

江苏省制造业智改数转网联 第三代半导体行业实施指南

江苏省工业和信息化厅

二〇二五年

目录

一、背景与现状	6
1.1 指南范围	6
1.2 行业概述	14
1.3 行业智改数转网联现状	27
二、目标与架构	34
2.1 总体目标	34
2.2 实施架构	38
三、基础能力	40
3.1 网络基础设施能力建设	40
3.2 数据采集能力建设	49
3.3 信息系统能力建设	55
3.4 信息安全能力建设	58
四、环节与场景	65
4.1 产品设计	65
4.2 工艺设计	71
4.3 质量管控	77
4.4 营销管理	99
4.5 售后服务	113
4.6 工厂建设	121
4.7 计划调度	128
4.8 生产作业	132
4.9 仓储物流	137
4.10 设备管理	143

4.11 安全管控	147
4.12 能源管理	157
4.13 环保管控	165
4.14 供应链计划	173
4.15 供应链采购与交付	177
4.16 供应链服务	184
五、路径与方法	190
5.1 在线评估与咨询诊断	190
5.2 企业实施路径	195
5.3 各类企业实施路径异同分析	213
5.4 相关政策	221
六、愿景与展望	230
6.1 行业智改数转网联发展	231
6.2 未来新技术的应用	232
6.3 社会愿景展望	233
附件	235
附件 1：人工智能典型应用场景	235
附件 2：改造投入清单及图谱	246
1、行业系统化场景图谱示意图	246
2、行业智能化改造装备清单	264
3、数字化转型数据要素清单	267
4、知识模型资源清单	272
5、工具软件清单	277
6、网络化联接设备清单	282

7、行业数字化转型人才技能清单.....	284
附件 3: 典型案例.....	286
1、概伦电子-第三代半导体器件建模实践深度.....	286
2、中电鹏程-基于深度学习的电子工业 AI 质检系统	290
3、中电九天-“PK 底座+8 大基础平台”建设.....	296
4、辽宁软通-智能工厂改造.....	302
5、科兴半导体-从装备制造到智能管理的全流程革新	308
6、通富微电子-数智融合敏捷柔性集成电路封测线建设	313
7、华脉科技-基于工业互联网平台的智慧工厂.....	317
8、江苏道达-从硬件自动化到软件数字化的全栈赋能	322
9、江苏泰治-数字化智能升级全景.....	327
10、上海汉虹-SiC 制造工艺与智能设备应用.....	330
附件 4: 第三代半导体智改数转服务商目录.....	335
附件 5: 技术缩略语.....	367
附件 6: 江苏省制造业“智改数转网联”典型场景参考指引	390

一、背景与现状

1.1 指南范围

江苏省第三代半导体行业正全面推进“智改数转网联”战略，以“智改数转网联”（智能化改造、数字化转型、网络化联接）为战略主线，推动从材料制备到终端应用的全链条升级。本指南锚定三大核心领域，围绕产品设计、计划调度、生产作业、质量管控等 16 个关键环节，部署产品数字化研发与设计、车间智能排产、产线柔性配置、智能在线检测等 45 项智能制造应用场景。数据要素深度赋能，贯穿数据采集、治理、分析到资产化全流程，构建产业智能决策中枢，产业链网络协同，打通企业内外部数字壁垒，提升供应链韧性。

在材料制备环节，针对碳化硅晶体生长炉、氮化镓外延设备等核心装备，部署温度、压力、气体流量传感器构成的智能监测网络，实现工艺参数的实时闭环调控，显著提升长晶速率一致性；在衬底加工环节，引入 AI 视觉检测系统对碳化硅衬底进行自动分选，结合数字孪生技术优化切割工艺参数；在芯片制造环节，开发光刻胶配方智能推荐系统，并通过等离子体谐波分析实现刻蚀设备的预测性维护；在封装测试环节，应用机器视觉引导高精度贴片，同时构建多物理场仿真平台优化封装应力；在下游应用领域，建立车规级功率模块寿命预测模型和光伏逆变器健康评估系统，实现从材料到终端产品的全链条智能化升级，全面提升产业核心竞争力；同时运用机器学习算法分析设备历史数据，构建故障特征库

以提前预警加热器老化、真空泄漏等隐患，减少非计划停机。在夯实数据感知与决策能力的基础上，进一步通过自动化升级优化物理执行流程。

在数据管理与应用环节，着重指导企业构建完善的数据管理体系。从规范生产数据、设备数据、产品质量数据等多源数据的采集标准与流程入手，确保数据的准确性与完整性，进而建立融合人工智能技术的智能数据中心，通过机器学习算法实现数据的自动化清洗、标注与特征提取，运用深度学习模型对非结构化数据进行智能解析，提升数据预处理效率。在集中存储与管理环节，可基于数据价值密度实施智能分级存储策略，通过知识图谱技术构建数据资产目录，实现企业数据资产的智能识别与动态盘点。在数据价值挖掘层面，除了运用传统大数据分析技术，建议引入人工智能驱动的实时分析系统，通过数字孪生技术实现生产参数的动态仿真优化，结合强化学习算法持续迭代工艺模型，将产品良率提升从周期性优化转向实时动态优化。市场数据分析方面，可部署自然语言处理模型，对海量客户反馈文本进行情感分析和需求挖掘，结合生成式 AI 技术模拟市场趋势，为精准研发提供预测性决策支持。特别需要强调的是，企业应当建立数据资产全生命周期管理体系，通过区块链技术实现数据资产的确权与溯源，运用智能合约规范数据流通交易；在数据资产评估环节，可开发基于机器学习的估值模型，综合考虑数据质量、应用场景和市场潜力等多维度因子，实现数据资产的量化管理与价值释放。同时建议探索联邦学习等隐私计算技术，在

保障数据安全的前提下激活"沉睡数据"价值，通过数据要素的融合应用创造新型衍生数据资产。

在网络互联互通建设方面，企业内部构建高速、稳定的工业以太网，实现设备、系统之间的数据快速传输与交互，支持生产过程的实时监控与协同作业，同时推动车间无线网络覆盖，满足移动设备与智能终端的数据接入需求；在企业外部，通过工业互联网平台，与上下游企业、供应商、客户等实现信息共享与业务协同，如与原材料供应商实时共享库存信息实现精准采购，向客户提供产品追溯与售后服务信息提升客户满意度。

指南聚焦于运用智能化手段提升企业运营管理水平的人工智能工厂运营管理。借助企业资源计划（ERP）系统、制造执行系统（MES）等信息化工具，实现生产计划、物料管理、质量管理、人员调度等环节的智能化协同，通过供应链管理系统（SCM）实现供应商协同管理，依托高级计划与排程（APS）进行多约束条件下的生产动态优化；引入人工智能技术优化生产排程，提高设备利用率，结合企业资产管理系统（EAM）和预测性维护系统（PHM）实现设备全生命周期管理；利用数字孪生技术对生产过程进行虚拟仿真，提前发现潜在问题并优化解决方案，同步接入能源管理系统（EMS）进行碳足迹追踪与能效优化；同时通过智能决策系统为企业管理层提供基于数据分析的决策支持，集成质量管理体系（QMS）实现质量数据闭环管理，运用仓库管理（WMS）优化仓储物流效率，助力企业科学决策。在跨系统协同层面，建议部署产

品生命周期管理（PLM）平台打通研发与生产数据流，采用客户关系管理（CRM）系统实现市场需求精准响应。对于生产现场协同，可引入信息物理系统（CPS）实现人机物互联，结合办公自动化系统（OA）提升跨部门协作效率。在系统开发层面，推荐使用低代码开发平台快速构建定制化管理应用，通过 API 网关实现新旧系统的智能集成与数据互通，构建覆盖“研产供销服”全链条的智能运营管理体系。

1.1.1 产业环节覆盖

第三代半导体以碳化硅（SiC）、氮化镓（GaN）等宽禁带材料的革命性突破为根基，构建起“材料创新-晶圆制造-器件设计-系统集成”的全新产业范式。江苏省在该领域已形成贯穿全链条的产业纵深布局：上游聚焦高纯度单晶衬底制备、外延片生长等核心技术突破，中游攻克大尺寸晶圆制造、高耐压器件设计及智能 IP 核开发等关键工艺，下游延伸至功率模块封装、高频器件测试及行业解决方案供给，实现从基础材料到终端应用的垂直整合。在芯片高性能与轻薄化发展趋势下，先进封装工艺虽为系统级创新的重要支撑，江苏省企业正通过智能化改造加速材料优势转化：在衬底制备环节部署 AI 辅助的晶体缺陷检测系统，使碳化硅晶锭良率提升至国际先进水平；于外延生长阶段引入数字孪生技术，实现原子级薄膜厚度的实时调控；针对氮化镓 HEMT 器件开发，则通过机器学习优化栅极结构设计，将功率密度提升。这种“材料基因工程+智能制造”的协同创新模式，正推动 5G 基站、新能源汽车等场景的高效能源转换需求加速落地。在制造环

节，智能排产系统与设备物联的无缝对接，使8英寸碳化硅晶圆产线设备综合效率有所突破。而在网络化联接层面，从工具链的国产化替代到功率模块的智能测试认证，产业生态的数字化闭环正为第三代半导体开辟更广阔的高端应用空间。

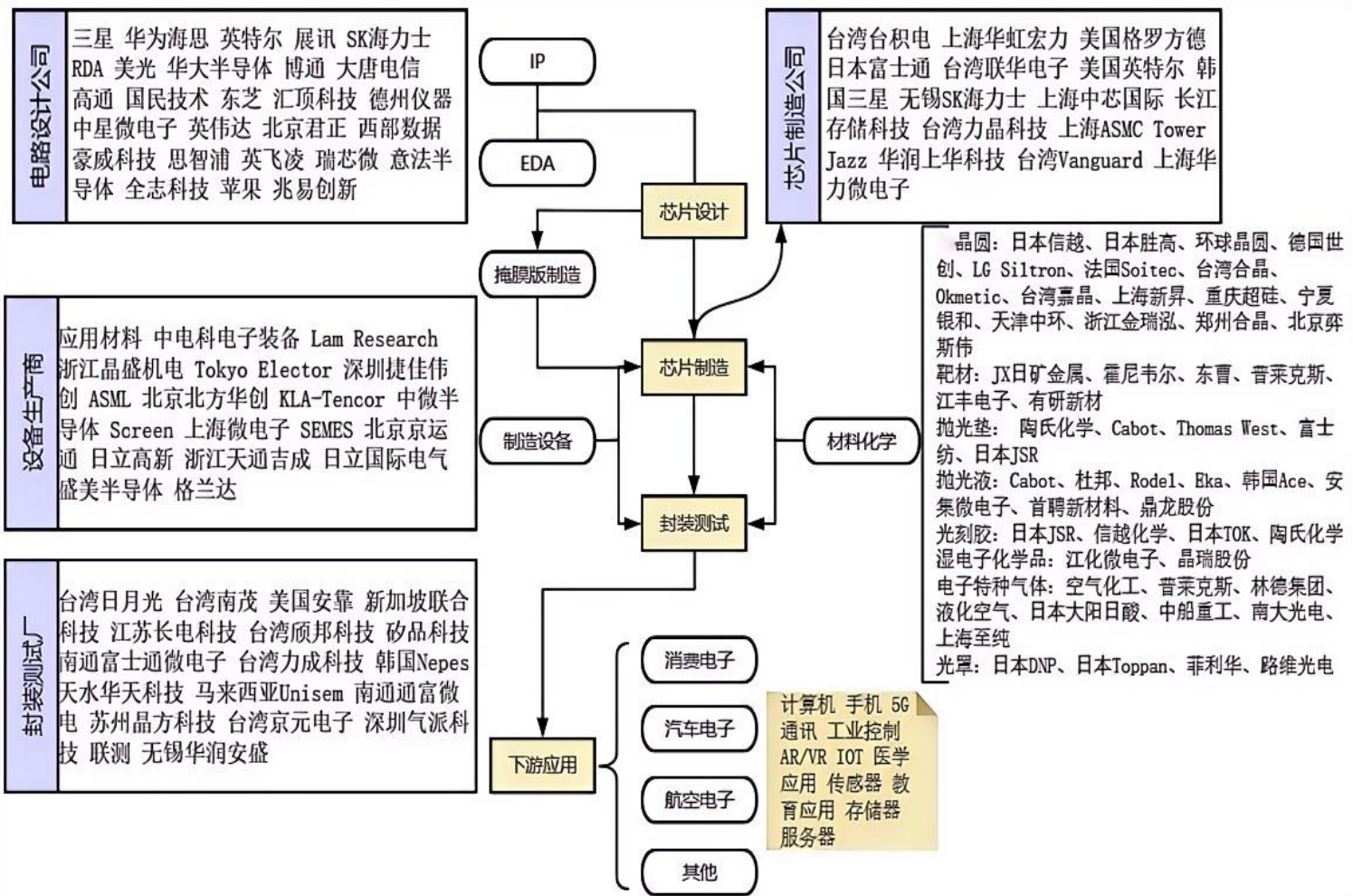


图1 产业链分布

江苏省以智能化改造、数字化转型、网络化联接为核心，构建第三代半导体全产业链生态，覆盖设计、制造、材料、设备及下游应用全链条。在设计制造环节，依托国家第三代半导体技术创新中心，苏州纳米所等科研机构与通富微电、

华润微等本土龙头企业协同攻关，突破碳化硅衬底制备、氮化镓外延生长等关键技术；同时结合中微半导体、北方华创的刻蚀设备，以及上海微电子的国产光刻机，推动掩膜版制造与封装测试工艺升级。在材料与设备体系方面，以江苏南大光电的光刻胶、安集科技的抛光液等核心材料为基础，既引进 ASML 光刻机、KLA 检测设备等国际高端装备，又通过盛美半导体、中科飞测等国产设备商实现制造流程的数字化集成。下游应用通过华为、比亚迪等企业在 5G 基站、新能源汽车等领域的产业化验证，结合徐工机械、汇川技术等工业场景需求，依托工业互联网平台构建"设计-制造-应用"数据闭环，形成从苏州纳米城创新集群到无锡、南京制造基地的跨区域产业协同网络，全面提升产业链韧性和国际竞争力。

江苏计划 2027 年前实现企业智能工厂全覆盖，培育 1000 家省级先进级智能工厂及 30 个“双跨”工业互联网平台，第三代半导体在人工智能、量子科技等领域的融合应用将助力全省领跑新型工业化。

1.1.2 应用场景覆盖解析

第三代半导体技术以碳化硅（SiC）和氮化镓（GaN）材料为核心，凭借其宽禁带、高击穿电场与高热导率的特性，正深刻重构全球能源、通信、工业制造等核心领域的底层技术逻辑。从新能源汽车的电力系统到 5G 基站的射频通信，从工业自动化到消费电子，其技术渗透已形成跨行业协同效应，推动传统产业向高效化、智能化加速转型。

在能源电力领域，第三代半导体成为碳中和目标的关键

推手。新能源汽车中，SiC 功率模块通过车载充电机、逆变器及 DC-DC 转换器的全面替代，将电能转换效率提升至 99% 以上，配合 GaN 温控模块对电池温差 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的精准调控，实现续航里程增加 10%-15%、充电时间缩短 30%。特斯拉 Model 3/Y、比亚迪海豹等车型已搭载全 SiC 电驱平台，带动全球新能源汽车市场规模在 2025 年突破 120 亿美元。可再生能源领域，SiC 器件在光伏逆变器中支持 100kHz 以上高频开关，转换效率达 99.5%，体积缩减 40%；而 GaN 变流器在风电场景耐受 1.5kV 以上电压波动，系统损耗降低 15%。智能电网中，SiC IGBT 模块实现 10kV 级高压直流输电，损耗减少 30%，GaN 固态断路器则以 $1\mu\text{s}$ 级响应速度保障电网稳定性。

通信技术的革新则依托于第三代半导体的高频与高效特性。5G 基站建设中，GaN 射频器件支持 28GHz/39GHz 毫米波频段，基站覆盖效率提升 20%，同时动态调整发射功率使能耗降低 25%。华为与爱立信的 5G Massive MIMO 基站已规模化应用该技术，推动 5G 用户数突破 50 亿。卫星通信领域，SiC 器件凭借耐辐射特性使星载电源效率超 95%，GaN 高频收发模块则实现 Ka 波段 10Gbps 传输速率。数据中心场景中，GaN 适配器以 $30\text{W}/\text{in}^3$ 功率密度降低服务器能耗 40%，SiC 芯片驱动 400Gbps 光模块传输，误码率显著降低。

工业制造领域的技术升级聚焦精准控制与智能化。SiC 变频器结合矢量控制算法，使工业电机能效达到 IE5 标准，能耗降低 30%，同时通过电流谐波分析实现 85% 以上的故障预警准确率。工业机器人中，GaN 器件以 0.01mm 级定位误差

提升运动控制精度，SiC 电源模块则使协作机器人续航延长至 8 小时。在环境监测与安全领域，GaN 传感器以 ppm 级灵敏度检测有害气体，响应时间小于 1 秒，而 SiC 隔离电源耐温超 200°C，保障化工、矿山等高危场景设备安全运行。

消费电子领域的变革则体现为极致小型化与高效化。GaN 快充头支持 240W 功率，体积比传统硅基器件缩小 60%，Anker Nano 系列等产品已占据市场主流；SiC 芯片将无线充电效率提升至 92%，传输距离扩展至 15cm。智能家居场景中，GaN IPM 模块使空调、冰箱待机功耗降低 50%，SiC 驱动的 LED 照明系统实现百万级无频闪调光，寿命延长至 5 万小时。

医疗电子中，GaN 电源模块将 MRI 设备电磁干扰降低 10%–30%，SiC 芯片以 0.1 μ V 分辨率采集生物电信号；国防军事领域，GaN TR 组件使雷达探测距离增加 50%，SiC 驱动器支持 1kJ 级脉冲能量的激光武器，响应速度突破 1ns。

随着 8 英寸 SiC 衬底量产、Chiplet 异构集成等技术的成熟，第三代半导体将加速向航空航天、船舶电力等场景渗透。例如，飞机电力系统中 SiC 逆变器功率密度达 20kW/kg，燃油效率提升 5%；船舶全电推进系统通过 SiC 变频器实现超高能效，谐波失真低于 3%。未来，技术迭代将聚焦成本优化与散热突破，最终构建覆盖能源、制造、通信的全球智能化基础设施网络。（注：更详细的原始数据可参考国际能源署《能源技术展望 2024》，以及 SEMI 全球半导体设备协会季度报告中的细分领域分析）

1.2 行业概述

1.2.1 总体情况

世界半导体贸易统计协会数据显示，2024 年全球半导体销售额为 6276 亿美元，同比增长 19.1%。其中从数据上看，2021 年到 2025 年，每个环节和细分领域都有自己的“成长计划”。比如 IC 设计，2021 年市场规模是 1668 亿美元，到 2025 年预计能达到 2145.9 亿美元，每年平均增长 6.2%。再比如半导体制造，虽然数据上 2025 年预计的 71 亿美元，但它每年计划增长 8.0%。其他像封测、材料以及材料下的大硅片、SiC 衬底等细分部分，也都有各自 2021 年的规模数据和 2025 年的预计规模，以及年复合增长率。(如下图 2021 到 2025 各个细分领域年复合增长率)

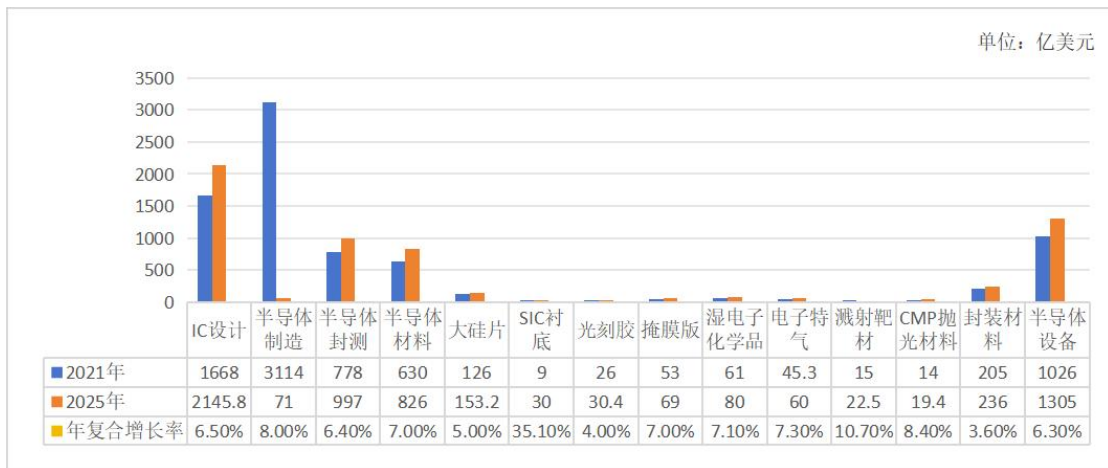


图 2 2021 年到 2025 年各细分领域年复合增长率

在第三代半导体领域，全球各区域呈现出不同的发展动态与竞争格局。美国凭借几家头部企业在碳化硅领域一马当先，其先进的晶圆生产技术与政府的大力扶持政策巩固着领先地位。欧洲的意法半导体、英飞凌、安世半导体等巨头纷

纷布局，同时科研机构在技术研发上成绩斐然，欧盟也通过巨额项目投入助力产业发展。亚洲方面，中国初步形成五大重点区域集群，三安光电等企业积极扩产；韩国三星、SK Siltron等企业联合开展氮化镓研发，三星还计划建设氮化镓代工厂。整体而言，美国目前优势明显，欧洲奋力追赶，亚洲后来居上，各地区竞争激烈又存在合作，共同推动第三代半导体产业前行。

如图所示天科合达占 4%,SK 占 5%,Sicrysta 占 13%,II-IV 占 14%，其他占 2%，Wolfspeed 占 62%。可以看出，Wolfspeed 在碳化硅衬底市场中占据绝对主导地位，市场份额远超其他参与者。碳化硅导电型外延片全球竞争格局市场份额比例：住友电工（Showa Denko）占 30%，Wolfspeed 占 50%，其他占 5%，天域半导体占 10%，天岳先进占 3%，天科合达占 2%。

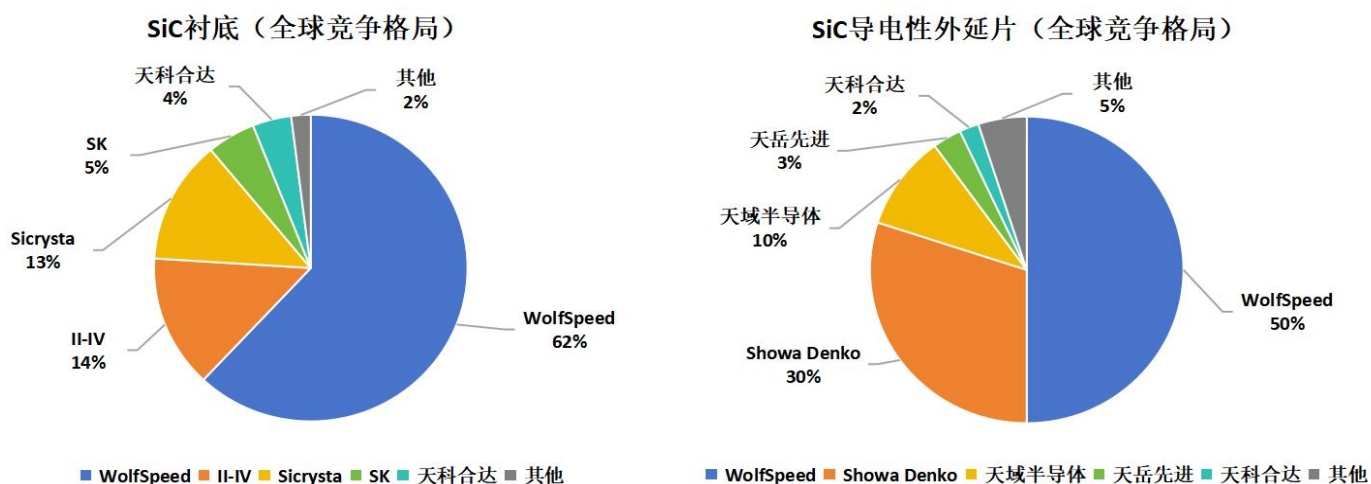


图 3 SiC 衬底、导电型外延片全球竞争格局

中国台湾占 22%，新加坡占 7%，韩国 HDS 占 8%，日本新光占 9%，宁波康强占 4%，欧美占 50%。可以看出，欧美在引线框架市场中占据半壁江山，具有明显的优势地位；DNP 占

23%，Toppan 占 27%，Photronics 占 32%，华润微占 3%，其他占 8%，清溢光电占 7%。Photronics、Toppan 和 DNP 占据了较大的市场份额，在掩膜版市场竞争中处于领先地位；富士电子占 8%，住友化学占 9%，东京应化占 24%，信越化学占 21%，其他企业合计占 17%，日本 JSR 占 21%。东京应化、信越化学和日本 JSR 在光刻胶市场中占据较大份额。

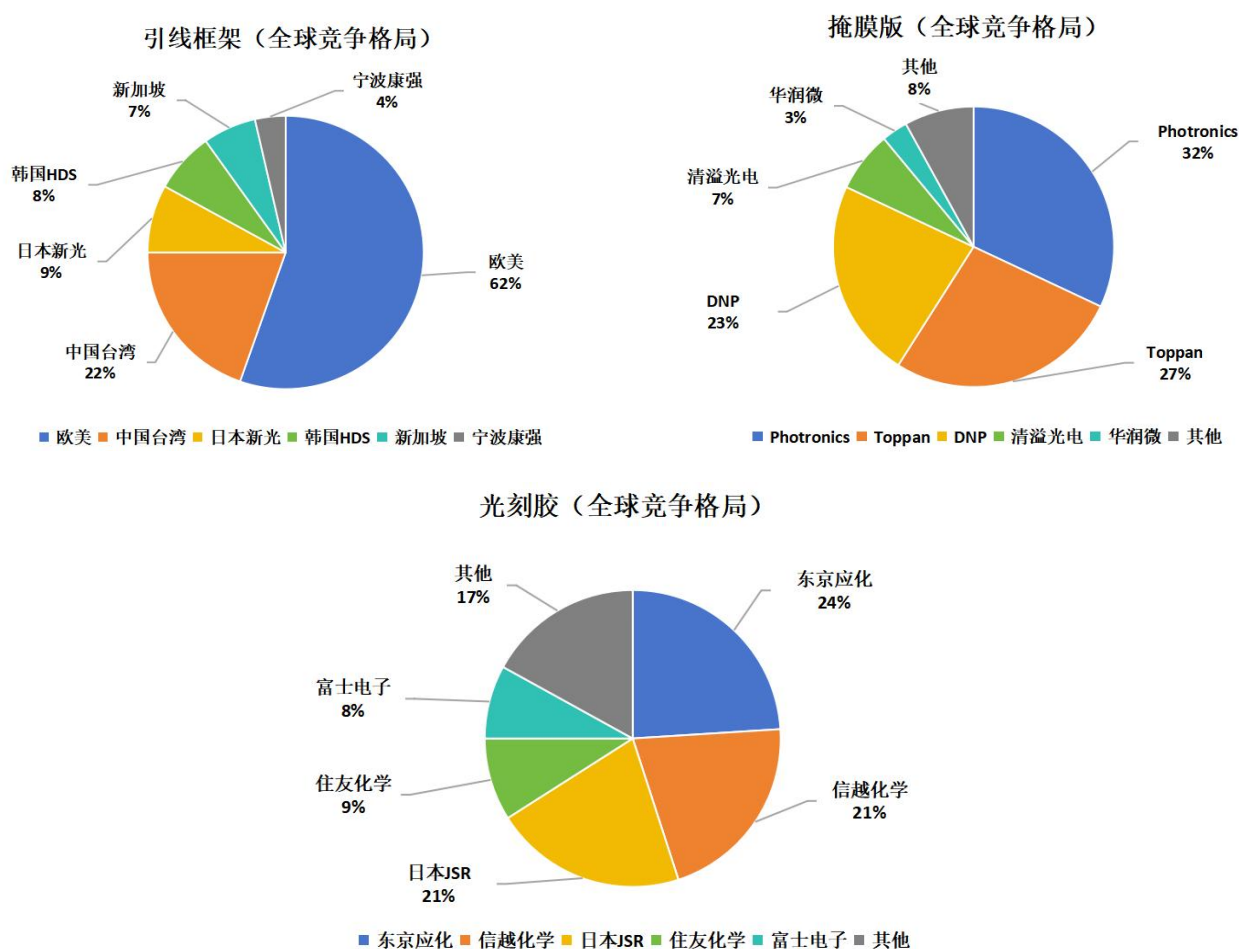


图 4 引线框架、掩模版、光刻胶全球竞争格局

随着“碳达峰、碳中和”战略推进，第三代半导体材料市场需求快速增长，中国初步形成了京津冀鲁、长三角、珠三角、闽三角、中西部等五大重点发展区域；美国、欧洲、

日本等也有各自的产业集中区域，产业集聚效应明显。

1.2.2 企业发展特点

1.2.2.1 企业分布

华东地区是国内第三代半导体产业相关企业最为集中的区域该地区拥有完善的工业基础设施、大量高科技企业和研发机构，在产业链的多个环节都有较强的实力，占比约32.78%；华南地区占比约为16.74%，对第三代半导体的应用和研发较为领先，产业链上下游企业紧密合作，形成了较为完整的产业链。

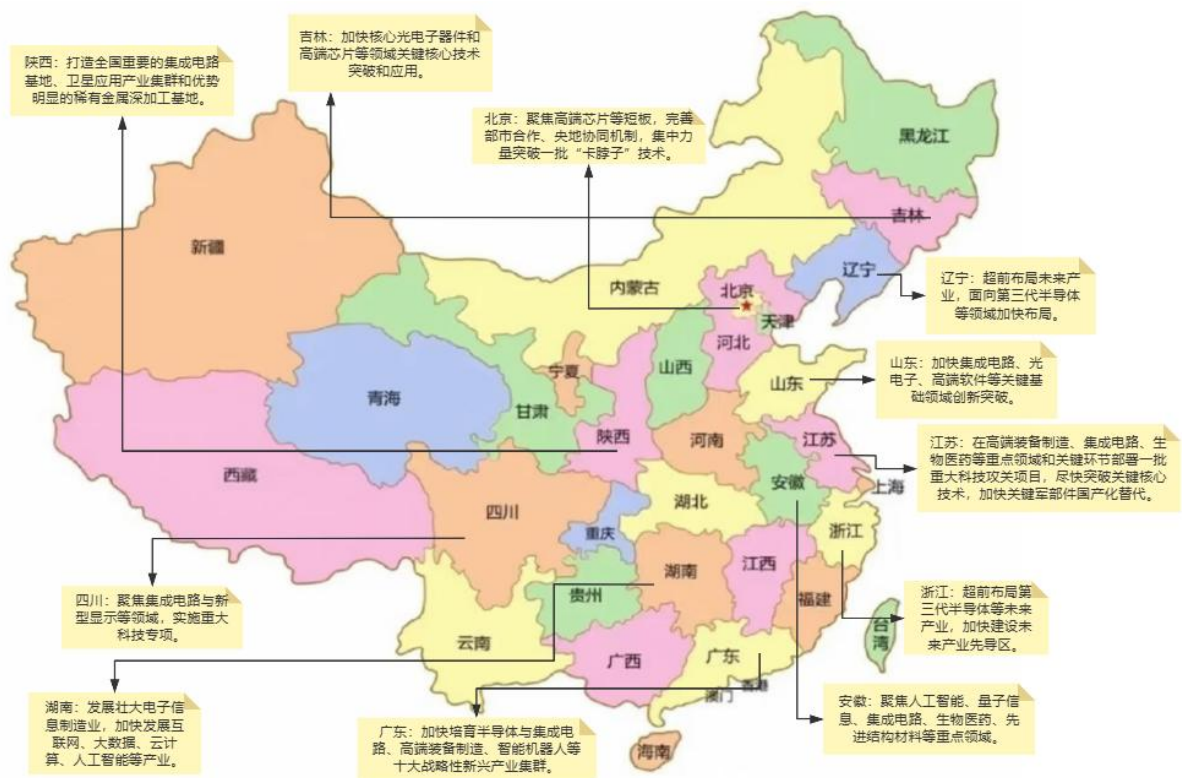


图 5 我国第三代半导体相关产业分布图

美国作为全球半导体产业的领导者，在第三代半导体领域有众多知名企业，全球产业占比约30%左右；日本在半导体材料和设备制造方面具有传统优势，产品应用广泛，占比

约 25%左右；欧洲的英飞凌科技、意法半导体等企业在功率半导体领域实力强劲，在第三代半导体的研发生产方面也有一定的影响力，约占全球的 20%左右；中国等地区也有部分企业涉足第三代半导体产业，整体规模和影响力不容小觑，约占 25%左右。

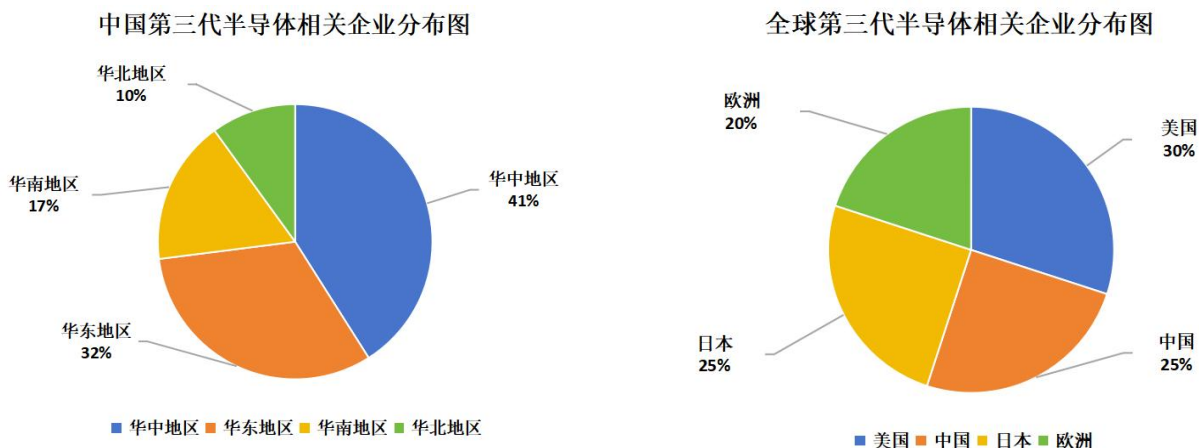


图 6 中国、全球第三代半导体相关企业分布

作为我国第三代半导体产业核心集聚区，江苏已形成覆盖碳化硅、氮化镓等宽禁带半导体的完整产业生态。全省依托苏州、南京、徐州等地的产业集群优势，培育了一批在材料制备、器件设计、应用开发等环节具备国际竞争力的代表型企业。在关键材料领域，省内企业在高纯度碳化硅单晶衬底、大尺寸氮化镓外延片等核心技术上持续突破，相关产品性能达到国际主流标准；功率器件研发方面，多家企业在 MOSFET、HEMT 等器件耐压等级与能效指标上跻身行业前沿，形成覆盖中高压应用场景的技术储备。

江苏第三代半导体产业已实现从材料生长设备、晶圆制造工艺到模块封装技术的全链条自主化能力，相关技术成果广泛应用于新能源汽车、5G 通信等战略新兴产业，产业生态

成熟度位居全国前列。

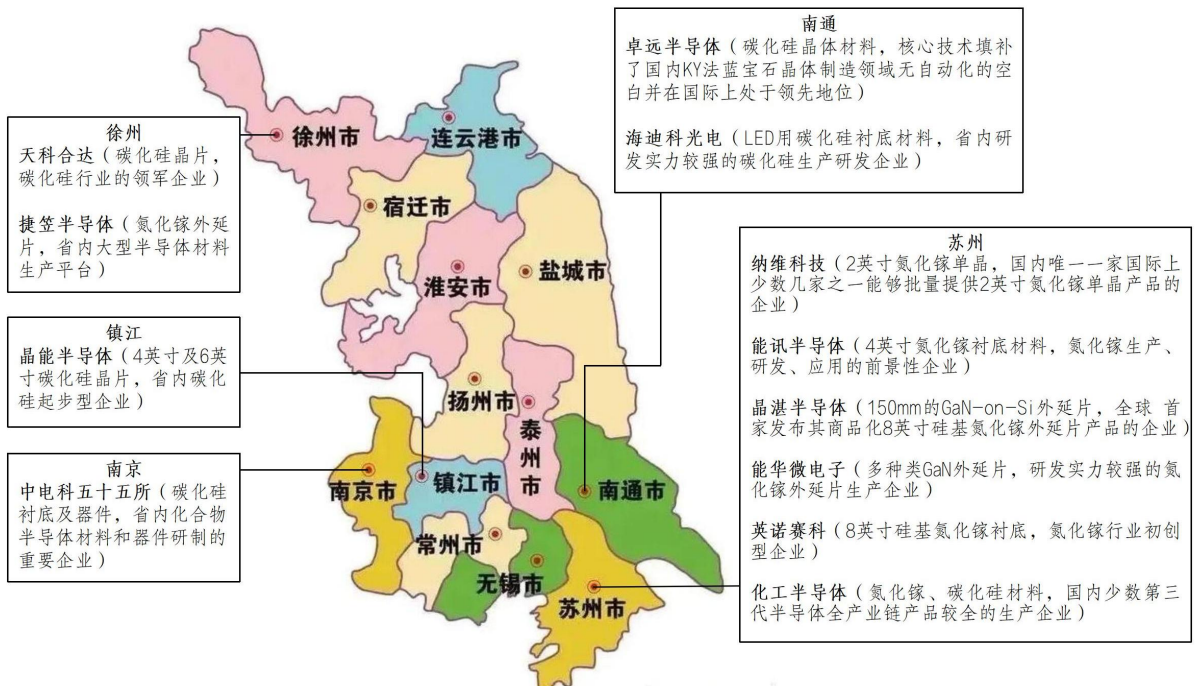


图 7 江苏第三代半导体材料领域重点企业分布

1.2.2.2 技术水平

第三代半导体材料（碳化硅与氮化镓）因其宽禁带特性、高击穿场强及优异的热导率，在高压、高温、高频应用中展现出不可替代的优势，显著区别于以硅为核心的第一、二代半导体。当前碳化硅衬底技术已突破 4 英寸量产瓶颈，6 英寸进入产业化阶段，头部企业如美国科锐正加速 8 英寸研发；国内天岳先进等厂商不仅实现 4-6 英寸衬底国产化，更在 8 英寸衬底的关键制备技术（如物理气相传输法晶体生长）上取得突破，为新能源汽车、光伏逆变器等高压场景提供底层支撑。氮化镓领域则通过异质外延技术实现跃升，2024 年我国成功攻克 6-8 英寸蓝宝石基氮化镓中高压器件技术，使器件耐压能力提升至 1200V 以上，填补了快充、射频基站等高

频应用的产业化空白。值得注意的是，第三代半导体的特殊性能对 EDA 工具提出全新要求——传统硅基设计工具难以模拟其宽禁带材料的非线性特性，支持碳化硅/氮化镓器件的动态损耗建模与热仿真，这一协同创新进一步凸显了第三代半导体从材料、工艺到设计工具的全产业链变革特征。

江苏第三代半导体材料研发优势较为突出，部分研发技术已达国际先进水平（江苏企业已实现 6 英寸导电型碳化硅单晶衬底的规模化生产，位错密度控制在 $1000/\text{cm}^2$ 以下，接近美国 Wolfspeed 的 $900/\text{cm}^2$ 水平）。从技术研发看，国家第三代半导体技术创新中心在材料关键技术联合攻关方面，相关技术指标达到国际领先水平（江苏企业与中科院合作研发的物理气相传输长晶炉，单炉产出 6 英寸碳化硅晶锭厚度达 30mm（属于国际先进水平），打破美国 GTAT 技术垄断。国家第三代半导体技术创新中心（南京）研发的中低压系列产品基本达到国外量产化技术水平，高压产品的核心指标达到国际先进水平（南京中心量产的 650V GaN HEMT 器件，导通电阻 $\leq 50\text{m}\Omega$ ，与英飞凌（Infineon）的 CoolGaN™ 系列（ $45\text{m}\Omega$ ）性能接近）。

从材料尺寸看，江苏第三代半导体材料衬底研发水平已达 4、6 英寸，外延片已至 8 英寸。纳维科技正式推出自主研发的氮化镓芯片，产品部分性能指标超越国际巨头，成为全球第 7 家、我国首个具备氮化镓芯片生产能力和批量供货的公司。从设备研发看，江苏超芯星于 2020 年 9 月完成 A 轮融资，并于 2020 年 12 月成功研制出国内首台套 HTCVD 碳

化硅（SiC）单晶生长设备。从产品应用看，国家第三代半导体技术创新中心（南京）研发的碳化硅 MOSFET 芯片已经在国内头部车企的车载电源系统中使用，保障了近 200 万辆汽车需求，出货量全国领先。（注：更详细工艺参数可查询江苏省新材料产业研究院《碳化硅年度报告（2023）》、IEEE《功率半导体器件与 IC 学报》2024 年第 2 期和《中国第三代半导体产业发展蓝皮书》以及 CASA 发布的《2024 年中国宽禁带半导体技术发展路线图》）。

1.2.3 行业发展趋势

1.2.3.1 以应用为牵引的第三代半导体产业市场广阔

在以应用为牵引的趋势下，第三代半导体产业蓬勃发展。通信领域，5G 基站建设及未来通信技术演进，使氮化镓射频器件需求攀升；新能源汽车因电动化浪潮与自动驾驶拓展，碳化硅器件受宠；消费电子中快速充电与新型显示技术带动氮化镓等发展；数据中心受人工智能和大数据驱动，对其功率器件需求渐长；工业电源领域，自动化与能源互联网建设促使应用增加；军事与航空航天因高性能装备需求及国产化替代趋势，第三代半导体也迎来新机遇，各领域相互交织推动整体市场规模持续扩张与技术创新加速。

1.2.3.2 上游材料制造将是行业优势企业重点布局方向

第三代半导体上游制造领域涵盖原材料提纯、晶体生长、衬底加工、外延生长及核心耗材制备五大核心环节，技术壁垒贯穿全链条。以碳化硅和氮化镓为例，其上游技术要求远超传统半导体：基础材料纯度需达 99.9999% 以上，例如碳化

硅前驱体硅烷需将金属杂质控制在 ppb 级，而氮化镓原料金属镓的提纯需突破氧含量 $\leq 5\text{ppm}$ 的瓶颈。江苏已在高纯硅烷国产化领域取得突破，某企业量产的电子级硅烷纯度达 99.99995%，成功打破国际垄断。在晶体生长环节，碳化硅单晶通过物理气相传输法需同步攻克微管密度 $\leq 1\text{ cm}^{-2}$ 的缺陷控制与 8 英寸晶锭厚度波动 $\leq 5\%$ 的均匀性难题，国内 6 英寸衬底量产线已建成，江苏某企业位错密度控制达 $800/\text{cm}^2$ ，接近国际头部企业水平；氮化镓异质衬底则聚焦硅基/蓝宝石基外延片的晶格失配率与翘曲度优化，省内研发的 8 英寸硅基 GaN 外延片翘曲度指标达国际先进水平。

外延生长技术直接决定器件性能，碳化硅同质外延需平衡化学气相沉积工艺中生长速率与掺杂均匀性，而氮化镓异质外延通过 AlN 缓冲层将位错密度降至 $1 \times 10^8/\text{cm}^2$ 以下，江苏研发的多层超晶格外延技术使射频器件功率密度提升至 $8\text{W}/\text{mm}$ ，逼近国际领先水平。核心耗材与装备配套同样关键：高纯石墨坩埚的灰分含量需 $\leq 50\text{ppm}$ 且热场温差 $\leq 10^\circ\text{C}$ ，碳化硅衬底抛光依赖粒径 $\leq 50\text{nm}$ 的金刚石研磨液，江苏某项目实现 4 英寸衬底抛光液国产替代后成本降低 40%，省内自主开发的第三代半导体长晶炉温度精度达 $\pm 1^\circ\text{C}$ ，支撑 6 英寸碳化硅晶锭连续生长。从产业竞争格局看，全球上游制造呈现“材料决定产能、设备决定效率”特征——江苏通过“衬底-外延-器件”垂直整合模式推动碳化硅衬底年产达 50 万片，占全国产能 35%，氢化物气相外延设备等关键装备国产化率从 2018 年不足 10% 提升至 30%，上游自主化正助力我国

新能源汽车电驱系统、5G 基站功放芯片等战略领域突破技术封锁，强化产业链安全可控能力。

从国家战略层面来看，半导体产业是支撑现代经济社会发展的战略性、基础性和先导性产业。发展第三代半导体上游材料制造，对于提升我国半导体产业的自主可控能力，打破国外技术垄断，保障国家信息安全具有重要意义。

1.2.3.3 第三代半导体呈现出器件材料一体化发展趋势

第三代半导体的器件和材料研发不再孤立进行，而是形成了紧密的协同创新模式，第三代半导体材料与器件的一体化发展正从“材料适配器件”向“器件定义材料”阶段跨越，其核心在于通过材料特性与器件结构的深度协同设计，推动性能突破与成本控制的系统性优化。以碳化硅（SiC）和氮化镓（GaN）为例，宽禁带特性（SiC 3.2eV、GaN 3.4eV）和高热导率（SiC 4.9 W/cm·K）直接驱动器件创新：SiC MOSFET 通过沟槽栅结构与离子注入工艺优化，将新能源汽车逆变器耐压等级提升至 1200V 以上，开关损耗降低 30%，续航里程增加 8%–12%；GaN-on-Diamond 异质集成技术则利用金刚石衬底使射频器件功率密度突破 40 W/mm，支撑 5G 基站功放效率提升至 65%。制造工艺与材料工程的深度融合进一步加速这一进程，例如 MOCVD 技术实现 GaN 外延层厚度均匀性 $\pm 0.2 \mu\text{m}$ 精准控制，使 HEMT 器件一致性达 99.8%；8 英寸 SiC 晶圆通过多线切割与 CMP 工艺改进，表面粗糙度降至 0.2nm 以下，制造成本突破每千瓦 12 美元。

产业链协同创新成为关键推力，新能源汽车领域 SiC 逆

变器与电机控制器的联合设计推动系统效率突破 98%，混动车型渗透率超 40%；国际标准组织 JEDEC 新增车规级 SiC MOSFET 测试规范（缺陷率 $<0.1/\text{cm}^2$ 、寿命 >15 年），而中国全流程数据互通平台将器件研发周期缩短至 12 个月。尽管面临大尺寸 SiC 单晶微管缺陷控制（8 英寸晶圆需降至 $0.1/\text{cm}^2$ 以下）和 GaN-on-Si 可靠性突破（目标 $>10^9$ 小时）等技术瓶颈，但罗姆与丰田等企业的垂直整合模式已证明，从材料研发到终端应用的生态协同将重构全球产业竞争格局，为绿色能源与 6G 通信奠定技术基石。

1.2.4 问题与挑战

1.2.4.1 技术壁垒

在第三代半导体产业链中，技术壁垒贯穿上游、中游和下游环节。上游的衬底材料制备面临高精度控制难题，如碳化硅（SiC）和氮化镓（GaN）衬底生长对温度、压力等参数要求极高，而智能化工艺建模与实时调控技术尚未成熟。同时，外延片生长缺乏基于 AI 的缺陷预测模型，导致工艺优化依赖试错，良率提升缓慢。

中游芯片设计与制造环节也面临诸多挑战，现有 EDA 工具对宽禁带半导体特性支持有限，高频、高压场景下的仿真精度不足，而光刻、蚀刻等关键工序的工艺参数多源异构，数据采集与智能分析系统整合困难。

下游封装测试环节则面临散热与信号完整性优化难题，缺乏基于数字孪生的封装失效预测技术，且第三代半导体器件缺乏统一测试协议，自动化测试设备（ATE）覆盖率低。

这些技术瓶颈严重制约了第三代半导体产业的数字化转型和发展。

1.2.4.2 产业壁垒

第三代半导体产业的协同性不足，产业链各环节的生态成熟度亟待提升。上游供应链高度依赖进口，高纯度 SiC/GaN 衬底、MO 源等核心材料的国产化率不足 30%，智能化改造面临“卡脖子”风险。中游设备与工艺脱节问题突出，高端设备如高温离子注入机、超薄外延设备被欧美日垄断，国产设备智能化水平低，工艺适配性差。下游应用市场推广缓慢，新能源汽车、5G 基站等场景对国产器件信任度不足，市场推广依赖政策驱动，缺乏需求驱动的数字化反馈机制。这种产业链协同不足的局面，导致各环节发展不均衡，难以形成高效、稳定的产业生态系统。

1.2.4.3 转型壁垒

第三代半导体产业的数字化转型还面临组织惯性和管理模式滞后的挑战。上游材料制备企业长期依赖人工经验，数据采集意识薄弱，SCADA（数据采集与监控系统）尚未覆盖长晶炉、气相沉积等核心设备，数字化改造面临“重资产、低回报”的短期阵痛；工艺参数优化仍依赖人工试错，缺乏基于机器学习的 APC（先进过程控制）系统，导致材料缺陷率波动较大。中游制造环节的“数据孤岛”现象严重，MES（制造执行系统）与 PLM（产品生命周期管理）系统整合难度大，ERP（企业资源计划）系统与 APS（高级计划与排程）的协同断层，导致库存周转率低于行业标杆值 15%-20%；设

计与制造环节的流程割裂问题突出，缺乏基于 MBSE（基于模型的系统工程）的跨部门协同平台，且 IoT（工业物联网）设备互联率不足 30%，难以实现实时工艺反馈。

下游应用端则面临定制化矛盾，封装测试环节需满足多样化客户需求，但传统“标准化生产”模式难以支撑柔性化、小批量订单的数字化管理，MOM（制造运营管理）平台与 QMS（质量管理体系）的数据闭环尚未打通，数字孪生技术在良率预测中的应用覆盖率不足 10%。这些转型壁垒使得企业在数字化转型过程中面临诸多困难，难以快速适应市场变化和技术升级的需求。

1.2.4.4 人才壁垒

人才短缺是制约第三代半导体产业发展的关键因素之一。从国际经验看，发达国家通过系统性布局加速人才储备：美国依托“半导体十年计划”建立国家制造创新网络，推动斯坦福大学等高校开设“半导体系统工程”交叉学科，要求材料学研究生必修机器学习课程；欧盟通过“地平线欧洲”计划资助跨国联合实验室，强制要求企业与高校联合培养工程师，在比利时 IMEC 研究院等机构形成“工艺开发-数字孪生-场景验证”的闭环能力培养体系；日本则由东芝、罗姆等龙头企业主导建立半导体产学联盟，将生产线的智能化改造项目拆解为高校毕业论文课题，实现技术经验向教育资源的直接转化。

国内上游材料领域精通晶体生长工艺与大数据分析的“材料+算法”复合型人才不足，高校培养体系与产业需求

有些脱节，传统材料专业课程鲜少融入机器学习、工艺建模等数字化内容；中游制造环节的半导体工艺工程师与 IT 系统开发人员仍存在部分语言体系壁垒，智能化改造中设备数据解析与工艺参数优化往往需要时间沟通磨合；下游应用端的“技术+市场”双栖人才断层也更为明显。

这种全球产业共同面临的跨学科能力断层，在各国不同的应对策略下正显现出差异化发展路径——发达国家通过政策牵引打破教育与产业的边界，将产教融合深度植入人才成长链路，而我国亟待构建校企协同的“技术攻关-课程开发-人才输送”动态循环机制，特别是在第三代半导体这类高度依赖经验积累的领域，更需要借鉴日本“把生产线变成课堂”的实践模式，让产业真实需求直接驱动教育体系革新，方能在智能化转型的全球竞争中突破人才困局。

1.3 行业智改数转网联现状

1.3.1 政策环境

从国际政策环境来看，美国、欧洲、日本等主要经济体正通过资金扶持、技术联盟和产业链整合加速第三代半导体产业升级。美国《芯片与科学法案》将碳化硅（SiC）和氮化镓（GaN）列为战略技术方向，向 Wolfspeed 等企业提供专项融资支持其扩建 6 英寸碳化硅晶圆厂；欧洲依托“欧洲芯片法案联盟”推动第三代半导体在智能电网领域的应用，目标 2030 年碳化硅器件市占率达 25%；日本则通过《半导体产业紧急强化方案》对罗姆半导体等企业实施税收减免，重点突破 6 英寸 SiC 晶圆量产技术。这些政策均指向“材料创新+

智能制造”双轮驱动，旨在巩固技术主导权。

国内政策以国家战略引领全产业链布局为核心特征，持续为第三代半导体行业的智改数转网联提供坚实支撑。国家层面，“十四五”规划将第三代半导体列为“新一代信息技术”攻关重点，这一战略导向为行业发展奠定了基调。工信部《智能制造发展行动计划（2023 - 2025年）》要求企业2025年前实现生产线设备联网率超90%，并配套300亿元“战略性先进电子材料”专项基金支持关键技术研发，有力推动了行业智能化、数字化改造。国家集成电路产业投资基金重点投资第三代半导体龙头企业，同步出台《宽禁带半导体电力电子器件术语》等12项国家标准，规范碳化硅器件在新能源汽车等场景的应用，形成“政策扶持 + 标准约束”的双重机制。后续，国家又发布了《战略性新兴产业发展规划（2022 - 2027年）》，将第三代半导体产业作为重点发展领域之一，明确提出要加大对第三代半导体关键技术研发和产业化的支持力度，设立专项产业引导基金，重点投向第三代半导体前沿技术研发和高端设备制造领域，鼓励企业开展产学研深度合作，突破关键核心技术瓶颈。同时，制定《半导体产业高质量发展行动计划（2024 - 2028年）》，进一步完善行业标准体系，针对新兴应用场景制定更多细致、全面的标准，加强知识产权保护，为行业健康有序发展营造良好环境。

聚焦地方层面，江苏省凭借产业集群优势打造区域发展标杆。根据《江苏省第三代半导体产业发展行动计划（2023

- 2025)》，南京、苏州、无锡三大基地重点发展碳化硅外延片和氮化镓射频器件，省级财政设专项基金支持6英寸SiC生产线等重大项目。苏州工业园区对完成智能化改造的企业按设备投资额20%给予补贴，无锡国家集成电路设计基地推行“一企一云”计划强制接入工业互联网平台。这一系列政策通过“资金杠杆+数据互联”推动区域产业链协同创新，加速国产替代进程。在后续发展中，江苏省出台了《江苏省半导体产业跃升计划（2024-2028年）》，省级财政计划进一步增加专项基金规模，重点支持产业链上下游企业的协同创新和产业升级项目，鼓励企业开展绿色制造和智能制造示范项目建设。

同时，各地市也积极响应，如南京市发布《南京市半导体产业人才培养计划（2023-2027年）》，加大对第三代半导体高端人才的引进和培养力度；苏州市出台《苏州市智能制造深化推进方案（2024-2029年）》，进一步完善智能化改造补贴政策，提高补贴标准和覆盖范围；无锡制定《无锡市工业互联网平台升级计划（2025-2030年）》，加强工业互联网平台的建设和应用，推动更多企业接入平台，实现数据的高效共享和协同制造，全面提升区域第三代半导体产业的竞争力和可持续发展能力。

政策共性趋势：全球竞争焦点已从单一技术突破转向“材料-智造-数据”全生态构建。未来政策将进一步向绿色制造、工业互联网标准化方向深化，加速全球产业格局重构。

国家和地方政府高度重视第三代半导体产业的发展，出

台了一系列政策法规以推动其智能化、数字化转型。南京江北新区明确提出要深入推进“智改数转网联”，加快“上云用数赋智”，打造智能制造工厂和车间。此外，江苏省出台《工业互联网高质量发展若干政策意见》，加速工业互联网规模化运用，推动数字经济与第三代半导体产业的融合发展。未来第三代半导体领域发展旨在解决“能用、好用”及持续创新能力的问题。地方政府也围绕“1650”产业体系，编制发布集成电路、第三代半导体等行业的数字化转型实施指南，梳理关键环节和重点场景，为企业转型提供路线图。政府通过多种方式为第三代半导体产业提供资金支持。南京江北新区鼓励新设金融机构，引导省战略性新兴产业专项基金等政府投资基金集聚，支持第三代半导体企业的智能化改造。此外，国家5G中高频器件创新中心通过FLAB模式，为合作伙伴提供技术支持和资金投入，助力企业实现无沉默成本的技术创新。产学研合作是推动第三代半导体产业发展的重要模式。国家5G中高频器件创新中心通过Lab-in-Fab模式，结合内部技术中台支持合作伙伴的客制化工艺创新，加速新材料、新工艺的量产商用。同时，高校和科研机构也在人才培养和技术研发方面发挥了重要作用，为产业的可持续发展提供了智力支持。

1.3.2 示范创建

在全球第三代半导体产业智能化、数字化与网络化转型的浪潮中，国内外企业通过差异化路径实现技术突破与产业升级，形成具有代表性的实践范式。以下从典型企业案例出

发，结合技术路径、数据互联与政策驱动维度，分析全球产业发展动态。

中国企业在全产业链协同与区域生态构建方面表现突出。全自动焊线机、塑封机器人等设备的部署使车间设备联网率达到100%，AGV智能物流系统减少30%人工干预；ERP与MES系统集成实现库存周转率提升25%、生产效率提高18%。这一“设备互联-数据互通-业务协同”的闭环管理模式，推动产品良率从88%跃升至95%，成为华为、三星等头部企业核心供应商。构建5G网络连接的智能制造平台，实现工艺参数实时调控（封装精度误差 $\leq 0.1\mu\text{m}$ ）与质量数据自动分析，缺陷率从5%降至1.5%。通过数字孪生技术优化生产线布局，单位产品能耗降低15%，订单交付周期缩短20%，使其在储能与汽车电子领域快速崛起，产能提升30%。

欧美企业则通过技术壁垒强化与跨区域数据整合巩固竞争优势。美国碳化硅龙头Wolfspeed投资20亿美元扩建的8英寸SiC晶圆厂，采用AI算法优化晶体生长参数，晶圆良率提升至85%，其机器视觉检测系统实现 $0.1\mu\text{m}$ 级缺陷识别，检测效率提升40%。与捷豹、路虎合作开发的云端数据平台，将车用碳化硅模块的订单回应周期缩短至72小时，2025年占据全球35%的碳化硅晶圆市场份额。欧洲意法半导体（ST）的全球化布局更具代表性：意大利卡塔尼亚的8英寸SiC工厂通过数字孪生技术优化设备布局，设备综合效率（OEE）从78%提升至92%，产能能耗降低25%；与重庆三安光电共建的合资工厂实现中欧生产数据实时共享（工艺参数同步误差

<0.5%)，其推出的“ST PowerGaN”云平台为英飞凌、博世等客户提供器件性能预测服务，客户产品失效率降至百万分之五，占据欧洲新能源汽车市场 60% 份额。

日本企业以精益化智造与垂直整合深耕细分市场。罗姆半导体 (ROHM) 的 6 英寸 SiC 全自动生产线采用等离子体增强化学沉积技术 (PECVD)，将外延层厚度均匀性控制在 $\pm 0.2 \mu\text{m}$ ，良品率突破 90%。其与丰田、电装共建的车规级碳化硅联合实验室，通过数据共享平台优化芯片设计与封装方案，模块寿命提升至 15 年。2025 年日本车用碳化硅模块成本降至每千瓦 12 美元，推动混动车型渗透率突破 40%，展现产业链垂直整合的效能。

从实践路径差异来看，技术层面欧美聚焦材料工艺创新与跨区域协同，如 Wolfspeed 的 GaN-on-SiC 工艺和意法半导体的全球化互联，而中日侧重全产业链协同或垂直整合；数据互联层级上，欧美通过工业互联网平台实现跨国协同，中国依托区域级平台推进生态建设，日本则构建产业链内部数据闭环；政策驱动方面，欧美以企业主导研发形成市场化创新机制，中国通过国家战略引导加速全产业链布局，日本则以政企合作强化细分领域竞争力。

当前行业呈现两大趋势，一是智能化装备、数字孪生与 5G+工业互联网深度融合，持续突破生产效率和良率极限；二是生态竞争加剧，欧美通过技术标准构建壁垒，中国以规模优势推动国产替代，日本则以精益制造锁定细分市场。未来随着绿色制造与工业互联网标准化进程加速，全球产业格

局将向“技术主导-规模扩张”双轨制深化演进，企业需在技术创新、数据协同与生态整合中寻找差异化突围路径。

1.3.3 转型成效

在全球第三代半导体产业“智改数转网联”转型实践中，企业通过智能化、数字化与网络化技术的深度融合，实现了生产效率、技术能力与市场竞争力的系统性跃升。以中国江苏某半导体企业为例，其全自动化封装测试产线通过设备互联与数据互通（设备联网率 100%），将库存周转率提升 25%、生产效率提高 18%，并依托“设备-数据-业务”闭环管理将产品良率从 88% 优化至更高，成为头部企业的核心供应商；深圳金誉半导体则通过 5G 网络与云端数据库的协同，在封装测试环节实现工艺参数实时调控（精度误差 $\leq 0.1 \mu\text{m}$ ），缺陷率从 5% 降至 1.5%，同时借助数字孪生技术优化产线布局，单位能耗降低 15%，订单交付周期压缩 20%，推动储能与汽车电子领域产能提升 30%。欧美企业同样展现显著成效，例如美国 Wolfspeed 通过 AI 算法优化碳化硅晶圆生长参数，晶圆良率提升至 85%，检测效率提高 40%，其与车企共建的云端平台将订单回应周期缩短至 72 小时，市占率突破 35%；欧洲意法半导体（ST）依托中欧数据实时共享（工艺误差 $< 0.5\%$ ）与工业互联网平台，使客户产品失效率降至百万分之五，占据欧洲新能源汽车市场 60% 份额。日本罗姆半导体则以垂直整合模式将车用碳化硅模块寿命延长至 15 年，成本降至每千瓦 12 美元，推动混动车型渗透率突破 40%。从行业影响看，企业通过数据驱动的精益制造与生态协同，不仅实现生产效

率与良率的突破性提升，更在细分市场构建技术壁垒，例如中国企业在车规级器件领域市占率突破 15%，欧美主导全球碳化硅晶圆标准制定，日本锁定高端混动供应链。这一转型路径标志着第三代半导体产业从单点技术创新向“技术-数据-生态”多维竞争格局的跨越，为全球绿色制造与工业互联网标准化发展提供实践范式。

二、目标与架构

2.1 总体目标

2.1.1 智能化改造目标

目标一：先进制造技术集成应用

聚焦第三代半导体材料（如碳化硅、氮化镓）的高精度加工需求，推动分子束外延（MBE）、原子层沉积（ALD）等核心工艺设备的智能化升级。在江苏省南京、苏州等产业聚集区，重点部署具备自适应补偿功能的智能产线，解决晶圆切割、薄膜沉积等环节的良率波动问题，目标实现关键工序良率提升 20% 以上。例如，在碳化硅晶圆生产环节，通过引入 AI 驱动的缺陷检测系统，将晶格畸变识别准确率提升至 99.5%，显著降低废片率。通过示范性应用 AI 驱动的缺陷检测系统（如碳化硅晶圆晶格畸变识别准确率 $\geq 99.5\%$ ，缺陷分类精度 $\geq 98\%$ ），将因核心缺陷导致的废片率降低 $\geq 30\%$ （如从 3% 压缩至 $\leq 2.1\%$ ），最终推动示范产线综合良率提升 5-10 个百分点、单位晶圆加工成本下降 $\geq 18\%$ ，并在良率波动标准差缩小 50% 的稳定性验证下，形成可复制的第三代半导体智能制造标杆，实现高精度加工能力与国际先进水平的全面

接轨。

目标二：工业互联网平台深度搭建与应用

构建垂直行业级工业互联网平台，打通 MES（制造执行系统）、ERP（企业资源计划）与 EDA（电子设计自动化）工具链的数据壁垒。同时为打破第三代半导体产业中设计-制造-封测环节的数据孤岛与设备异构难题，我们将构建垂直行业级工业互联网平台，通过开发多协议兼容工业网关（支持 OPC UA、SECS/GEM 等 ≥ 8 种协议），实现长三角区域产线 90% 以上关键设备（如外延炉、光刻机）的毫秒级实时数据采集，设备接入率与数据完整度 $\geq 95\%$ 。平台将彻底打通 MES、ERP 与 EDA 工具链的数据壁垒，构建“设计-工艺-制造”闭环：基于 API 接口与数字孪生技术，使 EDA 仿真参数（如氮化镓器件栅极结构）自动同步至 MES 生成工艺配方，封装厂实时调用晶圆测试数据优化键合方案，将设计变更到产线更新的响应时间从 72 小时压缩至 ≤ 8 小时。以缩短氮化镓功率器件研发周期 30% 为刚性目标（从行业平均 18 个月降至 ≤ 12.6 个月），并驱动初流片良率提升 15%（通过制造端缺陷数据反哺 EDA 设计规则优化）、区域设备共享率提升 40%，最终形成覆盖全产业链的工业互联网基础设施。

目标三：大数据与人工智能技术创新融合

为攻克第三代半导体制造中的工艺调控与能效管理瓶颈，我们将构建覆盖封装全生命周期的工业数据湖，集成生产设备、传感器、质控系统等多源异构数据（日均处理量 $\geq 500\text{TB}$ ），并开发基于深度学习的工艺优化模型。针对碳化

硅 MOSFET 栅氧层失效这一行业痛点，通过训练融合光学检测、电性测试、环境参数的多模态分析模型，实现潜在缺陷的精准预测与提前 48 小时预警，使栅氧良率提升 10%以上；同步在能耗管理领域部署动态调度算法，实时优化超纯水循环系统与高纯气体供应管网的运行压力及流量分配，驱动单位产能能耗降低 15%（如单万片晶圆生产的纯水消耗从 1200 吨降至 1020 吨，氮气用量从 15000m³压缩至 12750m³）。该体系将形成“数据驱动工艺优化-算法赋能节能降耗”的双重创新闭环，确立第三代半导体绿色智造新标杆。

目标四：物联网技术全面覆盖与优化升级

为保障第三代半导体器件在洁净环境下的高良率制造，我们将全面推广智能传感网络，在关键生产区域部署纳米级颗粒物在线监测传感器（精度达 0.1 μm）与温湿度自调节装置，通过动态闭环控制系统将环境参数波动严格约束在 ±0.5%以内（如温度设定值 ±0.1℃、湿度 ±0.5%RH），从源头抑制外延生长缺陷。同时针对射频器件测试环节，创新开发 RFID 与自动探针台联动系统：在晶圆载具植入超高频 RFID 标签，探针台通过读写器自动捕获产品身份信息，实时绑定测试数据至唯一 ID，实现测试结果 100%精准追溯，彻底杜绝批次混淆风险。该方案将驱动晶圆级测试效率提升 25%（单批次测试时间从 4 小时压缩至 ≤3 小时），降低因环境波动导致的工艺异常 30%，并使产品全生命周期追溯准确率达到 100%零差错，为 5G 射频模块等高端器件提供“零缺陷”制造保障。

2.1.2 产品数字化转型目标

目标一：高性能产品开发与升级

构建第三代半导体器件的数字化孪生体系，整合 TCAD（工艺计算机辅助设计）仿真数据与实测参数，建立氮化镓 HEMT 器件的多物理场耦合模型。在新能源汽车电驱系统领域，开发基于数字样机的协同验证平台，将 800V 碳化硅模块的可靠性验证周期从 18 个月压缩至 6 个月。针对 5G 基站应用场景，通过电磁场仿真优化射频器件热分布设计，目标将工作温度降低 20℃。

目标二：定制化产品服务能力提升

搭建客户需求智能解析平台，整合下游新能源汽车、轨道交通企业的技术规范数据库。开发云端产品配置工具，支持客户在线调整碳化硅功率模块的封装形式、引脚布局等参数，实现 72 小时内输出定制化设计方案。建立动态工艺调整机制，通过 MES 系统自动识别小批量订单的生产特征，确保定制产品交付周期不超过标准品 15%。

目标三：产品质量与可靠性卓越化

构建覆盖衬底缺陷率、外延层均匀性等 17 项关键指标的数字化质量追溯体系，采用区块链技术实现质量数据的不可篡改存储。在碳化硅二极管领域，开发基于大数据分析的 SPC（统计过程控制）模型，实时监测载流子寿命离散度，目标将批次间性能差异控制在 5% 以内。建立 ISO 55000 标准兼容的可靠性数据库，积累超过 100 万小时的器件老化测试数据。

2.1.3 网络化连接目标

目标一：市场份额显著扩大

通过工业互联网平台连接长三角区域 200 家以上新能源汽车、光伏逆变器企业，构建从衬底材料到系统集成的端到端解决方案。针对海外市场，在德国、日本设立联合技术支持中心，提供基于数字孪生的远程故障诊断服务，目标三年内将车规级碳化硅模块的全球市占率提升至 25%。

目标二：品牌价值与影响力提升

建立第三代半导体产业技术标准联盟，主导制定宽禁带半导体材料检测、高压器件测试等 5 项国家标准。联合知名科研院所发布《碳化硅器件可靠性白皮书》，定期举办国际宽禁带半导体技术峰会，强化江苏省作为第三代半导体创新策源地的行业认知。

目标三：构建完善的产业生态与市场网络

打造上下游高度协同的生态协同平台，实现 EDA 工具商、代工厂与终端用户的实时需求对接。在深圳、重庆等应用高地建设区域级服务中心，提供从器件选型到系统集成的全链条技术支持。形成从地方试点示范到推动全国第三代半导体上下游产业链协同，最后达到能建立覆盖东南亚、欧洲的跨境数据流动机制，支撑跨国企业的供应链可视化需求。

2.2 实施架构

2.2.1 基础设施层：构建智能制造的物理底座

依托江苏省“东数西算”工程布局，在无锡、徐州建设第三代半导体专用算力枢纽，部署具备 FPGA 加速能力的异

构计算节点。针对半导体制造的高洁净度要求，在车间级部署边缘计算节点，实现关键工艺数据的本地化处理。建设兼容 SEMI(国际半导体设备与材料协会)标准的工业无线专网，确保亚微米级设备的同步控制精度。

2.2.2 数据采集传输层：打通信息流动的毛细血管

在晶圆制造环节部署高精度原位检测设备，采集外延生长速率、表面粗糙度等微观参数，采样频率达到每秒 10 万次级。开发支持 OPC UA(开放平台通信统一架构)的协议转换器，兼容日立、应用材料等进口设备的私有通信协议。针对供应链数据，建立 EDI(电子数据交换)网关，实现与上游材料、供应商的生产计划联动。

2.2.3 存储管理层：打造行业级数据治理范式

构建三级数据存储体系：车间级存储保留原始工艺数据(保留周期 ≥ 10 年)，区域级数据中心存储结构化业务数据，云端存储非结构化研发数据。实施基于材料特性的数据分级策略，对碳化硅衬底缺陷图谱等核心工艺数据采用量子加密存储。建立数据溯源追踪机制，确保每个器件的测试数据可回溯至具体机台、操作人员及原材料批次。

2.2.4 智能应用开发层：释放数据要素的价值潜能

开发第三代半导体专属的 AI 算法库，包括晶格缺陷预测模型、热应力仿真加速引擎等。构建工艺知识图谱，关联超过 5000 份专利文献与生产实践数据，支持工艺工程师的智能决策。在供应链领域，开发基于强化学习的动态排产系统，应对新能源汽车客户订单的突发性波动，确保产能利用率维

持在 85%以上。

2.2.5 网络互联层：编织全球化的价值网络

接入江苏省“苏链通”工业互联网平台，实现与长三角新能源汽车产业集群的实时产能协同。建设跨境合规数据通道，满足英飞凌、罗姆等国际客户的供应链审计需求。构建“官网+行业垂直媒体+技术论坛”的三维数字营销矩阵，针对电力电子、射频通信等细分领域实施精准技术营销。

三、基础能力

3.1 网络基础设施能力建设

3.1.1 企业内外网

第三代半导体行业全产业链中各企业对于生产、办公数据通信的需求各有不同，主要是围绕其业务场景与数据交互需求，分别通过内网保障生产研发、外网支撑产业协同等核心部署要点，融合各环节特色技术应用，采取分层分布式，搭建差异化内/外网隔离的网络架构，从而满足全产业链各环节需求。

