

第三代半导体行业 研究报告

目录

一、行业概况.....	2
二、第三代半导体简介.....	3
(一) 半导体材料的发展历程.....	3
(二) 第三代半导体的主要特性.....	4
三、第三代半导体主要材料.....	6
(一) 碳化硅性能.....	6
(二) 氮化镓性能.....	7
(三) 碳化硅与氮化镓比较.....	7
四、第三代半导体产业链.....	8
(一) 碳化硅产业链.....	8
(二) 氮化镓产业链.....	10
(三) 主要制备工艺.....	10
(四) 主要器件产品.....	13
(五) 主要技术问题.....	14
五、第三代半导体产业政策.....	16
六、第三代半导体下游应用市场.....	18
(一) 电力电子器件.....	20
(二) 射频器件.....	24
七、第三代半导体主要企业.....	25
(一) 碳化硅市场格局.....	25
(二) 氮化镓市场格局.....	28
(三) 产业链企业简介.....	29
(四) 第三代半导体价格趋势.....	33
八、我国第三代半导体产业发展趋势.....	34

一、行业概况

近年来，以碳化硅和氮化镓为代表的第三代宽禁带功率半导体迅猛发展，是目前全球战略竞争新的制高点，也已成为中国功率电子行业的研发和产业化应用的重点，是我们国家的重点扶持行业。

随着节能减排、新能源发电、智能电网和无线通信等领域的快速发展，电源和控制器行业对功率半导体器件的性能指标和可靠性的要求日益提高，要求器件有更高的工作电压、更大的电流承载能力、更高的工作频率、更高的效率、更高的工作温度、更强的散热能力和更高的可靠性。

经过半个多世纪的发展，基于硅材料的功率半导体器件的性能已经接近其物理极限，硅基半导体的性能已无法完全满足 5G 通信和高效新能源汽车等电动化交通以及航天、军工等的需求，SiC 和 GaN 等第三代宽禁带功率半导体的优势被放大。且最近几年，随着材料科学技术的快速发展，SiC 和 GaN 等宽禁带半导体材料的关键技术问题得到了根本性质的突破，故在 5G 和新能源汽车等新市场需求的驱动下，第三代宽禁带功率半导体材料有望迎来加速发展。

技术领先国家和国际大型企业纷纷投入到 SiC 和 GaN 的研发和产业化中，产业链覆盖材料、器件、模块和应用等各个环节。第三代宽禁带功率半导体对电动化交通、工业伺服和电力行业的装备和产品升级换代产生了重大且深远的影响。

目前，中国已经把大力支持发展第三代宽禁带功率半导体产业写入国家“十四五”和中长期发展规划中，计划在教育、科研、开发、融资、应用等各方面，大力支持第三代宽禁带功率半导体产业的发展，以期实现产业与世界同步和自主可控。抓住第三代宽禁带功率半导体的战略机遇期，实现半导体材料、器件、封装模块和系统开发的自主可控，对保障我国工业体系自主可控和可持续发展至关重要。

二、第三代半导体简介

（一）半导体材料的发展历程

在整个半导体产业链中，半导体材料处于上游，中游为各类半导体元件，下游应用包括电子、通信、新能源等行业。半导体芯片结构分为衬底、外延和器件结构。衬底通常起支撑作用，外延为器件所需的特定薄膜，器件结构即利用光刻刻蚀等工序加工出具有一定电路图形的拓扑结构。第三代半导体中的“代”主要指的就是半导体衬底材料的变化。



图 1：半导体产业链

按发展历程进行划分，半导体衬底材料可分为三类：

第一代半导体材料以硅（Si）、锗（Ge）为代表。其中锗最先被研究且应用，但由于其造价较高（比白银稍贵），稳定性较差，主要应用于部分发光二极管、太阳能电池中。20 世纪 50 年代起，以硅 Si 为代表的第二代半导体材料制成的二极管和晶体管取代了电子管，用于电脑 CPU、GPU、内存、手机的 SoC（系统级芯片）等器件，引发以集成电路为核心的微电子产业的迅速发展。该类材料产业链较为成熟，结构简单，自然界储备量大，制备相对容易，技术储备完善且制作成本较低，被广泛应用半导体的各个领域，其中以处理信息的大规模集成电路最为主要，另外也应用于部分功率分立器件（中低压，中低频等，硅基 IGBT 可应用在高压领域）；以硅基半导体材料开创了功率半导体元器件金属-氧化物半导体场效应晶体管（MOSFET）和绝缘栅双极型晶体管（IGBT）等为代表的固态电子时代。

第二代半导体材料以砷化镓 (GaAs) 和磷化铟 (InP) 为代表。20 世纪 90 年代开始, 随着半导体产业的发展, 硅材料的物理瓶颈日益突出, 以砷化镓 GaAs 为代表的第二代半导体材料崭露头角, 相关器件制备技术逐渐成熟, 使半导体材料进入光电子领域。该类材料在物理结构上具备直接带隙的特点, 相对于 Si 材料具有光电性能佳、工作频率高, 抗高温、抗辐射等优势, 材料资源较为稀缺, 价格昂贵且具有毒性, 能污染环境, 适用于制作高速高频、大功率及发光电子器件, 是制作高性能微波、毫米波器件及发光器件的优良材料, 广泛运用于 4G 时代的移动通讯、卫星通讯、光通讯和 GPS 导航等通信领域。但是禁带宽度 (禁带宽度反映了价电子被束缚强弱程度, 直接决定着器件的耐压和最高工作温度) 不够大、击穿电场较低, 限制了其在高温高频和高功率器件领域的应用。

第三代半导体材料指近年来以氮化镓 (GaN)、碳化硅 (SiC) 为代表的化合物半导体, 还包括氧化锌 (ZnO) 和金刚石该类半导体材料禁带宽度大于或等于 2.2eV, 因此也被称为宽禁带半导体材料。

表 1: 硅、氮化镓、碳化硅物理特性对比

材料性能	Si	GaN	SiC
禁带结构	间接带隙	直接带隙	间接带隙
禁带宽度 (eV)	1.1	3.4	3.3
电子迁移率 (10cm/Vs)	1350	2000	1000
电子饱和和漂移速度 (10cm/s)	1	2.7	2.2
相对介电常数	11.9	8.9	9.7
热导率 (W/cmK)	1.49	1.3	4.0
击穿场强 (MV/cm)	0.3	3.3	3.3
对应器件理论最高工作温度 (°C)	175	800	600

(二) 第三代半导体的主要特性

三代半导体材料之间的主要区别是禁带宽度。现代物理学描述材料导电特性的主流理论是能带理论, 能带理论认为晶体中电子的能级可划分为导带和价带, 价带被电子填满且导带上无电子时, 晶体不导电。当晶体受到外界能量激发 (如高压), 电子被激发到导带, 晶体导电, 此时晶体被击穿, 器件失效, 禁带宽度代表了器件的耐高压能力。第三代半导体的禁带宽度是第一代和第二代半导体禁带宽度的近 3 倍, 具有更强的耐高压、高功率能力。

同时，第三代半导体材料**能量密度更高**。以氮化镓为例，其形成的 HEMT 器件结构中，其能量密度约为 5-8W/mm，远高于硅基 MOS 器件和砷化镓射频器件的 0.5-1W/mm 的能量密度，器件可承受更高的功率和电压，在承受相同的功率和电压时，器件体积可变得更小。

故与第一代的 Si、Ge 和第二代的 GaAs、InP 相比，GaN 和 SiC 具有**禁带宽度大、击穿电场强度高、电子迁移率高、热导电率大、介电常数小和抗辐射能力强**等特点，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，可满足现代电子技术对高温高频、高功率、高辐射等恶劣环境条件的要求。因此，第三代半导体主要被用于制作**高速、高频、大功率及发光电子元器件**，是制作高性能微波、毫米波器件及发光器件的优良材料。此外，随着新能源汽车、信息高速公路及 5G 互联网的兴起，第三代半导体还被广泛应用于电动车、光伏、风电和高铁等领域。

表 2：三代半导体代表性材料、主要特性及应用领域

发展历程	代表性材料	主要特点	应用领域
第一代半导体材料	硅 (Si)、锗 (Ge)	产业链十分成熟，技术完备，成本较低。	硅 (Si) 主要应用于大规模集成电路中，目前 99% 以上的集成电路和 95% 以上的半导体器件都由 Si 材料制作；锗 (Ge) 主要应用于低压、低频、中功率晶体管及光电探测器中。
第二代半导体材料	砷化镓 (GaAs)、磷化铟 (InP)	在物理结构上具有直接带隙特点，相对于 Si 材料具有更好的光电性能，工作频率更高，耐高温，抗辐射；GaAs、InP 材料资源较为稀缺， 价格昂贵且具有毒性，能污染环境 ，InP 甚至被认为是可疑致癌物质，具有一定局限性。	适用于制作高速、高频、大功率以及发光电子器件，是制作高性能微波、毫米波器件及发光器件的优良材料，广泛应用于卫星通讯、移动通讯、光通信、GPS 导航等领域。
第三代半导体材料	氮化镓 (GaN)、碳化硅 (SiC)	具能够承受更高的电压、适合更高频率，可实现更高的功率密度，并具有耐高温、耐腐蚀、抗辐射、禁带宽度大等特性。但目前生长困难、成本较高，良率提升后可大量使用。	具备应用于光电器件、微波器件和电子电力器件的先天性能优势，广泛应用于新能源汽车、消费电子、光伏、风电、半导体照明、导弹和卫星等领域。

