



半导体 专题 报告

—国产第三代半导体公司的发展现状研究—

目录

一、第三代半导体概述

（一）三代半导体材料各有所长	P1
（二）各国推动第三代半导体产业发展	P3
（三）第三代半导体产业概况	P6

二、SiC 半导体公司发展现状

（一）山东天岳 / 天科合达	P9
（二）瀚天天成 / 东莞天域	P12
（三）泰科天润 / 三安光电 / 华润微	P15

三、GaN 半导体公司发展现状

（一）苏州纳维	P21
（二）晶湛半导体	P22
（三）英诺赛科 / 能华微电子	P24
（四）苏州能讯	P26
（五）华灿光电	P27

一、 第三代半导体概述

（一）三代半导体材料各有所长

半导体，是一类导电能力介于导体与绝缘体之间的材料。其发展至今，主要经历了三代。

第一代半导体材料，以硅（Si）和锗（Ge）等元素半导体为代表，奠定了微电子产业的基础。尤其是Si，因其储量丰富（随处可见的沙子，其主要成分就是二氧化硅 SiO_2 ），且制备、生产工艺都相当成熟，目前仍是半导体材料领域的主流，其典型应用是集成电路（Integrated Circuit, IC），主要应用于低压、低频、低功率晶体管和探测器。在未来一段时间，Si材料的主导地位仍将存在。但Si材料的物理性质限制了其在高压和高频电子器件上的应用。

第二代半导体材料是化合物半导体材料，如砷化镓（GaAs）、磷化铟（InP）属于二元化合物半导体材料；如砷镓铟（InGaAs）这种属于三元化合物半导体材料。除此之外还有例如Ge-Si、GaAs-GaP这种的固溶体半导体材料；非晶态半导体材料也就是玻璃半导体材料，例如非晶硅、玻璃态氧化物半导体材料等。第二代半导体材料具有发光效率高、电子迁移率高、适于在较高温度和其它条件恶劣的环境中工作等特点，主要被用来制作发光电子、高频、高速以及大功率器件，在制作高性能微波、毫米波器件方面是绝佳的材料。由于互联网和信息高速公路的相继兴起，第二代半导体材料还被广泛应用在移动、卫星通讯和光通信以及GPS导航等领域。但第二代半导体材料也有着明显的弊端。禁带宽度虽然比第一代半导体材料大，但击穿电压仍旧不够高，在高温、高功率的情况下应用，效果并不理想。另外，GaAs的源材料有毒，对环境不够友好，制备过程中的风险偏高。

第三代半导体材料又被称为宽禁带半导体材料。主要包括碳化硅（SiC）、氮化镓（GaN）、金刚石等。目前其主要在半导体照明、激光器和探测器、电力电子器件等领域应用。相比于第一、二代半导体材料，第三代半导体材料的物理特性方面优势十分明显，比如禁带宽度大、较高的热导率、较高的击穿电场以及更高的抗辐射能力等等优点，其具体表现为：

1、可在高频段工作。工作频率高是第三代半导体材料器件的最大特性，最早被应用的第三代半导体材料器件包括 SiC 高频和短波器件，目前应用市场已成熟，同时 SiC 器件也适用于极端的工作环境。42GHz 的 SiC CMESFET 在军用雷达和通信领域的应用成为各国角逐的领域。

2、可在较高温度下工作。耐热性方面，Si、GaAs 材料的功率器件极限温度是 200℃左右，而 SiC 和 GaN 均可在温度更高的环境中正常工作，这样即可保证高温环境下工作的稳定性，又能缩小或省去冷却机构。如在宇宙飞船上，为使器件的温度降至 Si 器件的许用温度 125℃，就必须配备冷却系统，如果器件能在 325℃下工作，除掉冷却系统就可使飞船的体积缩小 50%以上。

3、实现高效率的能源传输与利用。传统的硅基材料不能提供较低的导通电阻，在进行电力传输或转移的过程中会造成能量的大量损耗，而 SiC 元件则可以避免这样的损耗。SiC 元件具备高导热特性，材料又有宽能隙、耐高压和承受大电流的特性，可以降低导通时的损耗，更符合高温作业环境和高能效利用的要求。

4、有助于产品实现小型化。使用 SiC 和 GaN 材料制备的功率元器件具备高速开关动作和耐热性较高两个特性，开关频率越高，构成电力转换器的电感器等

何谓宽禁带半导体：

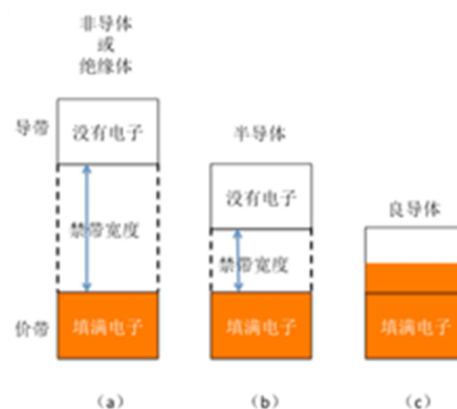
单个原子中电子绕原子核运动，它们只能在特定的、分立的轨道上运动，各个轨道上的电子具有分立的能量，这些能量值即为能级。如果许多原子靠得很近，电子同时受其他原子核的影响，原来单个原子中每个允许的能级分裂成多个与原来能级很接近的新能级，这些新能级离得很近，几乎可以把它看作是连续的，这就形成了“能带”。

不同的能带之间可以有能量间隔，在其中电子无法处于稳定状态，这个能级禁区被称为“禁带”。

正常情况下，电子按能量从低到高填入每个能带。0K 时，内层电子所对应的能带被填满（满带），被电子填充的能量最高的能带称为“价带”，未被电子填充的能量最低的能带称为“导带”。

对于半导体而言，0K 时，价带被电子填满，而导带则是空的，此时无法导电。当电子获得能量，被激发跃迁到导带后，就能导电。我们关注的禁带，是导带和价带之间的那条，禁带宽度指的是导带底和价带顶之间的能量差。硅的禁带宽度为 1.12 电子伏特（eV），而宽禁带半导体材料是指禁带宽度在 2.3eV 及以上的半导体材料。

*对于绝缘体，其禁带宽度太大，电子无法进入导带。对于导体，导带和价带直接重合，不需要跃迁就能导电。



部件实现小型化就越容易。另外，耐高温、电能利用率高也是电力转换器小型化的必要条件。

目前，在混合动力汽车、电力机车、供电系统、光伏发电系统的功率调节器、空调、个人电脑等领域会将 Si 二极管和 IGBT（绝缘栅双极晶体管）等用作功率元件。SiC 和 GaN 因其优异性能，会逐步替换上述领域中所使用的功率器件。在行业未来的发展中，SiC 和 GaN 在功率器件、微波器件等方面将得到极为广泛的应用。

与 SiC 和 GaN 相比，金刚石、氧化锌（ZnO）等材料尚处于研发阶段。以金刚石为例，其禁带宽度达 5.45eV，热导率是已知半导体材料中最高的，因而是一种极具有优势的半导体材料，可以满足未来大功率、强电场和抗辐射等方面的需求，是制作功率半导体器件的理想材料。在智能电网、轨道交通等领域有着广阔的应用前景。近年来，从材料生长、器件结构、器件工艺等方面，金刚石的研发都有很大的进展，这都为金刚石早日得到真正市场应用开启了新的契机。但是金刚石目前距离实现商业应用仍有较大距离。材料的高成本和小尺寸是制约金刚石功率电子学发展的主要障碍。此外，我国虽然已经做了大量的探索性研究工作，但是与先进国家相比还有巨大差距，主要表现在：关键工艺设备依赖进口，没有自主知识产权，容易遭到国外封锁；单晶金刚石衬底无法在国内稳定获取；没有先进的大尺寸单晶金刚石薄膜的生长工艺等。

需要注意的是，第一代、第二代、第三代半导体之间不是迭代关系，它们的应用场景有交叉，但不完全重合。第一代半导体应用场景十分广泛，从尖端的 CPU、GPU、存储芯片，再到各种充电器中的功率器件都可以做。虽然在某些领域的性能方面表现不佳，但还有性价比助其占据市场。第二代半导体主要应用领域为光电子、微电子、微波功率器件等。第三代半导体主要应用领域为功率器件（又称电力电子器件）、光电子器件、射频器件。

（二）各国推动第三代半导体产业发展

1、发达国家加紧部署第三代半导体产业

2010 年代，第三代半导体材料及应用进入爆发式增长期。发达国家纷纷将第三代半导体材料列入国家计划，并展开全面战略部署，欲抢占战略制高点。试举

几例：欧洲于 2010 年启动了产学研项目“LAST POWER”，由意法半导体公司牵头，协同来自意大利、德国等六个欧洲国家的私营企业、大学和公共研究中心，联合攻关 SiC 和 GaN 的关键技术。项目通过研发高性价比且高可靠性的 SiC 和 GaN 功率电子技术，使欧洲跻身于世界高能效功率芯片研究与商用的最前沿；2013 年，日本建立了“下一代功率半导体封装技术开发联盟”，由大阪大学牵头，协同罗姆、三菱电机、松下电器等 18 家从事 SiC 和 GaN 材料、器件以及应用技术开发及产业化的知名企业、大学和研究中心，共同开发适应 SiC 和 GaN 等下一代功率半导体特点的先进封装技术；日本内阁府于 2014 年 5 月开始在其“战略性创新创造计划”（SIP）内推行“下一代电力电子研究开发计划”，计划周期为 2014 年~2018 年，主要目的是以下一代材料（SiC、GaN）为中心，提高电力电子的性能，扩大其用途及普及程度，进一步推进节能，强化日本在该领域的产业竞争力；2014 年初，美国总统奥巴马宣布成立“下一代功率电子技术国家制造业创新中心”，期望通过加强第三代半导体技术的研发和产业化，使美国占领下一代功率电子产业这个正出现的规模最大、发展最快的新兴市场，并为美国创造出一大批高收入就业岗位。