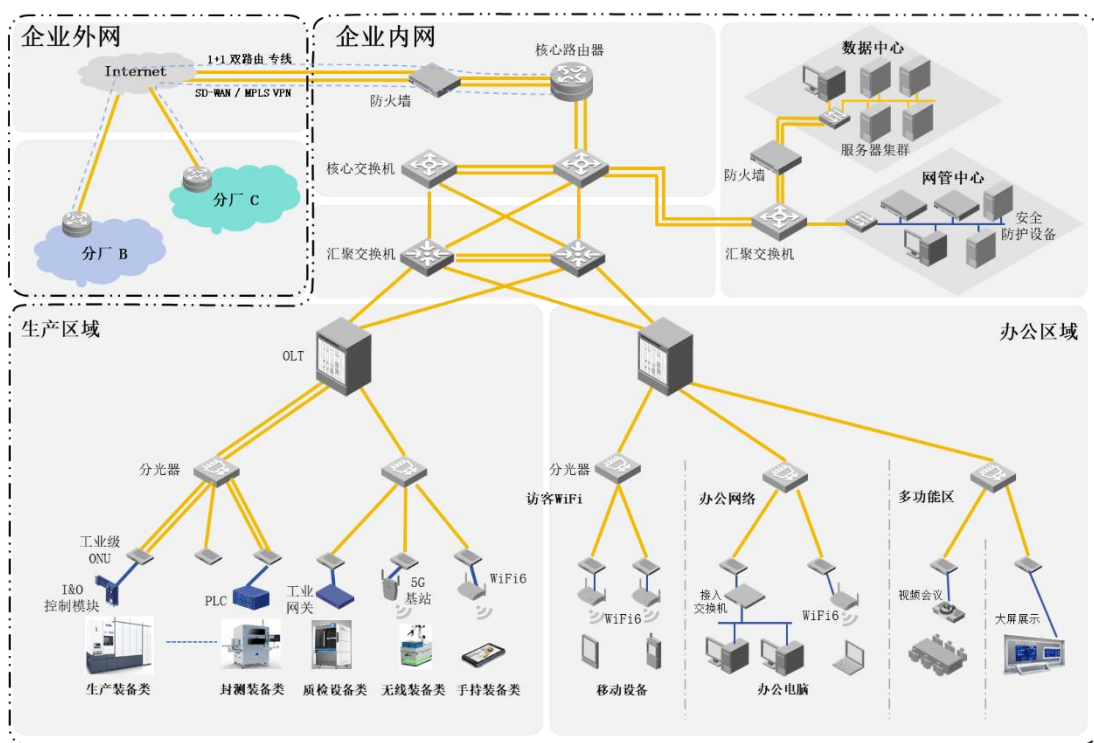


图 8 差异化内/外网隔离的网络架构

3.1.1.1 企业内网

产业链中各企业依据自身业务场景差异及数据通信量大小，其内网架构通常划分为核心层、汇聚层及接入层。各层次网络架构及设备部署方式紧密围绕企业生产与办公需求，形成层次分明、技术适配的网络体系。

(1)核心层：构建高速稳定的数据交换及算力中枢

核心层作为网络架构的核心，部署高性能万兆核心交换机及服务器集群。通过链路聚合技术捆绑多条物理链路，不仅保障了数据传输的高速与稳定，更构建起强大的算力服务平台。该平台能够满足企业大量生产数据与办公数据的快速交换及处理需求，为企业核心业务运行提供坚实的底层支撑。

(2)汇聚层：实现区域功能划分与数据安全隔离

汇聚层根据企业生产区域与办公区域的不同特性进行

划分并设置网络隔离设备，确保各区域内设备信息安全。

生产区域：部署具备多种工业界面的工业以太网交换机，支持 OPC UA、DeviceNet 等工业通信协议，能够无缝连接各类生产设备，适配工业环境的特殊通信需求。

办公区域：采用万兆汇聚交换机，实现办公区域接入设备的流量汇聚，保障办公网络的高效运行。

考虑到产业链中小微企业的实际需求，可将核心层与汇聚层进行二层合并，在满足基本网络功能的同时，降低企业的网络建设成本与管理复杂度。

(3)接入层：定制化组网方案满足多元场景需求

接入层根据不同企业的生产业务场景，提供差异化的组网方案，精准适配各行业的特殊需求。

材料加工企业（如 SiC 衬底、GaN 外延片厂商）

针对 SiC 高温长晶炉（1600℃以上）、GaN MOCVD 设备等特殊工艺环境，采用抗电磁干扰能力强、具备长距离高带宽接入的工业 PON 网络，并结合工业级宽温（-40℃~85℃）交换机搭建接入层网络。通过链路聚合技术，保障外延生长参数（如温度梯度、气体流量）的实时传输。同时，部署 5G+MEC 边缘计算节点，实现移动巡检设备实时回传晶体缺陷图像数据，为生产过程的精准监控提供支持。

芯片设计企业

针对研发工程师使用仿真设计软件（如 TCAD 工具）时对高带宽及稳定性的要求，采用 InfiniBand 网络实现与企业核心层高性能计算集群服务器之间的高速数据通信，满足

SiC 功率器件仿真设计时的并行计算需求，有效缩短器件击穿电压、导通电阻等参数的验证周期。在研发设计区部署 WiFi 6E 无线接入点，满足设计人员移动办公时对 60GHz 毫米波高频信号的稳定需求，提升办公灵活性。

晶圆制造企业

结合 SiC 晶圆切割业务场景，在生产加工车间内部署具备 5G+TSN（时间敏感网络）技术的接入网络，实现激光切割机、研磨设备的微秒级同步控制，确保晶圆的切割精度。通过部署支持 OPC UA overTSN 的工业交换机与核心层对接，保障光刻机与涂胶显影设备间数据的实时协同，助力生产流程的高效衔接。

封装测试企业

在 SiC 功率模块封装业务场景中，生产区域采用工业级 PON 网络接入，并结合 5G+UWB 定位系统，实现生产区域内的高速无线网络覆盖，确保 AGV 物流系统的厘米级定位，提升晶圆盒转运效率，优化生产物流环节。

（4）通用技术策略：保障网络性能与安全设备接入策略

对于固定设备，统一采用工业 PON 技术实现长距离、高带宽连接，确保设备数据稳定传输；对于移动设备，利用 5G 网络实现无线接入，满足其灵活移动作业的需求。办公区域通过以太网线缆实现千兆到桌面的有线网络覆盖，并部署支持 WiFi 6 的无线接入点，提供稳定高速的无线网络环境。针对外来访客，通过设置独立的 VLAN 或使用不同的 SSID，实

现网络的物理或逻辑隔离，防止未经授权的访问，保障网络安全。

网络优化策略

通过配置流量整形、QoS、VLAN 等策略优化网络带宽与性能。考虑到生产数据实时性强、对延迟敏感的特点，为生产相关流量设置高优先级，保障光刻机、刻蚀机等关键设备数据传输的低延迟和高带宽。同时，借助网络性能监测工具，实时监控网络流量、带宽利用率等指标，及时发现并解决网络拥塞问题，确保网络始终处于高效运行状

冗余与可靠性设计

在网络冗余与可靠性方面，核心交换机、汇聚交换机均采用冗余配置，关键链路采用双链路备份，确保在某一设备或链路出现故障时，网络仍能正常运行。针对 5G 网络，采用多个基站覆盖同一区域，实现信号冗余，保障移动设备网络连接的稳定性，降低因网络故障导致生产中断的风险。

综上所述，该内网架构设计方案通过分层架构设计、场景化接入方案及通用技术策略的有机结合，为产业链中不同类型企业提供了兼具针对性与通用性的网络解决方案，能够有效满足企业生产与办公的多样化需求，助力企业提升数字化运营水平。

3.1.1.2 企业外网

产业链企业可通过多链路光纤接入互联网，确保网络连接的稳定性和高带宽。在网络出口部署安全防护产品，如边界防护、入侵检测与防御、终端安全、数据加密以及安全审

计等安全防护产品，对进出网络的流量进行深度过滤和检测，阻止外部非法网络访问和恶意攻击，并实现网络入侵检测与防御的能力，以及实时监测网络流量，及时发现并阻断入侵行为，以确认企业数据信息交互安全。

为满足各子公司数据互通、员工外出办公以及合作伙伴远程接入的需求，可部署如 SD-WAN、MPLS VPN 及 VxLAN 等通信技术，子公司、员工以及合作伙伴在通过，并通过严格的身份认证后，安全地访问企业内部网络资源，并通过上述技术实现传输数据的加密，以防止数据在传输过程中被窃取和篡改，保障数据的安全性和完整性。

而随着第三代半导体产业的高度专业化分工与协同创新的发展趋势下，全产业链企业外网架构设计将以 "安全协同、数据互通、效率提升" 为核心目标，通过差异化技术方案构建覆盖材料制备、芯片设计、晶圆制造、封装测试的端到端互联网络体系，实现研发数据共享、供应链协同与全球化生产管理的深度融合。具体网络搭建方案可依据产业链各企业的业务场景不同，进行差异化的技术方案部署。

(1) 材料制备企业：构建质量数据与工艺协同双通道

针对 SiC 衬底、GaN 外延片等材料制备环节的技术壁垒，外网架构采用 "SD-WAN 安全隧道 + MPLS VPN 跨国协同" 双技术路线：

产业链质量数据共享：通过 SD-WAN 技术与晶圆制造企业（如中芯国际、华虹半导体）建立端到端加密隧道，实现 SiC 衬底微管密度、GaN 外延层厚度等关键质量参数的实时

同步。基于软件定义广域网的动态路由优化，确保跨地域数据传输时延 $\leq 50\text{ms}$ ，满足晶圆制造环节对材料参数的即时验证需求。

设备工艺跨国协同：与国际设备供应商（如 PVA TePla、Aixtron）搭建 MPLS VPN 专用网络，构建 MOCVD 设备工艺参数的远程调试通道。通过多协议标签交换技术实现数据分组的快速转发，配合端到端 QoS 保障，支持跨国界实时工艺参数调优，缩短新型材料制备工艺的研发周期。

（2）芯片设计企业：打造安全可控的研发数据闭环

针对芯片设计环节的高保密性与快速迭代需求，外网部署聚焦 "加密传输 + 实时反馈" 双核心功能：

版图数据安全交互：与晶圆代工厂（如台积电、稳懋半导体）建立专用 VPN 通道，采用量子加密技术对芯片版图数据进行链路层保护，确保设计文件在传输过程中的量子级安全。通过专线接入与访问控制列表（ACL）双重认证，实现设计端与制造端的双向身份校验。

产业链协同优化：通过工业互联网平台与封装测试企业建立数据交互接口，实时获取成品率、缺陷率等测试数据。基于 API 接口的标准化数据传输协议，实现设计方案的快速迭代，缩短芯片流片周期。

（3）晶圆制造企业：构建全球化生产管理与溯源体系

面向多工厂协同与供应链安全需求，外网架构采用 "虚拟网络互联 + 区块链溯源" 技术组合：

多工厂协同制造：通过 VxLAN 技术实现全球产线的虚拟

网络互联，构建覆盖不同地域工厂的统一管理平台。基于网络功能虚拟化（NFV）架构，实现工艺参数、设备状态等数据的跨工厂实时同步，支持多厂区的制程一致性控制。

供应链溯源管理：与材料供应商共建区块链溯源系统，将 SiC 衬底批次信息、加工工艺参数等上链存证。通过智能合约实现供应链数据的不可篡改与可追溯，满足车规级半导体对材料溯源的严苛要求，链上数据验证时延 $\leq 200\text{ms}$ 。

（4）封装测试企业：搭建客户交互与智能物流双平台

针对终端应用的个性化需求与供应链效率提升，外网部署聚焦“数据透明化+物流智能化”：

客户协同服务：通过边缘云平台与终端客户（如特斯拉、比亚迪）建立实时数据共享通道，开放 SiC MOSFET 雪崩击穿电压、热阻等关键测试参数的可视化界面。基于边缘计算节点的本地化数据处理，实现客户查询响应时延 $\leq 100\text{ms}$ ，支持车规级器件的实时性能监控。

智能物流集成：与物流企业（如 DHL、顺丰）深度集成 WMS 系统，引入数字孪生技术构建冷链运输虚拟模型。通过 IoT 传感器实时采集温湿度、振动等运输数据，基于数字孪生算法动态优化运输路径，从而降低晶圆级产品的运输损耗率。

3.1.2 标识解析

标识解析技术有助于第三代半导体全产业链企业，突破传统企业管理壁垒，成为贯穿研发、生产、供应链等全流程的“数字神经”，为行业高质量发展注入强劲动力。

企业以国际通用的 GS1 编码体系为根基，结合第三代半导体材料与工艺特性，构建起独一无二的标识编码规则。产品编码在型号、批次等基础信息之上，融入禁带宽度、晶型结构等核心参数；设备编码则增加耐温等级、抗电磁干扰能力等工业属性，赋予每片晶圆、每台设备专属的“数字身份证”，从而实现从材料特性、工艺指标、设备参数等全方位覆盖的复合编码体系。同时，通过在产品和设备上嵌入耐高温防电磁 RFID 标签与抗静电二维码，形成“双保险”标识载体，无论是 1600℃ 高温长晶炉内，还是高频射频测试环境下，都能确保生产数据的精准采集与实时传输，满足生产、仓储、物流及售后等各环节的快速识别与信息录入需求。

标识数据管理平台作为“智慧中枢”，对产品和设备的标识数据进行集中管理与维护，具备数据存储、查询、更新等功能，并通过预设校验规则保障数据准确性与完整性，同时建立数据备份机制（例如“本地+异地+区块链”的三重备份机制），定期备份标识数据，防止数据丢失。同时，平台还应具备与其他相关数据库深度联动，如当 SiC 器件出现导通电阻异常等质量问题时，系统可快速通过多数据库联动检索等机制，抽丝剥茧的精准定位到某批次衬底微管密度超标。从而助力企业快速启动产品召回，将质量问题的影响降至最低。

在供应链协同与优化方面，企业与供应商、合作伙伴共享标识数据。通过统一的标识解析系统及编码体系，实现供应链各环节信息的互联互通，提高供应链的协同效率。例如，

研发团队借助历史标识数据与仿真模型，极大缩短新型器件的研发周期，供应商可根据企业的生产计划和库存情况，及时调整原材料的供应；物流企业可根据产品标识，优化运输路线和配送计划，提高物流效率，从而实现供应链各环节的高效协同，重塑第三代半导体产业的协同效率与创新高度。

3.2 数据采集能力建设

3.2.1 哑设备改造

在企业产线中，存在大量老旧设备（如传统光刻机、非智能刻蚀机、手动清洗台等）因缺乏标准通信协议、智能控制模块及数据采集能力，成为制约企业产线智能化升级的“数据孤岛”。针对这类哑设备，可通过加装各类传感器、数采模块、多协议工业网关（具备边缘计算功能）等多元技术手段实现智能化升级，从而实现设备状态实时监测、工艺参数智能优化及全流程数据贯通，助力企业突破发展瓶颈。具体实施方式如下：

对于缺乏数据采集能力的老旧设备，如传统 CVD 薄膜沉积设备，可加装温度、压力、气体流量等传感器，配合工业级数据采集模块，构建实时监测网络。以 CVD 设备为例，在腔体内部署高精度压力传感器与质量流量计，实时采集反应腔内的压力波动与气体流速数据，并通过数据采集模块将信息传输至中央控制系统。系统对数据进行实时分析，一旦压力值偏离预设范围，立即触发警报，提醒操作人员及时调整，避免因参数异常导致薄膜厚度不均、沉积速率波动等质量问题。同时，系统对历史数据进行深度挖掘，结合 AI 算法分析

不同工艺参数组合对薄膜性能的影响，为工艺优化提供科学依据，可有效提升薄膜均匀性。

针对具备基础通信功能，但协议不兼容的设备，如早期的离子注入机，可定制开发专用的数据采集设备。如多协议网关等，通过解析设备原生通信协议，将设备运行数据（如离子能量、束流强度）转换为 OPC UA、Modbus TCP 等标准协议格式，无缝接入企业数据采集网络。如此一来，离子注入机的关键参数得以实时上传至管理平台，管理人员可远程监控设备运行状态，实现设备间的协同作业，有效提升生产效率与产品良率。

通过上述改造方案，企业能够赋予哑设备“感知、传输、分析”的智慧能力，打破数据孤岛，实现生产过程的全面数字化与智能化，在激烈的市场竞争中抢占先机。

3.2.2 智能设备联网

智能设备联网已成为企业抢占技术高地的核心路径。企业可整合高性能工控机、多协议工业网关与智能控制器，依托全 IP 化工业总线架构，借助 OPC UA TSN 时间敏感网络，实现光刻机、刻蚀机等关键设备间纳秒级精准同步，确保每秒万级生产数据的实时稳定传输。

在此基础上，通过深度融合边缘计算与 AI 技术，在设备端部署智能采集模块与机器视觉系统，实时解析设备运行参数与工艺图像数据。例如，在 TGV 激光打孔设备中，边缘计算单元结合高精度位移传感器与深度学习算法，可动态调整激光焦点位置与脉冲频率，将打孔精度提升至亚微米级，同

时通过历史数据建模优化工艺参数，达到减少能、降低废品率的目标。

从而构建“边缘实时感知 - 云端深度分析 - 现场智能执行”的协同架构，如此企业不仅打破数据孤岛，更实现从设备状态监测到故障预测、工艺优化的全流程智能化。这种从经验驱动到数据驱动的转型，正助力芯片制备企业在纳米级制程竞争中持续提升核心竞争力，为先进制程技术突破筑牢数字基石

3.2.2.1 现场数据采集与边缘处理

在企业产线中，通过各类智能终端（如：分布式 I/O 控制系统、PLC、工控机等）作为现场设备的数据采集/控制中枢，与光刻机、刻蚀机等精密设备深度互联。可实现毫秒级采集设备运行数据，诸如晶圆温度、射频功率、气体流量等核心工艺参数，构建起覆盖全生产流程的实时感知网络。在此基础上，集成 AI 算力的工业级边缘计算单元，直接部署于设备现场，实现数据的即时处理与智能分析。

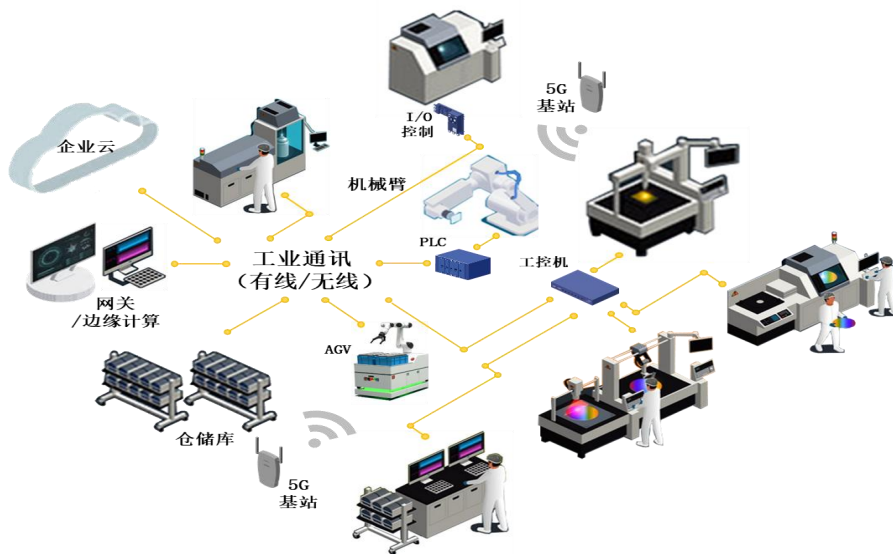


图 9 全生产流程的实时感知网络

通过智能终端具备的边缘计算单元，凭借其强大的异构计算能力，可实现每秒万级的数据流进行实时解析与预处理。通过内置的机器学习模型，自动识别工艺参数异常模式与设备潜在故障特征，仅将关键异常数据与优化指令传输至中央控制系统。这种近源处理架构大幅降低数据传输负载，将核心参数响应延迟控制在 10ms 以内，网络带宽占用极大减少。例如，当检测到 EUV 光刻机的光场强度的异常波动达到一定数值时，边缘计算单元就可在本地立即触发补偿算法，自动调整透镜组参数，避免因光刻精度偏差导致晶圆报废，保障纳米级制程工艺的稳定性与良率。

在通信架构层面，采用 OPC UA over TSN（时间敏感网络）技术构建开放互连网络，支持纳秒级精准同步与微秒级低延迟数据传输。该架构通过 SDN 统一网络管理，实现实时与非实时数据的共网传输，确保设备间协同作业的确信性与可靠性。

3.2.2.2 数据集中处理与深度分析

企业将依托智能设备联网搭建起全链路数据协同体系，以高性能服务器集群为作为核心数据处理中枢，配合产线上的高性能工控机和智能采集终端，实现对光刻机、刻蚀机等精密设备运行数据的毫秒级采集与 PB 级存储，构建覆盖晶圆制造、封装测试全流程的生产数字孪生体。

在数据集中处理过程中，融入大数据模型和 AI 技术，能够挖掘数据背后的潜在价值。大数据模型可以对海量的生产数据进行深度挖掘，通过复杂的算法和统计分析，揭示数

据中的潜在规律与趋势。例如，通过对历史生产数据的全面分析，通过时序分析、关联规则挖掘等算法，揭示设备参数与工艺良率间的潜在关系，并建立精准的生产效率预测模型，从而预测不同生产条件下的生产效率，为生产计划的科学制定提供有力依据。

AI 技术则进一步提升了数据分析的智能化水平。利用先进的机器学习算法，AI 可以对设备的运行状态进行实时监测与故障诊断。通过训练深度学习模型，对设备的振动、温度、电流等多维度数据进行深入分析，能够准确识别设备的早期故障征兆，并提前发出预警信号。同时，AI 还可根据实时生产数据和质量反馈，自动调整生产工艺参数，优化生产流程，提高产品质量的稳定性。

在工艺优化层面，AI 驱动的闭环控制系统正重塑芯片制造逻辑。强化学习算法可根据实时生产数据动态调整制程参数，在提升产品性能的同时提高良率。这种智能化决策能力依托边缘侧实时数据处理与云端 AI 模型的持续迭代优化，通过定期更新工艺控制模型，不断提升工艺稳定性与生产效率。

3.2.2.3 数据标准化与传输优化

在芯片制备精度向纳米级甚至埃米级迈进的今天，生产数据的标准化以及传输方式的优化是提升产线稳定性、突破良率瓶颈的关键因素之一。企业针对生产设备多源性、协议复杂性等特性，可部署具备多协议及融合边缘计算能力的工业网关，通过其搭载多协议解析引擎及强大数据处理能力，

实现无缝对接如光刻机、刻蚀机、封装设备等各类生产装备，并快速兼容 SECS/GEM、Profinet、Modbus 等主流通信协议，将设备运行的关键参数、工艺指标等数据，统一转化为 OPC UA 标准格式，从而实现企业生产数据的标准化采集。

同时深度融合边缘计算能力的工业网关，不仅为生产数据提供传输的通道，更是数据质量的“把关者”。通过内置的 AI 算法模块，能够对实时采集的数据进行动态清洗与智能转换，自动识别并修正错误值、填补缺失值、过滤异常数据，确保数据的完整性与准确性。例如：在倒装焊工序中，工业网关通过内嵌 AI 算法实时采集分析焊接温度、压力等数据，结合预训练模型及时调整工艺参数，从而降低焊点不良率；在光刻环节，通过对光强、焦距等参数的实时监测与预测，提前预警潜在异常，有效避免晶圆批量报废。

3.2.2.4 设备全生命周期智能管理

企业可通过建立设备管理系统，将采集到的设备数据与设备的维护记录、维修历史等信息进行深度关联，实现设备的全生命周期管理。借助大数据模型和 AI 技术，对设备运行数据进行全面分析，预测设备的故障发生时间，提前制定科学合理的维护计划。

例如，通过深入分析设备的性能退化趋势和故障模式，建立精准的设备剩余寿命预测模型，为设备的预防性维护提供精准的决策支持。这不仅可以降低设备故障率，提高设备的可靠性和可用性，还能减少因设备故障导致的生产停机时间和维修成本。

同时，利用 AI 技术对设备维护过程进行智能优化。通过分析大量的维护案例和数据，AI 可以为维修人员提供最佳的维护方案和详细的维修指导，提高维护效率和质量，确保设备始终处于良好的运行状态。

综上所述，企业通过整合硬件设施与前沿技术理念，构建完善的数据管理体系和设备全生命周期管理系统，能够实现生产过程的智能化、精细化管理，提升企业的生产效率、产品质量和市场竞争能力，为企业的可持续发展奠定坚实基础。

3.3 信息系统能力建设

3.3.1 信息系统建设应用

企业通过部署 ERP 系统构建全链条数字化平台，整合供应商信息并动态管理相关数据，为采购决策提供实时支持。基于销售订单预测与库存监控，ERP 系统运用算法自动生成多版本生产计划，实现原材料采购与生产排程精准匹配。当原材料延迟到货时，系统智能触发备选供应商协同机制确保生产连续性。

引入高级计划与排程（APS）系统作为 ERP 与 MES 的中间枢纽，基于约束理论构建模型，综合设备产能、工艺路线、人员技能及物料齐套性等约束条件，通过算法生成最优生产排程方案。与 ERP 订单数据实时同步，APS 系统可实现快速动态调整，大幅缩短订单交付周期。在半导体晶圆制造中，系统根据光刻机、刻蚀机等关键设备实时状态优化加工顺序，可显著提升设备利用率。

MES 系统深度集成 ERP 订单与 APS 排程数据，通过数字

孪生技术构建车间模型，实时采集设备运行参数、人员工时及物料消耗数据，运用实时调度算法自动分配生产任务至工位。建立 SPC 统计过程控制体系，并通过部署机器视觉检测设备实现晶圆全检，从而提升晶圆缺陷识别准确率。当出现质量异常时，将自动触发停线预警并生成报告，以实现降低不良品产生原因的追溯时间。

WMS 系统可系统实现原材料、在制品及成品全流程可视化管理，与 ERP 采购模块、MES 生产模块实时联动，运用分类法动态优化库存结构，将大幅缩短原材料周转天数。在半导体洁净室，AGV 物流系统通过 5G 网络与 WMS 协同，实现晶圆盒精准定位与自动上下料，可显著提升物流路径规划效率，同时支持二维码/RFID 等方式进行晶圆信息全流程追溯。

企业通过构建 QMS 系统，可实现从原材料入厂到产品售后的全生命周期质量管控，集成供应商来料检测、生产过程质量及客户反馈数据，运用机器学习算法建立质量预测模型。通过分析 SiC 衬底生长过程中的温度波动、气体流量等参数，可提前预知生产风险，有效提升产品良率。系统具备报告自动生成与闭环管理等功能，可明显提高质量问题处理效率。

通过企业服务总线 (ESB) 实现 ERP-APS-MES-WMS-QMS 系统间无缝集成，遵循半导体行业 SEMI 标准确保关键信息实时同步。当 ERP 系统接收到紧急插单需求时，APS 系统可快速重新生成排程方案，并同步至 MES，MES 自动调整实现柔性生产。

企业通过上述智能生产体系的搭建，可实现多个关键指

标上取得显著成效，如大幅缩短订单交付周期，显著提升设备综合效率，极大降低产品不良率、客户投诉率和库存成本，同时大量减少人工干预环节；是企业应对生产挑战提供创新解决方案。

企业通过智能生产体系的搭建，深度融合 ERP、APS 等核心系统，通过动态算法与智能排程压缩订单交付周期，依托实时数据采集与 AI 预测提升设备综合效率，借助 SPC 控制与机器学习构筑全链路质量防线，运用智能分类与自动化协同优化库存管理，大幅削减人工干预环节。以数据驱动重塑半导体制造全流程，在交付响应、设备运维、质量管控、成本优化等维度实现全面突破，为企业应对复杂生产挑战提供了极具价值的创新范式，有力推动产业智能化升级。

3.3.2 平台应用优势

在产业链协同方面，企业通过搭建工业互联网平台，实现与供应商、客户及合作伙伴的信息共享和协同合作。供应商可实时了解企业的原材料需求，提前安排生产和配送；客户能够实时跟踪产品的生产进度和质量情况；合作伙伴可与企业共同开展研发、生产等活动，提高产业链的整体效率和竞争力。

数据驱动优势体现在企业利用大数据分析技术，对生产、销售、供应链等环节的数据进行深度挖掘和分析。通过分析生产数据，优化生产工艺，提高产品质量和生产效率；通过分析销售数据，预测市场需求，调整产品策略和生产计划；通过分析供应链数据，优化供应链管理，降低采购成本和库

存成本。

企业通过搭建研发设计平台，并集成先进的设计工具和仿真软件，可为企业的研发人员提供了高效的研发环境。研发人员可在平台上进行产品设计、仿真分析等工作，通过虚拟试验和调试，提前发现设计缺陷，优化产品设计方案，缩短产品研发周期，降低研发成本。同时，平台需支持多人同时在线协作，提高研发团队的协作效率。

创新加仿真优势在于平台不断引入新的技术和方法，推动企业创新发展。例如，利用人工智能技术实现生产过程的自动化控制和质量预测；利用数字孪生技术构建虚拟生产模型，对生产过程进行实时监控和优化。通过仿真技术，在产品研发阶段对产品的性能、可靠性等进行模拟测试，减少物理试验次数，提高研发效率和产品质量。

3.4 信息安全能力建设

针对半导体产业链企业的高安全需求，基于“边界防护—区域隔离—终端防护”三层立体架构，结合行业低延迟、高洁净的生产特性，构建全生命周期安全防护体系：

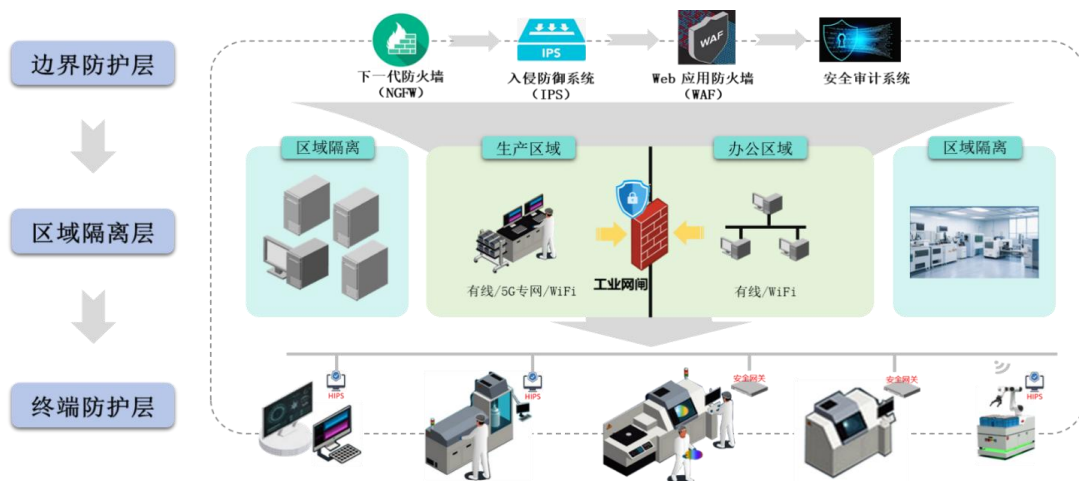


图 10 全生命周期安全防护体系

边界防护层：构建网络攻击第一道防线

在企业互联网出口部署下一代防火墙（NGFW）+Web 应用防火墙（WAF）+ 入侵防御系统（IPS）+ 安全审计平台，形成立体防御矩阵。

协议级流量清洗：防火墙设置相应的规则过滤非法访问，如：WAF 针对 HTTP/HTTPS 协议层实施 OWASP Top 10 攻击拦截（如 SQL 注入、XSS 跨站脚本），IPS 通过漏洞特征库实时阻断缓冲区溢出等利用行为。

全链路审计溯源：安全审计系统对网络会话进行深度包捕获（DPC）与行为建模，通过 AI 异常检测引擎识别暴力破解、越权访问等威胁，触发声光报警并自动生成包含攻击源 IP、协议类型、payload 特征的取证报告，实现“检测 - 响应 - 溯源”闭环。

区域隔离层：打造生产网安全护城河

采用“物理隔离+动态认证”双机制保障核心生产环境。

工业级网闸隔离：生产网与办公网通过单向传输网闸实现物理隔离，仅允许指定协议（如 Modbus TCP、OPC UA）的白名单流量通过，防止办公网病毒向生产网渗透。

远程运维加密通道：外部工程师通过 SSL VPN 接入时，需通过动态令牌 + 生物特征双重认证，传输链路采用国密 SM4 算法加密，会话过程实时镜像至安全审计平台。

洁净车间无线安全：部署支持 802.11ac/a/n 协议的工业级无线 AP（IP67 防护等级），结合零信任网络访问（ZTNA）技术，实现设备终端“一次一认证”，权限动态匹配最小

业务需求。

终端防护层：筑牢设备端安全最后一公里

针对生产终端与关键设备实施“协议白名单+硬件级防护”。

工控终端防护：在 PLC、SCADA 系统等生产终端部署主机防护软件（HIPS），禁用 USB 接口与非授权端口映射，仅允许预定义的 MES 系统 IP 地址访问。

关键设备深度防护：光刻机、刻蚀机等精密设备通过专用安全网关接入网络，实现 SCADA 协议（如 DNP3、EtherNet/IP）深度解析，基于白名单机制仅允许特定工艺参数读写操作。

移动存储管控：采用 USB Key 认证技术，仅授权存储设备可接入终端，且传输文件需经 AES-256 加密。

数据安全防护：构建全生命周期加密体系

动态传输加密：生产数据通过 VPN 或工业总线传输时，强制启用 SSL/TLS 1.3 协议（支持国密 SM2/SM3 算法），确保光刻参数、订单数据等在传输链路中的抗窃取能力。

静态存储加密：对数据库敏感字段（如芯片设计版图、客户隐私数据）实施透明加密（TDE），密钥存储于硬件安全模块（HSM），未经授权的数据库备份操作将触发密钥自毁机制。

智能访问控制：引入 ABAC 属性基访问控制模型，用户权限由“角色 + 设备位置 + 时间窗口”动态决定，例如洁净车间工程师仅在生产时段可访问设备控制界面，且单次

会话时间设制安全时限。

通过“网络层协议清洗 - 区域层物理隔离 - 终端层白名单控制 - 数据层全链路加密”的四维防护体系，实现半导体企业从边界到终端、从数据传输到访问控制的全方位安全防护，有效抵御高级持续性威胁（APT）与供应链攻击，为先进制程研发与生产提供可靠的安全底座。

3.4.1 技术防护体系建设

针对半导体产业链各环节企业的差异化安全需求，需定制化部署安全防护设备，构建精准适配的防护体系。

晶圆制造企业（高价值产线防护）

需重点防御工业协议攻击与工艺数据泄露，建议部署工业防火墙（如 Tofino，支持 SECS/GEM 协议深度检测）、OPC UA 安全网关（实现设备数据加密传输）与量子加密机（对光刻工艺参数实施量子级加密）。洁净车间设备需通过专用安全接入点（SAP）连接网络，结合物理隔离装置阻断非授权接入，确保纳米级制程数据安全。

封装测试企业（客户隐私与自动化产线防护）

优先配置网闸隔离测试数据与办公网络，采用数据库防火墙（如 Imperva）防止客户芯片版图泄露，部署 DLP 数据防泄漏系统实时监控敏感文件流转。自动化产线需加装边缘计算安全网关，对机器视觉检测数据实施脱敏处理，同时通过区块链存证系统固化测试报告，满足车规级芯片可追溯性要求。

半导体设备供应商（远程运维与知识产权保护）

核心需求是保障远程调试安全与技术资料防窃取，建议采用 VPN 网关 + 动态令牌认证构建加密运维通道，部署代码签名服务器防止固件被篡改，通过文件加密系统（如 Symantec Encryption Desktop）对设备控制软件实施强制加密。研发部门需配置泄密追踪系统，对 CAD 设计文件添加数字水印，防止图纸通过邮件或移动存储泄露。

材料供应商（供应链合规与数据交互安全）

以邮件安全与准入控制为重点，部署邮件安全网关（如 Proofpoint）拦截钓鱼邮件与供应链攻击，采用 NAC 准入控制系统确保供应商接入设备符合安全基线。财务数据交互需通过加密邮件传输协议（S/MIME），库存管理系统对接客户 ERP 时，需配置 API 安全网关实现数据字段级权限控制，避免关键物料价格信息泄露。

中小型企业（轻量化基础防护）

推荐采用一体化安全网关（UTM）集成防火墙、IPS、反病毒功能，满足网络边界防护需求；通过云备份服务实现生产数据异地冗余，降低本地灾难风险；部署堡垒机审计员工操作，防止越权访问 ERP 系统。针对洁净车间简易产线，可采用工业级无线路由器（支持 WPA3 加密）实现设备联网，同时通过日志审计系统满足等保合规要求。

3.4.2 安全管理制度建设

明确企业的信息安全目标是保护企业的信息资产安全，确保信息系统的稳定运行，防止数据泄露、篡改和丢失。遵

循的原则包括最小化权限原则、数据分类分级原则、定期评估原则等。制定信息安全策略，涵盖网络安全、数据安全、应用安全等方面，明确员工在信息安全方面的责任和义务。

完善信息安全管理制​​度，包括人员安全管理、设备安全管理、数据安全​​管理、应急回应管理​​等制​​度。在人员安全管理方面，对员工进行背景审查，签订保密协议，规范员工的信息安全行为；在设备安全管理方面，制定设备采购、使用、维护、报废等流程，确保设备的安全运行；在数据安全​​管理方面，建立数据备份、恢复、销毁等制​​度，保障数据的安全性和完整性；在应急回应管理​​方面，制定应急回应预案，明确在发生信息安全事件时的应急处理流程和责任分工。

定期组织员工进行信息安全培训，提高员工的信息安全意识和技能。培训内容包括信息安全法律法规、企业信息安全政策、安全防范技术、应急处理流程等。通过培训，使员工了解信息安全的重要性，掌握基本的安全防范措施，提高应对信息安全事件的能力。

3.4.3 数据备份与恢复体系建设

企业需根据数据的重要​​性和更新频率，制定合理的数据备份策略。对于关键生产数据、财务数据等重要数据，采用全量备份与增量备份相结合的方式。每天进行增量备份，每周进行一次全量备份，确保数据的最新状态得到保存。同时，可通过多中心的方式对重要数据进行冗余备份，备份数据存储在异地数据中心，以防止本地数据中心发生灾难时数据丢失，从而提升数据存储的安全性和可靠性。

企业在选择合适的备份技术和工具，如磁带备份、磁盘阵列备份、云备份等。同时，建立备份数据的验证机制，定期对备份数据进行恢复测试，确保备份数据的完整性和可用性。在数据恢复方面，制定详细的恢复流程，明确在不同情况下的数据恢复方法和步骤，确保在数据丢失或损坏时能够快速、准确地恢复数据。

3.4.4 安全监测与应急响应体系建设

企业需搭建企业级安全监测系统，实时监测信息系统的运行状态、网络流量、用户行为等信息。通过部署网络流量监测工具、系统日志分析工具等，对网络活动进行全面监控。一旦发现异常情况，如网络攻击、数据泄露等，系统立即发出警报，并通知相关人员进行处理。

同时，企业还要制定应急响应预案，明确在发生信息安全事件时的应急处理流程和责任分工。应急响应预案包括事件报告、事件评估、应急处置、恢复重建等环节。在事件报告环节，明确事件报告的管道和流程，确保事件能够及时上报；在事件评估环节，对事件的性质、影响范围和严重程度进行评估，为应急处置提供依据；在应急处置环节，根据事件的类型和严重程度，采取相应的处置措施，如隔离受影响的系统、停止异常服务、进行数据恢复等；在恢复重建环节，对受影响的系统进行恢复和重建，确保系统能够正常运行。

并定期组织应急演练，以检验应急响应预案的可行性和有效性。通过演练，提高员工的应急处理能力和团队协作能力，及时发现并改进应急响应预案中存在的问题，确保在实

际发生信息安全事件时能够快速、有效地进行应对。

四、环节与场景

4.1 产品设计

4.1.1 产品设计存在的问题

设计是第三代半导体行业内智能化改造数字化转型水平较高的环节，企业普遍应用设计软件、设计辅助工具等进行产品设计、验证，但也存在产品研发周期控制困难，研发环境部署复杂，新的研发需求又不断出现，项目研发周期未经过准确评估即启动开发，研发周期无法准确控制；研发过程控制能力不足，产品设计及验证分析过程复杂，研发资料、优秀经验未系统化管理；中小企业设计验证困难，在设计第三代半导体产品的同时，需要对产品的生产工艺进行设计，部分企业尤其中小企业依赖委外加工厂、中试平台完成设计验证，缺少稳定的设计验证环境等问题。全球第三代半导体设计领域呈现高度集中态势，英飞凌、WolfSpeed、罗姆等企业构建了从材料仿真到器件设计的全链条技术壁垒，以美国为首的国家对我国半导体行业实施了技术垄断与工具封锁。以 SiC 功率器件设计为例，其核心 TCAD 仿真工具（如 Sentaurus TCAD、PISCES）占据全球 92% 市场份额，且对中国企业实施功能限制——某国内龙头企业采购的 Sentaurus TCAD 版本，缺失碳化硅晶体缺陷演化模拟模块，导致衬底微管密度预测误差超过 30%。美国商务部 2023 年修订的《出口管理条例》明确将 12 英寸 SiC 衬底的原子层沉积

(ALD) 工艺设计数据列为 "受控技术", 直接影响国内企业高端器件研发进度。

另外, 国际巨头通过专利组合形成立体防护网, 截至 2024 年 Q3, 全球 SiC/GaN 器件设计相关专利申请量超 8.5 万件, 其中 Wolfspeed、英飞凌、罗姆三家企业占比达 68%。在关键技术点上, 如 SiC MOSFET 的沟槽栅结构 (US Patent 11,024,567)、GaN HEMT 的场板设计 (EP 3,876,211) 等核心专利, 国内企业每开发一款新产品需支付销售额 5%-8% 的专利许可费, 某江苏设计企业 2023 年因专利纠纷导致新品上市延期 6 个月, 专利壁垒体系化制约了我国半导体高端市场的发展。

国内第三代半导体设计对进口 EDA 工具依赖度高达 85%, 自主工具在宽禁带材料建模方面存在短板, 研发工具国产化生态薄弱。国内某代表性企业的 BladeRF 工具在模拟 GaN 异质结界面态时, 因缺乏原子级缺陷数据库支撑, 导致器件阈值电压仿真偏差达 $\pm 120\text{mV}$, 某深圳企业使用该工具设计的 650V GaN HEMT, 流片后实际击穿电压比仿真值低 15%, 被迫进行 3 次设计迭代, 额外增加研发成本 800 万元。

第三代半导体器件工作在高温 ($>200^\circ\text{C}$)、高压 ($>1200\text{V}$) 环境, 需同步优化电场、热场、应力场的耦合效应, 但国内企业普遍缺乏跨物理场协同设计平台, 导致国内多物理场协同设计能力断层。某碳化硅模块厂商因未建立封装应力 - 热阻耦合模型, 其产品在车载振动测试中出现焊点疲劳失效,

热循环寿命仅为英飞凌同类产品的 60%，经第三方分析发现，其封装结构的应力集中系数比最优设计高 2.3 倍。

江苏省内设计-制造环节存在一定的数据壁垒，导致产业链协同设计机制缺失。苏州某 GaN 射频设计与南京封装厂采用不同的工艺参数标准，设计文件转换时因单位制（英制 / 公制）、图层定义差异，导致关键尺寸误差率达 8%，某 5G 基站用功率放大器新品导入周期延长 2 个月，额外产生试错成本 500 万元。省工信厅 2023 年调研显示，全省仅 15% 的设计企业与代工厂建立了标准化数据交互接口。此外，全省具备第三代半导体全流程设计能力的工程师不足 2000 人，且 80% 集中在中电科五十五所、华为南京研究所等头部单位，致使省内高端设计人才结构性短缺。某无锡初创企业因缺乏热管理设计专家，其 SiC 功率模块在仿真时忽略了金刚石热沉的各向异性导热特性，导致结温预测值比实际值低 25℃，产品在客户现场测试中频繁出现过热保护，被迫召回整改。

4.1.2 改造场景

产品数字化研发与设计

构建基于国内自研的第三代半导体协同设计云平台，集成材料基因数据库（含 SiC 晶体缺陷数据、GaN 外延参数）、工艺知识库（收录 量产工艺卡片）与多物理场仿真引擎（ANSYS Electromagnetics Suite + COMSOL Multiphysics），实现从器件结构设计到工艺参数优化的全流程数字化闭环。部署华大九天 BladeRF 与芯禾科技的电磁仿真工具链，配套

江苏省半导体材料研究院开发的 "宽禁带材料缺陷数据库", 该数据库整合了中科院物理所、南理工等机构的研究成果, 包含微管密度、位错类型等 12 类微观结构参数, 支持 GaN HEMT 异质结界面态的量子力学级模拟, 仿真精度提升至 $\pm 5\%$ 以内。

以 SiC MOSFET 设计为例, 工程师通过调用数据库中 4H-SiC 的电子迁移率温度特性曲线, 结合 ANSYS 的电场 - 热场耦合仿真, 自动优化栅极氧化层厚度与漂移区掺杂浓度, 使器件导通电阻降低 12%, 开关损耗减少 8%。某常州企业应用该平台后, 新品设计周期从 12 个月缩短至 6 个月。

4.1.3 解决方案

4.1.3.1 解决方案 1

第三代半导体协同设计平台构建, 解决设计工具碎片化、产业链数据孤岛、跨企业协同效率低问题。

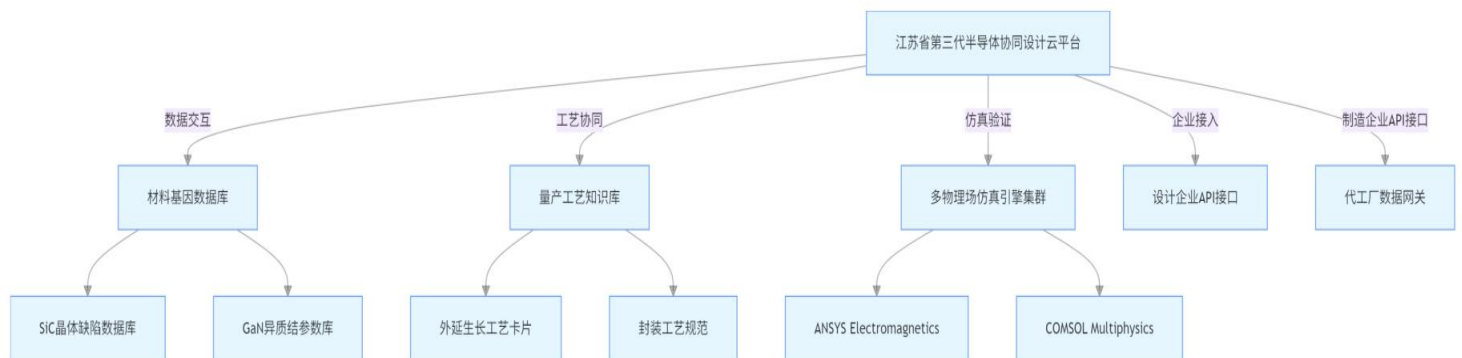


图 11 技术架构图

开发工艺知识管理系统, 收录省内龙头企业的量产工艺卡片, 设置分级共享权限。部署云端仿真资源池, 采用容器化技术实现 ANSYS/COMSOL 的弹性调度, 单项目仿真算力提

升一个数量级。建议江苏省第三代半导体设计数据交互统一单位制、图层定义、文件格式等 28 项技术规范。整合省内龙头院所开发的 "宽禁带半导体设计套件", 集成 TCAD 仿真、工艺验证、热管理分析模块, 支持与平台无缝对接。

南通某设计企业接入平台后, SiC 衬底设计周期从 6 个月缩短至 3 个月, 设计迭代成本降低 40%, 与南京某代工厂的工艺匹配效率提升 50%, 2024 年成功流片的 6 英寸 SiC MOSFET 良率达 92%, 较行业平均水平高 8 个百分点。

4.1.3.2 解决方案 2

数字孪生驱动的虚拟验证体系, 解决物理验证周期长 (传统需 12-18 个月)、成本高 (单次可靠性测试耗资 50-100 万元)、风险大问题。

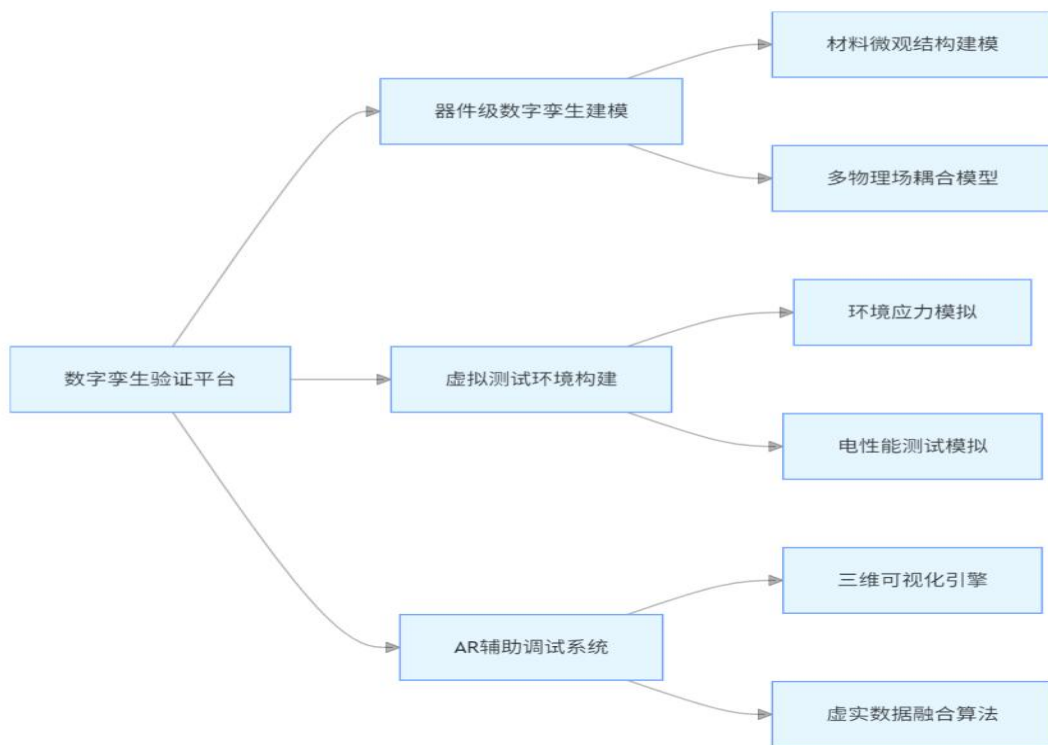


图 12 数字孪生验证平台架构图数字孪生架构体系

基于密度泛函理论 (DFT) 建立 SiC/GaN 材料的原子级缺陷模型, 导入 ANSYS 构建器件级数字孪生体。开发虚拟测试台, 支持 $-55^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$ 温度循环、10–2000Hz 振动等 20 类工况模拟。部署 Hololens 2 头显与六轴力反馈手套, 实现虚拟环境下的器件调试操作。建立 "数字孪生 - 物理测试" 映射算法, 误差校准周期缩短至 24 小时。

采用 Lumerical FDTD 模拟 SiC 器件的光子 - 电子相互作用, 结合 Python 开发的热 - 电耦合求解器, 实现结温预测误差 $\leq \pm 3^{\circ}\text{C}$, 某常州企业利用该技术将 GaN 射频芯片的热仿真精度提升至国际先进水平。

4.1.3.3 解决方案 3

基于 AI 的数据驱动设计系统, 解决设计经验依赖强(资深工程师培养周期需 8–10 年)、创新效率低(常规设计迭代需 6–8 次) 问题。

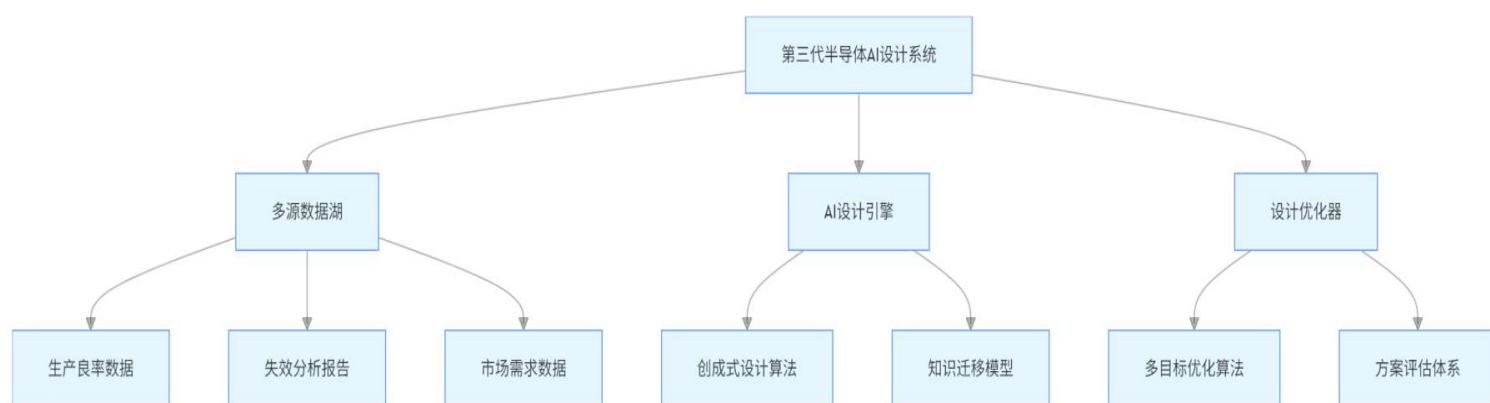


图 13 第三代半导体 AI 设计系统框架

采用 TDH 构建数据湖, 整合 ERP/MES/PLM 系统数据, 建立 3 层数据治理体系 (原始层→清洗层→应用层)。部

署 ModelArts 训练的 Transformer 架构模型，输入设计目标（如 "1200V SiC MOSFET 降低导通电阻"），自动生成 3-5 种结构方案。开发知识迁移模块，将硅基器件设计经验映射至宽禁带半导体场景，减少 70% 的训练数据需求。建立多目标优化算法，同步优化导通电阻、开关损耗、成本等 8 项指标，支持 Pareto 最优解生成。

常州某企业利用该系统优化 GaN HEMT 的栅极场板结构，AI 引擎通过分析 10 万组失效数据，发现场板长度与阈值电压稳定性的非线性关系，推荐的 "阶梯式场板" 结构使器件阈值电压漂移从 $\pm 200\text{mV}$ 降至 $\pm 50\text{mV}$ ，经流片验证后成功应用于 5G 基站，单台基站能耗降低 12%。

4.2 工艺设计（包括工艺数字化设计、可制造性设计等）

4.2.1 存在的问题

国际巨头在第三代半导体关键环节构建技术壁垒，如 Wolfspeed 掌握 SiC 晶体生长的物理气相传输（PVT）核心参数，其 8 英寸 SiC 衬底的微管密度控制在 $0.1/\text{cm}^2$ 以下，而相关工艺仿真模型对中国企业严格保密，核心工艺技术垄断。国际设备商如 Aixtron 将 MOCVD 设备与 GaN 外延工艺参数打包销售，某型号设备的 In 组分梯度控制算法仅对欧美企业开放，导致国内 GaN 射频器件的功率附加效率（PAE）比国际竞品低 3-5 个百分点。美国 Cree 公司的 SiC 氧化工艺专利（US Patent 10,878,945）覆盖 1200°C 以上高温氧化参数组合，国内企业每使用类似工艺需支付销售额 3%-5% 的专利费。

国内第三代半导体工艺仿真依赖进口软件，ANSYS、COMSOL 等工具在宽禁带材料建模时存在缺陷，工艺仿真工具国产化明显不足。某国内企业使用 ANSYS 模拟 SiC MOSFET 的热场分布，因缺乏碳化硅各向异性导热参数库，导致结温预测偏差超过 20℃，流片后器件热失效问题频发。

第三代半导体工艺涉及原子级缺陷控制（如 SiC 微管）到器件级性能优化（如击穿电压）的多尺度协同，但国内企业普遍缺乏跨尺度仿真平台，跨尺度工艺协同能力薄弱。某碳化硅模块厂商因未建立缺陷演化与封装应力的耦合模型，产品在车规级振动测试中焊点疲劳寿命仅为国际标准的 60%。

江苏省内设计、制造、封装企业间工艺数据交互不畅，产业链工艺数据断层。苏州某 GaN 设计与南京封装厂的工艺参数标准不统一，导致版图转换时关键尺寸误差率达 8%，某 5G 基站用功率放大器新品导入周期延长 2 个月，额外产生试错成本 500 万元。

全省掌握第三代半导体全流程工艺设计的工程师不足 1500 人，且 70% 集中在头部企业。某省内企业因缺乏 MOCVD 工艺专家，GaN 外延层厚度均匀性控制在 $\pm 5\%$ ，远高于国际先进水平的 $\pm 1\%$ ，导致射频器件良率低于行业平均水平 10 个百分点。

4.2.2 改造场景

4.2.2.1 工艺数字化设计

构建基于云平台的第三代半导体工艺协同设计环境，集成材料基因数据库(含 SiC 晶体缺陷数据)、工艺知识库(收录量产工艺卡片)与多物理场仿真引擎，实现从材料生长到器件封装的全流程工艺仿真。部署工艺仿真套件与"宽禁带工艺知识库"，该知识库整合了国内知名院所的 SiC PVT 生长数据，支持晶体生长速率、缺陷密度等 12 类参数的实时查询与仿真验证。以 SiC MOSFET 氧化工艺为例，工程师通过调用江苏省半导体材料研究院开发的高温氧化参数库，结合 COMSOL 的电场 - 热场耦合仿真，自动优化 1250°C 氧化温度下的氧气流量，使 SiO₂ 薄膜击穿场强提升 15%，仿真精度达 ±3%。某常州企业应用该平台后，SiC 衬底生长工艺开发周期从 12 个月缩短至 6 个月。

4.2.2.2 可制造性设计

搭建跨企业的工艺可制造性验证平台，打通设计端(如 SiC 器件结构)、制造端(如外延生长参数)、测试端(如击穿电压数据)的全链条数据，通过知识图谱技术评估工艺可行性。采用图数据库 Neo4j 构建设计 - 工艺知识图谱，将工艺失效案例拆解为"设计缺陷 - 工艺瓶颈 - 测试结果"三元组。

某南京企业在开发车规级 SiC 模块时，平台自动识别出设计端的铜柱焊盘尺寸与制造端的焊接温度不匹配，提前优化后使焊点疲劳寿命提升 2 倍，避免了后期量产时的质量

风险。某南通企业设计新型 GaN HEMT 时，知识图谱自动推荐了 "AlN 缓冲层+ 梯度掺杂" 工艺组合(源自 EP 4,231,567 专利)，经仿真验证可使器件阈值电压稳定性提升 30%，工艺开发成本降低 40%。

4.2.3 解决方案

4.2.3.1 解决方案 1

第三代半导体多物理场工艺仿真平台解决工艺仿真精度不足、跨尺度协同能力薄弱问题。

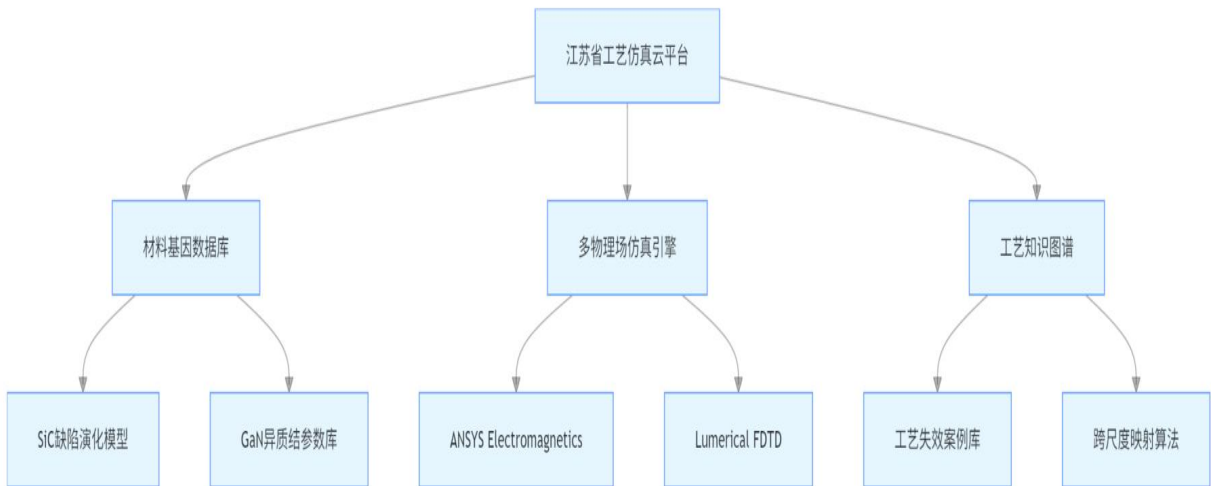


图 14 第三代半导体工艺架构第三代半导体关键工艺图谱

部署云端仿真资源池，采用容器化技术实现 ANSYS、Lumerical 等工具的弹性调度，单项目仿真算力提升 10 倍。开发跨尺度映射算法，实现原子级缺陷（如 SiC 微管）到器件级性能（如击穿电压）的自动关联分析。

配套工具：打造宽禁带工艺仿真套件系列，集成 TCAD 仿真、缺陷演化分析、热管理优化模块。

苏州某企业接入平台后，SiC MOSFET 氧化工艺仿真精度从 $\pm 15\%$ 提升至 $\pm 3\%$ ，器件热失效问题减少 70%，工艺开发周期缩短 40%，2024 年流片的 1200V 器件良率达 95%，较行业平均水平高 10 个百分点。

4.2.3.2 解决方案 2

跨企业工艺可制造性验证平台解决产业链工艺数据断层、可制造性评估滞后问题。

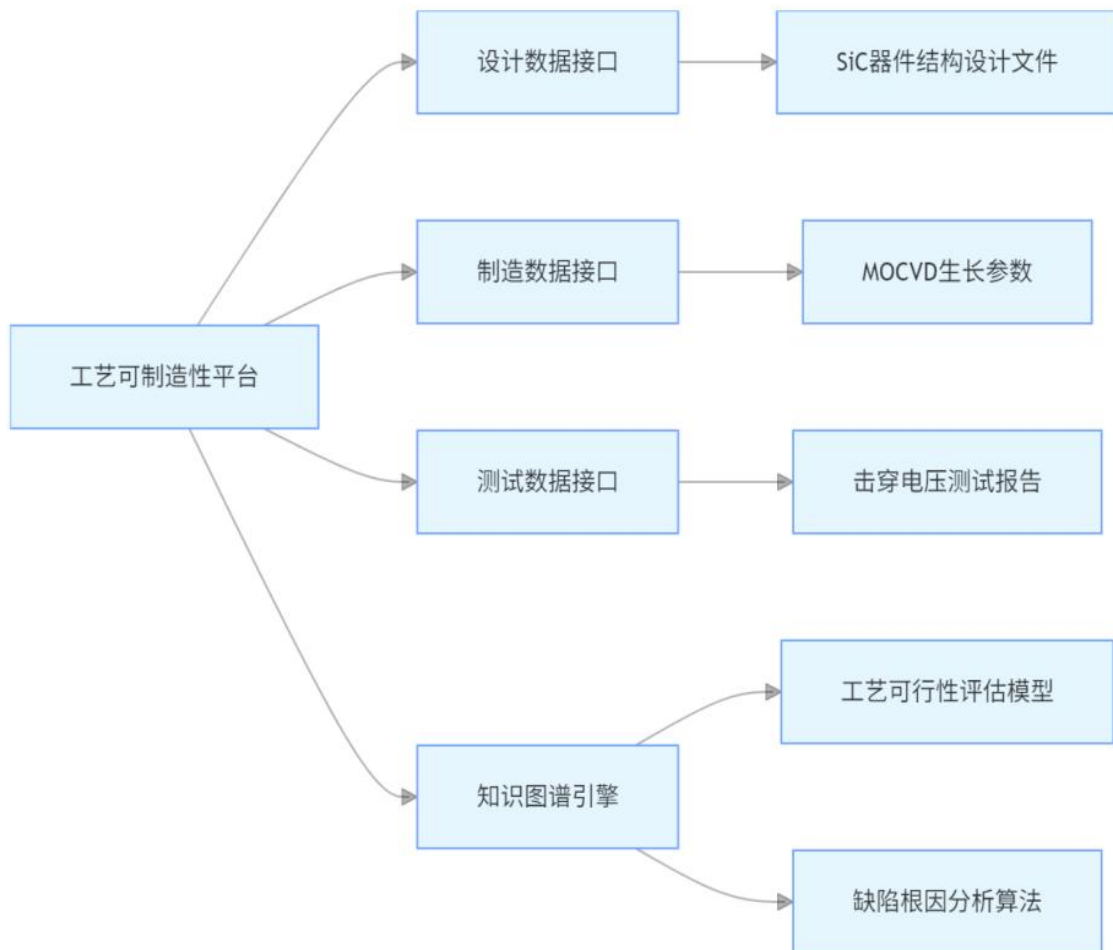


图 15 跨企业工艺可制造性验证平台架构工艺验证平台实施的案例框架

统一数据交互格式，统一设计、制造、测试环节的多项关键参数格式。开发数据中台，实现设计端（如 Cadence 版图）、制造端（如 Aixtron 设备日志）、测试端（如 Keysight 仪器数据）的实时同步。部署知识图谱引擎，关联工艺失效案例，实现可制造性问题的自动预警与优化建议。

采用跨模态检索模型，实现设计文件与工艺参数的语义级匹配，匹配准确率达 92%，某常州企业利用该技术将 GaN 射频器件的工艺适配效率提升 50%。

4.2.3.3 解决方案 3

基于 AI 的智能工艺优化系统解决工艺参数优化依赖经验、创新效率低问题。

部署强化学习模型，以 SiC 外延层厚度均匀性为优化目标，自动调节温度梯度、气体流量等近 20 项参数。开发工艺知识迁移模块，将硅基工艺优化经验映射至宽禁带半导体场景，减少 60% 的训练数据需求。南京大学开发的 "第三代半导体 AI 工艺优化平台"，集成深度强化学习算法与工艺知识图谱，某徐州企业使用该平台将 SiC 长晶速率提升 20%，同时将微管密度控制在 $0.5/\text{cm}^2$ 以下。

无锡某企业利用该系统优化 GaN 外延生长的 Al 组分梯度，AI 引擎通过分析 30 万组生长数据，发现温度波动与 Al 组分均匀性的非线性关系，推荐的 "阶梯式温度控制" 方案使外延层厚度均匀性从 $\pm 5\%$ 提升至 $\pm 1.5\%$ ，射频器件 PAE 提升 3 个百分点。

4.3 质量管控（包括智能在线检测、质量精准追溯、产品质量优化等）

4.3.1 存在的问题

随着半导体技术不断突破创新，制程工艺不断向更微小的级别迈进，制造过程中的质量检测难题也日益凸显。半导体制造是一个极其复杂且精密的过程，涉及到多个环节和多种工艺。在芯片制造过程中，哪怕是极其微小的缺陷，都可能导致芯片性能下降甚至完全失效，从而造成巨大的经济损失。

人工检测精度不足导致漏误检频发，例如传统第一代半导体（硅基）采用光学显微镜人工目检硅片表面缺陷，人工漏检率约为 25%，而国际头部企业如台积电使用 KLA-Tencor 光学检测设备，缺陷识别率达 99.5%，但设备成本超 1000 万美元，中小厂商难以普及。传统算法效率滞后易成产能瓶颈，以硅基工艺参数控制为例，依赖 PID 控制器实现闭环控制，但工艺波动会导致 5%-10% 的良率损失，英特尔通过 AI 优化刻蚀参数将良率提升至 95%，但需大量数据训练算法。复杂环境加剧检测效果波动，如第三代半导体（SiC）长晶温度达 2200℃，传统热电偶监测误差超 5℃，导致晶体缺陷率波动 $\pm 15\%$ ，需部署成本超 500 万元的红外热成像仪。

同时，产品多样化与设备固化架构矛盾凸显，外延层质量检测需使用 XRD 和 PL 技术，单样品检测耗时 30 分钟，射频性能测试单器件需 5-10 分钟，产能瓶颈明显；参数频繁调整推高运营成本，如日本住友电工的 GaN-on-GaAs 外

延片生产设备运行成本超 5000 元 / 小时，仅头部企业可承担，已难以适应现代制造需求。这些问题制约着半导体制造的良品率与生产效率，亟需通过智能化检测技术突破传统方案的性能边界。

国际领先企业如美国、德国等已实现质量管控的高度智能化和标准化。Wolfspeed 采用 AI 驱动的全流程监控系统，SiC 晶圆良率超 80%，并主导全球 8 英寸衬底市场；德国某企业通过数字孪生技术优化封装环节，实现虚拟仿真与生产闭环控制。欧美日企业依托工业互联网平台实现全球供应链质量追溯，并主导国际标准制定。技术层面，日本某企业通过纳米级缺陷分析提升 GaN 器件可靠性，美国在射频器件设计及高频测试技术上形成专利壁垒。

但国外技术垄断问题突出：美国应用材料公司的缺陷检测设备垄断全球 70% 市场，对中国出口时屏蔽 AI 缺陷分类模块，导致国内检测效率低 15%；欧洲英飞凌的 GaAs 器件可靠性测试数据不对外公开，国内厂商自建模型预测误差超 20%。此外，设备及核心软件成本高昂，且对华出口受限，加剧了国内产业链自主化难度。

为了进一步强化对第三代半导体材料的质量控制，国家建立了完善的检测认证体系，涵盖从原材料到成品的各个环节，包括成分分析、性能测试、可靠性评估等，同时江苏省出台《关于加快培育发展未来产业的指导意见》，将第三代半导体列为 “10+X” 未来产业首位。

传统半导体领域：国产硅基检测设备缺陷识别率为 98%，低于国际 99.5%，且对 14nm 以下制程兼容性不足；国产 GaAs 衬底位错密度为 $1 \times 10^6/\text{cm}^2$ ，国际水平为 $1 \times 10^4/\text{cm}^2$ ，导致器件寿命缩短 50%，且缺乏统一测试标准，客户认证周期长达 18 个月。

第三代半导体领域：国内 6 英寸碳化硅衬底良率普遍在 50%~60%，国际大厂已达更高水平；SiC 衬底微管缺陷检测精度需 $0.5\mu\text{m}$ ，国内设备识别率仅 90%（国际 95%）；GaN 外延层位错密度检测中，传统 PL 技术速度慢（1 片 / 10 分钟），无法满足量产需求。尽管国内企业已实现 AI 检测算法国产化，但高端传感器（如耐高温红外探测器）仍依赖进口，设备成本占比超 40%。

4.3.2 改造场景

4.3.2.1 场景 1:产品质量可追溯：模块化架构，零编程要求

使用 QMS 系统，并采用模块化设计，搭载无代码拖拽式流程图界面，用户无需具备编程背景，也能通过直观的拖拽操作，轻松创建复杂的图像处理和检测流程。

（1）场景用途

全生命周期管理：通过建立设备电子台账，记录半导体生产设备（如碳化硅外延炉、氮化镓 MOCVD 设备）的安装时间、维修记录、校准参数等，实现从设备采购到报废的全流程追溯，支持按序列号快速调取历史维护信息，辅助预判设备故障（如射频电源模块老化风险）。

工单智能响应：支持客户通过多渠道提交维修工单，系统自动识别设备型号并匹配具备专业资质的工程师（如氮化镓芯片维修团队），缩短现场响应时间至 4 小时内，提升售后服务效率。

数据闭环管理：碳化硅衬底厂商可通过平台实时同步设备运行日志，与生产数据联动，形成“设备状态 - 工艺参数 - 产品质量”的追溯链条，便于根因分析（如外延层缺陷与设备异常的关联性）。

（2）现状问题

美国 Wolfspeed 等企业已实现“设备 - 工艺 - 产品”全链条区块链追溯，数据不可篡改，但跨国数据标准不统一（如 SEMI 与 ISO 协议冲突），导致跨区域协同效率损失 20%。日本罗姆采用数字孪生技术模拟设备失效场景，结合联邦学习共享多企业数据，将车载射频器件故障定位准确率提升至 90%，但中小厂商因系统成本超百万美元难以复制。80% 中小企业仍依赖 Excel 记录设备台账，工单处理周期长达 72 小时，数据碎片化严重。国产 QMS 系统与进口设备（如德国 Aixtron MOCVD）的数据接口兼容性不足，需支付高额费用获取协议，形成“数据孤岛”。