三、第三代半导体主要材料

(一) 碳化硅性能

碳化硅是目前全球最先进的第三代半导体材料，是卫星通讯、高压输变电、轨道交通、电动汽车、通讯基站等重要领域的核心材料，被认为是 5G 通信晶片中最理想的衬底。以碳化硅为衬底制成的功率器件相比硅基功率器件具有优越的电气性能，高耐压、大功率特性，使其可用于制造 MOSFET、IGBT、SBD（肖特基二极管）等器件，用于新能源车、智能电网等行业。

(1) **耐高压**。碳化硅的击穿电场强度是硅的 10 余倍，使得碳化硅器件耐高压特性显著高于同等硅器件。

(2) **耐高温**。碳化硅相较硅拥有更高的热导率，使得器件散热更容易，极限工作温度更高。耐高温特性可以带来功率密度的显著提升，同时降低对散热系统的要求，使终端可以更加轻量化和小型化。

(3) **体积更小**。由于碳化硅具有较高的禁带宽度，碳化硅功率器件可承受较高的电压和功率，其器件体积可变得更小，约为硅基器件的 1/10。

(4) **低能量损耗**。碳化硅具有 2 倍于硅的饱和电子漂移速率，使得碳化硅器件具有极低的导通电阻，导通损耗低；同样由于碳化硅较高的禁带宽度，碳化硅器件可进行重掺杂，碳化硅器件的电阻将变得更低，约为硅基器件的 1/100；碳化硅具有 3 倍于硅的禁带宽度，使得碳化硅器件泄漏电流比硅器件大幅减少，从而降低功率损耗；碳化硅器件在关断过程中不存在电流拖尾现象，开关损耗低，大幅提高实际应用的开关频率。

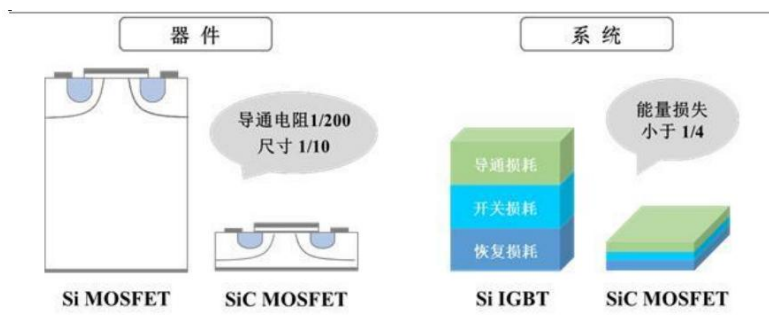


图 2：SiC 器件相比 Si 器件的优势

相同规格的碳化硅基 MOSFET 和硅基 MOSFET 相比，导通电阻降低为 1/200，尺寸减小为 1/10；相同规格的使用碳化硅基 MOSFET

的逆变器和使用硅基 IGBT 相比，总能量损失小于 1/4。故相较于硅基 IGBT，碳化硅 MOSFET 电动车的续航里程更长。对于 EPA（美国国家环境环保局能耗测试）城市路况，碳化硅 MOSFET 相较于硅基 IGBT，将节省 77% 的能量损耗；对于 EPA 高速路况，碳化硅 MOSFET 相较于硅基 IGBT，节省 85% 的能量损耗。能量损耗的节省导致车辆续航里程的增加，使用碳化硅 MOSFET 的电动车比使用硅基 IGBT 电动车将增加 5-10% 的续航里程。

（二）氮化镓性能

GaN 具有高临界磁场、高电子饱和速度与极高的电子迁移率的特点，是超高频器件的极佳选择，适用于 5G 通信、微波射频等领域的应用。GaN 功率器件通常采用 HEMT（高迁移率晶体管）的设计，主要应用于高频场景，也被称为常开型元件。相较于 Si、SiC，在中高频驱动逆变器的快速切换的场景中，如果采用传统的 MOSFET 和 IGBT，会产生不可接受的损耗，而 GaN 晶体管的源极、栅极、漏极均在同一个平面，能够克服这样的损耗。

（三）碳化硅与氮化镓比较

碳化硅热导率高于氮化镓。第三代半导体的应用场景通常为高温、高压、高功率场景，器件需要具有较好的耐高温和散热能力，以保证器件的工作寿命。碳化硅的热导率是氮化镓热导率的约 3 倍，具有更强的导热能力，器件寿命更长，可靠性更高，系统所需的散热系统更小。

氮化镓单晶生长困难。氮化镓因为生长速率慢，反应副产物多，生产工艺复杂，大尺寸单晶生长困难，目前氮化镓单晶生长尺寸在 2 英寸和 4 英寸，相比碳化硅难度更高。

因此第三代半导体目前普遍采用碳化硅作为衬底材料，在高压和高可靠性领域选择碳化硅外延，应用在新能源汽车和工控等领域；在高频领域选择氮化镓外延，应用在 5G 基站等领域。

四、第三代半导体产业链

宽禁带功率半导体产业链主要包含单晶材料、外延材料、器件、模块和应用这几个环节。单晶材料是宽禁带功率半导体技术和产业的基础，主要技术指标有单晶直径、微管密度、单晶电阻率、表面粗糙度、翘曲度等；外延材料是实现器件制造的关键，主要技术指标有外延片直径、外延层厚度、外延层掺杂浓度和表面缺陷密度等；器件是整个产业链的核心，主要技术指标有阻断电压、单芯片导通电流/电阻、阻断状态的漏电流、工作温度等；模块是实现器件应用的桥梁，主要技术指标有模块容量、热阻、寄生参数和驱动保护等；应用是宽禁带功率半导体器件和产业发 展的源动力，主要技术指标是开关频率、转换效率和功率密度等。一般来说，上游材料成本占到器件成品的 75%，其中衬底约占 50%，外延约 25%。

（一）碳化硅产业链

SiC 功率器件生产过程主要包括“单晶生产—外延层生产—器件制造”三大步骤，分别对应产业链的“晶圆衬底—外延片—器件和模组”三大环节。

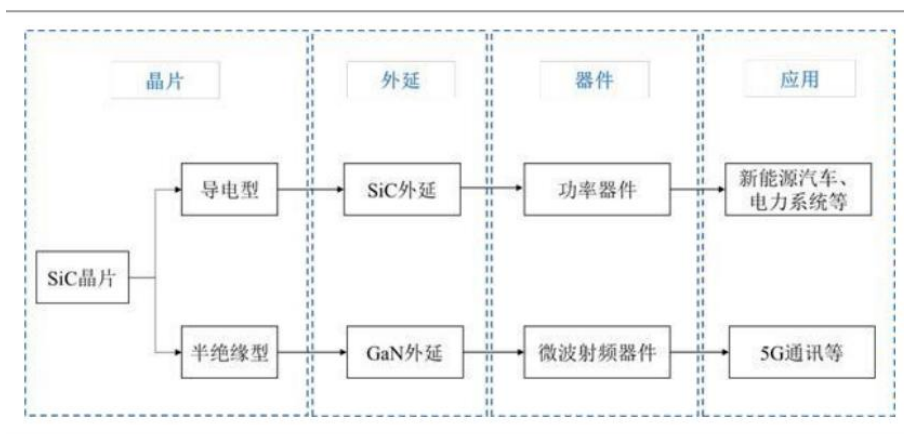


图 3: SiC 产业链

SiC 器件的主要成本是上游 SiC 衬底，在 SiC 器件价值链中占比为 50%。由于单晶生长缓慢，且品质不够稳定，衬底的成本较高，未来随着技术进步、产量攀升，SiC 衬底以及外延片价格都将下降。目前生长 SiC 单晶最成熟的方法是物理气相运输（PVT）法，其生长机理是：在超过 2000℃ 高温下将 C 粉和 Si 粉升华分解成为 Si 原子、Si₂C 分子和 SiC₂ 分子等气相物质，在温度梯度的驱动下，这

些气相物质将被输运到温度较低的 SiC 籽晶上形成 4H 型 SiC 晶体。通过控制 PVT 的温场、气流等工艺参数可以生长特定的 4H-SiC 晶型。

不同类型 SiC 衬底的下游应用不同。根据电阻率的差异，SiC 衬底可分为导电型（低电阻率，电阻率区间为 15-30mΩ·cm）和半绝缘型（高电阻率，电阻率≥105Ω·cm）。在导电型 SiC 衬底上生长 SiC 外延层制得 SiC 外延片，可进一步制成肖特基二极管、MOSFET、IGBT 等功率器件，主要应用于制造耐高温、耐高压的功率器件，应用于新能源汽车、光伏发电、轨道交通、智能电网、航空航天等领域，市场规模较大；在半绝缘型 SiC 衬底上生长 GaN 外延层制得 GaN-on-SiC（碳化硅基氮化镓）外延片，可进一步制成 HEMT 等微波射频器件，应用于 5G 通讯、雷达等领域，随着 5G 通讯网络的加速建设，市场需求提升较为明显。2020 年我国生产半绝缘型衬底 9 万片/年，导电型衬底 18 万片/年。预计 2030 年半绝缘型衬底产量将达 20 万片/年，导电型衬底产量将达 40 万片/年，大尺寸衬底将成为主流趋势。

