
报告中投资建议涉及的评级标准为报告发布日后6个月内的相对市场表现，也即报告发布日后的6个月内公司股价（或行业指数）相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准。A股市场以沪深300指数作为基准；新三板市场以三板成指为基准；香港市场以恒生指数作为基准；美国市场以标普500指数为基准。	股票评级	买入	相对涨幅 15%以上
		增持	相对涨幅 5%—15%
		中性	相对涨幅-5%—5%之间
		减持	相对跌幅 5%—15%
		卖出	相对跌幅 15%以上
	行业评级	强于大市	相对涨幅 10%以上
		中性	相对涨幅-10-10%之间
		弱于大市	相对跌幅 10%以上

分析师声明

本报告署名分析师在此声明：(i) 以勤勉的职业态度、专业审慎的研究方法，使用合法合规的信息，独立、客观地出具本报告，结论不受任何第三方的授意或影响。(ii) 本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

法律主体说明

本报告由中信建投证券股份有限公司及/或其附属机构（以下合称“中信建投”）制作，由中信建投证券股份有限公司在中华人民共和国（仅为本报告目的，不包括香港、澳门、台湾）提供。中信建投证券股份有限公司具有中国证监会许可的投资咨询业务资格，本报告署名分析师所持中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格证书编号已披露在报告首页。

本报告由中信建投（国际）证券有限公司在香港提供。本报告作者所持香港证监会牌照的中央编号已披露在报告首页。

一般性声明

本报告由中信建投制作。发送本报告不构成任何合同或承诺的基础，不因接收者收到本报告而视其为中信建投客户。

本报告的信息均来源于中信建投认为可靠的公开资料，但中信建投对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告所载观点、评估和预测仅反映本报告出具日该分析师的判断，该等观点、评估和预测可能在不发出通知的情况下有所变更，亦有可能因使用不同假设和标准或者采用不同分析方法而与中信建投其他部门、人员口头或书面表达的意见不同或相反。本报告所引证券或其他金融工具的过往业绩不代表其未来表现。报告中所含任何具有预测性质的内容皆基于相应的假设条件，而任何假设条件都可能随时发生变化并影响实际投资收益。中信建投不承诺、不保证本报告所含具有预测性质的内容必然得以实现。

本报告内容的全部或部分均不构成投资建议。本报告所包含的观点、建议并未考虑报告接收人在财务状况、投资目的、风险偏好等方面的具体情况，报告接收者应当独立评估本报告所含信息，基于自身投资目标、需求、市场机会、风险及其他因素自主做出决策并自行承担投资风险。中信建投建议所有投资者应就任何潜在投资向其税务、会计或法律顾问咨询。不论报告接收者是否根据本报告做出投资决策，中信建投都不对该等投资决策提供任何形式的担保，亦不以任何形式分享投资收益或者分担投资损失。中信建投不对使用本报告所产生的任何直接或间接损失承担责任。

在法律法规及监管规定允许的范围内，中信建投可能持有并交易本报告中所提公司的股份或其他财产权益，也可能在过去12个月、目前或者将来为本报告中所提公司提供或者争取为其提供投资银行、做市交易、财务顾问或其他金融服务。本报告内容真实、准确、完整地反映了署名分析师的观点，分析师的薪酬无论过去、现在或未来都不会直接或间接与其所撰写报告中的具体观点相联系，分析师亦不会因撰写本报告而获取不当利益。

本报告为中信建投所有。未经中信建投事先书面许可，任何机构和/或个人不得以任何形式转发、翻版、复制、发布或引用本报告全部或部分内容，亦不得从未经中信建投书面授权的任何机构、个人或其运营的媒体平台接收、翻版、复制或引用本报告全部或部分内容。版权所有，违者必究。

中信建投证券研究发展部

北京
 东城区朝内大街2号凯恒中心
 B座12层
 电话：(8610) 8513-0588
 联系人：李祉瑶
 邮箱：lizhiyao@csc.com.cn

上海
 上海浦东新区浦东南路528号
 南塔2106室
 电话：(8621) 6882-1600
 联系人：翁起帆
 邮箱：wengqifan@csc.com.cn

深圳
 福田区益田路6003号荣超商务
 中心B座22层
 电话：(86755) 8252-1369
 联系人：曹莹
 邮箱：caoying@csc.com.cn

中信建投（国际）

香港
 中环交易广场2期18楼
 电话：(852) 3465-5600
 联系人：刘泓麟
 邮箱：charleneliu@csci.hk