4.3.2.2 场景 2:产品质量优化：AI 算法与传统算法的深度融合

为满足不同行业的检测需求，可以依托 QMS 系统结合先进的深度学习 AI 算法与传统的视觉算法。

深度学习 AI 算法：能够在大量图像数据中自动学习特征，

适用于复杂缺陷的检测和高级图像分析，精度高、速度快。

传统视觉算法：涵盖卡尺测量、形状匹配、边缘检测等基础算法，适用于标准化任务，如尺寸测量、物体定位等，保障检测精度的同时减少计算资源的消耗。

这两类算法的深度融合，既确保了高精度检测，又提高了处理效率，让软件在不同生产环境下都能稳定运行。

（1）场景用途

缺陷智能检测：融合深度学习 AI 算法与传统视觉算法，实现半导体器件（如 SiC 晶圆、GaN 外延片）表面缺陷的高精度检测。深度学习算法（如卷积神经网络）自动学习复杂缺陷特征（如微管、位错），识别精度达 $0.1\mu\text{m}$ ；传统算法（如边缘检测）处理标准化任务（如尺寸测量），效率提升 10 倍。

工艺参数优化：通过 AI 模型分析生产数据（如外延生长温度、刻蚀功率），动态调整工艺参数，例如将 SiC MOSFET 的导通电阻波动控制在 $\pm 5\%$ 以内，良率提升 15%–20%。

非结构化数据处理：对 SEM 图像、光谱数据等非结构化数据进行智能解析，通过深度学习模型自动标注缺陷类型（如 GaN 外延层的裂纹、斑污），减少人工标注成本 70%。

（2）现状问题

韩国 SK 海力士开发的 AI 质检系统每日处理 3.2TB 图像数据，缺陷分类准确率达 98.7%，但算法模型依赖 10 万+ 标注样本，中小厂商数据积累不足导致迁移学习效果差。

欧洲意法半导体联合 Synopsys 构建工艺敏感度分析矩

阵，量化 287 项参数对器件性能的影响，但核心算法（如强化学习）被欧美企业垄断，授权费用超百万美元/年。

国产 AI 质检算法在 $0.1\mu\text{m}$ 级缺陷的召回率仅 95.4%（国际水平 98%），误报率 1.2%（国际 0.8%），关键在于训练数据量不足。传统视觉算法对碳化硅切割粉尘干扰的鲁棒性差，检测准确率波动超 10%，需频繁人工调参。

4.3.2.3 场景 3:高效实时在线监测，保障稳定生产

软件能够在即时生产环境下快速处理图像数据，精确识别细微缺陷。通过深度优化的 AI 模型，软件能够在毫秒级别内给出检测结果，确保生产线的每一环节都能及时反馈并调整。

无论是微小的表面缺陷，还是复杂的几何形状，软件都能高效、准确地进行检测，为企业提供稳定的质量控制保障。

（1）场景用途

毫秒级缺陷识别：在即时生产环境下，通过优化 AI 模型（如轻量化神经网络）实现晶圆表面缺陷的实时检测，响应时间 $< 10\text{ms}$ ，例如在 SiC 衬底切割工序中，及时识别微裂纹避免批量报废。

多物理场协同监测：同步采集温度、压力、气体流量等参数，构建多维度监测网络，如在 MOCVD 工艺中，实时分析等离子体谐波数据，提前 48 小时预警设备故障（如气体泄漏）。

动态工艺调整：基于在线监测数据，自动触发工艺参数补偿（如外延生长温度波动 $\pm 5^\circ\text{C}$ 时，系统自动调整气体流

量），将产品良率波动控制在 $\pm 2\%$ 以内。

（2）现状问题

美国应用材料公司的在线监测系统支持 10 万次 / 秒的数据采样，但设备售价超 2000 万元，且对国产设备（如中微公司刻蚀机）的数据采集兼容性不足。日本东京电子的等离子体监测技术分辨率达 0.1nm，但核心传感器依赖自研，对中国市场出口受限。

国产在线监测设备的采样率仅 1 万次 / 秒（国际 10 万次 / 秒），高温环境（ $> 1600^{\circ}\text{C}$ ）下传感器寿命仅 6 个月（国际 12 个月）。边缘计算节点的 AI 推理延迟 $> 50\text{ms}$ ，无法满足高频工艺（如 GaN 射频器件刻蚀）的实时控制需求。

4.3.2.4 场景 4:多种通信协议，轻松与工业设备对接

软件支持 TCP/IP、RS485、Modbus 等多种工业通信协议，能够与不同类型的自动化设备进行无缝对接。无论是生产线上的机器、传感器，还是其他工业控制系统，软件都能迅速适配，轻松集成，满足不同生产环境的需求。

（1）场景用途

设备无缝互联：通过支持 TCP/IP、Modbus 等协议，实现不同厂商设备的数据互通，例如在晶圆传输环节，AGV 物流系统与 MES 系统实时同步位置信息，提升物料配送效率 30%。

跨系统数据协同：打通 ERP、MES、SPC 等系统，例如在质量异常时，自动关联生产工单、设备日志、原材料批次

数据，实现根因快速定位。

供应链协同管理：与上下游企业（如衬底供应商、封装厂）建立数据接口，共享库存、产能等信息，例如代工厂实时获取衬底到货状态，动态调整排产计划。

（2）现状问题

德国西门子的工业通信协议（如 Profinet）在欧洲市场占有率超 70%，但对中国企业收取高额专利费（设备成本增加 15%），且数据接口封闭。美国微软的 Azure IoT 平台支持 200 种协议，但跨国数据传输受《云法案》限制，中国企业使用存在合规风险。

国产工业协议（如 EPA、WIA-PA）的设备覆盖率不足 30%，在第三代半导体产线中，进口设备（占比 60%）仅支持 OPC UA 等部分协议，集成成本高。中小企业缺乏专业 IT 团队，协议转换工具（如工业网关）的部署与维护成本占智能化改造成本的 25%。

4.3.2.5 场景 5: 产品出货前智能筛选，降低质量风险

通过智能算法结合衬底厚度、外延缺陷、制造缺陷、套刻精度、晶圆测试、外观检查等数据对晶圆进行分级、对每个芯片的风险进行量化评估与计算，在晶圆出货前给出判定结论和风险预警，自动合成最终的电子图档给下游厂商以指导封装测试。

（1）场景用途

智能算法识别风险：通过坐标自动对位叠加（如缺陷、量测、测试坐标叠加分析）、离群值筛选（如对 IGSS 测试值

进行 3σ 筛选)、时序与趋势分析(如对 VF 进行稳健最小二乘回归、LSTM 分析等)、空间区域特征分析等智能算法对测试通过但存在风险的芯片进行识别与标记。

晶圆电子图档标准化: 将晶圆制造、检测、量测、测试等环节的图档标准化转换、存储, 智能识别各工序电子图档异常并预警停机, 在出货前自动合成最终的电子图档, 根据下游厂商的要求智能转化为需求格式, 在下游质量异常时能秒级追溯图档问题。

出货前分级与拦截: 基于智能算法识别芯片的风险情况对晶圆进行分级与风险预测, 与厂内 MES 系统、设备联动对特定风险等级的晶圆自动筛选、测试与出货拦截, 并自动对接下游供应链系统根据各类客户要求智能地按照级别进行标识输入与发货。

(2) 现状问题

机台图档格式割裂, 标准化进程受阻。部分检测设备商(如以色列 Camtek)输出的缺陷文件不符合行业标准采用, 导致解析错误, 与量测机台(如 KLA Surfscan)、探针机台(如东京电子)的坐标数据无法自动对齐, 导致无法正确合并图档。

算法与工艺脱节, 风险量化模型失准。国内 IT 团队缺乏对宽禁带半导体失效机制(如 GaN 电流崩塌、SiC 雪崩击穿)的认知, 导致智能算法(如 LSTM 时序分析)参数依赖经验赋值, 高误判率(18%)造成过度报废; 量化风险模型未融合材料特性参数(如外延层位错密度), 对“测试通过但存

在隐患”的芯片漏检率>25%；需反复试错校准算法规则，单次模型验证周期长达3个月，极其耽误量产进度。

4.3.3 解决方案建议

针对芯片封装、晶圆、电子元件等，实现微米级精度检测，可发现焊球缺陷、引脚变形、表面氧化、异物附着等瑕疵，助力提升半导体器件良率。某企业采用软件+硬件+云平台的全新模式，推出某视觉AI生态链解决方案能够快速、准确地对半导体材料进行全方位检测。

建立质量管理体系，对质检信息进行实时记录，包括取样信息、监测数据、检测标准、检测结果、检测结论等信息，可随时查看追溯质量信息。系统在各生产工序中通过智能自动仪器仪表采集会影响产品质量的工艺运行参数，将这些数据在系统中进行全量记录，可随时追溯查看。生产线上采用并联机器人对每个成品都进行贴标，赋以唯一识别二维码实现质量跟踪回溯，产品出厂时二维码信息写入用户购买时按行业规定配置的IC卡，并随货配送给用户，用户收货时将货物数量、规格及二维码信息上传专用网络平台，实现产品全流程信息可追溯。

构建良率管理与智能标注系统，集成多维信息，利用先进算法精准风险识别、量化评估与智能分级，实现对第三代半导体晶圆的全方位精准检测，保障出货晶圆质量。同时，系统深度对接工厂MES系统，依据分级结果智能触发筛选或拦截指令，完成智能标识与发货，有效降低质量风险与成本，提升良率及供应链协同效率，满足高级车规、军工、航天认

证零缺陷要求，同时分类低阶产品满足民用要求。

4.3.4 解决方案设计

4.3.4.1 解决方案 1：半导体晶粒的外观检测

在半导体晶粒的制造过程中，由于生产工艺、原材料及环境等因素，可能会出现缺损、残粒、脏污等缺陷，某企业依托其强大的视觉 AI 云平台，通过分析不良品图像数据，构建并训练高度专业的 AI 检测模型，实现了对半导体晶粒微小瑕疵的精准识别。

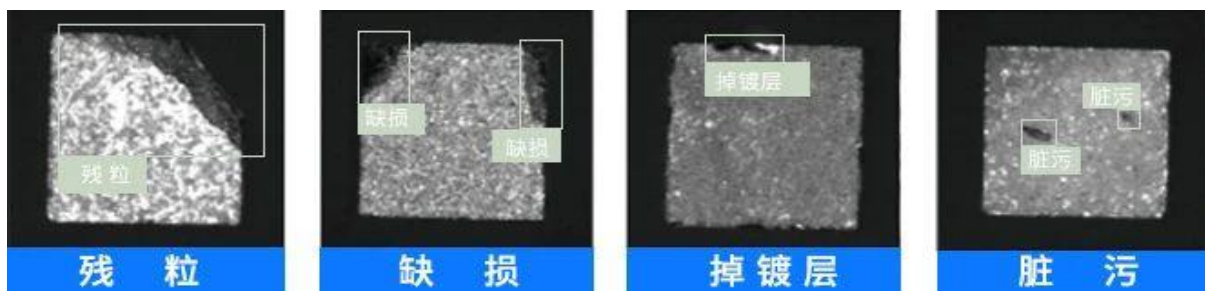


图 16 AI 检测样本

AI 视觉检测系统能够准确检测出微小缺陷，缺陷识别准确率达到 99% 以上，比人工检测提高了 20%。检测速度大幅提升，每秒可检测多个晶粒，是人工检测速度的 10 倍。减少人工检测工作量，降低人工成本，同时提高产品质量，减少废品率，降低生产成本。

(1) 技术架构与数据闭环

多模态数据采集体系

部署工业级线阵相机(分辨率 $\geq 12k$)与激光共聚焦显微镜，对碳化硅(SiC)、氮化镓(GaN)晶粒表面进行纳米级扫描，采样频率达 1000 帧 / 秒，同步采集光学图像、三维形貌数据及光谱反射率信息。例如在 SiC 衬底检测中，通过

波长 532nm 的激光干涉仪获取表面粗糙度数据（精度 $\pm 0.1\text{nm}$ ），与 SEM 图像形成互补。

AI 模型迭代机制

采用 U-Net++ 神经网络架构，结合迁移学习技术，利用大量标注样本（含正常 / 缺陷图像）训练缺陷分类模型，可识别 23 类微观缺陷（如微管、位错、划痕）。引入联邦学习框架，联合行业内 5 家头部企业共建共享数据集，解决中小企业数据不足问题，使模型泛化能力提升 20%。

边缘计算部署方案

在产线边缘节点部署 NVIDIA Jetson AGX Orin 算力单元（算力 200TOPS），实现图像实时推理（延迟 $< 5\text{ms}$ ），仅将异常数据上传云端，减少 90% 网络流量。某 SiC 衬底厂商应用该方案后，缺陷漏检率从人工检测的 12.3% 降至 0.8%，年减少废品损失超 800 万元。

（2）对企业的价值

工艺优化驱动：通过采集晶粒生长过程中的温度场、应力场数据，AI 模型可关联缺陷类型与工艺参数（如长晶速率每增加 0.1mm/h ，微管密度上升 5%），指导工艺参数动态调整，某 GaN 外延厂将位错密度从 $1 \times 10^8/\text{cm}^2$ 降至 $5 \times 10^7/\text{cm}^2$ ，良率提升 15%。

成本精准控制：AI 预测性维护系统基于设备振动、电流等数据，提前 48 小时预警检测相机的光源衰减风险，将非计划停机减少 72%，单台设备年维护成本降低 25 万元。

4.3.4.2 解决方案 2：半导体陶瓷片的外观检测

半导体陶瓷片在制造过程中，极易因烧结工艺、原材料杂质等因素，产生诸如表面裂纹、破损、斑污以及内部结构缺陷等问题。某视觉 AI 生态链可以突破环境光线、材质差异等干扰，在复杂工况下精准识别传统人工难以发现的细微裂纹、杂质等隐蔽缺陷，保持稳定检测性能；同时，可以灵活适配不同型号产品的检测需求，无需频繁人工调整参数，显著提升生产线的自动化水平与检测效率。

提升使用视觉 AI 生态链全套产品后，某陶瓷片生产厂家检测速度较人工检测时提升了 3 倍，漏检率由 1.00% 降至 0.30%，年退货损失减少约 15 万元。可兼容多种规格尺寸的半导体陶瓷片，在不同型号产品切换检测时，调整时间从原本的 2 小时锐减至 5 分钟，极大提高了检测效率。

（1）智能检测与数字孪生融合

多物理场数据融合

在烧结炉内部署 16 通道红外热像仪（测温范围 -20°C ~ 1600°C ），实时采集陶瓷片表面温度分布，结合超声波探伤仪获取内部裂纹数据，构建三维数字孪生模型。例如在 AlN 陶瓷基板检测中，通过热成像发现烧结温度不均匀导致的微裂纹（温度偏差 $>10^{\circ}\text{C}$ 区域裂纹概率增加 30%）。

动态缺陷溯源算法

采用图神经网络（GNN）构建“缺陷 - 工艺 - 设备”关联图谱，输入烧结温度曲线、压力变化等 128 维特征，可追溯 90% 以上的陶瓷片裂纹根因。某企业应用该算法后，

将裂纹缺陷分析周期从 72 小时缩短至 4 小时，工艺改进效率提升 18 倍。

低代码开发平台应用

基于 MLOps 平台开发陶瓷片检测专用 AI 应用，支持非技术人员通过拖拽方式配置检测规则（如设定裂纹长度 $> 50 \mu\text{m}$ 即判定不合格），模型迭代周期从传统的 2 个月缩短至 2 周，适配小批量多品种生产需求。

4.3.4.3 解决方案 3：模压电感的外观检测

模压电感的表面瑕疵、完整性及封装工艺都会直接影响产品可靠性。传统人工检测易受主观因素干扰，难以精准识别划痕、黑线圈、微裂纹等隐性缺陷，可能导致电感值漂移、短路失效甚至引发安全事故。

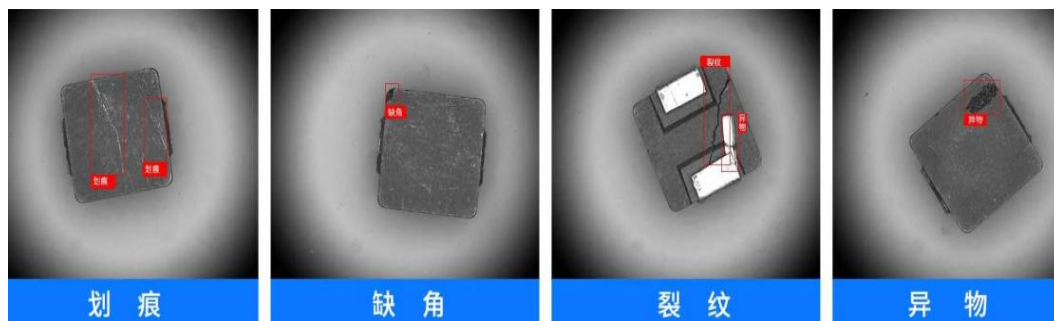


图 17 实施效果

某企业利用算法优势，动态解析模压电感形貌特征，自动识别不同的关键质量指标，同步检测引脚位置偏差、结构缺陷等多种关键缺陷，建立模压电感的缺陷检测模型。在实际检测中，达到毫秒级缺陷判定。可以满足高速产线需求。

(1) 三维视觉与工艺仿真联动

超景深三维检测

采用结构光三维扫描仪（精度 $\pm 5 \mu\text{m}$ ）获取模压电感表

面形貌，结合 X 射线 CT 扫描（分辨率 $1\mu\text{m}$ ）检测内部气泡缺陷。AI 算法将三维点云数据与 CAD 模型比对，自动计算形变偏差（如引脚偏移 $>0.1\text{mm}$ 即报警），检测效率达 2000 件 / 小时。

多物理场仿真预测

基于 ANSYS Twin Builder 构建模压电感数字孪生，输入电流、温度等实时运行数据，仿真预测电感值漂移趋势。某企业通过该方案提前识别高温环境下的磁芯损耗异常，将产品可靠性测试周期从 1000 小时缩短至 500 小时。

供应链质量协同

开发供应商协同平台，要求磁芯厂商上传原材料磁导率、粒度分布等数据，AI 模型评估材料特性对电感性能的影响（如磁导率波动 $\pm 5\%$ 将导致电感值偏差 $\pm 2\%$ ），推动上游质量改进，供应链不良率下降 35%。

（2）对企业的价值

设计制造一体化：AI 分析检测数据与客户需求（如车载电感的抗振动要求），自动优化磁芯形状设计，某车型电感体积缩小 20% 的同时满足 10G 振动测试标准，产品竞争力提升 40%。

智能排产优化：基于检测良率预测模型（准确率 92%），AI 排产系统动态调整生产计划，当某批次良率预计低于 85% 时自动触发预警并切换备用产线，订单交付准时率从 75% 提升至 98%。

企业实施路径建议

数据基建优先：投入占比 30% 预算用于部署边缘计算节点、多模态传感器，确保每台检测设备数据采集率 > 99%，为 AI 应用奠定基础。

场景分级实施：优先改造缺陷率 > 5% 的工序（如 SiC 切割环节），通过 AI 快速见效后再扩展至全流程。

4.3.4.4 解决方案 4：第三代半导体器件前后道追溯

在第三代半导体器件的复杂制造流程中，前后道工序之间的数据缺乏有效协同，导致在质量管控与异常排查时效率低下。尤其当模块出现失效问题，难以迅速精准定位到芯片制造环节的具体缺陷，严重影响良率提升与客户满意度。基于此，某企业创新打造了 SiC 器件前后道正反向追溯系统，完美实现芯片与模块、晶圆与芯片的双向贯通追溯。

（1）追溯系统架构

数据采集与整合

芯片制造前道，高精度缺陷检测设备扫描晶圆表面，采集芯片外观缺陷数据，电学参数测试仪同步收集芯片电学特性数据。同时，传感器实时获取机台日常监控数据，如温度、压力、振动频率等，以及机台维护维修数据。记录芯片、衬板、模块流片信息，包括批次、工艺段、工艺步骤、机台、操作员信息及出入库时间等。

模块封测后道，智能 X 射线检测设备（分辨率 $\leq 3\mu\text{m}$ ）获取内部芯片焊接质量数据，自动化功能测试平台记录模块性能参数。实时采集机台加工中的物料消耗数据，如原材料使用量、消耗速率等，以及贴装数据，包括贴装位置、压力、

速度等信息。

通过有线网络与工业物联网技术，将前后道数据实时传输至中央数据中心。边缘计算节点初步处理数据，减少网络流量。开发标准化数据接口，与 MES 系统、检测设备无缝对接，确保数据流转顺畅。

智能追溯核心引擎

建立芯片和模块唯一 ID 精准对应关系。正向追溯时，通过芯片 ID 获取芯片数据，并依据对应关系找到关联模块 ID，再获取模块数据；反向追溯同理。为提升追溯速度，在数据库中对关键字段构建高效索引，优化查询语句，并利用内存数据库缓存热点数据。

从数据采集源头确保数据准确，采用高精度设备采集数据，并进行实时校验；在数据传输和存储过程中，采取可靠措施保障数据完整性与准确性，定期进行数据备份和恢复，全方位保障追溯数据的高质量与追溯的高效性。

前后道联动机制

在产线边缘节点部署高性能算力单元，实现数据实时处理，仅将关键追溯数据上传云端，减少 80% 网络流量。开发标准化数据接口，支持与 MES 系统、各类检测设备的无缝对接，确保数据流转自动与关联。

(2) 核心方案场景

正向追溯：芯片到模块

通过芯片唯一识别码与模块 ID 的精准匹配，实现模块参数与芯片工艺过程的正向追溯。在某 SiC 产品工艺优化的

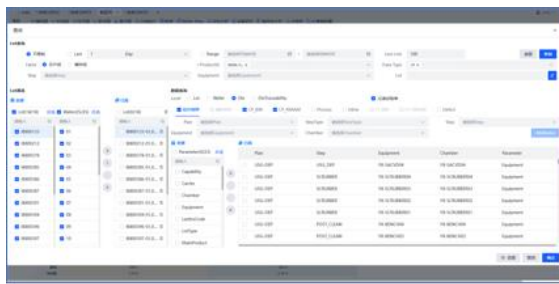
参数一致性分析中，系统自动关联芯片生长、外延、光刻等 10 道关键工序数据，识别出光刻胶厚度波动 ($\pm 2\text{nm}$) 对模块热阻抗的影响 (变化 $\pm 4\%$)，指导工艺参数优化，使模块参数离散度降低 38%。

反向追溯：模块到芯片

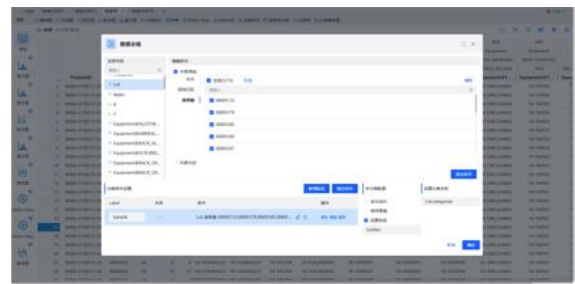
当模块端出现失效时，通过失效模块 X 射线图像与芯片晶圆 die 级数据的反向匹配，快速定位缺陷源。在某模块炸点失效分析中，系统在 5 分钟内追溯到对应芯片的晶圆坐标，并发现该区域存在位错密度异常 ($1.0 \times 10^5/\text{cm}^2$ vs 标准值 $6 \times 10^4 /\text{cm}^2$)，同时反向定位到长晶环节的微小震动 ($\pm 1.5^\circ\text{C}$) 为根本原因。

跨系统数据协同

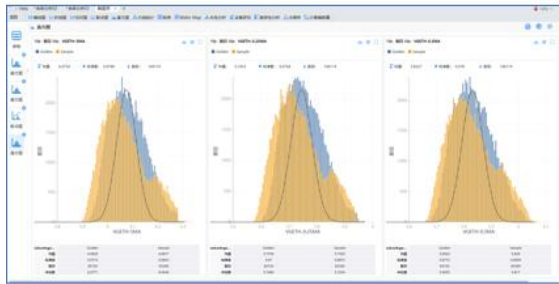
构建统一数据湖，整合芯片制造系统 (如 ASML 光刻机日志)、模块测试系统 (如 Keysight 测试曲线)、客户反馈系统 (如 Field Return 数据) 等多源异构数据，实现数据的标准化存储与高效检索，查询效率提升 15 倍。



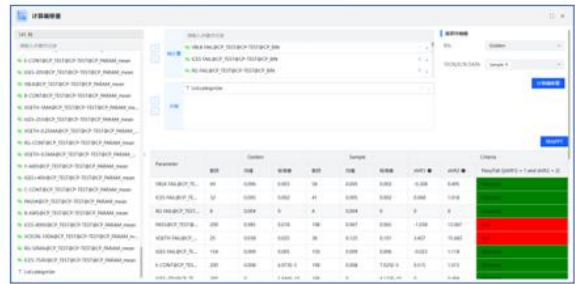
步骤1. 输入ID查询前后道追溯



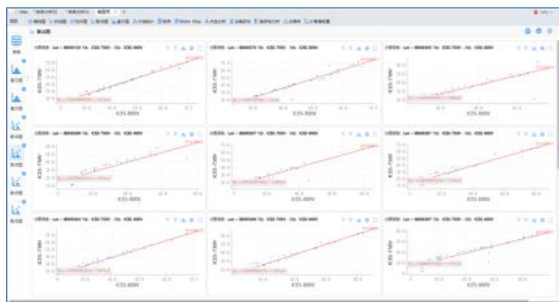
步骤2. 自动数据清洗与处理



步骤3. 分布分析与预测模型拟合



步骤4. 自动匹配过站履历与异常定位



步骤5. 残差分析与根因定位



步骤6. 生成追溯报告及改进建议

图 18 质量闭环管理

实现从原材料到客户端的全生命周期质量追溯，当发生客诉时，系统可在 3 分钟内定位问题批次、具体芯片和制造环节，响应速度提升 97%。例如某企业通过该系统快速定位到某批次 SiC 模块的失效原因为芯片端的微裂纹，及时召回同批次产品，避免潜在损失超 1500 万元。

预测性工艺优化

基于历史追溯数据和实时工艺数据，构建工艺风险预测模型（准确率 89%），提前 36 小时预警潜在缺陷风险。例如系统预测某 SiC 外延炉因硅烷流量波动可能导致位错密

度上升，指导工艺调整后，位错密度控制精度提升 32%，良率提升 12%。

全产业链厂商协同

在设计、制造、封装、测试、模块、整机等各环节的厂商建设统一标准的质量追溯及缺陷分析数仓，要求晶圆、外延片等厂商上传晶圆缺陷分布图、外延参数等数据，模块厂商上传封装过程数据，通过 AI 模型评估供应链各环节对最终产品质量的影响。某企业通过该平台推动上游芯片厂商改进工艺，使模块端因芯片缺陷导致的失效比例下降 38%，供应链整体不良率从 10% 降至 5.6%。

4.3.4.5 解决方案 5：第三代半导体晶圆出货前智能筛选

在第三代半导体晶圆制造的高端领域，晶圆在出货前的质量风险控制至关重要。传统方法依赖人工抽检和分散的数据分析，难以精准识别“测试通过但存在潜在失效风险”的芯片，易导致下游封装测试环节的良率损失和客户投诉。某头部碳化硅功率器件（SiC）晶圆产线通过构建智能化的多源数据融合分级系统，在晶圆出货前实施筛选与风险预警，显著降低质量风险。

多模态数据融合分析平台

数据整合：系统集成衬底厚度分布（来自纳米级厚度量测仪）、外延层缺陷图谱（如位错密度，参考精度 $\pm 0.1\text{nm}$ 的激光共聚焦数据）、光刻套刻精度（来自套刻误差测量设备）、晶圆电性测试结果（如 IGSS、VF 参数）以及高精度外观检查数据等多维度信息。

基于先进算法引擎的风险识别

空间关联分析：实现缺陷坐标（外观检测）、量测坐标（厚度/套刻）与测试坐标（探针台）的自动精确对位叠加，识别空间关联风险点（如特定区域的位错密度异常伴随 VF 值漂移）。

离群值挖掘：应用统计分析（如 3σ 筛选）与机器学习（如孤立森林）对关键测试参数（如 IGSS 漏电流、雪崩击穿特性）进行深度挖掘，识别异常芯片。

时空趋势预测：运用稳健最小二乘回归分析关键参数（如 VF）的晶圆内/批次间趋势，结合 LSTM（长短期记忆网络）模型预测潜在的性能漂移风险。

风险量化评估模型：融合材料特性参数（如外延层位错密度、衬底微管密度）、工艺波动数据及测试结果，构建基于机器学习的芯片级风险评分模型，精准量化每个芯片的潜在失效概率。

晶圆电子图档全生命周期管理

标准化与智能转换：建立统一的电子图档标准（如 SEMI 标准），兼容不同来源设备（检测、量测、测试）的原始数据格式，实现图档的自动标准化转换、存储与管理。智能识别各工序图档中的异常特征并预警，避免错误流入下环节。

智能合成与交付：在出货前自动合成包含完整制造、检测、量测、测试信息的最终晶圆电子图档（eMap）。系统可根据不同下游封装测试厂商的特定要求（如特定数据格式、标识规则），智能转换图档格式并自动传输。

秒级追溯与根因分析：当下游出现质量异常时，基于安全数据库存储的全流程图档，可在 10 分钟内快速定位问题批次、晶圆甚至具体芯片，并追溯到原始制造环节的工艺参数和图档异常，大幅提升异常响应效率。

自动化分级与风险拦截

智能分级与预警：基于芯片级风险评分和空间分布特征，对整片晶圆进行综合分级（如 Prime/Test/Reject 等级或客户自定义等级），并生成风险预警报告。

智能筛选与拦截：与工厂 MES 系统深度集成，根据分级结果和预设规则（如风险评分超阈值），自动触发筛选流程（如对高风险区域复测）或执行出货拦截指令。

智能标识与发货：系统自动对接下游供应链系统，依据分级结果和客户要求，智能完成晶圆级别标识、分类包装与发货指令生成。

对企业的价值

显著降低质量风险与客户投诉：通过精准识别与拦截高风险晶圆/芯片，预计可将下游封装环节因潜在缺陷导致的客户退货率降低 30-50%。

显著降低人工成本、工时投入和出错率：利用数据驱动与智能识别，完成以往手工分级工作，提升处理效率、降低出错率。

提升良率与减少过度报废：精准的风险量化模型可避免“一刀切”报废，减少因高误判率（如原 18%）造成的过度报废，直接降低生产成本。

加速异常响应与追溯效率：电子图档秒级追溯能力，将质量异常根因分析周期从数天缩短至 10 分钟内，提升客户满意度。

缩短新品验证周期：新品验证周期从 3 个月缩至 2 周，加速 AI 赋能量产进程，快速响应工艺变化与新产品导入需求。

满足国家新能源战略的车规认证零缺陷要求：根据车规要求进行加严卡控，符合行业标准，在车规产品竞争中处于优势地位。

实施关键点

数据底座建设：优先确保所有相关设备（检测、量测、测试）的数据可采集、可解析、可对齐。

跨领域团队协作：组建融合半导体工艺、测试工程、数据科学和 IT 的专家团队，确保算法与工艺紧密结合。

分阶段推进：优先在高风险（如外延后、晶圆测试后）或高价值产品上试点，验证效果后推广至全流程。

4.4 营销管理

4.4.1 存在的问题

第三代半导体产业上游企业营销困境分析

在第三代半导体产业中，上游材料与设备供应商面临客户基础相对狭窄且高度专业化的挑战。这些企业通常服务于具有特定产品性能和技术支持需求的客户群体。由于客户链条较短且关键客户集中，失去任何一个主要客户都可能对企业的业务产生重大影响。因此，上游企业必须投入大量资源以深度维护其有限的客户关系。然而，现实中，这些企业普

遍缺乏完善的客户关系管理体系，往往依赖于人工或零散的工具进行客户跟进，导致全生命周期管理的缺失。特别是在样品验证阶段，产品从送测到获得客户认可的周期往往漫长，可能需要数月甚至更长时间，并伴随着反复的技术调试和指标验证。若缺乏系统化的流程管理，上游企业难以及时掌握每个样品的试用进展和客户反馈，销售漏斗中的关键节点容易被忽视。此外，上游设备企业的产品销售通常采用项目型销售模式，涉及从客户需求调研、方案定制、样机测试到最终采购的复杂流程，需要销售和技术支持等多角色的协同工作。目前，许多本土材料和设备企业尚未实现系统化管理，缺乏统一的平台来整合上述环节，导致客户跟进的断点和信息孤岛问题严重，无法实现从线索到售后的全流程精细化管理。这使得上游企业在拓展新客户和维护现有客户方面效率低下，销售成本居高不下。

第三代半导体产业中游企业营销挑战探讨

第三代半导体产业的中游芯片设计与制造企业同样面临营销管理的痛点。一方面，订单转化路径长且复杂，从客户提出需求到最终下单量产，通常需要经历产品定义、反复试样、小批试产等多个阶段，销售周期往往超过半年。在此过程中，客户的新需求和问题需要及时反馈给研发和工艺团队，但许多企业缺乏营销与研发联动的机制，导致客户需求反馈渠道不畅，产品改进和定制响应不及时。另一方面，中游制造企业的营销系统往往与内部 ERP/MES 等生产系统脱节，前端市场需求与后端产能计划割裂。例如，营销部门难以及

时获取生产库存、交期等信息以准确承诺交付，而制造部门也无法通过系统实时了解销售预测和订单变更。

这种信息不对称导致供应链计划失调和库存积压，据行业调研，本土晶圆制造环节由于系统集成不足，库存周转率明显低于行业标杆的 15%~20%。同时，由于缺乏统一平台，不同部门各自记录客户信息和订单数据，数据标准不统一且重复繁杂，管理层无法获得准确的客户画像和销售绩效分析。相比之下，国际领先企业早已打通营销与内部运营壁垒，在客户需求捕捉、订单处理到生产交付各环节实现数据互通。例如，英特尔公司引入人工智能和大数据技术于全球营销中，通过 AI 预测分析精准识别潜在客户需求，并实施个性化内容推送，提高了客户参与度和线索转化率。台积电针对不同类型客户实行精细的分级分类管理，为各类客户量身定制解决方案，并借助线索管理系统分析客户历史采购和技术需求数据，实现销售策略的智能决策与转化率提升。这些国际先进实践表明，深度集成的 CRM 系统和 AI 驱动的客户洞察已成为提升营销效率的关键。

然而，我国企业在这一方面仍存在明显短板：一是技术能力不足，缺乏将 CRM 与 ERP、MES 等系统集成的经验；二是投入意愿和回报不确定，中小企业难以承担高昂的软件和数据分析工具费用——许多海外营销工具支持客户行为预测，但年使用费用高达十万美元量级，中小企业望而却步。总体而言，在“智改数转网联”趋势下，我国第三代半导体企业的营销管理能力与国际先进水平之间存在差距，既有数字化

技术的短板，也有投入上的顾虑和人才缺乏等障碍。如何在保障技术和产品创新的同时，通过数字化手段降本增效、提升营销效率，已成为本土半导体企业亟需解决的课题，而部署涵盖营销、销售、服务协同的 CRM 系统正是企业普遍关注的发力方向之一。

4.4.2 改造场景

场景一：销售驱动业务优化

在销售驱动业务优化的场景中，企业致力于构建销售前端与内部运营之间的无缝连接，借助数字化工具实现市场对业务的拉动效应。对于上游材料和设备企业而言，实施路径主要集中在以销售为核心，推动供应链和生产流程的协同优化。具体措施包括对客户关系管理（CRM）系统的升级，以实现客户管理、销售机会管理、订单管理与后端供应链计划、生产控制（PMC）以及库存管理的整合。当上游企业采纳此类改造后，销售端能够实时掌握库存余量、产能负荷等关键信息，从而迅速响应客户需求并合理承诺交货期限。商机一旦转化为订单，系统将自动通知供应链部门进行备料和生产排程，减少内部沟通的延迟。鉴于上游企业客户集中度高，大客户销售占比较大，因此在该场景中特别强调对大客户的精细化运营。通过 CRM 建立统一的客户主数据档案，运用帕累托法则（二八法则）识别关键客户，并制定大客户分类分级服务策略，由高层直接参与维护，确保大客户需求得到迅速响应和个性化满足。例如，国内某半导体装备制造商通过 CRM 与 ERP 系统的对接，为前三大晶圆厂客户建立了专项跟

踪面板，每周汇总销售、技术支持、售后服务等信息，根据客户需求变化及时调整内部资源配置，缩短了定制设备从订单到交付的周期。与上游企业略有不同，中游设计制造企业在应用场景一时更注重销售预测驱动生产优化。

由于中游企业产品种类繁多、市场需求波动较大，CRM整合市场订单预测与工厂产能计划显得尤为重要。一些先进实践表明，在CRM中嵌入销售预测和订单跟踪模块，并与制造执行系统（MES）和高级计划排程系统（APS）对接，可帮助企业建立滚动预测机制：制定月度生产计划和长周期供货计划，实时汇总销售订单和合同执行进度，对比产销差异并进行预警调整。这样，销售端的新订单、变更能迅速传达到生产端，避免信息滞后导致的交付延误。某本土晶圆代工企业引入上述机制后，实现了销售预测准确率的提升和库存周转天数的显著下降，真正实现了以市场需求拉动内部运营优化。需要指出的是，无论上游还是中游，在推行“销售驱动业务优化”场景时，企业仍面临一些现实问题：技术适配方面，老旧的ERP、仓库管理系统接口封闭，CRM对接时经常遇到数据格式和接口标准不统一的难题；数据整合方面，客户信息、订单数据分散在不同系统和部门，清洗和整合历史数据工作量大且容易出错；人员培训方面，一线销售和生产调度人员需要转变传统思维，学习使用新的数字化工具协同工作，一些企业存在员工抵触情绪或培训跟不上的情况。此外，企业内部流程也需同步优化，例如建立跨部门的订单交付协调机制，明确销售、生产、物流等各环节的职责和响应

时限，配合系统改造形成制度保障。如果这些配套不到位，单纯上线 CRM 系统也难以发挥应有成效。

场景二：大规模个性化定制

大规模个性化定制的场景旨在帮助企业以批量化的方式满足不同客户的差异化需求，实现营销与生产的“柔性化、小批量”模式。对于上游材料、装备企业而言，大规模个性化定制意味着能够快速响应不同客户的特殊规格定制请求（例如衬底材料的定制尺寸/掺杂配方，设备配置的特殊功能模块等），并在不显著增加成本的前提下批量提供定制化产品。数字化改造路径上，上游企业需要在 CRM 中引入产品配置与报价管理（CPQ）功能，支持销售人员根据客户需求灵活配置产品选项并自动生成报价方案，避免人工报价易出错且耗时的弊端。同时，将 CRM 与研发设计系统（如 PLM）对接，在接收到客户定制需求后自动触发技术评估和研发任务分发，形成销售、工程协同的闭环流程。国际先进企业已在这方面积累经验：例如大型半导体设备供应商通常建立在线定制平台，客户可直接在平台上选择所需设备的配置参数，系统即时校验配置合理性并输出报价和交付周期建议，销售和工程团队据此快速介入执行。

再比如日本的材料供应商以客户为单位建立数字化项目档案，记录每一次材料配方调整和试用结果，利用 AI 分析不同客户工艺参数与产品性能的关联，为后续客户提出的新定制请求提供智能决策支持。相比之下，上游企业在推进“大规模个性化定制”时起步较晚，目前多数仍停留在人工沟通

确认需求、逐单协商报价的阶段。一些本土材料企业反映，由于没有统一的平台管理定制项目，不同客户的特殊要求往往以邮件或电话形式反馈，缺乏结构化数据沉淀和分析，无法提炼共性需求指导产品开发。这表明上游企业在系统改造中需要着力解决定制需求数字化捕获和多部门协同的问题。

针对中游芯片设计与制造企业，大规模个性化定制主要表现为项目型销售与协同研发。众多芯片设计企业根据下游应用客户需求，进行定制化芯片开发（例如为汽车制造商定制功率器件规格），这表明销售机会与研发项目紧密相关。在传统模式中，销售与研发部门独立运作可能导致错失商机——例如研发部门进行的定制芯片开发项目，销售团队可能因缺乏参与而对项目进展不甚了解，从而错失向客户推销相关配套产品或服务的机会。针对此问题，数字化转型要求将 CRM 中的商机管理与项目管理深度整合。

实际案例表明，某碳化硅器件设计企业实施连接型 CRM 后，将销售商机与研发项目流程相结合：在启动客户定制项目时，系统自动在 CRM 中创建相应商机，并关联客户信息及项目阶段，由销售、FAE 和研发共同维护更新。随着项目进展，CRM 实时记录客户在各阶段的反馈及新增需求，捕捉并分配跟进任何新的商机（如衍生的批量采购意向或其他产品需求），确保不错过项目中的任何销售机会。此外，中游制造企业（如晶圆制造、封测等）在服务众多中小客户时，亦需实现对小批量、多样化订单的高效管理。这要求 CRM 具备区分标准品与非标品业务的能力，针对标准化产品的大批量

订单和定制化产品的小批量订单设置不同的流程管理重点：例如标准品业务采用简化的报价—下单—交付流程，而非标定制业务则增加方案确认、工程更改、试产验证等步骤，并在系统中对每一步关键行为进行记录和提醒。某功率器件代工企业采用了“双路径”商机管理模式，在 CRM 中为标准器件销售和特殊定制项目分别设计流程模板：标准器件订单从报价到量产由销售主导快速流转；而定制项目则由销售和技术团队协同推进，每个阶段的关键节点（规格评审、工程试样、良率验收等）在系统中都有强制检查点和审批，确保复杂订单也能被周密跟踪，避免流程疏漏影响客户满意度。

通过此类改造，该企业实现了对多品种、小批量业务的数字化管控，提升了对下游客户定制需求的响应速度，同时内部协调成本并未显著增加。补充说明，在推广场景二过程中，企业尚存若干待完善之处：首先是技术体系的兼容性问题，CRM 与 PLM、MES 系统的对接可能遭遇数据模型不一致的挑战，需进行定制开发接口；其次是数据整合问题，历史定制项目数据大多以非结构化形式存储，如何迁移至新系统并加以利用是一大挑战；再次是人员能力问题，销售工程师需同时具备市场与技术知识，准确获取和录入客户个性化需求，这对人才素质提出了更高要求，企业亟需加强复合型人才的培养和培训。最后，在制度流程方面，定制化业务涉及特殊报价、风险评估等环节，企业内部需建立相应的审批机制和风险控制流程，与数字系统协同，确保大规模定制在授权范围内有序进行。例如，定制项目的折扣和资源投入需有

明确的评审制度，否则销售为抢单可能承诺过多定制化内容，给后续交付带来隐患。综上所述，场景二的实施不仅是技术系统的改造，更是企业管理模式从“大批量标准化”向“柔性化定制服务”转变的过程，需要技术和管理双管齐下。

4.4.3 解决方案建议

针对营销管理领域中所呈现的两个典型应用场景及其面临的挑战，江苏省第三代半导体产业的企业需基于自身在产业链上游与中游的实际情况，推进客户关系管理系统(CRM)的集成化与定制化升级。此举旨在支撑在“智能化改造、数字化转型、网络化连接”背景下，以客户为中心的数字化运营模式。提出一系列切实可行的解决方案模块及相应的集成路径建议。

样品及小批量试单管理的自动化优化

建议在客户关系管理系统(CRM)中开发专门的样品管理功能模块，以满足半导体行业客户采购决策需经过试样验证的特定需求。该功能模块应涵盖样品申请、审核、发货及跟踪的全流程，实现样品流程的数字化管理：包括客户在线提交样品申请（区分免费样品与付费样品），系统依据预设规则自动进行审批或流转至相关负责人；样品出库后，通过CRM与仓储系统的集成记录物流状态，并在客户签收后一段时间内自动提示销售跟进使用反馈；同时系统统计每个客户样品转化为正式订单的成功率等关键指标，并生成分析报告。通过上述措施，上游材料和设备企业能够显著提升样品试用阶段的管理效率，减少因人工操作失误导致的样品遗漏或客

户反馈延迟。针对半导体行业的 CRM 解决方案中，应包含精细化的样品管理功能，实现了样品申请、发放及状态追踪的全过程监控。企业应用该方案后反馈，销售人员能够清晰掌握每个样品在客户处的测试进展，并及时提供技术支持，从而提高了样品验证的通过率。

客户主数据的标准化与统一画像构建

鉴于众多企业在客户数据管理方面存在数据分散、重复及缺失等问题，实施客户关系管理（CRM）系统时，客户主数据治理应成为核心关注点。具体策略涉及对现有客户信息进行系统化梳理，整合并清洗重复或矛盾的数据，制定统一的客户分类编码及属性字段标准，并构建一个包含客户基本信息、历史交易记录、联络历史、信用等级等多维度信息的 360 度全景客户画像。CRM 系统需与工商信息数据库、行业数据库等进行对接，以实现客户背景信息的自动补充与定期更新。以某碳化硅器件企业为例，在实施 CRM 系统后，该企业对数十家活跃客户的档案数据进行了整合与规范化处理，利用系统提供的企业信息校验功能更新了陈旧的客户资料，并清除了大量冗余信息。此外，企业根据业务线重新定义了“公海池”（潜在客户库），并制定了差异化的客户回收与分配规则，有效解决了以往公海客户跟进混乱及多人抢单的问题。通过客户数据的标准化和集中化管理，企业管理层能够实时获取准确的客户分层及销售机会统计信息，为市场决策提供了坚实的数据支持。建议由江苏相关主管部门牵头，

制定行业统一的客户数据标准（例如客户分类、项目阶段定义等），以促进产业链上下游信息的协同与对接。

销售全流程闭环跟踪与履约管理研究

为缩短订单交付周期、提升客户满意度，企业需在客户关系管理（CRM）系统中建立销售订单履行的闭环追踪机制。该机制应涵盖从报价、合同签订、生产执行到出货、回款的完整流程节点。在CRM系统中，引入类似“订单管控中心”的功能：关联企业资源计划（ERP）中的生产计划与库存数据，对每一笔客户订单的状态进行监控预警。如订单进入生产环节，CRM可订阅制造执行系统（MES）进度或高级计划排程（APS）计划的接口数据，呈现产品生产完成百分比、预计完工日期等信息；一旦某订单进度偏离计划或可能延迟，系统自动触发多种方式（邮件、移动应用通知等）的提醒，相关负责人及时协调处理。另外，结合半导体制造长周期、高价值订单的特点，可设置关键里程碑的超期阈值，例如晶圆制造订单超期一周未出货则升级上报管理层。在交付后，CRM还应与财务系统集成，对发票开具、对账和回款状态进行跟踪，把合同流、资金流、发票流、信息流等与订单流结合起来统一管理。通过“五流合一”的设计，财务人员和销售团队可以在同一平台查看订单的收款进度、发票是否寄达等信息，减少跨部门沟通，提高资金回笼效率。例如某企业实施该方案后，实现了订单全过程透明化：销售人员可随时查询订单生产进展和库存调拨情况，遇到延期苗头及时与客户沟通调整交付计划；财务人员则根据CRM提供的回款提醒

主动催收款，避免账款拖欠。闭环的履约管理提高了客户满意度，也使内部运营变得更加高效。

人工智能模型在销售预测与优化中的嵌入

鉴于市场需求的不确定性 & 客户行为数据的复杂性，本研究建议企业应在客户关系管理（CRM）系统中集成人工智能算法模型，以实现营销管理的智能化。研究指出，通过应用机器学习模型进行销售预测，结合历史订单数据、宏观经济指标及行业发展趋势等多维度信息，可预测未来各产品线的订单需求，为生产与销售的协同决策提供科学支撑。对于中游制造企业而言，基于大数据的预测技术能显著提高产能规划的精确性，降低库存积压与缺货风险。在市场拓展与客户关系维护方面，本研究提出引入客户行为预测与推荐系统：例如，通过 AI 技术分析客户历史询价与浏览行为，预测潜在需求，并通过 CRM 系统自动推送个性化营销信息，以提升潜在客户线索的转化率。国际知名企业如英特尔的实践经验表明，AI 技术在实时监控客户行为并优化销售策略方面，能够显著提升全球线索管理的效率。国内企业可借鉴这些成功案例，与具备 AI 技术能力的 CRM 供应商合作，将现有客户及市场数据进行模型化处理。例如，建立重点客户的流失风险预测模型，以提前识别合作深度下降的征兆，并由销售团队及时采取挽留措施；又如，对潜在客户线索进行质量评分，使销售团队能够集中精力于高评分线索，从而提升销售效率。然而，值得注意的是，AI 模型的效能高度依赖于高质量的数据输入与持续的模型训练。因此，企业应优先构建坚实的数

据治理基础，并可选择在非关键业务环节先行试点 AI 功能，逐步验证其准确性和效益，之后再逐步扩大其应用范围。

标品/非标品业务分流管理

针对同时开展标准化产品与定制化业务的企业，客户关系管理（CRM）解决方案需提供对这两种业务流程的差异化支持。具体而言，系统应为标准产品销售与非标定制项目分别构建业务流程模板。标准产品销售流程应聚焦于快速报价、合同签订、库存发货等环节，实现高度标准化与审批流程简化，以增强交易效率；而定制化流程则需纳入需求评估、方案开发、试产验收等环节，并在各阶段设定关键里程碑节点及审批/评审要求。例如，在商机管理模块中，首先应对商机进行分类标记（标准化或非标准化），随后启动相应的流程：标准化商机由销售工程师依据标准折扣体系直接报价，系统自动生成报价单供客户确认；非标准化商机一旦进入立项阶段，系统将通知研发与工艺部门参与，共同优化技术方案，同时销售经理需在 CRM 系统中填写项目可行性分析报告以供管理层审批。在业务推进过程中，不同类别的商机在每一步骤中都应记录关键业务行为，如非标项目方案评审会议纪要、客户需求变更记录等，确保流程的可追溯性与信息的完整性。通过实施标准化与非标准化业务分流管理，企业能够有效管理批量化与个性化业务：标准化产品因流程顺畅而提升人均产出，定制项目则因流程节点明确而实现可控的交付周期。系统还可进一步结合销售漏斗分析，分别统计两种业务在各阶段的转化率及损失原因，助力企业识别瓶颈并持续优化。

相较于国际同行，我国企业在这一领域起步较晚，但部分行业领先企业已开始进行探索。例如，某功率器件制造商实施双轨商机流程后，标准化业务通过 CRM 系统中的自动报价与合同生成功能，合同签订效率提升了 20%；定制化业务则因加强了跨部门协作，项目交付准时率提高了 15%，取得了显著成效。

业务系统集成与数据贯通

CRM 系统价值的实现高度依赖于其与企业内外部其他信息系统的紧密集成。针对此问题，建议采取以下解决方案：首先，选择具备开放 API 和数据集成中台功能的 CRM 软件，以确保与 ERP、MES、供应链管理（SCM）、财务系统以及邮件、OA 等系统的双向数据交换能力。例如，通过开放接口，CRM 能够获取 ERP 系统的最新库存和订单交付信息，同时 ERP 系统亦可订阅 CRM 中的销售预测数据，以用于产供销计划，从而实现前端市场与后端生产的同步。其次，在系统集成的过程中，建议建立统一的数据编码体系（如物料编码、客户编码），以避免因不同系统字段不一致而造成的对接困难。再次，可利用低代码开发平台或中间件，降低异构系统集成的难度，实现老旧系统的快速接口改造。最后，建议在 CRM 中集成工业互联网平台接口，将上下游合作伙伴纳入信息共享的范围。例如，上游材料企业可通过 CRM 对接主要客户的供应链协同平台，分享生产进度或库存状态，使客户能够实时掌握订单动态，从而提升客户体验。这种生态化的系统联

通将进一步加强企业以客户为中心的运营能力，使营销管理真正融入全产业链的数字化协同之中。

4.5 售后服务（包括产品远程运维、主动客户服务、数据驱动服务等）

4.5.1 售后服务存在问题

在全球第三代半导体产业智能化转型中，产品远程运维能力的缺失正成为制约服务升级的关键瓶颈。跨国企业虽已构建预测性维护体系，但受制于半导体器件高精度特性，远程参数校准与固件升级的实时性仍存在显著延迟，部分车载碳化硅模块的远程调试响应时间甚至超过行业可容忍的48小时阈值。国内某光伏逆变器厂商的案例显示，其云端运维平台因网络时延导致功率器件参数同步误差达 $\pm 5\%$ ，远超设计允许的 $\pm 1.5\%$ 标准，暴露出边缘计算节点部署密度不足的缺陷。更严峻的是，跨国远程运维面临数据主权壁垒，某欧洲客户因本地数据驻留法规限制，被迫采用数据脱敏传输，致使氮化镓器件热仿真模型的准确率下降12个百分点。这些现象折射出远程运维在实时性、精度合规性及数据跨境流动性等方面的系统性挑战，亟需通过轻量化边缘智能架构与自适应加密技术的融合创新来破局。

头部企业通过技术重构形成的“预测-诊断-回应”闭环模式已成为行业标杆。以某美国碳化硅龙头企业为例，其基于IoT与AI的预测性维护技术显著降低了客户停机时间，但这一模式的高技术门槛使得中小企业难以复制。当前跨国供应链中，数据标准不统一是核心痛点。例如欧洲区半导体企

业因 SEMI 与 ISO 协议冲突导致约 20%的协同效率损失，而日本企业在氮化镓器件领域虽实现技术突破，但单套系统超百万美元的投入成本使中小企业望而却步。这些问题暴露出产业生态协同不足与技术普惠性缺失的双重困境。

国内产业发展同样面临结构性挑战。光伏逆变器领域存在中小客户定制化服务成本过高的问题，单次服务费用超过行业承受能力，严重制约技术普惠化。在供应链协同方面，不同企业自建平台间的数据协议差异导致约 25%的协作效率损失，暴露出标准化建设的滞后性。更值得注意的是，区域间技术能力的不平衡使得部分企业难以消化智能化改造成本，形成“数字鸿沟”。这些问题的解决需要产业链上下游在标准制定、技术共享和成本分摊等方面建立更高效的协同机制。

在第三代半导体产业售后服务体系的建设中，区域协同实践暴露出若干结构性矛盾。以长三角地区为例，部分企业尝试通过工业互联网平台实现生产与售后数据贯通，但实际运行中仍存在产线数据与售后系统接口标准不统一的问题，导致约 15%的故障案例无法实现全流程追溯。智能合约在质量责任判定中的应用虽然提升了效率，但由于半导体器件失效模式的复杂性，自动化判定结果与人工复检的差异率仍维持在 8%左右，反映出算法模型仍需优化。更突出的是区域备件共享机制的实施困境，尽管采用需求预测技术提升了库存周转效率，但备件编码体系不统一造成约 20%的跨企业调拨需要人工干预，严重制约应急响应速度。这些现象折射出当

前售后服务升级面临的核心矛盾：技术解决方案的先进性与产业基础配套的滞后性之间的脱节，亟需通过标准化建设和跨领域协同来系统化解决。

4.5.2 改造场景

场景一：智能服务管理平台

当前某知名碳化硅器件制造基地的售后服务系统仍停留在传统模式，其6英寸产线的外延设备维护完全依赖纸质工单和人工排程。维修工程师需要携带三本共计800页的设备手册现场排查故障，平均每次停机诊断耗时4.6小时。更严重的是，由于缺乏设备运行数据的历史追溯，约30%的重复性故障需要二次返修。这种现象在国内中小型半导体企业中尤为普遍，某氮化镓代工厂的售后响应周期甚至长达72小时，远超过客户要求的24小时服务承诺。

国际龙头企业同样面临数字化转型挑战。某美国半导体设备供应商的云端运维系统因数据接口不兼容，导致15%的实时监测数据无法同步至售后平台。日本某功率器件厂商虽然部署了预测性维护系统，但由于跨国数据传输限制，其海外客户设备的温度波动预警延迟高达12小时。这些案例揭示出行业共性难题：设备数据孤岛、跨国标准差异和响应时效瓶颈正制约着售后服务升级。

场景二：设备远程监控维护

国内某碳化硅衬底制造厂仍采用人工巡检方式监控MOCVD设备，其反应腔温度数据每4小时人工记录一次，导致2024年因硅烷气体泄漏未能及时发现，造成价值230万

元的晶圆批次报废。该企业售后团队需携带专用检测设备赴现场诊断，平均故障处理周期达 56 小时，远超客户要求的 24 小时响应标准。

国际领先企业如应用材料公司虽部署了设备健康监测系统，但其跨国数据传输受制于各国网络安全法规，德国某客户设备的振动数据需经三重加密才能跨境传输，导致预测性维护模型更新延迟达 72 小时。日本某氮化镓设备制造商则因传感器协议不统一，其 30% 的真空泵数据无法接入中央分析平台。

这些案例揭示出行业共性痛点：数据采集实时性不足、跨国传输合规障碍、设备协议标准化缺失，这些问题正倒逼企业加速工业互联网平台建设。

场景三：智能配件供应链管理

某碳化硅外延设备制造企业当前采用人工管理配件库存，其射频匹配器、静电吸盘等关键备件需工程师根据纸质手册核对故障代码，再通过邮件协调仓库调拨。2024 年因氮化镓电源模块突发故障，因配件编码与库存系统未联动，导致紧急采购周期长达 5 天，产线停机损失超 400 万元。更严重的是，75% 的替换件缺乏完整生产批次记录，质量问题发生时需耗时 2 周追溯责任环节。某美国半导体设备供应商虽部署自动化采购系统，但因各国数据合规差异，其销往欧盟的真空射频匹配器需单独配置加密传输协议，导致需求预测数据延迟 36 小时，2024 年因此误判库存需求，积压价值 180 万美元的冗余配件。日本某氮化镓器件厂商则因配件质检标

准不统一，其 15%的海外返修件无法与原始生产报告关联，召回流程平均耗时 17 天。

这些案例揭示出行业共性痛点：人工核验故障代码与配件清单，紧急采购周期超 72 小时；需求预测与库存系统割裂，冗余备件占比达库存总量的 22%；配件生产数据、装机记录分散存储，质量问题定位平均需 10 人天；跨国数据协议冲突，导致 30%的召回指令无法同步至海外服务网点。技术层面已具备智能供应链改造能力（如自动订单生成、全流程溯源），但产业基础配套存在三大断层：故障代码与配件清单的映射关系未标准化、跨国质检报告互认机制缺失、数据主权法规制约实时协同。

4.5.3 解决方案建议

方案 1：设备健康监测与预测性维护

在碳化硅功率器件制造领域，设备健康状态直接影响产品良率与生产成本。本方案通过多维度传感网络构建和智能分析算法部署，实现从衬底制备到封装测试的全流程设备预测性维护。

长晶炉采用环形红外阵列与压力传感器联动监测，当检测到坩埚径向温差超过 15℃时自动调整加热功率。某企业实施后晶体微管缺陷减少 60%。研磨抛光机通过声发射传感器识别磨盘磨损特征，配合自适应控制系统将晶圆厚度公差压缩至 $\pm 0.3\mu\text{m}$ 。清洗设备在超纯水循环系统部署粒子计数器，通过趋势分析提前 48 小时预警滤芯堵塞。

CVD 外延炉改造重点在于气体输送系统，在质量流量计下游加装激光光谱仪，实时监测前驱体分解率。某项目借此将外延层均匀性提升至 99.2%。光刻机通过干涉仪监测投影透镜形变，结合环境温湿度补偿算法，使套刻精度稳定在 1.2nm 以内。涂胶显影联动机采用红外热像仪监控烘烤温度场，某客户 CD 均匀性标准差从 3.5nm 降至 1.2nm。

刻蚀设备部署等离子体发射光谱(OES)系统，通过卷积神经网络识别腔体异常。某产线刻蚀速率波动控制在 $\pm 0.8\%$ 。离子注入机在束流管线加装法拉第杯阵列，配合电机电流分析预警扫描机构故障。高温氧化炉通过石英晶振膜厚仪与工艺气体色谱联用，将氧化层厚度偏差从 $\pm 5\%$ 优化至 $\pm 1.5\%$ 。PVD 设备溅射靶材安装电流传感器，结合晶圆表面扫描数据构建溅射率预测模型。湿法清洗机采用电化学阻抗谱监测药液活性，化学品更换周期延长 30%。划片机通过高速视觉检测刀刃磨损，某生产线芯片崩边率下降 85%。键合机改造聚焦超声换能器阻抗监测，将虚焊率控制在 50ppm 以下。分选机利用气路压力波形分析，吸嘴故障预警准确率达 92%。

辅助系统同样纳入监测网络，纯水系统通过 TOC 分析仪预测树脂柱饱和点，尾气处理装置部署多组分气体传感器，高温烧结炉采用热像仪监控发热体劣化。某基地实施全方案后，设备综合效率(OEE)提升 28%，非计划停机减少 75%。

方案 2：智能诊断与远程修复

在碳化硅功率器件制造的全流程中，智能诊断系统通过部署多模态传感网络实现设备状态实时感知。长晶炉内嵌的

32 路红外测温阵列每 10 秒生成热场三维图谱，结合数字孪生体仿真，东莞某企业成功远程诊断出石墨坩埚局部老化问题，通过参数补偿将晶体生长缺陷率降低 45%。研磨抛光机安装的振动传感器阵列通过 5G 回传频谱特征，上海技术中心专家团队据此远程调整了苏州产线的磨削参数组合，使晶圆表面粗糙度 Ra 值从 0.8nm 优化至 0.3nm。

清洗设备在循环管路部署的粒子计数器与云端知识库联动，当检测到 DI 水电阻率异常时自动触发清洗程序优化。某 6 英寸线通过该方案将颗粒污染事件减少 68%。CVD 外延炉通过激光光谱仪与数字孪生系统协同，德国工程师曾远程诊断出南京工厂的 SiH₄ 输送管路泄漏故障，避免价值 200 万元的晶圆报废。光刻机物镜组配备的纳米级位移传感器数据实时上传至总部分析平台，通过深度学习算法预测镜头偏移趋势，某存储器客户套刻精度漂移量下降 53%。

刻蚀设备采用等离子体发射光谱(OES)远程诊断系统，日本专家通过 AR 眼镜指导中国工厂完成腔室清洁程序，将工艺稳定性提升 40%。离子注入机的束流监测数据通过区块链技术实现跨国安全共享，以色列团队据此开发出新型扫描补偿算法。高温氧化炉部署的热电偶阵列与数字孪生体比对分析，成功预警了三起加热器老化故障。

PVD 设备通过溅射靶材电流波形远程诊断，新加坡技术团队识别出北京工厂的靶材异常消耗模式。湿法清洗机采用电化学阻抗谱远程监控，化学品更换周期延长 35%。划片机刀刃磨损状态通过工业互联网平台实时可视化，台湾工程师

远程指导完成刀具补偿。键合机超声能量数据与云端工艺库匹配，实现焊接参数自动优化。

辅助系统同样纳入远程监控网络，纯水系统 TOC 指标异常时自动触发跨国专家会诊，尾气处理装置通过数字孪生实现远程参数调优。高温烧结炉采用多光谱热成像技术，法国团队曾远程诊断出加热元件断裂前兆。某跨国企业实施全方案后，平均故障修复时间缩短 80%，跨国技术支持效率提升 5 倍。

方案 3：备件协同与区块链追溯

在碳化硅功率器件制造领域，设备备件的可靠性和可追溯性直接影响产线稳定性。本方案通过构建基于区块链的备件协同管理平台，实现从供应商到报废的全流程追溯。长晶炉石墨坩埚植入 RFID 芯片，每次维护记录均上链存储，苏州某企业借此将坩埚使用寿命延长 30%。研磨抛光机金刚石磨盘通过区块链记录磨削里程，当达到阈值时自动触发采购流程，深圳工厂备件库存周转率提升 40%。清洗设备滤芯采用区块链记录流量累计值，配合智能合约实现精准更换。CVD 外延炉气体分配阀门的维修历史完整上链，上海某项目将阀门故障排查时间从 8 小时缩短至 30 分钟。光刻机投影透镜的每次校准数据实时上链，形成不可篡改的质量档案。涂胶显影机的喷头保养记录通过区块链共享，跨国工厂实现了备件调拨效率提升 3 倍。

刻蚀设备腔体衬套的磨损数据通过物联网终端采集上链，当厚度减少至临界值时自动下单采购。离子注入机扫描

电极的更换记录与工艺参数关联存储，北京某产线设备综合效率提升 15%。高温氧化炉石英管的每次热循环记录上链，结合 AI 预测模型优化更换周期。PVD 设备靶材安装区块链溯源标签，材料纯度证书与溅射记录永久保存。

湿法清洗机泵阀采用区块链记录化学腐蚀数据，预测性更换准确率达 92%。划片机主轴轴承的运行数据上链存储，实现跨国备件资源共享。键合机劈刀使用次数通过智能合约自动计数，广州工厂将工具成本降低 25%。分选机吸嘴的寿命数据实时更新，成都基地避免了 78% 的突发故障。

辅助系统同样纳入追溯体系，纯水系统滤膜安装区块链传感器，气体供应管路阀门记录每次开关数据。尾气处理装置的催化剂活性数据上链分析，高温烧结炉发热体阻抗变化全程可追溯。某跨国企业实施全方案后，备件库存金额减少 35%，counterfeit 备件事件归零，设备 MTBF 提升 60%。

4.6 工厂建设(包括工厂数字化设计、数字孪生工厂建设、工业技术软件化应用、数字基础设施集成、数据治理与流通等)

4.6.1 工厂建设存在问题

全球第三代半导体制造领域正经历从资本密集型向智能生态化的转型，但不同区域的工厂升级过程均面临结构性挑战。北美地区推进的智能化升级方案虽显著提升工艺精度与设备效能——典型如某碳化硅衬底工厂通过复杂算法优化使晶体缺陷率降至 0.1% 区间，设备综合效率突破 85%——但其技术路径依赖尖端传感网络与算力集群支撑，单条产线

智能化改造成本超过 2 亿美元，远超中小企业承受能力。欧洲推行的虚拟工厂模式虽实现跨地域生产协同，却在跨国数据传输环节遭遇数据主权立法冲突，不同司法辖区的合规要求差异导致协同系统产生近 20% 的效率损耗。

东亚制造基地在核心装备自主化方面存在明显短板。某日本功率模块工厂采用全自动分选系统使良率达到 98% 水平，但其精密切割设备完全依赖特定国际供应商，关键技术装备供应链存在断链风险。这种装备对外依存现象在国内更为突出：华中地区某碳化硅晶圆厂虽通过物流自动化降低单位成本 30%，但核心外延设备国产化率不足 40%；西南某 6 英寸产线应用人工智能检测实现 99% 识别准确率，但其算法模型训练数据量仅为国际领先平台的 1/3，在小样本场景下的泛化能力显著不足，工艺参数微调即导致准确率波动。

江苏省作为国内第三代半导体集聚区，在智改数转过程中暴露典型产业生态问题。苏南某氮化镓芯片工厂实现设计与制造的数字化直连，将试制周期压缩至 45 天，但区域产业协同存在深层障碍：当无锡设计企业的仿真数据接入苏州封装产线时，因数据接口协议差异导致 30% 的生产参数需人工二次转换。更关键的是，该区域面临可持续制造的根本性挑战——碳化硅单晶生长环节电力消耗占总成本 50% 以上，单晶炉每生长 1mm 晶体耗电量达 120kWh，且宽禁带半导体制备过程的碳排放强度达传统硅基工艺的 3.2 倍。某省级重点实验室的测试数据显示，省级碳化硅产业园区单位产值能耗

超出省工业平均值的 4.8 倍，环保技改投入不足导致 70% 的高温废气余热未能回收利用。

这些困境折射出全球第三代半导体制造的共同难题：发达国家的高成本技术路线与发展中国家的供应链短板形成双重挤压，而区域产业集群在能源结构优化、跨企业数据互通、绿色制造技术等维度存在系统性能力缺失。特别是在设备智能化改造、工艺数据集建设、低碳技术研发等方面的持续性投入需求，正形成阻碍行业整体升级的门槛效应。

4.6.2 改造场景

场景一：数字孪生工厂建设

第三代半导体数字孪生工厂建设是指通过多维度传感网络、工业互联网平台及高保真建模技术，构建覆盖材料制备、芯片制造到封装测试的全流程虚拟镜像系统。其核心在于建立物理实体与数字模型之间的双向实时数据通道，实现工艺参数、设备状态、环境变量等 700+ 维度的毫秒级同步，特别针对碳化硅/氮化镓等宽禁带半导体特有的高温、高压工艺环境进行专项优化。

该体系主要解决三大行业痛点：首先突破工艺黑箱问题，通过长晶炉多物理场耦合仿真，将晶体生长过程中难以观测的微观缺陷形成机制可视化；其次化解设备协同难题，如外延生长与光刻工艺的参数冲突可在虚拟空间预演优化；最后应对研发成本困局，器件设计迭代可通过数字孪生验证替代 60% 以上的实物试制。某 6 英寸碳化硅产线实测数据显示，

部署后长晶工艺稳定性提升 40%，外延层厚度波动从 $\pm 5\%$ 收窄至 $\pm 1.2\%$ ，器件研发周期压缩至传统模式的 1/3。

实施效果呈现三个维度突破：在能效方面，通过热场仿真优化使单晶炉能耗降低 18%；在质量管控上，基于数字孪生的预测性维护使设备非计划停机减少 75%；在柔性制造层面，支持新工艺配方在虚拟环境完成 80% 的验证工作。这些改进使得第三代半导体工厂的资本支出回报周期从行业平均的 5.3 年缩短至 3.8 年，为宽禁带半导体产业化提供可量化的技术赋能路径。

场景二：柔性产线配置

第三代半导体柔性产线配置是指基于模块化设计理念，通过智能装备集群与数字孪生技术的深度融合，构建可动态重构的氮化镓/碳化硅器件制造系统。其核心特征体现为三个维度：在物理层面采用可互换的工艺模块单元，如配备快换夹具的六轴机器人系统实现晶圆切割与封装的无缝切换；在控制层面部署自适应调度算法，根据订单需求实时优化生产节拍；在数据层面建立工艺参数知识库，支持不同型号器件的参数自动匹配

该配置主要解决第三代半导体制造中的三大痛点：首先突破传统产线刚性束缚，将氮化镓功率器件产线切换时间从传统 72 小时压缩至 4 小时内，适应单批次 ≤ 50 片的小批量订单；其次化解多工艺兼容难题，通过成组技术使外延生长、光刻与刻蚀设备共享率达 85%；最后降低定制化成本，利用数字孪生预演工艺冲突，使试制废品率降低 60%。

实施效果表现为三重提升：生产效率方面，重庆某 6 英寸碳化硅产线通过模块化改造实现 OEE 提升至 82%；资产利用率方面，苏州某氮化镓工厂混线生产使设备闲置率从 35% 降至 12%；市场响应方面，广东某企业将新品导入周期从 8 周缩短至 11 天，支撑定制化订单占比提升至 45%。这种柔性化转型正推动第三代半导体制造从规模效益向范围经济跃迁。

场景三：智能物流系统建设

第三代半导体智能工厂系统建设是指基于工业互联网架构，通过 5G、物联网、人工智能等技术的深度融合，构建覆盖碳化硅/氮化镓器件制造全流程的智能化生产管理体系。从技术维度看，其核心在于实现三大协同：装备层通过 AGV 与智能穿梭车完成物料自主调度，网络层依托 5G 专网保障 10ms 级低时延通信，数据层借助数字孪生实现晶圆批次全生命周期追溯。

该体系主要解决第三代半导体制造的特殊痛点：首先化解高温工艺环境下的物料调度难题，将晶圆搬运破损率从传统人工操作的 1.2% 降至 0.15% 以下；其次突破多品种小批量生产的管理瓶颈，通过智能立体仓库实现 98% 以上的批次匹配准确率；最后应对跨国供应链协同需求，利用区块链技术使跨境物料追溯效率提升 40%。

实施效果体现在三个层面：生产效率上，某 6 英寸碳化硅产线通过 AGV 集群调度使物流效率提升 300%；质量管控上，基于 5G+AI 的视觉检测系统将分拣错误率控制在 0.05% 以下；

