

# SiC 功率半导体研究报告

## 引言：

20 世纪五十年代，第一代硅基半导体的横空出世向世界宣告着属于集成电路的新时代的到来，此后半导体科技以日新月异的速度迅猛发展，著名的摩尔定律如是骄傲的宣布，“集成电路上可以容纳的晶体管数目在大约每经过 18 个月便会增加一倍（即处理器的性能每隔两年翻一倍）”。而随着科技的车轮不断向前滚动，第二，三代半导体也相继问世，但第二代半导体由于其严重的污染而难以推广。而自 21 世纪以来，第三代主要以 GaN 或 SiC 为材料的半导体逐步登上历史舞台，第三代半导体呈现的诸多性质都显著优于第一代半导体，这让人们大为惊叹。毫无疑问，第三代半导体将会是未来很长时间内的发展潮流，而属于新兴产业的第三代半导体也将是中国打破美国对于半导体市场的垄断最有希望的破局之处。

## 观点汇总：

### 1. 政策面：国家政策大力支持，半导体国产替代破局在即

国家政策引领叠加地方政策优惠，半导体行业踏入发展快车道，而作为新兴产业的第三代半导体行业则成为最有可能率先实现国产替代的前沿科技之一。

### 2. 功率半导体行业大趋势：应用场景逐步释放，新兴产业发展下行业迎来发展良机，应用需求催生技术更迭稳步迈进

5G 基站建设的持续推进，新能源汽车行业迅猛发展以及碳中和的宏伟目标均为功率半导体创造了旺盛的市场需求，在此背景下，市场对于可以在三高（高温、高频、高功率）情况下工作的功率半导体需求越来越迫切。

### 3. 细分行业具体分析：SiC 虽成本较高但性能优异，发展进程方兴未艾

第三代半导体材料如 SiC、GaN 等具有更宽的禁带宽度、更高的导热率、更高的抗辐射能力、更大的电子饱和漂移速率等特性，可以应用于更加极端的场合并且能充分减少使用过程中的各类损耗。由其制成的产品具有强大的功率处理能力、较高的开关频率、更高的电压驱动能力、更小的尺寸、更高的效率和更高速的散热能力，先天性能优越。但由于氮化镓在材料端制备环节仍存在较大技术难度，当前具备大规模量产条件的第三代半导体功率器件仅有碳化硅。

### 4. SiC 半导体未来展望：SiC 材料成本有望逐步下降，市场应用前景可期

随着技术持续进步，SiC 预期将于未来五年内下降到一代半导体材料的 3-5 倍，由此具有的较高的性价比将使 SiC 逐步抢占更多的市场份额，市场应用前景可期。

## 国家政策汇总：

第三代半导体材料行业是我国重点鼓励发展的产业，是支撑经济社会发展和保障国家安全的战略性和基础性产业。“十三五”时期以来，国家层面的政府部门发布了多项关于半导体行业、半导体材料行业的支持、引导政策，这些鼓励政策涉及减免企业税负、加大资金支持力度、建立产业研发技术体系等等：

时间	发布部门	政策	政策要点
2020-07	国务院	《新时期促进集成电路产业和软件产业高质量发展若干政策》	国家鼓励的集成电路设计、装备、材料、封装、测试企业和软件企业，自获利年度起，第一年至第二年免征企业所得税，第三年至第五年按照 25% 的法定税率减半征收企业所得税。
2019-12	工信部	《重点新材料首批次应用示范指导目录（2019 年版）》	推荐材料：氮化镓单晶衬底、功率器件用氮化镓外延片、碳化硅外延片、碳化硅单晶衬底、碳化硅陶瓷膜过滤材料、立方碳化硅微粉、氮化铝陶瓷粉体及基板等。
2019-10	发改委	《产业结构调整指导目录（2019 年本）》	“第一类鼓励类”：半导体、光电子器件、新型电子元器件（片式元器件、电力电子器件、光电子器件、敏感元器件及传感器、新型机电元件、高频微波印制电路板、高速通信电路板、柔性电路板、高性能覆铜板等）等电子产品用材料。
2019-06	发改委、商务部	《鼓励外商投资产业目录（2019 年版）》	支持引进 SiC 超细粉体，高纯超细氧化铝微粉，高纯氮化铝（AlN）粉体等精密高性能陶瓷原料外资生产企业。
2019-05	财政部、税务总局	《关于集成电路设计和软件产业企业所得税政策的公告》	依法成立且符合条件的集成电路设计企业和软件企业，在 2018 年 12 月 31 日前自获利年度起计算优惠期，第一年至第二年免征企业所得税，第三年至第五年按照 25% 的法定税率减半征收企业所得税，并享受至期满为止。
2018-07	工信部、发改委	《扩大和升级信息消费三年行动计划（2018-2020 年）》	各地工业和信息化、发展改革主管部门要进一步落实鼓励软件和集成电路产业发展的若干政策，加大现有支持中小微企业税收政策落实力度。
2018-06	工信部	《智能传感器产业三年行动指南（2017-2019 年）》	总目标提出：涵盖智能传感器模拟与数字/数字与模拟转换（AD/DA）、专用集成电路（ASIC）、软件算法等的软硬件集成能力大幅提升。
2017-04	科技部	《“十三五”材料领域科技创新专项规划》	在总体目标、指标体系、发展重点等各方面均提出要大力发展第三代半导体材料。
2017-01	工信部、发改委	《信息产业发展指南》	加紧布局超越“摩尔定律”相关领域，推动特色工艺生产线建设和第三代化合物半导体产品开发，加速新材料、新结构、新工艺创新

资料来源：前瞻产业研究院整理

@前瞻经济学人APP

2021 年两会发布《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》，提出需要集中优势资源攻关多领域关键核心技术，其中集成电路领域包括集成电路设计工具开发、重点装备和高纯靶材开发，集成电路先进工艺和绝缘栅双极晶体管（IGBT）、微机电系统（MEMS）等特色工艺突破，先进存储技术升级，**碳化硅、氮化镓等宽禁带半导体发展**。

除了国家层面的支持政策外，我国地方各级政府也进一步支持第三代半导体产业的发展，支持的方面包括集群培育、科研奖励、人才培养以及项目招商等，各地通过政策将实质性的人、财、物资源注入，推动着各地产业集聚加速：

图表4：2019-2020年中国第三代半导体材料行业政策规划汇总(地方层面)(一)