随着全球贸易摩擦持续和以美国为主导的逆全球化浪潮加剧，半导体作为信息产业的基石，近两年来一直是各国贸易战的焦点。由此，2020 年发达国家均不约而同将半导体技术和产业上升到国家安全战略层面，考虑以国家级力量进行技术研发、产业链发展、原材料、生产制造等多维度、全方位的部署抢占制高点。

据不完全统计，2002 年~2019 年，美国共计出台了 23 项第三代半导体相关的规划政策，总投入经费超过 22 亿美元。2020 年全年，虽然美国并未正式出台相关政策，但对外持续阻断华为、中兴等企业的供应链，通过贸易禁令逼迫欧洲第三代半导体企业停止向中国供货，对内不断提升半导体和微电子领域的优先级，并提案以空前力度进行技术研发和产业化扶持，本年度相关提案涉及的经费超过 480 亿美元。美国参议院议员提出的《为芯片生产创造有益的激励措施法案》旨在资助美国政府机构运行的芯片制造项目，涉及经费超 230 亿美元，具体措施包含对产业化项目的资助、对研发的资金支持等。《2020 美国晶圆代工法案（AFA, The American Foundries Act Of 2020）》提出了五项振兴美国本土芯片产业的措施，涉及经费 250 亿美元。美国半导体行业协会（SIA）和半导体研究公司（SRC）联合发布《半导体十年计划》报告，呼吁美国政府在未来十年内增加两倍的联邦拨款（即每年增加 34 亿美元）用于半导体研究。

2020 年，欧盟 24 个国家中有 17 个国家联合发布了《欧洲处理器和半导体科技计划联合声明》，宣布了未来 2-3 年内对半导体领域的投入将达到 1450 亿欧元。英国“脱欧”后也积极布局半导体技术和产业发展。英国国防部发布了《2020 年科技战略》报告，提出为了避免落后于竞争对手，英国必须通过发展科学技术，抓住机遇，先发制人，从根本上提高对当前和未来技术的认识，集中精力应对国防领域面临的重大且持久的挑战。随后英国学术界和工业界共同发布了《低损耗电子材料路线图》，为英国 SiC、GaN 等宽禁带半导体材料以及 Ga₂O₃、金刚石、AlN 等超宽禁带半导体材料的发展路径指明了方向。

日韩半导体产业之争刺激了韩国政府大力培育本土产业链。韩国于 2020 年 6 月，抛出万亿韩元半导体振兴计划，从 2020 年到 2029 年在系统级芯片（SoC）领域投资总计 1 万亿韩元（约 59 亿元人民币）；2022 年 4 月，韩国还将正式推出其由国内半导体企业、大学、研究所等组成的“新一代晶体工程部”，以应对碳化硅（SiC）、氮化镓（GaN）、氧化镓（Ga₂O₃）等迅速增长的全球功率半导体市场。。日本大力巩固第三代半导体领域技术优势，日本经产省准备资助日企和大学围绕 GaN 材料部署研发项目，预计 2021 年拨款 2030 万美元，未来 5 年斥资 8560 万美元。

2、我国政策推动引导和扶持第三代半导体产业

我国一直高度重视第三代半导体的研究和开发。2013 年，科技部在“863 计划”新材料技术领域项目征集指南中明确将第三代半导体材料及应用列为重要内容。2015 年 5 月，国务院发布《中国制造 2025》，新材料在《中国制造 2025》重点领域技术路线图中是十大重点领域之一，其中第三代半导体被列入关键战略材料发展重点。同样是 5 月，中国建立第三代半导体材料及应用联合创新基地，抢占第三代半导体战略新高地，还与荷兰代尔夫特理工大学签订战略合作协议，标志着该基地引进国际优势创新资源、汇聚全球创新创业人才取得新进展。

2016 年，我国启动了“十三五”国家重点研发计划“战略性先进电子材料”重点专项，第三代半导体材料与半导体照明作为重点专项中最重要的研究领域，部署了 11 个研究方向，并在 2016 年和 2017 年分两批启动；同年，国务院印发《“十三五”国家科技创新规划》，发布面向 2030 年的 6 项重大科技项目和 9 项重大工程，将第三代半导体作为重点新材料研发及应用重大工程的重要部分。

2017 年 2 月，国家新材料产业发展专家咨询委员会成立，作为战略性新兴产业和实现节能减排的重要抓手；4 月，科技部发布《“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；6 月，第三代半导体产业技术创新战略联盟牵头组织编制了第三代半导体版块实施方案。

之后几年，陆续有国家级的扶持政策发布。2019 年，国家级的战略《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》明确要求长三角区域加快培育布局第三代半导体产业，推动制造业高质量发展；2020 年 7 月，国务院发布《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的通知》（国发〔2020〕8 号），在财税、投融资、研究开发、进出口、人才、知识产权、市场应用、国际合作等八个方面出台鼓励引导性政策。为进一步优化我国集成电路产业和软件产业发展环境，深化产业国际合作，提升产业创新能力和发展质量。政策突出强调了关键核心技术攻关新型举国体制，同时也强调了构建全链条覆盖的关键核心技术研发布局。第三代半导体企业均可享受相关政策优惠；2021 年 3 月，《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》（“十四五”规划）发布，提出在事关国家安全和全局的基础核心领域，制定实施战略性科学计划和科学工程。瞄准人工智能、量子信息、集成电路、生命健康、脑科学、生物育种、空天科技、深地深海等前沿领域，实施一批具有前瞻性、战略性的国家重大科技项目。“十四五”规划中，将碳化硅、氮化镓等宽禁带半导体发展列入集成电路领域的组成部分。

此外，国务院、工信部、发改委、财政部、税务总局、证监会等国家部委也都先后从产业发展、科研管理、税收政策、知识产权转移、资产证券化、对台合作等多方面出台政策，全方位支持集成电路及相关产业发展。

（三）第三代半导体产业概况

2020 年，尽管新冠疫情对全球产业造成冲击，但半导体市场实现了强劲的增长。据美国半导体行业协会数据显示，全球半导体 2020 年市场规模达到 4400 亿美元，同比增长 6.8%。新冠疫情居家办公推动了对手机、计算机、云基础设施的需求，拉动半导体市场增长。但同时，新冠疫情给汽车半导体带来消极影响，汽车半导体产能不足叠加汽车电动化对半导体需求增加的双重影响，造成全球汽

车半导体芯片短缺。以 SiC 和 GaN 为代表的第三代半导体在新能源汽车、5G、光伏发电、PD 快充等领域不断取得突破，2020 年全球第三代半导体市场总体保持增长态势。

根据 Yole 和 Omdia 数据显示，到 2020 年底，碳化硅（SiC）和氮化镓（GaN）功率半导体的全球市场将增长到 8.54 亿美元，SiC 电力电子市场规模约为 7.03 亿美元，GaN 电力电子市场规模约为 1.51 亿美元。到 2025 年 SiC 电力电子市场规模将超过 30 亿美元，GaN 电力电子器件市场规模将超过 6.8 亿美元。综合 Yole、IHS、Gartner 等分析机构数据及调研反馈，2020 年全球功率半导体器件市场规模约为 180~200 亿美元，SiC、GaN 电力电子器件渗透率约为 4.2%~4.5%，较 2019 年提升一个百分点。Yole 2020 年数据显示，2020-2025 年全球 GaN 射频器件的总体市场将以 12% 的年均复合增长率（CAGR）从 8.3 亿美元增长至超过 20 亿美元。

新冠疫情对国内半导体产业的影响总体可控，但产业增速有所放缓。而国际情况不容乐观，国外疫情对国内半导体产业的影响可能后续会逐渐显现，国际供应链的影响间接导致国内出现供应不足情况，尽管出现内部供应链需求增加，整个产业可以借此维持继续扩张，但半导体产业增速普遍放缓。

第三代半导体方面，受益国内疫情防控得力，经济全面回暖，政策市场双重利好，以及国际贸易摩擦带来的替代机遇，电力电子和射频电子维持增长趋势，但半导体照明受国内外环境影响，整体略有下滑。2020 年，我国第三代半导体产业整体总产值超过 7098.6 亿元。

尽管受 COVID-19 及国际贸易战影响，但国内疫情在第二季度开始逐步缓解，企业复工复产步入正轨，半导体鼓励政策频出，5G、新能源汽车等市场加速开启，第三代半导体电力电子和微波射频方向保持高速增长态势。此外，中美贸易战、日韩贸易战引发了国内应用龙头企业对供应链安全风险思考，给国产第三代半导体材料器件带来了试用、验证、替代的良机，进一步推动了国内第三代半导体产业的发展。