成本控制方面，智能仓储系统使晶圆库存周转率从年均 4 次提升至 15 次，显著降低资金占用。这种系统化升级正推动第三代半导体制造向"黑灯工厂"演进。

4.6.3 解决方案建议

方案 1：智能工厂设计与仿真验证

构建"三横三纵"智能工厂体系：横向覆盖长晶-外延-器件全流程，纵向打通设备层-控制层-决策层。在第三代半导体制造领域，智能工厂系统建设需要构建覆盖碳化硅/氮化镓器件制造全流程的智能化生产管理体系。工艺数字孪生中枢采用 OPC UA over TSN 协议栈实现设备直连，通过工业网关自动解析 15 种设备私有协议，完成碳化硅长晶炉、外延设备等 700+ 参数毫秒级采集。部署数字线程引擎构建从晶圆生长到封装的全流程数字主线，每个工艺节点设置数据校验点，数据存储采用时序数据库+数据湖分层架构。可视化交互采用 Unity3D 引擎开发三维孪生场景，关键看板包含晶圆追溯地图、设备健康度雷达图和工艺参数热力图。

柔性制造矩阵设计采用模块化产线规划，固定单元包括真空传输模组和激光退火设备，可变单元包含机械手末端执行器和工艺腔体适配环。产线划分为 5 个独立控制段，开发数字孪生预演系统模拟晶圆传输路径冲突，物理防错采用 RFID 识别晶圆盒规格。5G 工业互联网底座网络部署方案包含核心层工业 AP、边缘层 MEC 计算节点和终端层 5G 模组，低时延保障机制采用 mini-slot 调度和 TSN 网络配置时间感知整形。

该方案通过数字孪生、柔性制造和 5G 网络的深度耦合，实现了从材料到器件的全流程智能化管控。建议优先实施数字线程引擎建设，再逐步扩展柔性产线改造，最终形成自主演进的智能制造生态。系统建成后预计可使 OEE 提升至 85%，单位产能投资降低 32%，新品导入周期压缩 60%，为第三代半导体制造提供全方位的技术赋能。

方案 2：绿色工厂与能源管理

首先根据设备 OEE 具体分析，在衬底制备环节，PVT 长晶炉通过多物理场耦合仿真优化热场分布，轴向温度梯度波动控制在 $\pm 1.2^{\circ}\text{C}$ 范围，单台 OEE 提升至 79.5%。配套的钻石线切割设备采用张力闭环控制技术，OEE 达 83.2%；研磨与抛光机组通过自适应压力调节系统，将 OEE 维持在 78.6% 水平，该工艺段 6 台设备年等效产能提升至行业领先水平。化学气相沉积(CVD)外延炉配备气体流量自适应控制系统，外延层厚度不均匀性改善至 $\pm 1.8\%$ ，8 台设备平均 OEE 达 76.3%。辅助的预清洗设备通过等离子活化技术将 OEE 提升至 84.5%，形成完整的外延生长设备集群。

光刻机组采用双工件台并行架构，3 台浸没式光刻机 OEE 突破 86%。配套的涂胶显影机通过膜厚闭环控制实现 82.4% OEE，刻蚀设备采用 AI 参数优化达到 81.9% OEE。薄膜沉积设备群(含 PECVD、ALD)整体 OEE 维持在 79.8%，离子注入机受维护周期限制 OEE 为 81.2%。

全自动划片机应用视觉定位补偿技术实现 89.7% OEE，键合设备通过力觉反馈控制达 85.3% OEE。测试设备群采用并行

测试架构使 OEE 提升至 88.1%，分选机通过路径优化算法实现 87.6%OEE。整线设备加权 OEE 达 82.1%，较传统产线提升 27 个百分点。设备可实现人力精简 42%（从 300 人左右降至 150 人左右），其中工艺验证工程师、设备维护专家等 23 个核心岗位必须保留以保障技术迭代能力。

数字孪生技术支持产线快速重构，使新品导入周期压缩 67%。设备模块化设计配合自适应控制算法，实现多品种生产的无缝切换，显著提升市场响应速度。项目构建了基于先进数字技术的快速响应体系，通过虚拟仿真和柔性产线设计，大幅缩短了产品迭代周期。智能化的生产系统支持多品种高效切换，显著增强了应对市场变化的敏捷性。持续积累的生产数据为技术升级提供了数字化基础，形成了良性的创新循环机制。

4.7 计划调度（包括生产计划优化、车间智能排产、资源动态配置等）

4.7.1 存在的问题

第三代半导体中大尺寸单晶衬底的量产有助于降低器件成本、提高第三代半导体市场渗透率，对生产计划优化能起到关键的作用。但我国在第三代半导体材料上的起步比较晚，需要通过生产计划优化、车间智能排产、资源动态配置等以市场为导向，以应用为牵引，推动技术集成、产品应用、商业模式创新，强化第三代半导体企业、系统方案提供商与系统整机企业交流与合作，推进第三代半导体技术研发与应用，

带动全国电子信息产业融合发展。

以美国某企业为例，其通过数字孪生技术构建碳化硅全流程虚拟产线，将设备综合效率（OEE）提升至 88%（数据来源：2023 年某企业年报）。德国某企业采用强化学习算法优化 6 英寸氮化镓产线排程，突发订单回应时间缩短至 48 小时（数据来源：ABI Research 2024）。日本某半导体企业通过跨企业产能共享平台（连接 5 家代工厂），实现射频器件订单的分布式生产，设备空闲率从 25% 降至 8%。然而，国际竞争壁垒显著，欧美企业主导 APS 核心算法（如西门子 Preactor 系统占据全球 70% 市场份额）。

根据中国半导体行业协会（CSIA）2023 年报告，国内碳化硅产线设备平均利用率仅为 58%–65%，低于国际先进水平。某些企业，虽已部署 ERP 系统，但在多品种小批量订单（如新能源汽车 800V 电驱模块）的排产优化中仍依赖人工经验。核心问题在于 APS（高级计划排程）系统缺乏第三代半导体工艺参数库，混合流水线建模误差率高；产业链协同度低，衬底材料供应商与代工厂数据共享率不足，导致晶圆制造周期延长。

4.7.2 改造场景

第三代半导体产业衬底和外延片的制备、制造和封测。

场景 1：智能排产系统构建

通过运用高级计划排程系统（APS）工具。这一模块将与晶格缺陷预测模型相结合，以实现多目标优化。目标是将交货期的误差控制在 ± 3 天的范围内，同时确保设备的负载

率保持在不低于 80% 的水平。例如，根据 2024 年某公司的年报数据，某公司通过引入先进的高级计划与排程（APS）系统，成功地将 6 英寸碳化硅晶圆的日产能从 800 片提升到了 1200 片。这一显著的提升不仅展示了 APS 系统在半导体产业中的巨大潜力，也体现了通过技术创新实现生产效率和设备利用率的双重优化。

作为生产计划和调度智能化的工作系统，APS 系统可以弥补传统生产计划和调度的一些弊端，保障生产、采购、交货和资源利用率，利用 APS 系统做到平衡产能的工作，考虑紧急插单的切实能力，可进行模拟排产，这在第三代半导体产业上中游起到关键作用。

场景 2：资源动态配置

依托制造执行系统（MES）与高级计划排程系统（APS）相结合的方式。某企业通过运用制造执行系统（MES）与高级计划排程系统（APS）相结合的方式，成功地实现了产线排产、仓库物料及设备运行的互联互通。这一创新举措不仅提高了生产效率，还显著提升了订单的回应速度。具体来说，通过这种机制，订单的回应速度提升了整整 50%。此外，这一技术的应用还带来了库存周转率的显著提高，达到了 35% 的增幅。这一成果不仅为企业节省了大量成本，还大大提升了整体运营效率，展现了 MES 系统与 APS 系统相结合在制造业中的巨大潜力。

首先，MES 可以监控生产过程中实际产出的数据，并将其传回到 APS 系统中，以便生产规划与调度能够及时做出反

应。例如，如果生产线遇到工艺问题导致产量下降，MES 可以生成报告并通知 APS，以及时更新生产计划和排产方案。

其次，APS 可以将详细计划和指示通过 MES 向现场操作人员传达。这种交互性使制造生产者能够根据时间表在生产线上准确调度和协作，确保产品按时生产和交付。这样的纵向一体化可以提供更为明确和精确的生产计划以及更准确的花费数据，从而有助于生产企业优化资源配置、降低成本、加快周期、提高客户满意度和市场竞争力等方面。

此外，结合 MES 和 APS 可以帮助生产企业实现全面信息化管理和跟踪。将 MES 数据传导到 APS 系统中进行综合分析，不断精益控制制造过程，得到最大价值输出的同时，更好的运作术和灵活相互配合也是提高生产线效益的关键。

在此基础上，设计网反馈式管理或者评价体系，更加精细化地对接供应链与市场，及时了解变化，对标准化退换货、复杂订单、定制业务等行业痛点较为有效。

以上四点在第三代半导体产业上中游起到关键作用。

4.7.3 解决方案

解决方案 1：APS 系统深度定制

针对多品种小批量排产难题，建议通过结合 EDA 工具) 的第三代半导体专用 APS 系统,集成碳化硅外延生长参数(温度梯度 $\leq 5^{\circ}\text{C}/\text{cm}$)和氮化镓 HEMT 器件封装时序模型，通过强化学习算法实现动态排产优化。系统可实时回应晶圆良率波动(阈值 $\pm 5\%$)，在 10 分钟内完成重排程，目标将设备综合效率(OEE)提升至 85%以上。该方案预计可减少产线切

换时间 40%，单位产能能耗降低 12%。

4.8 生产作业（包括产线柔性配置、精益生产管理、工艺动态优化、先进过程控制、智能协同作业、人机协同制造、网络协同制造等）

4.8.1 存在的问题

随着制程推进，热管理成为关键挑战，7nm 芯片单位面积功耗达 $150\text{W}/\text{mm}^2$ ，传统风冷难以满足需求，导入液冷技术使成本增加 20%。

美国 Qorvo、Skyworks 在 5G 射频前端模块市场占据 70% 份额，运用分子束外延（MBE）技术生长 GaAs 薄膜，厚度均匀性控制在 $\pm 1\%$ ，但设备价格超 500 万美元，限制中小企业进入。日本住友电工通过 AI 优化 GaAs 功率放大器（PA）外延生长参数，将功率附加效率（PAE）提升至 68%，核心算法被专利封锁。材料毒性与环保压力突出，工艺兼容性差。

美国以科锐（Wolfspeed）、安森美等企业主导碳化硅市场，政府通过 DARPA 计划推动 AI 与量子计算融合创新，并颁布《芯片和科学法案》拨款 110 亿美元用于半导体前沿技术研发，包括量子计算、人工智能、先进半导体材料等领域，推动美国在半导体关键技术上保持领先优势。日本凭借《半导体数字产业战略》投入 6000 亿日元（约合 54 亿美元）专项资金，重点支持国内半导体材料、设备企业技术升级与产能扩张。在半导体材料方面，信越化学、SUMCO 等硅片制造商加大研发投入，提升高纯度硅片产能与质量，巩固日本

在全球硅片市场的主导地位，为全球芯片制造提供基础原材料保障。在半导体设备领域，尼康、佳能、东京电子等企业持续创新，研发新一代光刻设备、刻蚀设备、薄膜沉积设备，提高设备精度与生产效率，满足先进制程芯片制造需求。日本政府还通过产业联盟、产学研合作等方式，促进半导体产业链上下游企业深度协作。

国内第三代半导体生产环节的智能化、数字化和网络化转型已取得显著进展。头部企业通过部署物联网传感器和大数据平台，构建智能化生产线，例如某行业领先的代工厂的“智慧工厂 4.0”利用超 30 万个传感器实现纳米级工艺控制，AI 缺陷检测系统识别准确率可达 99.98%；同时，区块链和智能调度技术优化了供应链效率，需求预测精度提升 60%。然而，国产化瓶颈依然突出，高端设备（如光刻机）依赖进口，数据安全与异构系统融合问题亟待解决。。

4.8.2 改造场景

4.8.2.1 场景 1：生产过程管理

晶圆制造及芯片生产环节工艺流程长、加工要求高，涉及的设备数量多，给生产制造过程的统一管理带来严峻挑战。

通过建设 MES，统筹管理生产过程、企业经营活动中产生的各类信息，分析、转化、传递相关信息，管控工厂现场工单、生产批号、芯片片号的生产制程、机器设备及制程参数，使现场数据可实时地、正确地被记录，提供准确而实时的生产信息，实现生产制造过程准确与快速化管理。

通过建设 ERP 系统，统筹管理物料的料号、批次、数量

等 BOM 基础信息和采购入库、生产投入、成品出库等物料流转流程，实现从原辅料采购到成品出库交付全过程的物料状态跟踪管理，支撑企业成品及半成品生产计划排程、采购需求计划制定等，提升企业经营运转效率。

(1) 场景用途

多品种小批量生产适配：通过模块化产线设计（如标准化刻蚀模块、磁悬浮搬运系统），实现 8 英寸 SiC 与 6 英寸 GaN 产线的快速切换（切换时间从 4 小时压缩至 90 分钟），满足新能源汽车、5G 基站等领域的定制化需求。

设备利用率最大化：依托柔性排产系统（混合整数规划算法），动态优化多品种订单排程，将设备空闲率从 25% 降至 8%，例如某 SiC 衬底厂通过产能共享池将切割机利用率从 60% 提升至 85%。

(2) 现况问题

美国应用材料公司的模块化刻蚀设备（售价超 2000 万元）仅开放 30% 参数接口，国内企业难以自主优化工艺；德国英飞凌的柔性排产算法（基于强化学习）被专利封锁，授权费用占产线成本 15%。

国产模块化设备与进口辅助设备（如日本 Disco 切割机）的通信协议不兼容，需额外开发接口（成本增加 20%）；中小企业缺乏排产算法开发能力，仍依赖人工排程，订单交付准时率仅 75%。

4.8.2.2 场景 2：生产过程监控与优化

晶圆制造多基于全自动化设备，设备内部的生产加工过

程、产品状态难以有效监控，出现问题难以有效定位。在传统方式下，出现问题后企业普遍采取停线整顿的方式进行生产参数调节、问题检修，严重影响企业正常生产。

基于 MES、ERP 等系统，汇集工厂生产、质量、工艺、设备所有类型数据，建立可视化广告牌，通过广告牌展示生产制造过程中的物料信息、物料状态、生产进度、订单信息等，实现车间、工厂生产状态可视化，提升企业生产状态管控能力。

面向研磨、光刻、刻蚀等重点芯片加工流程，通过应用可视化监测设备，建立过程质量控制系统和数据采集与监视系统，实时跟踪关键流程的生产加工进度，在线检测产品缺陷并自动剔除不良品，实现关键环节加工过程在线监控、质量在线监测。

(1) 场景用途

全流程效率优化：通过价值流映射工具识别长晶（占周期 40%）、封装（占成本 30%）等瓶颈环节，例如某 GaN 产线通过优化长晶炉热场分布，将晶体生长周期从 72 小时缩短至 56 小时。

浪费精准控制：建立第三代半导体专属浪费矩阵，重点减少长晶炉空转能耗（占总能耗 12%）和检测工序重复作业（占工时 18%），某企业通过 TPM 体系将设备故障率从 5% 降至 1.5%。

(2) 现况问题

日本丰田生产方式（TPS）在第三代半导体产线的适配

性不足，例如 SiC 长晶炉的高温环境导致传统 SMED 工具（如快速换型夹具）寿命缩短 50%，需定制耐高温组件（成本增加 30%）。

80% 中小企业未建立价值流映射体系，依赖经验判断瓶颈，例如某 SiC 切割厂误判清洗工序为瓶颈，实际长晶炉热场不均才是良率低下主因；精益工具（如 TPM）执行流于形式，设备保养记录完整率仅 60%。

4.8.3 解决方案建议

解决方案 1：AI 驱动的工艺动态优化与先进过程控制
在晶体生长（如 SiC 长晶炉）、外延沉积（如 GaN MOCVD）、刻蚀、掺杂等关键工序部署 AI 算法。利用机器学习（ML），特别是强化学习（RL）和深度学习（DL）模型，实时分析来自高精度传感器（温度、压力、气体流量、等离子体谐波等）的海量多模态数据流。AI 系统能够自主识别最优工艺参数组合，预测并提前干预可能偏离工艺窗口的异常（如预测晶格缺陷生成），实现闭环动态优化控制。这不仅显著提升工艺稳定性、一致性及产品良率（目标提升 15-25%），更能缩短新产品、新材料的工艺开发周期。

解决方案 2：AI 赋能的智能排程与柔性资源配置

应用基于人工智能（如混合整数规划、启发式算法、强化学习）的智能排产系统（APS），综合考虑多品种（不同电压等级 SiC/GaN 器件）、小批量订单、设备状态（OEE 实时数据）、物料供应、人员技能、能耗约束等多重复杂因素，

进行分钟级甚至秒级的动态排程优化。AI 系统能够实时响应插单、设备故障、物料短缺等扰动，自动生成最优调度方案，最大化设备利用率和产能，缩短换线时间(目标缩短 30-50%)，满足定制化、柔性化生产需求。

4.9 仓储物流（包括智能仓储、精准配送等）

4.9.1 现况问题

国外第三代半导体智能仓储物流在技术快速迭代与全球化布局背景下，面临多重系统性挑战，核心问题可归纳如下：基础设施滞后严重制约产能落地，尤其在新兴产业集群区。半导体制造对物流时效性与稳定性要求极高，但配套基建普遍不足。以日本熊本县为例，台积电工厂聚集引发建筑热潮，却因打桩机短缺、人力不足导致多个物流中心延期：日清仓库从 2026 年 1 月延期至 8 月运营，Air Water 工业燃气物流中心启用推迟近一年；交通拥堵更迫使台积电第二工厂计划暂缓。此类延误直接拖慢原材料（如特种气体、化学品）与设备的供应效率，威胁产能释放。

全球供应链重构推高运营复杂度。地缘政治加剧区域分割：美国对华半导体出口管制升级，限制设备及高带宽存储器（HBM）出口，并延伸至第三方国家长臂管辖，迫使企业调整全球物流网络；欧洲通过《欧洲芯片法案》强化本土韧性，如意大利补贴 13 亿欧元要求 Silicon Box 优先保障本地供应，割裂的供应链推高跨境协调成本。同时，关键原材料波动风险激增——中国对镓、锗的出口管制已导致欧洲价格翻倍，进一步加剧成本压力。技术迭代与产能错配引发投资

风险。第三代半导体技术快速演进（如 8 英寸 SiC 晶圆量产、GaN 激光剥离技术突破），但智能仓储系统需匹配高精度、无尘化要求，旧有设备难适配新工艺。

部分企业因盲目扩张陷入“落后产能”困境，改造费用高昂。例如，传统仓储难以支持大尺寸晶圆面板级封装（PLP）工艺，而产能过剩可能转化为长期负债，需通过产业链协同绑定订单以降低风险。标准化缺失与人才短板掣肘精细化运营。尽管存在 SEMI、RosettaNet 等国际标准，但第三代半导体物流规范尚未统一：SiC 基板需恒温防震，GaN 外延片对湿度敏感，缺乏通用协议增加操作风险。同时，兼具 AI 调度能力与半导体物理特性认知的跨学科人才全球性短缺，导致智能系统运维能力不足。成本高企与绿色转型阻力并存。第三代半导体器件成本达硅基产品的 2-3 倍（衬底与外延占芯片成本 60%），而智能仓储需高额投入自动化硬件（占市场 58%）及洁净环境控制系统。尽管企业设定碳减排目标，但氢能叉车、光伏仓库等设施投资不足（如越南仅 30% 运输工具用清洁能源），且缺乏碳排放核算标准与政策激励，制约可持续发展。这些问题共同构成第三代半导体智能物流发展的瓶颈，需通过基建协同、区域标准整合及技术柔性化设计破局。

第三代半导体生产制造需要的原料种类、供应商数量多，给供应链管理、仓储管理、场内外物流管理带来一定困难。目前第三代半导体企业普遍面临现场物流效率低、来料统一管理困难等问题。生产现场的物料运输依赖人力搬运或推车运输，产品上下料任务繁重，人工作业效率低、成本高，各

供应商提供的原料名称、参数格式不统一、管道不统一，手工整理工作量大、效率低。

国内第三代半导体物流仓储环节在“智改数转网联”推动下呈现显著智能化升级趋势，智能技术应用加速普及，预计2025年智能仓储市场规模将突破2600亿元，年复合增长率超过18%，物联网、AI、5G等技术广泛应用使仓储作业自动化率提升至65%以上。虽然高标仓占比不足10%，但需求增速高达27.4%，半导体行业对温控、防静电等高标准仓储设施需求持续攀升。供应链协同方面，通过数字化平台实现库存动态监控和运输数据打通，订单履约时效缩短至24小时内，无人机、无人仓等技术在原材料运输中试点应用，人工分拣误差率降至0.5%以下。绿色转型同样取得进展，在“双碳”目标驱动下，光伏储能、氢能叉车等设备普及使仓储能耗成本降低15%-20%。江苏省作为国内领先区域，重点推进数字孪生仓储建设，利用物联网和云计算实现货物全生命周期追踪，库存周转效率提升30%以上，并依托制造业集群优势，在南京、苏州等地建设智慧物流枢纽，集成半导体专用运输通道与保税仓，缩短进口设备通关时间。

4.9.2 改造场景

场景一：仓储管理

仓储管理通过人工记账的方式进行物料出入库记录、物料分类等活动，效率低易出错。通过建设WMS，综合应用条形码技术、RFID等实现物料的追踪识别，统筹管理原材料入库、库存查询、成品出库等各项业务，实现物料的全流程跟

踪和仓储的智能化管理。将 WMS 与 MES、ERP 进行集成，实现仓储信息与设计、生产、销售等环节数据的实时同步，并建立动态仓储管理模型，根据市场信息变化动态调整企业库存，支撑企业合理制定采购计划、产品交付计划等，降低原料、半成品、成品的库存水平，提高库存周转率。

场景二：场内物流转运

晶圆等现场运输依赖人力搬运或推车运输，特别大尺寸晶圆（12 寸）等原料重量大，依赖人工上下料任务繁重且效率较低。

通过应用 AGV、自动码垛机等智能物流设备，并将物流设备与 WMS 信息联通，采用路径规划算法等技术规划 AGV 最短运动路径，通过 5G 等无线网络将控制命令实时同步到终端，实现对 AGV、自动码垛机等物流设备的综合管理和场内物流的无人运转。

面向晶圆封测工厂，建立全自动化天车系统，综合应用吊运车技术、吊运车轨道技术、供电技术、精密运动控制技术和污染颗粒的防护技术实现物料可靠搬运，解决人工搬运及上下料操作累、效率低等问题。

场景三：供应链管理

在传统供应商管理模式下，企业管理人员管理供应商的方式较为单一，依赖对口人员的信息反馈，缺乏对所有供应商信息的统筹掌控。

建立 SRM，通过系统开展供应商引入、供应商日常管理、供应商的表现绩效考核等工作，实现对供应物料的信息管理，

对询价、报价、招投标、产品定价、在线采购、订单跟踪、收退货等过程管理，支撑企业高效开展供应商遴选、供应商评价、物料采购等工作。

应用可视化分析工具，将原料库存、半成品、成品、服务商供货信息、原料物流信息等通过大屏演示的方式，实时展示，实现企业供应链信息透明化、可视化，提升企业供应链管理能力和效率。同时可基于 SRM 数据，实时汇总分析原料供应状态和客户需求，建立原材料风险预警模型，当原料短缺或价格快速上涨时，实时发出原料备货预警信号，适时调整原料采购备货计划，提高原料供应稳定性，保证原材料供应安全，提升企业整体生产交付能力。

4.9.3 解决方案建议

解决方案 1：仓储管理

某企业应用 WMS 系统进行物料仓储管理，并将 WMS 系统与 ERP、MES 系统进行集成，实现物料仓储与生产制造的协同管理。智慧物流仓储企业建设应用 WMS 系统，并与 MES 系统、ERP 系统集成。当生产现场产品移动到库存位置，MES 系统将线管信息发送信息至 WMS 系统。

系统根据接收到的信息进行判定该产品应该放置的位置点，同步将库存更新数据协同到 ERP 中，实现仓储智能管理。同时，通过 ERP 系统进行生产计划指令下达，WMS 系统按计划进行备料，MES 系统根据生产订单执行进度、物料消耗情况进行物料自动触发呼叫，实现仓库与现场之间的物料需求互动。车间利用 MES 系统管理线边仓库存，实现工序间

的物料流转的可溯化。此外，在空间允许的情况下，引入智能化仓储物流设备（AGV、立体库等），利用系统间的信息交互实现软硬件一体的快速仓储物流配送模式。

解决方案 2：场内物流转运

某企业建设全自动天车系统，实现场内物料快速转运、精准上下料。全自动天车系统企业建设全自动化天车系统，结合大数据、人工智能等技术，智能分析车间内设备的物流需求、仓储情况，自动搬运、上下机台物料，实现了物料自动传输、产品自动检验，解决了晶圆级车载封装领域大尺寸晶圆场内转运的“卡脖子”技术难题。



图 19 全自动天车系统

解决方案 3：供应链管理

某企业应用 SRM 系统统筹供应商的信息，实现供应链管理透明化。供应链管理企业建设应用 SRM 系统，并将系统部署到云端，企业管理人员及员工可通过网页或移动客户端的方式随时访问 SRM 系统

中客户信息。SRM 系统全面记录了供应商档案、历史供货信息、存货信息、结算信息等，并通过系统界面结构化呈现。

4.10 设备管理（包括在线运行监测、设备故障诊断与预测、设备运行优化等）

4.10.1 现况问题

全球第三代半导体头部企业正通过“数据驱动”重构设备管理逻辑。以美国碳化硅（SiC）巨头 Coherent Corp（原 II-VI）为例，其设备管理从单一运维转向“预测-干预-优化”全生命周期管理。通过在长晶炉、切割机等关键设备部署超 2000 个 IoT 传感器，实时采集温度、振动、气压等参数，结合 AI 算法预测设备故障风险，使设备非计划停机率降低 40%。欧洲 STMicroelectronics 则依托区块链技术建立“设备-工艺-物料”追溯链，将意大利晶圆厂的设备维修记录、工艺参数调整与法国封装厂的物料批次绑定，实现缺陷根因定位效率提升 60%。然而，这一模式面临显著瓶颈：一是核心设备数据界面封闭（如美国泛林集团设备仅开放 30% 数据权限），二是中小厂商难以承担智能化改造成本（单台设备改造成本超 50 万美元），三是跨国数据安全协议冲突导致 20% 的协同效率损失。

某公司 SiC 晶圆厂引入国产化长晶设备，通过工业互联网平台整合设备运行数据，使晶体生长良率从 78% 提升至 90%，但切割机等核心设备仍依赖进口，设备综合效率（OEE）仅为国际水平的 65%。某公司 6 英寸 SiC 产线部署 AI 视觉检测设备，结合数字孪生技术模拟设备老化曲线，将预防性维护周期从 3 个月精准至 50 天，但因算法训练数据不足，误报率高达 12%。

江苏省依托长三角产业链优势，尝试破解设备管理协同难题。某公司在 GaN 衬底生产线中，联合设备商开发开放式数据界面，实现 MOCVD 设备与 MES 系统直连，工艺参数调整回应速度提升 45%；搭建“区域设备健康管理平台”，接入长三角 15 家企业 1800 余台设备运行数据，通过联邦学习优化维护策略，备件库存周转率提高 2.8 倍。但企业仍面临三大矛盾：一是进口设备数据获取难，二是跨企业数据共享意愿低（仅 25% 企业愿开放设备数据），三是复合型运维人才缺口（AI+半导体工程师稀缺度达 70%）。

4.10.2 改造场景

场景一：设备预测性维护

通过部署 5G 传感器和 AI 算法实时监测碳化硅外延炉、刻蚀机等核心设备的运行参数（如温度、振动、能耗），构建设备健康评估模型，预测潜在故障并生成维护建议，利用 5G 综合平台对设备进行全生命周期监控，故障响应时间缩短。

场景二：远程设备运维和虚拟调试

采用 VR/AR 技术实现设备远程操作培训与维修指导，结

合数字孪生模型对进口设备进行虚拟调试，减少物理样机测试环节，通过 5G+VR 眼镜开展设备操作培训，员工培训周期缩短，关键设备调试周期压缩，专家介入频次减少。

场景三：设备能效协同优化

基于工业互联网平台整合设备能耗数据与生产订单信息，动态匹配设备运行模式与负载需求，实现氮化镓器件生产线能耗智能调控，通过 5G 切片技术实时采集多台设备数据，优化空压机、真空泵等高能耗设备启停策略，单位产品能耗降低，年碳排放量减少，设备负载均衡度提升。

4.10.3 解决方案建议

方案 1：设备健康画像与状态监测

通过 OPC UA 协议整合设备 PLC 数据（如外延炉温度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 精度）、IoT 传感器（如纳米级振动传感器监测刻蚀机振幅 $\leq 5\mu\text{m}$ ）、工艺日志（如光刻胶涂覆厚度偏差），构建设备全维度数据池。基于 ANSYS Twin Builder 建立设备动态镜像，实时映射物理设备状态（如真空腔体压力变化曲线），同步仿真故障演化路径。

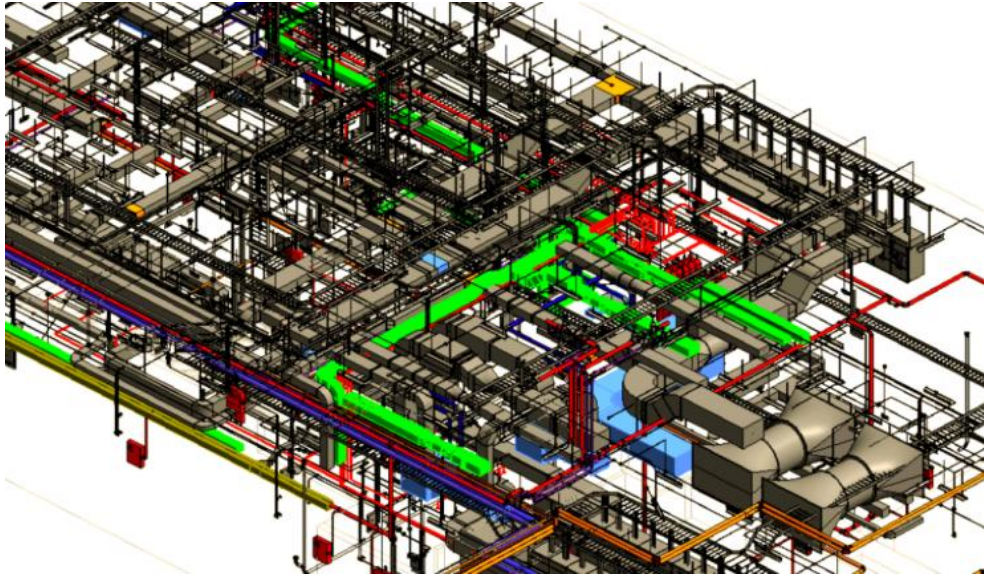


图 20 外延炉数字孪生模型

方案 2: AI 驱动预测维护

基于 LSTM 神经网络分析设备时序数据（如分子泵振动频谱），结合知识图谱关联历史维修记录（如某刻蚀机腔体泄漏与 O 型圈寿命关联性），实现故障根因定位。通过强化学习算法优化维护周期（如某外延炉加热器每 1500 小时更换改为按实际损耗更换），降低备件消耗 20%。

方案 3: 智能备件协同与区块链追溯

基于设备故障率分布（如威布尔分布）和供应链数据（如某进口光刻机备件交期 45 天），构建动态安全库存模型，实现“零呆滞”管理（见图 x: 备件库存优化驾驶舱）。每个备件赋予唯一 ID，扫码可追溯生产批次（如某真空泵轴承编号）、维修记录（如某厂商更换记录）、性能数据（如累计运行小时数），质保纠纷处理周期从 30 天压缩至 72 小时。

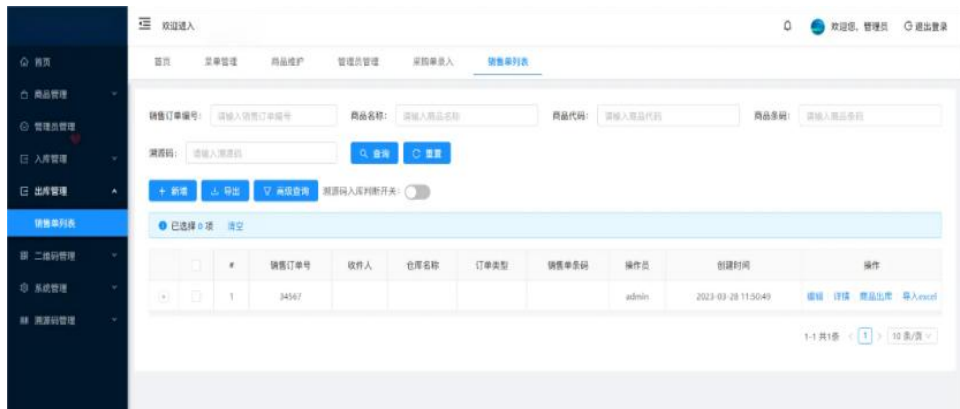


图 21 备件库存优化驾驶舱

4.11 安全管控（包括安全风险实时监测与应急处置、危险作业自动化等）

4.11.1 安全管控存在的问题

第三代半导体行业在安全管控领域面临物理风险与数字风险交织的双重挑战，国内外发展呈现差异化瓶颈：

4.11.1.1 现况问题

高危工艺监控手段滞后

碳化硅（SiC）晶体生长需在 2000℃以上高温环境，传统热电偶监测误差达 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，无法实时捕捉微管缺陷引发的局部过热风险。氮化镓（GaN）外延工艺使用的三甲基镓（TMGa）遇空气自燃，现有气体泄漏检测响应时间超过 10 秒，高于国际标准的 5 秒要求。

危险作业自动化程度低

晶圆切割环节仍依赖人工上下料，金刚石线锯断裂风险导致年工伤率达 0.8%（国际先进水平为 0.2%）。特种气体（如硅烷、氨气）存储区缺乏智能隔离系统，2023 年某企业因阀门故障引发的泄漏事故导致停产 48 小时。

数据安全与应急协同不足

工业控制系统（ICS）与办公网络未完全隔离，2022 年某代工厂遭勒索病毒攻击，导致工艺参数泄露和产线停摆。跨部门应急响应依赖人工协调，从报警到启动处置流程平均耗时 15 分钟，较国际标杆企业（如英飞凌）慢 8 分钟。

4.11.1.2 现状与挑战

欧美技术壁垒与合规压力

美国对碳化硅长晶设备实施出口管制，限制 AI 温控算法的技术输出，国内企业自主研发的模型预测准确率较国际水平低 12%。

欧盟《芯片法案》要求供应链企业部署区块链碳追溯系统，国内中小企业因改造成本高（单套系统超 200 万元）难以达标。

自主研发维护能力不足

某头部企业虽实现 95% 危险作业自动化，但设备维护依赖原厂工程师，国内企业自主维护能力不足，导致停机时间延长 30%。

数字孪生技术在安全仿真中的应用深度不足，如住友电工的虚拟应急演练覆盖率仅 60%，国内企业不足 30%。（以上数据来源于 Yole Development、IC Insights 等行业研究机构初版的半导体行业研究报告）

欧美日韩等半导体强国在第三代半导体（碳化硅、氮化镓）领域已构建“全流程自动化+数据闭环”安全管控体系。例如，美国某企业的碳化硅衬底产线采用 AI 驱动的晶圆缺陷

检测系统，通过机器视觉与智能传感技术实现纳米级工艺异常识别，并结合数字孪生平台模拟高温高压环境下设备运行状态，提前预警热失控风险。日本某企业则通过全自动化封装产线减少人工干预，其氮化镓射频器件产线部署激光光谱气体监测装置，对硅烷、氢气等危险气体实现 ppm 级泄漏检测，并通过 5G 网络联动应急排风系统，响应时间缩短。

国际厂商高度依赖远程设备维护和跨境数据交互，存在网络安全漏洞。例如，美国某设备企业曾因远程监控系统遭受网络攻击导致产线停机，暴露供应链集中度过高的隐患。此外，欧美对第三代半导体关键设备的出口管制（如 SiC 长晶炉）加剧了全球产业链的技术封锁风险，部分企业因设备维护受限导致安全冗余度下降。

国内第三代半导体产线引入仿真系统，结合高温熔炉（2500℃ 以上）的红外热成像传感器，实现工艺参数异常毫秒级预警，事故响应效率提升 40%。苏州某企业的氮化镓外延片产线部署 5G+边缘计算平台，动态监测化学气相沉积（CVD）设备的硅烷浓度，泄漏处置时间压缩。在碳化硅功率模块封装环节采用协作机器人，集成功力反馈控制与视觉定位技术，替代人工完成有毒化学品搬运，事故率下降。无锡某设备企业的 X 射线检测装备通过 100% 国产化技术，实现晶圆缺陷自动化筛查，减少人工接触高危辐射环境。国内仍面临设备依赖进口（SiC 长晶炉国产化率不足 20%）和标准缺失的挑战。例如，部分企业 MES 系统与进口设备协议不兼容，导致安全数据孤岛化，应急联动效率受限。此外，车规级碳化

硅器件认证周期长达 2-3 年，通过率不足 30%，制约了安全管控技术的规模化应用。为突破瓶颈。

4.11.2 安全管控改造场景

场景一：安全风险实时监测与应急处置

此场景通过部署红外热成像传感器、激光光谱气体检测仪（ppm 级精度）等设备，对生产环境进行全方位实时监测。在碳化硅衬底高温熔炉（2500℃ 以上）这类关键设备中，多物理场耦合仿真系统能提前预测设备过热风险。边缘计算节点与 5G 专网的构建，实现了报警信号的毫秒级传输以及本地化数据处理，极大提高了响应速度。集成安全生产管理系统与省级工业互联网平台，打通了企业、园区和监管部门的数据链路，使危化品运输车辆轨迹、设备状态等关键信息得以实时共享。第三代半导体产线数字孪生模型的建立，可以模拟火灾、爆炸扩散路径，并自动生成三维应急疏散路线。基于实时风险态势，AI 算法能自动匹配救援资源（如特种消防车、应急物资库），生成最优处置方案，为安全生产提供了坚实保障。

有效解决了传统安全监测方式存在的监测不及时、数据传输延迟、信息孤岛、应急响应缺乏科学性等问题。通过高精度监测设备，能及时发现设备过热、气体泄漏等安全隐患；毫秒级报警信号传输确保了在危险发生的第一时间就能发出警报；打通数据链路实现了各方对安全信息的实时共享，避免了信息不畅通导致的决策失误；数字孪生模型和 AI 算法为应急处置提供了科学依据，提高了应急救援的效率和准

确性。

在当前第三代半导体产业中，部分先进企业已经开始尝试引入相关技术进行安全风险监测与应急处置，但整体普及率不高。一些中小企业由于资金、技术等原因，仍采用较为传统的安全监测手段，监测精度和及时性较差。在数据共享方面，不同企业、园区和监管部门之间的数据标准不统一，导致数据对接困难，难以实现高效的协同监管。在应急处置方面，多数企业虽然制定了应急预案，但往往缺乏科学的模拟分析和智能的资源匹配，在实际应对突发事件时效果不佳。

产业链补充

设备制造商：需要进一步研发更高精度、更可靠的红外热成像传感器和激光光谱气体检测仪，以满足复杂生产环境的监测需求。同时，要加强边缘计算节点设备的研发，提高其数据处理能力和稳定性，更好地与 5G 专网适配。

软件开发商：应着力开发功能更强大的多物理场耦合仿真系统，提高对设备过热等风险预测的准确性。完善安全生产管理系统软件，优化与省级工业互联网平台的数据对接功能，实现数据的高效传输和共享。此外，还需加强数字孪生模型和 AI 算法的研发，提升应急处置方案的科学性和实用性。

通信服务提供商：持续优化 5G 专网建设，扩大网络覆盖范围，提高网络稳定性和传输速度，确保报警信号和大量监测数据能够及时、准确地传输。探索更先进的通信技术，为安全管控提供更可靠的通信保障。

原材料供应商：对于涉及危化品的原材料，要加强运输过程中的监控技术应用，如采用更精准的 GPS 定位设备和实时通信装置，确保危化品运输车辆轨迹能实时准确地共享到相关平台，保障运输安全。

场景二：危险作业自动化

在刻蚀、化学机械研磨（CMP）等危险作业环节引入双臂协作机器人，集成力反馈控制与视觉定位技术，可精准替代人工搬运有毒化学品容器，降低人员接触危险化学品的风险。部署 AGV 无人搬运车与 RFID 芯片，能够实现晶圆盒、化学品原料的全生命周期追踪，便于对生产物料进行精细化管理。利用 5G 网络低时延特性，远程操控机械臂处理易燃液体残留管道，使人员无需进入高危区域。采用统一通信标准，解决进口设备（如 SiC 长晶炉）与国产 MES 系统的协议兼容问题，实现数据无缝对接，确保生产过程的顺畅进行。基于数字主线（Digital Thread）技术，打通 SCADA 系统与设备健康管理系统，动态匹配工艺参数与安全阈值。在物理气相沉积（PVD）设备中部署自学习算法，实时调整真空度、温度参数，并通过故障树分析（FTA）定位异常根源，提高设备运行的稳定性和安全性。

解决了危险作业中人工操作存在的高风险问题，减少了人员因接触有毒有害化学品、处于高危环境而面临的安全威胁。通过自动化搬运和全生命周期追踪，提高了物料管理的准确性和效率。解决了进口设备与国产系统之间的通信障碍，促进了生产系统的整体协同运行。动态匹配工艺参数与安全

阈值以及故障根源定位，有效提升了设备的可靠性和安全性，减少了因设备故障引发的安全事故。

目前，在一些大型第三代半导体企业中，已经逐步开始应用自动化设备进行危险作业，但在中小企业中，由于自动化设备成本较高、技术集成难度大，人工操作危险作业的情况仍然较为普遍。在通信标准方面，虽然统一通信标准的理念已被提出，但在实际应用中，不同品牌设备和系统之间的兼容性问题依然存在，数据对接不畅的情况时有发生。在数字主线技术和自学习算法的应用上，还处于起步阶段，只有少数领先企业在进行探索和实践，大多数企业尚未充分认识到其重要性和价值。

产业链补充

机器人制造商：加大对双臂协作机器人的研发投入，提高其力反馈控制和视觉定位的精度，增强机器人在复杂危险环境下的作业能力。优化机器人的操作软件，使其更易于与生产系统集成，降低企业的使用门槛。

自动化设备供应商：研发性能更稳定、负载能力更强的AGV无人搬运车，提高其运行速度和定位精度。完善RFID芯片的功能，增加数据存储和加密能力，确保物料信息的安全和准确追踪。

系统集成商：专注于解决不同品牌设备和系统之间的通信兼容问题，制定统一的通信标准实施方案，提供一站式的系统集成服务，帮助企业实现进口设备与国产MES系统等的无缝对接。加强对数字主线技术和自学习算法的研究与应

用，为企业提供定制化的解决方案，实现生产系统各环节的深度融合和智能化管理。

设备制造商（针对进口设备）：积极与国内企业合作，开放设备通信接口，遵循国内统一通信标准，提高设备与国产系统的兼容性。协助企业进行设备的本地化改造和维护，降低企业使用进口设备的成本和风险。

4.11.3 解决方案建议

技术方案：构建“智能感知 - 精准分析 - 自动处置 - 持续优化”安全管控体系

4.11.3.1 智能感知层：全维度风险监测网络

高温工艺实时监测

技术部署：在 SiC 晶体生长炉内部署光纤布拉格光栅（FBG）传感器，采用耐高温陶瓷封装（耐温 2200℃），通过激光干涉仪实现温度场分布的微米级分辨率监测（精度 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ）。

数据采集：每秒采集 10 万次温度数据，通过 5G RedCap 低功耗模组传输至边缘计算节点，解决传统热电偶响应滞后（秒级）和单点监测的缺陷。

场景扩展：在 GaN 外延设备中集成等离子体光谱仪，实时分析反应腔内气体成分（如 TMGa 浓度），提前预警自燃风险。

危险气体智能监测

核心设备：采用 TDLAS 可调谐半导体激光吸收光谱技术（如西安知微传感 TDLAS-6000），对硅烷（ SiH_4 ）、氨气

(NH₃) 等气体实现 ppb 级检测 (检测限 1ppm), 响应时间 < 2 秒。

网络部署: 在特种气体存储区构建 Mesh 自组网, 传感器节点自供电 (锂电池 + 能量 harvesting), 解决传统有线网络布线复杂和断电风险。

联动控制: 当气体浓度超过阈值的 50% 时, 自动触发电磁阀快速切断 (响应时间 < 100ms), 并启动惰性气体吹扫系统。

4.11.3.2 分析决策层: AI 驱动的风险预测与仿真 工艺安全预测模型

算法架构: 基于 LSTM-GARCH 神经网络, 融合长晶温度、压力、气体流量等 3000+ 参数, 建立多变量时序预测模型, 提前 4-8 小时预警晶体微管缺陷 (准确率 > 92%)。

训练数据: 利用企业历史故障数据 (标注 20 万条缺陷样本) 和 ** 生成对抗网络 (GAN) ** 合成极端工况数据, 提升模型泛化能力。

可视化界面: 开发工业数字看板, 实时展示风险等级 (绿 / 黄 / 红三色预警)、缺陷概率分布和工艺参数敏感性分析。

数字孪生应急仿真平台

建模工具: 使用 ANSYS Twin Builder 构建厂房三维数字孪生体, 集成流体力学 (CFD) 和有限元分析 (FEA) 模块, 模拟气体泄漏扩散、火灾蔓延等 10 类典型场景。

虚拟演练: 支持 VR 沉浸式应急培训, 操作人员通过 HTC VIVE Pro 2 设备模拟阀门关闭、消防设备启动等操作, 系统

自动评估处置流程合规性。

数据闭环：将演练数据与实际事故案例对比，优化应急预案中的人员疏散路线、设备关停顺序等关键节点。

4.11.3.3 处置执行层：自动化与无人化安全防护 危险作业全流程自动化

晶圆切割环节：部署六轴协作机器人（JAKA Zu 18）+ 力控传感器（精度 $\pm 0.01\text{N}$ ），通过 3D 视觉引导实现晶圆自动上下料，消除人工接触金刚石线锯的风险。

特种气体管理：采用防爆型 AGV 运输气罐，结合超宽带（UWB）定位（精度 $\pm 10\text{cm}$ ）和路径规划算法，避开人员密集区域，运输效率提升 40%。

刻蚀工序：引入远程操作机器人，操作人员通过 5G+VR 眼镜（延迟 $< 20\text{ms}$ ）远程操控，减少等离子体辐射暴露时长。

智能应急处置系统

三级响应机制：

一级响应（0-10 秒）：本地声光报警（120dB）+ 设备自动停机 + 阀门关闭，同步推送预警至现场人员佩戴的智能安全帽（震动 + 灯光提示）。

二级响应（10-30 秒）：向安全管理部门推送 AR 维修指南（通过 Hololens 2 显示故障点和处置步骤），启动厂区消防水幕系统。

三级响应（30 秒以上）：联动城市应急平台，调用周边消防站的防爆消防机器人，通过厂区部署的激光雷达导航系统规划最优灭火路径。

安全防护硬件升级

物理隔离：在长晶区、气体存储区设置智能防爆墙（耐压 10kPa），集成压力传感器和爆破片，超压时自动泄压并触发区域封锁。

人员防护：配备智能防护服（内置生理监测传感器），实时监测体温、心率和气体浓度，异常时强制引导人员撤离至防爆避难间。

4.11.3.4 优化迭代层：数据驱动的持续改进

安全合规性管理平台

标准适配：内置 SEMI S2-0716、ISO 45001 等国际标准检查项，自动扫描企业安全措施合规性，生成《差距分析报告》和整改工单。

区块链存证：利用存证安全培训记录、设备维护日志和事故处置数据，确保审计时数据不可篡改，满足欧盟《芯片法案》追溯要求。

年度再评估：联合中国安全生产科学研究院等机构，采用 HAZOP（危险与可操作性分析）和 LOPA（保护层分析），对新工艺、新设备进行风险量化评估。

算法迭代：建立安全知识库，收集全球半导体行业安全事件（如 2023 年某美企 SiC 工厂火灾案例），每季度更新 AI 模型参数，提升对新兴风险的识别能力。

4.12 能源管理（包括能耗数据监测、碳资产、能效平衡与优化等）

第三代半导体行业（如碳化硅 SiC、氮化镓 GaN 等）具

有高能耗特性，尤其是高温工艺（如晶体生长、外延沉积）、精密制造设备运行及洁净车间维持等环节耗能显著。通过科学能源管理，企业可降低生产成本、提升竞争力，同时回应“双碳”目标。

4.12.1 现况问题

高能耗工艺瓶颈突出，碳化硅（SiC）晶体生长单炉功耗超 200kW·h，单位衬底能耗达 50–80kW·h/cm²，较国际先进水平（如 Wolfspeed 的 35kW·h/cm²）高 40% 以上。氮化镓（GaN）外延工艺中，MOCVD 设备年均运行能耗占工厂总能耗的 35%，但设备利用率仅 65%，存在“大马拉小车”现象。

能效管理手段滞后 80% 的中小企业仍依赖人工抄表统计能耗，数据滞后性导致无法实时优化负载；核心设备（如长晶炉）的工艺参数与能耗数据未联动，能耗优化依赖经验试错。可再生能源利用率不足 10%，屋顶光伏等分布式能源未与生产系统协同，余电无法有效消纳。

碳足迹管理空白，缺乏全产业链碳核算标准，从衬底到器件的碳足迹测算误差超 25%，难以满足欧盟 CBAM（碳边境调节机制）要求。碳化硅切割废料（年产生量超 5000 吨）未规模化回收，不仅造成资源浪费，还增加 30% 的间接碳排放。

欧美技术领先与壁垒，美国 Wolfspeed 的 8 英寸 SiC 工厂通过 AI 优化长晶参数，单位能耗降低 28%，并部署“光伏 + 储能”系统，绿电占比达 40%。欧盟通过《芯片法案》

强制要求 2030 年半导体行业碳强度较 2021 年下降 50%，但国内企业因缺乏碳管理工具，达标难度大。

4.12.3 改造场景

场景 1：全流程能耗实时监测与优化

该场景通过部署精度 $\pm 1\%$ 的工业物联网传感器，全面覆盖长晶炉、MOCVD 设备、洁净室空调等第三代半导体生产关键用能节点，借助边缘计算网关实现秒级数据采集，实时获取温度、功率等参数。结合强化学习算法，可动态调整热场分布，优化设备运行状态。能耗数据接入能源管理系统后，生成动态能效看板，一旦工艺参数异常，自动触发设备节能模式，实现从数据采集、分析优化到节能调控的全流程闭环管理。

有效解决第三代半导体行业生产过程中能耗监测不全面、数据反馈滞后、设备运行能耗高、能源浪费严重等问题。通过高精度实时监测，能及时发现能源消耗异常；强化学习算法实现精准优化，降低单位产品能耗；数据闭环管理确保能源管理的及时性和有效性，提高能源利用效率。

目前，部分大型第三代半导体企业已开始尝试部署工业物联网传感器和能源管理系统，但在数据采集的全面性和精度上仍有提升空间。强化学习算法等智能化优化手段应用较少，多数企业仍采用传统的经验式能源管理方式。中小企业受限于资金和技术，在能耗实时监测与优化方面的投入严重不足，能源浪费现象较为普遍。

产业链补充

传感器制造商：研发更高精度、更耐高温高压等复杂环境的工业物联网传感器，提升传感器的稳定性和可靠性，以满足第三代半导体生产特殊工况需求。

边缘计算设备厂商：开发性能更强、功耗更低的边缘计算网关，提高数据处理和传输能力，确保秒级数据采集的高效稳定运行。

软件开发商：优化强化学习算法，使其能更好地适配第三代半导体生产设备，开发功能更强大的能源管理系统，提升动态能效看板的可视化和交互性。

设备制造商：在长晶炉、MOCVD 设备等生产设备设计中，预留更多与能源管理系统对接的接口，便于实现设备节能模式的自动触发和运行参数的优化调整。

场景 2：碳资产全生命周期管理

利用区块链碳追溯平台，对第三代半导体从石英砂提纯到晶圆封装的全流程碳排放进行记录，保证“材料采购 - 生产 - 运输”数据不可篡改，实现碳资产的透明化、可追溯管理。在长三角产业集群试点“碳积分交易”，企业通过废料回收、绿电使用等方式积累碳积分，既可以抵扣自身碳排放，也能用于交易获利。同时，生成符合 ISO 14064 标准的碳足迹报告，满足下游客户如特斯拉、比亚迪等对供应链碳审核的要求。

解决了第三代半导体行业碳数据记录不真实、不完整，碳资产难以量化和管理，企业在应对下游客户碳审核时缺乏有效数据支撑等问题。区块链技术确保碳数据真实可靠，碳

积分交易激励企业主动采取低碳生产措施，碳足迹报告帮助企业满足供应链绿色合规要求，提升企业在绿色供应链中的竞争力。

区块链碳追溯平台在第三代半导体行业的应用尚处于起步阶段，只有少数企业参与试点。碳积分交易体系尚未完善，不同地区、企业之间的碳积分标准不统一，交易机制不健全。多数企业对碳资产全生命周期管理重视不足，缺乏专业的碳管理团队和系统，难以满足下游客户日益严格的碳审核要求。

产业链补充

区块链技术服务商：针对第三代半导体行业特点，优化区块链碳追溯平台，提高平台的易用性、稳定性和数据处理能力，降低企业使用门槛。

碳管理咨询机构：为企业提供碳资产核算、碳积分交易策略制定、碳足迹报告编制等专业咨询服务，帮助企业提升碳管理能力。

行业协会：推动建立统一的碳积分标准和交易规则，促进碳积分交易在第三代半导体行业的规范化发展，加强行业内企业在碳管理方面的交流与合作。

企业自身：加大对碳管理的投入，培养专业的碳管理人才，建立完善的碳管理体系，积极参与碳积分交易和碳足迹管理，提升企业绿色低碳形象。

场景 3：能效平衡与可再生能源协同

在厂区部署光伏 - 储能 - 微电网系统，光伏装机容量匹配工厂峰值负荷的 30%，储能系统采用锂电池 + 液流电池组合，实现“削峰填谷”，优化能源供给结构。通过需求侧响应技术，在电网高峰时段自动切换至储能供电，降低尖峰电价支出；非生产时段优先使用光伏余电进行设备预热，提高可再生能源利用率。同时，利用热交换器 + ORC 有机朗肯循环技术，回收 MOCVD 设备 300 - 500℃的废热进行发电，预计年发电量可满足 5% 的工厂用电需求，实现能源的多级利用和能效平衡。

解决了第三代半导体行业能源结构单一、对传统电网依赖度高、用电成本高、能源浪费严重等问题。通过可再生能源发电和储能系统，降低对传统电网的依赖，减少碳排放；需求侧响应和余热回收利用，有效降低企业用电成本，提高能源综合利用效率。

目前，只有少数第三代半导体企业开始尝试建设光伏 - 储能 - 微电网系统，但受限于场地、资金和技术等因素，光伏装机规模较小，储能系统容量不足，“削峰填谷”效果不明显。需求侧响应技术应用范围较窄，多数企业尚未建立完善的负荷动态调度机制。余热回收利用技术在行业内的应用也处于探索阶段，设备投资成本高、回收效率有待提升，导致企业推广积极性不高。

产业链补充

光伏设备制造商：研发更高效、更适合厂区环境的光伏组件和发电设备，提高光伏发电效率和稳定性，降低设备成本。

储能设备供应商：优化锂电池和液流电池技术，提高储能系统的能量密度、充放电效率和使用寿命，降低储能成本。开发更智能的储能管理系统，实现储能设备与微电网的高效协同运行。

能源管理系统开发商：开发功能强大的能源管理系统，集成需求侧响应、负荷动态调度等功能，实现对厂区能源的智能化、精细化管理。

余热回收技术企业：加大研发投入，改进热交换器和 ORC 有机朗肯循环发电技术，提高余热回收效率，降低设备投资和运行成本，开发适用于第三代半导体行业不同设备的余热回收解决方案。

4.12.4 解决方案建议

技术方案：构建“监测—优化—协同—循环”能源管理体系。

智能监测与动态优化层

高精度能耗感知：在长晶炉、真空泵等设备加装无线电流传感器（如优特普 UTEPO），实时监测有功/无功功率、谐波畸变率，识别“隐性能耗”（如设备空转）。

工艺—能耗联动模型：开发多目标优化算法（如 NSGA-II），以能耗、良率、产能为优化目标，动态生成工艺

参数组合。例如，将 SiC 长晶温度从 2200°C 降至 2150°C，结合压力补偿技术，可降低 12% 能耗且良率保持 95% 以上。

碳资产管理与合规层

全产业链碳核算平台：集成供应商碳数据（如高纯石墨坩埚的碳排放因子）、生产数据、物流数据，开发行业专属碳核算工具，误差控制在 5% 以内。

碳足迹可视化：通过数字孪生大屏展示实时碳排放量、强度及趋势，支持按产品型号、工艺环节钻取分析，如 GaN 射频器件的碳强度较 SiC 功率模块高 20%，需优先优化外延工艺。

能效协同与可再生能源层

微电网能量管理系统（EMS）：采用 ** 模型预测控制（MPC）** 算法，提前 1 小时预测光伏出力与负荷需求，动态调整储能充放电策略，确保绿电利用率 > 95%。

余热梯级利用：建立“高温废热发电 + 中温废热供暖 + 低温废热制冷”三级利用体系。例如，将刻蚀机冷却水（温度 45°C）用于预热清洗液，年节约蒸汽消耗量 15%。

循环经济与资源再生层

废料智能化回收：部署碳化硅切割废料回收产线，通过激光分选（精度 $\pm 0.1\text{mm}$ ）、高温提纯（纯度达 99.99%）技术，将废料转化率提升至 85%，年减少碳排放超 2000 吨。

设备再制造：与设备厂商（如 AMAT、泛林）合作建立“长晶炉再制造中心”，对退役设备进行智能化改造，能耗较新机降低 10%-15%，成本仅为新品的 60%。

实施路径与保障

短期(1-2年):重点改造高能耗工序(如长晶、外延),完成60%以上核心设备的能耗数据接入,建立企业级碳账户,可再生能源利用率提升至15%。

中(3-5年):实现全流程能耗优化与碳足迹追溯,建成行业级微电网示范项目,单位产值能耗较基准年下降25%,碳强度达标欧盟CBAM要求。

长期(5年以上):打造“零碳半导体工厂”,实现100%绿电供应和废料循环利用,主导制定《第三代半导体能耗与碳管理标准》,成为全球可持续制造标杆。

4.13 环保管控(包括污染监测与管控、废弃物管理等)

4.13.1 现况问题

资源循环技术壁垒高。比如氟气回收技术仅由头部企业掌握,SK海力士最近宣布与韩国气体供应商TEMCO合作,在氟气回收方面取得了突破。他们通过利用装置收集废气,实现了72.7%的氟气回收率,并计划将这一效率进一步提升至77%。由于地缘政治紧张,氟气的价格从2021年的59美元/升飙升至2022年的1613美元/升。实现氟气回收不仅能够降低成本,还有助于减少碳排放。三星电子也紧随其后,计划在2025年将氟气回收技术整合到其制造工艺中。中小企业缺乏经济可行的回收方案,导致稀有气体资源浪费严重。

绿色制造成本压力大。欧美国家依托严格的环保法规和成熟的碳减排机制,将SiC/GaN产业纳入绿色制造体系,例如美国通过《芯片法案》配套的环保条款要求半导体企业采

用清洁能源生产，头部企业已实现碳化硅晶圆厂 30%的绿电覆盖率，但中小厂商难以负担；欧盟则通过《芯片法案》强制要求成员国对半导体产业链实施全生命周期碳排放追踪，从而增加了企业的合规成本。

排放治理技术滞后，有毒废弃处理低效：MOCVD（金属有机化学气相沉积）工艺使用氨气、硅烷等危险气体，生成含氮氧化物（NO_x）、氟化物（如 SiF₄）等废气，传统吸附/燃烧法处理效率不足；切割、研磨环节产生的纳米级粉尘（如 SiC 微粒）易逃逸，现有除尘设备精度不足。

资源利用率低，碳化硅晶锭切割损耗率高达 60%，废料未有效回收提纯，造成稀缺资源浪费；有机溶剂回收率不足 40%（国际>65%），中小企业普遍违规委外处理，危废回收率低。

清洁技术应用瓶颈，某企业 6 英寸 SiC 晶圆单位产品能耗比国际高 15%–20%，因缺乏绿电配套及热回收技术，能耗差距明显；干法刻蚀替代湿法刻蚀虽可减少废水 90%，但设备投资成本大幅增加，中小企业承担压力较大。

4.13.2 改造场景

场景一：全流程污染物数字化追踪

通过物联网传感层→数据传输层→智能分析层，三层架构，实现从原材料入厂到产品出厂的全工序污染物动态监控与溯源管理。物联网传感网络：在废气排放口部署在线质谱仪、激光粉尘传感器，实时监测 NO_x、PM_{2.5} 浓度；废水管道安装多参数探头（PH/电导率/重金属离子传感器），数据直连

环保监管平台。



图 22 工业物联网传感网络

区块链存证：危废转运数据（种类、重量、处置方）上链存证，确保不可篡改，满足合规审计；数字孪生中枢：基于工业互联网平台整合MES（生产数据）、EMS（环境数据），构建工艺-污染关联模型。

在第三代半导体制造环节构建全流程污染物数字化追踪体系，需依托工业互联网平台整合MES与EMS系统数据流。通过部署高精度传感网络实时采集外延炉氨气浓度、切割工序碳化硅粉尘等23类特征污染物数据，结合数字孪生技术建立从原材料到成品的污染物溯源模型，某SiC代工厂试点显示该技术可使污染事件定位时效提升80%。重点突破衬底制备环节的在线质谱分析技术，实现重金属离子污染与工艺参数的动态关联分析，为后续治理提供数据支撑，也为行业碳足迹核算提供基础数据库，加速对接国际标准。

全流程污染物数字化追踪体系，本质是第三代半导体绿色制造的“神经中枢”，其价值不仅在于满足合规要求，更通过：精准溯源降低治污边际成本，数据驱动推动工艺革新，透明监管重塑产业生态，最终实现环保管控从“成本中心”向“价值引擎”的转型，为落实“双碳”目标提供底层支撑。

场景二：污染物高效治理与循环

以“减废-净化-再生”闭环为目标，通过AI优化治理工艺+高价值资源提取双轮驱动，实现污染物从终端处理向资源转化的升维突破。

AI驱动的废气处理优化：通过机器学习预测废气成分波动，动态调节RTO（蓄热式焚烧炉）温度，降低天然气消耗20%以上。等离子体协同催化技术处理含氟废气，分解效率提升至99.5%。

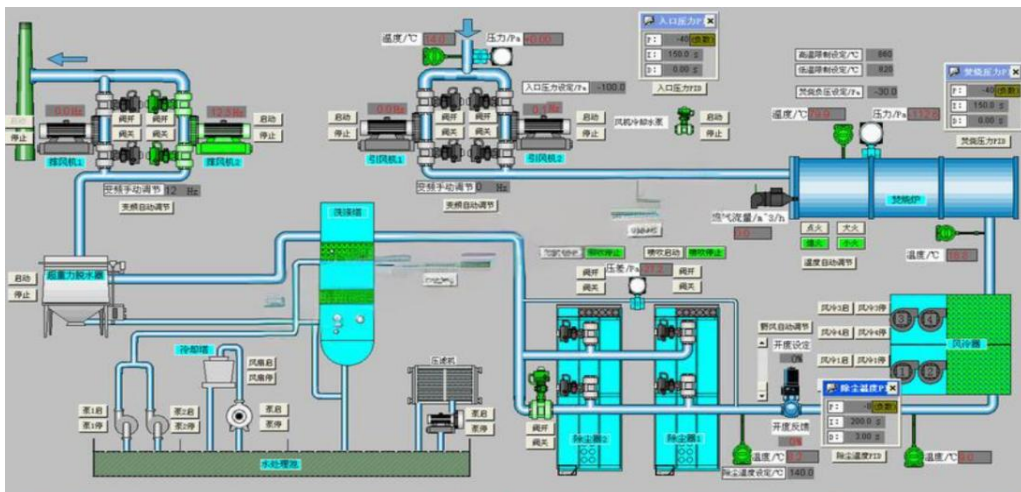


图 23 智能废气处理系统

废水零排放系统：集成膜分离（RO 反渗透）+ 电渗析技术，回收 85%以上废水；浓缩液通过蒸发结晶提取氟化钙等副产品。

污染物高效治理与循环系统的核心在于开发针对半导体特性的处理工艺，日本名古屋大学最新研究证实脉冲电凝技术对 GaN 蚀刻废水中镓的回收率可达 92%。建议构建分级处理框架：初级处理采用膜生物反应器降解有机溶剂，二级处理应用分子筛吸附稀有金属，三级处理通过光伏驱动电催化氧化分解难降解物。山东某企业将切割冷却水循环系统与 AI 算法结合，使水资源回用率从 45% 提升至 78%，同时降低处理能耗 30%。最终推动环保管控从“合规成本项”升级为“技术附加值来源”，为第三代半导体国产化注入绿色动能。

场景三：碳资产与废弃物管理

以“废弃物资源化+碳资产增值”双循环为核心，通过数字化碳追踪+废料高值再生双引擎驱动，实现环保管控从成本中心向价值创造的转型。废料高值化利用：碳化硅切割废料经破碎、提纯后重新用于衬底生产，实现“废料-原料”闭环。氩气回收系统通过低温精馏提纯，循环利用率达 90%；数字化碳足迹管理：联合上下游企业构建 LCA（生命周期评价）平台，核算从衬底到器件的全链条碳排放。基于区块链的 MRV（监测-报告-核证）系统，实时核算 SiC/GaN 器件全生命周期碳排放。



图 24 数字化碳足迹管理平台界面

碳资产与废弃物管理需建立跨平台协同机制，碳资产管理平台应集成 MRV（监测-报告-核证）体系，采用区块链存储各工序的碳排放因子库，深圳已出现基于 IoT 的碳足迹实时认证服务。废弃物管理平台需开发危险废物代码智能识别算法，结合 RFID 技术追踪废料流转路径，某项目通过该技术使危废处置合规率提升至 99.7%。成套装备开发要注重模块化设计，如将碳化硅粉尘回收装置与碳核算模块耦合，形成可输出的环保技术包，这对第三代半导体行业绿色转型具有资源安全自主化、环保合规资产化、绿色技术标准化的意义，最终实现“减废降碳→资源再生→资产增值”的正向循环，为行业绿色竞争力提供底层操作系统。

4.13.3 解决方案建议

解决方案 1:

需构建“感知-传输-分析-决策”四层技术框架，通过高精度传感器网络实时采集外延炉氨气、切割粉尘等 23 类特征污染物数据，结合数字孪生建模实现从原材料到成品的全

生命周期溯源。废气排放口部署激光粉尘传感器与在线质谱仪，监测精度需达到 ppb 级，废水管道配置 pH/电导率/重金属离子传感器阵列，形成全天候立体监测网络。数据通过 5G 边缘计算网关预处理后，同步至工业互联网平台与 MES/EMS 系统集成，实现工艺参数与污染指标的动态关联分析。采用区块链技术固化危废转运数据链，包括种类、重量、处置方等核心字段，通过智能合约自动触发合规审计流程。开发污染物指纹数据库，基于光谱特征与时空变化规律建立预测模型，某 SiC 代工厂实践表明该技术可使污染事件定位时效提升 80%。重点突破衬底制备环节的在线质谱分析技术，通过机器学习算法识别重金属离子污染与设备运行参数的映射关系，为工艺优化提供数据支撑。

系统建成后将实现三大核心价值：实时监测方面，通过物联网传感器网络达成分钟级数据更新，替代传统人工采样滞后模式；合规管理方面，区块链存证确保数据不可篡改，满足环保部门 MRV（监测-报告-核证）体系要求；治理优化方面，数字孪生模型可模拟不同工况下的污染排放趋势，辅助制定精准减排策略。

解决方案 2:

采用"智能预测-分级处理-资源回收"三位一体技术路线。废气治理方面，部署机器学习驱动的动态调节系统，通过实时分析废气成分波动数据，自动优化 RTO 温度曲线，结合等离子体协同催化装置处理含氟废气，实现天然气消耗降低 20%以上且分解效率达 99.5%。废水处理采用三级分质处理框

架：初级阶段通过膜生物反应器降解有机溶剂，二级阶段应用分子筛选择性吸附镓等稀有金属，三级阶段采用光伏驱动电催化氧化分解难降解有机物。资源回收环节集成 RO 反渗透+电渗析技术实现 85% 废水回用，蒸发结晶系统提取氟化钙等副产品，脉冲电凝技术对 GaN 蚀刻废水中镓的回收率可达 92%。构建 AI 中枢控制平台，整合废气处理、废水循环与副产品回收三大子系统数据流。通过数字孪生技术模拟不同工况下的污染物迁移转化规律，动态优化处理参数。切割冷却水系统采用边缘计算节点实时分析水质数据，结合自适应算法调整循环参数，实践表明该技术可使水回用率提升至 78% 同时降低能耗 30%。系统配备区块链存证模块，全程记录污染物处理数据与资源回收量，满足 ESG 信息披露要求。

废气处理单元需实现 VOCs 去除率 $\geq 99\%$ 、NO_x 排放浓度 $\leq 50\text{mg}/\text{m}^3$ ；废水处理单元要求 COD_{Cr} 去除率 $\geq 95\%$ 、重金属截留率 $\geq 99\%$ ；资源回收系统应达到镓回收率 $\geq 90\%$ 、氟化钙纯度 $\geq 98\%$ 。整个系统通过 ISO 14001 环境管理体系认证，碳减排量可纳入碳交易体系。

解决方案 3:

构建"资源循环-碳核算-智能管控"三位一体的技术体系，通过碳化硅切割废料破碎提纯工艺实现废料到衬底原料的闭环利用，氩气回收系统采用低温精馏技术达到 90% 循环利用率。建立覆盖衬底到器件的 LCA 平台，集成区块链技术的 MRV 体系存储各工序碳排放因子，深圳的 IoT 碳足迹认证服务已验证实时监测可行性。危废管理模块需开发基于深度学

习的废物代码识别算法,结合 RFID 技术构建从产生到处置的全流程追溯系统,参考试点实现 99.7%合规率的技术路径。重点突破碳化硅粉尘回收装置与碳核算模块的耦合设计,形成标准化环保技术包。通过数字孪生技术建立废料资源化与碳排放的关联模型,实现工艺优化与污染治理的协同调控。开发危险废物智能分拣系统,利用光谱特征识别技术提升废料分类精度,同步对接区块链存证平台满足监管审计要求。

该方案通过物联网感知层采集 20 多类特征污染物数据,工业互联网平台整合 MES/EMS 系统实现数据融通。碳资产管理模块可动态生成碳减排策略,废弃物资源化模块实现 98.9%的固废利用率,形成"资源-产品-废弃物-再生资源"的闭环经济模式。成套装备的模块化设计便于技术输出,为行业提供可复制的绿色转型范式。

4.14 供应链计划（包括供应链计划协同优化、产供销一体化等）

4.14.1 现状问题

美国通过《芯片与科学法案》重点扶持 Wolfspeed 等企业扩建碳化硅晶圆厂,控制全球 73%高纯碳化硅粉,并与车企构建垂直供应链,同时军方主导氮化镓技术研发;欧盟碳足迹认证强制多缴 13%关税,欧盟《芯片法案》进一步强化区域协同;日本则通过国家战略推动罗姆等企业突破 8 英寸 SiC 量产技术,同步探索氧化镓第四代材料。资源武器化,断供、涨价极限施压,绿色壁垒升级,意法半导体全链厂碳排比亚洲低 22%,锁定苹果供应链,欧美日占据 89%核心专

利。

高端衬底进口依赖，8英寸SiC衬底良率不足45%，导致车规级晶圆80%依赖进口。政策协同失调，上下游脱节，存在衬底厂与器件厂未共享缺陷数据，衬底匹配损耗率高达40%，低端消费电子GaN器件产能闲置率超50%；数字基建滞后，预测失能与响应迟滞。传统ERP系统对车规级SiC需求预测偏差>35%，库存周转达120天，MES/WMS/SCM系统分立运行。