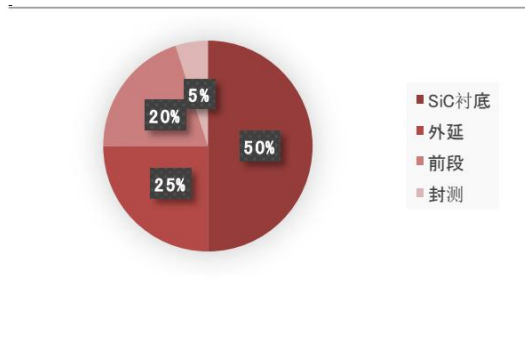


图 4: SiC 产业链成本占比过程

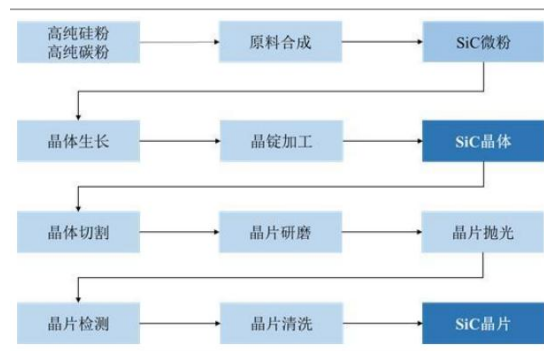


图 5: SiC 晶片制造过程

SiC 的下游应用偏向 1000V 以上的中高电压范围。SiC 由于耐高压、高温、高频，比 Si 更薄、更轻、更小巧，是卫星通讯、高压输变电、轨道交通、电动汽车、通讯基站等重要领域的核心材料，也被认为是 5G 通信晶片中最理想的衬底。下游民用领域电动汽车、消费电子、新能源、轨道交通等领域的直流、交流输变电、温度检测控制等。军用领域用于喷气发动机、坦克发动机、舰艇发动机、风洞、航天器外壳的温度、压力测试等。

（二）氮化镓产业链

GaN 产业链包括材料/单晶制备-芯片生产环节-芯片制造-终端应用几大环节。受技术与工艺水平限制，GaN 材料作为衬底实现规模化应用仍面临挑战，目前主要是以蓝宝石、硅晶片或碳化硅晶片为衬底，通过外延生长 GaN 以制造 GaN 器件。蓝宝石衬底一般用于制造蓝光 LED，通常采用 MOCVD 法外延生长 GaN；SiC 衬底一般用于射频器件；Si 则用于功率器件居多。

GaN 的三类下游应用与衬底材料相对应，主要应用于**低压高频领域**。（1）2000 年起以蓝宝石为衬底，2014 年出现蓝光 LED，主要用于 LED 领域；（2）射频领域中，以 SiC 为衬底材料；（3）功率器件中，由于成本敏感，且注重实用和美观，主要以 Si 衬底为主，2020 年快充市场发展。在军事领域中，GaN 基微波功率器用于雷达、电子对抗、导弹和无线通信；在民用和商业领域，主要用于基站、卫星通信、有线电视、手机充电器等小家电，特别是各种快速充电领域。

表 3：不同衬底材料的晶体管应用

晶体管材料 衬底材料	GaN	SiC	Si
GaN	功率	/	/
SiC	功率/射频	功率	/
Si	功率/射频	/	全覆盖
蓝宝石	功率/LED	/	/

（三）主要制备工艺

第三代半导体晶片和器件的制备基本工艺流程同硅基半导体基本一致，大致可分为以下几个阶段：晶体生长、晶片加工、器件制备（包括有源层制备、欧姆接触、钝化层沉积等工艺段）、器件封装等。很多工艺段设备可以与硅基半导体工艺兼容，但由于宽禁带半导体材料熔点较高、硬度较大、热导率较高、键能较强的特殊性质，使得部分工艺段需要使用专用设备、部分需要在硅设备基础上加以改进。

表 3：第三代半导体晶片和器件制备的基本工艺流程

分类	工艺流程	使用方法
SiC 材料	晶体生长	使用 PVT 法制备

和器件设备	晶体加工	多线切割机、研磨机和抛光机均需针对 SiC 脆硬的特性进行改进
	器件制造	需使用分布投影光刻机、需使用专用的 SiC 外延炉、高温离子注入机、高温退火和高温氧化设备，干法刻蚀设备需更高的刻蚀功率
	器件封装	减薄机需针对 SiC 材料脆硬特性改进，划片机需针对 SiC 导热性好的特点使用激光隐形划切方式
GaN 材料和器件设备	GaN 单晶材料	还处于研发推广阶段，主要使用 HVPE 设备制备
	GaN 薄膜材料和有源层制备	使用 MOCVD 设备

表 4：第三代半导体关键技术及 设备商

环节	设备	关键技术	主流设备商	国内设备
晶体生长	碳化硅粉料合成设备	高温高真空密封与控制、真空室水冷、真空及测量系统、电气控制系统、粉料合成坩埚加热与耦合技术	Cree	中电科电子装备、山东天岳等
	碳化硅单晶生长炉	高温大尺寸设备高真空密封与控制、坩埚选择结构与密封技术、分子级线圈精密升降机构设计与控制、大尺寸坩埚加热与耦合技术、气体输运与混合控制技术	碳化硅单晶生长炉：Cree、德国 Aixtron 等； 氮化物晶体生长炉：三菱化学	碳化硅单晶生长炉：中电科电子装备、山东天岳、北方华创、晶盛机电等 氮化物晶体生长炉：中科院半导体所、深圳大学等
晶体加工	金刚石多线切割机	主轴系统设计制造、旋转摆动系统设计制造及摆动切割过程控制、移动布线系统技术、张力调节系统技术及算法、收/放线轮系统技术	日本高岛、瑞士 Meyer Burger、日本 NTC 等	中电科电子装备、湖南宇晶等
	碳化硅研磨机	高硬度材料减薄厚度的精确测量及控制、磨削后晶圆表面出现损伤层、微裂纹和残余应力、SiC 晶圆减薄后产生比 Si 晶圆更大的翘曲现象、薄晶圆传输中的碎片问题	美国 STRASBAUGH、瑞典 Logitech	中电科电子装备、兰州瑞德等
	碳化硅抛光机	大尺寸高精度抛光盘设计、制造及装配技术，工作台振动控制验证平台涉及及振动技术，抛光盘温度控制技术，循环水路设计技	Logitech、AMAT	中电科电子装备

		术，自适应承载器技术，抛光头加压传动技术		
器件制造	碳化硅外延炉	感应加热系统设计、喷淋技术、气浮传动技术、电磁隔离技术、工艺气体无扰动切换	德国 Aixtron、意大利 LPE、日本 TEL 和 Nuflare、瑞典 Epigress	中电科电子装备、北方华创、晶盛机电
	分步投影光刻机	投影物镜设计、加工、装调技术，整机系统集成与自动测试技术，高速、高精度伺服工作台技术，高精度自动对准技术，曝光光源及控制技术	荷兰 ASML 等	/
	涂胶显影机	高集成度设备设计、工艺一致性控制、高精度工艺区温度控制技术，高精度胶液供给技术、工艺腔排风流场控制、晶圆高速传输技术、整体电机系统	/	/
	高温退火炉	高温炉膛热场涉及制造工艺；快速升温、降温与控温技术	德国 Centrotherm、日本 ULVAC	中电科电子装备、北方华创
	高温离子注入机	离子源技术、高温靶室技术	日本 ULVAC 和 NISSIN、美国 AMAT 等	中电科电子装备
	溅射设备	高均匀性、高靶材利用率阴极溅射靶设计与制造、靶材及基片防污染设计	/	/
	干法刻蚀机	高洁净抗腐蚀工艺腔体设计与制造、高性能等离子体源技术、高硬度材料刻蚀工艺	德国 SENTECH、英国 TOXFORD、法国 Corial	中电科电子装备、北方华创
	PECVD	等离子放电腔室设计与制造、均匀性与重复性控制、沉积工艺	瑞士 Meyer Burger、美国 Applied Materials	中电科电子装备、北方华创等
	MOCVD	感应加热系统设计、喷淋技术、反应室温场设计技术、工艺气体无扰动切换等	Aixtron、美国 Veeco	中电科电子装备、中微半导体、中科院半导体所、中晨光电、理想能源等
	高温氧化炉	无金属加热技术；抗氧化无污染高温炉膛设计与制造；高温氧化工艺	Centrotherm、ULVAC	中电科电子装备、北方华创
	激光退火设备	光路调节技术、光斑大小和均匀性控制	/	/