时间	政策	政策要点
北京市	《关于促进中关村顺义园第三代半导体等前沿半导体产业创新发展的若干措施》	一是支持第三代半导体等先进半导体企业开展新型器件设计以及衬底、外延、器件、模组、工艺线等制造环节辅助材料和关键核心设备的研发及成果转化，进一步提升关键环节核心器件、材料和制造装备的自主可控能力；二是支持企业投资新建大尺寸半导体工艺、材料、设备生产线。
上海市	《中国（上海）自由贸易试验区临港新片区促进产业发展若干政策和集聚发展集成电路、人工智能、生物医药、航空航天产业若干措施》	对集成电路装备及材料类企业，年度销售收入首次突破5000万元、1亿元、5亿元、10亿元的，经认定后分别给予最高不超过200万元、800万元、1200万元、1500万元的一次性奖励，每上一个台阶奖励一次、实施晋档补差。
广州市	《广州市加快发展集成电路产业发展的若干措施》	重点在智能传感器、功率半导体、逻辑、光电器件、混合信号、射频电路等领域，大力引进国内外骨干企业布局建设2-3条12英寸集成电路制造生产线，支持建设第三代半导体生产线，尽快形成产能规模。
深圳市	《深圳市进一步推动集成电路产业发展行动计划》	1) 大力引进境内外技术领先的第三代半导体企业，支持其建设射频器件和电力电子器件生产线，并形成配套材料和封装能力； 2) 鼓励通信设备、新能源汽车、电源系统等领域企业推广试用第三代半导体产品，提升系统和整机产品的竞争力； 3) 实施第三代半导体培育工程：重点引进第三代半导体射频通信器件、电力电子器件、光电器件的设计、制造、材料龙头企业和高层次创新团队。
济南市	《济南支持宽禁带半导体产业加快发展的若干政策》	支持济南高新区发展宽禁带半导体产业，聚焦发展金刚石等宽禁带半导体材料，加强规划策划，加快引进一批宽禁带半导体芯片和功率器件等重大项目。
西安市	《西安市现代产业布局规划》	1) 发展重点：重点突破碳化硅（SiC）、氮化镓（GaN）等第三代宽禁带半导体用新型电子材料关键技术等。 2) 发展布局：以高新区为核心，打造光电能源新材料产业集群，重点发展新一代硅基半导体材料、化合物半导体材料等。

资料来源：前瞻产业研究院整理

© 前瞻经济学人APP

图表5：2019-2020年中国第三代半导体材料行业政策规划汇总(地方层面)(二)

时间	政策	政策要点
长沙市	《长沙市加快新一代半导体和集成电路产业发展若干政策》	结合长沙产业发展实际，本政策主要支持集成电路设计和设备、第三代半导体、功率半导体器件及集成电路的行业融合应用；明确产业专项资金和基金，计划每年列支3亿元专项用于产业发展，基金规模可根据产业需求增至100亿元。
成都市	《成都市人民政府办公厅关于促进电子信息产业高质量发展的实施意见》	打造国内领先的化合物半导体产业链。构建基于射频微波、功率等特色领域的化合物半导体产业链。优化 GaAs/GaN 生产工艺制程，培育一批骨干设计企业，积极引进配套封测企业和设计企业，研发量产 5G 中高频芯片、器件，超前布局太赫兹芯片。
江西省	《京九（江西）电子信息产业带发展规划》	依托南昌光谷基础，以硅衬底 LED 技术为主线，积极发展蓝宝石、碳化硅衬底 LED 产品。
山西省	《山西省加快推进数字经济发展实施意见和若干政策》	围绕 5G、电力电子、LED 等关键应用，重点支持太原碳化硅、氮化镓第三代半导体、红外探测芯片，忻州砷化镓第二代半导体，长治深紫外半导体等光电半导体产业发展。
浙江省	《浙江省加快新材料产业发展行动计划（2019-2022 年）》	重点发展电子级多晶硅、200 毫米和 300 毫米单晶硅片、大尺寸碳化硅单晶、氮化镓晶片等先进半导体材料。
福州市	《关于加快培育一批产业基地打造新经济增长点的意见》	培育发展具有自主知识产权的高端光电子芯片、光电子器件产品，抢抓发展机遇，拓宽应用领域，引领光电子产业发展，重点引进第三代半导体、人工智能芯片以及芯片封装测试项目。
厦门市	《加快发展集成电路产业实施细则》	鼓励在厦门新建（扩建）的集成电路生产线（项目）、化合物半导体器件制造、模块、外延片生产项目（企业）、微机电系统（MEMS）、功率半导体器件和特色工艺项目（企业）。

资料来源：前瞻产业研究院整理

@前瞻经济学人APP

国家大基金以合资或者直接投资的方式直接扶持半导体行业的发展。

大基金一期主要投向半导体产业中游，包括制造、设计、封测的行业龙头企业，成效显著。2015 年我国集成电路销售额为 3610 亿元，同比增 19.7%，完成目标，2016-2017 年也维持了 20%以上的增速，发展势头良好。同时我国在晶圆制造、特色工艺、晶圆封装与关键设备和材料等领域也取得了累累硕果，第一阶段的目标基本完成。

大基金二期将更多投向上游和下游，瞄准设备、材料等薄弱环节的细分龙头企业。投资风格也更加灵活多变，不仅投资行业龙头企业，还会与龙头企业共同投资设立合资子公司。

## 热门市场应用前景分析：

### 1.1 新能源汽车

2021Q1 新能源汽车板块共计实现营收 1211.88 亿元，同比增长 98.97%；共计实现归母净利润 72.30 亿元，同比大增 251.12%。从营业收入以及归母净利润的变化趋势可以看出，行业在政策共振+供需两端持续催化的背景下，整个行业的基本面保持了高速增长和持续修复的态势，营收、利润的双增长成为板块的主

旋律。

“双碳”目标下，行业将迎来强确定性的高速发展期。新能源汽车产业溢出效应明显，带动了投资、就业和税收快速增长，改善我国内需消费的疲软的颓势，成为中国经济增长新动力、新引擎。

未来，随着补贴政策的逐步退出，顶层规划+新版双积分政策有望接棒补贴政策，大力推进新能源汽车产业发展。新能源汽车行业导向将由政策驱动向市场驱动过渡，促进整个产业链实现长期的供需良性循环。新能源汽车渗透率逐步提升，行业将迎来快速发展，相较于目前几倍的成长空间。