第三代半导体行业（以碳化硅SiC、氮化镓GaN为主）的供应链计划需结合其技术特点和行业挑战，进行多维度进行系统性规划。第三代半导体行业供应链计划的核心要素主要体现在原材料、制造、物流、技术合作、风险管理、终端协同、数字化工具。

当前全球第三代半导体工厂供应链计划呈现多极化竞争与技术攻坚并行的格局。在国际层面，美国通过《芯片与科学法案》重点扶持Wolfspeed等企业扩建碳化硅晶圆厂，并与车企构建垂直供应链，同时军方主导氮化镓技术研发；日本则通过国家战略推动罗姆等企业突破8英寸SiC量产技术，同步探索氧化镓第四代材料。供应链核心问题集中于技术瓶颈（如8英寸SiC衬底良率低、管理技术滞后）、地缘风险（美国设备出口限制）及市场失衡（低端产能过剩与专利壁垒并存），未来竞争焦点将聚焦8英寸SiC量产与GaN-on-SiC异质集成技术，而新能源汽车与可再生能源需求将成为驱动供应链重构的关键变量。

4.14.2 改造场景

场景一：供应链计划协同优化

在第三代半导体产业中，供应链计划协同优化和产供销一体化的具体实施需要结合行业特性展开。以碳化硅（SiC）功率器件生产为例，供应链计划协同优化的核心在于构建动态响应系统：当特斯拉等车企调整季度订单时，AI 系统会同步抓取其工厂的 SiC 模块库存数据（如当前库存仅能满足 2 周生产）、外延片在制晶圆数量（如某批次的 200 片正在刻蚀工序），以及物流运输状态（如某批原材料因台风延误 3 天），通过算法自动生成采购建议（如紧急向科锐追加 50 片 6 英寸衬底订单）、调整产线排期（将某条产线从 MOSFET 转为二极管优先生产），并重新规划物流路线（改用空运替代部分海运）。这个闭环系统可使供应链响应速度从传统 7 天缩短至 4 小时内，同时降低安全库存水平约 25%。

场景二：产供销一体化

产供销一体化则体现在晶圆厂与下游客户的深度系统对接中：例如某企业建立的云端协同平台，当下游 APP 接收到某型号车辆新增 1000 台订单时，系统会实时解析该车型所需的 SiC 模块规格（如 1200V/300A 规格占比 70%），自动匹配工厂的可用产能（如 3 号线当前剩余产能可承接 800 片），同时触发原材料采购流程。整个过程无需人工干预，从销售订单到生产工单的转化时间从原来的 72 小时压缩至 15 分钟，且系统会持续追踪生产良率（如当前外延工序良率 89%）动态调整交付预期。这种深度集成使产能利用率提升 18% 的同

时，将客户订单满足率提高到 98%以上。

场景三：物流与库存管理的优化

关键挑战：

全球物流波动：半导体设备运输周期长（如 MOCVD 设备从欧洲到亚洲需 3-6 个月），易受港口拥堵影响。**需求波动大：**新能源汽车、光伏逆变器等下游行业订单周期性变化。

应对策略：

区域化供应链

在主要市场（如中国、欧洲、北美）建立本地化仓储和分拨中心，缩短交付周期。

采用“近岸外包”（Nearshoring），例如欧洲车企优先采购本地 SiC 器件。

数字化库存管理：部署 ERP 和 AI 预测系统（如 SAP IBP），动态调整安全库存水平。实施 VMI（供应商管理库存）模式，与客户共享需求数据，减少牛鞭效应。

弹性运输方案：多模式联运（空运+海运+中欧班列）应对紧急订单。签订长期物流协议，锁定舱位和运力。

4.14.4 解决方案建议

解决方案 1：

供应链控制塔：集成 ERP、SRM、TMS 系统数据，通过数字孪生实现“端到端”供应链实时监控与模拟推演，交付准时率提升至 95%。

边缘计算+IoT 的智能仓储：在原材料仓库部署 RFID 与视觉识别系统，结合温湿度传感器动态调节存储条件（如 MO

源气体需-40℃保存），损耗率降低 15%。

解决方案 2:

TCO（总拥有成本）导向的供应商管理：将供应商质量成本（如退货损失、工艺调试成本）纳入采购决策，替代单纯比价模式。

分级备链计划：对光刻胶等“卡脖子”材料，建立“一级主供+二级备份+三级技术替代”三级供应链韧性体系。

解决方案 3:

行业级产能共享平台：联合头部企业共建第三代半导体产能池，通过智能合约分配紧急订单，减少重复投资。

国产化替代加速计划：联合设备厂商研发国产设备，制定工艺兼容性标准，降低供应链地缘风险。

第三代半导体行业的供应链计划需以“数据驱动+弹性协同”为核心，通过智改数转构建“需求感知-资源优化-敏捷回应”的智慧供应链体系。重点突破需求预测、多级可视化、动态排程三大场景，同步推动国产替代与生态协同，方能在全球产业链变局中实现“保供、降本、提效”三重目标。

4.15 供应链采购与交付（包括供应链采购动态优化、供应链智能配送与动态优化等）

4.15.1 现况问题

核心材料与设备依赖进口，高纯碳化硅（SiC）粉料、金属有机化学气相沉积（MOCVD）设备等关键物资 70% 依赖进口，美国对华出口管制导致某 SiC 衬底厂 2023 年停产 12

天，损失超 5000 万元。长晶炉射频电源、光刻胶等备件采购周期长达 16-20 周，设备停机风险较高，某 GaN 代工厂因备件延迟导致产能损失 8%。

美国通过《芯片与科学法案》限制向中国供应 8 英寸 SiC 长晶炉，Wolfspeed 等企业的关键备件实施“技术锁定”，国内企业维修成本增加 300%。欧盟《芯片法案》要求供应链企业部署区块链溯源系统，国内中小企业因改造成本高（单套系统超 200 万元）难以达标。

4.15.2 改造场景

针对第三代半导体行业的采购与交付痛点，设计以下智能化改造场景：

场景 1：供应链采购动态优化平台

该平台以 AI 采购决策系统为核心，集成需求预测、供应商协同、智能定价等功能。通过分析历史采购数据、市场行情及生产需求，实现精准需求预测；支持供应商实时获取主厂生产计划，自动调整排产；智能定价功能依据价格波动趋势等多维度数据，动态优化采购价格。同时，多维度数据可视化呈现，为采购决策提供直观依据，形成从需求预测到采购执行的全流程闭环管理。

有效解决第三代半导体行业采购周期长、价格波动响应慢、供需信息不对称、库存积压等问题。需求预测功能减少因需求不明导致的采购延迟；供应商协同实现生产计划共享，避免因信息不畅造成的排产混乱；智能定价降低价格波动带

来的成本风险；数据闭环管理提升库存周转率，减少原材料库存积压，降低企业运营成本。

目前，部分大型第三代半导体企业已开始尝试引入采购管理系统，但多数系统功能单一，缺乏 AI 预测和智能定价等先进功能。中小企业由于资金和技术限制，仍采用传统人工采购方式，采购效率低、成本高。不同企业与供应商之间的数据交互标准不统一，导致信息共享困难，供应链协同程度低。

产业链补充

软件开发商：持续优化 AI 采购决策系统，提升需求预测的准确性和智能定价的科学性，开发更易用、功能更强大的数据可视化模块，加强系统与不同企业 ERP 等内部系统的兼容性。

数据服务提供商：为平台提供更全面、准确的市场价格、行业趋势等数据，助力企业做出更精准的采购决策。

咨询机构：为企业提供供应链采购优化的专业咨询服务，帮助企业梳理采购流程，制定适合自身的采购策略，指导企业更好地应用采购动态优化平台。

企业自身：加大对采购数字化的投入，培养既懂采购业务又熟悉数字化技术的复合型人才，积极与供应商建立深度合作关系，共同提升供应链协同效率。

场景 2：智能配送与动态路径优化

运用智能调度算法整合 GPS、温控传感器等数据，实时优化运输路径，确保货物在运输过程中的安全性和时效性。

针对光刻胶等对运输温度敏感的物质，通过温控传感器和智能算法保障运输温控达标。在长三角部署半导体专用冷链物流网，配备高精度温控的蓄冷式集装箱和无人机应急配送，缩短响应时间。当物流出现异常（如温度超标、塞港）时，系统自动触发备用路径，并联动保险公司启动快速理赔，实现从运输路径规划、异常处理到理赔服务的全流程智能化管理。

解决了第三代半导体行业物流配送中运输路径不合理、温控难以保障、异常情况处理不及时、损失赔偿缓慢等问题。智能调度算法提高运输效率，降低运输成本；精准温控和冷链物流网确保光刻胶等物资的品质；自动触发备用路径和快速理赔机制减少因物流异常导致的货物损失和企业经济损失。

虽然部分企业开始使用 GPS 进行运输监控，但缺乏智能路径优化和温控管理功能。半导体专用冷链物流网尚未普及，多数企业在运输光刻胶等物资时难以保证温控达标。物流异常处理主要依赖人工协调，响应速度慢，保险公司理赔流程繁琐，企业损失较大。

产业链补充

物流技术企业：研发更先进的智能调度算法，提高路径优化的准确性和效率；开发高精度、高稳定性的温控传感器和蓄冷式集装箱，满足半导体物资运输的特殊需求；探索无人机应急配送在复杂环境下的应用技术，提升应急配送能力。

物流服务提供商：加大在半导体专用冷链物流网建设方面的投入，扩大冷链物流覆盖范围，提高冷链物流服务质量；建立专业的物流异常处理团队，与保险公司合作优化理赔流程，提升客户服务水平。

设备制造商：生产更适合半导体物资运输的车辆、集装箱等设备，加强设备的温控、防震等性能，保障货物运输安全

场景 3：区块链赋能的可信采购与交付

利用区块链技术，对 MOCVD 设备、光刻胶等物资的“采购 - 生产 - 运输”全流程数据进行上链存证，确保数据不可篡改，实现批次溯源和防伪验证。生成符合 SEMI 标准的溯源报告，满足国际客户对供应链审计的要求，缩短企业认证周期。联合行业协会建立采购联盟链，实现跨企业库存共享，提高闲置物资利用率，降低采购成本，促进供应链上下游企业的协同合作。

解决了第三代半导体行业采购与交付过程中数据可信度低、物资溯源困难、供应链审计周期长、企业间库存资源浪费等问题。区块链技术保障数据真实可靠，增强供应链透明度；溯源报告帮助企业快速通过客户审计，提升市场竞争力；库存共享机制减少企业库存积压，提高资源利用效率，降低采购成本。

目前，区块链技术在第三代半导体行业采购与交付中的应用较少，多数企业对区块链技术的认知和应用能力不足。企业间数据共享存在壁垒，缺乏统一的区块链平台和标准，

难以实现跨企业的可信数据交互和库存共享。行业内对符合 SEMI 标准的溯源报告需求迫切，但具备相关技术和能力生成报告的企业不多。

产业链补充

区块链技术服务商：针对第三代半导体行业特点，优化区块链平台性能，提高数据处理效率和隐私保护能力，降低企业上链成本；开发便捷的溯源报告生成工具，满足企业供应链审计需求。

企业自身：积极拥抱区块链技术，将区块链应用于采购与交付环节，主动参与采购联盟链建设，与上下游企业共享库存信息，实现互利共赢；加强企业内部信息化建设，提升数据管理能力，为区块链应用提供基础支持。

4.15.3 解决方案建议

技术方案：构建“智能决策 - 动态配送 - 可信协同”供应链体系

智能采购决策平台

需求预测模型：基于 LSTM-GARCH 神经网络，融合主厂生产计划、市场行情、供应商产能等数据，提前 8 周预测采购需求，误差控制在 5% 以内。某 SiC 衬底厂通过该模型将采购计划准确率从 60% 提升至 92%。

动态定价引擎：开发多目标优化算法（如 NSGA-II），综合考虑价格、交期、质量等因素，自动生成最优采购方案。支持与供应商的反向拍卖（Reverse Auction），某企业通过该功能使关键材料成本下降 18%。

供应商协同门户：建立供应商数字孪生模型，实时展示产能利用率、质量合格率等 12 项指标，自动触发红黄牌预警。

智能配送与物流优化系统

多模态运输网络：构建“干线 + 最后一公里”立体物流网，干线采用温控海运 / 空运，最后一公里部署 AGV 冷链车，某企业将晶圆配送时效从 72 小时缩短至 24 小时。

实时温控监测：在运输包装中嵌入区块链温湿度标签，每 10 分钟上传数据，温度超标时自动启动应急制冷装置，某光刻胶运输损耗率从 8% 降至 1%。

数字孪生路径规划：利用 Unity 3D 构建物流数字孪生体，模拟极端天气、交通管制等 10 类场景，提前优化运输策略，某企业因台风导致的交付延迟减少 90%。

区块链可信供应链生态

全流程溯源体系：在采购环节部署物联网标签（如 RFID+NFC），记录每批次物资的粉料来源、生产设备、质检报告等数据，消费者扫码即可查看全生命周期信息。

供应链金融创新：基于区块链数据开发仓单融资产品，供应商可凭在途物资申请贷款，融资成本较传统模式降低 3 个百分点，某中小企业通过该渠道获得 500 万元周转资金。

碳足迹协同管理：联合物流商计算运输环节碳排放，通过碳积分激励机制鼓励使用绿电运输，某企业供应链碳强度下降 15%。

实施路径与保障

短期(1-2年):重点改造核心物资采购流程,完成60%以上供应商的数字化协同改造,建立区域级应急物流池,采购周期缩短40%。

中期(3-5年):实现全品类物资智能采购,建成行业级冷链物流网,交付准时率提升至95%,关键备件国产化率达30%。

长期(5年以上):构建自主可控的供应链生态,主导制定国际采购与交付标准,实现核心设备备件100%国产化,供应链总成本下降25%。

4.16 供应链服务(包括供应商数字化管理、供应链风险预警与弹性管控等)

4.16.1 现况问题现状

第三代半导体行业的供应链服务面临技术壁垒高、地缘政治风险与生态协同不足的多重挑战,国内外发展呈现显著分化:

核心环节对外依赖度较高,高纯碳化硅(SiC)粉料、金属有机源(MO源)等关键原材料70%依赖进口,美国对高纯度石英砂的出口限制导致国内衬底产能波动。长晶炉、光刻机等核心设备的维修备件(如射频电源模块)供应周期长达12-16周,设备停机风险较高。

供应商数字化协同不足,部分中小企业仍通过Excel和邮件管理供应商数据,订单变更响应滞后,某SiC衬底厂因供应商未及时调整工艺参数,导致批次良率下降15%。缺乏行业级数据标准,不同供应商的工艺参数(如衬底微管密

度)格式不统一,需人工二次处理,耗时占供应链管理总时间的40%。

风险预警与弹性能力薄弱,地缘政治风险(如台海局势)对封装测试环节的影响难以量化,某企业因物流中断导致交付延迟,损失超千万元。应急备用供应商开发周期长(通常需12-18个月),且资质审核依赖人工,难以应对突发断供。

欧美供应链技术封锁,美国通过《芯片与科学法案》限制向中国供应SiC衬底生产设备,Wolfspeed等企业的先进工艺参数不对华开放。欧盟通过《芯片法案》要求供应链企业部署区块链溯源系统,国内中小企业因改造成本高(单套系统超300万元)难以达标。

4.16.2 改造场景

场景 1: 供应商全生命周期数字化管理

构建覆盖供应商准入、合作过程管理到绩效评估的全流程数字化体系。在准入环节,通过多维度数据评估筛选优质供应商;合作中,集成供应商工艺参数自动抓取功能,实现主厂与供应商数据实时协同,供应商可依据主厂需求预测自主调整排产。多维度数据可视化展示交付准时率、质量合格率等关键指标,帮助企业全面掌握供应商动态,基于绩效评估优化合作策略,形成高效的数据闭环管理。

有效解决第三代半导体行业供应商管理中信息不对称、响应速度慢、工艺管控难、库存积压等问题。自动抓取工艺参数避免人工沟通误差,加速订单变更响应;数据协同促使

供应商按需生产，降低库存积压；可视化绩效评估助力企业筛选优质供应商，提升批次产品良率，保障供应链稳定性与产品质量。

目前，多数第三代半导体企业仍采用传统供应商管理模式，依赖人工沟通与纸质文档，信息传递效率低、易出错。部分企业虽引入 SRM 系统，但功能局限于基础采购流程管理，缺乏供应商工艺协同和深度绩效评估功能。企业与供应商之间的数据接口不统一，导致数据交互困难，难以实现真正的数据协同。

产业链补充

软件开发商：持续优化 SRM 平台功能，增强工艺参数自动抓取的兼容性和准确性，开发更智能的绩效评估算法，提升数据可视化交互体验，加强平台与企业内部 ERP、MES 等系统的集成能力。

数据服务提供商：提供涵盖供应商信用、行业竞争力等更全面的评估数据，辅助企业在供应商准入和管理中做出精准决策。

咨询机构：为企业提供供应商全生命周期数字化管理的咨询服务，协助企业梳理管理流程，制定数字化转型方案，指导企业高效使用 SRM 平台。

企业自身：加大数字化转型投入，培养既懂供应链管理又熟悉数字化技术的人才，主动与供应商协商统一数据标准，推动供应链协同升级。

场景 2：供应链风险预警与弹性管控

通过 AI 风险预测模型整合地缘政治、物流数据、供应商财务指标等多源信息，提前 6-8 周预判断供风险。在长三角产业集群建立动态备用供应商池，并利用数字孪生技术模拟供应商产能，当主供应商风险等级超标时，自动触发备用供应商认证流程，缩短认证周期。一旦风险发生，智能合约自动执行物流切换，联动保险公司启动快速理赔，减少订单延迟损失，形成从风险预警、备用供应商启用至应急处置的全链条弹性管控机制。

针对第三代半导体行业供应链面临的地缘政治冲突、物流中断、供应商财务危机等风险，解决风险预警滞后、备用供应商启用慢、应急响应效率低等难题。提前预警使企业有充足时间应对风险；动态备用供应商池和快速认证流程确保供应链中断时快速切换供应商；智能合约与保险联动降低企业经济损失，提升供应链抗风险能力。

当前，企业对供应链风险的管理多依赖经验判断，缺乏科学的风险预测模型和多源数据整合能力，难以提前识别潜在风险。备用供应商池建设不完善，备用供应商认证流程繁琐、周期长，无法满足应急需求。企业在物流切换和保险理赔方面多依靠人工协调，响应速度慢，导致订单延迟损失严重。

产业链补充

数据分析企业：开发更精准的 AI 风险预测模型，整合更多维度的风险数据，提升风险预警的准确性和时效性，为企业提供风险应对策略建议。

技术服务商：研究数字孪生技术在供应商产能模拟中的应用，优化备用供应商认证流程的数字化解决方案，开发智能合约应用系统，实现物流切换和保险理赔的自动化。

行业协会：牵头建立区域性或行业性的动态备用供应商池，制定统一的供应商认证标准和数据共享机制，组织企业开展供应链风险应急演练，提升行业整体抗风险能力。

保险公司：针对第三代半导体行业供应链风险特点，设计定制化保险产品，简化管理流程，与企业和技术服务商合作实现快速理赔自动化。

场景 3：区块链驱动的供应链溯源与协同

功能与作用：运用区块链技术，对 SiC 衬底从粉料到晶圆的全流程数据上链存证，确保微管密度、杂质含量等关键参数不可篡改，实现产品全生命周期溯源。生成符合 SEMI 标准的溯源报告，助力企业快速通过国际客户供应链审计。联合行业协会搭建供应链联盟链，推动跨企业产能共享，提高闲置 MOCVD 设备等资源利用率，促进产业链上下游协同发展。

解决第三代半导体行业供应链中产品溯源困难、数据可信度低、企业认证周期长、产能资源浪费等问题。区块链存证保证数据真实可靠，增强客户信任；标准化溯源报告加速企业认证；产能共享机制优化资源配置，降低企业运营成本，提升产业链整体竞争力。

区块链技术在第三代半导体供应链中的应用尚处于起步阶段，多数企业对区块链技术认知不足，缺乏上链的技术

能力和动力。企业间数据共享存在壁垒，缺乏统一的区块链平台和标准，难以实现跨企业的产能共享。符合国际标准的溯源报告生成体系不完善，企业满足国际客户审计要求难度较大。

4.16.3 解决方案建议

技术方案：构建“数字化协同 - 智能化预警 - 生态化弹性”供应链体系

供应商数字化协同平台

数据标准化：制定《第三代半导体供应商数据交互标准》，统一衬底微管密度（单位：个/cm²）、外延层厚度（单位：μm）等 50 + 参数格式，减少人工处理成本。

集成开发界面（API）：开放主厂 MES 系统数据接口，供应商可实时获取工单进度、质量反馈等信息，某企业通过该功能将供应商工艺调整效率提升 60%。

绩效动态评估：建立供应商数字孪生模型，基于交付准时率、质量稳定性等 12 项指标生成动态评分，自动触发红黄牌预警。

供应链风险智能预警系统

多源数据融合：整合海关数据（如进口设备到港时间）、气象数据（如台风路径）、舆情数据（如供应商工厂事故新闻），通过自然语言处理（NLP）识别风险信号。

风险量化模型：开发供应链脆弱性指数（SVI），从供应集中度、物流依赖度、技术替代性等维度量化风险，当 SVI 超过阈值时自动生成《风险应对方案》。

弹性产能网络：建立“1+N”备用供应商体系（1家主供 + N家区域备份），通过虚拟产能映射技术实时监控备份供应商设备状态，确保48小时内可切换产能。

五、路径与方法

针对第三代半导体行业在推进智能制造与数字化转型中存在技术投入高、回报周期长、生态协同难导致企业“不愿转”的核心矛盾，结合江苏省产业特点，需构建“分层破局、精准施策、生态联动”的实施路径。

在实施重点上，企业应聚焦设备互联，打通生产环节数据壁垒；建立设计和工艺仿真模型，实现研发与生产的虚拟验证优化；同时强化5G工业物联网、AI智能、大数据模型等新技术的深度应用，降低人力依赖，保障生产稳定运行，推动产业向数字化、网络化、智能化高阶发展。

具体实施时，可先借助咨询诊断与智能制造能力成熟度评估，明确转型方向，制定科学规划与路径；再联合专业服务机构开展建设工作。建设完成后，企业可依据成果申报市、省及国家级荣誉和资金奖补，形成“诊断 - 建设 - 赋能”的闭环，助力产业转型升级。

5.1 在线评估与咨询诊断

5.1.1 在线评估

5.1.1.1 智能制造评估公共服务平台

企业可自行通过智能制造数据资源公共服务平台 (<https://www.c3mep.cn/>) 开展智能制造能力成熟度自评估。该平台为企业提供了全面且专业的评估维度，涵盖战略规划、

智能装备应用、工业软件集成、生产管理优化等多个关键领域，可助力企业精准定位自身在智能制造领域所处的阶段，明晰优势与待改进之处。通过自评，在智能制造能力成熟度达到 GB/T 39116 - 2020《智能制造能力成熟度模型》二级及以上水平。可依据《关于组织开展 2025 年江苏省先进级智能工厂申报工作的通知》申报省先进级智能工厂的企业。企业自评流程：先在江苏政务服务网江苏省工业和信息化厅旗舰店“认定遴选类申报”板块

(<https://www.jszfw.gov.cn/col/col140127/index.html>) 开展数字化转型通用能力自评，得分符合条件后，再进行智能工厂等级水平自评价。

5.1.1.2 两化融合自评估

企业也可自行通过国家两化融合公共服务平台(<https://cspii.com>)开展两化融合及数字人转型指标自评估。该平台是基于《工业企业信息化和工业化融合评估规范》(GB/T 23020)，从研发设计、生产管控、经营管理、工业云平台、新模式五大维度开展企业自评估，从而客观全面的掌握企业自身数字化水平基本情况，为后续智改数转工作开展提供科学依据。。

企业自评流程：企业登入国家两化融合公共服务平台(<https://cspii.com>)，通过官网指引，即可开展两化融合评估诊断。



图 25 两化融合评估诊断页面

政策衔接：国家工业信息安全发展研究中心每年 10 月发布全国两化融合发展报告，12 月完成江苏各设区市重点指标评估，结果可作为申报省 / 国家级荣誉及资金奖补的依据（如星级上云企业、专项资金项目等）。

5.1.1.3 智能制造能力成熟度评估

企业可登录智能制造数据资源公共服务平台（<https://www.c3mep.cn>）开展自评估，依据国家标准《智能制造能力成熟度模型》（GB/T 39116-2020），从战略、人员、数据、集成、装备、网络、设计、生产、物流、销售、服务等能力要素切入，系统诊断企业在智能装备应用、数据互通集成、业务流程优化等维度的成熟度水平。

通过自评估，企业可精准定位自身在智能制造能力成熟度体系中的等级（从初始级到引领级），获取与同行业、同地区企业的对比分析报告，明确研发设计智能化、生产管控数字化等环节的短板与改进方向，为制定分阶段的智能化改造方案提供量化依据，同步衔接智能制造示范工厂申报、专项资金申请等政策资源通道。

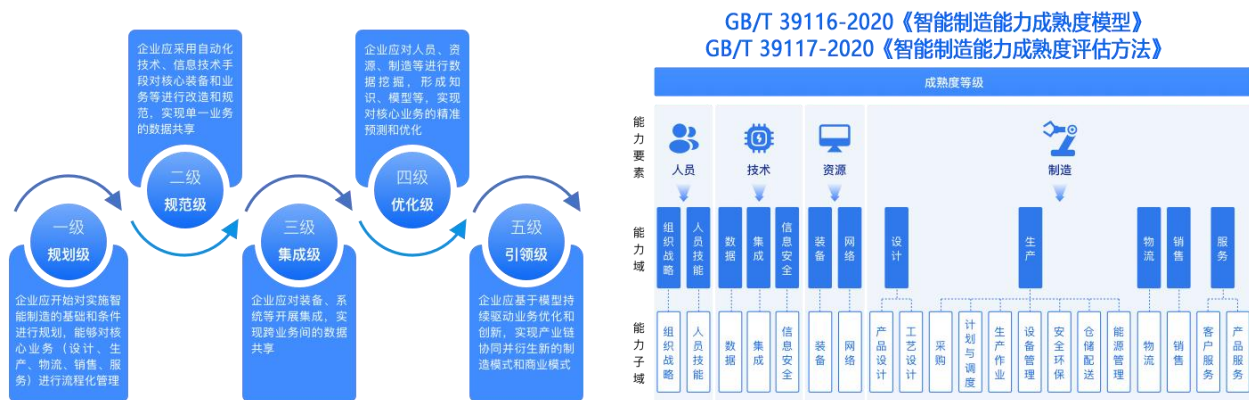


图 26 智能制造能力成熟度体系

5.1.2 免费诊断服务

5.1.2.1 官方管道资源池

(1) 江苏省工信厅“智改数转服务资源池”

入口：登录 江苏省工业和信息化厅官网

(<http://gxt.jiangsu.gov.cn>) → 搜索“智改数转服务商资源池” → 下载最新年度名单。

特点：服务商经政府审核认证，覆盖第三代半导体行业专精特新机构。

分类标签：名单中标注每家服务商的专长领域（如“两化融合贯标”“AI 质检”“碳足迹管理”）。

(2) 地方经信局推荐名录

获取方式：联系属地经信局获取区域服务商白名单。

地方特色：

苏州：侧重 MOCVD 设备智能化、工业互联网标识解析；

南京：聚焦半导体材料研发数据治理、AI 工艺仿真。

5.1.2.2 行业协会与联盟唐元晟 补充国家到省级 2-3 个

(1) 江苏省第三代半导体产业技术创新战略联盟

对接方式：入盟企业可获取会员专属服务商目录（含联盟认证的咨询诊断机构）。参与联盟组织的“智改数转供需对接会”（每年2次）。

（2）中国半导体行业协会（CSIA）江苏分会

资源支持：提供“半导体智改数转服务商能力图谱”（按技术领域、企业规模分类）。

定期发布服务商评级报告（如网络安全性、行业案例数量等维度）。

（3）江苏省企业技术改造协会

资源支持：主动与江苏省工信部门及相关企业共建共享“智能设备供应商、软件服务商、智能制造专家”三个库，“专精特新中小企业、智改数转分行业优秀方案、智改数转分行业示范标杆企业”三个资源池和“资金供需、技术供需、人才培养”三个对接服务平台。构建“智改数转技术支持中心、科技成果转化中心、技能人才培养招聘中心”三个中心，为企业数字化转型及信息化升级提供一站式服务。

（4）江苏省半导体行业协会

资源支持：组织产学研对接活动，加速科研成果的转化与应用。通过定期举办集成电路产业链党组织创新发展交流会等活动，深化党建与产业深度融合发展模式，促进集成电路企业在技术研发、质量管控体系等方面的合作，推动集成电路产业链创新发展

5.1.2.4 筛选服务商的关键评估维度

行业经验：

是否服务过同类企业，要求提供至少3个第三代半导体

行业案例（可实地考察）。

技术能力：

是否掌握核心工艺数字化技术（如 MOCVD 设备数据采集兼容性、SiC 长晶炉热场仿真精度）

是否具备国产化替代能力

合规资质：

是否通过 CSIA 行业认证、ISO 27001 信息安全认证

是否熟悉欧盟 CBAM、中国数据安全法等合规要求

5.2 企业实施路径

第三代半导体企业智能化改造和数字化转型其路径可按规划、设计、实施、验证、维护五个主要步骤分阶段实施。

5.2.1 规划阶段

各企业根据企业经营实际情况进行需求分析，探索确认企业进行智能化改造数字化转型的可行性，以及整体实施策略和规划部署。

5.2.1.1 智能化改造规划

短期：制定设备智能化升级清单，优先对关键生产设备安装传感器和数据采集装置，实现设备运行数据的实时监测。引入自动化程度较高的生产工具，如自动化搬运机器人，提升物料运输效率。

中期：搭建基于数据分析的工艺优化平台，收集和分析生产过程数据，建立工艺参数与产品性能的关联模型，实现工艺的自动优化。部署智能仓储管理系统，实现原材料、半成品和成品的自动化存储和检索。

长期：构建全自动化的智能工厂，实现从原材料投入到成品产出的全流程自动化和智能化。利用人工智能技术实现质量的自主检测和缺陷的自动修复，提升产品质量的稳定性。

5.2.1.2 数字化转型规划

短期：选用合适系统，集成财务、采购、销售、库存等基本业务模块，实现业务流程的数字化管理。建立数据备份和恢复机制，确保数据安全。

中期：实施项目管理系统，对产品研发过程进行全生命周期管理，实现设计、研发、测试等环节的协同工作。引入商业智能工具，对业务数据进行深入分析，为决策提供数据支持。

长期：打造企业级数字化平台，集成所有业务系统和数据资源，实现数据的共享和协同。利用大数据、人工智能等技术，实现业务的智能化预测和决策，推动业务创新。

5.2.1.3 网络化联接规划

短期：升级企业内部网络，部署高速无线网络和工业以太网，实现生产车间和办公区域的网络全覆盖。建立企业与主要供应商的信息共享管道，实现采购信息的实时交互。

中期：搭建工业互联网平台，实现设备之间、系统之间的互联互通，支持生产过程的远程监控和协同。加入行业性的工业互联网联盟或平台，与上下游企业进行数据对接和业务协同。

长期：构建基于区块链的供应链网络，实现供应链信息的透明化和可追溯性。通过工业互联网平台开展跨企业的创

新合作，共同开发新产品和新应用。

5.2.2 设计阶段

根据企业整体规划部署，研究编制形成切实可行的实施计划，并围绕编制形成的计划展开资源准备工作，为项目实施做好齐全准备；

5.2.2.1 组建专业团队

组建区域化专家服务团队，汇聚半导体技术、智能制造、数字化转型、网络通信等领域专家，及行业协会代表与企业技术骨干，确保团队专业背景多元互补。

(1) 角色与职责清晰化

行业技术专家：把控第三代半导体技术发展方向，校准行业痛点与技术路径；

智能制造专家：定制智能化改造方案，优化产线自动化与工艺仿真；

数字化转型顾问：设计数据治理、工业软件应用策略，推动业务流程重构；

网络通信专家：构建工业互联网、5G 专网等联接架构，保障数据传输高效安全；

行业协会代表：提供产业政策解读、行业数据整合及企业资源协调；

企业实践骨干：分享生产管理经验，反馈一线需求，确保方案落地性。

(2) 多元化招募渠道

行业内直聘：联动省内龙头企业，邀请技术骨干、生产

主管、信息化负责人加入，获取真实生产场景数据与改造诉求；

产学研合作：与省内外高校建立合作机制，吸纳半导体材料、智能装备等领域教授与科研团队，注入前沿理论与技术成果；

行业资源整合：通过省半导体行业协会、智能制造产业联盟等渠道，招募具有丰富行业经验的资深专家，以及跨行业数字化转型顾问，引入标杆案例与创新方法论。

（3）团队质量管控

分层筛选机制：通过技术答辩、案例评审等环节，评估候选人专业能力、行业洞见及跨团队协作能力，优先选择兼具技术深度与产业视野的复合型人才；

结构化培训体系：通过开展封闭式启动培训，涵盖行业政策、编写框架、数据标准等内容，配套实地调研环节（如参观成功案例），确保团队对产业现状与改造目标形成共识。通过多维度人才聚合与能力校准，打造一支“技术前瞻性与落地实操性兼具、行业深度与跨界创新融合”的专家团队，为半导体产业链企业进行智改数转提供坚实支撑。

5.2.2.2 技术选型及研究

技术调研与选型：聚焦第三代半导体行业特性，系统性开展智能化、数字化、网络化技术评估。针对不同企业需求和发展规划，形成多维度技术比选报告，匹配最优技术组合。

构建技术储备库：收集和整理相关技术资料、案例、标准规范等，建立企业内部的技术储备库，为项目实施提供参考和

借鉴。

关键技术攻关与定制开发：针对制约产能与良率的核心瓶颈，实施“自主研发 + 生态协同”双轨制：

自主创新：设立专项研发基金（占项目预算 15%-20%），组织针对关键技术的攻关（如：SiC 衬底缺陷预测算法、GaN 外延层均匀性控制模型等关键技术），形成自主知识产权；

生态合作：与友商共建联合实验室，定制开发适配国产设备的智能化模块，确保技术方案与企业工艺深度耦合，实现差异化竞争优势。

5.2.2.3 资金计划及筹备

制定预算计划：根据项目的规模、复杂度和实施周期，详细估算项目所需的各项费用，包括设备采购、软件研发、人员培训、网络建设等，制定合理的预算计划。

多渠道融资：积极争取政府的产业扶持资金、专项补贴和税收优惠政策，同时与银行等金融机构合作，申请项目贷款、融资租赁等金融服务，还可引入战略投资者或通过资本市场进行融资。

成本控制与风险管理：建立成本监控机制，对项目实施过程中的费用支出进行实时跟踪和控制，同时评估项目可能面临的风险，制定相应的风险应对措施，预留一定的风险准备金。

5.2.2.4 数据收集及完善

数据资产盘点与治理：梳理企业内部现有数据资源，包括生产数据、研发数据、销售数据等，并进行资产化管理。

并对数据进行清洗、分类和整理，确保数据的准确性和完整性。

搭建混合存储架构：结合企业规模和存储需求，选择合适的数据存储设备和管理系统，构建数据仓库或数据湖，对数据进行集中存储和管理，建立数据备份和恢复机制，确保数据安全。

跨域数据协同机制：构建企业级数据数据中台，逐步完成 ERP、MES、PLM 等系统数据集成，实现部门间数据共享；再逐步完成与供应商、客户等外部合作伙伴进行数据交互和共享，为项目实施创造良好的数据环境。

5.2.2.5 技术研究及案例分析

前期技术与案例分析至关重要，收录国内外标杆案例，如江苏在电气、绿色能源、通信网络及相关传统行业都有着智改数的成功案例。通过研究及案例分析突出差异化场景，进一步增强途径的实际可操作性。

(1) 技术研究

梳理关键技术：明确第三代半导体行业涉及的智能化、数字化、网络化关键技术，如在智能化方面，有机器学习算法用于生产过程优化、机器视觉技术实现产品质量检测；数字化方面包括工业大数据分析技术、数据建模与仿真技术；网络化方面涵盖 5G 网络切片技术、工业物联网通信协议等。

前沿技术追踪机制：关注国际顶级学术期刊、行业技术研讨会，了解全球第三代半导体行业在相关技术上的最新突破和发展趋势，掌握诸如新型传感器在半导体制造中的应用、边

缘计算与云计算在行业内的融合趋势等前沿信息。

分析技术适用性：结合江苏省第三代半导体企业的实际生产工艺、设备水平和发展阶段，评估各项技术在本地行业中的适用性。例如，分析一些高端智能化设备是否适合中小企业的资金预算和技术人员水平，判断新兴的数字化管理软件是否能与企业现有的信息系统兼容。

建立技术数据库：将研究到的技术资料进行整理分类，建立技术数据库，包括技术原理、应用场景、优势劣势、成功应用案例等信息，方便团队成员在编写指南时查阅和引用。

（2）案例分析

案例库建设：通过企业调研、行业报告、新闻媒体等多种管道，收集国内外第三代半导体行业在智能化改造、数字化转型、网络化联接方面的成功案例。既包括国际知名企业的先进实践，也涵盖国内一些优质企业的典型案例。

多维度案例解构：案例分析需按应用领域、转型侧重点（如侧重智能化生产、侧重数字化管理）、实施规模（大型企业全面转型、中小企业局部改造）等进行分类，通过系统剖析各类型案例的特点与适用场景，内容涵盖转型前现状与问题、目标与策略、技术解决方案、实施步骤与难点、量化成效及经验教训，形成结构化分析框架以支撑针对性借鉴。

形成 “三横三纵” 转型路径：

横向能力：设备智能化（单机→产线→工厂）、数据价值化（报表→分析→预测）、网络协同化（企业内联→产业链互联→生态级互通）；

纵向策略：大企业侧重“全链条创新”，中型企业聚焦“单点突破”，小企业采用“轻量化适配”。

通过数据治理的标准化、技术研究的体系化、案例分析的工具化，为第三代半导体企业智改数转提供“数据有质量、技术有依据、落地有参考”的实施支撑。

5.2.3 实施阶段

以项目设计方案为核心，通过“模拟验证—数据保障—全流程落地—测试优化—持续运维”五阶段闭环，确保智改数转项目高质量落地。

5.2.3.1 开展项目实施模拟

(1) 多维模拟环境构建

物理模拟：根据实际生产场景，构建缩小版或功能等效的模拟生产线，配置相应的第三代半导体生产设备、智能控制装置等，模拟真实的生产环境。

数字孪生：利用数字孪生技术（如Unity 3D + 工业物联网（IIoT）技术），构建生产系统虚拟镜像，实时同步设备运行参数（如温度、气压波动），支持工艺参数预演优化。

软件集成：选用适合的模拟软件平台（如ANSYS+MES 模拟平台），实现生产流程（良率预测）、物流（AGV 路径规划）、能耗（微电网调度）多领域协同模拟，提前暴露产线瓶颈。

(2) 场景化参数测试

确定参数体系：依据项目目标和实际生产情况，确定涵盖设备运行参数、工艺参数、生产计划参数、质量控制参数等在内的模拟参数体系。

设计模拟场景：基于企业可能面临的不同生产状况和业务需求，设计正常生产、设备故障、订单变更、原材料供应波动等多种模拟场景。

(3) 数据驱动优化

仿真运行：按照设定的参数和场景开展项目实施模拟运行，同步采集各环节运行数据（如设备启停时间、工艺参数波动、物料流转效率等）。运用相关工具对数据进行多维度分析，从生产效率（OEE 提升率）、质量稳定性（缺陷率波动）、成本结构（能耗/人工成本占比变化）等维度量化评估模拟效果，输出可视化分析报告，精准定位产能瓶颈与优化方向。

方案迭代：根据分析结果，找出存在的问题和不足，对项目实施方案进行优化调整，如调整设备配置、优化工艺流程、改进生产计划等。

(4) 团队能力建设

模拟演练：组织跨部门联合演练（如生产、IT、质量部门协同处理外延层缺陷），熟悉项目实施流程和操作规范，提高团队协作能力。

培训体系：编制操作手册，覆盖关键工序，缩短员工培训周期，同时促进不同部门之间的沟通与交流，及时解决可能出现的问题。

(5) 持续监控反馈

建立监控机制：在模拟过程中，建立实时监控机制，对关键指标和环节进行监控，及时发现异常情况并进行处理。

收集反馈意见：收集参与模拟人员的反馈意见和建议，了解他们在模拟过程中遇到的问题和困难，为进一步优化提供依据。

5.2.3.2 开展项目数据备份

(1) 制定备份策略

确定备份内容：明确需要备份的数据范围，包括生产设备运行数据、工艺参数数据、研发实验数据、质量检测数据、客户订单数据、供应链数据等。

设定备份频率：根据数据的重要性和更新频率，确定合适的备份频率。如关键生产数据可每小时或实时备份，一般业务数据可每天或每周备份。

选择备份时间：选择业务低谷期进行备份，以减少对正常业务的影响，如夜间或周末等时间段。

(2) 选择备份方式

全量备份：定期对所有数据进行完整备份，如每月或每季度进行一次全量备份，作为数据恢复的基础。

增量备份：在全量备份的基础上，只备份自上次备份以来发生变化的数据，可提高备份效率，节省存储空间和备份时间。

差异备份：备份自上次全量备份以来所有发生变化的数据，与增量备份相比，恢复时只需使用全量备份和最近一次的差异备份，简化恢复过程。

(3) 搭建备份系统

本地备份：在企业内部部署备份服务器和存储设备，如

磁盘阵列、磁带库等，将数据备份到本地，方便快速恢复。

异地备份：利用云存储服务或在异地建立备份中心，将数据远程备份，防止本地灾难导致数据丢失，确保数据的安全性和可用性。

混合备份：结合本地备份和异地备份，实现优势互补，既保证本地快速恢复，又通过异地存储提供容灾能力。

（4）数据备份管理

建立备份日志：详细记录每次备份的时间、内容、方式、备份结果等信息，便于后续查询和管理，及时发现备份过程中的问题。

定期测试恢复：定期进行数据恢复测试，验证备份数据的完整性和可用性，确保在需要时能够成功恢复数据。

数据安全防护：对备份数据进行加密处理，防止数据在存储和传输过程中被窃取或篡改，同时设置访问权限，只有授权人员才能访问和操作备份数据。

5.2.3.3 实施方案的执行部署

（1）研发环节

明确研发目标和重点：详细分析当前行业的技术瓶颈和市场需求，比如在 5G 通信、在新能源汽车产业、光伏与储能、工业电源及电机驱动等相关领域。加大研发投入、寻求与企业、科研机构合作，开展定制化研发，探索第三代半导体器件在各个领域中的应用，推动各行业发展。

搭建研发团队和平台：吸引和汇集各相关领域的专业人才，组建跨学科的研发团队。同时搭建研发平台，配备高端

研发与测试设备，为研发工作提供硬件支持。

推进应用研发：与下游应用企业进一步紧密合作，了解实际应用场景中的需求和挑战，共同开展应用研发，确保研发成果能够满足企业的实际应用的性能和可靠性要求。

构建产学研合作机制：与高校、科研机构建立长效稳定的合作关系，共同开展科研项目、实现资源共享、优势互补。高校和科研机构在基础研究方面具备优势，企业可提供实践平台和资金支持，加速科研成果的转化和产业化进程。

（2）生产环节

依据企业发展战略，根据具体企业情况确定智能化、数字化、网络化转型的具体目标，聚焦智能化设备互联（如MES系统集成）、工艺参数优化（AI算法驱动）、缺陷检测自动化（机器视觉）等场景，提出数据采集、边缘计算、云平台联动的解决方案。

对江苏省内第三代半导体企业生产环节的设备自动化程度、生产流程、数据采集与管理能力、人员技能水平等进行全面评估。通过问卷调查、现场调研、数据分析等方式，找出生产环节存在的痛点和瓶颈，如设备老化导致的生产效率低下、数据孤岛现象严重影响生产协同等，具体表现在：
智能化方面：引入智能生产设备和机器人，实现生产过程的自动化操作和精准控制；应用人工智能算法对生产数据进行分析和预测，优化生产参数和工艺。

数字化方面：建立生产管理系统（MES），实现生产计划、调度、质量控制等环节的数字化管理；推进产品设计研

发的数字化，采用计算机辅助设计（CAD）、电子设计自动化（EDA）等工具提高设计效率和质量。

网络化方面：构建工业互联网平台，实现设备、系统、人员之间的互联互通；利用 5G、物联网等技术，实现生产数据的实时采集和传输，支持远程监控和管理。

实施步骤和时间节点：按照先易后难、先局部试点后全面推广的原则，分阶段推进实施。例如，第一阶段先进行设备联网和数据采集，实现生产数据的初步可视化；第二阶段引入智能算法优化生产工艺；第三阶段实现生产全流程的智能化、数字化和网络化管理。

人员培训与能力建设：为适应新的生产模式，对企业员工进行相关技术培训，包括智能设备操作、数据分析、数字化管理系统使用等。同时，引进具备智能化、数字化、网络化相关专业知识和技能的人才，充实企业人才队伍。

试点与优化：选择部分生产线或车间进行试点，验证技术方案的可行性和有效性。在试点过程中，及时收集反馈信息，对发现的问题进行分析和优化，调整技术方案和实施计划。

（3）物流环节

物流信息化建设：引入物流管理系统：采用专业的物流管理软件，对订单处理、库存管理、运输调度等全流程进行信息化管理，实现物流信息的实时跟踪和共享。

数据集成与共享：将物流管理系统与企业的生产、销售、采购等其他系统集成，打破信息孤岛，使各部门能及时获取

和共享物流数据，以便做出准确决策。

智能仓储管理：配备自动化立体仓库、智能货架、AGV 小车等先进设备，提高仓储空间利用率和货物存储、搬运的自动化水平，降低人工成本和错误率。运用物联网技术，通过传感器、RFID 标签等对货物进行实时感知和定位，实现库存的精准管理，同时结合大数据分析进行库存预测，优化库存水平。

运输配送优化：利用智能算法和大数据分析，根据订单信息、车辆状况、路况等因素，实现运输路线的优化规划和车辆的智能调度，提高运输效率，降低运输成本。通过车载 GPS、物联网设备等对运输车辆进行实时监控，掌握车辆位置、行驶速度、货物状态等信息，及时处理运输过程中的异常情况，确保货物安全、准时送达。

供应链协同：上下游信息共享：与供应商、客户建立紧密的合作关系，实现供应链上下游的信息共享，使各方能提前了解需求和供应情况，协同进行生产和物流计划安排。基于共享信息，共同制定物流计划，如联合采购、共同配送等，提高供应链的整体效率，降低物流成本，增强供应链的灵活性和回应速度。

（4）销售环节

建立客户数据平台：整合客户的基本信息、购买历史、需求偏好等数据，形成全面的客户画像，为精准营销和个性化服务提供依据。

客户沟通智能化：利用人工智能聊天机器人等工具，实

现 7×24 小时客户咨询回应，提高沟通效率。通过数据分析预测客户需求，主动推送产品信息和解决方案。

销售管道拓展与优化：搭建企业在线官方电商平台，展示产品目录、技术参数等详细信息，方便客户在线下单。利用社交媒体、行业论坛等网络平台进行产品推广和品牌宣传，吸引潜在客户。扩充企业线下管道，参加国内外半导体行业展会、研讨会等活动，展示智能化改造等项目成果，与客户面对面交流。与经销商、代理商建立更紧密的合作关系，借助其管道资源扩大市场覆盖。

销售流程智能化：销售自动化系统：引入销售自动化软件，实现销售机会管理、销售流程跟踪、订单处理等环节的自动化，提高销售效率和准确性。

智能报价与合同管理：根据客户需求和项目复杂度，利用系统自动生成准确的报价单。通过电子合同管理系统，实现合同的在线签署、存储和跟踪，确保合同执行的透明度和效率。

销售数据分析与决策支持：通过对销售数据的深入分析，了解市场趋势、客户需求变化和销售业绩情况，为制定销售策略和目标提供数据支持。运用数据分析模型，对未来销售情况进行预测，提前做好库存准备和资源调配。同时，及时发现销售过程中的潜在风险，如客户流失风险等，采取相应的应对措施。

5.2.3.4 验证阶段

(1) 设备评估与试运行

性能指标测试：依据设备技术规格书，对关键性能指标如生产精度、速度、稳定性等进行测试，以单晶硅生长设备为例，需检测其拉晶速度的稳定性、晶棒直径的精度等。

功能完整性检查：全面检查设备各项功能是否正常，如刻蚀设备的不同刻蚀工艺功能、镀膜设备的多种镀膜功能等是否都能准确实现。

兼容性测试：验证设备与上下游设备、软件系统及网络的兼容性，如检测新采购的封装设备能否与现有的自动化生产线及生产管理软件正常通讯和协同工作。

试运行考核：让设备进行连续试运行，观察其在长时间运行下的性能表现，记录故障次数、停机时间等，考核设备的可靠性和稳定性。

(2) 软件评估与试运行

功能测试：根据软件需求文档，采用黑盒测试等方法，对软件的各项功能进行逐一测试，如生产管理软件的订单管理、排产计划、质量追溯等功能是否准确无误。

性能测试：通过模拟大量数据和高并发操作，检测软件的回应时间、吞吐量、资源利用率等性能指标，评估其能否满足企业业务规模增长的需求。

数据准确性与完整性验证：检查软件处理和存储数据的准确性和完整性，以财务软件为例，需验证账目数据计算是否准确、账目记录是否完整无缺。

兼容性与界面测试：测试软件与操作系统、数据库及其他相关软件的兼容性，检查软件界面是否能与其他系统顺利对接，实现数据交互。

用户体验测试：收集最终用户的反馈，评估软件界面的易用性、操作便捷性等，对界面布局复杂、操作流程繁琐的地方进行优化。

试运行验证：在实际业务环境中进行软件试运行，观察其在真实业务场景下的运行情况，及时发现并解决潜在问题。

（3）工具评估与试运行

功能适配性检查：确认工具的功能是否与项目需求相符，如测试工具能否准确检测出产品的各项性能指标，设计工具能否满足复杂的半导体电路设计需求。

精度与准确性验证：对测量工具等进行精度校准和准确性验证，确保其测量结果的可靠性，如半导体参数测试仪的测量精度是否符合行业标准和企业要求。

效率评估：评估工具的使用是否能提高工作效率，如仿真工具能否快速准确地完成半导体工艺或电路的仿真，缩短研发周期。

与其他要素的协同性测试：检验工具与设备、软件的协同工作能力，如设计工具生成的档能否被制造设备的控制系统正确识别和执行。

在评估和试运行过程中，企业要制定详细的计划和标准，安排专业人员操作和记录，建立问题反馈和解决机制，对发现的问题及时整改优化，确保项目高质量交付。

5.2.3.5 维护阶段

为了对企业相关管理人员和生产人员进行场景培训，以最大化保障项目实施后的稳定运行和取得成效，可从以下几个方面入手：

（1）培训需求分析

管理人员：了解其对项目整体规划、协调资源、应对风险等方面的知识和技能需求，明确他们在项目管理流程优化、团队沟通等方面的薄弱环节。

生产人员：分析生产人员在新设备操作、新工艺执行、质量控制等方面的培训需求，根据不同岗位的工作内容和职责，确定具体的培训重点。

（2）设计培训内容

管理场景：设计项目进度延误、资源冲突、跨部门沟通障碍等管理场景，针对每种场景提供应对策略和解决方案。

生产场景：结合生产实际，设计设备故障、产品质量问题、生产流程异常等场景，详细讲解处理方法和操作步骤。

（3）选择培训方式

集中授课：对项目的基础知识、通用流程和重要理念等进行集中讲解，使管理人员和生产人员对项目有整体认识。

现场实操：在生产现场，由技术专家或经验丰富的员工进行示范操作，让生产人员亲身体会正确的操作方法，管理人员了解实际生产情况。

模拟演练：利用模拟软件或搭建模拟场景，让员工进行模拟操作和演练，如模拟生产系统故障，让生产人员进行应

急处理，管理人员进行协调指挥。

案例分享：收集项目实施过程中的成功案例和失败教训，组织员工进行学习和讨论，分析案例中的问题和解决方法，从中吸取经验。

（4）培训效果评估

知识考核：通过笔试、口试等方式，检验管理人员和生产人员对培训内容的掌握程度。

技能测评：观察生产人员在实际操作中的表现，评估其操作技能是否达到要求；通过模拟项目管理任务，考察管理人员的决策、协调等能力。

定期复训：根据项目运行情况和员工反馈，定期组织复训，强化员工对重点知识和技能的掌握，及时更新培训内容。
建立反馈机制：鼓励员工在项目运行过程中遇到问题及时反馈，以便对培训内容和方式进行调整和优化，不断提高培训效果。

通过以上路径，实施指南不仅能解决第三代半导体行业的共性问题，还能为细分领域提供定制化方案，最终实现技术升级、效率提升与产业协同发展的多重目标。

5.3 各类企业实施路径异同分析

5.3.1 大中小企业实施核心差异化分析

在智能化与数字化转型（智改数转）进程中，第三代半导体（如碳化硅 SiC、氮化镓 GaN）行业的大企业与中小企业在资源禀赋、实施路径和挑战应对方面存在显著差异，但也共享部分核心目标和技术趋势。

5.3.1.1 核心差异

(1) 大企业：

资金雄厚：可承担高成本技术（如量子加密、数字孪生平台）和长期研发投入（如氢能长晶技术）。

技术积累：拥有专利池和跨领域技术团队（如AI算法工程师与半导体工艺专家协同）。

供应链主导权：能推动上下游协同改造（如要求供应商接入区块链碳追溯平台）。

(2) 中小企业：

资金受限：依赖政府补贴或融资租赁（如通过EMC模式引入节能设备）。

技术依赖外部合作：与高校、行业联盟联合开发轻量化解决方案（如边缘计算+公有云的低成本能耗监测系统）。

局部优化为主：优先改造高能耗环节（如替换定频空调为变频系统）。

5.3.1.2 技术应用深度

(1) 大企业：

全链条覆盖：从研发（AI模拟材料特性）到生产（数字孪生工艺优化）、供应链（区块链溯源）全面数字化。

前沿技术试点：率先应用量子加密、6G工业物联网等。

(2) 中小企业：

单点突破：聚焦关键设备智能化（如MOCVD设备的AI温控模块）或能源数据透明化。

成熟技术优先：采用已验证的相关平台降低试错成本。

5.3.1.3 管理体系与风险应对

(1) 大企业：

标准化流程：通过 ISO 50001 能源管理体系实现跨基地统一管控。

抗风险能力强。

(2) 中小企业：

灵活决策：管理层直接参与智改项目，快速调整策略（如某 SiC 衬底厂 3 个月内完成能源数据中台部署）。

风险规避：更依赖第三方服务商提供“交钥匙”解决方案。

5.3.1.4 政策与合规回应

(1) 大企业：

主动合规：设立专职团队应对欧盟 CBAM、美国 CHIPS 法案，提前布局碳足迹追溯。

影响行业标准：参与制定第三代半导体能耗基准（如 SEMI 标准修订）。

(2) 中小企业：

被动跟随：依赖行业协会指导或政策补贴驱动改造。

合规成本敏感：倾向选择低成本的合规工具

5.3.2 核心共性

5.3.2.1 技术趋势驱动

均需部署 AI（缺陷检测、能耗预测）、物联网（设备联网）、大数据（能源数据分析）等底层技术。共同面临数据安全挑战（如工艺参数防泄露），需采用零信任架构或轻量

化加密方案。

5.3.2.2 绿色转型目标

需降低单位产品能耗（SiC 长晶环节节能 30%以上）、提升绿电使用率（如接入分布式光伏）。均需构建碳足迹管理体系以满足国际供应链要求（如苹果供应链的碳中和承诺）。

5.3.2.3 人才瓶颈

普遍缺乏“半导体+数字化”复合型人才，依赖外部培训或校企合作。

5.3.3 大中小企业实施方案细化建议

5.3.3.1 智能化改造能力子域

（1）生产设备智能化

核心能力：设备状态感知、预测性维护、自主参数优化

大企业：自研数字孪生平台，实现光刻机/MOCVD 设备全生命周期管理（如台积电 5nm 工厂设备 AI 调参系统）

中小企业：加装传感器实现关键设备（如晶体炉）振动/温度异常预警，采用 SaaS 化预测维护工具

（2）工艺过程智能化

核心能力：AI 工艺仿真、动态参数调整、良率优化

大企业：开发多物理场耦合模型优化 SiC 长晶温场分布（如 Wolfspeed 的 AI 长晶控制系统）

中小企业：引入轻量化 AI 工具优化单一工艺环节（如 GaN 外延生长速率控制）

（3）质量检测智能化

核心能力：机器视觉缺陷识别、实时分类、根因分析

大企业：部署高分辨率 X 射线+AI 联合检测系统

中小企业：采用边缘计算设备实现关键工序的视觉抽检

5.3.3.2 数字化转型能力子域

(1) 数据治理与中台

核心能力：多源数据集成、标准化清洗、可视化分析

大企业：搭建企业级数据湖，融合 ERP/MES/SCADA 数据

中小企业：使用低代码工具构建部门级数据广告牌

(2) 能源与碳管理

核心能力：能耗实时监测、碳足迹追踪、绿电优化

大企业：区块链+IoT 的供应链全链路碳管理

中小企业：采购云端碳核算服务，聚焦生产环节减排

(3) 供应链协同

核心能力：需求预测、库存优化、风险预警

大企业：AI 驱动的全球供应链弹性网络

中小企业：接入行业联盟的共享库存平台

5.3.3.3 网络化连接能力子域

(1) 工业设备互联

核心能力：协议兼容、边缘计算、低时延通信

大企业：部署 5G 专网实现千台设备毫秒级协同

中小企业：采用工业 WiFi+OPC UA 协议连接核心设备集

群

(2) 安全可信传输

核心能力：端到端加密、零信任架构、威胁检测

大企业：量子密钥分发 (QKD) 保护研发数据传输

中小企业：采用国密算法+硬件加密模块保障关键数据流

(3) 云边端协同

核心能力：算力动态分配、模型分层部署、实时回应

大企业：构建“边缘 AI 质检+云端工艺优化”混合架构

中小企业：租用公有云资源运行能耗预测模型，边缘端仅保留轻量级控制逻辑

5.3.3.4 能力建设策略建议

纵向深挖：在核心子域（如 SiC 长晶工艺 AI 优化）建立技术壁垒

横向扩展：输出能力至供应链（如要求供应商接入数字孪生平台）

中小企业：

单点突破：选择 1-2 个高 ROI 子域（如边缘质检）快速见效

借力打力：通过行业协会获取标准化工具包（如 SEMI 设备互联协议）

共性策略：

模块化部署：采用“可插拔”架构，避免重复投资（如先建数据中台再叠加 AI 应用）

动态评估：建立智改成熟度模型，定期迭代升级

通过以上细分，第三代半导体企业可根据自身规模选择能力建设重点，大企业聚焦技术引领与生态构建，中小企业通过精准投入实现“小步快跑”，最终形成差异化的智改数转竞

争力。

5.3.4 大中小企业根据类型划分优先等级

5.3.4.1 优先级划分逻辑

资源匹配性：投入与资金、技术储备相匹配

ROI 导向：优先选择降本增效显著且周期短的领域

合规刚需：满足国际供应链要求

技术杠杆效应：通过关键节点改造撬动全局优化

5.3.4.2 大企业优先级划分

（1）战略级优先（1年内落地）

全链条数据中台建设：整合研发（TCAD 仿真数据）、生产（MES 实时数据）、供应链（物流碳排放）

量子安全通信网络：在研发中心与核心产线部署 QKD（量子密钥分发），保护 IP 及工艺机密

数字孪生工厂：构建覆盖 SiC 长晶炉、GaN 外延设备的全流程孪生体，支持工艺预演。

（2）战术级优先（2-3年推进）

AI 驱动的颠覆性工艺研发：氢等离子体长晶技术、激光辅助蚀刻等节能工艺开发。

零碳工厂认证：建设厂区微电网，2030年前实现绿电占比>70%。

（3）生态级布局（5年规划）

行业标准制定：主导制定 SiC/GaN 单晶片能耗基准（如 8 英寸 SiC 衬底 $\leq 55\text{kWh/cm}^2$ ）

技术输出平台：向中小供应商开放数字孪生界面（如允

许接入晶体炉优化模型)

5.3.4.3 中型企业优先级划分 (年营收 5-50 亿元)

(1) 紧急优先 (6-12 个月)

关键设备智能化改造: 对 MOCVD、切割机加装 IIoT 套件 (振动/温度监测), 降低故障停机率

轻量化碳管理平台: 采用 SaaS 模式接入碳核算工具

(2) 重点投入 (1-2 年)

AI 质检系统部署: 在缺陷高发环节 (如 SiC 晶圆切割) 部署边缘计算视觉检测 (误判率 < 0.1%)

能耗优化专项: 引入合同能源管理 (EMC) 改造制冷系统 (有效节省电费)

(3) 能力储备 (3 年规划)

供应链协同网络: 加入行业区块链平台共享物流碳排放数据 (降低追溯成本 40%)

5.3.4.4 小型企业优先级划分 (年营收 < 5 亿元)

(1) 生存级优先 (3-6 个月)

设备互联基础建设: 采用低成本工业网关 (如树莓派 + OPC UA 协议) 连接核心设备

合规性改造: 部署基础版能源监测系统 (满足欧盟 CE 认证要求)

(2) 增效级优先 (1 年内)

云化能效管理: 租用云工业大脑优化排产计划 (降低空转能耗 15%-20%)

共享检测资源: 通过产业联盟使用第三方 AI 质检平台

5.3.4.5 大中小企业实施路径对比表

能力维度	大企业路径	中型企业路径	小型企业路径
智能化改造	全厂数字孪生+量子通信	关键设备改造+AI 质检	单机数据采集+云端分析
数字化转型	全球数据湖+零碳认证	轻量化碳管理+能耗优化	基础能源监测+合规改造
网络化连接	5G 专网+区块链生态	工业 WIFI+行业联盟平台	低成本网关+共享监测资源
投资强度	年营收 5%	年营收 2%-5%	小于 1%
ROI 周期要求	5-10 年（技术壁垒构建）	3-5 年（市场竞争力提升）	1-3 年（生存能力保障）

5.3.4.6 关键成功要素分析

大企业：需平衡前沿技术投入（如量子计算）与短期财报压力，建议设立独立创新基金（如台积电每年研发投入占比 19%）

中型企业：重点选择“高杠杆”场景（如设备智能化改造可同步提升良率与能效）

小型企业：充分利用区域性政策降低试错成本

通过以上优先级划分，不同规模企业可在资源约束下实现智改数转的最优配置：大企业构建技术护城河，中型企业打造细分领域优势，小型企业聚焦生存能力提升，共同推动第三代半导体产业升级。

5.4 相关政策

江苏省在推动第三代半导体行业智能化改造和数字化

转型（智改数转）方面，出台了一系列政策，特别是在线上评估、咨询诊断、两化融合贯标、网络和数据安全、DCMM（数据管理能力成熟度模型）、CMMM（智能制造能力成熟度模型）等领域。以下是相关政策及措施的详细梳理：

5.4.1 总体政策框架

江苏省政府近年来围绕“智改数转”发布多项行动计划，核心政策包括：

5.4.1.1 《江苏省制造业智能化改造和数字化转型三年行动计划（2022-2024年）》

目标：到2024年，全省规上工业企业全面实施智改数转，半导体等重点行业率先实现全链条数字化。

支持方向：对第三代半导体企业购置智能装备、工业软件等给予最高30%的补贴（单个项目不超过5000万元）。

专项政策：明确将化合物半导体（SiC、GaN）纳入“1650”产业体系（16个先进制造业集群、50条重点产业链），优先支持智改数转项目。

5.4.1.2 《江苏省深化制造业智能化改造数字化转型网络化联接三年行动计划（2025-2027年）》

目标：到2027年，全省制造业企业设备更新、工艺升级、数字赋能、模式创新步伐明显加快，打造一批具有江苏特色的智能工厂，规上工业企业基本完成智能化改造，中小企业全面实施数字化转型。数字技术在工厂建设、研发设计、生产作业、经营管理和能耗、碳排放及资源循环利用等关键环节普及应用，工业互联网创新发展，人工智能加速赋能，

生产要素广泛联接，助力“1650”产业体系建设迈上新台阶，新型工业化走在全国前列。

5.4.1.3 《关于推进数字经济高质量发展的实施意见》

提出建设第三代半导体“数字孪生工厂”试点，支持企业构建覆盖研发、生产的全流程数字化平台。

5.4.2 两化融合贯标支持

5.4.2.1 贯标奖励政策

对通过国家两化融合管理体系评定的企业，省级财政给予50万元一次性奖励，地市配套追加20万-50万元。

重点支持领域：半导体材料制备、功率器件制造等场景的流程型贯标。

5.4.2.2 贯标辅导机制

组织“贯标服务商联盟”（含徐工资讯、金蝶等），为企业提供“预评估-差距分析-体系搭建”全流程服务。

5.4.2.3 如何开展贯标

在第三代半导体行业（以碳化硅、氮化镓为核心）推进智能制造与数字化转型（智改数转）的过程中，两化融合贯标（信息化与工业化融合管理体系贯标）是系统性提升企业数字化能力的关键路径。但该行业工艺复杂、技术门槛高、产业链协同难度大，需结合行业特性制定针对性方案。以下是分阶段实施策略

5.4.2.4 第三代半导体行业两化融合贯标的核心挑战

（1）工艺非标性与标准化的矛盾

高温外延（ $>1600^{\circ}\text{C}$ ）、离子注入等工艺参数难以完全数

字化，传统贯标模板无法直接套用。

(2) 数据采集与治理难题

强腐蚀性气体（如 SiH_4 ）、高频电磁干扰环境导致传感器寿命短（平均 6 个月），数据连续性不足。

(3) 生态协同复杂度高

需打通衬底-外延-器件全链条数据流，但上下游企业数字化水平参差不齐。

5.4.2.5 两化融合贯标实施路径（PDCA 循环）

阶段 1：战略规划——明确新型能力体系

识别行业专属新型能力：聚焦第三代半导体核心痛点，提炼差异化能力（如“高温工艺智能控制能力”“缺陷检测 AI 建模能力”）。

制定量化目标：将行业 KPI（如外延层均匀性 $\pm 1\text{nm}$ 合格率）转化为两化融合绩效指标，设定良率提升 5%、能耗降低 15% 等具体目标。

阶段 2：体系构建——适配第三代半导体特性

数据治理专项设计：针对高干扰环境，部署抗腐蚀传感器（如陶瓷封装热电偶）+边缘计算节点，数据采集频率从分钟级提升至秒级。建立“工艺-设备-质量”数据关联模型，解决 MOCVD 设备数据与 MES 系统断点问题。

定制化档体系：在国标 GB/T 23001 基础上，增加《第三代半导体数据安全规范》《高温设备物联接入标准》等企业专属档。

阶段 3：实施运行——分场景攻坚

场景	技术方案	价值锚点
外延工艺优化	红外热成像+AI 温度场控制	厚度均匀性提升 3%，能耗降 10%
切割缺陷预测	声发射传感器+随机森林算法	刀具异常预警准确率大于 90%
供应链协同	区块链+数字孪生物流	衬底交付准时率从 75% 提升至 95%

阶段 4：评测改进——动态优化

行业化评估指标：在通用评估模型基础上，增加第三代半导体特色指标（如“碳化硅粉料利用率”“氮化镓外延缺陷密度”）。

敏捷迭代机制：建立“工艺专家+数据科学家”联合攻关小组，针对新出现的工艺问题（如 GaN HEMT 电流崩塌）快速迭代算法模型。

5.4.2.6 第三代半导体贯标落地关键举措

（1）技术适配：破解工艺数字化难题

高温设备物联改造：采用无线无源传感器（如 SAW 传感器），耐受 1600℃ 高温环境，实时采集 MOCVD 反应腔温度梯度数据。

多模态数据融合：整合工艺参数（温度、气压）、设备状态（振动、电流）、质量数据（SEM 图像、电性能），构建跨域特征工程模型。

（2）组织保障：构建“双螺旋”人才体系

“工艺-数据”双导师制：为产线工程师配备数据科学

家搭档，联合开发工艺优化模型（如外延生长速率预测算法）。

（3）数字化精益小组：抽调生产、IT、质量部门骨干成立专项组，采用 OKR 管理法推进贯标任务。

（4）生态协同：产业链级能力共建

（5）上下游数据标准互认

联合衬底厂商制定《碳化硅晶锭数据标签规范》，确保切割参数可追溯。

行业级工业 APP 开发：开发开放架构的 SiC 器件仿真 APP，支持上下游企业调用工艺模型库。

5.4.3 网络与数据安全

5.4.3.1 安全能力提升专项

实施“半导体行业网络安全分类分级管理”，要求第三代半导体企业，核心产线网络达到等保三级；2025 年前完成工业防火墙、加密通信全覆盖。对部署零信任架构、量子加密技术的企业，按投入的 20% 给予补贴（上限 500 万元）。

5.4.3.2 数据安全合规要求

依据《江苏省数据条例》，要求半导体企业：建立工艺参数、晶圆设计数据的“数据安全官”制度；使用国产密码算法（如 SM2/SM4）保护研发数据跨境传输。

5.4.4 DCMM（数据管理能力）与 CMMM（智能制造能力）

5.4.4.1 DCMM 贯标激励

对通过 DCMM 3 级及以上认证的企业，省级财政给予 30 万元奖励，苏州、南京等地追加 10 万-20 万元。

半导体行业重点要求第三代半导体企业建立“材料-工

艺-设备”全链路数据字典，实现数据资产化管理。

5.4.4.2 CMMM 评估推广

将 CMMM 评估纳入“智改数转”考核指标，对通过 CMMM 3 级的企业：

优先推荐申报国家级智能制造示范工厂；

享受设备采购加计扣除比例提升至 15%（原 10%）。

5.4.5 第三代半导体专项政策

5.4.5.1 “化合物半导体智改数转专项”

对 SiC/GaN 企业：

设备互联：补贴工业互联网标识解析节点建设（最高 300 万元）；

工艺优化：支持 AI 长晶控制系统研发（按研发投入的 40% 补助）。

5.4.5.2 人才支撑计划

开设“半导体智改数转专班”，培养“工艺+IT”复合型人才，企业派遣员工参训可获每人 1 万元补贴。

5.4.6 政策申报与实施流程

在线申报平台：通过“江苏政务服务网-智改数转专区”提交材料，实现“一网通办”。

第三方服务对接：可在“江苏省智改数转服务资源池”中选择认证机构（如中国电子技术标准化研究院提供 DCMM/CMMM 认证服务）。

进度跟踪：企业需每季度在“苏企通”平台填报改造进展，未达标项目将暂停资金拨付。

5.4.7 部省级荣誉认定及项目资金支持政策简介

江苏省作为中国第三代半导体产业的重要集聚区，近年来在智能制造与数字化转型（智改数转）领域出台了一系列政策，重点支持企业通过技术创新、智能化改造和产业链协同提升竞争力。以下是江苏省针对第三代半导体行业智改数转的部省级荣誉认定和项目资金支持政策简介：

5.4.7.1 部省级荣誉认定体系

(1) 智能制造领域

荣誉名称	认定部门	申报条件	政策红利
江苏省智能制造示范工厂	省工信厅	工厂需集成MES/ERP/SCADA系统 - 关键设备数控化率 $\geq 80\%$ - 具有碳化硅/氮化镓特色工艺（如Al外延控制）	优先推荐国家级项目 - 省级财政奖励100-500万元
江苏省工业互联网标杆工厂	省工信厅	基于工业互联网实现设备互联率 $\geq 70\%$ - 开发行业级工业APP（如SiC缺陷检测模型）	纳入省工业互联网资源池 - 奖励50-200万元
江苏省专精特新小巨人企业	省工信厅	专注细分领域（如GaN射频器件） - 研发费用占比 $\geq 5\%$ - 拥有智改数转相关发	接奖励100万元 - 优先获得“智改数转贷”低息

		明专利	贷款
--	--	-----	----

(2) 绿色制造领域

江苏省绿色工厂（省工信厅）单位产品能耗低于行业标准 20%
- 实施余热回收（如 MOCVD 废热利用）
- 碳化硅废料综合利用率 $\geq 90\%$ ，奖励 50-100 万元
- 优先参与碳排放权交易。