	湿法工艺设备	防腐蚀技术、温度控制技术、流场控制技术、大行程传输技术、高精度药液供给技术	/	/
器件封装	背面减薄机	感应加热系统设计、喷淋技术、气浮传动技术、电瓷隔离技术、工艺气体无扰动切换		
	划片机	投影物镜设计、加工、装调技术，整机系统集成与自动测试技术，高速高精度伺服工作台技术，高精度自动对准技术，曝光光源及控制技术	东京精密、日本Disco	中电科电子装备、北方华创

(四) 主要器件产品

表 5：第三代半导体主要器件产品

名称	简介
SiC 功率二极管	SiC 功率二极管可显著降低由反向恢复作用导致的自身损耗及反并联可控功率半导体器件的开通损耗，在开关频率较高的应用中具有明显优势，目前主要有 SiC 肖特基二极管（SBD）、SiC PiN 二极管和 SiC 结势垒控制肖特基二极管（JBS）这三种。SBD 具有低正向电压的优势。SiCSBD 的出现将 SBD 的应用范围从 250V 提高到 1200V。同时，其高温特性好，从室温到由管壳限定的 175℃，反向漏电流几乎没有增加。在 3KV 以上的整流器应用领域，SiCPiN 和 SiCJBS 二极管由于比 Si 整流器具有更高的击穿电压、更快的开关速度以及更小的体积和更轻的重量而备受关注。
SiC JFET	SiC JFET 利用 PN 结耗尽区控制沟道电流，可全面开发 SiC 的高温新能，适合答问高功率开关装置，是研发起步比较早且产业化发展较成熟的 SiC 功率半导体器件。与 MOSFET、IGBT 等器件相比，单极性的 JFET 具备良好的高频特性、高温稳定性及栅极可靠性，然而栅极 PN 结工作方式使其无法兼容通用的门级驱动器，不能直接替代 Si MOSFET 及 IGBT。
SiC MOSFET	与相同功率等级的 Si MOSFET 相比，SiC MOSFET 导通电阻、开关损耗大幅降低，适用于更高的工作频率，另由于其高温工作特性，大大提高了高温稳定性。可直接采用 Si MOSFET 的设计、制造经验及生产设备，且驱动电路与 Si MOSFET、IGBT 均兼容，因此是产业化速度最快的宽禁带功率半导体期间。SiC MOSFET 高温与常温下导通损耗与关断损耗均很小，驱动电路简单，有利于电路节能和散热设备的小型化。与硅 IGBT 相比，既具有高频特性，又无拖尾电流，未来有可能替代 Si IGBT 成为主流功率电子开关器件。
SiC IGBT	在 10 KV 以上的高压及超高压领域中，SiC MOSFET 器件会面临通态电阻过高问题，SiC IGBT 优势立显。但受 P 型衬底电阻率高、沟道迁移率低及栅氧化层可靠性问题限制，制备较难。目前虽正逐步解决上述问题，但产品尚未实用化。

GaN HEMT	基于 GaN 半导体材料制作的高电子迁移率晶体管（HEMT）具有极快的开关速度和优异的反省恢复性能，适用于低损耗、高效率的应用场合，相比其他开关功率半导体器件，GaN HEMT 有更高的效率和开关速度，更小的提及和更简化的设计，且可工作在 Ka 波段及 300℃ 的高温环境，能够覆盖 1-100GHz 的工作频率，在军用雷达、智能武器和通信系统等方面有着重要的应用价值。
GaN 二极管	GaN 功率二极管主要针对中低压领域，包括 GaN 肖特基二极管和 PN 二极管。GaN 肖特基二极管主要有横向、垂直和台面 3 种结构，每种结构对二极管性能都各有利弊；GaN PN 二极管具有很高的电流密度、较高的雪崩击穿能力承受能力和非常小的漏电流。

（五）主要技术问题

（1）大尺寸 SiC 单晶衬底制备技术仍不成熟。目前国际上 SiC 芯片的制造已经从 4 英寸换代到 6 英寸，并已经开发出了 8 英寸 SiC 单晶样品，与先进的硅功率半导体器件相比，单晶衬底尺寸仍然偏小、缺陷水平仍然偏高。并且缺乏更高效的 SiC 单晶衬底加工技术。SiC 单晶衬底材料线切割工艺存在材料损耗大、效率低等缺点，必须进一步开发大尺寸 SiC 晶体的切割工艺，提高加工效率。

衬底表面加工质量的好坏直接决定了外延材料的表面缺陷密度，而大尺寸 SiC 衬底的研磨和抛光工艺仍不能满足要求，需要进一步开发研磨、抛光工艺参数，降低晶圆表面粗糙度。近年来，中国 SiC 单晶材料领域取得了长足进步，但与国际水平相比仍存在一定的差距。

除以上共性问题外，中国 SiC 单晶材料领域在以下两方面存在较大风险：一是 SiC 单晶企业无法为国内已经/即将投产的 6 英寸芯片工艺线提供高质量的 6 英寸单晶衬底材料；二是 SiC 材料的检测设备完全被国外公司所垄断。

（2）SiC 外延生长技术有待进一步提高。目前外延材料生长过程中气流和温度控制等技术仍不完美，在 6 英寸 SiC 单晶衬底上生长高均匀性的外延材料技术仍有一定挑战，一定程度影响了中低压 SiC 芯片良率的提高。近年来中国 SiC 外延材料技术获得了较大进展，申请了一系列专利，正在缩小与其他国家的差距，已经开始批量采用本土 4 英寸单晶衬底材料，产品已经打入国际市场。

但是，目前国内 SiC 外延材料产品以 4 英寸为主，由于受单晶衬底材料的局限，尚无法批量供货 6 英寸产品。并且 SiC 外延材料加工设备全部进口，将制约中国独立自主产业的发展壮大。

(3) SiC 功率器件的市场优势尚未完全形成。虽然国际上 SiC 器件技术和产业化水平发展迅速，开始了小范围替代硅基二极管和 IGBT 的市场化进程，但是 SiC 功率器件的市场优势尚未完全形成，尚不能撼动目前硅功率半导体器件市场上的主体地位。

国际 SiC 器件领域存在的问题主要有：SiC 单晶及外延技术还不够完美，高质量的厚外延技术不成熟，这使得制造高压 SiC 器件非常困难，而外延层的缺陷密度又制约了 SiC 功率器件向大容量方向发展；SiC 器件工艺技术水平还比较低，这是制约 SiC 功率器件发展和推广实现的技术瓶颈，特别是高温大剂量高能离子注入工艺、超高温退火工艺、深槽刻蚀工艺和高质量氧化层生长工艺尚不理想，使得 SiC 功率器件中存在不同程度的高温和长期工作条件下可靠性低的缺陷；在 SiC 功率器件的可靠性验证方面，其试验标准和评价方法基本沿用 Si 器件，尚未有专门针对 SiC 功率器件特点的可靠性试验标准和评价方法，导致试验情况与实际使用的可靠性有差距；在 SiC 功率器件测试方面，SiC 器件测试设备、测试方法和测试标准基本沿用 Si 器件的测试方法，导致 SiC 器件动态特性、安全工作区等测试结果不够准确，缺乏统一的测试评价标准。

除了以上共性问题外，中国 SiC 功率器件领域发展还存在研发时间短，技术储备不足，进行 SiC 功率器件研发的科研单位较少，研发团队的技术水平跟国外还有一定的差距等问题，特别是在以下 3 个方面差距较大：1) 在 SiC MOSFET 器件方面的研发进展缓慢，只有少数单位具备独立的研发能力，存在一定程度上依赖国际代工企业制造芯片的弊病，容易受制于人，产业化水平不容乐观。2) SiC 芯片主要的工艺设备基本上被国外公司所垄断，特别是高温离子注入设备、超高温退火设备和高质量氧化层生长设备等，国内大规模建立 SiC 工艺线所采用的关键设备基本需要进口。3) SiC 器件高端检测设备被国外所垄断。

(4) 当前 SiC 功率封装工艺尚显落后。为了充分发挥 SiC 功率器件的高温、高频优势，必须不断降低功率模块的寄生电感、降低互连层热阻，并提高芯片在高温下的稳定运行能力。目前 SiC 功

率模块存在的主要问题：1) 采用多芯片并联的 SiC 功率模块，由于结电容小、开关速度高，因此在开关过程中会出现极高的电流上升率 (di/dt) 和电压上升率 (du/dt)，在这种情况下会产生较严重的电磁干扰和额外损耗，无法发挥 SiC 器件的优良性能；SiC 功率模块的封装工艺和封装材料基本沿用了硅功率模块的成熟技术，在焊接、引线、基板、散热等方面的创新不足，功率模块杂散参数较大，可靠性不高。2) SiC 功率高温封装技术发展滞后。目前 SiC 器件高温、高功率密度封装的工艺及材料尚不完全成熟。为了发挥 SiC 功率器件的高温优势，必须进一步研发先进烧结材料和工艺，在高温、高可靠封装材料及互连技术等方面实现整体突破。