而正在迅速增长的新能源汽车行业对于电控模组与快速充电桩的大量需求，也将成为未来功率半导体最重要的增量市场，也是功率半导体技术更迭的强大推动力。

## 1.2 光伏产业

全球变暖引发世界各地加大对环境问题的重视，“碳”耗带来的“二氧化碳”排放是全球变暖的最主要原因。为抑制全球进一步变暖和自然灾害的频发，世界各地开始提倡“碳中和”理念，目的是在于减少碳排放量，实现绿色化发展。化石燃料发电产生的碳排放量大，截止 2019 年底，全球燃烧化石燃料产生的 CO2 排放量高达 368 亿吨，各国为减少碳排放量，开始利用新能源发电，如光伏发电、风电和水电等。由于中国的光照资源充足，因此中国政府大力倡导发展光伏发电行业。中国累计和新增光伏装机容量均位居世界第一，占比 34.96%，遥遥领先其他国家。现阶段，中国新增光伏装机主要在华北地区（28.5%）、西北地区（21.6%）、华东地区（17.5%）、华南地区（15.7%）、华中地区（11.6%）、以及东北地区（5.1%）。根据头豹分析师测算，中国光伏发电行业将有望于 2025 年达到 805.2GW 的规模。

而由功率半导体组成的光伏逆变器作为光伏发电设备中重要的组成部分之一，也将在这新能源的蓬勃发展的时代得到越来越多的重视。

## 1.3 5G 基站建设

2020 年 1 月 28-29 日，全国工业和信息化工作会议在京召开。回顾“十三五”，会议指出，2016-2019 年，我国数字经济规模年均增长 16.6%，由 22.6 万亿元增至 35.8 万亿元，占 GDP 比重达到 36.2%。同时，我国 5G 产业整体实力跻身全球高端。展望“十四五”，会议指出要强产业链供应链自主可控能力，加快制造业高端化智能化绿色化发展，构建新型信息基础设施及应用生态。此外，工信部部长肖亚庆表示，2021 年将新建 5G 基站 60 万个以上，要以 5G 建设为牵引，统筹部署数据中心和算力设施，同时聚焦 10 个重点行业，形成 20 大典型工业应用场景，开展工业 5G 专网试点，并适时发布部分频段 5G 毫米波频率规划。

而 5G 基站中的射频装置与变频装置主要由功率半导体组成，也带来了功率半导体重要的机遇。

## 功率半导体简介

### 2 简介：定义与主要应用方向

功率半导体包括两部分：功率器件和功率 IC，其中功率器件是功率半导体分立器件的简称，而功率 IC 则是将功率半导体分立器件与驱动/控制/保护/接口/监测等外围电路集成而来。

功率半导体器件又被称为电力电子器件，是电力电子技术的基础，也是构成电力电子变换装置的核心器件。

所有的功率半导体器件都具有处理高电压、大电流的能力，主要用于有**大功率处理需求**的电力设备的**电能变换和控制电路**方面，比如：变频、变压、变流、功率管理，电压处理范围从几十V到几千V，电流能力最高可达几千A。

### 3 技术发展历史沿革

20世纪50年代，功率二极管、功率三极管面世并主要用于工业和电力系统，因此当年的功率半导体又被称为电力电子器件。20世纪60至70年代，晶闸管等功率器件快速发展。20世纪70年代末，平面型功率MOSFET发展起来。20世纪80年代后期，沟槽型功率MOSFET和IGBT逐步面世，此时二极管和晶闸管技术越来越成熟，附加值逐渐变低，国际大厂产能开始向以功率MOSFET、IGBT为代表的功率半导体器件迅速转移，功率半导体正式进入电子应用时代。截至目前，MOSFET和IGBT都还是最主要、价值含量最高、技术壁垒较高的功率器件。但近年来，不断有机构预估以SiC、GaN为代表的第三代半导体材料将站上未来功率半导体主流舞台。

(MOSFET和IGBT属于电压控制型开关器件，相比于功率三极管、晶闸管等电流控制型开关器件，具有易于驱动、开关速度快、损耗低等特点)



### 4 市场估测概述

2018年，根据Omdia数据显示，功率半导体细分市场中功率IC占比超过50%，预计未来增速为6.6%；分立器件占比约35%，增速为2.2%；模组占比15%，增速为5.4%。

功率器件及模组市场中，MOSFET、IGBT和双极晶体管是最主要的三个细分市场，合计占比超过90%。其中随着上述几大热门市场的推动，MOSFET和IGBT发展迅速。

据WSTS数据，MOSFET和IGBT分别占据全球功率半导体分立器件和模组市场41%和30%的市场份额，为价值量最大的两个品种。

我国MOSFET和IGBT行业增速远高于世界水平。全球功率MOSFET市场增速为7.6%，中国增速为15%；全球IGBT市场增速为8.9%，中国增速为14%。

### 5 目前主流技术路线及其主要应用分析

MOSFET，高频开关，功率器件最大市场，一种可以广泛使用在类比电路与数位电路的场效应晶体管

MOS (Metal Oxide Semiconductor 金属氧化物半导体)，FET (Field Effect Transistor 场效应晶体管)，即以金属层 (M) 的栅极隔着氧化层 (O) 利用电场的效应来控制半导

体 (S) 的场效应晶体管。

功率 MOSFET 器件工作速度快, 故障率低, 开关损耗小, 扩展性好。适合低压、大电流的环境, 要求的工作频率高于其他功率器件。其应用范围覆盖电源、变频器、CPU 及显卡、通讯、汽车电子等多个领域, MOSFET 采用 IDM 模式更具竞争力。

MOSFET 经历了 3 次器件结构上的技术革新: 沟槽型、超级结、Insulated Field Plates。每一次器件结构的发化, 在技术指标上产品性能得到飞跃, 大幅拓宽产品的应用领域。IGBT: 电力电子装置的“CPU”

IGBT 是 Insulated Gate Bipolar Transistor 的缩写, 即绝缘栅双极型晶体管, 是一种大功率的电力电子器件, 是能源变换和传输的核心器件, 可以理解为“非通即断”的开关, 主要用于变频逆变和其他逆变电路, 将直流电压逆变成频率可调的交流电, 俗称电力电子装置的“CPU”。

从 20 世纪 80 年代至今, IGBT 芯片经历了 6 代升级, 从平面穿通型 (PT) 到沟槽型电场一截止型 (FS-Trench), 芯片面积、饱和压降、关断时间、功率损耗等各项指标经历了不断的优化, 断态电压也从 600V 提高到 6500V 以上。

MOSFET 与 IGBT 区别

MOSFET 特点为高电流 (超 KA) 与高频率 (几百 KHZ, 上 MHz, 以至几十 MHz), 但耐压较弱

IGBT 特点为功率, 电流, 电压都可很大, 但频率较低

MOSFET 应用于开关电源, 镇流器, 高频感应加热, 高频逆变焊机, 通信电源等等高频电源领域;

IGBT 集中应用于焊机, 逆变器, 变频器, 电镀电解电源, 超音频感应加热等领域

损耗方面:

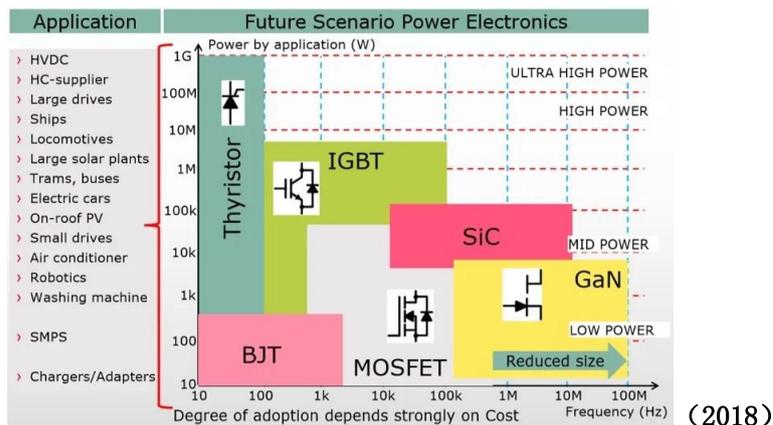
三个主要功率开关损耗—导通损耗、传导损耗和关断损耗是决定使用何种半导体的关键因素之一 (电路拓扑、工作频率、环境温度和物理尺寸是另外的因素)

在具有最小 Eon 损耗的 ZVS 和 ZCS 应用中, MOSFET 由于具有较快的开关速度和较少的关断损耗, 因此能够在较高频率下工作。对硬开关应用而言, MOSFET 寄生二极管的恢复特性可能是个缺点。相反, 由于 IGBT 组合封装内的二极管与特定应用匹配, 极佳的软恢复二极管可与更高速的 SMPS 器件相配合。

### 所有技术路线对比:

功率半导体器件	常用器件类型	优势	劣势	应用领域
功率分立器件	功率二极管	结构和原理简单, 工作可靠	电压电流容量小, 开关频率不高	工业和电力系统
	晶闸管	承受电压和电流容量在所有器件中最高	电路结构上必须设置关断电路, 使电路结构变复杂、增加成本、限制在较高频率下的应用。	
	IGBT	开关速度快, 开关损耗小, 具有耐脉冲电流冲击的能力, 通态压降较低, 输入阻抗高, 为电压驱动, 驱动功率小	开关速度低于电力 MOSFET, 电压、电流容量不及 GTO	计算机、通信、消费电子、汽车电子为代表的 4C 行业
	GTR	耐压高, 电流大, 开关特性好, 通流能力强, 饱和压降低	开关速度低, 电流驱动, 所需驱动功率大, 驱动电路复杂, 存在二次击穿问题	
	GTO	电压、电流容量大, 适用于大功率场合, 具有电导调制效应, 其通流能力很强	电流关断增益很小, 关断时门极负脉冲电流大, 开关速度低, 驱动功率大, 驱动电路复杂, 开关频率低	
	MOSFET	开关速度快, 输入阻抗高, 热稳定性好, 所需驱动功率小且驱动电路简单, 工作频率高, 不存在二次击穿问题	电流容量小, 耐压低, 一般只适用于功率不超过 10kW 的电力电子装置	
	功率 IC	体积小、重量轻、引出线和焊接点少、可靠性高、性能好、成本低, 便于大规模生产	电流容量小, 耐压低, 一般只适用于功率不超过 10kW 的电力电子装置	电子产品
	功率模组	功率半导体模块可根据封装的元器件的不同, 实现不同功能	成本高, 对散热、可靠性等需求高, 封装结构需特殊设计	电子产品

### 所有技术路线其性能与应用领域划分:



## 6 主流技术路线应用中局限与未来新趋势：

MOSFET 局限：电流容量小，耐压低，多用于射频领域，无法适用高压情景

IGBT 局限：开关速度较低而电荷存储效应较强，导致空穴迁移率较高，进而造成在开关开闭时会产生较强的反向恢复电流，造成了极大的功率损耗。

在此基础上，为解决产业对于高频率，高电流，高耐压的“三高”需求，以 SiC 为代表的第三代半导体应运而生，虽然其在如今仍然由于 10 倍于第一代半导体的价格而仅在局部高端市场得到应用，但在不久的将来，随着技术的发展逐步降低制备 SiC 新材料的成本，SiC 必将逐步占据大部分领域的市场份额。

（不同材料特性对比如下）

特性	Si	4H-SiC	GaAs	GaN	用途
结晶结构	钻石	六万晶系	闪锌矿	六万晶系	
能量间隙	1.12	3.26 接近三倍	1.43	3.5	高温工作，发光波长
电子迁移率	1400	900	8500	1250	高频率元器件
空穴迁移率	600	100	400	200	
击穿场强	0.3	3 10倍	0.4	3	
热导率	1.5	4.9 超过三倍	0.5	1.3	功率元器件
饱和漂移速度	1	2.7 接近三倍	2	2.7	高散热特性
相对介电常数	11.8	9.7	12.8	9.5	高频率器件
p、n控制	○	○	○	△	

### 细分市场 SiC 半导体分析：

目前 Si 材料在半导体行业中占据 95%以上半导体器件和 99%集成电路的体量，仍占主流。然而，随着 5G 时代的到来，工业 4.0 和汽车电动化的继续推进，对功率器件在开关频率、散热、抗压性能等方面都提出了新的挑战和要求，传统 Si 功率器件瓶颈凸显。

#### 1. 材料简介——先天性能优越的第三代半导体材料

同第一代半导体材料硅(Si)、锗(Ge)和第二代半导体材料砷化镓(GaAs)、磷化铟(InP)相比，第三代半导体材料碳化硅(SiC)因禁带宽度大(3.2 eV，约 3 倍于硅基材料)、临界击穿电场强度高(10 倍于硅基材料)、电子饱和迁移速率大(2 倍于硅基材料)、电子密度高、热导率高(3 倍于硅基材料)、介电常数低，具备高频高效、耐高压、耐高温、抗辐射能力强以及化学性质稳定等诸多优越性能，因而能制备出在高温下运行稳定，在高电压、高频率等极端环境下更为稳定的半导体器件，可以满足现代电子技

