

大数据与决策研究

(政策与技术跟踪专题)

2021年第30期(总第73期)

广西壮族自治区信息中心

广西壮族自治区大数据研究院

2021年7月14日

编者按：随着碳化硅、氮化镓等宽禁带半导体被纳入我国“十四五”规划，以碳化硅和氮化镓为代表的第三代半导体成为市场热点，将迎来应用爆发期。广西“十四五”规划纲要中也明确提出谋划布局第三代半导体，积极培育“蛙跳”产业。本期主要介绍第三代半导体相关技术情况。

本期要目

- ◆ 第三代半导体的概念与应用
- ◆ 第三代半导体的制备与产业格局
- ◆ 各地争相布局和培育第三代半导体产业链

第三代半导体的概念与应用

一、第三代半导体的概念

半导体是指常温下导电性能介于导体与绝缘体之间的材料。国际上一般把禁带宽度 (E_g) 大于或等于 2.3eV 的半导体材料称之为宽禁带半导体材料, 也称第三代半导体材料。常见的第三代半导体材料包括: 碳化硅 (SiC)、氮化镓 (GaN)、金刚石、氧化锌 (ZnO)、氮化铝 (AlN) 等。

第一代半导体材料指锗 (Ge) 和硅 (Si), 50 年代 Ge 在半导体中占主导地位, 主要用于低电压、低频、中功率器件, 由于耐高温、抗辐射性能较差, 60 年代后期逐渐被 Si 取代。 Si 在自然界储量大, 大尺寸晶圆制备技术、芯片制造工艺成熟, Si 基芯片产业遵循摩尔定律快速发展, 应用于分立器件、集成电路, 目前全球 95% 以上的半导体芯片和器件是用 Si 作为基础材料生产的。第二代半导体材料主要是指以砷化镓 (GaAs)、磷化铟 (InP) 为代表的 III-V 族化合物半导体材料, 发展于 20 世纪 80 年代, 具有载流子浓度低、光电特性好、耐热、抗辐射等特性, 主要用于制作高速、高频、大功率以及发光电子器件, 但由于资源稀缺、大尺寸制备困难、价格贵、有毒性、污染环境, 应用受到一定局限。第三代半导体材料以碳化硅 (SiC)、氮化镓 (GaN) 为代表, 发展于 20 世纪 90 年代, 具有耐高温、耐高压、高电流、高频、低导通电阻等特点, 广泛应用于高电压、大功率、高频领域。

第一代半导体属于元素半导体，第二代和第三代半导体都属于化合物半导体。

二、第三代半导体的性能优势及应用领域

与第一、二代半导体相比，第三代半导体具有禁带宽度更宽、电子漂移饱和速率更高、绝缘击穿场强更高、热导率更高等特点。

与 Si 材料相比，SiC 和 GaN 禁带宽度约为 Si 的 3 倍，击穿场强超过 10 倍，具有低导通损耗，适用于高压高功率器件；SiC 热导率约为 Si 的 3.3 倍，具有良好的散热特性，可以减少器件体积，适用于高温器件；GaN 的电子漂移饱和速率为 Si 的 2.5 倍，有利于简化外围组件降低成本，适用于高频率器件。

因此，在应用领域，GaN 的优势在高频领域，目前主要集中在 1000V 以下，例如通信基站、消费电子等；SiC 的优势在高温和 1200V 以上的高压电力领域，包括智能电网、光伏逆变器、高铁、新能源汽车、工业电机等；在中低频、中低功率领域，GaN 和 SiC 都可以应用，与传统 Si 基器件形成竞争。

按器件功能分，第三代半导体主要应用在功率器件、射频器件、光电子器件中。功率器件也称电力电子器件，主要用于电气工程、电力系统，根据负载要求处理电路中电力转换，具有处理高电压、大电流的能力，电压处理范围从几十伏~几千伏，电流能力最高可达几千安，典型的功率处理功

能包括变频、变压、变流、功率放大和功率管理。射频器件指频率范围在 300kHz ~ 300GHz 之间，具有远距离传输能力的器件，在无线通讯中扮演数字信号和电磁波信号转换的角色，是无线通讯设备中的基础性零部件，包括滤波器、功率放大器、双工器、射频开关、低噪放大器、天线等。射频器件市场主要有 GaAs、SiL DMOS、GaN 三种工艺，GaAs 器件功率较低，通常低于 50W；Si LDMOS 工作频率存在极限，最高有效频率在 3GHz 以下；GaN 则弥补 GaAs 和 Si LDMOS 的技术缺陷，同时拥有高频性能和高功率处理能力。光电子器件指利用光—电子（或电—光子）转换效应制成的各种功能器件。SiC 主要用于功率器件，应用范围覆盖从低压到高压各领域；GaN 主要用于射频器件，同时用于功率器件。