(5) SiC 功率器件的驱动技术尚不成熟。为了充分发挥 SiC 功率器件的高频、高温特性，要求其驱动芯片具有工作温度高、驱动电流大和可靠性高的特点，目前 SiC 功率器件的驱动芯片及驱动电路仍然沿用硅器件的驱动技术，尚不能发挥 SiC 功率器件高温、高频的工作特性，使得 SiC 功率器件在实际使用过程中难以达到设计的极限性能。

五、第三代半导体产业政策

国家政策大力支持，推动我国第三代半导体产业快速发展。早在 2013 年，科技部 863 计划就将第三代半导体产业列为国家战略发展产业。2019 年 12 月，国家级战略《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》明确要求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，国务院发布的《新时期促进集成电路产业和软件产业高质量发展的若干政策》指出，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%法定税率减半征收企业所得税；2021 年，“十四五”规划出炉，提出要瞄准集成电路等前沿领域，推动碳化硅、氮化镓等宽禁带半导体发展。

表 6：国家支持第三代半导体发展的相关政策（不完全统计）

序号	发布时间	发布单位	政策名称	政策内容
1	2021	全国人大	《中华人民共和国国民	培育先进制造业集群，推动集成电路、航空航天等产业创新发展。瞄准人工智能、量子

			经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》	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。集成电路涉及工具、重点装备和高纯靶材等关键材料研发，集成电路先进工艺和绝缘栅双极型晶体管（IGBT）、微电机系统（MEMS）等特色工艺突破，先进储存技术升级，氮化镓、氮化镓等宽禁带半导体发展。
2	2020	国务院	《新时期促进集成电路产业和软件产业高质量发展的若干政策》	国家鼓励的重点集成电路设计企业和软件企业，自获利年度起，第一年至第五年免征企业所得税，接续年度减按 10%的税率征收企业所得税。
3	2019	国务院	《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》	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。
4	2019	财政部、国家税务总局	《关于集成电路设计和软件产业企业所得税政策的公告》	依法成立且符合条件的集成电路设计企业和软件企业，在 2018 年 12 月 31 日前自获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。
5	2019	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（纯度>99%）、高纯掺杂氧化铝微粉（纯度>99%）、高纯氮化铝（AlN）粉体（纯度>99%，平均粒径<1 μm）等精密高性能陶瓷原料外资生产企业。
6	2019	工信部	《重点新材料首批次应用示范指导目录（2019 年版）》	对重点新材料首批次应用给予保险补偿，GaN 单晶衬底、功率器件用 GaN 外延片、SiC 外延片、SiC 单晶衬底等第三代半导体进入目录
7	2017	科技部、交通运输部	《“十三五”交通领域科技创新专项规划》	建立汽车电子控制技术创新及测试评价平台，开展 IGBT、碳化硅、氮化镓等电力电子器件技术研发及产品开发和零部件、系统的软硬件测试技术与测试评价技术规范体系研究。

8	2016	国务院	《“十三五”国家科技创新规划》	启动一批面向 2030 年的重大项目，第三代半导体被列为国家科技创新 2030 重大项目“重点新材料研发及应用”。
9	2015	国务院	《中国制造 2025》	明确提出要大力发展第三代半导体产业，要求 2025 年实现在 5G 通信、高效能源管理中的国产化率达到 50%；在新能源汽车、消费电子中实现规模应用，在通用照明市场渗透率达到 80%以上。
10	2021	上海临港新片区	《集成电路产业专项规划（2021-2025）》	规划提出推进 6 英寸、8 英寸 GaAs、GaN 和 SiC 工艺线建设，面向 5G、新能源汽车等应用场景，加快化合物半导体产品验证应用。该规划有利于推动集成电路装备产业规模化发展，支持高端刻蚀、清洗、离子注入、光刻、薄膜、湿法、热处理以及光学量测等设备的研发和产业化。

六、第三代半导体下游应用市场

第三代半导体主要四类材料包括：（1）SiC；（2）III 族氮化物（典型代表 GaN）；（3）宽禁带氧化物（典型代表 ZnO），用于压力传感器、记忆存储器、柔性电子器件，目前技术和应用不成熟，主要产品有发光二极管、激光、纳米发电机、纳米线晶体管、紫外探测器等；金刚石，用于光电子、生物医学、航空航天、核能等领域的大功率红外激光器探测器，技术和应用还在开发中。

目前上述四类材料中以 SiC、GaN 两种材料为主，有三大主要下游应用，分别为光电子器件、电力电子器件和微波射频器件，几乎遍及所有用电领域。其中碳化硅主要应用在新能源汽车和工控等领域，氮化镓器件主要应用在 5G 基站等领域：

（1）光电子。包括激光显示、环境监测、紫外光源、半导体照明、可见光通信、医疗健康；

（2）电力电子。包括工业机电、新能源并网、轨道交通、电动汽车、智能电网、消费电子；

（3）微波射频。包括遥感、雷达、卫星通讯、移动基站。

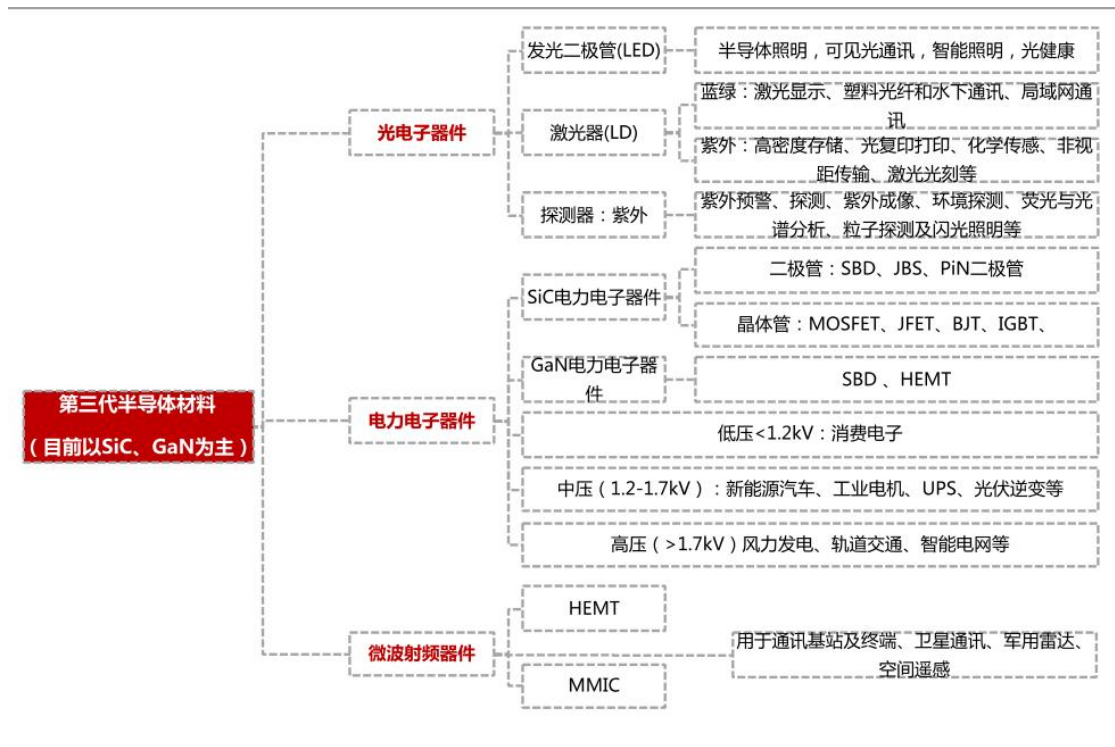


图 6：第三代半导体材料下游应用

三大下游应用领域中，光电子占比最大但增长较慢，**电力电子（即功率半导体）与微波射频是两大主要增长领域**。据 CASA（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）》统计，2020 年我国第三代半导体整体产值超过 7100 亿元，其中半导体照明整体产值预计 7013 亿元，受新冠疫情影响较 2019 年下降 7.1%；电力电子及微波射频持续增长，总产值超过 100 亿元，同比增长 69.5%。其中 SiC、GaN 电力电子产值规模达 44.7 亿元，同比增长 54%；GaN 微波射频产值达到 60.8 亿元，同比增长 80.3%。

其中，光电子是第三代半导体目前最主要的应用领域，以 LED 为代表的材料，从中村修二等发明蓝光后，已经发展了近 20 年，主要应用于照明、显示和不可见光等领域，大部分衬底材料采用蓝宝石，部分采用碳化硅，外延采用氮化镓，是迄今为止第三代半导体材料中，非常成熟也是非常成功的应用。但因 LED 行业的过度补贴与 MOCVD 设备国产化两大因素使得行业产能过剩严重，整体增长空间不大。而电力电子应用方面，在新能源汽车应用的强力带动下，2020 年国内 SiC、GaN 电力电子器件市场规模较上年同比增长 90%。同时，2020 年，PD 快充市场爆发，国内手机厂商和电商共推出数十款 GaN 快充新品，同时笔电厂商陆续进入，GaN 快充将在未来几年