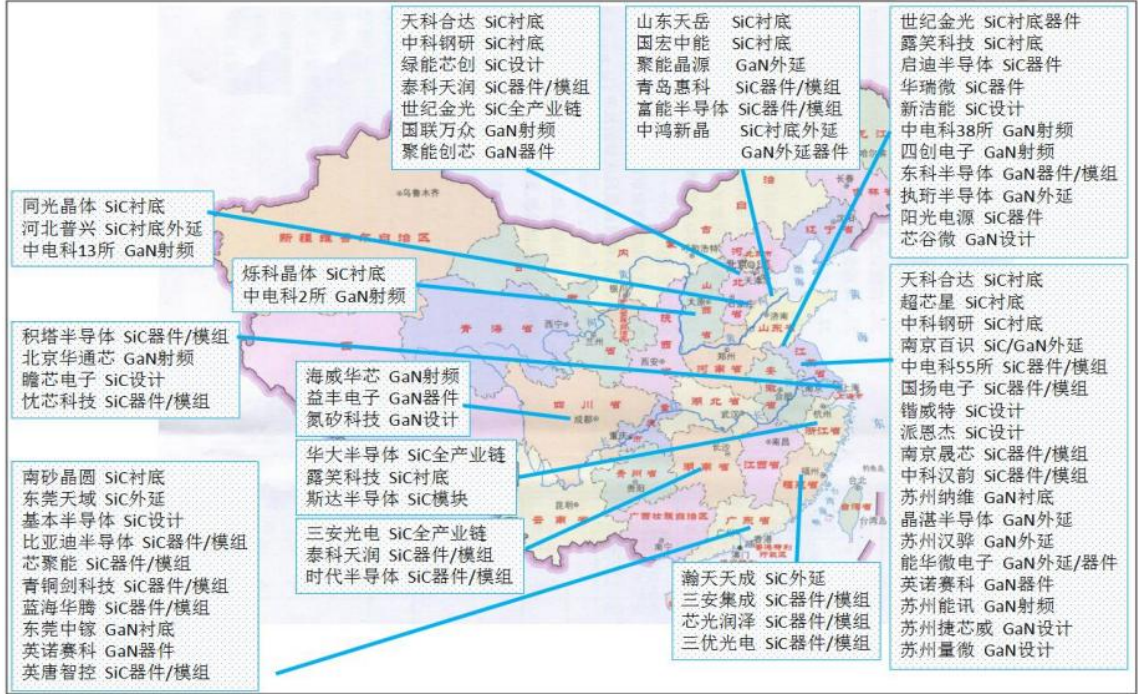
从产业链角度来看，第三代半导体产业链环节主要包括上游材料的制备（衬底、外延片），中游的器件设计、制造、封测，以及下游的应用。从器件类型来说，第三代半导体主要用于制造功率器件（又称电力电子器件）、光电子器件、

射频器件。其应用场景则涵盖了 5G 基站、新能源汽车充电桩、大数据中心、工业互联网、特高压、城际高速铁路和城际轨道交通等，是“新基建”的关键核心器件，也能够有力助推“碳达峰、碳中和”目标的实现。

目前，全球第三代半导体仍然由美日欧企业主导。据 Yole 数据显示，Cree | Wolfspeed、ROHM、Infineon、Mitsubishi 和 ST 五家企业合计占有 SiC 功率半导体 80% 的市场份额，EPC、Transphorm、GaN system、Infineon 四家企业合计占有 GaN 功率半导体 90% 的市场份额，住友电工、Cree | Wolfspeed 和 Qorvo 三家企业合计占有 GaN 射频 85% 的市场份额。

国内，经过几年的发展，国内第三代半导体产业已经开始由“导入期”向“成长期”过渡，商业技术逐步稳定、价格接近甜蜜点、应用示范效应拉动，各市场渐次开启，带来需求高速增长。而供给方面，企业数量持续增加，产线加快建设，供应链开始逐步成型，产业链自主可控能力增强。据 CASA Research 不完全统计，2018 年国内从事第三代半导体电力电子和微波射频的企业不足 100 家，而截至 2020 年底，这个数字已经超过了 170 家，基本形成完整的产业链结构。

图 1 2020 年我国第三代半导体企业分布地图



数据来源：CASA Research

企业数量增加的同时，国内主流企业在产业、产品和市场等多方面加强布局。其中尤以产能扩充为主要特征，天科合达、同光晶体、纳维科技、泰科天润、中电科 55 所、三安光电、世纪金光、基本半导体、英诺赛科等纷纷扩产，预示着国内第三代半导体产业开始进入扩张期。而贸易战加速了国产替代的进程，以华为为代表的企业调整供应链，国内企业获得了试用、改进的机会，国产器件逐渐导入终端产品供应链。国内第三代半导体企业抓住发展机遇，主动与下游应用企业开展合作，推动国产器件的快速应用。

与此同时，传统半导体企业依托资金、技术、渠道以及商业模式的优势，积极布局第三代半导体，谋求更多的利润增长点，代表企业有华润微、闻泰科技、斯达半导体、比亚迪、赛微电子、露笑科技、新洁能等。

整体来看，我国第三代半导体供应链的自主保障能力得到增强，但国内企业的市场竞争力较国际巨头仍有差距。一方面，与国际企业相比，我国第三代半导体产业规模仍然较小，企业优势不明显。另一方面，国内同类企业之间在技术、产品、市场等方面的差距在加大，但仍未出现具有绝对优势的龙头企业，竞争格局仍未成型。

二、 SiC 半导体公司发展现状

（一）山东天岳 / 天科合达

山东天岳、天科合达都是国内从事 SiC 衬底研发、生产、销售的公司。属于 SiC 产业链的上游。

SiC 衬底，就是将碳化硅晶体通过整形加工、切片加工、晶片研磨、抛光、检测、清洗等一系列机加工工序制成得到透明或半透明、无损伤层、低粗糙度的 SiC 衬底。衬底的制造是生产 SiC 器件当中最核心的环节：首先技术壁垒非常高，

难度远远大于硅片衬底的生产；其次 SiC 衬底也是 SiC 器件生产过程中价值量最大的环节，占到整个产业链 5 成的价值比重。

目前国际上 6 英寸 SiC 衬底产品实现商用化，主流几大厂家均推出 8 英寸衬底样品，预计 5 年内 8 英寸将全面商用。目前国外从事 SiC 单晶生长研究的企业主要包括美国的 Cree | Wolfspeed, Dowcorning、II-VI；德国的 SiCrystal（被日本 ROHM 收购）；瑞典的 Okmetic；日本的 Showa Denko。Cree | Wolfspeed、II-VI 等国际龙头企业已开始投资建设 8 英寸 SiC 晶片生产线，Cree | Wolfspeed 预计将在 2022 年上半年开始量化生产。

与之相比，国内 SiC 商业化衬底以 4 英寸为主，逐步向 6 英寸过渡。同时，国内 SiC 衬底单晶质量与国外差距明显，存在单晶性能一致性差、成品率低、成本高等问题，国产高性能衬底自给率仍然较低，占全球的市场份额不到 5%。“十四五”时期我国将推进 6 英寸衬底规模化量产，突破 8 英寸衬底关键技术，降低成本，提高自给率。国内能批量生产 SiC 单晶衬底的公司包括山东天岳、天科合达、烁科晶体、同光晶体、中科钢研、南砂晶圆、福建北电新材料、世纪金光、中电化合物、江苏超芯星等。

山东天岳

山东天岳先进科技股份有限公司成立于 2010 年 11 月，是一家专注于宽禁带（第三代）半导体碳化硅衬底材料研发、生产和销售的科技型企业。

公司建有“碳化硅半导体材料研发技术”国家地方联合工程研究中心、国家博士后科研工作站、山东省碳化硅材料重点实验室。公司拥有 80 余人的研发团队，截至 2021 年 6 月末，拥有授权专利 332 项。公司获得国家科技进步一等奖、山东省科技进步一等奖、山东省技术发明一等奖、济南市科技进步一等奖，是国家制造业单项冠军示范企业、国家专精特新“小巨人”企业、国家知识产权优势企业、独角兽企业、山东省首批瞪羚企业、山东百年品牌培育企业。公司董事长宗艳民 2020 年荣获“全国劳动模范”称号。

历年来，山东天岳先后承担了国家“核高基”重大专项（01 专项）、国家新一代宽带无线移动通信网重大专项（03 专项）、国家新材料专项、国家高技术研究发展计划（863 计划）项目、国家重点研发计划项目、国家重大科技成果转化专项等多项国家和省部级项目，走在国内碳化硅衬底领域前列。

根据国际知名行业咨询机构 Yole 的统计，2019 年及 2020 年，山东天岳已跻身半绝缘型碳化硅衬底市场的世界前三。主要产品包括半绝缘型和导电型碳化硅衬底，可应用于微波电子、电力电子等领域。经过十余年的技术发展，公司已掌握涵盖了设备设计、热场设计、粉料合成、晶体生长、衬底加工等环节的核心技术，自主研发了不同尺寸半绝缘型及导电型碳化硅衬底制备技术。

目前，山东天岳可批量供应 6 英寸导电型 SiC 单晶衬底和 4&6 英寸半绝缘型 SiC 单晶衬底，并正在研发 8 英寸产品。其位于上海临港的上海天岳碳化硅半导体材料项目已被纳入国家布局，且被上海市政府列为 2021 年、2022 年上海市重大建设项目。该项目主要用于生产 6 英寸导电型碳化硅衬底材料，目前已成功封顶，全部达产后将新增碳化硅衬底产能约 30 万片/年。