三、第三代半导体在“新基建”驱动下的应用场景

目前，我国经济发展最大的驱动力为“新基建”。“新基建”各个产业建设都与半导体息息相关，尤其是第三代半导体。作为支持“新基建”的核心材料，第三代半导体在“新基建”驱动下包括以下应用场景（见下表）。

新基建领域	应用场景	材料	器件类型	应用类型
5G基站	功率放大器	GaN	• HEMT • IGBT • MOSFET	射频器件
	5G通信电源	SiC		功率器件
新能源汽车充电桩	充电桩电源模块	SiC	• SBD • MOSFET	
	新能源汽车	SiC		
大数据中心	服务器电源	SiC		
工业互联网		GaN	• HEMT	
特高压	电源	SiC	• SBD • MOSFET	
城际高速铁路和城际轨道交通	电源	SiC		

（一）5G 基站

5G 技术涵盖毫米波频率，基站带宽要求达到 1GHz，大规模 MIMO（Multi-Input Multi-Output）天线以 64T64R 阵列天线为主，功率放大器需求量从 4G 的 12 个增加到 192 个，基站密度和基站数量会大幅增加，射频器件是基站设备中主要的能耗部件，大带宽、高效率、小体积、轻质量、低成本的射频功率器件需求日益迫切。GaN 以更高的功率密度实现小型化与系统集成，相同性能下，GaN 射频芯片是 GaAs 芯片面积的 1/10，是 Si LDMOS 面积的 1/7；与 SiGe 基 MIMO 天线相比，GaN 可以使功率损耗降低 40%，裸片面积减少 94%，成本降低 80%。

（二）新能源汽车充电桩

充电模块是充电桩的重要组成部件，其成本占设备总成本的 50%，对新能源电动汽车而言，提升充电速度和降低充电成本是行业发展的两大目标。SiC MOS-FET 可以使电源电路中的磁性单元体积更小、重量更轻，电源整体效率更高，进而实现充电速度的提升和充电成本的降低。目前，新能源汽车电驱动部分主要由硅基功率器件组成。随着电动汽车的发展，对电驱动的小型化和轻量化提出了更高的要求。2018 年，特斯拉推出了第一款采用 SiC MOS-FET 主驱动控制器的电动汽车（Model3），车身比 ModelS 减小了 20%，开关损耗降低 75%，逆变器效率提升 5%~8%。

（三）数据中心

服务器电源是服务器的能源库，为服务器提供电能，保

证服务器系统正常运行。在服务器电源中使用 SiC 功率器件，可以提升服务器电源的功率密度和效率，整体上缩小数据中心的体积，实现数据中心整体建设成本的降低，同时实现更高的环保效率。GaN 功率器件可用于从交流到直流的电源转换，以及转换负载的直流电源，整体效率相比 Si 器件可提高 10%，功率密度增加 25% 以上。

（四）特高压

特高压作为大型系统工程，催生从原材料到元器件等一系列需求。功率器件是输电端特高压直流输电中柔性输电技术和变电端电力电子变压器的关键器件。直流断路器作为柔性直流输电的关键部分之一，其可靠性对整个输电系统的稳定性有着较大影响。由于直流断路器整体电压高，受限 Si 器件目前电压等级，使用传统 Si 基器件设计需要多级子单元串联，使用高电压 SiC 器件可以大大减少串联子单元数量，在直流断路器中具有广阔的应用前景。

（五）城际轨道交通

未来轨道交通对电力电子装置如牵引变流器、电力电子电压器等提出了更高的要求。SiC 功率器件可以大幅度提高功率密度和工作效率，进一步实现设备高效率化和小型化，明显减轻轨道交通的载重系统。未来 SiC 混合模块将首先开始替代部分 Si IGBT 模块，随着 SiC 器件容量的提升，将在轨道交通领域发挥更大的作用。（《新基建带动下的第三代半导体产业发展机遇》）