术对高温、高功率、高压、高频以及抗辐射等恶劣条件的新要求

	第一代	第二代	第三代	
名称	硅	砷化镓	碳化硅	氮化镓
元素	IV族	III-V族	IV-IV族	III-V族
频率	<2GHz	<100GHz	<4.5GHz	<60GHz
亮度	弱	强	强	强
耗电量	大	小	小	小
高频噪声	很大	很小	很小	很小
晶片尺寸	成熟制程：8"；先进制程：12"	成熟制程：6"	成熟制程：4"6"	成熟制程：4"6"
良率	高	低	低	低
发展现状	价格便宜，前期已有较多研发投入	需要进一步研发，取得应用突破	需要进一步研发，取得应用突破	需要进一步研发，取得应用突破
应用	主流的IC芯片、功率器件	高频IC芯片或光电产品	通讯用大功率芯片或大功率器件	光电产品或通讯用大功率芯片
终端产品	CPU、内存、其他IC芯片	无线、基站、天线、LED	大功率分立器件	基站、天线等

## 2. 材料主要应用场景——SiC MOSFET

SiC 在功率器件领域已经在 SiC MOSFET 与 SiC SBD 两个方向上得到了市场的认可从而获得了大规模的应用。但 SBD 由于其局限的应用场景多用于 TTL 集成电路，而 TTL 集成电路又在除高速计算机以外的领域为能耗更低的 COMS 所取代，故在目前看来其应用市场主要取决于 SiC MOSFET 的推广程度。

## 3. 产品优势——SiC MOSFET 市场扩大的内在逻辑

SiC MOSFET 主要用于逐步取代部分对于频率要求较高的 IGBT 市场，SiC 的优势加之与 MOSFET 型晶体管的使用相结合，使得新型全 SiC 功率器件能够在比同类 Si IGBT 尺寸小的器件中，实现高得多的电压和电流操作。而且与双极结型晶体管相比，这些 SiC 器件能够提供比 Si IGBT 低得多（约 5 倍）的开关损耗。因此，SiC 器件的开关速度可以设置为超出（通常为 10-50 kHz）Si IGBT 极限开关速度的几倍。与 Si IGBT 相比，SiC 器件的导通损耗更低，在轻负载下也可以实现更高效率。SiC MOSFET 在继承了硅基 MOSFET 的开关特性优异的特点时，因材料特性提升了耐压能力，可处理大功率电力需求并实现高速开关，从在耐大功率、高频率的全控型器件方面对 Si IGBT 产品定位实现对标。

**1.1 在新能源汽车领域**，由于新应用对电源模块的需求越来越大，加之对已有应用的升级改造，所以对于增强电源模块的性能和技术能力存在着创新的机会。传统的电源模块由 Si IGBT 组成，已经存在了数十年。它们具有特定的封装形态，且这些 Si IGBT 功率模块的构造特征主导了人们对功率密度和构造限制的普遍预期。但是，随着针对 SiC 进行了优化的新型电源模块的出现，这些标准和看法需要进行调整。最新的 SiC 晶体管是采用 SiC 半导体开发的，其带隙电压几乎是 Si 的 3 倍，临界场达 10 倍以上、热导率超过 5 倍，且整个功率器件的品质因数远超 Si 的能力。

汽车领域相较于其他应用来说，更多的要求会表现在可靠性上，对于参数上的要求，更多表现在需求端，如：适应更高电压平台的高耐压器件、更低的导通电阻、更高的开关频率等。汽车的电动化在为了提升整车续航里程以及各项性能，在三电系统上对功率器件特别是 SiC-MOS 和 IGBT 的需求日益增加。为了减少能量转换过程中的功率损耗，对功率器件本身的特性需求主要表现为高压化，高频化，高效化。对于 Si 基开关器件来说，很难同时满足高耐压和高频开关，但对于 SiC 基开关器件，使用更适合高频开关的结构，结合材料本身高耐压的特点，可较为轻松的实现上述目标。

**1.2 在 5G 基站建设领域**，射频芯片市场正在向高功率、高频率不断演进，5G 产品大多具备高功率、高压、高温等特性，传统的硅（Si）原料因无法克服在高压、高频中的损耗，所以已无法满足新世代的科技需求，这使得碳化硅（SiC）开始崭露头角。

-5G 建设的利好，更多表现在对于更多更高效电源产品的需求，比如：数量更多、

功率等级更高的 5G 宏基站电源，户外使用的分布式设备供电单元。对于 SiC 二极管，MOSFET 都有需求。

-在 5G 通信中，除了基带单元之外，还有被称为“远程无线电头（RRH）”的单元，这种单元在每个基带单元上都会附有几个，负责转换 RF 信号等。由于“远程无线电头（RRH）”中配备了大量通信用的阵列天线，因此用来放大功率的传感器放大器 and 用来进行高级控制的电流检测用分流电阻器等通用产品的需求日益增长。

-此外，在基带单元中，对先进的功率元器件和模拟元器件的需求与日俱增。尽管各国所使用的频段各不相同，但与 4G 通信相比，5G 通信通常是在高频段进行的，因此业内正在研究能够高效率且高频工作的 SiC 和 GaN 等功率元器件的应用。另外，基带单元的设计中，通过电源部分的设计来节能的做法增加。这是因为 5G 通信的基站比 4G 通信多，尤其需要减少基站外围的功耗。

（基带单元：基带单元（BBU）是电信系统的基带处理单元。BBU 具有模块化设计的优势，体积小巧、集成度高、功耗低且易于部署。典型的无线基站由基带处理单元（BBU）和射频处理单元（远端射频单元 - RRU=RRH）组成。BBU 放置在机房，通过光纤与 RRU 连接。BBU 负责通过物理接口进行通信。）

**1.3 在光伏领域**，近年来，光伏电池组件和逆变器的成本不断降低，光伏发电已经成为了世界各国政府和能源专家的关注重点。光伏逆变器各个层面上的技术研究在目前都已经达到相当成熟的地步。为了进一步降低逆变器的成本和提升逆变器的性能，对于开关器件上的改进和创新是必然的发展趋势。以硅（Si）作为主要材料的功率半导体器件在大型光伏电站并网逆变器中使用广泛，但由于受到自身材料的限制，Si 器件的性能已接近极限。

而在材料简介中所述，碳化硅（SiC）在太阳能发电应用中比硅具有多种优势，SiC 既可以处理比硅更高的电压，又可以确保高转换效率所需的超高转换频率，因此实现了双赢。而 SiC 的导热系数也是硅的三倍，可以在更高的温度下运行。这些优势在太阳能转换效率更高的功率升压电路中发挥了重要作用。该电路设计为使太阳能电池阵列的输出阻抗（随入射光的水平而变化）与逆变器所需的输入阻抗相匹配，以实现最佳的转换。在此电路中可以用 SiC 等效替代硅 MOSFET，这为设计人员提供了更多的开关频率选择，从而进一步提高了电路的转换效率和功率密度。