迎来快速发展。目前现在政策利好的第三代半导体，主要应用于射频、功率等领域，是一个升级的应用过程。故下面主要从电子电子器件和微波射频器件两个角度进行分析。

（一）电力电子器件

当前 SiC 和 GaN 器件在电子电力领域的渗透率较低，仍处于早期的产品导入阶段。根据 2019 年中国电子技术标准化研究院（CESI）发布的《功率半导体分立器件产业及标准化白皮书》数据显示，2018 年全球功率半导体分立器件的销售额约为 230.91 亿美元，而全球第三代功率半导体分立器件的市场规模约 70 亿元，渗透率低于 5%，2019-2023 年第三代功率半导体分立器件的年复合增长率达 39%，到 2030 年市场规模达到 1100 亿元，其中全球 SiC 功率器件市场规模将超过 500 亿元，国内市场约占 40-50%；全球 GaN 电力电子器件市场规模将超过 100 亿元，国内市场约占 55-60%；全球 GAN 射频器件市场规模将超过 500 亿元，国内市场约占 50%。

SiC 和 GaN 未来的年复合增长率高达 30%以上，主要驱动分别为新能源汽车和快充市场的增长。未来随着 SiC MOSFET 的技术可靠性进一步提高，电动汽车传动系统的主逆变器应用将成为 SiC 器件的主要驱动因素。根据 Yole 和 Omdia 数据，到 2020 年底，碳化硅（SiC）和氮化镓（GaN）功率半导体的全球市场约为 8.54 亿美元，其中 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。当然由于 SiC 和 GaN 功率器件优异特性可能主要用于中高端应用，与 Si 全控器件不可能全部取代 Si 半控器件一样，SiC 和 GaN 宽禁带电力电子器件在将来也不太可能全面取代 Si 功率 MOSFET、IGBT 和 GTO 等。SiC 电力电子器件将主要用于 600 V 以上的高压工业应用领域；GaN 电力电子器件将主要用于 600 V 以下的消费电子、计算机/服务器电源应用领域。

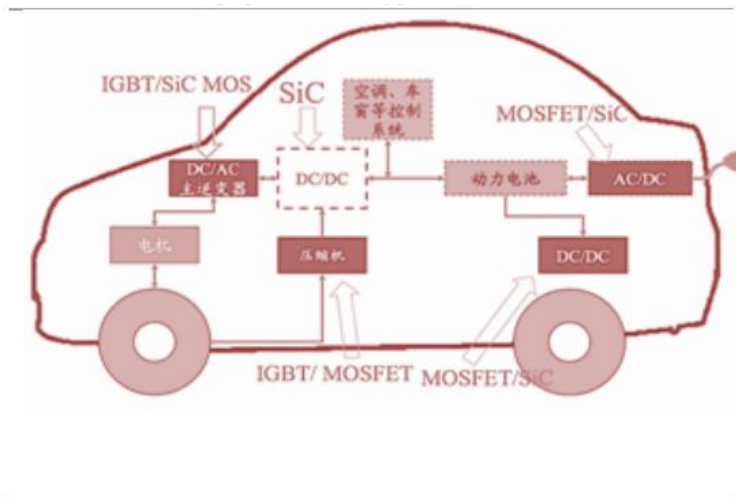


图 7：电动汽车中功率半导体分布

1、新能源汽车

对比新能源汽车与传统燃油车，“三电系统”即电池、电机、电控系统代替了汽油发动机、油箱和变速器，新增 DC-DC 模块、电机控制系统、电池管理系统、高压电路等部件。由于采用 SiC 功率器件因其对电能较高的转化效率可以提升电池的能量利用率；同时，因其功率密度大、高频率可减少电力转化模块的体积和质量，也因其对高温的耐受能力更强可使其节省散热组件，实现整车轻量化。综合来看，采用 SiC 功率器件可使新能源汽车在同样的电池容量下实现更高的续航里程，从而用于实现能量转换及传输的功率半导体在新能源汽车上大幅增加。

根据市场调研机构 Strategy Analytics 统计，传统燃料汽车的车用半导体中 MCU（功能芯片）含量最高（23%），而新能源汽车中功率半导体含量最高（55%），混动/纯电汽车中的功率半导体单车成本分别为 300/455 美元，而燃料/轻混汽车为 50/75 美元。

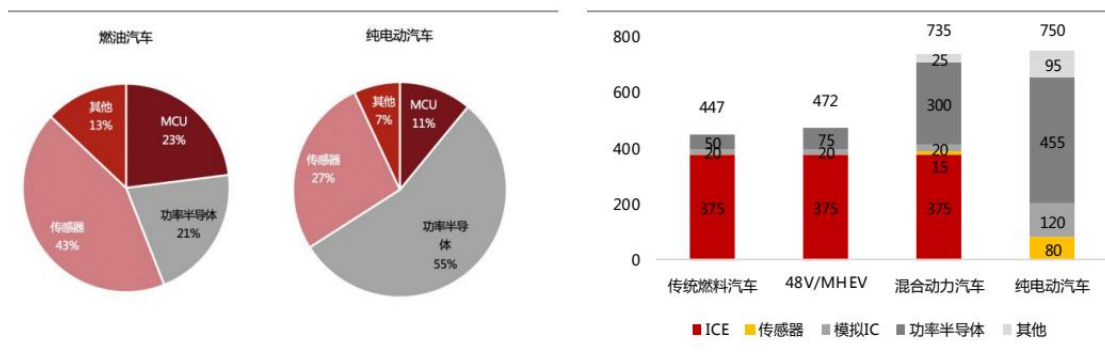


图 8：传统燃料汽车不纯电汽车不同种本分

图 9：汽车半导体组件的物料成本

SiC 与 GaN 器件正加速电动汽车市场渗透。新能源汽车中涉及到功率器件的组件包括电机驱动器、车载充电器 (OBC) / 非车载充电桩、电源转换系统 (车载 DC/DC)。2015 年, 特斯拉 Model 3 开始采用分立 SiC MOSFET 的电机控制器; 2016 年, 日本丰田和电装联合研发的 SiC 电机控制器, 能量损耗较先前的产品降低了 10%; 日本罗姆公司为 Formula E 方程式赛车提供了全 SiC 控制器, 相比 IGBT 控制器, 体积减小了 43%, 质量减小 6kg; 2018 年, 特斯拉 Model 3 采用了意法半导体生产的 SiC 逆变器, 是第一家在主逆变器中集成全 SiC 功率模块的车企; 同年精进电动研发出 600 VDC、峰值 120kW 水冷 SiC 电机控制器, 而 2020 年 7 月新上市的比亚迪-汉 EV 也搭载了高性能 SiC-MOSFET 控制模块, 功率密度超过 30kW/L; 2020 年 11 月精进电动宣布其 300-600kW 系列 SiC MOSFET 控制器, 获得了德国大众商用车公司 TRATON 集团客车和重卡等电动化商用车驱动电机控制器的量产合同, 功率密度大于 40kW/L, 在不同工况下比硅基控制器节能 3%-6%。此外, 多家企业的 GaN HEMT 产品相继获得汽车级 AEC-Q101 认证, 提高了采用者对 GaN 晶体管可靠性的信心。

2、GaN 快充

GaN 基的 MOSFET 功率器件具备开关频率高、导通电阻小、损耗低以及能源转换效率高等优点, 由 GaN 制成的充电器可以做到更高的功率密度, 使得其在消费电子适用于快充充电器。安卓端率先将 GaN 技术导入到快充领域, 随着 GaN 生产成本迅速下降, GaN 快充有望成为消费电子领域下一个杀手级应用。

2019 年 9 月, OPPO 发布国内首款 GaN 充电器 SuperVOOC2.0, 充电功率为 65W, 是全球首家在手机充电器中导入氮化镓技术的厂商。2020 年 2 月, 小米推出 65 W GaN 充电器, 体积比小米笔记本充电器缩小 48%, 并且售价创下业内新低。

随着近年来智能手机和电脑充电器的输出功率呈指数增长, 体积相应增大, 不便于携带, 而采用 GaN 功率器件后, 不仅可以通过升高开关频率来减小变压器的体积, 还能减小或者省略散热片, 从而减小大功率充电器体积。预计全球 GaN 功率半导体市场规模将大幅增长。

3、其他

除新能源汽车和消费电子之外，预计工业充电、5G 高频器件以及可再生能源和储能领域的电源应用都将从第三代半导体的发展中受益，尤其是在高频高压应用中，将竞争性取代原有的 Si 器件。

(1) 用于大数据中心和工业互联网中的服务器电源。服务器电源是服务器能源库，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，整体降低数据中心整体建设成本，同时实现更高的环保效率。

(2) 用于特高压中的柔性输电直流断路器。特高压作为大型系统工程，将催发从原材料和元器件等一系列的需求，而功率器件是输电端特高压直流输电中 FACTS 柔性输电技术和变电端电力电子变压器 (PET) 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。使用传统硅基器件设计直流断路器需要多级子单元串联，在直流断路器中使用高电压碳化硅器件可以大大减少串联子单元数量，是行业研究的重点方向。