第三代半导体的制备与产业格局

一、第三代半导体的制备

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

SiC 功率器件用外延片主要生长在 SiC 单晶衬底上。GaN 器件根据其应用领域不同衬底材料主要包括蓝宝石、GaN、Si、SiC，其中蓝宝石衬底目前最大尺寸为 6in (152mm)，生产 GaN 外延片质量好，价格便宜，主要用于光电子器件中 LED 芯片，由于其与 GaN 晶格失配度较大，导电性、导热性差，无法用于射频器件；GaN 单晶衬底目前量产最大尺寸为 2in (50mm)，外延片质量极好，但价格昂贵，目前主要用于光电子器件中激光器；Si 单晶衬底是 GaN 功率器件最主要的衬底材料，外延片质量良好，最大应用尺寸为 8in (203mm)，价格便宜，是消费电子电源芯片最主要选择；SiC 衬底目前国内量产尺寸为 4in ~ 6in (101mm ~ 152mm)，SiC 衬底与 GaN 的失配小，生长的 GaN 外延片质量很好，同时 SiC 衬底热导率高，散热性能好，但价格贵，主要应用于 5G 基站射频前段芯片、军用雷达等领域。单晶衬底和外延片材料制造能力、晶圆尺寸、性能参数决定了第三代半导体产业的发展水平及进程（见图 1）。

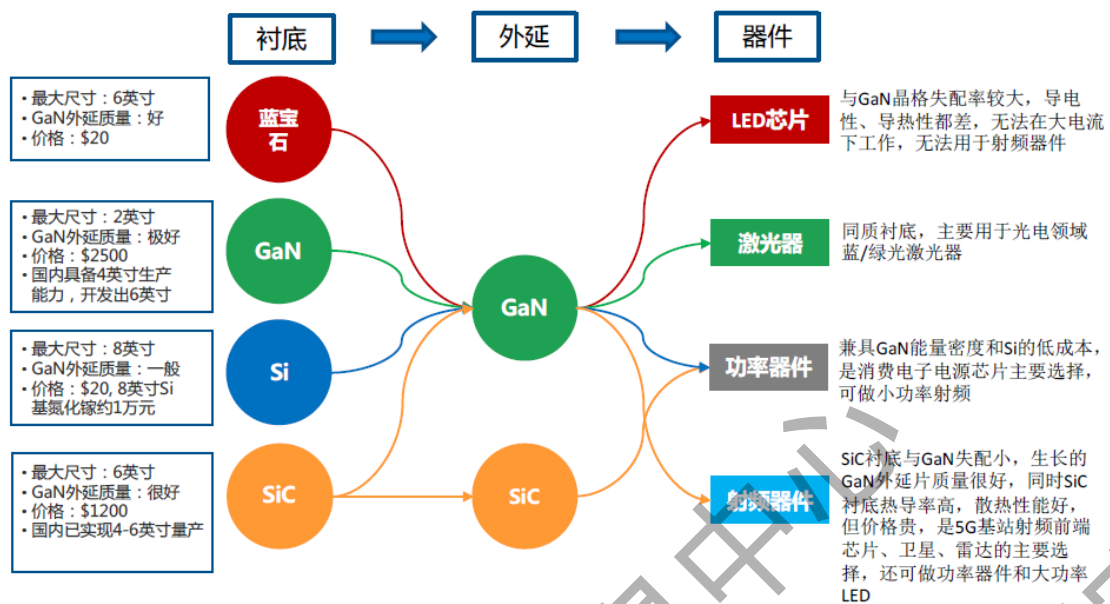


图 1 GaN/SiC 不同衬底应用情况

Si 单晶主要采用直拉法, 72h 可生长出 2m ~ 3m 左右的硅单晶棒, 一根单晶棒一次能切下上千片硅片, 12in(305mm) 是高端 IC 芯片主流尺寸。

SiC 没有液态, 只有固态和气态, 升华温度约 2700℃, 不能用拉硅单晶的方法制备。目前制备半导体级高纯度 SiC 单晶, 主要为 Lely 改良法, 最快的 SiC 单晶生长方法, 生长速度在每小时 0.1mm ~ 0.2mm 左右, 72h 仅生长 7.2mm ~ 14.4mm。

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

二、碳化硅、氮化镓存在的问题

目前 SiC 有不少共性问题待解决。在 SiC 单晶衬底方面，大尺寸的 SiC 单晶衬底制备技术尚未完全成熟；更高效的 SiC 单晶衬底加工技术仍然缺乏；与 N 型衬底技术相比，P 型衬底技术的研发相对滞后。在 SiC 外延材料方面，N 型 SiC 外延生长技术仍需进一步提高；P 型 SiC 外延技术尚未成熟。在 SiC 功率器件方面，因 SiC 单晶及外延技术的制约，高质量的厚外延技术尚不成熟，使得制造高压碳化硅器件存在挑战，且外延层的缺陷密度又制约了 SiC 功率器件向大容量方向的发展；SiC 器件工艺技术水平还较低，严重制约了 SiC 功率器件的发展和推广。SiC 功率器件的驱动技术和保护技术仍需加强，在应用中的电磁兼容问题还需进一步得到解决，应用的电路拓扑需进一步优化。