尽管目前碳化硅在同类基础上可能比硅产品更贵（如果可以使用硅替代产品），但它们在系统内的良好性能可以带来总成本的节省，例如散热成本，面积成本等。而且可以有效提高发电效率，如果部署 SiC 可以提高 2%的效率，那将产生额外的 10GW 电能。

#### 4. 材料局限性

但碳化硅作为一种新兴材料，其相关工艺尚未完全成熟，而其材料的未来市场价值也由于其成本也存在着一定隐忧

##### 技术：

由于目前大多数 SiC 器件的封装还是沿用传统 IGBT 的封装，在散热和寄生参数上并不能让 SiC 的性能得到充分发挥。包括 ROHM 在内，业界也在不断寻找更适合第三代半导体 SiC 的新封装工艺，比如银烧结技术，双面散热封装或者耐热性能更高的封装材料等

此外掺杂工艺有特殊要求，欧姆接触的制作，配套材料的耐温等或大或小的问题还未得到彻底解决。还有碳化硅半导体表面挖槽工艺、终端钝化工艺、栅氧层的界面态对碳化

硅 MOSFET 器件的长期稳定性影响方面，行业中还有没有达成一致的结论等，影响了碳化硅功率器件的快速发展。

#### 材料:

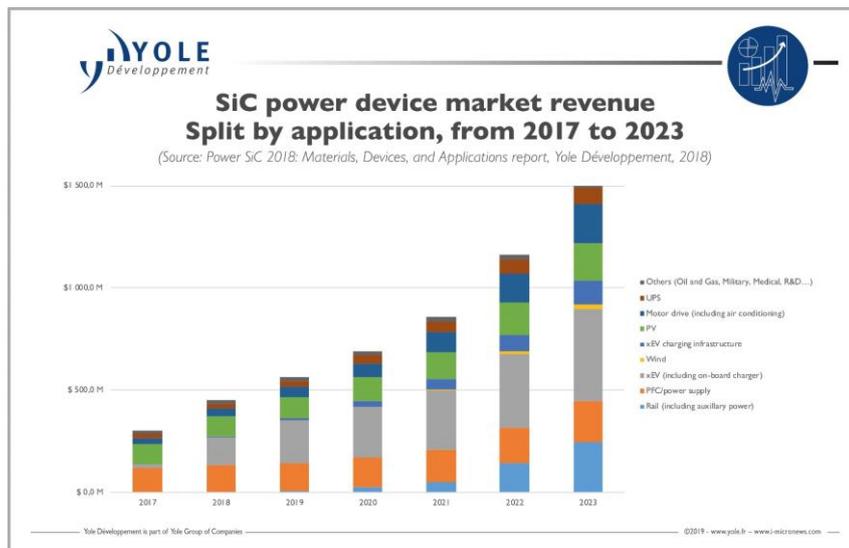
在部分逻辑器件上 SiC 相对于第一代半导体材料硅并无任何性价比优势。根据华安证券研报数据显示，目前碳化硅行业发展的瓶颈主要在于碳化硅衬底成本高达硅的 4-5 倍，预计未来 3-4 年价格会逐渐降为硅的 2 倍。

但与此同时，相较于 SiC 的发展，GaN 功率元件虽然是个后进者，是一种拥有类似于 SiC 性能优势的宽能隙材料，但拥有更大的成本控制潜力，尤其是高功率的硅基 GaN 由于具有更大输出功率与更快作业频率，已被看好可取代硅元件成为下一世代的功率元件。由于 SiC 与 GaN 同属于第三代半导体同一赛道中较为成熟的技术，目前市场上，SiC 在持续发展的同时，也面临着被竞争材料所取代的隐忧。

#### 5. SiC 功率半导体市场份额估计:

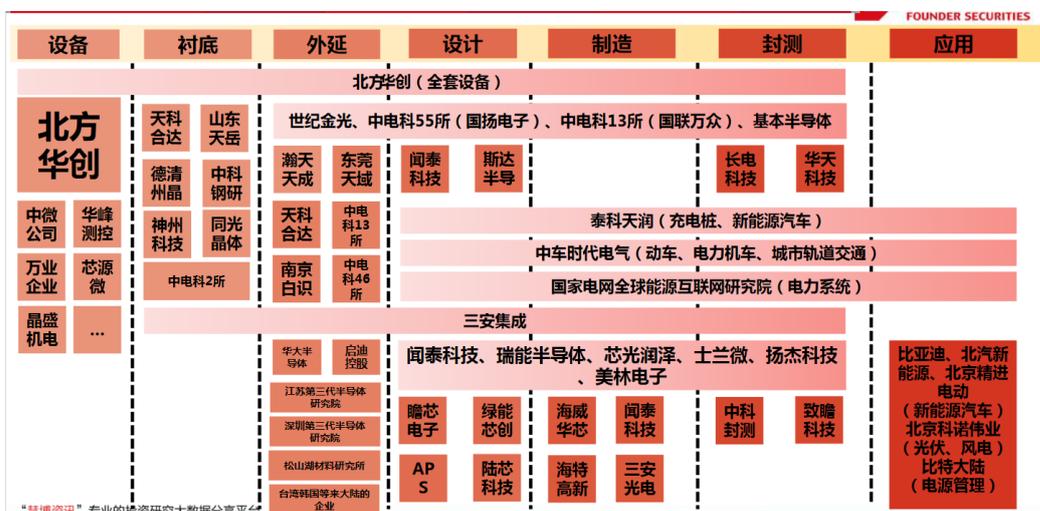
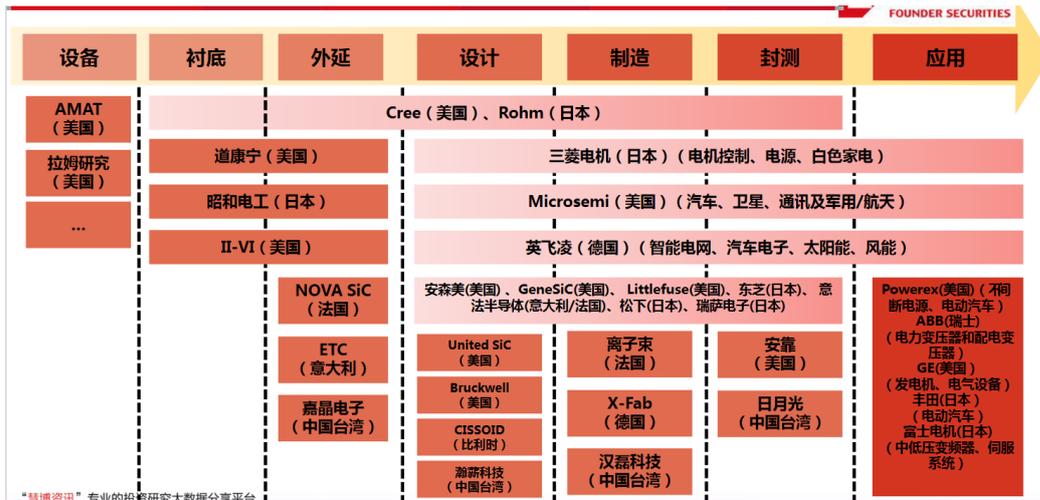
根据 Omdia 的《2020 年 SiC 和 GaN 功率半导体报告》，到 2020 年底，全球 SiC 和 GaN 功率半导体的销售收入预计将从 2018 年的 5.71 亿美元增至 8.54 亿美元。未来十年的年均两位数增长率，到 2029 年将超过 50 亿美元。