(3) 用于光伏发电和风力发电等绿色能源领域。光伏发电是产生直流电，若要并入电网则需要逆变成交流电，这个电能转换过程便需要功率器件的参与。SiC 功率模块与采用 Si 基 IGBT 的功率模块相比，可将开关损失降低 85%，采用 SiC 功率器件可直接提升电能的转化效率，增加其并网发电收入。风力发电是先产生频率、电压、电流不稳定的交流电，经过整流成为直流电后再统一逆变成可并网的交流电，整个电能转换过程需要经过整流、逆变两步，因此采用转化效率更高的 SiC 功率器件能更好地提升风能的利用效率。同时，SiC 功率器件因其材料特性使用寿命比硅基器件更久，也更耐受极端环境，更适合光伏、风力发电领域。

(4) 用于城际高铁和城际轨道交通中的牵引变流器、电力电子变压器、辅助变流器、辅助电源。未来轨道交通对电力电子装置，比如牵引变流器、电力电子电压器等提出了更高的要求。采用 SiC 功率器件可以大幅度提高这些装置的功率密度和工作效率，将有助于明显减轻轨道交通的载重系统。碳化硅器件可以实现设备进一步高效率化和小型化，在轨道交通方面具有巨大的技术优势。日本新

干线 N700S 已经率先在牵引变流器中使用碳化硅功率器件，大幅降低整车的重量，实现更高的运载效率和降低运营成本。

(5) 用于高功率直流充电桩领域。SiC 功率器件以其高转化效率、功率密度大、耐高温、使用寿命长的特点，更适合用在高频次使用的直流充电桩上，以降低电能损耗、节省充电桩体积、提高充电速率、延长设备使用寿命。并且当前 SiC 功率器件做成的充电桩功率模组虽然在器件成本上相较于 Si 基器件贵 3-5 倍，但由于减少了外围电容、电感等其他组件，使得总体器件数量为 Si 基的 1/2 左右，系统成本仅比充电桩硅基模组高 10%-20%。相较于折旧增加带来的成本，电力节约而节省的成本更为突出，使得在专用充电桩领域 SiC 替代 Si 基功率器件有经济优势。

(二) 射频器件

在射频微波领域，GaN 熔点在 1700℃，频率目前可达 25GHz，功率达到 1800W，在航空航天、微波雷达、卫星通信、5G 通信有非常大的优势。通过采用 GaN 功率器件能够有效地改善发射天线的设计，减少发射组件的数目和放大器的级数等，有效降低雷达发射系统的成本。未来 GaN 将取代 GaAs 在高功率、高频率卫星通信领域的应用，同时在有线电视 (CATV) 和民用雷达市场上提供比 LDMOS (横向扩散金属氧化物半导体) 或 GaAs 更高的附加值。

当前射频功率放大器 (PA) 主要有三种工艺：GaAs、GaN 和基于 Si 的 LDMOS。GaAs 输出功率较低 (一般低于 50W)，主要应用于手机；GaN 和 LDMOS 输出功率较高，主要应用于基站，LDMOS 器件是 4G 基站建设的市场主流。4G 的频率范围为 1.88GHz-2.635GHz，而 5G 的 Sub-6GHz 频段和毫米波频段的频率分别可达到 0.45GHz-6GHz 和 24.25GHz-52.6GHz。LDMOS 的极限有效频率是 3GHz 以下，无法适应 5G 的高频率，而 GaN 适应的频率范围拓展了 40Hz 甚至更高，适应了 5G 高频的需求。

GaN 射频器件未来 5 年的年复合增长率为 12%。据 Yole 预测，2025 年 GaN RF3 器件市场整体规模将超过 20 亿美元，2019-2025 年 GaNRF 的年复合增长率为 12%，其中用于军事领域的市场规模预计将由 3.42 亿美元增长至 11.10 亿美元，年复合增长率高达 22%；

用于电信基建领域的市场规模预计将由 3.18 亿美元增长至 7.31 亿美元，年复合增长率为 15%。

1、5G 基站

5G 基站对射频前端的高性能要求，为 GaN 发展带来广阔空间。目前的商业化 GaN 射频器件产品主要有三种，其中基站建设是 GaN 射频市场成长的主要动力之一。5G 通信对射频前端有高频、高效率等严格要求，同时数据流量的高速增长使得调制解调难度不断增加，所需的频段越多，对射频前端器件的性能要求也随之加高。2020 年，我国完成了超 70 万个宏基站建设，预计全年电信运营商将建设超过 80 万站 5G 基站，未来 5 年 5G 基础设施加速将带来巨大的射频器件市场需求。据 Yole 预计，2022 年全球 4G/5G 基站市场规模将达到 16 亿美元，2023 年基站领域 GaN 射频器件的市场规模将达到 5.21 亿美元，在基站的渗透率超过 85%。随着 GaN 技术向更小的工艺尺寸演进，未来将挑战 GaAs 器件、硅基 LDMOS 器件的主导地位。

2、军用

雷达是军事应用中的一大动力。随着新的基于 GaN 的有源电子扫描阵列 (AESA) 雷达系统的实施，基于 GaN 的军用雷达预计将主导 GaN 军事市场。据 Yole 预测，GaN 射频军用市场将以 22% 的 CAGR 增长，其总价值将在 2025 年超过 11 亿美元。

七、第三代半导体主要企业

(一) 碳化硅市场格局

目前全球 SiC 晶片市场格局呈现美、欧、日三足鼎立态势，中国企业开始崭露头角。美国在 SiC 晶圆产量上全球独大，占有全球 SiC 产量的 70%-80%；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发方面拥有领先地位。根据半导体时代产业数据中心《2020 年中国第三代半导体碳化硅晶片行业分析报告》数据，2020 上半年全球半导体 SiC 晶片市场中，美国 CREE 出货量占据全球 45%；欧洲企业在 SiC 器件的设计开发领域较强，主要企业有 Siltronic、意法半导体、IQE、英飞凌等；日本的技术力量雄厚，产业链完整，代表企业有松下、罗姆、住友电气、三菱等，罗姆子公司 SiCrystal 占据 20%，II-VI 占 13%；中国企业发展较快，

天科合达的市占率由 2019 年的 3% 上升至 2020 年的 5.3%，山东天岳占比为 2.6%。

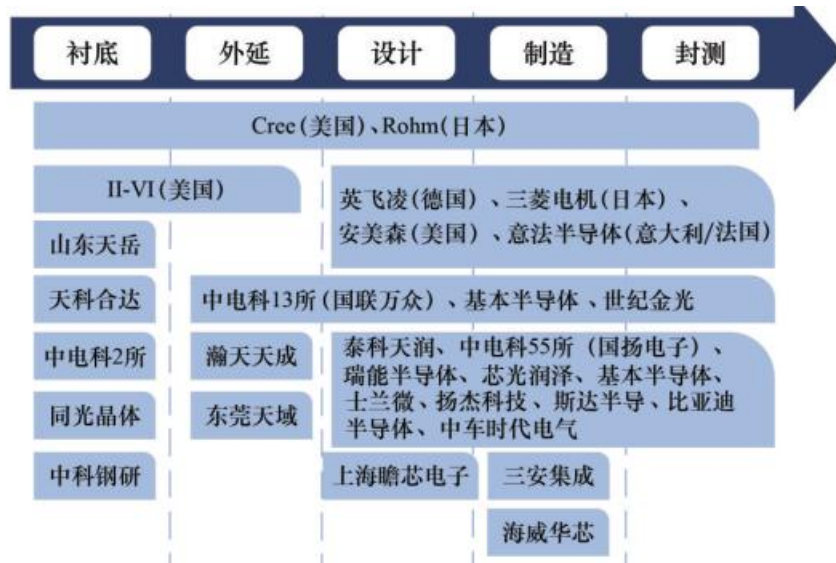


图 10：国内外 SiC 产业链主要企业

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。美国科锐（Cree）、日本罗姆（Rohm）具备从 SiC 衬底-外延-器件-模块的全产业链垂直供应体系，德国英飞凌（Infineon）等厂商通过购买 SiC 衬底，自行进行外延生长，制作器件及模块。美国的 Cree、II-VI 和日本 Rohm 旗下的 SiCrystal 合计占据了全球 SiC 晶片 90% 的出货量。而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。

中国 SiC 产业链中，与 Cree、Rohm 类似的全流程布局的有三安光电、世纪金光公司；主要负责 SiC 衬底生产的企业有天科合达、山东天岳，已经能供应 2-6 英寸的单晶衬底；负责 SiC 外延片生产的有东莞天域、厦门瀚天天成，可生产 2-6 英寸 SiC 外延片；负责器件设计的有台湾瀚薪、深圳基本半导体；而以集成器件制造（IDM）形式生产器件和模块的企业，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，如斯达半导体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等。其产品已经广泛应用于智能电网、新能源汽车以及城市轨道交通等领域，提高了国内相关产业的工业化水平。