GaN 的大尺寸单晶生长技术还不成熟，导致许多 GaN 物理特性的解释都不成熟，有待进一步研究改进。GaN 材料的缺陷导致临界击穿电场下降、Buffer 衬底漏电等，致使 GaN 功率器件无法达到其材料理论极限。氮化镓因其极性太大，通过高掺杂的方式来获得具有较好金属半导体的欧姆接触是非常困难的，这是 GaN 器件制造中的一个难题。氮化镓与蓝宝石、碳化硅等衬片之间的不匹配导致器件的寿命缩短、阈值电流上升、性能下降、发热量增大等一系列问题，所以继续寻找合适的衬片，提高氮化镓的质量仍然是今后研究的热点。

三、第三代半导体的产业格局

从全球第三代半导体产业格局来看，主要包括日本、美国、欧洲、中国。其中日本技术力量雄厚，产业链完整，在设备和模块开发方面处于领先地位。美国在 SiC 领域占据最大市场份额，同时拥有 GaN 完整产业链。欧洲拥有完整的 SiC 衬底、外延、设计及制造的完整产业链，拥有英飞凌、意法半导体等国际顶级制造商。

SiC 产业呈现美、日、韩三足鼎立局面，美国最大，前五大厂商占据 90% 市场份额，科锐、英飞凌、罗姆三家公司占据全球 70%~80% 的市场份额，全球 SiC 衬底几乎由 Cree 一家主导，占据了全球近 40% 的市场份额。中国未来将是最大的 SiC 市场，国产替代需求强烈，目前国内已有天科合达、山东天岳、中电科 55 所等，国内相关龙头企业和传统功率器件企业都在积极布局 SiC 产业（见图 2）。