天科合达

北京天科合达半导体股份有限公司于 2006 年 9 月由新疆天富集团、中国科学院物理研究所共同设立，目前注册资本为 21582 万元，是一家专业从事第三代半导体碳化硅（SiC）晶片研发、生产和销售的高新技术企业。公司为全球 SiC 晶片的主要生产商之一。

目前公司拥有一个研发中心和三家全资子公司，产业涵盖碳化硅单晶炉制造、碳化硅单晶生长原料制备和碳化硅单晶衬底制备。总部公司设在北京市大兴区生物医药基地，拥有一个研发中心和一個集晶体生长-晶体加工-晶片加工-清洗检测的全套碳化硅晶片生产基地；三家全资子公司分别位于辽宁沈阳市、新疆石河子市和江苏徐州市。

公司被认定为“国家高新技术企业”、“北京科技研究开发机构”；先后承担国家科技部科技支撑计划、863 计划、02 重大专项等多个国家部委、北京市重点科技攻关项目和新疆建设兵团重大研究计划等项目数十项；荣获科技部授予的“十一五”国家科技计划执行优秀团队奖、省部级科技进步一等奖。公司先后申请专利 50 余项，已获授权专利 43 项；参与起草并正式发布国家标准 4 项，行业标准 1 项，团体标准 8 项。

天科合达主营第三代半导体 SiC 材料的研发、生产及销售，拥有国内第一条 SiC 衬底中试生产线，核心产品是 SiC 衬底（导电型和半绝缘型），同时也提供

SiC 籽晶、晶体等其他 SiC 产品及 SiC 单晶生长炉。天科合达称，公司部分产品在整体性能指标上已可媲美国际厂商。

据企查查显示，2009 年至今，天科合达已完成多轮融资，投资者包括大基金、华为哈勃等投资大咖。其中，新疆天富能源在 2021 年两次战略投资了天科合达，投资金额合计 3.75 亿元。由此可见，天科合达的发展前景备受看好，融资表现不俗。

天科合达的第三代半导体 SiC 衬底产业化基地建设项目已于 2020 年 8 月开工，总投资约 9.5 亿元。该项目将建设一条 400 台/套 SiC 单晶生长炉及配套切、磨、抛加工设备的 SiC 衬底生产线，建设完成后将形成 12 万片 6 英寸 SiC 衬底的年产能。

另外，天科合达的参股公司深圳市重投天科半导体有限公司于 2021 年 9 月竞得第三代半导体产业链重点产业建设项目用地，项目建成后将有效弥补国内 6 英寸 SiC 单晶衬底和外延产能缺口，解决下游客户在 SiC 器件产业链发展的原材料基础保障和供应瓶颈的问题，并逐步摆脱下游产业对进口 SiC 材料的依赖。

今年，天科合达进一步拓展 SiC 上游原料市场，其于近日与碳基复合材料龙头金博股份达成了战略合作关系，未来将与金博股份共同研发满足第三代半导体领域应用的热场材料、保温材料与粉体材料，以满足天科合达对相关材料国产化的需求，换言之，天科合达在一定程度上锁定了 SiC 衬底关键原材料的产能，在材料供给方面获得了保障。

(二)瀚天天成 / 东莞天域

与 Si 不同，SiC 衬底材料的质量以及其表面的特性不能够满足器件生产的条件，需要制造较厚的外延层用于满足大功率、高压、高频器件的需求。外延的本质是在衬底上面再覆盖一层，外延层的生长一般有两类方向，气相生长和液相生长法。

目前，国际上已经实现了 6 英寸产品的商业化，8 英寸产品也已研制成功，可满足中低压、高压、超高压功率器件制备要求。国内也已实现 4~6 英寸商业化产品供给，可以满足 3.3kV 及以下功率器件制备需求，而超高压（>10kV）SiC

功率器件所需的N型SiC外延片以及双极型SiC功率器件所需的P型SiC外延片等方面还处于研究阶段。

瀚天天成、东莞天域是国内专注于SiC外延片生产销售的企业，其产品除满足国内市场需求外，还有部分外销能力。相比之下，中电科55所、中电科13所也都具备SiC外延生产能力，但主要是自用。

瀚天天成

瀚天天成电子科技（厦门）有限公司是一家集研发、生产、销售碳化硅外延晶片的中美合资高新技术企业。公司于2011年3月在厦门火炬高新区正式成立，已在厦门火炬高新区（翔安）产业区建成现代化生产厂房，含百级超净车间、检测、动力及辅助设施等。公司引进德国Aixtron公司制造的全球先进的碳化硅外延晶片生长炉和各种进口高端检测设备，形成了完整的碳化硅外延晶片生产线。

2012年3月9日，公司宣布开始接受商业化碳化硅半导体外延晶片订单，正式向国内外市场供应产业化3英寸和4英寸碳化硅半导体外延晶片。2014年4月，公司接受商业化6英寸碳化硅外延晶片订单，正式向国内外市场供应商业化6英寸碳化硅外延晶片。公司的近期目标是成为全球市场主要的碳化硅外延晶片供应商。

瀚天天成是国内首家、全球第四家可以生产销售6英寸碳化硅外延晶片的高新技术企业。其投资的瀚天天成碳化硅产业园二期位于厦门高新区同翔高新城（翔安片区），现已竣工，并于今年3月底进行联合验收，项目计划今年二季度投产。该项目总投资6.3亿元，占地面积29002.015平方米，其中一期项目已建成投产，二期项目2020年11月动工，建设6英寸碳化硅外延晶片生产线及配套设施，建成投产后预计年产值20亿元。

东莞天域

天域半导体科技有限公司（TYSiC）成立于2009年1月7日，位于广东省东莞市松山湖高新技术产业开发园区，是我国首家专业从事第三代半导体碳化硅外延片研发、生产和销售的高新技术企业。目前公司已引进三台世界一流的SiC-CVD及配套检测设备，生长技术已达到国际先进水平。为促进公司产业链的延伸，全力打造中国碳化硅产业基地，致力于第三代宽禁带半导体外延材料及器

件的发展，填补我国碳化硅材料及电子器件的空白。2010年5月公司与中国科学院半导体所合作成立了“碳化硅技术研究院”，组成了一支国内顶尖的技术创新团队，为客户提供优质的产品和服务，成为全球碳化硅外延晶片的主要生产商之一。目前，公司可以提供4英寸和6英寸的SiC外延晶片。同时提供SiC外延代工、晶片检测、晶片清洗、表面金属残留检测等服务。

表1 东莞天域发展历程

时间	事件
2009.1	东莞天域成立，成为我国首家碳化硅外延企业
2010.5	与中科院半导体所合作成立“碳化硅技术研究院”
2011.6	天域“第三代半导体碳化硅材料和器件研发及产业化创新科研团队”作为广东省第二批引进创新团队获批
2012.1	完成N型外延片研发
2013.2	完成P型外延片研发，并开始向客户供应
2014.7	6英寸外延片研发成功，并正式向客户供货
2014.10	天域被认定为国家级高新技术企业
2016.3	成为国内第一家获得汽车质量管理体系（IATF 16949:2016）的外延材料厂家
2016.11	与松山湖控股集团、易事特、中镓半导体等企业成立“东莞南方半导体科技有限公司”
2017.12	为扩大产能，新增6台碳化硅外延片生产设备
2018.2	通过知识产权管理体系认证（GB/T 29490-2013）
2018.3	第三代半导体产业技术创新战略联盟、天域半导体和南方科技大学等单位发起共建深圳第三代半导体研究
2018.5	新引进生产线调试完成，4英寸、6英寸碳化硅外延片产能达到量产规模
2019.11	联合深圳第三代半导体研究院、东莞南方半导体共建“广东省第三代半导体技术创新中心”
2020.12	获得广东省工程研究中心-第三代半导体SiC外延材料称号（省发改委）
2021.5	获批“广东省博士后创新实践基地”和“广东省博士工作站”（省人社厅）
2021.6	连续九年（2012~2020）获得广东省守合同重信用企业
2021.11	获得“东莞市百强创新型企业”

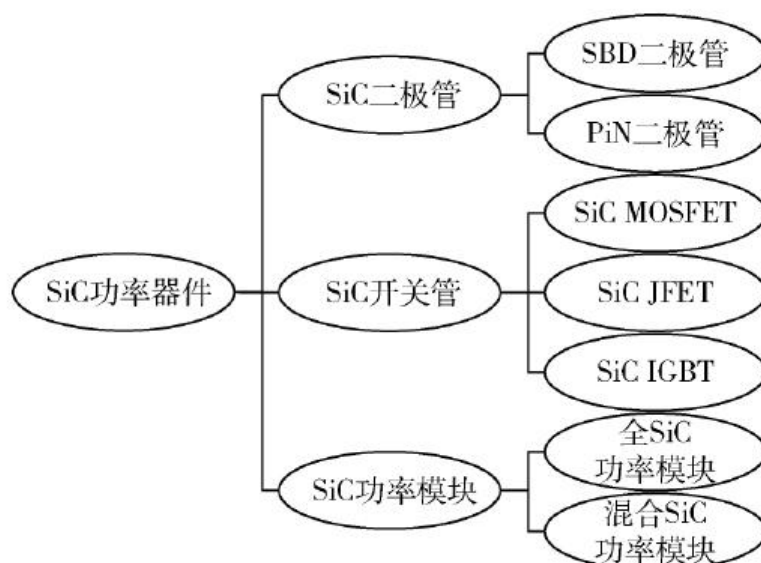
来源：天域半导体科技有限公司官网

（三）泰科天润 / 三安光电 / 华润微

SiC 器件及模块制造

SiC 器件主要是电力电子器件（功率器件），主要包括:SiC 二极管，SiC 开关管和 SiC 功率模块。SiC 二极管又分为 SBD 二极管和 PiN 二极管。SiC 开关管分为 SiC MOSFET、SiC JFET 和 Si IGBT 等；SiC 功率模块分为全 SiC 功率模块和混合 SiC 功率模块。目前国际上 SiC 肖特基势垒二极管（SBD）、金氧半场效晶体管（MOSFET）已经实现了大规模的产业化。碳化硅功率模块是碳化硅金氧半场效晶体管和碳化硅二极管的组合，通常将驱动芯片放置在功率模块以外的驱动板上。为了充分发挥碳化硅金氧半场效晶体管的最优性能，碳化硅金氧半场效晶体管的驱动芯片也可集成到功率模块内部，形成智能功率模块。