5.4.7.2 重点资金支持项目

省级智改数转项目

项目名称	支持方向	资助标准
产业转型升级专项资金	智能化改造（如 SiC 切割数字孪生系统） - 工业互联网平台建设	按项目投资额 20%-30% 补助，单个项目最高 3000 万元
关键核心技术攻关项目	第三代半导体智能装备（如 AI 视觉检测 MOCVD） - 工艺优化算法开发	研发投入 50% 补助，最高 5000 万元
中小企业数字化赋能项目	SaaS 化 MES 系统采购 - 设备联网改造（如外延炉传感器加装）	最高补助 100 万元（设备投资 30%）

5.4.7.3 申报策略建议

(1) 精准匹配政策标签

技术标签化：将项目与省级“产业强链”清单挂钩，申报成功率提升 50% 以上。

数据可视化：建立实时数据广告牌，展示能耗降低率（如 MOCVD 工艺节能 15%）、良率提升（如 AI 质检降低缺陷率 3%）

等量化指标。

（2）构建“政策工具箱”组合

纵向叠加：同一项目可同时申报智改数转专项（工信口）+科技攻关专项（科技口），如SiC智能产线项目最高可获8000万元组合支持。

横向联动：联合高校、上下游企业申报产业链协同项目（如江苏省重点产业集群项目），资助额度提升30%。

（3）规避常见申报误区

避免“技术堆砌”：强调解决方案的行业适配性（如开发抗高温干扰的SiC专用传感器），而非单纯堆砌AI/5G等通用技术。

注重“投入产出比”：设备采购类项目需提供ROI测算（如导入AI外延控制系统后，年节省电费800万元），财政资助更倾向“杠杆效应”显著的项目。

六、愿景与展望

江苏省2024年12月颁布了《江苏省深化制造业智能化改造数字化转型网络化联接三年行动计划（2025-2027年）》，将制造业智改数转网联作为江苏省制造业发展的重要工作。到2027年，全省制造业企业设备更新、工艺升级、数字赋能、模式创新步伐明显加快，打造一批具有江苏特色的智能工厂，规上工业企业基本完成智能化改造，中小企业全面实施数字化转型。数字技术在工厂建设、研发设计、生产作业、经营管理和能耗、碳排放及资源循环利用等关键环节普及应用，工业互联网创新发展，人工智能加速赋能，生产要素广

泛联接，助力“1650”产业体系建设迈上新台阶，新型工业化走在全国前列。

集成电路作为江苏省“1650”产业体系中的核心产业集群，是推动产业卓越提升的关键产业链之一。在集成电路领域，第三代半导体作为新兴的产业链分支，其战略地位尤为突出。

随着第三代半导体产业应用市场的持续扩展，江苏省正面临该产业发展的新机遇。然而，在国际贸易摩擦的背景下，我国第三代半导体产业的发展整体上遭遇了关键技术研发的挑战。在此情形下，江苏省的第三代半导体企业应致力于将自身技术与新兴技术融合，以寻求更广阔的发展空间。江苏省政府应制定相应的产业发展规划和推进政策，引导产业健康发展，并确保第三代半导体企业的经营环境，增加资金支持，以增强产业发展的活力。此外，应加强国际合作，探索技术资源的引进途径，扩大专业研发人员和实用技能人才的队伍，以解决第三代半导体领域的人才短缺问题。通过区域间的联动与跨区域合作，建立共享平台，实现资源互补，确保核心技术专利和知识产权的保护，从而提升江苏省第三代半导体产业的整体竞争力。

6.1 行业智改数转网联发展

第三代半导体行业是江苏省重点发展的行业之一。通过全面深入分析第三代半导体行业目前发展的痛点、难点，所遇到的挑战，有针对性的对问题进行规划设计，形成一套完整的行业智能化改造数字化转型网络化联接的实施方案和

具体内容，为企业提供了详细科学指引。江苏省第三代半导体企业根据自身情况，可选择部分内容进行建设，也可按照指南全面开展建设。我们相信江苏省第三代半导体行业必将迎来转型升级的进一步发展，由基本实现自动化迈向全面的智能化、数字化、网络化。

6.2 未来新技术的应用

6.2.1 新型信息基础设施深度覆盖

第三代半导体的制造与设计对网络延迟、稳定性和计算能力的实时性提出了更为严格的要求。新型基础设施，如5G和算力网络，将成为智能化转型的关键支撑。在这一过程中，需要在衬底材料的制备（例如碳化硅晶体生长）、芯片制造阶段以及芯片设计中部署微秒级别的TSN（时间敏感网络），以解决高温高压环境下传统传输的不稳定性问题。同时，需要同步构建一个云边端协同的算力架构，并在晶圆厂的边缘侧部署专用的AI算力节点，以实时优化工艺参数。针对研发设计数据的安全性，还需探索在长三角创新联合体中加密通信和信息安全技术的试点应用。

6.2.2 数据智能与AI融合创新

目前，材料研发和缺陷诊断过程仍然依赖于人工经验，后续需要通过引入多模态大模型等手段实现工艺的自主优化。在衬底制备和芯片设计阶段，通过整合材料基因图谱与工艺参数库来训练特定行业的专用模型，以实现对外延层厚度的动态预测；利用生成式人工智能技术推动器件设计和封装仿真，生成高耐压器件的拓扑结构，从而缩短研发周期；

针对晶圆微观缺陷检测，开发基于大模型的自适应系统，以解决小批量生产中样本不足的问题。

6.2.3 全链条网络化协同升级

产业链中上下游数据的割裂现象，给协同工作造成了一定阻碍，导致产业链整体效率不高，因此建议加强工业互联网标识解析与数字孪生工厂之间的互联互通。此举旨在为第三代半导体企业实现从原材料纯度至终端产品失效数据的全流程追溯；同时，建立跨地域的数字孪生体交互协议，以促进全产业链各企业间虚拟产能的有效对冲；此外，推广开放协议，以解决设备与设备间存在的数据孤岛问题，目标是在 2028 年之前实现大部分数据可以进行互联互通。

6.2.4 前沿技术突破与行业赋能

该行业将通过构建“云边算力+数据闭环+开放网络”的架构，实现三大转型：利用人工智能决策技术，显著降低晶圆生产中的良率波动；通过生成式人工智能技术，对研发流程进行重构，将设计周期缩短至六个月；利用工业互联网，增强产业链的韧性，提升至原来的十倍。展望未来，需攻克 AI 在晶圆缺陷检测应用的难题，并开发脑机接口技术，以辅助在高洁净环境下的维修工作。

6.3 社会愿景展望

江苏省致力于打造第三代半导体重点产业链。通过推动企业生产设备的互联互通及管理信息系统的升级改造，从而提升整个行业的数字化、网络化、智能化水平，促进江苏省第三代半导体行业从自动化向全面智能化的转型升级。在推

动企业智能化改造、数字化转型及网络化联接的同时，依托云计算、区块链等新兴技术的广泛应用，不仅为企业提供智能化改造的科学指导，还将推动第三代半导体技术的快速发展，建立全新的资源动态优化配置机制、组织管理模式、创新生态体系等。实现江苏省第三代半导体行业的产学研用有机结合，构建以企业为主体、高校院所协同的创新生态体系，重点突破批量化设备改造与国外设备升级的壁垒，打造江苏省第三代半导体行业重点产业链。最终形成“技术创新—产业升级—社会普惠”的可持续发展闭环。

附件 1

人工智能典型应用场景

1、计划调度环节

1.1 场景（1）生产计划优化

案例：某无锡 SiC 功率模块厂商

该企业为新能源汽车提供 SiC 模块，因市场需求波动大（季度波动幅度达 40%），传统 Excel 排产导致库存积压率超 25%。通过部署基于 LSTM-GARCH 的需求预测模型，结合安全库存算法（设置 SiC 衬底安全库存阈值为 300 片），自动生成未来 3 个月的滚动生产计划。实施后，计划准确率从 60% 提升至 90%，库存周转率提高 40%，年节约仓储成本 800 万元。

1.2 场景（2）车间智能排产

案例：某苏州 GaN 射频器件工厂

该企业生产 5G 基站用 GaNHEMT 器件，产线包含 MOCVD、光刻机等多项核心关键设备，传统人工排产导致设备闲置率达 35%。引入基于深度 Q 网络（DQN）的 APS 系统，构建“设备状态-工艺路径-订单优先级”三维调度模型，针对 28GHz 射频器件的刻蚀工序，自动优化光刻机与刻蚀机的协同作业。实施后，设备 OEE（综合效率）从 65% 提升至 85%，单批次生产周期从 72 小时缩短至 48 小时。

1.3 场景（3）资源动态配置

案例：某南京 SiC 衬底制造企业

该企业 6 英寸 SiC 衬底切割工序中，因 AGV 搬运路径混乱导致物料等待时间占比达 20%。通过知识图谱构建“切割设备-AGV-物料缓存区”关联模型，利用图神经网络（GNN）分析设备负载、物料优先级等 12 维数据，实时调度 AGV 路径。例如，当检测到某台切割机即将完成作业时，系统提前调度 AGV 至待料区，使物料周转效率提升 40%，搬运能耗降低 15%。

2. 生产作业环节

2.1 场景（6）工艺动态优化

案例：某常州 SiC 外延企业

该企业在 SiC 外延生长中，传统 PID 控制导致外延层厚度均匀性仅为 $\pm 5\%$ ，无法满足车规级需求。部署 CNN-LSTM 的工艺优化模型，实时分析温度（精度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ）、气体流量（精度 $\pm 1\%$ ）等 3000 余项参数，动态调整 MOCVD 设备的温度梯度。实施后，外延层厚度均匀性提升至 $\pm 1.5\%$ ，6 英寸晶圆良率从 75% 提升至 88%，单炉产能提高 20 片/月。

2.2 场景（7）先进过程控制（APC）

案例：某杭州 SiC 晶体生长企业

该企业 1600°C 高温 SiCPVT 生长中，微管缺陷率高达 5%，传统控制方法难以实时调整热场分布。采用高斯过程回归（GPR）结合热场仿真模型，构建“温度-压力-晶体缺陷”预测模型，当监测到温度波动超过 $\pm 2^\circ\text{C}$ 时，系统自动调整石墨加热器功率，提前抑制微管生成。实施后，微管密度从 $0.5/\text{cm}^2$ 降至 $0.1/\text{cm}^2$ 以下，晶体利用率从 60% 提升至 85%。

2.3 场景（10）网络协同制造

案例：长三角 GaN 企业联盟

联盟内 10 家企业共享 MOCVD 设备的 In 组分生长数据(累计超 10 万组)，采用联邦学习框架构建跨企业工艺优化模型。某嘉兴企业输入自身设备参数后，模型推荐“阶梯式温度控制”方案，将 GaN 器件功率附加效率 (PAE) 从 58% 提升至 61%，且无需共享核心生产数据。区域内企业平均研发周期缩短 3 个月，工艺优化成本降低 40%。

3. 仓储物流环节

场景 (12) 精准配送

案例：某上海 12 英寸 SiC 晶圆厂

该厂物料配送涉及 100 多项工序，传统路径规划导致晶圆搬运耗时占生产周期的 15%。部署基于 PPO 算法的智能配送系统，结合 UWB 实时定位 (精度 $\pm 5\text{cm}$)，动态优化 AGV 路径。例如，当检测到光刻机即将缺料时，系统优先调度最近的 AGV 执行配送，并避开正在清洁的洁净区。实施后，物料配送时间从 30 分钟/次缩短至 15 分钟/次，搬运误差率 $< 0.1\%$ ，年减少晶圆破损损失 500 万元。

4. 设备管理环节

4.1 场景 (14) 设备故障诊断与预测

案例：某合肥 SiC 刻蚀设备厂商

该企业为客户提供刻蚀机，传统定期维护导致客户产线非计划停机率达 10%。在设备中植入振动、电流等传感器，通过 CNN-Transformer 模型分析实时数据，构建设备健康指数。某客户工厂的刻蚀机运行时，系统检测到射频电源的电

流波形异常，提前 48 小时预测电容老化故障，客户及时更换部件，避免了一次预计损失 200 万元的停机事故。实施后，客户设备 OEE 提升至 92%，维护成本降低 35%。

4.2 场景（15）设备运行优化

案例：某南昌 GaNMOCVD 设备用户

该企业使用 AixtronMOCVD 设备生产 GaN 外延层，传统参数设置导致生长速率仅为 $2\mu\text{m/h}$ ，且能耗高。采用深度强化学习（DRL）算法，以生长速率和能耗为优化目标，自动调整温度（ $1050\text{--}1150^\circ\text{C}$ ）、气体流量（ $\text{NH}_3:5\text{--}10\text{slm}$ ）等 18 项参数。优化后，生长速率提升至 $2.4\mu\text{m/h}$ ，单位能耗降低 15%，单台设备年节约电费 120 万元，同时外延层缺陷密度下降 20%。

5. 质量管控环节

5.1 场景（16）智能在线检测

案例：某深圳 SiC 衬底检测企业

该企业人工目检 SiC 衬底微管缺陷的效率为 5 片/小时，且漏检率达 5%。部署基于 Transformer 的机器视觉系统，采用 12K 分辨率相机采集图像，结合注意力机制识别微管（最小可检测尺寸 $5\mu\text{m}$ ）。实施后，检测效率提升至 50 片/小时，缺陷识别准确率达 99.98%，漏检率降至 0.1% 以下。某车规级客户因检测精度提升，将该企业列为核心供应商，年新增订单 3000 万元。

5.2 场景（18）产品质量优化

案例：某北京 SiCMOSFET 制造商

该企业产品阈值电压漂移达 $\pm 200\text{mV}$ ，超出车规级 $\pm 100\text{mV}$ 要求。通过贝叶斯网络分析 20 万组生产数据，发现离子注入剂量波动（标准差 $>5\%$ ）是主因。系统自动优化注入能量与剂量组合，引入实时反馈控制（精度 $\pm 1\%$ ）。改进后，阈值电压漂移控制在 $\pm 50\text{mV}$ 以内，产品通过 AEC-Q101 认证，成功进入特斯拉供应链，年销售额增长 50%。

6. 能源与环保环节

6.1 场景（22）能效平衡与优化

案例：某武汉 SiC 长晶园区

园区内 50 台 SiC 长晶炉年耗电量占总能耗的 70%，传统控制方式下单位能耗达 800kWh/kg 。部署基于深度学习的能效模型，实时分析长晶炉的热场分布、功率输入等数据，动态调整加热策略。例如，在晶体生长中后期自动降低边缘加热功率，减少热损耗。实施后，单位能耗降至 600kWh/kg ，年节电超 1000 万度，同时 CO_2 排放减少 1.2 万吨，获得国家绿色工厂认证。

6.2 场景（24）碳资产与废弃物管理

案例：某厦门 GaN 外延企业

该企业 GaN 外延片切割废料率达 15%，传统回收工艺碳排放量高。通过知识图谱构建“切割参数-废料形态-回收工艺”关联模型，推荐“激光切割+等离子体回收”组合工艺。实施后，废料回收率从 60% 提升至 90%，单吨废料回收碳排放从 800kg 降至 500kg ，同时回收的 GaN 粉末用于制备衬底缓冲层，年材料成本降低 1200 万元。

7.产品与工艺设计环节

7.1 场景（32）数据驱动产品设计优化

案例：某成都 GaN 器件设计公司

该企业开发新型 28GHz GaN HEMT 时，传统设计需 6 轮流片（成本超 500 万元）。采用生成式 AI 模型（基于 30 万组器件数据训练），自动生成“异质结结构+场板设计”方案，经数字孪生验证后流片。新器件功率密度达 5W/mm（较原设计提升 30%），且首次流片良率达 85%，研发周期从 18 个月缩短至 10 个月，成功应用于华为 5G 基站。

7.2 场景（33）工艺数字化设计

案例：某西安 SiC 氧化工艺企业

该企业开发 1200V SiC MOSFET 的氧化工艺时，传统仿真因缺乏缺陷模型导致击穿电压误差超 15%。引入多物理场仿真+迁移学习技术，基于中科院物理所的 SiC 缺陷数据库预训练模型，快速预测 1250℃ 氧化后的 SiO₂ 薄膜质量。优化后，击穿场强从 8MV/cm 提升至 9.2MV/cm，仿真精度达 ±3%，工艺开发周期从 12 个月缩短至 6 个月，流片次数减少 2 次。

7.3 场景（34）可制造性设计

案例：某珠海 GaN 射频器件初创企业

该企业设计的 5G 功率放大器因封装焊盘尺寸（0.1mm × 0.1mm）与焊接工艺不匹配，量产良率仅 60%。通过工艺知识图谱分析 10 万次以上失效案例，系统自动识别出“焊盘尺寸 < 0.2mm 时焊接应力集中”的风险，推荐“阶梯式焊盘+

金球键合”方案。改进后，焊点开路缺陷率从15%降至2%，量产良率提升至92%，成功获得中兴通讯订单。

8. 供应链环节

8.1 场景（40）供应链计划协同优化

案例：某东莞 SiC 衬底供应链核心企业

该企业作为珠三角 SiC 衬底龙头，需协同 20 家下游封装厂。采用 LSTM+Attention 模型整合客户需求（如比亚迪、蔚来的季度订单）、自身产能（6 英寸衬底月产 1 万片）及物流数据，提前 2 周预测物料短缺风险。2023 年 Q2 预测到石墨坩埚供应短缺后，系统自动调整生产计划并启动国产替代，保障了华为海思的订单交付，供应链响应速度提升 60%，客户满意度达 98%。

8.2 场景（42）供应链采购动态优化

案例：某宁波 SiC 粉料采购企业

该企业年采购 SiC 粉料超 1000 吨，传统批量采购导致资金占用高（约 5000 万元）且价格波动风险大。部署强化学习采购模型，实时分析 SiC 粉料价格走势（历史波动率 $\pm 15\%$ ）、供应商产能（国内前 5 大供应商占比 70%）等数据，动态调整采购批次与数量。实施后，采购成本降低 18%，资金周转率提高 3 倍，在 2023 年 SiC 粉料价格暴涨 30% 前，提前锁定低价货源，节约成本 1200 万元。

8.3 场景（45）供应链风险预警与弹性管控

案例：某天津 GaN 器件企业

该企业核心原材料氟气依赖乌克兰供应，2022 年俄乌冲突导致供应中断风险。通过图神经网络构建供应链风险模型，监测到氟气价格 1 周内上涨 200%后，系统自动启动国产替代方案（切换至南京某氟气厂商），并调整 MOCVD 工艺参数适应国产氟气纯度（从 99.999%降至 99.99%）。因响应及时，企业未受断供影响，反而抢占了竞争对手的市场份额，季度销售额增长 40%。

环节	场景编号	场景名称	企业案例	AI 技术应用	实施成效
计划调度	1	生产计划优化	无锡 SiC 模块厂商	LSTM-GARCH 需求预测+安全库存算法	计划准确率从 60%→90%，库存周转率↑40%，年节约成本 800 万元
	2	车间智能排产	苏州 GaN 射频工厂	DQN 算法+APS 系统	设备 OEE 从 65%→85%，批次周期从 72h→48h
	3	资源动态配置	南京 SiC 衬底企业	GNN 图谱+AGV 路径优化	物料周转效率↑40%，搬运能耗↓15%
生产作业	6	工艺动态优化	常州 SiC 外延企业	CNN-LSTM 工艺模型	外延层均匀性从 ±5%→±1.5%，良率↑13%，单炉产能↑20 片/月

	7	先进过程控制	杭州 SiC 晶体企业	高斯过程回归+热场仿真	微管密度 ↓ 80%， 晶体利用率 ↑ 25%
	10	网络协同制造	长三角 GaN 企业联盟	联邦学习+跨企业模型	区域器件 PAE ↑ 3%， 研发周期 ↓ 3 个月， 成本 ↓ 40%
仓储物流	12	精准配送	上海 12 英寸 SiC 晶圆厂	PPO 算法 + UWB 定位	配送时间 ↓ 50%， 误差率 < 0.1%， 年减少破损损失 500 万元
设备管理	14	设备故障诊断与预测	合肥 SiC 刻蚀设备厂商	CNN-Transformer 健康模型	提前 48h 预警故障， OEE ↑ 至 92%， 维护成本 ↓ 35%
	15	设备运行优化	南昌 GaNMOCVD 用户	DRL 算法+参数优化	生长速率 ↑ 20%， 能耗 ↓ 15%， 年节电 120 万元

质量 管控	16	智能在线检测	深圳 SiC 衬底检测企业	Transformer + 机器视觉	检测效率 ↑ 10 倍, 准确率 99.98%, 年新增订单 3000 万元
	18	产品质量优化	北京 SiCMOSFE T 制造商	贝叶斯网络 + 实时控制	阈值电压漂移从 ± 200mV → ± 50mV, 进入特斯拉供应链, 销售额 ↑ 50%
能源 环保	22	能效平衡与优化	武汉 SiC 长晶园区	深度学习 + 能效模型	单位能耗 ↓ 25%, 年节电 1000 万度, CO ₂ 排放 ↓ 1.2 万吨
	24	碳资产与废弃物管理	厦门 GaN 外延企业	知识图谱 + 工艺优化	废料回收率 ↑ 30%, 碳排放 ↓ 37.5%, 年成本降低 1200 万元
产品设计	32	数据驱动产品设计优化	成都 GaN 器件设计公司	生成式 AI + 数字孪生	功率密度 ↑ 30%, 研发周期 ↓ 8 个月, 进入华为供应链

工艺设计	33	工艺数字化设计	西安 SiC 氧化工艺企业	迁移学习+多物理场仿真	击穿场强 ↑15%, 工艺周期 ↓50%, 流片次数 ↓2 次
	34	可制造性设计	珠海 GaN 射频初创企业	知识图谱+NLP 分析	量产良率从 60% →92%, 获得中兴订单
供应链计划	40	供应链计划协同优化	东莞 SiC 衬底核心企业	LSTM+Attention 预测模型	提前 2 周预警风险, 响应速度 ↑60%, 客户满意度 98%
供应链采购	42	供应链采购动态优化	宁波 SiC 粉料采购企业	强化学习+采购策略	采购成本 ↓18%, 资金周转率 ↑3 倍, 节约成本 1200 万元
供应链服务	45	供应链风险预警与弹性管控	天津 GaN 器件企业	图神经网络+风险模型	成功应对氦气断供, 销售额季度 ↑40%, 抢占市场份额

附件 2

投入改造清单及图谱

1、行业系统化场景图谱示意图

		产品设计环节 A1	工艺设计环节 B1	实验验证环节 C1
研发设计	主场景	A1.1 主场景 产品数字化研发与智能设计 工具软件: EDA 软件(化合物半导体 HEMT 建模, Multi-physicsCo-simulations (多物理场协同仿真))PLM 系 统 数据要素: 多维材料特性, 器 件特性与信赖性数据, 产品指 标参数	B1.1 主场景 工艺数字化设计 工具软件: R2R 控制系统, TCAD 软件, 数据要素: 机台 recipe, 工艺 参数, 工艺失效偏差 知识模型: 薄膜应力与电导率 等工艺模型, 曝光转印, 蚀刻 undercut, 热力模型, 静电模 型	C1.1 主场景 数字化实验验证 工具软件: LMS 系统 数据要素: 指标参数, 测试工 具, DOE 方法 知识模型: 产品机理与特性, 工具库, 失效模型 人才技能: 材料机理, 测试工 程, 品质工程 痛点问题: 自动化测试设备离

	<p>知识模型：材料能带物理模型，器件工作模型，失效模型</p> <p>人才技能：半导体物理，材料物理，器件结构设计，电路原理等的误差，环境失效影响，</p> <p>模痛点问题：设计与制造实际之间型不准确</p>	<p>人才技能：工艺工程，设备工程，材料与物理，产品规划设计</p> <p>痛点问题：参数控制依赖经验，工艺实际与理论的差距，先进封装技术不成熟</p>	<p>线，测试手段不完备，环境干扰，分析手段有限</p>
	<p>A1.2 主场景</p> <p>虚拟试验与调试</p> <p>工具软件：仿真平台</p> <p>数据要素：实验，仿真参数</p> <p>知识模型：工艺模型，设备机理模型</p> <p>人才技能：工艺工程，物理与化学，材料结构，软件系统</p> <p>痛点问题：仿真与实际脱节</p>	<p>B1.2 主场景</p> <p>可制造性设计</p> <p>工具软件：AI 路径推荐引擎</p> <p>数据要素：SPC 数据、设备边界</p> <p>知识模型：设备工况模型</p> <p>人才技能：数据分析师，全流程工艺</p> <p>痛点问题：缺乏联动，样本经验不足</p>	<p>C1.2 主场景</p> <p>实验设备数字连接</p> <p>工具软件：实验调度平台</p> <p>数据要素：设备状态，产品批次计划</p> <p>知识模型：调度与排程</p> <p>人才技能：实验室调度管理员</p> <p>痛点问题：测试流程不透明</p>

	<p>A1.3 主场景</p> <p>数据驱动产品设计优化</p> <p>工具软件: AI 建模工具</p> <p>数据要素: 缺陷数据</p> <p>知识模型: FMEA 知识库</p> <p>人才技能: AI 建模人员</p> <p>痛点问题: 数据不通, 多品种少批量</p>		<p>C1.3 主场景</p> <p>试验知识沉淀与复用</p> <p>工具软件: 实验调度平台, 数据库, 标注与训练 AI 软件</p> <p>数据要素: 文本等结构化数据, 测试结果, 统计分析结果,</p> <p>知识模型: 机理模型, 统计分析模型</p> <p>人才技能: 统计分析, 工艺工程</p> <p>痛点问题: 据样本泛化性弱, 重复性差, DOE 不科学</p>
--	---	--	---

		计划调度 环节 A2	生产作业 环节 B2	仓储物流 环节 C2	设备管理 环节 D2	质量管控 环节 E2	安全管控 环节 F2	能源管理 环节 G2	环保管控 环节 H2	工厂建设 环节 I2
		A2.1 主场 景 生产计划 优化 工具软 件：APS 系统 工业物联 网（IIoT） 平台 数据要 素：订单 数据、原	B2.1 主场 景 产线柔性 配置 工具软 件：MES 数据要 素：作业 路径 知识模 型： 动态工单 逻辑	C2.1 主场 景 智能仓储 工具软 件：智能 仓储管理 系统 （WMS） 数据要 素：生产 作业计划 知识模 型：应用	D2.1 主场 景 在线运行 监测 工具软 件：EAM 系统 数据要 素： 设备运行 日志 知识模 型：	E2.1 主场 景 在线运行 监测 工具软 件：AI 分 类器 数据要 素：缺陷 率与良率 图像数据 知识模 型：	F2.1 主场 景 安全风险 实时监测 与应急处 置 工具软 件：AI 识 别系统 数据要 素：摄像 图像 知识模	G2.1 主场 景 能耗数据 监测 工具软 件：EMIS 平台 数据要 素：水电 气能耗 知识模 型：用能 预测模型	H2.1 主场 景 污染监测 与管控 工具软 件：SCADA 数据要 素：排放 数据 知识模 型：污染 识别模型 人才技	I2.1 主场 景 工厂数字 化设计 工具软 件：三维 设计与仿 真软件 （CAX） 数据要 素：布局 数据 知识模

		料数据 产线数据 质量与工 艺数据 知识模 型：排产 优化算法 人才技 能：排产 工程师 痛点问 题：排程 静态	人才技 能：产线 班长 痛点问 题：任务 响应滞后	条码、射 频识别、 智能传感 人才技 能：大模 型数据读 取缺陷录 入 痛点问 题：人工 入库（进 厂）、盘 库和出库 （出厂）， 效率低	设备健康 预测模型 人才技 能：设备 维修工程 师 痛点问 题：运维 被动	缺陷图谱 人才技 能：图像 识别训练 师 痛点问 题：人工 缺陷识别 工艺参数	型：风险 识别模型 人才技 能：安环 管理人员 痛点问 题：巡检 人工	人才技 能：能耗 分析师 痛点问 题：数据 粒度低	能：环保 主管 痛点问 题：排放 不可见	型：BIM 建模 人才技 能：工厂 规划师 痛点问 题：系统 割裂
--	--	--	--	---	---	---	--	--	----------------------------------	--

		<p>A2.2 主场景</p> <p>车间智能排产</p> <p>工具软件：预测引擎缺陷检测大模型</p> <p>数据要素：设备状态</p> <p>知识模型：排产优化算法</p> <p>人才技能</p>	<p>B2.2 主场景</p> <p>精益生产管理</p> <p>工具软件：MES、ERP、BI</p> <p>工具</p> <p>数据要素：人员状态</p> <p>知识模型：动态工单逻辑</p> <p>人才技能：产线</p>	<p>C2.2 主场景</p> <p>精准配送</p> <p>工具软件：智能仓储管理系统（WMS）</p> <p>智能调度与路径优化系统</p> <p>数据要素：制品、产成品单</p> <p>订单与需求数据，供应链协</p>	<p>D2.2 主场景</p> <p>设备故障诊断与预测</p> <p>工具软件：SCADA</p> <p>数据要素：报警记录</p> <p>知识模型：故障诊断和预测模型</p> <p>人才技能：设备</p>	<p>E2.2 主场景</p> <p>质量精准追溯</p> <p>工具软件：QMS</p> <p>系统</p> <p>数据要素：缺陷类型</p> <p>知识模型：五维追溯模型</p> <p>人才技能：质量工程师</p>	<p>F2.2 主场景</p> <p>危险作业自动化</p> <p>工具软件：视频分析平台</p> <p>数据要素：报警记录</p> <p>知识模型：事件模拟机制</p> <p>人才技能：应急响应协调</p>	<p>G2.2 主场景</p> <p>能效平衡与优化</p> <p>工具软件：碳排报表工具</p> <p>数据要素：碳因子</p> <p>知识模型：碳足迹算法</p> <p>人才技能：碳资产管理</p>	<p>H2.2 主场景</p> <p>碳资产与废弃物管理</p> <p>工具软件：危废平台</p> <p>数据要素：危废标签、运行参数</p> <p>知识模型：调度仿真机制</p> <p>人才技能</p>	<p>I2.2 主场景</p> <p>数字孪生工厂建设</p> <p>工具软件：FlexSim</p> <p>数据要素：布局数据</p> <p>知识模型：节拍仿真模型</p> <p>人才技能：系统集成人员</p>
--	--	---	---	--	--	---	--	---	--	--

		能：数据建模工程师 痛点问题：排产效率低	班长 痛点问题：作业标准差	同数据知识模型：实时定位、机器学习 人才技能：物流信息上报大模型训练 痛点问题：物流调度、配送和路径不及时	维修工程师 痛点问题：运维被动	痛点问题：追溯慢	员 痛点问题：响应滞后	痛点问题：碳核算缺失	能：运维工程师 痛点问题：危废不可追	痛点问题：系统割裂
--	--	-------------------------	------------------	---	--------------------	----------	----------------	------------	-----------------------	-----------

		<p>A2.3 主场景</p> <p>资源动态配置</p> <p>工具软件：可视化平台</p> <p>数据要素：工单历史</p> <p>知识模型：多目标调度模型</p> <p>人才技能：数据</p>	<p>B2.3 主场景</p> <p>工艺动态优化</p> <p>工具软件：工位终端</p> <p>数据要素：人员状态</p> <p>知识模型：动态工单逻辑</p> <p>人才技能：产线班长</p>		<p>D2.3 主场景</p> <p>设备运行优化</p> <p>工具软件：传感平台</p> <p>数据要素：维修记录</p> <p>知识模型：OEE分析</p> <p>人才技能：设备维修工程</p>	<p>E2.3 主场景</p> <p>产品质量优化</p> <p>工具软件：AOI、QMS系统</p> <p>数据要素：工序记录</p> <p>知识模型：质量机理分析</p> <p>人才技能：质量工程师</p>				<p>I2.3 主场景</p> <p>工业技术软件化应用</p> <p>工具软件：仿真平台</p> <p>数据要素：工艺节拍</p> <p>知识模型：节拍仿真模型</p> <p>人才技能：系统</p>
--	--	---	---	--	--	---	--	--	--	--

		建模工程师 痛点问题：无法应对动态变化	痛点问题：作业标准差		师 痛点问题：数据孤岛	痛点问题：质量改进效果不佳				集成人员 痛点问题：建线周期长
			B2.4 主场景 先进过程控制 工具软件 过程控制系统 (APC) 过程建模软件							12.4 主场景 数字基础设施集成 工具软件：MES 数据要素：搬运路径 知识模

			<p>数据要素：工艺参数、实时过程数据</p> <p>知识模型：多尺度物性表征和建模</p> <p>人才技能：数字作业指导师</p> <p>痛点问题：过程控制混乱</p>							<p>型：BIM</p> <p>人才技能：系统集成人员</p> <p>痛点问题：工厂信息化弱</p> <p>数据要素采集不全</p>
--	--	--	---	--	--	--	--	--	--	--

			<p>B2.5 主场 景</p> <p>智能协同 作业</p> <p>工具软 件：生产 现场设备 控制系统</p> <p>数据要 素：工艺 参数</p> <p>知识模 型：边缘 计算、过 程机理模 型、电气</p>								<p>I2.5 主场 景</p> <p>数据治理 与流通</p> <p>工具软 件：云计 算</p> <p>数据要 素：加工、 装配、检 测、物流 单</p> <p>知识模 型：工艺 模型</p> <p>人才技</p>
--	--	--	---	--	--	--	--	--	--	--	---

			<p>系统模型</p> <p>人才技能：过程建模与系统分析、编程与数据分析工具、工程实践能力</p> <p>痛点问题：生产、检测、物流装备等不能实时协同。</p>							<p>能：系统集成人员</p> <p>痛点问题：工艺全仿真不够</p>
--	--	--	---	--	--	--	--	--	--	-------------------------------------

			<p>B2.6 主场 景： 人机协同 制造 工具软 件：AR 指 导系统 数据要 素：作业 路径 知识模 型：人工 智能、 AR/VR、新 型传感 人才技</p>							
--	--	--	---	--	--	--	--	--	--	--

		能：数字 作业指导 师 痛点问 题：人工 作业工作 量大							
		B2.7 主场 景 网络协同 制造 工具软 件：网络 协同平台 数据要 素：企业							

			生产数据 知识模 型：跨企 业网络 人才技 能：数字 作业指导 师 痛点问 题：各企 业各地域 生产的孤 立							
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

运维服务	主场景	售后服务环节 A3
		<p>A3.1 主场景产品远程运维</p> <p>工具软件：CRM 平台</p> <p>数据要素：服务记录</p> <p>知识模型：客户故障模型</p> <p>人才技能：售后工程师</p> <p>痛点问题：响应慢</p>
		<p>A3.2 主场景主动客户服务</p> <p>工具软件：CRM 平台</p> <p>数据要素：客户行为</p> <p>知识模型：运维知识库</p> <p>人才技能：数据挖掘人员</p> <p>痛点问题：反馈断点</p>
		<p>A3.3 主场景数据驱动服务</p> <p>工具软件：远程运维平台</p> <p>数据要素：运行日志</p>

		<p>知识模型：运维知识库</p> <p>人才技能：售后工程师</p> <p>痛点问题：反馈断点</p>
经营管理	主场景	<p>营销管理环节 A4</p>
		<p>A4.1 主场景销售驱动业务优化</p> <p>工具软件：CRM 系统</p> <p>数据要素：客户参数</p> <p>知识模型：客户画像模型</p> <p>人才技能：市场分析师</p> <p>痛点问题：预测不准</p>
		<p>A4.2 主场景大规模个性化定制</p> <p>工具软件：配置平台、BI 工具</p> <p>数据要素：历史订单</p> <p>知识模型：选型配置逻辑</p> <p>人才技能：客户建模人员</p> <p>痛点问题：配置滞后</p>

供应链管理	主场景	供应链计划环节 A5	供应链采购与交付环节 B5	供应链服务环节 C5
		<p>A5.1 主场景</p> <p>供应链计划协同优化</p> <p>工具软件：APS</p> <p>数据要素：采购计划</p> <p>知识模型：物料-BOM-设备协同模型</p> <p>人才技能：供应计划师</p> <p>痛点问题：齐套性差</p>	<p>B5.1 主场景</p> <p>供应链采购动态优化</p> <p>工具软件：SRM 系统</p> <p>数据要素：采购计划</p> <p>知识模型：智能采购规划</p> <p>人才技能：采购专员</p> <p>痛点问题：采购节奏错配</p>	<p>C5.1 主场景</p> <p>供应商数字化管理</p> <p>工具软件：协同门户</p> <p>数据要素：供应商履约</p> <p>知识模型：供应商画像模型</p> <p>人才技能：供应协同经理</p> <p>痛点问题：信息碎片化</p>
		<p>A5.2 主场景产供销一体化</p> <p>工具软件：APS</p> <p>数据要素：库存、BOM、设备产能</p> <p>知识模型：物料-BOM-设备协同模型</p> <p>人才技能：预测模型师</p> <p>痛点问题：预测延后</p>	<p>B5.2 主场景</p> <p>供应链智能配送与动态优化</p> <p>工具软件：物流监控平台</p> <p>数据要素：在途数据</p> <p>知识模型：运输时效预测</p> <p>人才技能：物流信息跟单员</p> <p>痛点问题：采购节奏错配</p>	<p>C5.2 主场景</p> <p>供应链风险预警与弹性管控</p> <p>工具软件：风险监控系統</p> <p>数据要素：供应商履约、资质</p> <p>知识模型：风险评分机制</p> <p>人才技能：风控模型分析师</p> <p>痛点问题：响应慢</p>

2、行业智能化改造装备清单

适用场景	装备名称	主要功能	投入区间 (万元)	国产/ 进口
晶圆转运、物料跨车间配送	激光导航AGV/AMR	采用SLAM激光导航±5mm定位精度，5G实时调度，支持Class1洁净环境；集成数字孪生系统，动态避障响应时间<0.5s	20-50	国产
精密晶圆抓取、设备上下料	协作机械臂	六轴柔性控制，重复定位精度高；视觉引导抓取，支持多英寸晶圆盒；力控自适应夹持	15-40	国产
物料全流程追踪	智能扫码枪系统	工业级条码/二维码识别；抗反光、污损识别率小；与MES系统直连，实时更新库存状态	3-8	国产
重型设备搬运、物料立体库对接	高精度升降AGV	激光+视觉复合导航，跨楼层定位；配备安全力矩传感器，防碰撞急停	40-80	国产
原材料/成品自动化仓储	智能仓储机器人	多机器人协同调度；AI路径优化，仓容利用率提升；预测性维护	30-60	国产

衬底 / 外延片表面缺陷	激光扫描缺陷检测仪	识别微米级划痕,扫描速度高	400-600	国产
晶向精度校准	X射线晶体定向仪	角度偏差检测	200-350	进口
外延生长实时监控	原位薄膜厚度监测系统	激光干涉+光谱反射	150-250	国产
芯片电性能测试	电性能检测设备	电性能检测	600-900	进口
质检	AI视觉检测设备	深度学习识别外观检测缺陷	100-300	进口
衬底制备	激光位移传感器	实时监测晶圆切割深度	8-15	进口
衬底制备	高温热电偶	监测切割区温度	2-5	国产
衬底制备	振动传感器	检测设备异常振动,预判机械故障	2-5	国产
外延生长	红外温度传感器	非接触式监测炉内温度均匀性,保障外延层生长质量	10-25	进口
外延生长	气体质量流量计	精确控制反应气体流量,减少外延层缺陷密度	5-12	进口
外延生长	原位膜厚传感器	实时测量薄膜厚度,动态调整沉积参数	50-80	进口

芯片制造	真空压力传感器	监测腔室真空度,确保刻蚀均匀性	8-20	进口
芯片制造	高精度位置编码器	控制晶圆台定位精度,保障光刻套准	20-50	进口
物流与洁净环境	颗粒物计数器	实时检测无尘室无尘环境颗粒物,保障晶圆洁净度	5-10	国产
物流与洁净环境	温湿度传感器	维持晶圆存储环境,防止氧化	0.2-0.8	国产

3、数字化转型数据要素清单

序号	场景	数据要素类型	描述
1	产品数字化研发与设计	材料基因数据	包括 SiC 晶体缺陷数据、GaN 外延参数，用于器件结构设计与工艺优化
2	产品数字化研发与设计	工艺知识库数据	收录量产工艺卡片，支持从器件结构设计到工艺参数优化的全流程数字化闭环
3	产品数字化研发与设计	多物理场仿真数据	集成 ANSYSElectromagneticsSuite +COMSOLMultiphysics 仿真引擎数据，实现电场-热场耦合仿真
4	虚拟试验与调试	器件三维模型数据	通过 Unity3D 构建，与实时测试数据融合，实现“设计-仿真-测试”闭环验证
5	虚拟试验与调试	热场分布云图数据	由 ANSYS 生成，实时导入 Unity 场景，实现热应力分布三维可视化
6	虚拟试验与调试	半实物仿真数据	通过 PXIe 测试系统连接实际电路板，实现射频器件信号完整性虚拟测试

7	数据驱动产品设计优化	生产良率数据	整合外延生长记录，用于分析工艺参数与产品质量的关联
8	数据驱动产品设计优化	失效分析报告数据	整合失效分析报告，通过知识图谱拆解为“问题-方案-效果”三元组
9	数据驱动产品设计优化	客户反馈数据	整合客户反馈及外部供应链数据，生成创成式设计方案
10	工艺数字化设计	材料基因数据库	涉及 SiC 晶体缺陷数据，支持晶体生长速率、缺陷密度等参数查询
11	工艺数字化设计	工艺知识库数据	收录已量产工艺卡片，覆盖从材料生长到器件封装全流程
12	工艺数字化设计	多物理场仿真数据	集成 COMSOL 电场-热场耦合仿真数据，优化高温氧化等工艺参数
13	可制造性设计	设计-工艺知识图谱数据	将现场工艺失效案例拆解为“设计缺陷-工艺瓶颈-测试结果”三元组
14	可制造性设计	跨企业工艺数据	打通设计端、制造端、测试端全链条数据，评估工艺可行性
15	质量管控-智能在线检测	设备运行日志数据	包含外延生长记录，用于分析工艺参数与产品质量关联

16	质量管控-质量精准追溯	缺陷分析报告数据	整合缺陷分析报告，通过区块链存证实现全生命周期追溯
17	质量管控-产品质量优化	客户反馈数据	收集反馈及供应链数据，生成创成式优化方案
18	营销管理-销售驱动业务优化	客户主数据	整合客户基本信息、历史交易、联络记录等，构建360°客户画像
19	营销管理-大规模个性化定制	定制需求数据	通过CPQ功能模块，支持销售人员配置产品选项并自动生成报价
20	售后服务-设备远程运维	设备运行参数数据	采集温度、振动、气压等参数，预测潜在故障
21	售后服务-主动客户服务	维修记录数据	通过区块链存证，实现“设备-工艺-物料”全流程追溯
22	工厂建设-数字孪生工厂	设备运行数据	实时采集温度、压力、气体流量等多维度参数，同步至数字孪生体
23	工厂建设-柔性产线配置	工艺参数数据	整合长晶、外延、刻蚀等工序参数，支持产线快速切换
24	计划调度-生产计划优化	产能负荷数据	实时监控设备利用率、库存余量等，动态调整生产计划

25	计划调度-车间智能排产	订单需求数据	整合客户订单、预测数据，通过 APS 系统实现动态排程
26	生产作业-产线柔性配置	设备状态数据	采集 OEE、故障频率等指标，优化设备利用率
27	生产作业-精益生产管理	工艺参数数据	整合长晶温度、外延生长速率等，减少生产浪费
28	仓储物流-智能仓储	库存数据	实时监控原材料、半成品、成品库存，优化仓储空间
29	仓储物流-精准配送	物流轨迹数据	通过 RFID、GPS 追踪货物运输状态，确保准时交付
30	设备管理-在线运行监测	设备传感器数据	部署多种类型的 IoT 传感器，采集温度、振动等参数
31	设备管理-设备故障诊断	故障日志数据	整合历史维修记录，通过 AI 算法预测潜在故障
32	安全管控-风险实时监测	环境监测数据	部署红外热成像、激光光谱仪，监测温度、气体浓度
33	安全管控-危险作业自动化	设备运行数据	采集机器人运动轨迹、力反馈等参数，确保作业安全

34	能源管理-能耗数据监测	能耗计量数据	安装智能电表、水表，实时采集各工序能耗
35	能源管理-碳资产	碳排放因子数据	整合原材料、生产、运输等环节碳数据，核算碳足迹
36	环保管控-污染监测	污染物排放数据	部署在线质谱仪、粉尘传感器，监测 NOx、PM2.5 等
37	环保管控-废弃物管理	危废处理数据	通过区块链存证，记录危废种类、重量、处置方等信息
38	供应链计划-协同优化	需求预测数据	整合客户订单、市场趋势等，通过 AI 算法生成采购计划
39	供应链计划-产供销一体化	生产排程数据	同步 MES、ERP 数据，实现从订单到交付全流程可视化
40	供应链采购与交付	供应商资质数据	收录供应商基本信息、产能、质量认证等，辅助采购决策
41	供应链采购与交付	物流跟踪数据	通过 GPS、RFID 实时监控货物运输状态，优化配送路径
42	供应链服务-供应商管理	供应商绩效数据	评估交付准时率、质量合格率等多项指标，动态调整合作策略
43	供应链服务-风险预警	地缘政治数据	整合海关政策、物流中断等信息，预测供应链风险

4、知识模型资源清单

序号	场景	知识模型	描述
1	产品设计	宽禁带材料缺陷数据库	整合中科院物理所、南理工等机构研究成果，包含微管密度、位错类型等微观结构参数，支持 GaNHEMT 异质结界面态量子力学级模拟
2	产品设计	多物理场仿真知识模型	基于 ANSYS Electromagnetics Suite 与 COMSOL Multiphysics，实现电场-热场耦合仿真，优化 SiC MOSFET 栅极氧化层厚度与漂移区掺杂浓度
3	产品设计	设计知识图谱模型	将专利技术方案拆解为“问题-方案-效果”三元组，通过自然语言处理匹配设计痛点，推荐创新结构
4	工艺设计	SiC PVT 生长知识模型	整合国内知名院所 SiC PVT 生长数据，支持晶体生长速率、缺陷密度等参数实时查询与仿真验证
5	工艺设计	跨尺度工艺协同模型	建立从原子级缺陷到器件级性能的关联分析，实现 SiC 微管缺陷演化与封装应力的耦合模拟
6	工艺设计	工艺可制造性评估模型	通过图数据库 Neo4j 构建设计-工艺知识图谱，将收集失效案例与设计文件关联，评估工艺可行性

7	质量管控	缺陷分类知识模型	基于 U-Net++ 神经网络，利用标注样本训练，可识别多种微观缺陷，提升漏检率
8	质量管控	多物理场检测知识模型	融合红外热成像、激光光谱等数据，构建 SiC 长晶炉温度场分布与晶体缺陷关联模型，提升预测精度
9	质量管控	风险量化评估模型	融合材料特性参数、工艺波动数据及测试结果，构建机器学习风险评分模型，量化芯片潜在失效概率
10	营销管理	客户分级服务模型	运用帕累托法则识别关键客户，建立大客户专项跟踪面板，整合销售、技术支持、售后服务信息
11	营销管理	订单预测知识模型	嵌入销售预测模块，与 MES 和 APS 对接，建立滚动预测机制，提升销售预测准确率
12	售后服务	设备健康评估模型	通过 LSTM 神经网络分析设备时序数据，结合知识图谱关联历史维修记录，实现故障根因定位
13	售后服务	数字孪生运维模型	基于 ANSYSTwinBuilder 构建设备动态镜像，实时映射物理设备状态，仿真故障演化路径
14	工厂建设	数字孪生工厂模型	构建覆盖材料制备到封装测试的全流程虚拟镜像，实现多维度参数毫秒级同步，优化长晶工艺稳定性

15	工厂建设	柔性产线调度模型	采用混合整数规划算法，动态优化多品种订单排程，有助于降低设备空闲率
16	计划调度	产能优化知识模型	基于强化学习算法，整合设备状态、物料供应等数据
17	计划调度	供应链协同模型	通过区块链技术建立“设备-工艺-物料”追溯链，实现缺陷根因定位效率提升
18	生产作业	AI 工艺优化模型	运用深度强化学习算法，分析生长数据，优化 GaN 外延层 Al 组分梯度，提升射频器件 PAE
19	生产作业	精益生产知识模型	建立第三代半导体专属浪费矩阵，重点减少长晶炉空转能耗和检测工序重复作业
20	仓储物流	智能仓储调度模型	通过 RFID 与视觉识别系统，结合温湿度传感器数据，动态调节存储条件，降低光刻胶损耗率
21	仓储物流	冷链配送知识模型	整合 GPS、温控传感器数据，运用智能调度算法优化路径，确保光刻胶运输温控达标率提升
22	设备管理	预测性维护模型	基于振动频谱分析与设备历史数据，建立威布尔分布故障预测模型，实现预警设备异常

23	设备管理	备件协同知识模型	根据设备故障率分布与供应链数据，构建动态安全库存模型，实现“零呆滞”管理
24	安全管控	风险预警知识模型	融合红外热成像、激光光谱数据，建立多物理场耦合仿真系统，提前预警热失控风险
25	安全管控	应急处置知识模型	基于数字孪生模拟火灾、爆炸扩散路径，自动生成三维应急疏散路线，匹配最优救援资源
26	能源管理	能耗优化知识模型	开发多目标优化算法，以能耗、良率、产能为目标，动态生成 SiC 长晶工艺参数组合
27	能源管理	碳足迹核算模型	集成供应商碳数据、生产物流数据，开发行业专属碳核算工具，误差控制规定范围内
28	环保管控	污染物溯源模型	通过区块链存证废气、废水处理数据，建立从原材料到成品的全生命周期污染追溯链
29	环保管控	废弃物回收知识模型	构建碳化硅切割废料破碎提纯工艺模型，实现废料到衬底原料的闭环利用，转化率提升
30	供应链计划	需求预测知识模型	基于 LSTM-GARCH 神经网络，融合生产计划、市场行情数据，实现预测采购需求，以降低误差率

31	供应链计划	产能共享知识模型	通过智能合约分配紧急订单，建立“一级主供+二级备份+三级技术替代”三级供应链体系
32	供应链采购	动态定价知识模型	开发多目标优化算法，综合价格、交期、质量等因素，自动生成最优采购方案，降低材料成本
33	供应链采购	物流优化模型	运用数字孪生技术模拟极端天气、交通管制等场景，提前优化运输策略，减少交付延迟率
34	供应链服务	供应商评估模型	建立包含交付准时率、质量稳定性等指标的动态评分体系，自动触发红黄牌预警
35	供应链服务	风险量化模型	开发供应链脆弱性指数（SVI），从供应集中度、物流依赖度等维度量化风险，生成应对方案

5、工具软件清单

序号	工具软件	描述	投入区间 (万元)	国产/进口
1	EDA 设计软件	集成电路设计、版图设计、仿真验证，支持 SiC、GaN 器件设计（主要厂商：Synopsys、Cadence、Mentor 等）	50-300	进口
2	TCAD 工艺仿真软件	半导体器件物理仿真、工艺建模、器件特性预测（主要厂商：Silvaco、Synopsys 等）	80-200	进口
3	晶圆制造执行系统 (FabMES)	晶圆生产全流程管控、设备集成、配方管理、产品追溯（主要厂商：华峰测控、晶升半导体等）	200-800	国产
4	设备自动化控制系统 (SECS/GEM)	半导体设备通信标准、设备状态监控、数据采集（主要厂商：宁德时代智造、中科达观等）	30-150	国产
5	统计过程控制系统 (SPC)	生产过程质量统计分析、异常预警、趋势分析（主要厂商：盈飞无限、易达智控等）	20-80	国产

6	良率管理系统 (YMS)	产品良率分析、缺陷分类、工艺优化建议 (主要厂商: 赛美特、格创东智、广立微等)	50-200	国产
7	设备健康管理系统 (PHM)	设备预测性维护、故障诊断、备件管理 (主要厂商: 索为系统、昆仑数据等)	80-300	国产
8	企业资源规划系统 (ERP)	财务管理、采购管理、销售管理、库存管理 (主要厂商: 用友、金蝶、浪潮等)	50-500	国产
9	高级计划排程系统 (APS)	生产计划优化、资源配置、交期承诺 (主要厂商: Asprova、Preactor 等)	100-400	进口
10	供应链管理系统 (SCM)	供应商管理、采购协同、库存优化、物流跟踪 (主要厂商: 汉得信息、甲骨文等)	80-300	国产
11	产品生命周期管理 (PLM)	产品数据管理、版本控制、变更管理、协同设计 (主要厂商: 达索、PTC、Siemens 等)	100-600	进口

12	数字化工厂 仿真软件	工厂布局设计、生产线 仿真、物流优化（主要 厂商：Tecnomatix、 PlantSimulation 等）	60-250	进口
13	工业大数据 分析平台	数据采集、清洗、分析、 可视化、机器学习（主 要厂商：阿里云、华为 云、腾讯云等）	50-300	国产
14	能源管理系 统（EMS）	能耗监测、能效分析、 碳排放管理（主要厂 商：安科瑞、威胜信息 等）	30-120	国产
15	环保管控系 统	废气废水监测、环保数 据采集、合规管理（主 要厂商：聚光科技、雪 迪龙等）	20-100	国产
16	工业互联网 平台	设备连接、数据汇聚、 应用开发、服务集成 （主要厂商：华为、树 根互联、东方国信等）	100-500	国产
17	数字孪生平 台	虚实映射、仿真建模、 优化决策、预测分析 （主要厂商：51WORLD、 数字冰雹、航天云网 等）	150-600	国产

18	人工智能算法平台	机器学习、深度学习、算法训练、模型部署 (主要厂商: 百度飞桨、阿里 PAI、华为 ModelArts 等)	80-400	国产
19	质量追溯系统	产品全生命周期追溯、批次管理、质量分析 (主要厂商: 码上飞、兆信股份等)	40-180	国产
20	客户关系管理系统 (CRM)	客户信息管理、销售机会跟踪、服务管理 (主要厂商: 销售易、纷享销客、EC 等)	20-150	国产
21	仓储管理系统 (WMS)	库存管理、出入库控制、货位优化、盘点管理 (主要厂商: 唯智信息、海柔创新等)	30-200	国产
22	网络安全管理平台	工业网络安全、入侵检测、访问控制、安全审计 (主要厂商: 奇安信、绿盟科技、安恒信息等)	50-200	国产

23	设备点检系统	设备巡检、维护计划、工单管理、备件管理 (主要厂商: 杰为软件、创实信息等)	25-100	国产
24	研发项目管理系统	项目进度跟踪、资源分配、成本控制、文档管理 (主要厂商: 禅道、Teambition、Worktile等)	30-150	国产
25	封装测试管理系统	封装工艺管理、测试数据分析、不良品分析 (主要厂商: 华峰测控、长川科技等)	60-250	国产

6、网络化联接设备清单

适用场景	设备名称	主要功能	投入区间 (万元)	国产/ 进口
移动通信 基站	毫米波射 频前端模 块	支持24-100GHz高频段通信，提升5G-A基站无线传输速率(目标10倍于5G)，适配MassiveMIMO技术(128天线以上高密度部署)	300-800	国产
移动通信 基站	高密度 MassiveMI MO天线阵 列	通过GaN射频芯片缩小器件体积30%，实现天线单元间距 $\leq 0.5\lambda$ (波长)的高密度集成，降低信号干扰	1000-3000	进口
光纤通信 系统场景	超高速光 通信激光 驱动器	基于碳化硅(SiC)衬底GaN器件，支持100Gbps以上光模块传输，开关频率达10GHz，降低光信号失真率 $< 0.1\%$	1000-4000	国产
卫星通信 场景	星载宽禁 带功率合 成器	利用SiC基射频芯片实现Ka波段(26.5-40GHz)多信道功率合成，输出功率 $> 1kW$ ，满足低轨卫星通信覆盖半径 $> 500km$ 需求	8000-15000	国产

数据中心场景	全氮化镓数据中心电源模块	采用 GaNHEMT 器件构建 48V 直供电源系统，效率 > 98%（较传统硅基方案提升 5%），单机架功耗降低 15%	500-1000	国产
工业物联网场景	耐高温无线传感节点	基于 SiCMOSFET 的抗高温（耐受 300℃）无线通信模块，用于冶金、石化等工业场景，通信延迟 < 10ms	0.1-1.5/节点	国产
企业级组网	AC+AP 组网	集中管理 AP，支持 500+ 并发通道，内置智能射频优化算法	5/套	国产
服务器配置	本地服务器	支持 PCIe5.0 扩展槽，适用于 EDA 仿真等高负载场景，200 万 IOPS，延迟 < 100μs，适配半导体设计文件存储	50-200	进口
服务器配置	云服务器	专为芯片仿真优化，支持 Cadence/Synopsys 工具链	10-50/年	进口
第三代半导体专用网络设备	测试流量生成器	模拟车规级芯片 10 ⁹ 级并发通信压力	50-100/年	进口
第三代半导体专用网络设备	时间敏感网络交换机	确保 SiC 功率模块控制指令传输抖动 < 100ns	20-50/台	国产

7、行业数字化转型人才技能清单

序号	人才技能类型	描述
1	半导体工艺与材料数字化分析	掌握第三代半导体材料（如 SiC、GaN）的物理特性、缺陷检测技术，以及基于 AI 的工艺参数优化能力。
2	EDA 工具与芯片设计数字化	熟练使用 Cadence、Synopsys 等 EDA 工具进行芯片架构设计，具备 Verilog/VHDL 编程能力，支持低功耗设计和数字孪生仿真。
3	工业互联网平台开发与运维	熟悉一种或多种大型工业互联网平台，具备设备联网、数据接口开发及跨系统集成能力，支持生产全流程数字化监控。
4	大数据分析 with 机器学习建模	掌握 Python/R 语言、TensorFlow/PyTorch 框架，能够构建良率预测、设备故障预警等模型，实现数据驱动的生产决策。
5	半导体测试与失效分析数字化	精通 ATE（自动测试设备）操作及芯片测试脚本开发，结合 AI 算法实现缺陷分类和根因分析
6	智能装备与机器人控制	熟悉光刻机、刻蚀机等半导体设备的自动化控制，具备 PLC 编程和机器人路径规划能力，支持柔性制造产线改造。

7	信息系统实施与优化	能够部署数字化系统，实现生产计划排程、库存管理和质量追溯的数字化闭环
8	数字孪生与虚拟仿真	利用 ANSYS、AutoCAD、SiemensMindSphere 等构建半导体工艺的 digital twin 模型，支持虚拟调试和工艺参数预优化
9	区块链与供应链透明化	掌握区块链技术，实现原材料溯源、供应商信用评估及合同智能化管理
10	半导体行业网络安全	熟悉 ISO27001、IEC62443 等标准，具备工业防火墙部署、数据加密及漏洞修复能力

附件 3

典型案例

一、上海概伦电子股份有限公司第三代半导体器件建模实践深度案例

1、公司介绍

概伦电子（PrimariusTechnologies）作为中国半导体电子设计自动化（EDA）行业的标杆企业，深耕器件建模与工艺平台建设十余年，致力于为全球半导体产业链提供从测试、建模到 PDK 开发的全流程解决方案。公司自主研发的 MeQLab™ 射频建模平台是国内首个拥有完全自主知识产权的射频器件建模软件，不仅实现了与 Keysight、Ansys 等国际竞品的技术对标，更在高频噪声分析、寄生参数自动提取等核心功能上实现超越。

核心技术矩阵与资源布局：

全栈式 EDA 工具链：构建了以 MeQLab™ 为核心的技术体系，配套 NanoSpice™ 仿真器、FS-Pro™ 参数提取工具等，形成“测试-建模-验证”闭环。其中，MeQLab™ 支持超过 20 种射频器件模型，涵盖硅基器件（BSIM3/4、PSP、LDMOS）及 III-V 族化合物器件（ASM-HEMT、Angelov、EEHEMT），并兼容 Verilog-a 语言与自定义模型开发。

先进硬件支撑体系：配备 10 万核 CPU 计算中心与 7 套 12 英寸晶圆测试系统，可同时处理大规模射频数据（如 S/Y/Z/H 参数）与高温/高压测试场景，满足第三代半导体器件在极端条件下的特性分析需求。

产业生态协同能力：与中芯国际、三安光电等头部代工厂及华为、中兴等设计企业建立深度合作，业务覆盖 5G 通讯、新能源汽车、航空航天等国家战略领域，累计为超过 50 家客户提供定制化建模解决方案。

2、案例背景：第三代半导体建模的行业痛点与技术突破

第三代半导体 (GaN/SiC) 的核心挑战：

材料特性差异：相比传统硅基器件，GaN 的禁带宽度 (3.4eV) 是 Si 的 3 倍，SiC 的击穿场强达 Si 的 10 倍，导致器件在高频 (>10GHz)、高功率密度 (>10W/mm) 场景下的建模需考虑陷阱效应、热载流子注入等非线性效应。

行业标准缺失：化合物器件建模尚无国际通用标准，不同厂商的测试仪器 (如 Keysight PNA-X 与 Rohde&Schwarz ZVA) 数据格式不统一，手动处理效率低下且误差率超 20%。

全流程技术壁垒：从晶圆测试 (需覆盖直流 IV、射频 S 参数、低频 1/f 噪声) 到模型验证 (P/N/T/F 多维度趋势分析)，传统方案需多套软件拼接，耗时长达 3-6 个月。

3、解决方案：基于 MeQLab™ 的第三代半导体建模全流程实践

3.1 GaNHEMT 器件建模：高频通讯领域的精度革命

技术路径：

多物理场测试整合：通过自研 ME-Pro 测试系统采集 GaNHEMT 的直流特性 (漏极电流-栅压曲线)、射频 S 参数

(1-100GHz) 及热噪声数据, 利用 MeQLab™ 的“参数去嵌”模块消除探针寄生效应, 数据处理效率提升 40%。

模型定制与优化: 针对 5G 基站功率放大器需求, 选用 ASM-HEMT 物理模型 (支持陷阱效应建模), 通过 NanoSpice™ 自动提取源漏寄生电阻 (精度达 0.1Ω) 与栅极电容 (误差 <5%), 并通过“史密斯圆图-极坐标”转换验证模型在大信号场景下的线性度。

量产化验证: 在某代工厂 6 英寸 GaN 工艺平台中, 基于该模型设计的 28GHz 功率放大器芯片, 实测增益达 18dB, 与仿真误差 <0.5dB, 良率从 65% 提升至 82%。

3.2 SiCMOSFET 建模: 大功率器件的设计赋能

关键技术突破:

高温特性表征: 在 150°C 高温环境下, 通过 MeQLab™ 的“热噪声分析”模块提取 SiCMOSFET 的阈值电压漂移参数 ($\Delta V_{th}/\Delta T = -2.5\text{mV}/^\circ\text{C}$), 建立温度-电流特性模型, 解决传统模型在高温场景下的收敛性问题。

寄生参数提取: 利用内置算法自动分离 SiC 器件的本征电容 (C_{GS} 、 C_{GD}) 与封装寄生电容, 在 10MHz 频率下, 输入电容 $C_{im} = C_{Ca} + C_{CC}$ 的建模误差控制在 3% 以内, 满足新能源汽车逆变器的高频开关需求。

行业首个全流程方案: 为某车规级 SiC 代工厂搭建从测试到 PDK 的完整流程, 其模型库被用于 800V 高压平台驱动芯片设计, 开关损耗降低 20%, 助力电动车续航提升 5%。

4、详细实施效果: 从技术指标到产业价值的多维突破

技术精度与效率提升：

模型精度：GaNHEMT 的大信号模型在 10GHz 频段的功率附加效率（PAE）仿真与实测误差 $<2\%$ ，SiCMOSFET 的击穿电压模型误差 $<1\%$ ，达到国际一流水平。

周期缩短：传统建模需 6 个月以上，通过 MeQLab™ 的“一键式报告生成”与自动化流程，某代工厂 GaN 模型开发周期缩短至 45 天，测试数据处理效率提升 8 倍。

客户应用与产业落地：

5G 基站领域：协助国内三大通信设备商完成 GaNHEMT 模型库建设，应用于 64T64R Massive MIMO 基站，单站功耗降低 15%，已部署超过 10 万座基站。

新能源汽车领域：为某头部车企的 SiC 车载逆变器提供模型支持，驱动电机效率从 96.5% 提升至 98.2%，续航里程增加 30 公里，相关车型年销量超 10 万辆。

国防军工领域：为某研究所的 Ka 频段雷达组件提供 InPHEMT 模型，噪声系数从 2.8dB 降至 2.1dB，满足军用设备的高可靠性要求。

行业标准与生态构建：

主导制定《第三代半导体器件建模技术规范》团体标准，其中 MeQLab™ 的参数提取流程被纳入行业推荐方法。

建立“济南第三代半导体建模实验室”，联合中科院半导体研究所等机构发布《GaN/SiC 模型白皮书》，累计培训行业技术人员超 500 人次。

5、案例延伸：从建模到全产业链协同的生态价值

概伦电子的解决方案不仅实现了第三代半导体器件建模的技术突破，更通过“DesignEnablement”工程服务，打通了从工艺开发到芯片设计的全链条：

代工厂赋能：为代工厂提供 PDK 开发服务，某 8 英寸 SiC 代工厂基于其模型库实现工艺平台商业化，吸引 30 余家设计公司流片，年产能达 10 万片。

设计工具链整合：MeQLab™ 与 Cadence、Synopsys 等主流 EDA 工具无缝对接，支持客户在同一环境中完成从器件建模到系统仿真的全流程，避免数据迁移误差。

自主化替代效应：在中美技术博弈背景下，该方案替代了国外同类工具，为国内第三代半导体产业链自主可控提供关键支撑，相关技术获国家“02 专项”重点扶持。

6、总结：第三代半导体建模的中国方案范式

概伦电子通过“工具自主化+流程标准化+服务场景化”的三位一体模式，在第三代半导体器件建模领域构建了具有国际竞争力的中国方案。从 GaN 在 5G 通讯中的高频应用到 SiC 在新能源领域的高功率突破，其技术实践不仅解决了行业共性难题，更推动了“中国芯”从材料到设计的全链条升级，为全球第三代半导体产业发展提供了可复制的工程范式。

二、中电鹏程智能装备有限公司基于深度学习的电子工业 AI 质检系统案例

1、公司介绍

中电鹏程智能装备有限公司成立于 2020 年 3 月 27 日，注册资本金 1 亿元，由中国电子信息产业集团有限公司旗下

中电工业互联网有限公司与深圳长城开发科技股份有限公司合资组建，是中国电子响应“中国制造2025”国家战略的标志性项目，是中国电子支撑制造型企业数字化转型的重要引擎。

以“智能装备+工业互联网”技术为产业方向，中电鹏程聚焦半导体、EMS 等核心工业制造领域，凭借超高精度智能视觉处理、超高精度运动轨迹控制、基于ARM 的工控产品硬件核心模块等核心技术，为客户提供高端智能装备、智能产线升级改造、数字化工厂、智能制造咨询等产品及服务，为制造型企业“以智提质、以机增效”高质量发展提供强大支撑。

中电鹏程拥有成熟的研发、制造体系，构建了以工艺流程研究、精密机械设计、高精度运动控制设计、机器视觉检测及算法设计、智能人机界面设计为核心的研发制造团队，硕博士专业人员占团队的约10%。公司拥有近百项核心专利、软著、政府奖项及资质证书，通过ISO9001、ISO14001、ISO45001 认证，研究开发和制造实力雄厚。

立足华东，中电鹏程在江苏南京着力打造超30000m²总部基地；深耕华南，依托中国电子平台，在广东深圳设有研发中心和20000 m²高端制造中心；依托湖南长沙高校资源，开拓华中核心装备事业部群。

坚守“智”造强国初心，中电鹏程秉持诚实守信经营理念，聚焦市场发展与客户需求，以创新为驱动、以技术为支撑、以品质为保障、以奋斗者为本，致力于携手生态伙伴共

同赋能引领制造业高质量发展，成长为值得信赖并受人尊敬的行业领军企业。

2、基于深度学习的电子工业AI质检系统

电子设备、集成电路等行业一直以来在我国乃至全球经济中扮演着重要的角色，在其行业质量管控环节已大量运用光学检测设备，然而其产品种类繁多，存在传统光学检测设备质检效率低，产品缺陷复杂，人工复判定主观误差多，数据量庞大，且数据结构复杂等痛点，影响生产效率。开展工业AI质检软硬件一体化解决方案攻关，有力支撑电子设备、集成电路企业生产效率，大幅提升产品质量。

基于深度学习的电子工业AI质检系统，面向电子制造领域，以自主关键可控的核心产品特性为依托，整合集团旗下制造业数字化核心产品，系统支持高兼容性的机器学习框架及算法，支持基础视觉AI，支持与多场景检测技术深度融合。面向显示面板缺陷检测、半导体IC制造检测、集成电路PCBA检测、消费电子结构件表面缺陷和组装检测核心产品，以“定制化智能检测设备+统一的工业AI质检机器学习平台”模式，为第三代半导体行业提供工业AI检测软硬件一体解决方案。

2.1 项目建设内容系统利用深度学习模型训练平台进行在线训练，提取图像特征和模式。采用高效的推理技术，搭载电子元器件与芯片产品缺陷机器学习的国产推理服务器进行在线式推理计算，采用边缘计算控制器进行现场数据的实时采集与快速处理，实现边缘端快速的质检结果生成和判断，推理模型搭载自研改进DCNN和改进RNN等深度学习模型。总体架构如下图所示：



图 1 深度学习模型架构

2.2 项目的核心任务

2.2.1. 工业 AI 质检机器学习训练平台

平台是项目重点，是工业 AI 质检技术实施的核心单元，定位于电子信息产业垂直领域，支持高兼容性的机器学习框架及算法，支持基础视觉 AI，支持与多场景检测技术深度融合。平台支持框架一键快速部署，高度性能优化，支持服务器端与本地部署。实现基于基础视觉 AI 的精确检测、分割和分类等预处理功能；支持通用目标检测算法部署与自研深度学习算法部署，具备数据处理和模型构建的能力，支持数据预处理、标注，模型构建、模型训练、评估、部署等功能。

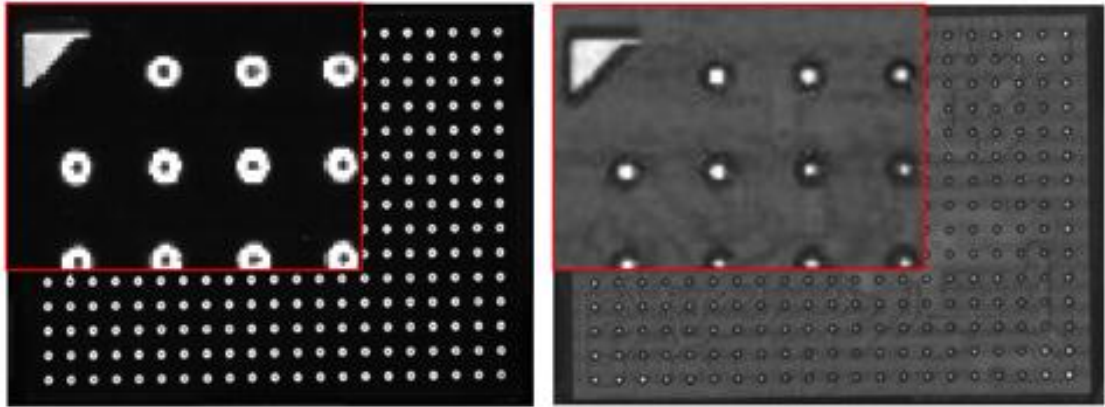


图2 工业 AI 质检机器学习训练平台

2.2.2 工业 AI 质检运行及监控软件

工业 AI 质检运行及监控软件，是保障工业 AI 质检正常稳定运行的重要单元，支持对成像及分析策略的动态调整；支持实时监控工业监控系统的运行状态，生成对应报告；支持数据的管理和分析；对于算法和工艺进行优化。