YOLE 的 2018 年 SiC 发展报告显示，随着越来越多的应用以惊人的速度增长，更快速、更高效地开发电力系统的需求，比以往任何时候都更迫切（参见下图）。对可再生能源系统、电动汽车、火车/轨道交通、更高效电网系统（包括电能存储）以及使数据中心和关键电气系统保持无缝运行的不间断电源（UPS）的需求，每年都在以两位数增长。



#### SiC 半导体制造产业链分析:

据前文分析，SiC 功率器件市场渗透率较低，增速较快，目前行业内企业还处于跑马圈地阶段，市场竞争格局存在不确定性，国内厂商有望在未来的增量市场中获得一定份额。目前全球的 SiC 产业格局呈现美国、欧洲、日本三足鼎立态势。SiC 产业链分为三大环节，与传统半导体产业链相一致，分别为上游的 SiC 晶片和外延；中游的功率器件制造（设计、制造、封装）；以及下游在工业控制、新能源车、光伏风电等领域的应用。美国在 SiC 晶片产量上全球独大，Cree 一家市占率高达 6 成；欧洲拥有完整的 SiC 产业链和英飞凌等老牌企业；日本是在设备和模块开収新面拥有领先地位。



1. 上游：衬底外延制造

SiC 产品种类如下，其中半绝缘性 SiC 材料主要用于制造 GaN HEMT，暂时不予考虑

图表 2：碳化硅产品类型

产品类别	产品图示	下游产品与应用
碳化硅晶片 导电型		作为衬底材料，经过外延生长、器件制造、封装测试，制成碳化硅二极管、碳化硅 MOSFET 等功率器件，适用于高温、高压等工作环境，应用于新能源汽车、光伏发电、轨道交通、智能电网、航空航天等领域
半绝缘型		作为衬底材料，经过外延生长、器件制造、封装测试，制成 HEMT 等微波射频器件，适用于高频、高温等工作环境，主要应用于 5G 通讯、卫星、雷达等领域
其他碳化硅产品	籽晶 	和所需碳化硅单晶晶片具有相同晶体结构的“种子”晶片，用于生长碳化硅晶体
	晶体 	可以用于加工碳化硅晶片、设备研发与测试使用，其中半绝缘型碳化硅晶体可用于制造莫桑石宝石、人工莫桑钻饰品

资料来源：天科合达招股说明书

### 相关企业简要分析：

上游晶片衬底基本被美国和日本的厂商垄断，国内厂商初具规模。Cree（美国）、Rohm（日本）具备从 SiC 衬底-外延-器件-模块的全产业链垂直供应体系。美国的 Cree、II-VI 和日本 Rohm 旗下的 Si Crystal 合计占据了全球 SiC 晶片 90% 的出货量。国内 SiC 晶片山东天岳和天科合达已经能供应 2-6 英寸的单晶衬底；外延片方面，厦门瀚天天成与东莞天域可生产 2-6 英寸 SiC 外延片。

项目	CREE	II-VI	SiCrystal	山东天岳	天科合达
4 英寸晶片	成功研制并规模化生产	成功研制并规模化生产	成功研制并规模化生产	成功研制并规模化生产	成功研制并规模化生产
6 英寸晶片	2012 年全球首次成功研制并规模化生产	成功研制并规模化生产	成功研制并规模化生产	成功研制，2019 年宣布产线建设计划	2014 年国内首次成功研制，已规模化生产
8 英寸晶片	成功研制，2019 年宣布产线建设计划	2015 年全球首次成功研制，2019 年宣布产线建设计划	未披露	未披露	2020 年启动研发

资料来源：天科合达招股、粤开证券研究院

### 典型企业介绍

#### 山东天岳

1、半绝缘 SIC 片的领军企业：公司成立于 2010 年，专注于碳化硅晶体衬底材料的生产；公司产品主要在半绝缘型的 SIC 片。公司投资建成了第三代半导体材料产业化基地，具备研发、生产国际先进水平的半导体衬底材料的软硬件条件，是我国第三代半导体衬底材料行业的先进企业。

2、成长能力：据了解，公司收入从 2018 年收入 1.1 亿左右增加至 2019 年超过 2.5 亿总收入（其中也有约一半是 SIC 衍生产品宝石等），同比增长 100% 以上。公司的 SIC 片主要集中在半绝缘型，而天科合达主要集中在导电型。

3、华为入股：华为旗下的哈勃科技投资持股山东天岳 8.17%。

4、生产能力（公司采用的是长晶炉的数量进行表征）：山东天岳的产能主要由长晶炉的数量决定，2019 年产线上长晶炉接近 250 台，销售衬底约 2.5 万片，预计年底前再购置一批长晶炉，目标增加至 550 台以上；

5、销售价格：2018、2019 年公司衬底平均销售价格大数大约在 6300 元/片、8900 元/片，预计今年的平均价格将会突破 9000 元，价格变动的主要原因是 2,3 寸小尺寸衬底、N 型等相对低价的衬底销售占比逐步降低，高值的 4 寸高纯半绝缘产品占比逐步提升导致单位售价提高。

6、技术实力：山东天岳的碳化硅技术起源于山东大学晶体国家重点实验室，公司于 2011 年购买了该实验室蒋明华院士专利，并投入了大量研发，历经多年工艺积累，将碳化硅衬底从实验室的技术发展成为了产业化技术；山东天岳除 30 人的研发团队外，还在海外设有 6 个联合研发中心；公司拥有专利近 300 项，其中发明专利约 50 多项，先进实用性专利约 220 项，申请中的发明专利约 50 多项。

## 2. 中游：半导体设计与制造——设计环节难度较低，多采用 IDM 模式延长价值链

功率半导体的核心环节不在于设计，而是在于材料选择、晶圆制造、封装和模组集成。鉴于功率半导体的长寿命、高稳定性特点，设计环节难点更多的是需要结合材料的物理化学性质对单个器件进行参数设计、调整和性能改良。