图 2 SiC 功率器件分类



SiC 功率器件凭借其卓越性能而被不断应用于电动汽车、光伏发电、列车牵引和风力发电等领域。SiC 功率器件在电动汽车领域的应用主要在于电机驱动、电池充电、车载空调和低压直流供电等部件；在光伏发电领域的应用主要在于太阳能控制器、电池充放电和逆变器。其中，电动汽车是市场的主要拉动力。

据 Yole 发布的 Power SiC 2022 报告，受汽车应用的强劲推动，尤其是在 EV 主逆变器方面的需求，SiC 市场高速增长：继特斯拉采用 SiC 后，2020 年和 2021 年又有多款新发布的 EV 和公告。此外，特斯拉创纪录的出货量帮助 SiC 器件在

2021 年达到 10 亿美元的规模。Yole 指出，为了满足长续航的需求，800V EV 是实现快速直流充电的解决方案。这就是 1200V SiC 器件发挥重要作用的地方。

根据报告，截至 2022 年，比亚迪的 Han-EV 和现代的 Ioniq-5 通过提供快速充电功能获得了不错的销量。Nio、Xpeng 等更多 OEM 计划在 2022 年将 SiC EV 推向市场。除汽车外，工业和能源应用在我们的预测期内代表着增长率超过 20% 的市场。例如，采用 SiC 模块的大功率充电基础设施的部署，以及日益增长的光伏安装。在这种情况下，根据 Yole 的最新预测中，预计到 2027 年，SiC 器件市场将从 2021 年的 10 亿美元业务增长到 60 亿美元以上。

在顶级 SiC 器件制造商中，意法半导体和 Wolfspeed 在 2021 年的 SiC 年度增长高于 50%，与其在全球 SiC 器件市场上 57% 的增幅保持一致。英飞凌立足于工业应用，进军逆变器主要业务，实现了 126% 的增长。安森美半导体也在 2021 年以强劲的增长入局。这些公司正在将 SiC 打造成一个价值数十亿美元的市场，未来几年的竞争格局也会随着供应链整合明确化。

主要厂商已经选择了 IDM 业务，而 SiC 领域中的多项并购与合作关系重塑了 SiC 生态系统。它们的目标是确保晶圆供应并进军器件业务，以维持其在未来几年中数十亿美元的业务目标。企业间的下一步竞争焦点将是 SiC 模块。

在 SiC 功率器件方面，市场和技术主要掌握在英飞凌、罗姆、美国 Cree | Wolfspeed、意法半导体等公司手上，

在 3300V 以上电压等级上占据绝对优势。在器件制造环节我国已出现了一批诸如斯达半导体、三安集成、比亚迪、海威华芯、泰科天润、中车时代、世纪金光、芯光润泽、深圳基本、国扬电子、士兰微、扬杰科技、瞻芯电子、天津中环、江苏华功、大连芯冠、聚力成半导体等在内的优秀企业。国产产品基本覆盖了各种电压级别，已初步实现了低端产品的国产化替代，但高端产品依然严重依赖进口。

垂直整合制造 IDM
(Integrated Design and Manufacture)

在半导体产业，除了材料、设备以外，其产业链可以分为设计、制造、封测三个部分。目前硅基半导体属于高度垂直分工，除了少数 IDM 公司（英特尔、三星等），大部分公司都专注于产业链某一环节。设计公司采用无工厂（Fabless）或轻工厂（Fab-lite）模式，专注于设计。代工厂专注于芯片代工，典型代表有台积电、中芯国际等。最后由封测厂商进行封装测试。

但在 SiC 行业，目前的代工业务规模极小，主要厂商都选择 IDM 模式，且纷纷向上下游扩张。

SiC 二极管方面，2020 年，国际上有超过 20 家公司量产 SiC 二极管系列产品，击穿电压主要分布在 600V-3300V，单芯片导通电流最高达 109A(Littelfuse, 1200V/109A)。Mouser 数据显示，2020 年共有约 800 款 SiC SBD 产品在售，较 2019 年新增 122 款，中高压商业化产品逐年增多。其中，80%以上的产品耐压范围集中在 650V 和 1200V；1700V 的 SiC SBD 产品达到 21 款，与 2019 年相比新增 6 款，3300V SiC SBD 产品约 3 款 (GeneSiC, 3300V/5A)。而国内 2020 年已实现 650V-1700V 全系列批量供货能力，导通电流最高 50A。泰科天润已经发布 3300V/0.6A-50A SiC 二极管系列产品。

SiC 晶体管方面，2020 年，国际上共有 10 余家公司推出 211 款 SiC MOSFET 系列产品，较 2019 年新增 70 款，击穿电压基本集中在 650V 和 1200V。商业化产品单芯片导通电流最高达 140A (Microchip/Microsemi)，较 2019 年 (120A) 有所提升；最高击穿电压达到 6500V (GeneSiC)。

国际企业纷纷密集推出新一代的 SiC MOSFET。Cree | Wolfspeed 推出第三代 SiC MOSFET 新产品，击穿电压 650V，导通电阻降低到 $15\text{m}\Omega$ ，开关损耗降低了 20%；ROHM 推出 1200V 第 4 代 SiC MOSFET 产品，与上一代产品相比导通电阻由 $25\text{m}\Omega$ 降低到 $15\text{m}\Omega$ ；UnitedSiC 推出市面上首款 750V SiC MOSFET 产品。而 Cree | Wolfspeed、ROHM、Infineon 等均已推出车规级 SiC MOSFET 产品，与国内产品相比，其元胞尺寸更小、比导通电阻更低、阈值电压更高。国内 SiC MOSFET 实现 650V ($120\text{--}17\text{m}\Omega$)、1200V ($80\text{--}25\text{m}\Omega$)、1700V ($80\text{--}45\text{m}\Omega$) 产品小批量生产，尚处于应用推广阶段，代表企业有中电科 55 所、三安集成、中车时代半导体、全球能源互联网研究院、基本半导体、瞻芯电子等。已经研制出 $6.5\text{kV}(25\text{A}, 45\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2)$ ， $10\text{kV}(10\text{A}, 114\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2)$ ， $15\text{kV}(10\text{A}, 204\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2)$ ， $20\text{kV}(4\text{A}, 443\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2)$ SiC MOSFET 样品。

SiC 功率模块方面，当前产品最高电压等级为 3300V，最大电流 700A，最高工作温度为 175°C ，功率范围为 10kW-350kW，代表企业有 Cree | Wolfspeed、Infineon、ROHM、安森美、三菱电机、富士电机、日立、Semikron 等。在研发领域，SiC 功率模块最大电流容量达到 1200A，最高工作温度达到 250°C ，通过采用芯片双面焊接、新型互联和紧凑型封装等技术来提高模块性能。国内 SiC 功率模块量产产品电压等级 650V-1700V，其中比亚迪产品已经开始实现上车应用。CASA Research 据公开发布消息统计，目前正在推进布局的企业包括华微电子、士兰微、江苏宏微、斯达半导体、中恒微等。

泰科天润

泰科天润半导体科技（北京）有限公司成立于 2011 年，是中国碳化硅功率器件产业化领军企业，专业从事碳化硅器件研发与制造，并提供应用解决方案。总部坐落于北京，在北京和湖南分别拥有 4 英寸和 6 英寸碳化硅半导体工艺晶圆生产线，并在上海、深圳设有办事处，海外均有代理渠道提供服务支持。

泰科天润是 IDM 模式的企业，拥有 10 年碳化硅器件量产经验，集设计、研发、制造、应用为一体，已通过 IATF 16949 体系认证。基于自有晶圆厂，泰科天润开发出先进特色工艺，并向市场推出了丰富的碳化硅器件产品，性能达到国际领先水平。同时，公司建有可靠性实验室、器件评估实验室、失效分析实验室、系统应用实验室，为向客户提供优质产品提供有力保障。

泰科天润的碳化硅产品已通过 RoHS、REACH、UL、DNV • GL、USCG、AEC-Q101 等标准认证，产品质量比肩行业先进水平。产品规格范围覆盖 650V-3300V（1A-100A）等多款规格，可以提供 T0220、T0220 全包封、T0220 内绝缘、T0247-2L、T0247-3L、T0247-4L、T0252、T0263、T0268、DFN8*8、DFN5*6、SOD-123FL、SMA、SMD 等多款塑封以及高温封装形式，并可按客户需求提供其他封装形式。产品已批量应用于光伏逆变器、充电桩、OBC、车载 DC-DC、通信电源、高端服务器电源、工业电源、PC 电源等领域，并多次获得行业优秀产品奖。