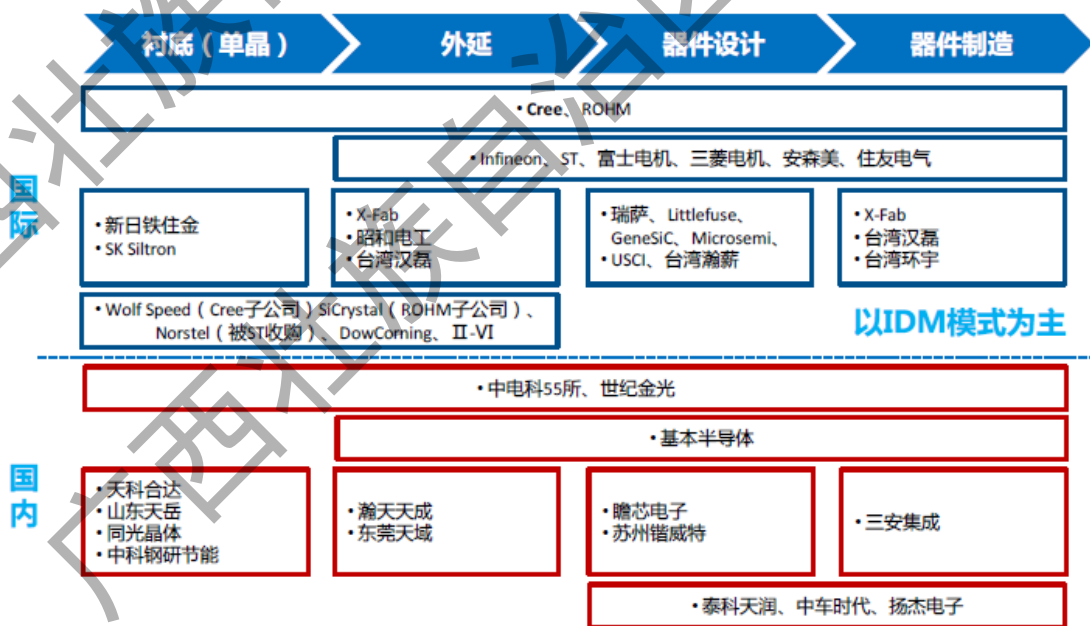


图 2 SiC 产业链各环节国内外主要代表企业

GaN 产业，住友电工和科锐是全球 GaN 射频器件领域的龙头企业，市场占有率均超过 30%，其次为 Qorvo 和 MACOM。苏州纳维科技，是国内唯一一家，国际上少有的几家能批量生产 2in (50mm) GaN 的企业；东莞中镓，建成国内首家专业氮化镓衬底生产线，可以制备出 1100 μ m 的自支撑 GaN 衬底；苏州晶湛、聚能晶源均可以生产 8in(203mm) 硅基氮化镓外延片；世纪金光，是涵盖 SiC、GaN 单晶、外延、器件、模块研发设计生产销售一体的公司；润微电子收购中航微电子，拥有 8in (203mm) 硅基氮化镓生产线和国内首个 600V/10A GaN 器件产品；士兰微，拥有 6in(152mm) 硅基氮化镓功率器件生产线（见图 3）。



图3 GaN 产业链各环节国内外主要代表企业

（《新基建带动下的第三代半导体产业发展机遇》等）

各地争相布局和培育第三代半导体产业链

作为半导体产业链中的新机遇，第三代半导体受到热捧，国内各省市也纷纷加速布局，推动产业发展，长三角和珠三角是实力雄厚的两大区域。

从政策层面看，2020 年国家政策层面开始落地。2020 年 7 月 27 日，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》，此后，包括《关于扩大战略性新兴产业投资 培育壮大新增长点增长极的指导意见》、《关于促进集成电路产业和软件产业高质量发展企业所得税政策的公告》等政策出台，为第三代半导体等相关企业给予政策支持。

与此同时，国内各地区也纷纷提出相关发展方向。据第三代半导体产业技术创新战略联盟发布的《第三代半导体产业发展报告（2020）》数据显示，2020 年，我国各地方发布的第三代半导体相关政策 16 条，覆盖了 12 个省（含直辖市）。广东省提出大力发展氮化镓、碳化硅、氧化锌、氧化镓、氮化铝、金刚石等第三代半导体材料，支持氮化镓、碳化硅、砷化镓、磷化铟等化合物半导体器件和模块的研发制造；安徽省、天津市、福建省、云南省、青海省、西安市提出建设以 5G 为核心的氮化镓射频产业；河北省、山东省、湖南省、山西省、福建省侧重第三代半导体全产业链布局。

各地争相规划的背后，是对半导体产业的重视和新突破点的筹谋。一方面，第三代半导体产业市场正在加速潜行，《第三代半导体产业发展报告（2020）》指出，未来5年将是第三代半导体产业发展的关键期，全球资本加速进入第三代半导体材料、器件领域，产能大幅度提升，企业并购频发，正处于产业爆发前的“抢跑”阶段。另一方面，第三代半导体的需求在持续爆发，应用场景包括5G基站中的功率放大器、5G通信电源，新能源汽车逆变器、以及充电桩电源模块，数据中心和工业互联网中的服务器电源，特高压、轨道交通的电源，手机快充等等。

从企业分布地区来看，长三角和珠三角的企业密集度相对较高。其中，江苏省和广东省的产业链更为全面。比如，江苏省培育了天科合达、英诺赛科、中科汉韵等多家企业；广东省有比亚迪半导体、东莞天域等企业。

从具体城市看，深圳市2021年重大项目计划中有多个第三代半导体产业项目，2021年深圳市政府工作报告中也提到加快包括国家第三代半导体技术创新中心在内的重大创新平台建设；东莞拥有中国第三代半导体南方基地、松山湖材料实验室等一批科研中心；广州在南沙区布局了第三代半导体创新中心；在2021年6月21日南京创新周上，国家第三代半导体技术创新中心（南京）正式揭牌，落地江宁开发区。

在第三代半导体领域，粤苏两省还开启强强联合模式。2021年3月，科技部已正式批复支持广东省和江苏省建设国

家第三代半导体技术创新中心，该中心由深圳市政府、江苏省政府共同支持建设，设置深圳平台和江苏平台，两大平台将实行共管共治、目标协同、互相开放，打造多地共建的有效管理运行模式。江苏省在半导体材料领域、工业制造上都深耕已久，广东省则具有制造优势，并且拥有庞大的需求市场，如今双方都在攻坚半导体上游产业，建立更核心的技术壁垒。（《第三代半导体蓄势：地方争相布局，强强联合加速培育产业链》）

编辑部地址：南宁市体强路 18 号广西信息中心 1412 号房

联系电话：0771-6113592

电子邮箱：dsjyjs@gxi.gov.cn

网 址：<http://gxxxzx.gxzf.gov.cn/>



扫描二维码获取
更多决策参考信息