而功率分立器件前道加工价值占比 40%以上，制造难点在于晶圆减薄、沟槽工艺、应力控制、高剂量离子注入和激光退火等。

### 相关企业简要分析：

中游器件及模组制造商中，Cree、Rohm、英飞凌、ST 合计占据了超过 70%的市场份额，国内企业包括切入 SiC 器件领域的传统功率器件厂商，如闻泰科技、华润微、捷捷微电、扬杰科技、新洁能；SiC 器件厂商泰科天润等；以及切入 SiC 领域功率半导体企业，如斯达半导和未上市的比亚迪半导体、中车时代半导体；另外，还有第三代半导体全产业链布局的三安光电。

### 典型企业介绍

斯达半导

1、斯达半导 97.5%的收入均是 IGBT，是功率半导体已上市公司中最纯正的 IGBT 标的，2019 收入 7.8 亿（yoy+15.4%），归母净利润 1.35（yoy+39.8%），IGBT 模块全球市占率 2%，排名全球第八；

2、公司在未来重点攻关技术研发与开发计划：

主要提到三项重要产品开发：1、全系列 FS-Trench 型 IGBT 芯片的研发；2、新一代 IGBT 芯片的研发；3、SiC、GaN 等前沿功率半导体产品的研发、设计及规模化生产：公司将坚持科技创新，不断完善功率半导体产业布局，在大力推广常规 IGBT 模块的同时，依靠自身的专业技术，积极布局宽禁带半导体模块（SiC 模块、GaN 模块），不断丰富自身产品种类，加强自身竞争力，进一步巩固自身行业地位。

3、公司和宇通客车等客户合作研发 SiC 车用模块

2020 年 6 月 5 日，客车行业规模领先的宇通客车宣布，其新能源技术团队正在采用斯达半导和 CREE 合作开发的 1200V SiC 功率模块，开发业界领先的高效率电机控制系统，各方共同推进 SiC 逆变器在新能源大巴领域的商业化应用。

宇通方面表示，“斯达和 CREE 在 SiC 方面的努力和创新，与宇通电机控制器高端化的产品发展路线不谋而合，同时也践行了宇通“为美好出行”的发展理念，相信三方在 SiC 方面的合作一定会硕果累累。”

图表 31 斯达官网中的 SiC 模块



数据来源: 斯达半导官网, 华安证券研究所

在之前发布的斯达半导深度报告中测算斯达在不同SiC渗透率和不同SiC市占率情境下2025年收入弹性,中性预计2025年斯达在国内的SiC器件市占率为6-8%。预计2023-2024年国内SiC产业链如山东天岳、三安光电等更加成熟后, SiC将迎来替代IGBT拐点,但是IGBT和SiC MOS等也将长期共存,相信国内的技术领先优质的IGBT龙头斯达半导能够不断储备相关技术和产品,积极拥抱迎接这一行业创新。

3. **下游: 芯片封测**——封测行业高景气度预期将长期持续,且国内技术较为成熟分立器件后道价值量占比约35%,发展趋势是向小型化、高功率、高能量效率演进。分立器件行业是非常成熟的,行业特点和需求是低成本、大量可选择产品供应商、经验证高度标准化的产品和技术,包括封装技术。封装市场增长和规模是有多个变量影响的,包括需求演变、晶片尺寸、封装类型和互联方式,大趋势是晶片尺寸缩小。根据Yole预测,分立器件封装市场2018-2024年CAGR为1.1%,预计2024年达37亿美元。封装技术演进主要反映在电气互联方面,Cu-Clip键合逐渐取代传统的引线和铝条带键合,封装互联市场复合增速预计为2.5%。功率模块后道加工价值量占比超过40%,封装及组装是功率模块最核心的环节。

#### 相关企业简要分析:

国内主要封测厂2021年资本开支计划相比2020年都有较大增长,但是上游设备产能限制了实际产能的扩张进度,被动延长了景气周期;并且海外封测厂资本开支增长远低于国内。我们认为2021年年底之前封测厂产能利用率将持续位于高位,而相关公司的业绩也将持续表现亮眼,预计毛利率也将创下新高。

在封测产业中,国内厂商长电科技、华天科技和通富微电分别排在第3、第7和第8,同时三家厂商仍在扩充产能。

#### 典型企业:

##### 通富微电

通富微电子股份有限公司成立于1997年10月,专业从事集成电路封装测试,是中国前三大集成电路封测企业。公司2015年以37,060万美元收购著名的微处理器与图形处理器设计AMD旗下两家子公司85%股权,本次收购标的为AMD中国所持有AMD苏州85%股权,以及AMD马来西亚所持有的AMD槟城85%股权。AMD苏州、槟城两厂主要从事高端集成电路封测业务,主要产品包括CPU(中央处理器)、GPU(图形处理器)、APU(加速处理器)以及Gaming Console Chip(游戏主机处理器)等,封装形式包括FCBGA、FCPGA、FCLGA以及MCM等,先进封装产品占比100%。通过该收购,通富微电实现了两厂先进的倒装芯片封测技术和公司原有技术互补的目的,公司先进封装销售收入占比也因此超过



了七成。通富微电目前的封装技术包括 Bumping、WLCSP、FC、BGA、SiP 等先进封测技术，QFN、QFP、SO 等传统封装技术以及汽车电子产品、MEMS 等封装技术；测试技术包括圆片测试、系统测试等。

公司总部位于江苏南通崇川区，拥有总部工厂、南通通富、合肥通富、苏州通富超威、马来西亚通富超威（槟城）、厦门通富六大生产基地。

汽车电子领跑原有封测业务。公司较早切入汽车电子产品封测领域，经过十多年的积累，已经具备独特的产品技术工艺和大规模生产能力。公司的汽车电子产品以发动机的点火模块、引擎的控制单元、控制电路、霍尔传感器、加速度传感器等为主。

收购苏州、槟城两厂，从供应 AMD 到 OSAT 的华丽转身。两厂先进的倒装芯片封测技术和公司原有技术相辅相成，将公司先进封装销售收入占比提升至 70%以上，助力公司成为国产先进封测领先企业。预计未来两厂将转型为 OSAT，面向广阔市场，为其他第三方客户提供封测服务，发展前景可期。

物联网和 5G 时代，频段增加导致芯片需要更复杂的封装方案，大基站变成小基站、毫米波促使 GaN 市场年增速达到 25%、5G 大规模天线阵列需要更多的天线及射频模块，这些需求都给半导体及封装带来新的市场。尤其值得关注的是，5G 需要更多的射频元件，将带来巨大的射频市场。