2019 年，泰科天润 6 英寸半导体碳化硅电力电子器件生产线项目签约落户长沙浏阳。该项目总投资 15 亿元，分两期建设，将主要生产碳化硅芯片、肖特基二极管、碳化硅 MOSFET 等产品。其中，一期投资 5 亿元，至 2022 年 2 月，已经进入生产状态，主要投入 6 英寸碳化硅基电力电子芯片生产线，可实现年 6 万片 6 英寸碳化硅晶圆。

三安光电

三安光电股份有限公司成立于 2000 年 11 月，于 2008 年 7 月在上海证券交易所挂牌上市（股票代码：600703），总部坐落于素有“海上花园”之称的厦门，产业化基地分布在厦门、天津、芜湖、泉州等多个地区，是国家发改委批准的“国家高科技产业化示范工程”企业、工业和信息化部认定的“国家技术创新示范企业”，承担了国家“863”、“973”计划等多项重大课题，拥有国家人事部颁发的博士后科研工作站及国家认定的企业技术中心。

三安光电是目前国内化合物半导体布局最全面的龙头公司，在业务范围方面以 LED 业务为基础，2014 年成立三安集成将化合物半导体业务拓宽至射频通信、电力电子和光通讯等微电子器件领域（提供集成电路晶圆代工服务），以三安集成为核心，构建三大化合物半导体技术平台。2017 年，三安光电开始布局泉州、鄂州、长沙等化合物半导体基地，在 LED 和化合物半导体集成领域成为国内最大的化合物半导体龙头公司。此外，在产业链布局上，三安光电从外延片到化合物半导体器件有完整的纵向产业链布局。

三安光电自 2018 年起，将 LED 芯片与集成电路晶圆业务合并归为“化合物半导体业务”，三安光电当前处于转型阶段，正从传统 LED 业务向化合物半导体转型。

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

2020 年 12 月，三安集成首次推出 1200V/80mΩ SiC MOSFET，目前已完成研发并通过一系列产品性能和可靠性测试，可广泛用于光伏逆变器、开关电源、脉冲电源、高压 DC/DC、新能源汽车充电和电机驱动等领域，能够减小系统体积、降低系统功率，提升电源系统功率密度，目前多家客户处于样品测试阶段。三安此次推出的 SiC MOSFET 采用平面型设计，通过反复优化，提升 SiC 栅氧结构质量，阈值电压稳定性得到明显提高，1000 小时的阈值漂移在 0.2V 以内，进而提升了器件可靠性。此外，三安通过优化 SiC MOSFET 器件结构和布局，提升了其 SiC 体二极管通流能力，使器件在实际应用过程中，可以不需要额外并联二极管，从而有效降低系统成本、减小体积，有利于系统向小型化、轻量化和更高集成度发展，在新能源汽车车内充电器 OBC、服务器电源应用中具备优势。

下游方向，2019 年 3 月，三安集成与美的达成战略合作共同成立“第三代半导体联合实验室”，推进第三代半导体功率器件研发应用，未来合作方向将聚焦

GaN、SiC 功率器件芯片与 IPM 的应用电路相关研发，加速国产芯片导入白色家电领域并探索新的应用场景。

此外，三安光电在氮化镓（GaN）外延、制造等环节皆有布局。三安光电在硅基氮化镓功率器件方面客户认证进展顺利，2020 年完成约 40 家客户工程送样及系统验证，已拿到 12 家客户设计方案，4 家进入量产阶段。

华润微

华润微电子有限公司是华润集团旗下负责微电子业务投资、发展和经营管理的高科技企业，曾先后整合华科电子、中国华晶、上华科技、中航微电子等中国半导体企业，经过多年的发展及一系列整合，公司已成为中国本土具有重要影响力的综合性半导体企业，自 2004 年起多年被工信部评为中国电子信息百强企业。

华润微电子是国内功率 IDM 龙头，是中国领先的拥有芯片设计、晶圆制造、封装测试等全产业链一体化运营能力的半导体企业，目前公司主营业务可分为产品与方案、制造与服务两大业务板块，公司产品设计自主、制造过程可控，在分立器件及集成电路领域均已具备较强的产品技术与制造工艺能力，形成了先进的特色工艺和系列化的产品线。根据 IHS Markit 的统计，以销售额计，在中国 MOSFET 市场中排名第三，仅次于英飞凌与安森美两家国际企业，华润微电子是中国最大的 MOSFET 厂商。

拥有功率半导体全产业链，为华润微电子切入碳化硅领域提供了坚实的基础。华润微电子于 2018 年 12 月开始筹划建设 6 英寸生产线，2019 年 9 月 SiC 晶圆生产线正式落成。2020 年 7 月，华润微宣布正式向市场投放 1200V 和 650V 工业级 SiC 肖特基二极管功率器件产品系列。还宣布其 6 英寸商用碳化硅(SiC)晶圆生产线正式量产。2021 年 12 月，华润微发布自主研发量产的 SiC MOSFET 产品。

另外，2022 年 3 月，华润微宣布，公司正同时在 6 英寸和 8 英寸平台进行硅基氮化镓产品的研发，预计今年会对外推出 GaN 产品。

三、 GaN 半导体公司发展现状

（一）苏州纳维

SiC 功率器件用外延片主要生长在 SiC 单晶衬底上。而 GaN 则不同，虽然 GaN 自支撑衬底缺陷密度较低，但由于成本居高不下，因此业界常以硅（Si）、蓝宝石、碳化硅（SiC）为衬底。GaN 单晶衬底外延片质量极好，但价格昂贵，目前主要用于光电子器件中激光器。

GaN 单晶衬底方面，目前仍以 2~4 英寸小尺寸晶圆为主。美、日、欧均已量产 2 英寸 GaN 单晶的制备，位错密度到 10^6cm^{-2} ，日本成功研制了 4 英寸 GaN 衬底，并突破了 6 英寸关键技术，代表企业有住友电工、三菱化学、古河机械等。

国内商业化的 GaN 衬底尺寸以 2 英寸为主，4 英寸实现小批量出货，预计 2025 年前完成 6 英寸衬底的批量生产并进入市场。主要企业包括苏州纳维和东莞中镓等公司，其中苏州纳维 2 英寸 GaN 单晶衬底厚度 $300\pm 15\mu\text{m}$ ，位错密度 $10^4\text{cm}^{-2}\sim 5\times 10^6\text{cm}^{-2}$ ，电阻率 $0.01\sim 10^8\Omega\cdot\text{cm}$ ，综合指标达到国际先进水平

苏州纳维科技有限公司成立于 2007 年，专注于高质量氮化镓半导体单晶材料的生长。

作为中国首家氮化镓衬底晶片供应商，依托中科院苏州纳米所，苏州纳维从氮化镓单晶材料气相生长的设备开始研发，逐步研发成功 1 英寸、2 英寸、4 英寸、6 英寸氮化镓单晶材料，实现了氮化镓单晶材料生长的 n 型掺杂、补偿掺杂，研制出高电导率的和半绝缘的氮化镓单晶。

经过 10 年努力，实现了 2 英寸氮化镓单晶衬底的生产、完成了 4 英寸产品的工程化技术开发、突破了 6 英寸的关键技术，现在是国内唯一一家、国际上少数几家之一能够批量提供 2 英寸氮化镓单晶产品的单位；氮化镓产品性能综合指标国际领先，未来 3 年重点实现将技术先发优势转化为在全球的市场优势。

目前 GaN 单晶衬底产品已经提供给 300 余家客户使用，基本完成了对研发市场的占领，正在提升产能向企业应用市场发展，重点突破方向是蓝绿光半导体激光器、高功率电力电子器件、高可靠性高功率微波器件等重大领域。申报相关核

心专利 40 余项，在各类重要国际学术会议和产业论坛上做邀请报告 20 余次，苏州纳维受到产业界和国际同行的广泛关注。

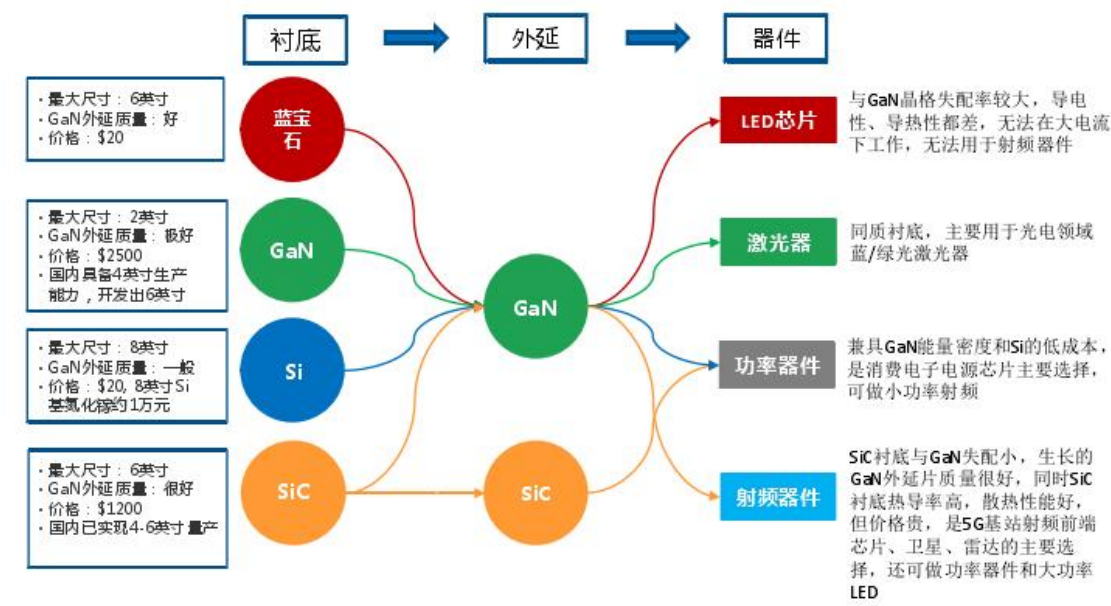
应对迅速增长的市场需求，苏州纳维 2016 年获得中国高新投资等 3500 万元投资，以扩大生产规模；2021 年 1 月 24 日，苏州纳维科技有限公司总部大楼建设项目在苏州工业园区正式奠基。该项目位于苏州纳米城，总用地面积 14000 平方米，总建筑面积约 34000 平方米，将建设氮化镓（GaN）单晶衬底研发基地与高端产品生产基地，预计年产氮化镓单晶衬底及外延片 5 万片。