2.2.3 工业 AI 质检软硬件接口及协议

工业 AI 质检软硬件接口及协议标准化，是保障工业 AI 质检系统服务的基础。本项目工业 AI 质检软件接口如下图所示：

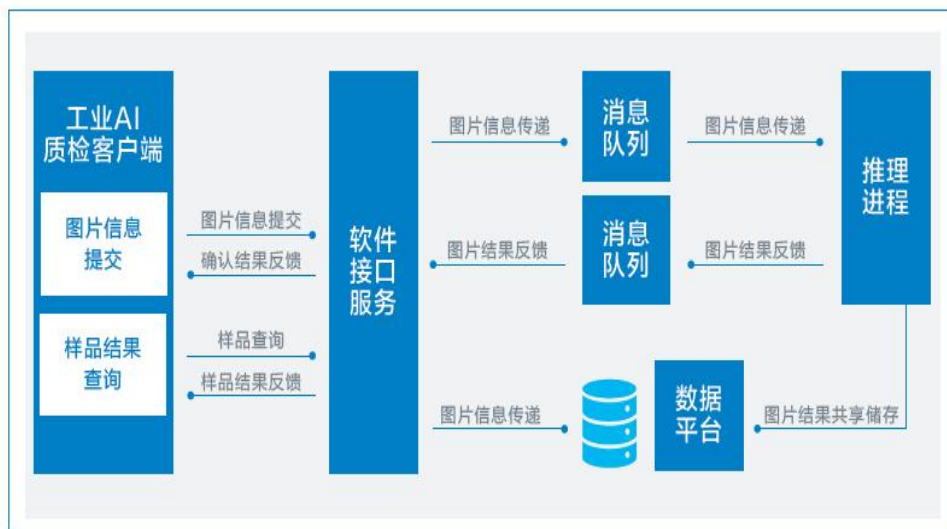


图3 工业 AI 质检软件接口

本项目网络协议具备通用性，应支持 TCP/IP 协议，兼容 EtherNet、EtherCAT 等 24 种工业协议。

2.2.4.工业 AI 质检智能装备

高精度智能在线缺陷检测设备，支持在线、远程实时训练，模型持续优化更新。产品通过江苏省科学技术成果评价，总体处于国际先进水平，在缺陷分类完备性方面处于国际领先水平。

芯片外观检测设备，面向集成电路封测行业，针对超大规模芯片进行尺寸、外观、缺陷检测的智能设备。搭配基于结构光的高精度彩色超清 3D 采集部件，检测覆盖所有芯片缺陷种类实现高速高精度的高检出率的缺陷检测。



图 4 芯片外观检测设备

2.2.5 工业 AI 质检推理模型

基于电子元器件与芯片质量数据和专家知识的工业 AI 质检推理模型系统，实现电子元器件与芯片质检智能化升

级，缺陷预测准确率>97%，故障和缺陷检测率>99.7%，覆盖40类缺陷场景，沉淀专家知识工业大模型。

解决的问题：行业一直以来在我国经济中扮演着重要角色，在其行业质量管控环节已大量运用光学检测设备，然而其产品种类繁多，传统光学检测设备质检效率低，产品缺陷复杂，人工复判定主观误差多，数据量庞大，且数据结构复杂，影响生产效率。

应用情况：利用AI视觉算法准确快速实现多产品和多缺陷的外观检测，系统基于深度学习算法，支持外观检测高像素工业相机精准识别，检测精度 $\pm 0.1\text{mm}$ ；支持在线、远程实时训练，模型持续优化更新，实现外观48类缺陷检测，缺陷召回率 $\geq 99.7\%$ ；X轴分辨率 $4\mu\text{m}$ 、Y轴分辨率 $4\mu\text{m}$ 、Z轴分辨率 $4\mu\text{m}$ 。

成效总结/预期成效：系统有力支撑电子设备企业生产效率，大幅提升产品质量。

三、中电九天智能科技有限公司“PK底座+8大基础平台”建设案例

1、公司介绍

中电九天成立于2016年10月，是中国电子信息产业集团有限责任公司（CEC）下属三级企业，控股股东为中电工业互联网有限公司。

中电九天是国家级专精特新“小巨人”企业，是为全面提升国家泛半导体制造企业工业互联网应用水平，整合精锐力量组建的企业级工业互联网整体解决方案供应商，是国内

领先的泛半导体行业 CIM 软件研发与实施推广企业。中电九天已在成都投资近 3 亿元，旨在打造国际先进国内领先的泛半导体工业软件、工业互联网技术输出高地。

中电九天“PK 底座+8 大基础平台”共性支撑能力（8 大基础平台包括：工业物联网平台、工业大数据平台、区块链基础平台、标识解析平台、工业机理模型管理平台、一站式协作平台、试验测试平台、可视化运营平台），综合应用标识解析、区块链、大数据、5G 等新一代信息技术，九天云通过公有云和私有云两类部署方式，打造形成了 60 个有效解决方案。其中重点面向集成电路、面板显示、光伏新能源、电子元器件、纺织、机加、装备等行业，实现了以质量管控、供应链管理、生产制造、运营管理、运维服务、安全生产为重点的全领域覆盖，打造形成了国防科技工业、高端电子制造、新能源锂电、纺织等 8 个具有典型性、特色性的有效解决方案。8 大典型解决方案在供给能力及赋能成效方面取得了突出成绩。

2、上海积塔集成电路生产线工业互联网系统项目

中电九天先后完成上海积塔晶圆有限公司 6 吋、8 吋、12 吋集成电路生产线工业互联网系统项目，CEC·咸阳 8.6 代薄膜晶显示器件项目 CIM 信息系统项目，冠捷科技集团咸阳工厂线体及自动设备化项目、CELL 输送线及智能仓储项目，四川大学高新技术企业工业互联网平台项目，中物院军民融合创新发展平台智能制造工程技术中心项目，四川中电九天集成电路有限公司 8 吋 MEMS 晶圆全自动化生产线特色数字

化建设项目等大中型项目，是国内领先的军用晶圆集成电路生产线 CIM 系统提供商、国内首个集成电路综合线体数字赋能平台提供商。

序号	服务主体	服务对象	服务内容	服务案例
1	中电九天泛半导体制造 (FABOS) 工业互联网平台	泛半导体制造、军工制造、冶金、航空航天、汽车制造、能源、轻工等制造业企业	FABOS 工业互联网平台以海量工业数据为基础，依托云边协同技术、大数据和 AI 技术，构建开放式工业 PaaS 平台，提供数据处理和分析能力；通过 APP 等资源池，快速构建和部署工业应用程序提供 SaaS 化服务；帮助企业形成应用场景丰富、资源富集、协同共享的应用生态。	上海积塔 8 英寸特色芯片工艺生产线，打造集成电路工业互联网平台。根据在高端电子制造业经验和案例积累，深刻理解客户需求，着眼长远规划，为上海积塔半导体量身定制集成电路工业互联网平台，利用网络打通各个生产环节，达到设备互联和远程交互的应用效果。通过将数据收集并进行分析处理，积塔实现了对在制过程监控，在制产品质量统计控制，设备生产性能分析预判，多维度报表和看板，实现自动化工厂，实时提供决策者数据，提高工厂生产效率和产品质

				量。
2	FabEAP 设备自 动化系 统	泛半导体 制造、军工 制造、冶 金、航空航 天、汽车制 造、能源、 轻工等制 造业企业	EAP 设备自动化系 统应用于半导体 智能工厂,实时采 集和上传生产设 备数据,捕捉异常 信息,实现自动启 停和工艺参数核 对。系统与 MES、 PLM、SPC 等上层 系统实时交互,优 化生产流程,提升 效率和质量,确保 稳定运行。	上海积塔半导体 CIM 项 目整合了客户 6 英寸、8 英寸和 12 英寸综合线 体的特色工艺生产需 求,通过建设 IDC 数据 中心及 MES (制造执行 系统)、EAP (设备自动 化系统)、APC (先进控 制系统)、FDC (故障侦 测系统)等数字化系统, 成功构建了集成电路工 业互联网平台。该项目 打造了智慧工厂,实现 了数字化管理和智能化 生产,提升了生产效率 和质量,为客户提供了 全面的数字化解决方 案。

根据在高端电子制造业经验和案例积累,中电九天深刻理解客户需求,着眼长远规划,为上海某塔半导体量身定制集成电路工业互联网平台,利用网络打通各个生产环节,达到设备互联和远程交互的应用效果。该平台为 CIM 系统,包含 Full-Auto (工厂全自动化)、MES (制造执行系统)、EAP (设备自动化)、MCS (物料控制) 系统等生产控制系统,以及 FDC (错误侦测控制)、APC (先进制程控制)、SPC (统

计制程控制) 等大数据分析系统, 以及边缘技术存储、边缘计算等软件系统。

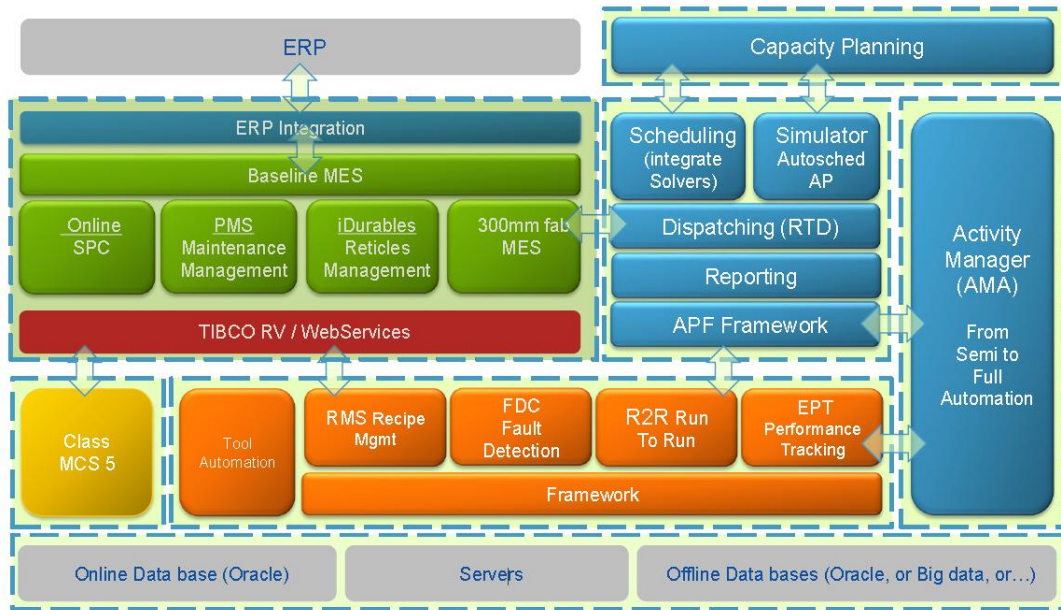


图 5 CIM 架构

通过中电九天部署实施集成电路工业互联网平台建设, 客户核心竞争力显著增强, 客户实施成本降低 20%, 生产效率提升 30%, 产品良率实现设计达标率, 设备故障率降低 28% 以上的运营效益, 节省 15% 以上的人力成本。上海积塔半导体成为国内首个同时具备 8 英寸、12 英寸、6 英寸特色工艺生产线, 成为行业领先的智能工厂。

3、国防科技工业工厂数字化建设 - 某国防科技工业企业中央管控平台项目

本项目企业主要以离散机加及组装为生产核心, 企业生产面临的主要问题包括: 过程管控复杂多变, 难以实时反馈, 未实现生产透明化; 企业生产中物流容易断点, 大量人工搬运, 效率低下; 企业建设较多信息系统, 但是多为信息孤岛, 无法实现信息共享。该平台建设主要包含了数字化工厂建模、

赋码、生产准备、生产计划、生产设备、质量、数采、绩效、看板、智能物流等内容。

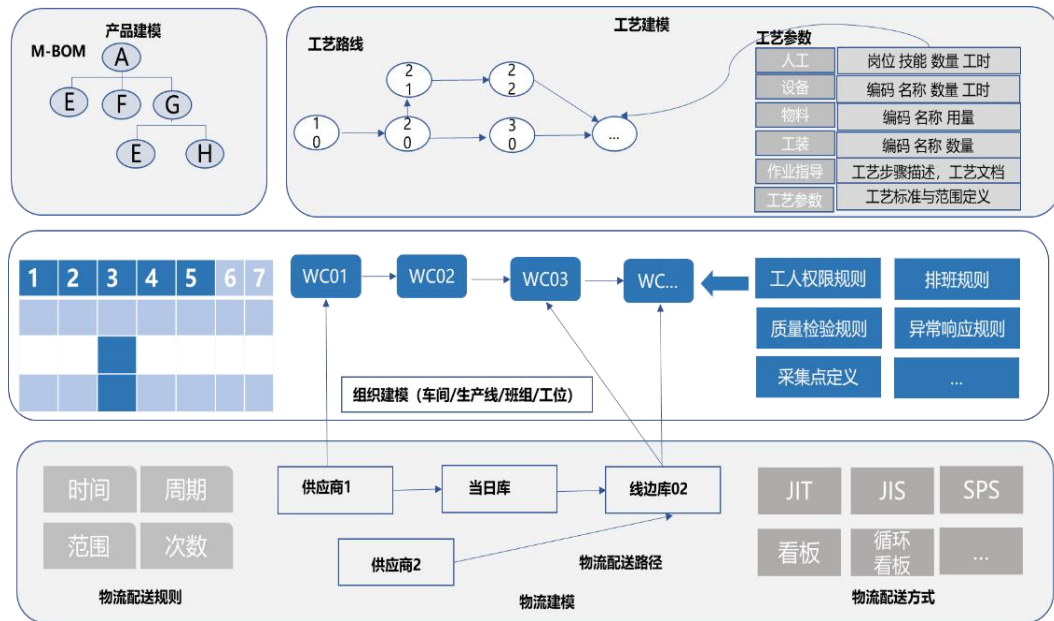


图6 数字化工厂建模图逻辑图

项目主要应用于机械加工及组装行业，在离散型行业具有较大的标准化及推广的意义，也是作为该行业的标杆进行推广复制。项目已在多家大型集团型企业推广，并形成较为健康的产业链。项目为企业生产相关核心业务执行力提升30%以上，实现质量过程管控，产品不良率降低10%；企业全程可视化，生产成本降低15%以上，企业总体人力成本降低25%以上。

4、数字化工厂解决方案—国家级工业互联网试点示范项目（5G—全连接工厂）

中电某科数字化工厂基于九天云网，通过建立标准化数据中心、5G网络覆盖、搭建和打通ERP、MES、APS、WMS、QMS等相关信息化系统，实现全面、规范的运营、市场、财务、人力资源、生产、仓储的一体化管理和全过程智能化控

制，确保整个公司信息的准确性和及时性，同时提升企业内部信息协同、共享，提高企业管理效率和管理水平。

中电某科数字化工厂基于九天云网平台，与制造工厂、区域运营商展开合作。通过搭建软硬结合的生态平台，一方面为制造工厂提供个性化设计、柔性生产、产品追溯、远程服务等技术服务，助力制造工厂智能化转型升级。本项目的总体方案如下图所示：

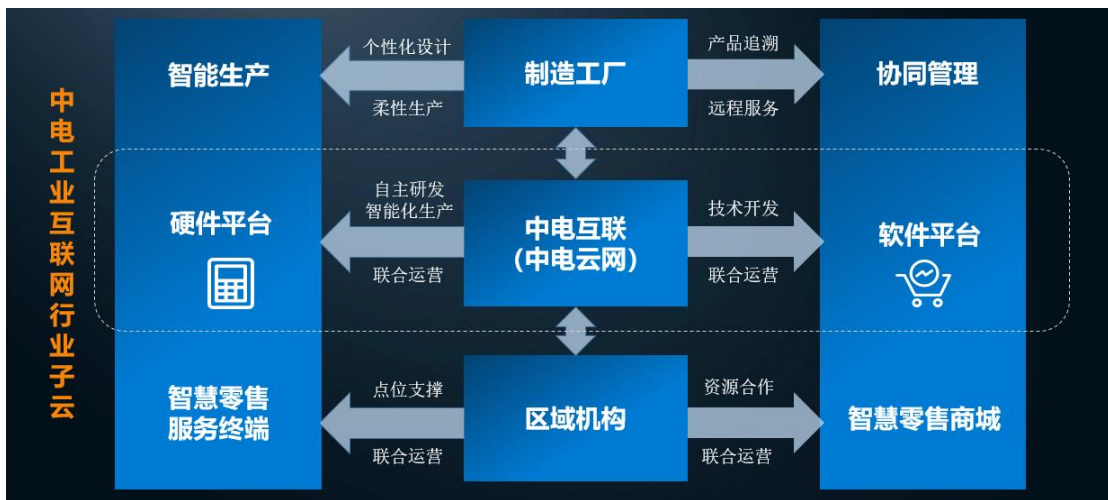


图 7 项目总体方案

本项目的实现过程包括研发设计、生产制造、终端运营、远程运维最终实现创新生态，拉长了产业链，提高效率，推动制造服务体系智能化，实现了制造业和服务业之间跨越发展，工业经济各种要素资源能够高效共享。

四、辽宁软通智新科技有限公司智能工厂改造案例

本项目将围绕“智能制造、精益制造”建设成集互联互通、柔性制造、管理精益的数字化工厂。在制造、质量、仓储物流等业务领域，结合自动识别技术、IOT 技术等进行数据采集，实现制造、质量、物流的精细化、透明化、自动化、实时化、数据化、一体化管理。本项目实施建设所需达成的

具体目标如下：

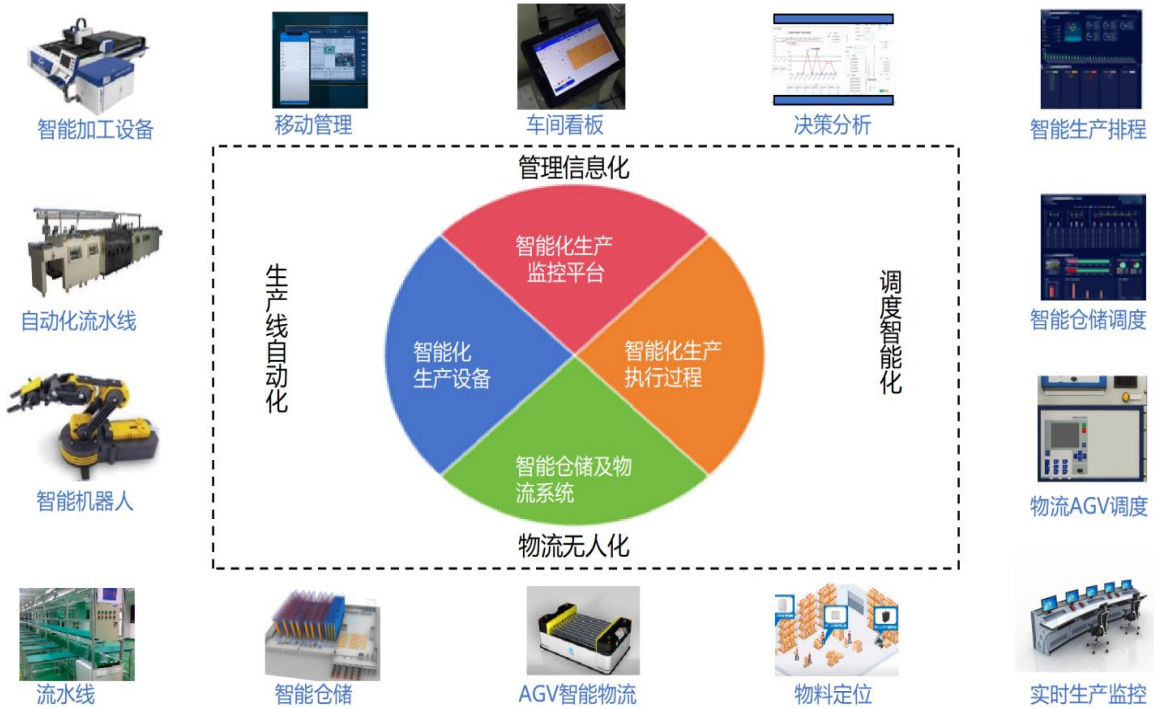


图 8 数字化工厂建设目标

将现代管理理论精益生产、敏捷制造、网络化协同制造、智能制造理论与最新信息技术、自动化技术、网络通信、信息物理系统、大数据、云计算等技术深度融合。通过一系列工业软件，构建由智能设计、智能产品、智能经营、智能生产、智能服务、智能决策组成的智能工厂。在信息物理系统支持下，实现客户需求、产品设计、工艺设计、物料采购、生产制造、进出厂物流、生产物流、售后服务整个价值链上的横向集成，企业内部的设备与控制层、制造执行层、经营管理层、经营决策层的纵向集成。以及产品生命周期过程中，从研发、工艺、设计，制造、包括运维、服务等等这些链条里面这个端到端之间形成互联互通跟数据的连续传递，即端到端的集成。最大限度地缩短产品研发设计周期、采购和生

产周期,构建柔性、高效、低成本、高质量的制造运营体系。提高产品的创新能力、个性化设计制造能力、供应链管控能力、生产制造能力、服务能力等企业可持续发展的核心竞争能力。从而实现:

工厂管理数字化:

有了信息化的支撑,各层面的管理工作都将有巨大的变化。通过建设企业内部的各个业务系统管理系统,让它们最大限度地发挥效率。通过完善企业内外部的联系,不断调整自己适应外部需求的能力。从企业管理入手将经验性的管理向规范化管理转变,无论是车间内部管理、专业条线管理还是财务管理、行政等管理都将实现数字化提升。

生产过程数字化:

随着信息化集成系统的开发建设,无论是生产计划及落实过程、物资消耗过程、质量控制过程还是设备管理和保障过程的每个环节都将通过计算机流程来实现。在实现过程中首先经过的是业务流程的梳理,将梳理流畅的流程用计算机程序来实现,使一个提高效率的过程又是一个规范操作的过程

决策支持数字化:

随着信息化系统的建立,数据分析应用的开展,最终这些生成的数据和指标是提供给领导做企业发展决策的依据。包括企业日常生产经营的主要指标,同时提供这些指标的历史数据,并提供了多种分析工具可以方便的进行数据的对比分析功能。因此为领导提供决策支持的平台是信息化发展的

一个重要作用。实现决策支持数字化，就是在领导层面建立起一个经营决策系统。

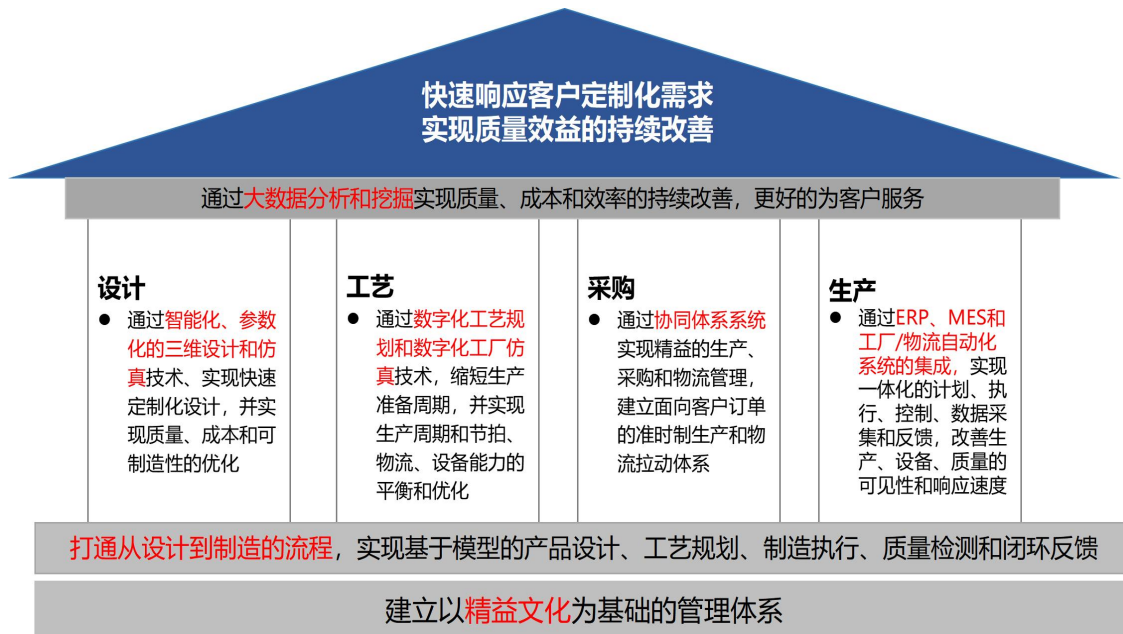


图 9 精益化管理体系

收益分析

1、**互联互通**：数字化工厂的核心是连接，要把设备、生产线、工厂、供应商、产品、客户紧密地连接在一起。数字化工厂适应了万物互联的发展趋势，将无处不在的传感器、嵌入式终端系统、生产检测设备、通过信息化系统形成一个网络，使得生产设备之间、设备与产品之间、以及数字世界（虚拟世界）与物理世界之间能够互联，使得机器、工作部件、系统以及人通过网络持续地保持数字信息的交流。

1.1 **生产设备之间的互联**。生产设备之间互联是单机设备的互联，不同类型的单机设备互联组成生产线，不同的生产线间互联组成数字化车间，数字化车间的互联组成数字化工厂，不同地域、行业、企业的数字化工厂的互联组

成一个制造能力无所不在的数字化制造系统联盟。

1.2 设备和产品的互联。产品和生产设备之间能够通信，使得操作人员能够随时了解产品目前处在哪个加工阶段，以及下一步将如何操作，同时了解产品什么时候被制造等信息。

1.3 虚拟与现实的互联。通过信息化手段将物理设备连接到互联网上，让物理设备具有计算、通信、控制、远程协同等功能，从而实现虚拟网络世界与现实物理世界的融合。

2、系统集成：数字化工厂将传感器、嵌入式终端系统、控制系统、生产加工检测等物理设备通过信息化手段形成一个网络，使得人与人、人与设备、设备与设备，以及服务与服务之间能够互联，从而实现企业横向集成、纵向集成、以及未来价值链端到端的集成。

2.1 横向集成：指企业通过信息网络所实现的一种资源整合，包括生产线设备与设备之间、生产线和生产线之间、车间和车间之间、工厂和工厂之间的联网，这是实现数字化工厂的物理基础。也是未来实现企业间资源共享的基础。

2.2 纵向集成：指企业内部信息流的集成，采用统一的数据库和软件平台对设备资源数据和生产过程数据、产品数据等信息进行管理，使得主要设备互操作性和关键信息一致性得到解决，数据或信息可以是自上而下和自下而上有效流动，从而为下一步的大数据分析和高级智能决策奠定基础。

2.3 价值链端到端集成：指围绕产品全生命周期的价值链创造，通过价值链不同企业资源的整合，实现从产品设计、生产制造、物流配送、使用维护的产品全生命周期的管理和

服务。即将产品制造企业的分析需求、获取订单、供应链和制造、物流交付、获取收入、售后服务直至获取新的订单的整个循环集成起来。

3、数据信息融合：在系统集成和通信的基础上，利用云计算、大数据等新一代信息技术，在保障信息安全的前提下，实现数据信息协同共享，主要包括以下三种数据信息：

3.1 产品数据信息：包括产品全生命周期各阶段的数据信息。产品的各种数据信息被传输、处理和加工，使得产品全生命周期管理成为可能，使得个性化服务成为可能，使得产品管理能够贯穿其全部生命历程，使得用户能够参与产品设计、加工的各种活动中。

3.2 运营数据信息：包括企业内部的生产线、生产设备的数据，它可以用于对设备本身进行实时监控，并反馈到生产过程中，使得生产控制和管理最优化；还包括经济运行、行业、市场竞争对手等企业外部数据，通过对采购、仓储、销售、配送等供应链环节上数据采集分析，可以减少库存、动态调整生产、改进和优化供应链。

3.3 产业链数据信息：包括客户、供应商、合作伙伴等数据信息。通过了解技术开发、生产作业、采购销售、内外部后勤等产业链各环节竞争要素数据信息，为企业管理者和参与者提供看待价值链的信息，使得企业有机会把价值链上更多的环节转化为企业的战略优势。



图 10 数字化工厂体系

五、南京科兴半导体检测设备有限公司数字化建设深度案例：从装备制造到智能管理的全流程革新

1、公司介绍：半导体测试装备领域的技术领军者

科兴半导体是国内专注于半导体测试研发与晶圆检测装备制造的高新技术企业，核心业务覆盖探针测试设备、晶圆级 AOI 设备、分拣机及测试耗材的研发、生产与销售。公司依托 20 年以上光机电软一体化技术积累，15 年量产 CP 系统集成方案经验，以及 8 年精密探针台研发制造能力，形成了从软硬件设计、精密加工到系统集成的全链条解决方案（totalsolution）能力，服务对象涵盖中芯国际、长电科技等头部 IC 企业。

核心竞争力布局：

技术壁垒：掌握探针台精密机械结构设计、光学检测算法、自动化控制等核心技术，自主研发的探针测试设备定位精度达 $\pm 1\mu\text{m}$ ，满足 12 英寸晶圆的高精度测试需求。

工程经验：累计交付超 500 台套半导体检测装备，参与华为海思、中微公司等企业的特殊工艺测试项目，具备复杂场景下的定制化集成能力。

数字化愿景：2023 年启动数字化管理系统建设，目标是通过业务流程标准化、数据可视化与生产智能化，解决装备制造中订单跟踪难、库存周转慢、跨部门协同效率低等痛点，实现从“制造”到“智造”的转型。

2、数字化管理系统建设：全业务链的智能化重构

2.1 市场销售模块：从商机到交付的闭环管理

核心功能：

构建销售商机管理平台，实时跟踪报价单转化漏斗（已报价 16 单，成交 182 单），客户地理分布可视化呈现，助力区域市场策略优化。

实现合同全生命周期管理，自动关联采购总额（12,907,362.61 元）、已收款/待收款数据，合同执行进度节点（打样登记、准订单转正等）在线监控。

集成销售 BOM 与库存数据，实时同步库存总数量（66707 件）与金额，待发货订单自动触发生产排程，订单交付周期缩短 30%。

实施成效：

某头部代工厂探针台订单中，通过系统实时同步生产进度，客户验收周期从 45 天压缩至 28 天，客户满意度提升至 98%。

竞品信息模块累计收录 23 家同行产品参数，为新品研发提供数据支撑，2024 年高端 AOI 设备市场占有率提升 15%。

2.2 生产管理模块：全工序追溯与智能排产

技术方案：

采用条形码/二维码识别技术，对每个产品全生命周期数据（订单信息、报工记录、批次号、检测结果等）进行实时采集，实现生产工序 100%可追溯。例如，M3 主体框架生产过程中，系统自动记录加工设备（POL 压接设备）、操作人员（李国冉）、工时（10 小时）等信息。

构建 MES 系统与生产设备（压接设备、检查设备）的实时对接，生产进度可视化看板动态显示各工序完工数（如综合调试完成 2300 件，占比 22.93%）、工时消耗（电气组件 1458 工时），计划达成率提升至 95%。

量化成果：

某型号探针台生产中，通过系统优化排产，整机总装工时从 80 小时降至 56 小时，产能提升 42.8%。

质量追溯效率显著提升，某批次产品不良率异常时，系统 3 分钟定位到“功能组件 003”装配环节问题，维修响应时间从 24 小时缩短至 4 小时。

2.3 采购管理模块：供应链协同与成本控制

数字化革新：

建立采购订单全流程管理体系，自动汇总订单总金额（2,500,000 元）、产品数量（109310 件），支持标品/非标

品分类采购，供应商信息实时同步，采购审批流程从线下 5 天压缩至线上 1 天。

引入采购数据分析模型，对订单金额、类型（生产/非生产采购）进行多维度分析，非标品采购成本较 2023 年下降 12%，库存周转率提升 25%。

典型案例：

在某批次探针耗材采购中，系统根据历史订单预测需求，提前 30 天触发采购流程，避免因缺料导致的生产停滞，该批次产品交货周期缩短 15 天，采购成本降低 8%。

2.4 物料中心：智能化仓储与精准管控

管理升级：

推行库位数字化设定与二维码管理，实时更新往来出入库记录（如 2025 年 6 月第 25 周入库 2710 件），支持项目内/外物料分类管理，库存准确率达 99.5%。

自动生成库管周报，汇总采购入库明细表、退库记录等，物料盘点时间从传统的 2 天缩短至 4 小时，人力成本降低 60%。

效率提升：

智能化物料分拣系统上线后，某大型订单（1000 台设备物料）的配货时间从 8 小时降至 2 小时，错误率从 0.5% 降至 0.05%。

3、智能化设备赋能：生产效率的跨越式提升

设备矩阵：

引入自动传输流水线、智能搬运机、自动称重机等设备，实现从原材料上线到成品入库的全流程自动化。例如，自动

传输流水线每分钟可传送 20 件精密组件，效率是人工的 5 倍。

实施效果：

某探针台生产线引入智能化设备后，单条产线人力从 12 人减至 5 人，日产能从 8 台提升至 15 台，综合能耗下降 18%。

4、数字化转型整体成效

运营效率：跨部门协同效率提升 40%，管理层可实时监控生产进度，决策响应时间从 24 小时缩短至 4 小时。

成本控制：库存周转率提升 30%，采购成本下降 10-15%，2024 年全年节省运营成本约 800 万元。

质量管控：产品追溯效率提升 90%，不良率下降 25%，客户投诉率降低 60%。

行业影响：数字化管理模式被纳入半导体装备制造行业数字化转型推荐案例，吸引中微公司、北方华创等企业考察学习，推动产业链协同数字化升级。

5、案例启示：装备制造企业的数字化路径

科兴半导体的实践表明，半导体装备企业的数字化转型需聚焦“业务流程数字化-生产制造智能化-供应链协同可视化”三大维度：

工具整合：通过统一的数字化平台（如 MES、ERP）打通销售、生产、采购数据壁垒，实现全价值链数据贯通。

场景落地：从痛点出发（如生产追溯、库存管理），优先建设高价值场景模块，逐步拓展至全业务链。

持续迭代：结合 5G、AIoT 等技术，不断优化设备互联与数据分析能力，向“预测性制造”迈进。

六、通富微电子股份有限公司数智融合敏捷柔性集成电路封测线建设方案

1、建设背景

在市场需求与技术变革双重驱动下，全球芯片产业进入高速发展周期。随着 5G、AI、物联网等技术普及，芯片封装技术复杂度指数级提升，传统封测模式在效率、精度层面已难以适应 3D 封装、Chiplet 等先进技术需求。国内半导体产业政策红利持续释放，《国家集成电路产业发展推进纲要》等政策为智能工厂建设提供战略支持，行业竞争格局加速重构背景下，建设智能工厂成为提升核心竞争力的必由之路。

通富微电从 2005 年起根据企业发展和客户需求陆续实施了 EMS 设备自动化系统（RMB）、MES 系统、EDI 电子交互系统（B2B、Webloader、WIP）SAPERP 系统、RPA 机器人系统、HR 系统、OA 系统、自动化&MES 移动端、设计仿真平台、AGV 智能搬运等系统，持续关注信息化发展需求，通过 HANA 大数据仓库，优化企业资源管理，提升了公司整体运营管理能力。

为了能够适应市场快速变化，满足公司战略发展需求，公司特地成立信息化推进小组，先后完成集团数据中心建设，AD 域控服务器采购、集团邮件系统建设、公司防火墙、公司服务器企业级杀毒软件等信息化软硬件项目实施。

2、主要做法

通富微电作为半导体封测领域的龙头企业，以“信息化工厂—智能化工厂—灯塔工厂”为智能制造规划路径，逐步构建高度数字化、智能化的制造体系。通过系统集成、数据驱动、智能优化三大阶段，实现生产效率、管理水平和行业竞争力的全面提升。

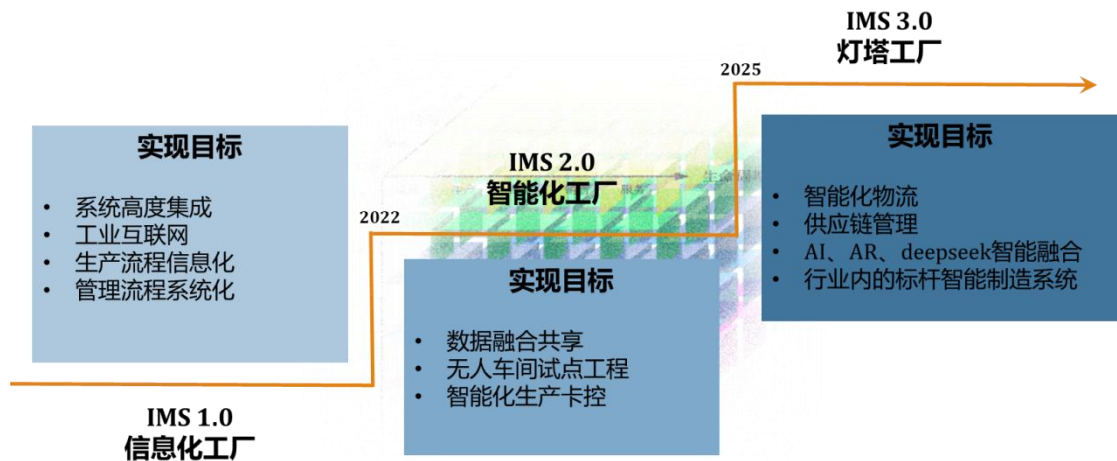


图 11 智能制造规划路径

2.1 信息化工厂：系统高度集成，奠定数字化基石

2.1.1 核心建设：

系统高度集成：部署 SAPERP、MES、自动化、OA、B2B、PLM、仿真平台等系统，实现生产、供应链、财务数据的互联互通。

工业互联网平台：构建工厂级物联网（IIoT），实现设备互联与数据采集，支撑实时监控与远程运维。

生产流程信息化：全流程数字化管控生产流程，提升生产可追溯性。

管理流程系统化：通过 IT 系统（SAPERP、OA、RPA 流程机器人等）系统化管理集团经营管理活动，提升管理决策效

率。

2.1.2 成效：

实现数据互联与流程标准化，为后续智能化升级奠定数据底座。

2.2 智能化工厂：数据融合共享，迈向无人化生产

2.2.1 核心建设：

数据融合共享：构建大数据平台，整合生产、设备、质量数据，实现智能分析与预测。

无人车间试点工程：通过设备联网自动化、引入实时派工系统和 AMR 系统，打造“黑灯工厂”示范产线。

智能化生产卡控：AI 质检、智能排产、动态工艺优化，确保生产高精度与低损耗。

2.2.2 成效：

实现了生产效率、质量管控、成本优化和柔性制造能力的全面提升。

2.3 迈向灯塔工厂：智能化物流+AI 融合，打造行业标杆

2.3.1 核心建设：

智能化物流：推广 AMR（自主移动机器人）、实现厂内物流全自动运行。

供应链智能管理：基于 AI 的需求预测与动态库存优化，提升供应链韧性。

融合智能：通过 AI、AR、deepseek 等技术实现主动优化，结合数字孪生仿真，实现虚实结合的智能制造。

行业标杆级智能系统：构建可复用的智能制造平台，输

出封测行业智能化标准。

2.3.2 成效：打造可持续、可复制的全球示范工厂。

3、建设周期及投入

智能化工厂建设周期：2022 年-2025 年

名称	目标	投资年份	投资金额 (万)
数据融合共享	打破数据孤岛，实现跨部门/系统数据实时共享与协同	2022-2025	8000
无人车间试点工程	建成全自动化示范产线，验证无人化生产可行性		5000
智能化生产卡控	实现生产全流程精准控制与质量保障		10000

通富微电分阶段实施信息化、智能化、灯塔化建设，最终形成全局性升级。这一路径不仅提升了企业竞争力，更为行业提供了从自动化到智能化的可复制经验，彰显其“以技术驱动未来制造”的战略远见。

4、成效与亮点

通过深度系统集成、数据智能驱动和业务流程重构，实现企业全价值链的数字化升级与协同优化。项目围绕“降本增效、提质控险、创新赋能”三大核心诉求，本项目通过构建全要素、全流程、全生态的智能制造体系，实现产能利用率提升 35%，产品不良率降低至 0.8ppm，单位能耗下降 28%，形成可复制的半导体封测行业智能工厂建设标准，为行业数字化转型提供示范样板。

通富微电分阶段实施信息化、智能化、灯塔化建设，最终形成全局性升级。这一路径不仅提升了企业竞争力，更为行业提供了从自动化到智能化的可复制经验，彰显其“以技术驱动未来制造”的战略远见。

七、南京华脉科技股份有限公司基于工业互联网平台的智慧工厂

1. 企业基本情况

南京华脉科技股份有限公司，国内领先的通信网络物理连接设备制造商、物联网解决方案提供商，专注于为国内外电信运营商、电信主设备商和网络集成商提供一流的光通信、无线通信等通信网络物理连接产品及整体智能化、信息化、可视化解决方案。拥有光纤通信、无线通信、物联网、智慧城市、边缘计算等产业，产品和综合解决方案全面服务国内31个省市和国外50多个国家和地区。

2、主要做法

由于企业工厂内部网络环境网络延迟大，不稳定，没有安全可靠高质量的网络；各个工业物联网系统杂乱无章，没有统一的标准的工业数据融合的平台系统，不能实时查看生产线情况，对生产数据的监控能力不足。为了解决上述痛点难点问题，企业构建了基于工业互联网平台的智慧工厂系统，打破工业服务的“信息孤岛”，即时正确地采集生产、质量、销售、采购、能耗等数据，合理编排生产计划与生产进度，实现公司产购销全流程规范管理，提高生产过程的可控性、

提高产品生产效率和产品质量、降低人工成本。

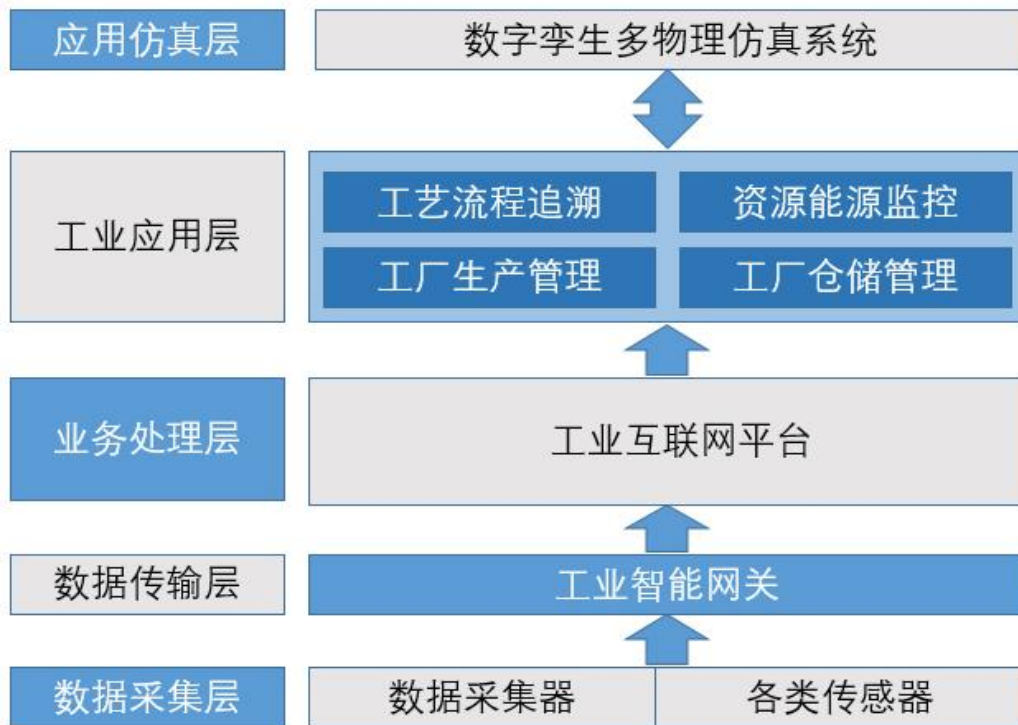


图 12 智慧工厂系统

(1) 建设工业互联网高质量专网

基于 SDN 软件定义思想，搭建未来网络高质量工业专网，打通南京总部与泰州分厂互联互通，实现分厂数据回传及总部统一监管。高质量专网从“尽力而为”到“准时协同”，具有大带宽、低时延、低抖动的特点，针对泰州分厂工业设备远程管理、设备数据回传等需求，通过部署智能工业网关，对现场的生产、环境、能耗等数据进行实时采集，基于 SD-WAN 技术和接入终端 CPE，实现未来网络高质量专网接入。通过 VPN 加密、专线的方式进行数据传送，保证了工业设备数据传输安全性、稳定性、未来网络高质量专网部署灵活，提供了安全、中立、开放的网络连接服务及灵活搭建 IT 基础架构的能力，提高了构建网络的效率，大大节约了

网络成本，实现工厂的远程监控、能耗监测、环境感知、智慧运维。

基于高质量外网构建企业虚拟专网，解决数据传输安全与时延问题。将 SD-WAN、SDN+流量工程，IP+光融合，确定性骨干网引入网络架构，为企业提供包含专用带宽，企业级保障、企业级安全保护的高质量广域网网络环境。

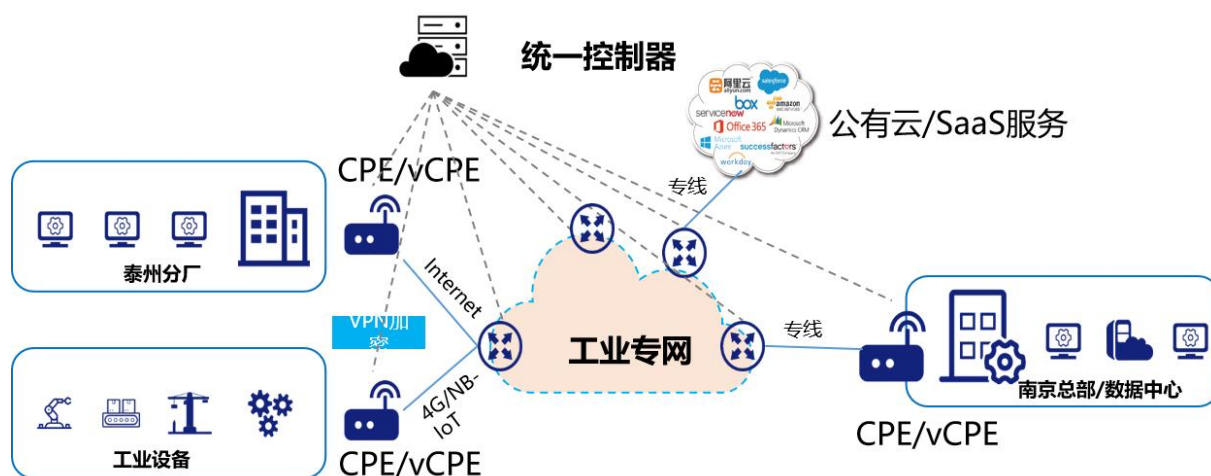


图 13 高质量外网

(2) 5G 边缘智能工业网关数据采集

通过 5G 边缘智能工业网关采集工厂设备的运行状态、能耗、环境温湿度、噪音、明火监测等信息，传入物联网平台。5G 边缘智能工业网关将接收到的数据根据属性进行协议转换和数据封装后，集中汇合、分类和预处理，再通过标准化的 API 连接到互联网，并发送至远程网络控制平台服务系统进行数据管理、分析和共享，实现数据的智能处理。

采用柔性可编程的 5G 智能工业网关，支撑复杂工业环境下的结构化数据、半结构化数据、非结构化数据实时采集，5G 智能工业网关可作为 Modbus 、MQTT 、OPC UA、IEC104 服务器与第三方平台和应用进行数据便捷交互，实现了工业

网关智能接入工业专网、智能组网等网格功能。

(3) 搭建工业场景下物联网消息中间件平台

本项目自主研发了工业场景下物联网智慧服务平台，是一个高度灵活、多用途的物联网中间件平台。平台是介于操作系统(包括底层通信协议)和各种分布式应用程序之间的一个软件层，在上层应用系统和底层终端设备之间起到连接和过渡作用，减小用户应用需求与网络复杂性差异的一种有效解决方案。

平台提供安全可靠的设备连接通信能力，支持设备的数据上报和指令下发，强大的规则引擎实现数据流转；提供方便快捷的设备管理能力，支持统一物模型管理，统一设备连接管理，多协议适配(MQTT, TCP, UDP, CoAP, 私有协议等)；支持海量数据存储和实时数据，满足各类物联网场景应用。

平台用于工厂接入的设备管理，包括工厂现有设备运行状态、能源监测设备、工厂环境监测设备的数据采集和设备管理，平台支持电量采集设备、温湿度采集设备、穿螺杆机、噪音采集设备、火焰报警设备、传感器设备、点胶机、传感器设备的维护，设备数据实时上报，设备数据态势可视化。

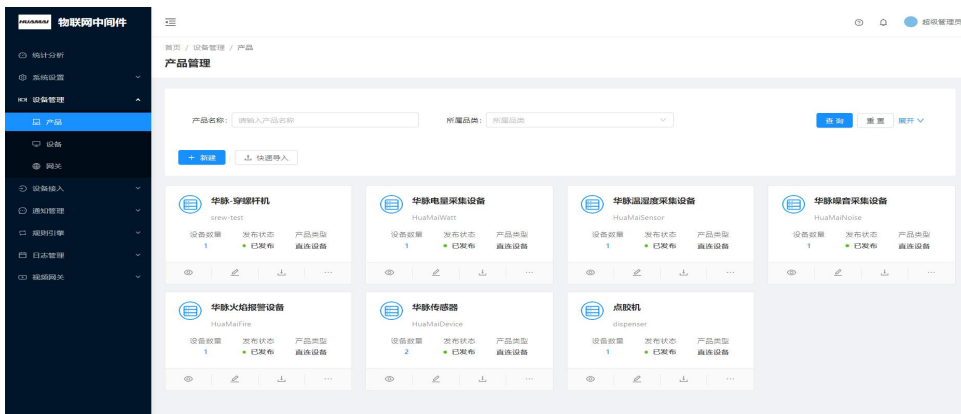


图 14 物联网消息中间件平台

（4）全生命周期的数字孪生仿真模型

构建全生命周期的数字孪生多物理仿真模型，实现实时采集 控制器硬件数据，虚实联动，连接 MES 系统，实时观察系统运行状况，实时监测设备运行状态。

在智慧工厂运维阶段，通过传感器获取机器运行的各种数据，并利用仿真模型和大数据分析技术，对硬件设备进行健康诊断，给出预测结果。通过构建全生命周期的数字孪生物理仿真模型，能够提供更多智慧工厂的深层次仿真结果；提供智能制造领域现有软件的集成能力，减少现有智能制造软件的调试成本与开发周期。

（5）智慧工厂运维平台

智慧工厂运维大屏支持基于 MES 、ERP 系统，支持高度融合工厂现有数据资源，对生产管理、设备监控、订单管理、工序合格率、物料批次合格率等各领域的关键指标进行综合监测分析，辅助管理者全面掌控智慧工厂运行态势，感受更加直观立体，并通过智能化的统计分析，将生产经营中关注的目标及过程数据展示出来，解决产销全流程监控能力不足的问题。

运维大屏分别展示了销售订单、生产过程、库存、产品质量等方面的数据。

功能一：具体订单数量

显示公司销售订单完成情况，点击查看详情可以进入到二级 页面，根据 MES 反馈的数据，可以直接查看到 ERP 里的销售订单的完成进度。

可以通过点击销售订单交付过程中的各个节点，来查看目前该订单具体进度情况：订单编号、产品名称、剩余未出数量、订单数量、预计完成时间、客户金额汇总、产品分类金额汇总、工序状态、出库记录等。

功能二：生产任务单过程监控

生产任务单过程监控数据显示生产任务单明细数据列表展示了生产任务单的明细，包含了订单编号、产品名称、订单数量、预计交付时间、已完工数量，工序完成进度查看工序完成进度。

通过筛选可以查看所有“暂未完成”的任务单，通过点击“进度”按钮，可查看“过程质量合格率”、“工序完成进度”数据信息，直观清晰地反映了该产品在生产过程中的工序进度以及质量表现，订单延期时，也可以通过这些数据即使了解到现场可能出现的问题，并即时安排人员解决。

功能三：库存数量

库存数量显示所有库位的库存数量值，可查看库房库存明细数据信息，包含仓库名称、物料代码、物料名称、规格型号、单位、数量。

八、江苏道达智能科技有限公司半导体工厂智能化改造深度案例：从硬件自动化到软件数字化的全栈赋能

1、公司介绍：

道达智能科技是中国领先的半导体装备与智能制造解决方案供应商，专注于为泛半导体工厂提供从硬件自动化到

软件数字化的全栈技术服务。公司依托 20 年光机电软一体化技术积累，自主研发了覆盖物料传输、仓储管理、生产控制的全系列产品，已成为中芯国际、长电科技等头部企业的核心供应商。

核心能力布局：

硬件技术壁垒：掌握非接触式供电（WPS）、高精度定位（ $\pm 1\text{mm}$ ）、智能机械臂等核心技术，自主研发的 OHT 天车系统直线速度达 3.5m/s，支持 Class100 洁净环境，技术指标对标国际品牌（如 Brooks、TEL）。

软件平台化能力：构建了以 MES 为核心的智能工厂软件体系，涵盖物料传输控制（MCS）、实时派工（RTD）、先进排程（ADS）等模块，支持 SECS/GEM 等半导体标准协议，实现生产数据秒级采集与分析。

行业生态协同：累计服务超 50 家半导体企业，参与国家级半导体工艺平台建设，形成从设备研发到工厂整线改造的“交钥匙”能力。

2、硬件自动化解决方案：半导体工厂物流效率革命

2.1 OHT 天车系统：晶圆传输的“空中高速公路”

技术方案：

采用 WPS 非接触式供电（20kHz 高频电磁感应），搭配 WIFI6 通讯协议，实现天车在轨道上的全动态供电与数据传输。设备定位精度 $\pm 1\text{mm}$ ，负载 10kg，支持 3.5m/s 直线运动与 1.0m/s 曲线运动，满足 12 英寸晶圆 FOUP 载具的高速搬运需求。

实施成效：

某 8 英寸晶圆代工厂应用案例中，OHT 天车系统将晶圆搬运周期从传统 AGV 的 12 分钟缩短至 5 分钟，产线产能提升 58%。

通过动态路径规划算法，天车宕机时自动切离故障轨道，系统可用性达 99.9%，全年减少因物流停滞导致的产能损失超 2000 万元。

2.2ASRS 自动仓储系统：高密度物料管理的智能中枢

核心参数：

堆垛机走行速度 120m/min，定位精度 $\pm 5\text{mm}$ ，支持 632425348mm 规格料盒存储，单库最大载荷 100kg。配备激光测距定位与断绳保护装置，噪声 $\leq 75\text{dB}$ ，满足 Class10 洁净车间要求。

应用成果：

某 12 英寸晶圆厂部署 ASRS 系统后，仓储空间利用率提升 60%，单批次晶圆出入库效率从人工操作的 30 分钟降至 3 分钟，库存准确率达 99.99%。

结合 RFID 电子标签（134.2KHz，170 字节存储），实现物料全生命周期追溯，批次管理效率提升 80%。

3、软件数字化系统：生产管理的智能大脑

3.1MES 制造执行系统：全流程数据驱动的生产优化

功能架构：

集成实时派工（RTD）、统计过程控制（SPC）、良率管理（YMS）等模块，支持从工艺配方管理到设备保养的全流

程数字化。系统通过 SECS/GEM 协议与 LAM、AMAT 等国际品牌机台对接，实现生产数据秒级采集（采集频率 ≤ 1 秒）。

量化成效：

某功率半导体工厂应用 MES 后，生产异常响应时间从 2 小时缩短至 15 分钟，工艺参数波动幅度降低 35%，产品良率提升 5.2%。

通过 SPC 系统对 200 万条制程数据的分析，定位并优化 12 个关键工艺节点，单批次生产成本下降 12%。

3.2MCS 物料传输控制系统：智能物流的神经中枢

技术创新：

采用双活热备架构，支持 1000 余台天车实时调度，通过最短路径算法（响应时间 $< 1\text{ms}$ ）动态分配搬运任务。系统支持 SECS 协议与机台/立库通讯，实现物料流量管控与瓶颈路径优化。

场景化成果：

在某 5G 基站芯片生产线中，MCS 系统将物料等待时间从平均 18 分钟降至 4 分钟，设备利用率从 65%提升至 89%，年产能增加 15 万片。

针对试产批次，通过 HSC 快速通道系统预留机台与上料口，紧急订单交付周期缩短 40%，客户满意度提升至 98%。

4、全栈解决方案的整体价值

效率提升：

综合物流效率提升 50-70%，晶圆搬运能耗降低 30%，单工厂年节省物流成本超 1000 万元。

生产周期平均缩短 35%，某存储器芯片厂通过 ADS 先进排程系统，机台利用率从 33%提升至 100%，产能提升 2.3 倍。

质量管控：

通过 DMS 缺陷侦测系统与 YMS 良率管理系统联动，缺陷识别准确率达 100%，批次不良率下降 28%。

ECS 机台常数管理系统实时比对云端参数，设备异常预警时间从 24 小时提前至 15 分钟，避免批量质量事故。

行业示范效应：

方案被纳入国家“02 专项”半导体装备推荐目录，成为中微公司、北方华创等企业的优选合作伙伴。

某第三代半导体碳化硅工厂应用案例中，道达智能的解决方案助力客户实现车规级芯片量产，良率达 95%以上，打破国际垄断。

5、案例启示：半导体智造的全栈赋能路径

道达智能的实践表明，半导体工厂的智能化改造需遵循“硬件筑基-软件赋能-数据增值”的三阶路径：

硬件层：以 OHT 天车、ASRS 自动库等设备构建物理基础设施，通过高精度定位与非接触供电技术解决物流瓶颈。

软件层：依托 MES、MCS 等系统实现生产数据互通，利用算法优化（如最短路径、先进排程）提升资源利用率。

数据层：通过 SPC、YMS 等模块挖掘数据价值，实现从“事后追溯”到“事前预测”的质量管控升级。

该案例为半导体行业提供了可复制的智能化模板，证明了全栈自主化解决方案在提升产能、降低成本、保障质量等

方面的核心价值，为中国半导体产业链自主可控提供了关键支撑。

九、江苏泰治科技股份有限公司数字化智能升级全景

1、公司介绍：

江苏泰治科技股份有限公司业务领域：专注“工业4.0”，核心业务为面向泛半导体行业的工业物联网产品研发与服务，为集成电路、LED、新材料等高科技制造业，提供生产全流程的“智慧工厂”解决方案，业务已延伸到芯片设计、PCB制作、电子组装等相关泛半导体领域³⁷。

2、案例情况：

数字化、自动化工厂的实现是一个循序渐进的过程，对于行业全自动化工厂建设通常分为四个阶段：

阶段一：打牢信息化基础

该阶段组织的业务运行主要将个人经验，转移至生产管理系统，通过信息化系统比如MES系统、EAP系统、QMS系统实现生产过程的透明化，生产质量的全流程追溯，通过信息化系统能够实现设备生产过程的自动化加工，不需要人为过多的参与到设备加工过程，该阶段要求设备具有较高的自动化生产能力，能够基于人为选择的加工配方和加工参数进行生产，确保生产出的产品质量稳定。组织建立了满足要求的质量、生产体系，策划形成了较为健全的管理职能和制度规范；质量管理体系能够有效运行并持续改进，确保装备建设相关的产品和服务稳定受控。

阶段二：提升管理运营效率

该阶段能够针对性的对生产过程的数据进行采集及分析，对生产过程进行实时监控，并对生产异常及时做出反馈，严格把控生产过程控制，大大提高产品生产质量。可以基于生产过程的数据进行分析，找出应该质量的关键因素，有针对性的进行质量改善。同时还可以基于生产的产品、客户等进行产品成本核算及成本分析，找出差异点，进一步提升生产运作效率。

阶段三：打造行业标杆工厂

该阶段能够实现车间与车间、工序与工序之间的自动化运输与搬运，当被加工产品被运输到加工机台进料口时，设备可进行自动化加工和生产，系统能够基于人为排产实现半自动化的生产。对于生产物料，利用智能仓储，能够满足多基地、多仓的存储管理，降低差错率，有效提升作业效率。同时该阶段能够实现生产自动化计划下发，自动化生产排程和调度，基于实际交付计划，拆解生产任务，基于生产任务在产线维度，工序维度，设备维度进行调度和排程。基于排程优先级调度自动化搬运系统，从哪里取送到哪个位置，然后有生产设备进行自动化加工，进而实现全部自动化生产。

阶段四：实现行业引领

该阶段能够通过大数据分析，人工智能，AI 智能等数据模型，在生产、仓储、采购乃至整个供应链实现高效的产出及高质量的服务。通过一系列高科技手段实现智能设计、智能生产、智能服务，成为行业内服务的引领者。

针对于某制造业头部国企客户需求，搭建了 TIMIP 系统

平台，实现包括从自动化设备接入、制造执行过程管理、工厂设备远程控制、质量数据分析等功能，系统建设包括 EAP（设备自动化系统）、RMS（Recipe 管理系统）、PMS（参数监控管理系统）、RTM（IC 测试实时监控系统）、MES（生产制造过程管理系统）、SPC(过程统计分析)、QMS（质量管理系统）、WMS（智能仓储管理系统）、ATYMS（测试大数据分析）等多个方面的自动化软件。

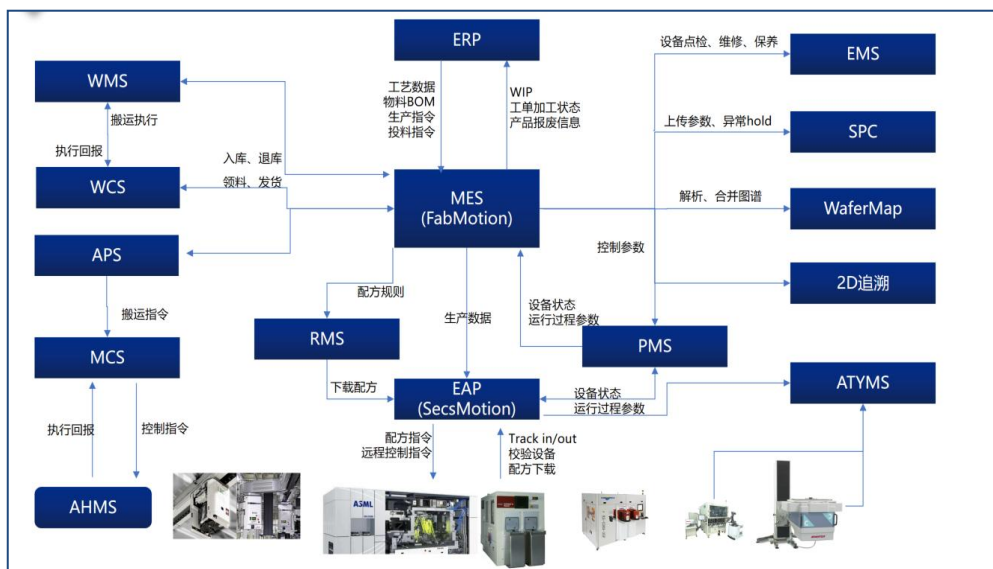


图 15 TIMIP 系统平台

2.1 某头部 IDM 客户

应某 IDM 客户要求，以精益制造为基础，通过提升柔性自动化能力、打通工厂内外数据、推行智能化应用等路径，优化核心生产系统与外延运营环节，实现生产制造环节的提质、增效、降本、减存的目标，构建卓越制造体系。

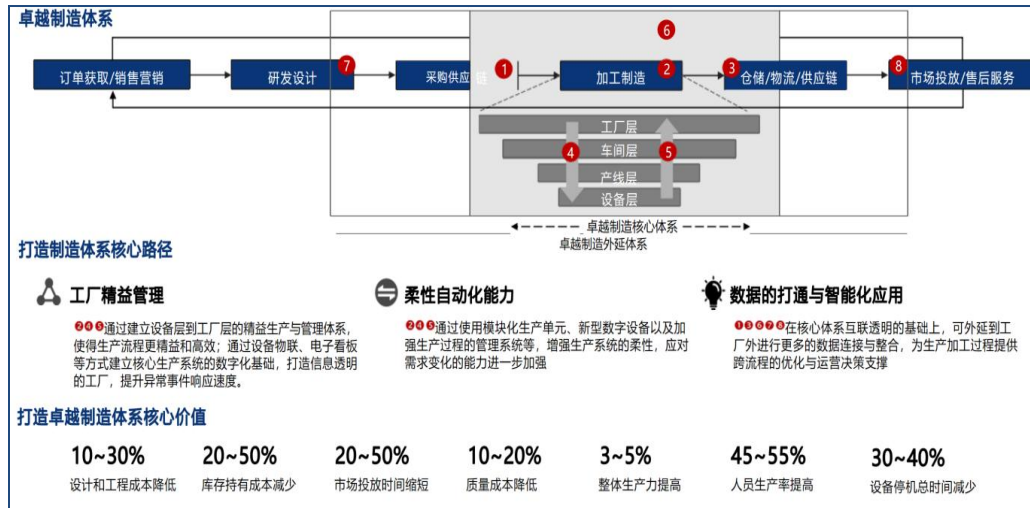


图 16 卓越制造体系

2.2 某头部 OSAT 客户

面向某 OSAT 企业客户，产品同质化程度高，价格竞争激烈。通过精益化、自动化、数字化、智能化主线优化制造系统，实现极致的降本增效。



图 17 全流程卓越管理

十、上海汉虹精密机械有限公司 SiC 制造工艺与智能设备应用案例：从设备研发到量产的全链条赋能

1、公司介绍

上海汉虹精密机械有限公司于 2005 年 3 月 11 日正式成立，作为 Ferrotec 集团旗下的全资子公司，自诞生起便专注

于智能化精密机械装备领域的开拓。公司坐拥 102087 m² 的总建筑面积，内部厂房布局合理，配备了先进的大型高精加工设备与检测仪器，为产品的研发、生产及质量把控奠定了坚实的硬件基础。

核心技术布局：

硬件研发能力：掌握 PVT（物理气相传输）、LPE（液相外延）等核心生长技术，设备定位精度达 $\pm 1\text{mm}$ ，温度控制稳定性 $\leq \pm 1^\circ\text{C}$ ，支持 8 英寸及以上 SiC 晶体量产。

软件智能化：自主研发远程监控系统与全自动生长流程控制软件，实现从真空抽气、晶体生长到退火的全流程无人化操作，生产数据实时上传至 MES 系统。

行业应用：累计为国内 20 余家 SiC 衬底厂商及代工厂提供设备与工艺解决方案，包括天岳先进、三安光电等头部企业，市场占有率达 35%。

2、SiC 制造全流程设备解决方案

2.1 SiC 单晶生长设备：从原料到晶体的品质基石

PVT 碳化硅长晶炉

技术参数：采用电阻式/感应式加热，腔体温度可达 2500°C ，温度均匀性 $\pm 3^\circ\text{C}$ ，支持 4-8 英寸晶体生长，单次投料量 100-150kg。

创新设计：

热场旋转与升降线圈技术，动态调整温度场分布，降低晶体缺陷密度（位错密度 $\leq 10^3\text{cm}^{-2}$ ）。

独立研发的远程网络监控系统，实现生长过程全参数实

时追踪，异常报警响应时间<10 秒。

LPE 液相法长晶炉

工艺优势：生长温度较 PVT 法降低 300℃，晶体生长速度提升 50%，直径扩展至 8 英寸时缺陷密度较传统方法降低 40%。

自动化能力：集成液面接触检测与重量传感器，自动控制晶体生长速率，支持 PVT/LPE 双工艺兼容，设备利用率提升 30%。

2.2SiC 加工设备：高精度切片与工艺集成

SiC 摇摆式切片机

加工能力：最大处理 8 英寸晶锭（长度 450mm），线速度达 3000m/min，切片厚度公差 $\pm 5\mu\text{m}$ ，表面粗糙度 $Ra < 0.5\mu\text{m}$ 。

技术突破：

循环水冷却系统保障主轴高速运转稳定性，轴承寿命延长至 5 万小时。

模块化设计支持砂浆切割与金刚石线切割自由切换，耗材成本降低 25%。

3、典型案例实施效果：某 8 英寸 SiC 衬底工厂量产化改造

3.1 设备部署与工艺优化

场景背景：某新能源汽车功率器件供应商需将 SiC 衬底产能从 4 英寸升级至 8 英寸，要求良率 $\geq 90\%$ ，生产周期 ≤ 72 小时。

解决方案：

部署汉虹 8 英寸 PVT 长晶炉（电阻式加热），采用分段坩埚设计解决漏液问题，搭配异形增厚石墨件降低热应力。

引入 LPE 长晶炉进行外延层生长，通过优化退火工艺（温度梯度 $\leq 5^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ ）减少晶体开裂。

采用摇摆式切片机实现 8 英寸晶锭一次性多片切割，效率较传统设备提升 2 倍。

3.2 量化成效数据

生产效率提升：

单炉晶体生长周期从 96 小时缩短至 72 小时，年产能从 10 万片提升至 15 万片。

自动化程度达 95%，单条产线人力需求从 12 人减至 5 人，人工成本下降 58%。

品质与良率突破：

8 英寸 SiC 衬底位错密度控制在 500cm^{-2} 以下，达到车规级标准（ $\leq 1000\text{cm}^{-2}$ ）。

切片良率从初始 75% 提升至 92%，单片加工成本下降 30%（从 800 元/片降至 560 元/片）。

技术创新价值：

通过远程监控系统实现设备 OEE（综合效率）提升至 85%，故障预警准确率达 98%。

与客户联合开发的 SiC 长晶工艺包被纳入行业标准，推动 8 英寸衬底量产成本较国际厂商低 20%。

4、全产业链赋能与行业影响

生态协同：汉虹设备与北方华创、中微公司的刻蚀设备实现工艺联动，某 5G 基站用 SiC 功率器件量产良率提升至 96%，推动国内第三代半导体产业链自主化进程。

成本优势：相比进口设备，汉虹 SiC 长晶炉价格降低 40%，维护成本下降 35%，帮助中小企业降低技术门槛。

政策与市场认可：设备方案入选国家“02 专项”第三代半导体装备推荐目录，在山东、浙江等地的 SiC 产业园区实现规模化应用，带动区域产业链产值超 50 亿元。

5、案例启示：SiC 设备国产化的技术路径

汉虹智能的实践证明，SiC 设备研发需聚焦“材料-设备-工艺”三位一体：

设备端：通过热场优化、自动化控制提升晶体质量，如 PVT 炉的温度均匀性控制、LPE 炉的液面动态调节。

工艺端：结合原料特性开发专用工艺包，如分段坩埚设计、退火温度梯度优化，解决量产中的开裂、漏液等痛点。

生态端：与衬底厂商、器件设计企业协同创新，实现从设备交付到良率提升的全周期赋能。

附件 4

第三代半导体智改数转服务商目录

序号	名称	所在地	主营业务及优势
1	北京华大九天科技股份有限公司	南京 成都 深圳 上海	国内唯一实现模拟电路设计全流程覆盖的 EDA 企业，2024 年收购芯和半导体后，形成“模拟+数字+射频+封装”全栈能力。产品涵盖模拟电路、数字电路、射频电路、存储电路、平板显示电路设计全流程工具系统，以及晶圆制造和先进封装 EDA 工具。主流产品：EmpyreanALPS®系列是基于 GPU 加速的 SPICE 模拟器，EmpyreanLiberal®是自动化特征化提取工具，可将处理嵌入式存储器和 IP 块的表征时间从几天缩短至几小时。
2	上海概伦电子股份有限公司	上海	聚焦器件建模与仿真，是全球唯三支持 3nm 工艺的建模工具商，核心团队拥有超过 20 年的行业经验。主流产品：NanoSpice™通过三星 3nm 和 4nm 工艺认证，在模拟 IP 的大规模后仿网表仿真中性能优异，可处理五千万元件以上规模的电路仿真。竞争优势：在器件建模领域拥有 300 多项专利，核心工具被中芯国际 28nm 产线标配，良率分析工具打破国际垄断，与三星建立长期合作。

3	芯华章科技股份有限公司	南京	<p>2020年成立于南京，由EDA领域资深专家傅勇、林财钦领衔，团队硕博比例超80%。</p> <p>主流产品：桦敏 HuaEmuE1 是国内首台超百亿门硬件仿真系统，可满足150亿门芯片的验证需求，已应用于寒武纪AI芯片量产前的系统级验证。</p> <p>竞争优势：团队可基于经典验证经验和技能，启用全新的路径对EDA进行研发和创新，在当前最先进的软件工程方法学及高性能硬件架构的基础上，融入最新的人工智能、机器学习和云计算等前沿技术，设计全新的软件系统架构和算法，打造面向未来的新一代EDA软件和系统。</p>
4	杭州广立微电子股份有限公司	杭州	<p>2022年在科创板上市，提供“软件+测试设备+数据分析”一体化方案。</p> <p>主流产品：Semitronix是其良率分析软件，通过机器学习预测芯片缺陷，在长鑫存储17nmDRAM项目中，量产良率提升至95%以上。</p> <p>竞争优势：是国内唯一同时拥有EDA软件和测试设备的厂商，形成闭环解决方案，测试设备与软件协同优化可提升测试效率30%。</p>