（二）晶湛半导体

苏州晶湛半导体有限公司于 2012 年 3 月成立。公司坐落于江苏省苏州工业园区纳米城，致力于第三代半导体关键材料——氮化镓（GaN）外延材料的研发和产业化。

Si 单晶衬底是 GaN 功率器件最主要的衬底材料，外延片质量良好，价格便宜，是消费电子电源芯片最主要选择；蓝宝石衬底生产 GaN 外延片质量好，价格便宜，主要用于光电子器件中 LED 芯片；SiC 衬底与 GaN 的失配小，生长的 GaN 外延片质量很好，但价格贵，主要应用于 5G 基站射频前端芯片、军用雷达等领域。

图 3 GaN/SiC 不同衬底应用情况



Si 基 GaN 外延片主流尺寸为 6 英寸，代表企业有 IQE、EpiGaN 等；国内，英诺赛科率先实现 8 英寸 GaN-on-Si 外延材料及晶圆制造大规模量产；蓝宝石基 GaN 外延片尺寸为 4 英寸，代表企业有 Power Intergrations；GaN 基 GaN 外延片主流尺寸 2 英寸，NexGen Power Systems 和 Odyssey Semiconductor 已经推出了商业化外延产品以及沟槽型电力电子器件，SiC 基 GaN 外延片 4 英寸和 6 英寸并存，6 英寸代表企业有 Cree | Wolfspeed、Qorvo、NXP，4 英寸代表企业有住友电工。国内 SiC 基 GaN 外延片主流尺寸为 4 英寸，并逐步向 6 英寸发展，代表企业中电科 13 所、55 所、三安集成、苏州能讯等。

苏州晶湛半导体有限公司生产的 Si 基、蓝宝石基和 SiC 基 GaN 外延片产品有着极高的电子迁移率和二维电子气浓度、极小的缓冲层漏电。完美的应力控制技术使得材料的翘曲控制处于业界的领先地位，出色的外延生长技术和良好的品质管控能力确保了外延材料批量化生产的均匀性和一致性。

2014 年底，晶湛半导体在全球首家发布其商品化 8 英寸硅基氮化镓外延片产品，经有关下游客户验证，该材料具备全球领先的技术指标和卓越的性能，并填补了国内乃至世界氮化镓产业的空白。截至目前，晶湛半导体已完成 A+轮融资，用于扩大生产规模，6 英寸的 GaN-on-Si 外延片的月产能达 1 万片，拥有全球超过 150 家的著名半导体公司、研究院所客户。

2021 年 9 月，晶湛半导体在芜湖市人民政府和 SEMI 中国共同主办的“化合物半导体制造技术论坛”上，展示了一系列用于 200V、650V 和 1200V 功率半导体器件的高质量 12 英寸 GaN-on-Si HEMT 外延片，并且具有优异的厚度均匀性和低晶圆翘曲，这为使用更复杂精密的 300mm CMOS 兼容工艺线进行氮化镓芯片制备铺平了道路。

由于契合全球半导体产业的发展趋势及其明显的技术优势，晶湛半导体先后获得“国家高新技术企业”、“江苏省民营科技企业”、“江苏省科技型中小企业”、“苏州市技术发明一等奖”、“江苏省 2017 年百件优质发明专利”、“江苏省高质量发明专利”、“苏州工业园区专利授权十佳企业”、科技创新进步奖、国际专利创造奖等企业资质和荣誉奖项。同时晶湛半导体在氮化镓外延领域已掌握多项核心技术，拥有独立的自主知识产权，截止目前在国内外累计申请了百余项专利，其中已获得数十项授权。此外，晶湛半导体制度规范、体系完备，于 2018 年通过了 ISO9001 质量体系认证。

（三）英诺赛科 / 能华微电子

英诺赛科和能华微电子都是国内 GaN 电力电子器件及模块制造领域具有代表性的公司。

GaN 电力电子器件及模块

GaN 电力电子领域主要增长点在于快充、电源 PFC（功率因数校正）、高频激光雷达和无线充电领域，在新能源车领域也有很大发展潜力。

2021 年 5 月，市场研究公司 Yole Development 发布数据显示，2020 年功率 GaN 市场的价值为 4600 万美元，但到 2026 年，这一市场将以平均每年 70% 的增长率，达到 11 亿美元。其中在需求最大的手机快充领域平均每年增长 69%，在电信领域为 71%，而在汽车和移动领域将以最快的速度增长，平均年增长率达到 185%。

器件方面，国际上已经形成批量的 GaN 电力电子产品供货能力，6 英寸工艺产线成熟，Infineon 正在投资建设 8 英寸生产线。面向消费类应用的低压器件（300V 以下）、中压器件（600~900V）均具有量产能力，但高压器件仍然较少。国内低压产品处于应用推广阶段；中压器件实现 650V 产品，主要为分立器件，已经开始批量应用，但导通电阻较高、系统集成度较低，与国际水平存在一定差距。代表企业有英诺赛科、赛微电子、能华微电子等。

2020 年，GaN 电力电子器件在 PD 快充领域的应用具有战略性意义，说明 GaN 电力电子器件得到 PD 快充领域的认可，相关器件产品快速渗透。从技术上说，采用 GaN 技术的充电器外形尺寸可比传统基于硅的充电器减少 30%~50%，同时整体效率可高达 95%，在相同尺寸和输出功率情况下，充电器外壳温度更低。

国内企业如英诺赛科、氮矽科技、芯冠科技、东科半导体、苏州量微、聚能创芯、能华微电子相继推出用于 PD 快充的 GaN 模块产品。但 GaN 电力电子器件尚未在新能源汽车领域取得实质进展。相比较而言，国内 GaN 企业可参考国外企业的市场策略，先选择准入门槛较低的消费类领域，对材料、器件和工艺、封装等产业链进行充分的验证，循序渐进推进 GaN 在更广阔范围的应用市场。因此，建议首先布局消费类电源市场，如 PD 快充、LED 驱动电源等；然后切入工业类电源，如数据中心；最后进入可靠性要求较高的新能源汽车市场。

英诺赛科

英诺赛科（Innoscience）创立于 2015 年 12 月 17 日，旨在打造全球最大的采用全产业链（IDM）模式，集设计、研发、生产和销售为一体氮化镓（GaN）的生产基地，英诺赛科建立了全球首条产能最大的 8 英寸 GaN-on-Si 晶圆量产线。

公司成立之初，英诺赛科的创始人就深知，如果想实现氮化镓技术在市场上的广泛应用，产品的性能和可靠性只是根本。氮化镓功率电子器件在市场上要进行大规模推广，还需要解决另外三个痛点：首先是成本，具备合理的价格才能被广泛采用。其次是具备大规模量产能力，以应对市场的爆发。第三，要确保器件供应链稳定，有了稳定的货源供应，客户可以全心全意投入产品和系统的开发，无需担心因氮化镓器件供应战略的变化而导致停产。因此，Innoscience 明白，只有扩大 GaN 器件的产能并拥有自主可控的生产线，才有可能解决氮化镓功率电子器件在市场上进行大规模推广的三个痛点（价格、数量和供应安全）。

从一开始，英诺赛科就战略性地将采用 8 英寸晶圆，与 6 英寸相比，8 英寸晶圆的器件数量比 6 英寸晶圆多 80%。同时，英诺赛科采用 C-MOS 工艺，以便将多年来在三极管生产领域积累的经验和优化措施应用在氮化镓晶圆的生产工艺中。现在，英诺赛科已实现了最初的规划。目前，公司拥有两座 8 英寸硅基氮化镓生产基地，采用最先进的 8 英寸生产工艺，是全球产能最高的氮化镓器件厂商。目前，英诺赛科 8 英寸硅基氮化镓的产能达到每月 10000 片，并将逐渐扩大至每月 70000 片以上。

英诺赛科设计、开发和制造涵盖从低压到高压（30V-650V）的氮化镓功率器件、面向各种应用的高性能、高可靠性的氮化镓器件。利用先进的光刻技术，英诺赛科能生产线宽较小的器件，从而显著提升器件的性能。

2021 年 6 月，英诺赛科（苏州）半导体有限公司在汾湖高新技术开发区举行了量产研发大楼奠基仪式，该项目一期预计投资 80 亿元人民币。2020 年完成厂房建设和设备搬迁，即刻开始量产，使 Innosceince 成为全球第一家在 8 英寸硅衬底上量产 GaN 芯片的公司。随着产能的逐步提升，2021 年底实现月产 6000 片晶圆。到 2022 年底，苏州工厂 8 英寸 GaN-on-Si 的年产能将达到 78 万片，预计产量年产值 150 亿元，利税 15 亿元。

2021 年 12 月，在 2021 年第十六届“中国芯”集成电路产业促进大会暨“中国芯”优秀产品征集活动中，英诺赛科的高压 GaN HEMT/INN650DA260A 产品获得了中国芯“优秀技术创新产品”的称号。

能华微电子

江苏能华微电子科技发展有限公司是由留美归国博士于 2010 年创建。团队汇集了众多海内外的专业人才，是一家专业设计、研发、生产、制造和销售高性能氮化镓外延、晶圆、器件及模块的高科技公司。

2013 年初，江苏能华建立国内首条 GaN 研发中试线，2015 年承担国家发改委专项项目，在张家港高新区开始一期产业化建设。2016 年 6 月，启动 GaN 功率器件 6 英寸生产线，项目计划总投资 50 个亿，分期投资。预计第一期投资超 10 个亿。公司于 2017 年搬入张家港国家再制造产业园，新厂房占地 3 万平方，拥有万级、千级以及百级的无尘车间，并配备有先进的生产设备以及专业的技术人员。2018 年 1 月启动 GaN 外延 8 英寸研发生产线，2020 年实现功率器件量产。

（四）苏州能讯

苏州能讯高能半导体有限公司创立于 2011 年，总部位于江苏苏州昆山高新区。公司采用整合设计与制造（IDM）的业务模式，率先在中国开展了宽禁带半导体氮化镓（GaN）功率半导体芯片、器件及模块的研发与商业化，为 5G 移动通讯基站、宽频带通信等射频领域和工业控制、电源、电动汽车等电力电子领域提供高效率的功率半导体产品及解决方案。

目前采用 GaN 的微波射频器件主要用于军事领域、4G/5G 通讯基站等，由于涉及军事安全，国外对高性能 GaN 器件实行对华禁运。因此，发展自主 GaN 射频功放产业，有助于打破国外垄断，实现自主可控。

国际上 GaN 射频器件/模块方面各类技术并行发展。据 Mouser 和 Dikey 数据显示，截至 2020 年底，在售 GaN 射频器件和功率放大器共计 519 款，较 2019 年增加 70 款。

SiC 基 GaN 器件是射频市场主流产品和技术解决方案。国际主流尺寸 4~6 英寸，4 英寸产线代表企业为日本住友（Sumitomo）和台湾稳懋，在 6GHz 以内各

频段都有标准产品。6 英寸产线主要集中在美国，代表企业 Cree | Wolfspeed、Qorvo 和 NXP；国内主流尺寸为 4 英寸，代表企业除苏州能讯外，主要有中电科 13 所、中电科 55 所、三安集成等。Si 基 GaN 射频器件并非主流方案，但考虑其成本优势，也有不少企业在布局，国际代表企业为美国 Macom 公司；国内代表企业为四川益丰（OMMIC，6 英寸线）。

能讯拥有丰富的射频产品线，覆盖了电信基础设施、射频能源及各类通用市场的应用，形成了从氮化镓管芯、氮化镓分立功放管到氮化镓集成功放模块的系列化产品平台，满足客户多元化的应用场景需求。公司已具备 6GHz 以下 7W 至 700W 的功放管批量供货能力，且在业内率先推出适合 5G 基站使用的多芯片集成功放模块产品。

能讯通过自主研发构筑了完整的 GaN 功率芯片技术体系，包括：外延生长、芯片设计、晶圆制造、封装测试及可靠性等方面。截至 2021 年 10 月，公司拥有国内外 GaN 相关专利 394 件（海外发明专利 95 件），累计形成工艺菜单 2000 余项。公司投资并运营昆山第一工厂多年，设计产能为 4 英寸 GaN 晶圆 2.5 万片/年。公司具备了在 GaN 芯片技术、规模生产、稳定运营等多维度的核心竞争力。以 ISO9001 为基础，建立了完整的覆盖产品实现全过程的质量管理体系，从产品设计开发、产品生产到最终出厂检验，每个流程都进行严格的标准管控，确保产品质量的可靠性与一致性。

（五）华灿光电

GaN 光电子应用方面，国内外 LED 照明以及 UVA 紫外 LED 用蓝宝石基 GaN 外延片主流尺寸为 4 英寸，国内主要企业有三安光电、华灿光电、乾照光电等；UVB/UVC 紫外 LED 用蓝宝石基 GaN 外延片主流尺寸为 2 英寸，国内主要企业有中科潞安、圆融光电等；Mini/Micro-LED 市场主推 Si 基 GaN 技术，实现 8 英寸外延产品的产业化，国内代表企业有晶湛半导体、晶能光电等；蓝/绿光激光器 GaN 基 GaN 外延片主流尺寸 2 英寸，国际上代表企业有日本 Nichia、德国 Osram 等，国内尚未实现产业化。

成立于 2005 年的华灿光电股份有限公司，是我国领先的半导体技术型企业。目前有张家港、义乌、玉溪三大生产基地。历经十几年的发展，华灿光电已成为

国内第二大 LED 芯片供应商，国内第一大显示屏用 LED 芯片供应商。2015 年收购云南蓝晶，整合 LED 上游产业资源。

华灿光电在全球 LED 芯片市场已形成品质超群的良好口碑，LED 芯片产品已覆盖 LED 各细分市场，致力满足不同客户的需求，提供芯片级解决方案。

云南蓝晶为从事 LED 上游产品生产、加工和销售的高新技术企业，是国内唯一一家集自主掌握长晶技术、自主设计建造晶体炉、生长晶体、研磨抛、清洗封装为一体的蓝宝石衬底及相关材料生产企业，产品覆盖蓝宝石衬底材料完整的价值链。云南蓝晶自主研发蓝宝石晶体生长的核心技术“坍塌下降法”并获得国家发明专利，同时在蓝宝石晶体加工方面取得了多项专利，实现了规模化生产，在技术、工艺、生产上建立了完整的业务体系。

华灿光电自成立以来聚焦 GaN 材料在 LED 芯片领域的技术研发及生产销售，公司 LED 芯片产品广泛应用于电视、电脑、手机等消费电子，室内外显示，车灯及各类照明，紫外、红外等市场。公司于 2020 年正式进入 GaN 基电力电子器件领域，产品主要面向移动消费电子终端快速充电器、其他电源设备，云计算大数据服务器中心、通信及汽车应用等领域。

随着 Mini-LED 技术快速突破，成本迅速下降，在超高清电视、高阶显示器等市场需求拉动下，Mini-LED 背光和显示市场开始起量，其中 Mini 背光产业链上中下游协作成果斐然，2020 年 Mini-LED 背光产品密集发布，如海信、康佳、华硕、TCL 等，规模商业化已经开启；Mini 直显芯片技术基本成熟，器件性价比不断提升，全面推动了 Mini-LED 显示在专业显示、商业显示和租赁市场的产业化进程。

2021 年，华灿光电提高 Mini LED、高端背光、高光效通用照明、植物照明等高毛利产品占比，有力推动收入及盈利增长。此前，华灿光电发布 2021 年业绩预告称，归属于上市公司股东的净利润为 8000 万元~12,000 万元，比上年同期增长 338.60%~557.91%；扣除非经常性损益后亏损 29,000 万元~25,000 万元。

参考文献:

1. 第三代半导体产业技术创新战略联盟. 第三代半导体产业发展报告(2020) [R]. 2021-04.
2. 赵东华. 国内半导体产业的发展研究[D]. 北京工业大学, 2019.
3. 程星华. 新基建带动下的第三代半导体产业发展机遇[J]. 智能建筑与智慧城市, 2021(05): 49-52.
4. 陈尧, 赵富强, 朱炳先, 贺帅. 国内外碳化硅功率器件发展综述[J]. 车辆与动力技术, 2020(01): 49-54.
5. 李春, 邓君楷. 第三代半导体产业概况剖析[J]. 集成电路应用, 2017, 34(02): 87-90.
6. 陈东坡. 拥抱第三代半导体时代[J]. 高科技与产业化, 2017(01): 38-41.
7. 郝建群, 高伟, 赵璐冰, 曹峻松, 吕欣, 阮军. 第3代半导体发展概述及我国的机遇、挑战与对策[J]. 新材料产业, 2016(11): 6-13.
8. 国盛证券. 证券研究报告|行业周报[R]. 2021-12-13.
9. Yole Developpement. SiC 市场, 数十亿美元的前景[N/OL]. 2022-3-31. http://www.yole.fr/iso_upload/News/2022/PR_Product_Power_SiC_Yole_March2022_CHN.pdf.
10. 第三代半导体产业技术创新战略联盟. 第三代半导体工作简报(2021年第2期) [R]. 2021-6-1.
11. 韩枫. SiC 产业链解读, 从材料到应用大起底[R/OL]. 见智研究 Pro (微信公众号). 2021-12-23.
12. 深度行业研究. 氮化镓产业链深度解析[R/OL]. 乐晴智库精选(微信公众号). 2021-5-11.
13. 估股. 三安光电-股票投资分析报告[R/OL]. 估股(微信公众号).
14. 2022-2-16.