5	用友网络科技股份有限公司	北京	<p>主营业务：智能制造 MOM（制造运营管理）解决方案，整合 ERP、MES、WMS 等系统，支持离散与流程制造场景。</p> <p>竞争优势：生态协同：基于用友 BIP 平台，实现研产供销财全价值链贯通，尤其在大型集团企业中优势显著。</p> <p>AI 融合：工业大脑集成运筹学、深度学习模型，优化排产、质量预测等场景，提升生产效率。</p> <p>行业覆盖广：客户涵盖汽车、电子、化工等领域，如东方雨虹、江铜贵冶等。</p>
6	上海哥瑞利软件股份有限公司	上海	<p>主营业务：泛半导体 CIM 系统，覆盖半导体晶圆制造、面板、光伏等领域，提供 MES、EAP、FDC 等核心产品。</p> <p>竞争优势：技术壁垒：全国产自研的 12 英寸晶圆厂 MES 系统已量产应用，打破 IBM、应用材料等国际厂商垄断。</p> <p>全栈产品：从设备控制软件（如 CVD、蚀刻工艺）到智能数据平台（iFDC、iAPC），形成端到端解决方案。</p> <p>客户资源：服务中芯国际、京东方、华天科技等头部企业，累计完成 500 多项目。</p>

7	上海赛美特软件股份有限公司)	上海	<p>主营业务：半导体 CIM 系统，聚焦 12 英寸晶圆厂全自动化生产，提供 MES、RTD、APC 等软件。</p> <p>竞争优势：国产替代先锋：纯国产 CIM 系统平台在国内 8/12 英寸晶圆厂验证，技术对标国际厂商。</p> <p>多行业覆盖：业务延伸至光伏、LED 等领域，客户包括比亚迪、中欣晶圆等。</p> <p>资本加持：获高瓴、中国互联网投资基金等投资，研发投入持续加码。</p>
8	浪潮集团有限公司	济南	<p>主营业务：智能制造全栈解决方案，涵盖工业互联网平台、智能工厂规划及 MES 系统。</p> <p>竞争优势：集团化服务：在大型国企、央企中经验丰富，支持多工厂、多地域协同制造，保障数据安全与稳定性。</p> <p>云边协同：结合浪潮云洲工业互联网平台，实现设备实时监控与边缘计算。</p> <p>政策支持：深度参与国家智能制造示范项目，如钢铁行业智能工厂改造。</p>
9	浪潮工业互联网股份有限公司	济南	<p>打造国家级双跨平台“云洲”工业互联网平台，提供设备管理、生产优化、供应链协同等工业互联网解决方案。在第三代半导体行业，可帮助企业实现设备互联互通、生产数据实时监控与分析，从而优化生产流程。已服务众多制造业企业，如在某化工企业实现了能源消耗降低 10%。</p>

10	金蝶软件（中国）有限公司（云星空）	深圳	<p>主营业务：云原生 CIM 系统，基于金蝶云·星空平台，提供轻量化 MES、智能排程等功能。</p> <p>竞争优势：敏捷部署：低代码平台支持快速定制，降低中小企业数字化门槛。</p> <p>业财一体化：与金蝶 ERP 无缝集成，实现生产数据与财务数据实时同步。</p> <p>全球化服务：覆盖电子、机械等行业，海外客户包括 02Micro 等。</p>
11	华为技术有限公司	全球布局	<p>提供涵盖 5G 通信、云计算、大数据、人工智能等前沿技术的整体解决方案。其 5G 技术可实现工厂设备的低时延、高可靠连接；华为云为企业强大的数据存储与处理能力；工业互联网平台 FusionPlant 能助力企业实现设备互联、生产优化、供应链协同等。在多个行业推动智能化转型，如在某电子制造企业，通过华为的解决方案实现了生产效率提升 30%。</p>
12	阿里巴巴达摩院	杭州	<p>在人工智能、大数据、云计算等领域进行深度研究与应用开发。推出的工业大脑解决方案，可利用大数据分析 AI 算法，帮助企业优化生产流程、预测设备故障、提升产品质量。例如在半导体制造中，通过对生产数据的分析，优化工艺参数，提高产品良率。参与多个行业的智能化升级项目，推动行业技术创新。</p>

13	腾讯集团	深圳	<p>提供云计算、大数据、人工智能、物联网等技术服务。其工业互联网平台可实现设备上云、数据汇聚与分析、应用开发等功能。利用 AI 技术开发的智能质检解决方案，能够快速准确检测产品缺陷。在多个制造业企业项目中应用，提升企业数字化运营水平，如帮助某机械制造企业降低了 15% 的次品率。</p>
14	百度智能云	北京	<p>以人工智能为核心，提供智能工厂解决方案，涵盖智能生产、智能质检、智能物流等环节。借助百度大脑的 AI 能力，实现生产过程的智能化控制与优化。其智能质检产品运用图像识别技术，对产品外观缺陷检测准确率高达 98%。在多个行业案例中，助力企业提高生产效率与产品质量，降低生产成本。</p>
15	福建摩尔元数科技有限公司	福州	<p>主营业务：AI 驱动的 CIM 系统，聚焦电子制造领域，提供数字孪生、质量预测等功能。</p> <p>竞争优势：AI 技术深度：自主研发 AI 质量预测模型，不良率预测准确率领先，缩短新产品导入周期。</p> <p>低代码平台：支持客户自主配置功能，降低定制化开发成本。</p> <p>细分领域深耕：在 PCB、PCBA 等电子制造场景中技术壁垒显著，客户包括立讯精密、深南电路。</p>

16	鼎捷软件股份有限公司	多地布局	<p>主营业务：制造业 ERP 解决方案，如鼎捷 E10 系统，覆盖生产排程、质量管控、设备互联等全流程，支持离散与流程制造场景。</p> <p>竞争优势：行业经验：深耕制造业 40 余年，服务超 5 万家企业，如敏华科技通过鼎捷系统实现订单准时完工率提升至 95%，年毛成本节约 300 万元。</p> <p>智能防错：内置 4M 多级防错机制，结合 MES 系统实现生产数据实时追溯，不良率预测准确率领先。</p> <p>国际化布局：在东南亚设立分支机构，支持多语言与当地税制，如越南工厂通过鼎捷系统实现跨境协同效率提升 40%。</p>
17	北京智邦国际软件技术有限公司	北京	<p>主营业务：一体化 ERP 系统，提供覆盖生产型、销售型、项目型企业的 30 多类行业解决方案，支持从客户管理到财务核算的全业务闭环。</p> <p>竞争优势：数据互联互通：首创“企业一体化”理念，模块间数据实时同步，避免信息孤岛，如医疗设备企业通过智邦系统实现订单处理效率提升 70%。</p> <p>行业覆盖广：服务机械、电子、医疗器械等 45 个行业，如某汽车零部件企业通过智邦系统实现库存周转天数下降 28%。</p>

18	航天信息股份有限公司	北京	<p>主营业务：A8ERP 系统，面向大中型集团企业，提供集团财务管控、业财一体化、电子档案等功能，支持多组织架构与产业链协同。</p> <p>竞争优势：央企背景：依托航天科工集团资源，服务航天科工、中国传动等大型企业，系统稳定性与数据安全性突出。</p> <p>财税协同：与金税系统深度集成，实现发票自动采集、税务风险预警，如某轮胎企业通过 A8ERP 将财务结账周期缩短 40%。</p> <p>移动化支持：手机端支持异地审批与实时数据查询，如某集团通过 A8ERP 手机版将报销流程处理效率提升 3 倍。</p>
19	珠海天心天思软件有限公司	珠海	<p>主营业务：制造业 ERP 系统，如 SUNLIKEERP，覆盖生产计划、物料需求、成本核算等模块，支持多工厂协同与跨境业务。</p> <p>竞争优势：本土化服务：深耕大陆市场 30 余年，提供多语言支持与当地税制适配，如某台资企业通过天心系统实现两岸三地财务数据实时同步。</p> <p>智能排程：内置 APS 高级排程模块，支持插单模拟与产能平衡，如某电子企业通过天心系统将订单交付周期缩短 25%。</p> <p>行业解决方案：在 PCB、PCBA 等电子制造领域形成技术壁垒，客户包括立讯精密、深南电路等头部企业。</p>

20	赛意信息科技股份有限公司	广州	<p>主营业务：智能制造 ERP 解决方案，聚焦离散制造领域，提供生产计划、质量追溯、供应链协同等功能，支持与 MES、WMS 系统集成。</p> <p>竞争优势：行业标杆案例：服务华为、富士康等头部企业，累计打造 700 多家智能工厂，如某消费电子企业通过赛意系统实现订单交付准时率提升至 98%。</p> <p>快速响应：智能转产与 JIT 供料功能适配多品种、小批量生产，如某汽车零部件企业通过赛意系统将换产时间缩短 50%。</p> <p>数据驱动：内置 BI 分析模块，实时监控生产指标，如某家电企业通过赛意系统将库存周转率提升 20%。</p>
21	东软集团股份有限公司	沈阳	<p>主营业务：跨行业 MIS 解决方案，重点覆盖医疗、交通、能源等领域，提供医院信息系统（e-HIS）、城市通卡系统（如公交一卡通）及能源管理系统。</p> <p>竞争优势：行业深度：医疗领域市场份额超 40%，服务全国 80% 以上三甲医院，如北京协和医院通过东软 e-HIS 实现全流程数字化管理。</p> <p>国际化布局：在东南亚、中东等地设立分支机构，支持多语言与本地化适配，如沙特阿拉伯智慧交通项目通过东软系统实现跨境协同效率提升 40%。</p>

22	上海宝信软件股份有限公司	上海	<p>聚焦制造业 MIS，提供钢铁行业全流程管控系统（如 MES、ERP 集成方案）、工业互联网平台及智慧园区解决方案。</p> <p>竞争优势：行业壁垒：钢铁行业市场份额超 60%，服务宝武集团、鞍钢等头部企业，如宝武集团通过宝信 MES 系统实现合同交清率提升至 98%。</p> <p>技术创新：融合数字孪生与 AI 算法，如某地铁项目通过宝信系统减少工程量误差率至 1%以下。</p> <p>信创适配：全面兼容国产芯片与操作系统，已在政务、制造等领域落地超 10 万多客户。</p>
23	上海汉得信息技术股份有限公司	上海	<p>企业级 MIS 实施与数字化转型服务，覆盖 ERP、CRM、SCM 等模块，重点服务电信、金融、制造等行业。</p> <p>竞争优势：实施能力：累计实施超 2000 个大型项目，如某电信运营商通过汉得 MIS 系统实现财务结账周期缩短 40%。</p> <p>行业经验：在电信领域服务中国移动、中国联通等，提供主数据管理、全税种管理等定制化方案。</p> <p>生态整合：与 Oracle、SAP 等国际厂商深度合作，同时自主研发低代码平台，定制化成本降低 35%。</p>

24	中软国际有限公司	北京	<p>跨行业 MIS 解决方案，重点覆盖金融、交通、能源等领域，提供银行核心系统、公共交通一卡通系统及能源管理平台。</p> <p>竞争优势：大型项目经验：承建国家人口基础信息库、全国出入境信息管理系统等国家级项目，如北京地铁一卡通系统覆盖日均超 1200 万人次交易。</p> <p>技术融合：结合区块链与大数据技术，如某能源企业通过中软国际系统实现能耗优化 15%。</p> <p>信创能力：全面适配麒麟、统信等国产操作系统，服务金融、政务等关键领域。</p>
25	软通动力信息技术（集团）股份有限公司	北京	<p>企业级 MIS 与数字化转型服务，覆盖金融、制造、能源等行业，提供智能终端测试、物联网平台及 AI 解决方案。</p> <p>竞争优势：技术创新：自主研发 MIS 物联网平台，支持设备自发现与数据自采集，如某汽车工厂通过软通动力系统将设备故障率降低 30%。</p> <p>行业覆盖广：服务华为、富士康等头部企业，在智能终端测试领域市场份额超 30%。</p> <p>全球化服务：支持多地域数据合规，海外客户包括台积电、O2Micro 等，保障全球化制造协同。</p>

26	帆软软件有限公司	无锡	<p>专注于商业智能（BI）与数据分析平台，提供 FineReport、FineBI 等产品，支持企业级数据可视化与决策支持。</p> <p>竞争优势：技术领先：连续 8 年蝉联中国商业智能软件市场占有率第一，FineBI 支持 AI 驱动的智能分析，如某半导体企业通过帆软系统实现订单处理效率提升 70%。</p> <p>行业适配性：覆盖制造业、金融、医疗等 45 个行业，如某汽车零部件企业通过帆软系统实现库存周转天数下降 28%。</p> <p>低代码开发：可视化开发平台支持客户自主配置功能，定制化成本降低 35%，实施周期缩短至传统方案的 1/3。</p>
27	新华三技术有限公司	杭州	<p>主营业务：企业级网络设备（交换机、路由器、无线）、云计算、智能终端，提供“云-网-安-算-存-端”全栈解决方案。</p> <p>竞争优势：市场份额：连续多年中国以太网交换机市场第一（2023 年 Q1 份额 34.5%），园区交换机市场占比 36.6%，服务 90%以上央企。</p> <p>技术创新：基于 CPO 硅光技术的 800G 交换机 S9827 系列，液冷散热设计降低能耗 40%，支持 AI 无损算法提升智算效率。</p> <p>国产化能力：国产化解决方案适配信创环境，服务航天科工、招商局等头部企业。</p>

28	中兴通讯股份有限公司	深圳	<p>主营业务：5G 基站、核心网设备、数据中心网络、光传输设备，覆盖运营商网络与企业级市场。</p> <p>竞争优势：5G 领先：全球 5GFWA（固定无线接入）市场份额连续四年第一，2025 年全球无线接入网络排名第四，服务 130 多家运营商。</p> <p>技术突破：5G-Advanced 基站支持下行 10Gbps, RedCap 终端降低物联网成本 60%，6G 预研成果获国际认可。</p> <p>全球化布局：海外收入占比超 50%，东南亚、中东等市场份额持续提升，跨境协同效率提升 40%。</p>
29	烽火通信科技股份有限公司	武汉	<p>主营业务：光通信设备（光纤、光缆、光模块）、5G 承载网、工业互联网解决方案，聚焦通信运营商与能源、交通行业。</p> <p>竞争优势：光通信龙头：全球光纤光缆出货量前三，50GPON 技术实现工业网万兆升级，空芯光纤损耗降低 20%。</p> <p>行业深耕：服务国家电网、中国铁路等，智慧光网方案支撑“东数西算”工程，网络可靠性提升 30%。</p> <p>国产化能力：全面兼容国产芯片与操作系统，政务、金融领域信创项目落地超 10 万客户。</p>

30	锐捷网络股份有限公司	福州	<p>主营业务：企业级交换机、路由器、无线设备，重点覆盖教育、医疗、金融行业，提供智能云网解决方案。</p> <p>竞争优势：行业壁垒：教育行业市场份额超 30%，医疗行业超 25%，如某三甲医院通过锐捷网络实现院区 Wi-Fi7 全覆盖。</p> <p>技术创新：支持 Wi-Fi7 的 AP850-I 面板式无线接入点，并发速率达 5.8Gbps，适配高密度场景。</p> <p>敏捷部署：RG-N18000 系列交换机支持 SDN 控制器，实施周期较传统方案缩短 50%，如某高校智慧校园项目 3 个月上线。</p>
31	中科曙光国际信息产业有限公司	天津	<p>主营业务：高性能计算（超算）、边缘计算设备、网络安全，提供“算力-网络-存储”一体化解决方案。</p> <p>竞争优势：超算龙头：参与国家超算中心建设，如“天河”系列超算网络设备国产化率 100%，支持 E 级计算。</p> <p>边缘计算：推出边缘智算中心 EG200，支持 5GMEC 与工业协议转换，在智能制造场景降低时延至 10ms 以内。</p> <p>安全可信：量子密钥分发（QKD）设备在金融专网应用案例增长 300%，国密算法支持率达 100%。</p>

32	北方华创科技股份有限公司	北京	<p>覆盖刻蚀、薄膜沉积（PVD/CVD）、清洗、氧化扩散、热处理等全品类半导体设备，支持 14nm 逻辑芯片、3DNAND 存储芯片及第三代半导体制造。</p> <p>竞争优势：全产业链布局：国内唯一覆盖刻蚀、薄膜、清洗等核心设备的企业，2024 年新增订单超 400 亿元，服务长江存储、长鑫存储等头部晶圆厂。</p> <p>国产化能力：承担国家 01/02 重大专项，设备适配信创环境，服务 76 户央企及 37% 中国 500 强企业。</p>
33	中微半导体设备（上海）股份有限公司	上海	<p>5nm 等离子刻蚀机、MOCVD（金属有机化合物气相沉积）设备、薄膜沉积设备，覆盖逻辑芯片（5nmFinFET）、存储芯片（3DNAND）及 LED 外延片制造。</p> <p>竞争优势：技术领先：刻蚀机关键指标（如选择比）达国际先进水平，MOCVD 设备国内市占率超 90%，全球累计出货超 500 台。</p> <p>客户认可：台积电、三星核心供应商，2024 年刻蚀设备出货量超 300 台，专利布局覆盖反应腔设计、等离子体控制等核心技术。</p> <p>研发投入：研发人员占比超 60%，2024 年营收 90.65 亿元，连续多年承担国家重大专项。</p>

34	上海微电子装备（集团）股份有限公司	上海	<p>半导体前道光刻机（600 系列）、先进封装光刻机（SSB500 系列）、晶圆缺陷检测设备，覆盖集成电路前道、先进封装（Fan-Out/Chiplet）及面板显示领域。</p> <p>竞争优势：国产光刻机标杆：600 系列光刻机支持 90nm 制程，SSB500 系列先进封装光刻机适配 600mm×600mm 方板曝光，填补国内空白。</p> <p>技术突破：2024 年公布 EUV 光刻机相关专利，极紫外辐射发生装置技术达国际前沿，支撑国产替代进程。</p> <p>行业壁垒：国内唯一实现前道光刻机量产的企业，服务中芯国际、长电科技等头部客户。</p>
35	盛美半导体设备（上海）股份有限公司	上海	<p>主营业务：单片清洗设备（SCREEN 系列）、铜互连电镀设备（SAPS 技术）、先进封装湿法设备，覆盖逻辑芯片（28nm 及以上）、存储芯片（3DNAND）及先进封装领域。</p> <p>竞争优势：技术垄断：兆声波清洗技术打破 TEL 垄断，铜互连电镀设备填补国内空白，2024 年新增订单超 80 亿元。</p> <p>客户绑定：中芯国际、长江存储核心供应商，与北方华创、至纯科技合作构建“清洗-刻蚀-薄膜”闭环。</p> <p>国际化布局：产品出口至东南亚、中东等地，支持多语言与本地化适配，如越南工厂协同效率提升 40%。</p>

36	拓荆科技股份有限公司	上海	<p>主营业务：PECVD（等离子体增强化学气相沉积）、ALD（原子层沉积）、SACVD（高深宽比填充）设备，覆盖逻辑芯片（28nm及以上）、存储芯片（3DNAND）及第三代半导体（SiC外延）。</p> <p>竞争优势：技术壁垒：ALD设备支持5nm制程，SACVD设备填充比达99.9%，国内唯一量产PECVD、ALD设备的企业。</p> <p>产业链协同：与华为联合研发SAQP技术，适配先进封装需求，2024年营收41.03亿元，同比增长超50%。</p>
37	华海清科股份有限公司	天津	<p>主营业务：12英寸CMP（化学机械抛光）设备、晶圆减薄机（Versatile-GP300）、晶圆再生服务，覆盖逻辑芯片（14nm及以上）、存储芯片（3DNAND）及先进封装（HBM）。</p> <p>竞争优势：市场主导：CMP设备全球市占率超40%，先进封装领域市占率突破40%，2024年新增订单超50亿元。</p> <p>技术突破：Universal-H300机型实现纳米级全局平坦化，第三代半导体专用CMP设备通过客户端验证。</p>
38	中电科电子装备集团有限公司	北京	<p>主营业务：离子注入机、CMP设备、晶圆减薄机，覆盖逻辑芯片（28nm及以上）、存储芯片（3DNAND）及第三代半导体制造。</p> <p>竞争优势：军工背景：依托中国电科集团资源，承担国家军用核心电子元器件制造</p>

			<p>任务，系统稳定性与数据安全性突出。</p> <p>国产化能力：离子注入机适配信创环境，CMP 设备填补国内空白，服务航天科工、中国传动等大型企业。</p> <p>技术积累：拥有国家第三代半导体技术创新中心，专利覆盖离子注入、平坦化等核心技术，2024 年营收超百亿元。</p>
39	芯源微 半导体 设备（沈 阳）股 份有 限公 司	沈阳	<p>主营业务：涂胶显影设备（前道/后道）、光刻胶处理系统、晶圆清洗设备，覆盖逻辑芯片（28nm 及以上）、存储芯片（3DNAND）及先进封装（FlipChip）。</p> <p>竞争优势：行业领先，与北方华创合作开发集成式涂胶显影-刻蚀系统。</p> <p>技术创新：兼容大尺寸晶圆（12 英寸）及特殊工艺（如厚胶曝光），支持 TSV 背面对准，满足先进封装需求。</p> <p>客户拓展：服务华虹集团、通富微电等头部企业，2024 年营收 17.7 亿元，同比增长超 40%。</p>
40	中科飞 测科技 股份有 限公司	深圳	<p>主营业务：无图形晶圆缺陷检测（SPM 系列）、图形晶圆缺陷检测（FSM 系列）、三维形貌量测，覆盖逻辑芯片（7nm 及以上）、存储芯片（3DNAND）及 AI 芯片（GPU）。</p> <p>竞争优势：技术壁垒：缺陷检出率达 99.9%，AI 芯片检测市占率超 30%，国内唯一 2Xnm 缺陷检测设备供应商。</p>

41	长川科技股份有限公司	杭州	<p>主营业务：测试机（D9000 系列）、分选机、探针台，支持 5G 毫米波芯片、存储芯片（HBM）及功率器件（IGBT）测试。</p> <p>竞争优势：市场份额：国内测试设备市占率第一，2024 年测试机出货量超 2000 台，服务华为海思、长电科技等头部客户。</p> <p>技术突破：D9000 系列测试机支持车规级认证，分选机精度达 $\pm 2\mu\text{m}$，填补国内高端测试设备空白。</p> <p>生态协同：与长电科技、通富微电合作开发先进封装测试方案，2024 年营收 25.35 亿元，同比增长超 30%。</p>
42	沪硅产业集团股份有限公司	上海	<p>主营业务：12 英寸半导体硅片、外延片、SOI 硅片</p> <p>竞争优势：国内最大的半导体硅片供应商，2025 年 12 英寸硅片产能突破 100 万片/月，技术覆盖逻辑芯片、存储芯片及先进封装领域，客户包括中芯国际、长江存储等头部晶圆厂，全球市占率提升至 12%。</p>
43	立昂微电子股份有限公司	杭州	<p>主营业务：半导体硅片、功率器件、化合物半导体材料</p> <p>竞争优势：通过收购金瑞泓形成“硅片+器件”全产业链布局，12 英寸硅片实现量产，碳化硅衬底进入车规级验证，2024 年射频芯片业务收入增长 115%，深度绑定华为海思、士兰微等客户。</p>

44	南大光电股份有限公司	苏州	<p>主营业务：ArF 光刻胶、MO 源、电子特气</p> <p>竞争优势：国内唯一量产 ArF 光刻胶(28nm 制程)的企业，技术参数对标日本信越化学，MO 源全球市占率 30%，2025 年 Q1 半导体光刻胶收入占比超 40%，客户覆盖中芯国际、长江存储。</p>
45	江化微电子材料股份有限公司	江阴	<p>主营业务：超净高纯试剂、光刻胶配套试剂</p> <p>竞争优势：G5 级高纯硫酸、氨水等产品通过华力微、合肥长鑫验证，半导体湿电子化学品国产替代率提升至 58%，2024 年半导体业务收入占比 25.52%。</p>
46	鼎龙股份有限公司	武汉	<p>主营业务：CMP 抛光垫、抛光液、清洗液</p> <p>竞争优势：国内唯一实现 CMP 抛光垫全流程技术自主化的企业，抛光垫国内市占率超 50%，覆盖 80%主流晶圆厂，原材料国产化率超 90%，2024 年新增订单超 20 亿元。</p>
47	江丰电子材料股份有限公司	余姚	<p>主营业务：高纯溅射靶材（铜、铝、钽、钛等）</p> <p>竞争优势：国内半导体靶材市占率超 70%，全球份额 11.8%，产品进入台积电 3nm 工艺供应链，7N 级超高纯钛靶杂质含量控制在十亿分之一级别，成本较日企低 40%。</p>

48	天岳先进科技股份有限公司	济南	<p>主营业务：碳化硅衬底(导电型/半绝缘型)</p> <p>竞争优势：全球导电型碳化硅衬底市占率第二(超15%)，8英寸产品批量销售，12英寸衬底技术全球领先，与博世、英飞凌签署长期合作协议，2024年营收增长41.37%。</p>
49	英诺赛科(苏州)半导体有限公司	苏州	<p>主营业务：氮化镓(GaN)外延片、功率器件</p> <p>竞争优势：全球首家量产8英寸硅基氮化镓晶圆的企业，车规级40VGaN产品通过AEC-Q101认证，2024年营收增长25.2%，深度绑定新能源汽车及数据中心市场。</p>
50	康强电子股份有限公司	宁波	<p>主营业务：引线框架、键合丝(金、银、铜合金)</p> <p>竞争优势：国内引线框架市占率超30%，键合丝覆盖金、银、铜全品类，客户包括长电科技、华天科技等封测龙头，2024年车规级产品收入占比提升至25%。</p>
51	南京埃斯顿自动化股份有限公司	南京	<p>主营业务：多关节工业机器人、SCARA机器人、协作机器人及智能制造解决方案</p> <p>竞争优势：国内工业机器人龙头企业，2024年出货量超2万台，市场份额稳居国产第一。自主研发伺服系统、控制器等核心部件，超轻镁合金机器人ER4-550-MI高速性能提升5%，功耗降低10%。在新能源、光伏、汽车零部件领域市占率超30%，并布局人形机器人关节模组研发。</p>

52	沈阳新松机器人自动化股份有限公司	沈阳	<p>主营业务：工业机器人、真空/大气机械手、半导体传输设备</p> <p>竞争优势：国内唯一实现半导体机械手量产的企业，真空直驱机械手、EFEM 设备批量进入中芯国际、长江存储等 FAB 厂。汽车总装线机器人市占率超 80%，2024 年半导体装备业务营收增长 99.41%，毛利率提升至 26.93%。</p>
53	节卡机器人股份有限公司	上海	<p>主营业务：协作机器人整机（JAKAZu 系列）、驱控一体化系统</p> <p>竞争优势：全球协作机器人市占率 8.2%，国内市占率 19.1%，丰田汽车全球唯一协作机器人供应商。驱控一体化技术突破，JAKAMAX 系列负载达 40kg，2024 年营收预超 6 亿元，海外收入占比提升至 35%</p>
54	深圳市越疆科技股份有限公司	深圳	<p>主营业务：桌面机械臂（Dobot 系列）、工业机械臂、教育实训平台</p> <p>竞争优势：全球桌面机械臂市占率超 60%，全技术链自研（电机、控制器、算法），产品销往 100 多个国家和地区。2024 年推出具身智能机械臂 DobotAtom，支持 AI 视觉与自主避障，在 3C 电子领域市占率突破 45%。</p>

55	大族激光科技产业集团股份有限公司（大族机器人）	深圳	<p>主营业务：协作机器人（Elfin 系列）、工业机器人、医疗/物流特种机械手</p> <p>竞争优势：高精度协作机器人重复定位精度达 $\pm 0.02\text{mm}$，自主研发驱控一体化模块，2024 年医疗机械臂订单增长 120%。MAiRA 系列 3D 视觉机械手在半导体封装领域市占率超 25%，技术对标 UR、发那科。</p>
56	遨博（北京）智能科技有限公司	北京	<p>主营业务：协作机器人（i 系列）、复合移动机器人（海纳系列）</p> <p>竞争优势：国内协作机器人市占率 33.3%，全球市占率超 15%，核心部件国产化率 100%。淄博基地年产能 10 万台，海纳复合机器人集成移动底盘与机械臂，在仓储物流场景效率提升 40%。</p>
57	珞石（北京）科技有限公司	北京	<p>主营业务：柔性协作机器人（xMate 系列）、工业机器人</p> <p>竞争优势：7 自由度协作机器人 xMate-7 具备超灵敏碰撞检测（1N 触停），适用于医疗、商业服务场景。2024 年商用服务机器人市占率超 20%。</p>
58	艾利特机器人科技（北京）有限公司	北京	<p>主营业务：视觉协作机器人（EC 系列）、轮足复合机器人</p> <p>竞争优势：全球视觉检测机器人市占率 23.4%，EC 系列支持 $0.5\mu\text{m}$ 级精度检测，在汽车零部件质检场景替代率超 90%。轮足复合机器人市占率 28%，多机协同误差率 $< 0.3\%$，服务宁德时代、比亚迪等客户。</p>

59	深圳市 汇川技术股份有限公司	深圳	<p>主营业务：SCARA 机器人、六关节机器人、核心零部件（伺服电机、减速器）</p> <p>竞争优势：国内 SCARA 机器人市占率第一（超 30%），六关节机器人核心部件自研率 100%，成本较外资低 20%-30%。2024 年新能源行业收入增长 85%，人形机器人旋转执行器、行星滚柱丝杠进入特斯拉供应链验证阶段。</p>
60	领益智造股份有限公司（领鹏智能）	东莞	<p>主营业务：高精度减速器、驱控一体化控制器、双臂机械手</p> <p>竞争优势：RV 减速器寿命超 1 万小时，体积较行业同类产品小 30%，双臂机械手（有加系列）负载 5kg，工作空间直径 2.2 米。2024 年高压大功率伺服驱动系统获工信部认证，配套蔚来、小鹏等车企生产线。</p>
61	中电鹏程智能装备有限公司	深圳 南京	<p>2020 年成立，由中电互联与深科技合资组建。聚焦半导体、EMS 等领域，以“智能装备+工业互联网”技术为导向。提供高端智能装备、智能产线升级改造、数字化工厂、智能制造咨询等服务。拳头产品包括智能装备、自动化产线和数字工厂整体解决方案。在如皋市、南京市开展“智改数转”诊断咨询服务，完成如皋市 149 家、南京市 37 家制造业企业的相关服务。</p>

62	优特普 (UTEPO)	深圳	2005年创立的国家级高新技术企业，员工200人。致力于构建有感知的物联网接入网，提供“网电速联”为核心的物联网数字接入和AI算法解决方案，为产业数字化转型提供数字底座。产品涵盖云产品、网电感知交换机等12条产品线。其“网电速联”融合多种信息技术，可应用于多领域。获得200余项专利，参与多项标准制定，与众多企业和科研院校合作。在德国微软产业园、深圳智慧冷库巡检等数百项目中成功应用。
63	研华科技	全球布局	全球工业物联网厂商。在边缘计算、IoT系统软件、垂直产业应用解决方案多元化发展。启动SectorDriven策略变革，聚焦重点产业市场。在第三代半导体领域，提供边缘AI系列产品，如AI视觉相机、边缘AI推理系统等，还计划推出NVIDIAMGX™服务器。与全球超50家伙伴结盟打造边缘AI生态圈，在半导体等行业为客户提供智能整体解决方案。
64	江苏博昊智能科技有限公司	常州	专注为制造业企业提供智改数转整体解决方案的高新技术企业。团队自2016年开展相关业务。自主研发低代码快速开发平台BOOHN_DEVS，并打造包括MES、WMS等在内的完整产品线。拥有行业精英50余人，多项发明专利和软件著作权，合作客户500余家，打造30多个细分行业解决方案。

65	机械工业第九设计研究院股份有限公司	长春	在汽车工程设计领域深耕多年，积累了丰富的工业设计与规划经验。为第三代半导体企业提供数字化工厂规划、智能车间布局设计等服务。其数字化工厂规划方案融合先进的生产流程理念与数字化技术，能有效提升生产效率与空间利用率。在汽车制造企业的智能工厂建设项目中成绩斐然，如为某知名汽车品牌规划建设智能工厂，实现了高度自动化生产与信息化管理。
66	启明星辰信息技术集团股份有限公司	北京	在网络安全领域具有领先地位，为制造业企业提供全面的网络安全解决方案，包括网络安全咨询、安全产品部署、安全运维等服务。能针对工业互联网环境，提供定制化安全防护方案，保障企业生产网络与数据安全。在多个行业为企业抵御网络安全威胁，提升企业安全防护能力。
67	成都数之联科技股份有限公司	成都	专注工业 AI 领域，提供全自动晶圆 AI-AOI 检测设备等产品。其算法团队提出文档级时序关系抽取任务，构建高质量时序知识图谱数据集。能为半导体企业提供高精度的晶圆检测解决方案，每分钟检测高达 2000 个，实现全量产品同步产线实时质检，有效提升产品质量检测效率与准确性。在金属包装行业等项目中，成功解决了产品质量检测难题。

68	树根互联技术有限公司	广州	<p>专注于工业互联网操作系统，为企业提供设备接入、数据分析、应用开发等服务。其根云平台可帮助第三代半导体企业实现设备全生命周期管理，通过数据分析预测设备故障，提前维护，减少停机时间。在装备制造等行业有丰富案例，如帮助某工程机械企业提升设备利用率 20%。</p>
69	海尔卡奥斯物联生态科技有限公司	青岛	<p>构建了大规模定制模式的工业互联网平台，提供智能制造、供应链管理、用户交互等解决方案。在第三代半导体领域，可助力企业实现定制化生产，满足不同客户需求。其供应链管理方案能优化企业库存，降低库存成本。在多个行业推动了企业的数字化转型与商业模式创新。</p>
70	施耐德电气（中国）有限公司	多地布局	<p>提供能源管理与自动化领域的数字化解决方案。在第三代半导体工厂中，可实现能源的高效管理与优化，降低能耗；其自动化控制系统能提高生产过程的稳定性与精准度。产品涵盖智能配电系统、工业自动化软件等。在全球多个工业项目中应用，帮助企业提升能源利用效率与生产效益。</p>
71	西门子（中国）有限公司	多地布局	<p>在工业自动化、数字化企业、智能制造等领域处于领先地位。提供全生命周期的数字化解决方案，包括产品设计、生产规划、生产工程、生产执行和服务等环节。其 PLM 软件可实现产品从设计到生产的全过程数</p>

			字化管理；自动化生产线设备能提高生产效率与产品质量。在汽车、电子等多个行业有大量成功案例。
72	ABB（中国）有限公司	多地布局	提供工业机器人、自动化系统、电力与自动化产品等。工业机器人可应用于第三代半导体生产中的搬运、装配、检测等环节，提高生产效率与精度；自动化系统能实现生产过程的智能化控制。拥有多种类型的工业机器人产品，可根据不同生产场景定制解决方案。在多个行业的自动化生产项目中应用广泛。
73	发那科（中国）有限公司	多地布局	专注于数控系统、机器人、智能机器等产品研发制造。数控系统在半导体制造设备中应用广泛，能实现高精度的运动控制；工业机器人可用于晶圆搬运、芯片封装等工序。其产品以高精度、高可靠性著称，在全球制造业中占据重要地位，为众多半导体企业提供关键设备与技术支持。
74	罗克韦尔自动化（中国）有限公司	多地布局	提供工业自动化、信息化、智能制造等解决方案。其自动化控制系统可实现生产过程的精准控制与优化；信息化系统能实现企业生产数据的整合与分析。在汽车制造、半导体等行业有丰富经验，帮助企业提升生产效率、降低成本、提高产品质量。

75	东土科技（北京）股份有限公司	北京	专注于工业互联网通信技术与产品研发。提供工业以太网交换机、工业服务器、工业控制软件等产品，构建工业互联网通信网络，实现设备之间的高速、可靠数据传输。产品在电力、能源、制造业等多个行业应用，保障工业网络的稳定运行。
76	汉得信息技术股份有限公司	上海	为企业提供数字化转型咨询、系统实施与运维等服务。在制造业领域，可帮助企业进行智能制造规划、工业软件实施等。具备丰富的项目管理经验与技术团队，能整合多种技术资源，为企业提供一站式数字化解决方案。在多个行业推动企业数字化转型，提升企业数字化运营能力。
77	南京慧尔视智能科技有限公司	南京	专注于机器视觉技术，提供工业视觉检测系统，可应用于第三代半导体生产中的缺陷检测、尺寸测量、定位等环节。其视觉检测系统具有高精度、高速度的特点，能有效提高产品质量检测效率与准确性。在电子制造、半导体等行业有众多应用案例，为企业提升产品质量提供技术支持。
78	凌云光技术股份有限公司	北京	在机器视觉与光通信领域有深厚技术积累。为半导体行业提供视觉检测、智能装配等解决方案，其机器视觉产品能实现对微小尺寸、复杂形状的高精度检测。在光通信、消费电子、半导体等行业有大量应用，助力企业提升自动化与智能化水平。

79	北京华如科技股份有限公司	北京	<p>专注于仿真技术，为制造业提供数字化仿真解决方案，包括生产流程仿真、设备运行仿真、物流仿真等。通过仿真技术，企业可在实际生产前对生产方案进行优化，降低生产成本，提高生产效率。在汽车制造、航空航天等行业有丰富项目经验，为企业数字化转型提供决策支持。</p>
80	杭州涂鸦信息技术有限公司	杭州	<p>提供物联网开发平台，帮助企业实现设备智能化升级，接入物联网生态。在第三代半导体生产中，可实现设备的远程监控、数据分析与管理。通过其平台，企业可快速开发物联网应用，降低开发成本，提升设备管理效率。在智能家居、工业制造等多个领域有广泛应用。</p>
81	研祥智能科技股份有限公司	深圳	<p>专注于特种计算机、工业自动化产品研发制造。为第三代半导体企业提供工业控制计算机、嵌入式系统等产品，可应用于生产设备的自动化控制、数据采集与处理等环节。产品具有高可靠性、高性能的特点，能适应复杂工业环境，保障生产设备稳定运行。在工业自动化、智能交通等多个行业应用广泛。</p>

82	北京和利时系统工程有限公司	北京	在工业自动化、智能制造等领域提供系统解决方案，包括 DCS、PLC 等控制系统。在第三代半导体生产中，可实现生产过程的自动化控制与优化，提高生产效率与产品质量。在电力、化工、制药等多个行业有丰富项目经验，保障工业生产的安全稳定运行。
83	浙大中控信息技术有限公司	杭州	提供自动化控制系统、工业软件、智能制造解决方案等。其 DCS 系统在工业生产中广泛应用，能实现生产过程的集中监控与管理；智能制造解决方案可帮助企业实现数字化转型与智能化升级。在化工、电力、建材等行业有众多成功案例。
84	深圳市海目星激光智能装备股份有限公司	深圳	专注于激光智能装备研发制造，为半导体行业提供激光加工设备，如激光切割、激光打标、激光焊接等设备。其激光设备具有高精度、高速度、高稳定性的特点，能满足半导体生产的精密加工需求。在消费电子、新能源、半导体等行业有广泛应用，助力企业提升产品加工质量与效率。
85	大族激光科技产业集团股份有限公司	深圳	在激光技术应用领域处于领先地位，为第三代半导体企业提供多种激光加工解决方案，包括晶圆切割、芯片划片、激光修复等。拥有多种类型的激光加工设备，可根据不同生产工艺需求定制方案。在电子制造、半导体等行业有大量应用案例，推动行业激光加工技术发展。

86	苏州富强科技股份有限公司	苏州	专注于自动化设备研发制造，为半导体行业提供晶圆测试、芯片封装等自动化生产设备。其设备具有高精度、高可靠性的特点，能提高生产效率，降低人工成本。在半导体制造领域有丰富项目经验，为众多半导体企业提供关键生产设备。
87	华峰测控技术股份有限公司	北京	专注于半导体测试设备研发生产，提供半导体自动化测试系统。其测试系统可对多种类型的芯片进行测试，具有高可靠性、高效率的特点，能满足不同芯片的测试需求，在半导体测试行业处于领先地位。
88	深圳市深信信息技术有限公司	深圳	专注于工业互联网安全领域，为第三代半导体企业提供网络安全防护解决方案，包括工业防火墙、入侵检测系统、数据加密等产品与服务。保障企业工业网络安全，防止数据泄露与网络攻击，确保生产系统稳定运行。在能源、制造等多个行业有众多应用案例，为企业数字化转型提供安全保障。
89	南京粒聚智能科技有限公司	南京	主营业务：聚焦制造型企业的数字化转型，以 OEE 提升为抓手，利用 ICT 技术帮助企业解决痛点难点问题，推动企业逐步实现数字化、智能化并向智慧化转型。业务涵盖工业物联网和工业服务软件的研发、销售和服务，在流体机械、热加工和模具成型等离散制造行业有深入的应用。

附件 5

技术缩略语

序号	缩略语	全称	释义
1	2.5D IC	2.5 维集成电路	一种通过中介层（如硅中介层）连接多个芯片的封装技术，主要用于高性能计算、存储器和网络应用中。
2	3D IC	三维集成电路	通过垂直堆叠多层芯片并通过 TSV 技术连接各层，能够大幅提高集成度、性能和带宽，适用于数据中心、超级计算机等应用。
3	AC	交流电	电流方向周期性变化的电力形式，用于电网传输。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
4	ADC	模数转换器	将模拟信号转换为数字信号的集成电路。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
5	ALD	原子层沉积	通过气相化学反应逐层沉积薄膜的精密工艺。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。

6	AlN	氮化铝	第三代半导体材料，具有超高热导率（320W/m·K）和宽禁带（6.28eV），用于高功率器件散热衬底和深紫外光电子器件。
7	APCVD	常压化学气相沉积	一种薄膜沉积技术，在常压下通过化学反应在晶圆表面生成固体薄膜，用于生长氧化硅、氮化硅等介质层。
8	APEX	先进工艺工程师	专注于代工厂中最前沿的半导体制造工艺，如7nm、5nm及更小的工艺节点，推动工艺的优化和提升。
9	ATE	自动测试设备	用于半导体芯片量产测试的自动化设备，可进行直流参数、交流特性、功能测试等，确保产品质量。
10	BE	后端工程师	主要负责芯片的封装和测试等后端工艺，确保芯片封装的质量、可靠性和功能。
11	BGA	球栅阵列封装	以焊球阵列连接芯片与基板的高密度封装技术。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。

12	BIS	后端互联堆叠	代工厂在芯片制造后的后期处理阶段，涉及到不同层次之间的互联过程，包括封装和最终测试。
13	BIST	内建自测试	在芯片内部集成测试电路，可自动生成测试向量并进行功能验证，减少对外部测试设备的依赖。
14	BJT	双极型晶体管	通过电子和空穴双极导电的晶体管，用于放大电路。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
15	C4NP	C4 镍钎焊球技术	无铅焊料技术，采用镍钎合金焊球，熔点 > 300°C，提高封装可靠性，适用于高温环境。
16	CMOS	互补金属氧化物半导体	结合 NMOS 和 PMOS 的低功耗集成电路技术，用于 CPU/存储器。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
17	CMP	化学机械抛光	晶圆表面全局平坦化的关键制造工艺。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。

18	CoWoS	芯片级封装技术	台积电的 2.5D 封装技术，将多个芯片集成在硅中介层上，通过 TSV 和微凸块实现互连，提高系统性能。
19	CP	芯片探针测试	在晶圆阶段对每个 Die 进行电气测试，筛选不良芯片，减少封装成本，测试参数包括阈值电压、导通电阻等。
20	CSP	芯片级封装	一种非常小型的封装形式，封装尺寸几乎与芯片本身相当。CSP 广泛应用于手机、平板等小型设备中，具有较小的体积和较高的集成度。
21	CTE	关键工程	关注那些对制造过程、芯片性能和最终产品质量至关重要的因素。它们在工艺开发和生产阶段发挥着重要作用。
22	CVD	化学气相沉积	通过气体反应在晶圆表面沉积薄膜的工艺。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
23	DAB	双有源桥	一种大功率隔离双向 DC-DC 变换器拓扑，具有高功率密度和软开关特性，用于新能源汽车和储能系统。

24	DAC	数模转换器	将数字信号转换为模拟信号的电路。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
25	DDR	双倍数据率	一种内存技术，在时钟信号的上升沿和下降沿都传输数据，提高数据传输速率，现有 DDR4、DDR5 等代际。
26	DFA	面向组装的设计	一种优化封装设计和生产过程的方法，目的是提高封装过程的效率和质量，减少成本。
27	DFA	面向组装的设计	工程师专注于优化芯片的封装设计和制造流程，确保设计可以高效且低成本地进行生产和组装。
28	DFAE	面向自动化测试设备的设计	工程师负责设计和优化芯片的自动化测试系统，确保测试过程中芯片能够高效、准确地进行检测。
29	DFM	面向可制造性设计	工程师在芯片设计阶段对设计进行优化，以便能够顺利地通过代工厂的制造工艺，提高生产效率并减少制造缺陷。

30	DFT	面向可测试性设计	工程师负责在芯片设计阶段加入可测试性功能，以便在后期的生产和测试中对芯片进行有效的检测和验证。
31	Die	芯片裸片	半导体晶圆上切割下来的单个集成电路单元。它是芯片的核心功能载体，包含了设计好的电路结构，但尚未进行封装。裸片需经过封装工艺与引脚、外壳等结合，才能成为可实际使用的芯片器件。
32	DIMM	双列直插式内存模块	一种将多个内存芯片集成在电路板上的封装形式，通过金手指与主板连接，用于台式机和服务器的。
33	DIP	双列直插封装	一种传统的封装形式，具有两排引脚，用于早期电子产品的组装。虽然较少用于现代产品，但仍用于一些特殊的测试和封装中。
34	DRIE	深度反应离子刻蚀	一种用于深度刻蚀硅的技术，常用于制造 MEMS 和其他微结构。
35	ECP	嵌入式组件封装	ECP 封装将组件嵌入到封装基板内部，减少了外部连接并提高了系统的可靠性和集成度。

36	EDA	电子设计 自动化	用于设计和验证电子系统的软件工具。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
37	EEPROM	电可擦可编程 只读存储器	可以通过电信号擦除和重新编程的存储器。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
38	EPI	外延	一种沉积单晶薄膜的工艺，用于制造高质量的半导体材料。
39	EUV	极紫外光刻	采用极紫外光（13.5nm）进行光刻的技术，可实现 7nm 以下先进制程，是半导体制造的关键技术。
40	FAB	晶圆厂	从事半导体晶圆制造的工厂，涵盖薄膜沉积、光刻、刻蚀、掺杂等工艺，是芯片生产的核心环节。
41	Fabless	无厂半导体 公司	设计芯片但没有自己的生产工厂，它们通常依赖于代工厂（Foundry）来制造其设计的芯片。例子如高通、英伟达等。
42	FAE	现场应用 工程师	与客户紧密合作，帮助他们解决在使用代工厂服务（例如生产或测试）过程中遇到的技术问题。

43	FC	倒装芯片	一种芯片封装技术，将芯片有源面朝下直接焊接到基板上，缩短互连长度，提高信号传输速度。
44	FCB	倒装芯片键合	一种半导体封装技术，用于将芯片（通常是集成电路芯片）直接连接到基板或封装上。
45	FCBGA	倒装芯片球栅阵列	结合了倒装芯片封装和BGA封装的优点，具有较高的互连密度和优良的热管理性能，广泛应用于高端处理器和图形芯片。
46	FDSOI	全耗尽硅绝缘体	一种半导体制造技术，通过在硅基底上加入氧化层，使得电子迁移率提高，从而提升芯片的性能，部分 Foundry 公司提供此工艺。
47	FE	前端工程师	主要负责半导体制造过程中的前端工艺（如光刻、刻蚀等），并确保芯片设计在制造过程中能够准确地实现。
48	FF	代工厂	专门提供半导体芯片生产服务的公司，客户通常会提供芯片设计，代工厂负责芯片的生产制造过程。
49	FIB	聚焦离子束	一种用于刻蚀和沉积材料的技术，通过聚焦的离子束加工。

50	FinFET	鳍式场效应晶体管	一种三维结构的晶体管，通过鳍状硅结构增加沟道宽度，提高电流驱动能力，用于 14nm 及以下先进制程。
51	FOWLP	扇出晶圆级封装	一种基于晶圆级封装技术的进阶形式，通过将芯片封装扩展到晶圆外的区域，提高了 I/O 密度，通常用于移动设备和高性能芯片。
52	FPGA	现场可编程门阵列	可以在制造后重新编程的集成电路。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
53	FT	最终测试	在芯片封装后进行的全面测试，验证其功能、性能和可靠性，确保产品符合设计规格。
54	Ga ₂ O ₃	氧化镓	第三代半导体材料，禁带宽度 4.8eV，击穿电场高，适用于超高压功率器件，如智能电网和轨道交通。
55	GaAs	砷化镓	第二代半导体材料，具有高电子迁移率和高频特性，用于射频器件、光电子器件和高速集成电路。

56	GaN	氮化镓	一种宽禁带半导体材料，用于高功率和高频应用。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
57	GaN HEMT	氮化镓高电子迁移率晶体管	基于 GaN 材料的场效应晶体管，利用异质界面的高电子迁移率实现高频、高功率性能，用于 5G 基站和射频电路。
58	HBB	混合键合	一种先进的半导体封装互连技术，它结合了金属-金属键合和介质-介质键合两种方式，在同一工艺步骤中实现芯片与芯片或芯片与基板之间的高密度、高精度互连。
59	HBM	高带宽存储器	一种 3D 堆叠的内存技术，通过 TSV 实现多层芯片互连，提供超高带宽和低功耗，用于高性能计算和 AI 芯片。
60	HDP-CVD	高密度等离子体化学气相沉积	结合沉积与刻蚀的 CVD 技术，用于填充高深宽比结构，如浅槽隔离 (STI) 和金属互连孔。
61	HEMT	高电子迁移率晶体管	基于异质结结构的场效应晶体管，具有高电子迁移率和低噪声特性，用于微波射频和毫米波器件。

62	HI	异质集成	将不同类型的芯片（如处理器、存储器、传感器等）在一个封装中集成，优化性能和功耗，常用于 5G、AI 和高性能计算中。
63	IC	集成电路	将多个电子元件集成在一个芯片上的技术。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
64	ICE	集成工程师	负责将不同的功能模块和设计整合到一个完整的芯片中，确保各个部分协调工作，符合性能和功能要求。
65	ICF	集成电路制造工程师	专注于集成电路的制造过程，包括从晶圆到封装的所有工艺步骤，确保 IC 制造的质量和效率。
66	IGBT	绝缘栅双极型晶体管	由 BJT 和 MOSFET 组成的复合器件，具有高电压、大电流能力，用于工业电机驱动、新能源汽车和逆变器。
67	IoT	物联网	通过互联网连接的智能设备网络。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。

68	JFET	结型场效应晶体管	通过PN结调控电流的场效应管。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
69	LDMOS	横向扩散金属氧化物半导体	高压射频功率器件，用于基站放大器。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
70	LDO	低压差线性稳压器	输入输出压差极小的稳压电路。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
71	LGA	栅格阵列封装	以金属触点阵列连接的封装形式。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
72	LITHO	光刻	一种在半导体制造中使用的工艺，通过紫外光等光源将电路图形转移到芯片表面的光刻胶上，是Foundry过程中关键的制造步骤。

73	LPCVD	低压化学气相沉积	在低压下进行的 CVD 工艺，沉积均匀性好，用于生长高质量的非晶硅、多晶硅和氧化硅薄膜。
74	LPDDR	低功耗双倍数据率	DDR 的低功耗版本，优化功耗和带宽，用于智能手机、平板电脑等移动设备。
75	MCM	多芯片模块	将多个不同的芯片集成在一个模块中的封装技术，常用于复杂的系统中，如高性能计算、网络设备等等。
76	MDE	掩模设计工程师	负责设计和创建芯片生产过程中使用的掩模 (mask)，用于转移电路图案到晶圆上的光刻工艺。
77	ME	制造工程师	负责协调和管理生产流程中的所有制造环节，确保工厂设备、流程、质量标准符合需求，并且解决现场出现的制造问题。
78	MEMS	微机电系统	集成机械结构与电路的微型传感器/执行器。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
79	MIM	金属-绝缘体-金属	用于高密度电容器的堆叠结构。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造为重要角色，对理解和应用相关技术至关重要。

80	MOCVD	金属有机化学 气相沉积	生长 III-V 族化合物半导体（如 GaN）的工艺。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
81	MOSFET	金属-氧化物半 导体场效应管	通过栅极电压控制电流的开关器件。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
82	MPU	微处理器单元	执行计算的核心芯片（如 CPU）。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
83	NAND	与非门闪存	高密度非易失性存储器，用于 SSD/U 盘。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
84	OEM	原始设备 制造商	设计并制造最终产品的公司，虽然部分 OEM 也涉及芯片设计，但更多的是将设计外包给代工厂生产。

85	OPC	光学邻近校正	通过修正掩模图形提升光刻精度的技术。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
86	OSAT	外包半导体封装和测试	第三方芯片封装与测试服务（如日月光）。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
87	OSAT	外包半导体封装与测试	为代工厂提供封装、测试等后期加工服务的公司。虽然 OSAT 与 Foundry 不同，但两者往往紧密合作。
88	PCM	脉冲编码调制	将模拟信号转换为数字信号的一种方法。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
89	PD	工艺开发	工程师负责开发和优化代工厂的制造工艺，确保生产流程能够达到所需的性能、良率和成本目标。
90	PDE	工艺开发工程师	致力于新工艺的开发和优化，保证芯片制造过程中使用的工艺具备更高的效率和更低的缺陷率。

91	PE	工艺工程师	工程师专注于日常制造工艺的执行、改进和优化。他们解决生产过程中出现的工艺问题，确保生产过程的高效与稳定。
92	PECVD	等离子体增强化学气相沉积	通过等离子体辅助的薄膜沉积工艺。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
93	PFC	功率因数校正	优化电能利用效率的电力电子技术。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
94	PLD	可编程逻辑器件	用户可配置的逻辑芯片（如CPLD）。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
95	PoP	堆叠封装	将多个芯片堆叠在一起封装的技术，提高集成度和性能，用于智能手机和可穿戴设备。
96	PVD	物理气相沉积	通过溅射或蒸镀沉积金属薄膜的工艺。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。

97	QFN	四方扁平 无引脚封装	一种无引脚封装，其引脚位于封装底部，适合高频、高速应用，具有较低的引脚电感和较好的热管理。
98	RCP	刚性电路封装	一种封装技术，使用刚性基板（如陶瓷、金属等）作为封装材料，通常用于高频、高温和高功率的应用场景。
99	RDL	重分布层	封装中用于信号重新布线的金属层。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
100	RF	射频	高频交流信号（3kHz-300GHz），用于无线通信。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
101	RISC-V	精简指令集 架构-V	开源处理器指令集架构。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
102	ROM	只读存储器	数据预先写入的非易失性存储器。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。

103	ROP	布线优化过程	半导体设计中的一个步骤，目的是优化芯片内部各组件之间的布线，以提高性能和减少功耗。代工厂需要根据ROP设计执行芯片生产。
104	RTA	快速热退火	一种快速加热和冷却晶圆以激活掺杂或修复晶体结构的工艺。
105	SACVD	次常压化学气相沉积	在次常压下进行的CVD工艺，用于填充高深宽比结构，如浅槽隔离（STI）和金属前绝缘层，具有良好的台阶覆盖性。
106	SAW	声表面波滤波器	利用声波滤波的射频器件。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
107	SiC	碳化硅	第三代半导体的核心材料之一，具有宽禁带、高击穿场强、高热导率等特性。其制成的器件可在高温、高频、高功率场景下稳定工作，广泛应用于新能源汽车、光伏逆变器、5G通信等领域，能显著提升能量转换效率并缩小设备体积。

108	SiC MOSFET	碳化硅金属 - 氧化物 - 半导体场效应晶体管	基于碳化硅材料的 MOSFET，具有高开关频率、低导通电阻和耐高温特性，用于新能源汽车和工业电力电子。
109	SIMD	单指令多数据	并行计算架构（如 GPU）。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
110	SiP	系统级封装	将多个芯片（可能是不同类型的芯片，如处理器、存储器、传感器等）集成在同一个封装内，以实现系统功能的一体化。
111	SLT	系统级测试	在系统环境下对芯片进行的测试，验证其在实际应用中的功能和性能，作为 FT 测试的补充。
112	SMD	表面贴装设备	一种表面贴装技术，芯片和组件直接安装在电路板的表面，而不需要通过引脚插入电路板。
113	SoC	系统级芯片	一种集成电路（IC），将计算机的多个组件集成到单个芯片上。这些组件通常包括中央处理单元（CPU）、图形处理单元（GPU）、内存、输入/输出端口以及各种其他硬件和软件功能。

114	SODIMM	小型双列直插式内存模块	DIMM 的小型化版本，体积更小，用于笔记本电脑和嵌入式设备。
115	SOI	绝缘体上硅	在绝缘衬底上制作晶体管的低功耗技术。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
116	SPC	统计过程控制	通过统计分析监控制造过程中的参数波动，及时发现异常并采取措施，确保产品质量的稳定性。
117	SPD	串行存在检测	内存模块上的 EEPROM 芯片，存储模块的详细规格信息，如时序参数和电压，帮助系统正确配置内存。
118	SPI	串行外设接口	同步串行通信协议。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
119	TAB	载带自动键合	一种半导体封装技术，用于将芯片（集成电路）连接到柔性电路带（通常是聚酰亚胺基材的载带）上，再通过载带将芯片连接到印刷电路板（PCB）或其他封装基板上。

120	TCAD	工艺计算机 辅助设计	利用计算机模拟半导体制造工艺和器件性能，优化工艺参数和设计方案，缩短研发周期。
121	TDE	测试开发 工程师	负责开发自动化测试方案和设 备，确保芯片在测试过程中能够 全面、高效地完成所有验证工 作。
122	TFET	隧道场效应 晶体管	基于量子隧穿效应的场效应晶 体管，具有超低亚阈值摆幅和低 功耗特性，用于下一代低功耗集 成电路。
123	TFT	薄膜晶体管	用于液晶显示的平面开关器件。 此技术或概念在现代电子工程 和半导体制造中扮演着重要角 色，对于理解和应用相关技术至 关重要。
124	TSE	测试支持 工程师	为芯片测试过程提供技术支持， 确保测试流程能够顺利进行，帮 助解决测试中的技术问题。
125	TSOP	薄型小外形 封装	一种表面贴装封装形式，常用于 内存和存储芯片，具有较低的外 形和高密度的引脚排列。

126	TSV	硅通孔	穿透硅片的垂直互连技术，用于3D封装。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
127	UV LED	紫外发光二极管	发射紫外光的LED，用于杀菌/固化。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
128	VCSEL	垂直腔面发射激光器	垂直于衬底发射的激光器，用于3D传感/光通信。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
129	VLSI	超大规模集成电路	集成数百万晶体管的复杂芯片。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
130	WAT	晶圆验收测试	对晶圆上测试结构的电性检测。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。

131	WB	引线键合	用金属线连接芯片与封装的传统工艺。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
132	WLCSP	晶圆级芯片尺寸封装	直接在晶圆上完成封装的小型化技术。此技术或概念在现代电子工程和半导体制造中扮演着重要角色，对于理解和应用相关技术至关重要。
133	WLP	晶圆级封装	一种封装技术，在芯片尚处于晶圆状态时进行封装，从而减少了封装尺寸和封装过程的复杂性。常用于智能手机等移动设备。
134	ZnO	氧化锌	第三代半导体材料，禁带宽度3.37eV，具有高电子迁移率和良好的光学特性，用于紫外光电子器件和传感器。

附件 6

江苏省制造业“智改数转网联”典型场景 参考指引

智能制造场景是智能工厂的核心组成部分，是指面向制造过程各个环节，通过新一代信息技术、先进制造技术的深度融合，部署高档数控机床与工业机器人、增材制造装备、智能传感与控制装备、智能检测与装配装备、智能物流与仓储装备、行业成套装备等智能制造装备，集成相应的工艺、软件等，实现具备协同和自治特征、具有特定功能和实际应用的应用。根据“十三五”以来智能制造发展情况和企业实践，结合技术创新和融合应用发展趋势，凝练总结了 3 个方面 16 个环节的 45 个智能制造典型场景，为智能工厂及智慧供应链建设提供参考。

一、生产全过程

1.计划调度环节。通过市场需求预测、产能分析、库存分析、计划排产和资源调度等，提高劳动生产率和订单达成率，可参考以下场景：

(1) 生产计划优化。构建企业资源管理系统，应用约束理论、寻优算法和专家系统等技术，实现基于采购提前期、安全库存和市场需求的生计划优化。

(2) 车间智能排产。应用高级计划排程系统（APS），集成调度机理建模、寻优算法等技术，实现基于多约束和动态扰动条件下的车间排产优化。

(3) 资源动态配置。依托制造执行系统（MES），集成大数据、运筹优化、专家系统等技术，开展基于资源匹配、绩效优化的精准派工，实现人力、设备、物料等制造资源的动态配置。

2.生产作业环节。部署智能制造装备，通过资源动态配置、工艺过程优化、协同生产作业，提高劳动生产率、降低产值成本率，可参考以下场景：

(4) 产线柔性配置。部署智能制造装备，应用模块化、成组和产线重构等技术，搭建柔性可重构产线，根据订单、工况等变化实现产线的快速调整和按需配置，实现多种产品自动化混线生产。

(5) 精益生产管理。应用六西格玛、5S管理和定置管理等精益工具和方法，开展相关信息化系统建设，实现基于数据驱动的人、机、料等精确管控，提高效率，消除浪费。

(6) 工艺动态优化。部署智能制造装备，搭建生产过程全流程一体化管控平台，应用工艺机理分析、多尺度物性表征和流程建模、机器学习等技术，动态优化调整工艺流程/参数。

(7) 先进过程控制。部署智能制造装备，依托先进过程控制系统（APC），融合工艺机理分析、多尺度物性表征和建模、实时优化和预测控制等技术，实现精准、实时和闭环的过程控制。

(8)智能协同作业。部署智能制造装备，基于 5G、TSN、边缘计算等技术建设生产现场设备控制系统，实现生产设备、检测装备、物流装备等实时控制和高效协作。

(9)人机协同制造。应用人工智能、AR/VR、新型传感等技术，提高高档数控机床、工业机器人、行业成套装备等智能制造装备与人员的交互、协作能力，实现加工、装配、分拣等生产作业的人、机自主协同。

(10)网络协同制造。建立网络协同平台，推动企业间设计、生产、管理、服务等环节紧密连接，实现基于网络的跨企业、跨地域的业务并行协同和制造资源配置优化。

3.仓储物流环节。部署智能物流与仓储装备，通过配送计划和调度优化、自动化仓储、配送管理，提高库存周转率，降低库存成本，可参考以下场景：

(11)智能仓储。建设智能仓储管理系统（WMS），应用条码、射频识别、智能传感等技术，依据实际生产作业计划，实现物料自动入库（进厂）、盘库和出库（出厂）。

(12)精准配送。集成智能仓储系统和智能物流装备，应用实时定位、机器学习等技术，实现原材料、在制品、产成品流转全程跟踪，以及物流动态调度、自动配送和路径优化。

4.设备管理环节。部署智能传感与控制装备，通过设备运行监测、故障诊断和健康管理，提升设备综合效率，降低运维成本，可参考以下场景：

(13) 在线运行监测。集成智能传感、5G、大数据分析等技术，通过自动巡检、在线运行监测等方式，判定设备运行状态，开展性能分析和异常报警，提高设备运行效率。

(14) 设备故障诊断与预测。综合运用物联网、机器学习、故障机理分析等技术，建立故障诊断和预测模型，预测故障失效模式，开展预测性维护，提高设备综合利用率。

(15) 设备运行优化。建设设备健康管理系统，基于模型对设备运行状态、工作环境等进行综合分析，调整优化设备运行参数，提高运行效率，延长设备使用寿命。

5.质量管控环节。部署智能检测装备，通过在线检测、质量分析、质量追溯和闭环优化，提高产品合格率，降低质量损失率，可参考以下场景：

(16) 智能在线检测。部署智能检测装备，融合5G、机器视觉、缺陷机理分析、物性和成分分析等技术，开展产品质量在线检测、分析、评价和预测。

(17) 质量精准追溯。建设质量管理系统（QMS），集成5G、区块链、标识解析等技术，采集并关联产品原料、设计、生产、使用等全流程质量数据，实现全生命周期质量精准追溯。

(18) 产品质量优化。依托质量管理系统（QMS）和质量知识库，集成质量机理分析、质量数据分析等技术，进行产品质量影响因素识别、缺陷分析预测和质量优化决策。

6.安全管控环节。部署安全监控和应急装备，通过安全风险识别，应急响应联动，提升本质安全，降低损失工时事

故率，可参考以下场景：

(19) 安全风险实时监测与应急处置。依托感知装置和安全生产管理系统，基于智能传感、机器视觉、特征分析、专家系统等技术，动态感知、精准识别危化品、危险环节等各类风险，实现安全事件的快速响应和智能处置。

(20) 危险作业自动化。部署智能制造装备，集成智能传感、机器视觉、特种机器人、5G 等技术，打造面向危险作业的自动化产线，实现危险作业环节的少人化、无人化。

7.能源管理环节。部署能耗采集装置，通过能耗实时采集、监测，能耗数据分析与调度优化，提高能源利用率，降低单位产值综合能耗，可参考以下场景：

(21) 能耗数据监测。基于能源管理系统(EMS)，应用智能传感、大数据、5G 等技术，开展全环节、全要素能耗数据采集、计量和可视化监测。

(22) 能效平衡与优化。应用能效优化机理分析、大数据和深度学习等技术，优化设备运行参数或工艺参数，实现关键设备、关键环节等能源综合平衡与优化调度。

8.环保管控环节。部署环保监测装置，通过排放采集与监控，排放分析与优化，降低污染物排放，减少单位产值碳排放量，可参考以下场景：

(23) 污染监测与管控。搭建环保管理平台，应用机器视觉、智能传感和大数据等技术，开展排放实时监测和污染源管理，实现全过程环保数据的采集、监控与分析优化。

(24) 碳资产与废弃物管理。开发碳资产管理平台、废弃物管理平台 and 行业成套装备，集成智能传感、物联网、区块链等技术，实现全流程的碳排放追踪、分析、核算和交易以及废弃物处置和循环再利用全过程的监控、追溯。

9.工厂建设环节。依托数字基础设施，推动工业知识软件化，加快数据流通，通过工厂数字化建模、仿真、优化和运维，提升制造系统运行效率，降低运维成本，可参考以下场景：

(25) 工厂数字化设计。应用工厂三维设计与仿真软件（CAX），集成工厂信息模型、制造系统仿真、数字孪生和AR/VR等技术，高效开展工厂规划、设计和仿真优化，实现数字化交付。

(26) 数字孪生工厂建设。应用建模仿真、多模型融合等技术，构建装备、产线、车间、工厂等不同层级的数字孪生系统，通过物理世界和虚拟空间的实时映射，实现基于模型的数字化运行和维护。

(27) 工业技术软件化应用。应用大数据、知识图谱、知识自动化等技术，将工业技术、工艺经验、制造知识和方法沉淀为数据和机理模型，进行数据化显性化，与先进制造装备相结合，建设知识库和模型库，开发各类新型工业软件，支撑业务创新。

(28) 数字基础设施集成。部署工业互联网、物联网、5G、千兆光网等新型网络基础设施，建设工业数据中心、智

能计算中心、工业互联网平台以及网络、数据、功能等各类安全系统，完善支撑数字业务运行的信息基础设施。

（29）数据治理与流通。应用云计算、大数据、隐私计算、区块链等技术，构建可信数据空间，实现企业内数据的有效治理和分析利用，推动企业间数据安全可信流通，充分释放数据价值。

二、产品全生命周期

10.产品设计环节。通过设计建模、仿真优化和虚拟验证，实现数据和模型驱动的产品设计，缩短产品研制周期，提高新产品产值贡献率，可参考以下场景：

（30）产品数字化研发与设计。应用设计、仿真软件和知识模型库，基于复杂建模、物性表征与分析、多目标优化等技术，搭建数字化协同设计环境，开展产品、配方等设计、仿真与迭代优化。

（31）虚拟试验与调试。构建虚拟试验与调试环境，面向产品功能、性能、可靠性等方面，应用数字孪生、AR/VR、知识图谱等技术，通过全虚拟仿真或者半实物半虚拟仿真，开展产品调试和测试验证，缩短验证周期，降低研发成本。

（32）数据驱动产品设计优化。集成产品设计、生产作业、售后服务等环节数据，结合人工智能、大数据等技术，探索创成式设计，持续迭代产品模型，驱动产品形态、功能和性能的创新。

11.工艺设计环节。通过工艺建模与虚拟制造验证，实现基于数字模型的工艺快速创新与验证，缩短工艺开发周期，

降低生产成本，可参考以下场景：

(33) 工艺数字化设计。应用工艺设计、仿真软件和工艺知识库，基于机理建模、物性表征和数据分析技术，建立加工、装配、检测、物流等工艺模型，进行工艺全过程仿真，预测工艺设计缺陷并优化改进。

(34) 可制造性设计。打通工艺设计、产品研发、生产作业等环节数据，结合知识模型库，全面评价与及时改进产品设计、工艺的可加工性、可装配性和可维护性等，降低制造与维护成本。

12.营销管理环节。依托数字销售渠道，通过市场与客户数据分析，精准识别需求，优化销售策略，提高人均销售额，可参考以下场景：

(35) 销售驱动业务优化。应用大数据、机器学习、知识图谱等技术，构建用户画像和需求预测模型，制定精准销售计划，动态调整设计、采购、生产、物流等方案。

(36) 大规模个性化定制。部署智能制造装备，依托产品模块化、生产柔性化等，以大批量生产的低成本、高质量和高效率提供定制化的产品和服务。

13.售后服务环节。依托智能产品，通过运行数据采集、分析，开展产品健康监控、远程运维和维护，提高顾客的服务满意率，可参考以下场景：

(37) 产品远程运维。建立产品远程运维管理平台，集成智能传感、大数据和 5G 等技术，实现基于运行数据的产品远程运维、健康监控和预测性维护。

(38) 主动客户服务。建设客户关系管理系统(CRM),集成大数据、知识图谱和自然语言处理等技术,实现客户需求分析、服务策略决策和主动式服务响应。

(39) 数据驱动服务。分析产品运行工况、维修保养、故障缺陷等数据,应用大数据、人工智能等技术,开拓专业服务、设备估值、融资租赁、资产处置等新业务,创造新价值。

三、供应链全环节

14.供应链计划环节。通过打通供应链上下游生产、仓储、物流等环节,开展供应链计划协同优化,提高供应商准时交付率,可参考以下场景:

(40) 供应链计划协同优化。应用大数据、人工智能等技术,结合市场需求预测和仓储、生产、物流等状态分析,实现采购计划、生产计划、配送计划的协同编制与同步更新。

(41) 产供销一体化。通过人工智能、云计算等技术,打通销售、生产和采购系统的业务流、数据流,实现销售、生产和采购的协同优化。

15.供应链采购与交付环节。通过供应链采购订单和交付物流的实时监控,提高供应商交付率,降低采购成本,可参考以下场景:

(42) 供应链采购动态优化。建设供应链管理系统(SCM),集成寻优算法、知识图谱、5G 等技术,实现采购订单的精准跟踪、可视化监控和采购方案动态优化。

(43) 供应链智能配送与动态优化。依托运输管理系统，应用实时定位、人工智能等技术，实现运输配送全程跟踪和异常预警、装载能力和配送路径优化。

16.供应链服务环节。通过供应链上下游数据采集与分析，精细化管理供应商，预测供应链风险并动态响应，确保订单交付，可参考以下场景：

(44) 供应商数字化管理。建立供应商管理系统(SRM)，集成大数据、知识图谱等技术，实现供应商数据管理以及基于数据分析的供应商评价、分级分类、供应商寻源、优选推荐。

(45) 供应链风险预警与弹性管控。建立供应链管理系统，集成知识图谱、云计算等技术，开展供应链风险隐患识别、定位、预警和高效处置。