此外，高质量、大尺寸的 SiC 单晶材料是 SiC 技术发展首要解决的问题，持续增大晶圆尺寸、降低缺陷密度（微管、位错、层错等）是其重点发展方向。随着市场景气度的不断提升，预计未来 4 英寸晶圆将逐渐退出市场，6 英寸晶圆需求将大幅增长。目前 SiC 衬底技术相对简单，国内主要 SiC 单晶衬底材料企业和研发机构已经具备了成熟的 4 英寸零微管 SiC 单晶产品能力，并已经研发出了 6 英寸单晶样品。近年来中国 SiC、GaN 电力电子产业值持续提高，但是在晶体材料质量和产业化能力方面距离国际先进水平存在一定差距。

表 7：国内外第三代半导体材料主要技术差距

工艺阶段	具体环节	国内	国际
材料	衬底	SiC 衬底：可批量生产 4 英寸 SiC 衬底，6 英寸可小批量生产，8 英寸研发取得突破 GaN 衬底：小批量生产 2 英寸衬底，且具备 4 英寸生产能力，已开发出 6 英寸样品	SiC 衬底：从 4 英寸向 6 英寸过渡，可量产 6 英寸，正在建设 8 英寸量产工厂 GaN 衬底：以 4/6 英寸生产为主
	外延	SiC 外延：可提供 4 英寸的碳化硅外延片，已实现 6 英寸 SiC 外延片规模制备 GaN 外延：已实现商业化的 6 英寸 Si 基 GaN 外延材料和器件，GaN 外延层厚度超过 5 μm（耐压 600V）	SiC 外延：主流 6 英寸，美日欧占据全球 70-80% 份额 GaN 外延：SiC 基 GaN 外延目前限制在 4 寸与 6 寸，8 寸还没有推广
	衬底良率	40-50%	70-80%
	技术发展时间	15 年	33 年

表 8：各大衬底厂商晶片研制和生产进度

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

（二）氮化镓市场格局

氮化镓 GaN 产业链分为衬底、外延片和器件环节。其上游主要为原材料衬底制备，尽管碳化硅被更多地作为衬底材料（相较于氮化镓），国内仍有从事氮化镓单晶生长的企业，主要有天科合达、山东天岳、苏州纳维、东莞中镓、上海镓特和芯元基等；中游为制造环节（外延片→设计→制造/IDM→封测），国内有三安光电、闻泰科技、海威华芯、赛微电子、海陆重工、苏州晶湛、苏州能华、英诺赛科、聚灿光电、乾照光电等企业，海外龙头有日本住友、Qorvo、Cree，中国台湾有稳懋、寰宇；下游为应用环节，氮化镓 GaN 主要应用于射频、汽车电子和光电领域。

目前 GaN 衬底主要由日本公司主导，日本住友电工的市场份额达到 90% 以上。国内已经小批量生产 2 英寸衬底，具备 4 英寸衬底生产能力，并开发出 6 英寸衬底样品，国内的苏州纳维、东莞中镓也有能力生产提供相关的产品。GaN 外延片相关企业主要有比利时的 Epi-GaN、英国的 IQE、日本的 NTT-AT。中国厂商有苏州晶湛、苏州能华和世纪金光，苏州晶湛 2014 年就已研发出 8 英寸硅基外延片，现阶段已能批量生产，2018 年 12 月聚能晶源成功研制了 8 英寸硅基 GaN (GaN-on-Si) 外延晶圆。

GaN 器件设计厂商方面，有美国的 EPC、MACOM、Transphom、Navitas，德国的 Dialog，国内有被中资收购的安谱隆 (Ampleon) 等。全球 GaN 射频器件独立设计生产供应商 (IDM) 中，住友电工和 Cree 是行业的龙头企业，市场占有率均超过 30%，其次为 Qorvo 和 MACOM。住友电工在无线通信领域市场份额较大，其已成为华为核心供应商，为华为 GaN 射频器件最大供应商。此外，还有法国 Exagan、荷兰 NXP、德国英飞凌、日本三菱电机、美国 II-VI 等。

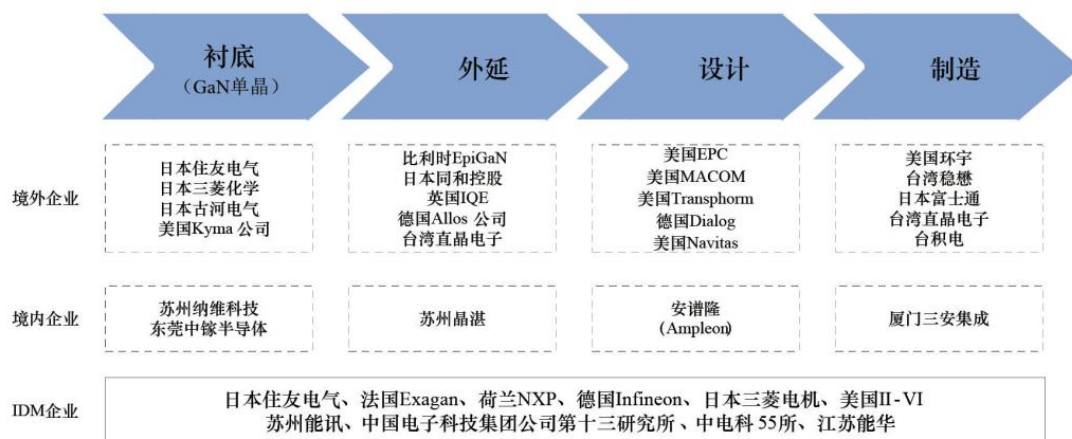


图 11：国内外 GaN 产业链主要企业

（三）产业链企业简介

（1）国际龙头企业简介

1、美国科锐（CREE.O）

CREE 是全球碳化硅市场龙头企业，成立于 1987 年，是集化合物半导体材料、功率器件、微波射频器件、LED 照明解决方案于一体的著名制造商。其子公司 Wolfspeed 专业从事碳化硅等第三代半导体衬底与器件的技术研究与生产制造，子公司 2020 年营收折合人民币约为 30.38 亿元。CREE 能够批量供应 4 英寸至 6 英寸导电型和半绝缘型碳化硅晶片，且已成功研发并投建 8 英寸产品生产线。目前该公司在全球 SiC 市场份额占比达到 60%以上，其市场优势来源于 SiC 材料，以及用此来外延芯片和制备相关的器件。CREE 计划于 2022 年实现量产的全球最大碳化硅制造工厂，完工面积达到 4.5 万平方米，将进一步提升其在市场竞争的领先地位，加速 SiC 在一系列高增长产业中被采用。

2、美国 II-VI 公司（IIVI.O）

II-VI 成立于 1971 年，是工程材料和光电元件的全球供应商，是世界领先的碳化硅衬底供应商，能够提供 4 至 6 英寸导电型和半绝缘型晶片，并已成功研制 8 英寸导电型碳化硅晶片。目前 其在全球 SiC 晶片市场份额约为 16%，位居世界第二。2020 年 II-VI 收购了 Ascatron 和 Innovion 公司，将结合两个公司的 SiC 外延片和大型离子注入服务领域优势进行补充加强，以达成世界上最先进的、内部垂直整合的 150mm SiC 技术平台，满足对 SiC 电子产品快速增长需求而增加的先进 SiC 外延、器件制造和模块设计

3、德国 SiCrystal 公司

SiCrystal 是世界领先的碳化硅衬底生产商，具有多年的 SiC 晶圆生产经验，在单晶碳化硅半导体晶片领域已成长为全球市场领导者之一，并于 2009 年被日本罗姆公司收购，其生产的碳化硅衬底主要用于罗姆公司生产各种碳化硅器件。2019 年其与意法半导体就 SiC 晶圆供应事宜达成长期供货协议，SiCrystal 将继续增加 SiC 晶圆的供应量，支持意法半导体扩大 SiC 业务。

4、意法半导体

意法半导体是世界第一大专用模拟芯片和功率转换芯片制造商，2019 年其并购了 SiC 晶片和 SiC 单晶 4H 外延层的重要制造商 Norstel 公司，将 Norstel 开发和生产 150mm（6 英寸）SiC 裸晶圆和外延晶圆，完全整合到意法半导体的全球研发和制造业务中，扩大意法半导体 SiC 晶片市场份额。目前，意法半导体继续发展 150mm 碳化硅裸片和外延片生产业务，研发 200mm（8 英寸）晶圆以及更广泛的宽禁带材料，提供最先进的 n 型和半绝缘碳化硅衬底以及用于功率和高频电子设备中的高性能半导体的晶片外延、表征和抛光的相关服务。

5、英飞凌

英飞凌成立于 1999 年，是全球功率半导体的主要供应商。其主要采用 IDM 模式，是半导体垂直整合制造商，在 IC 设计、晶圆制造、封装测试以及面向终端市场领域均有布局，提供功率半导体、传感器、存储芯片等多种产品。2020 年 4 月，英飞凌宣布完成对赛普拉斯半导体公司（Cypress）的收购，成功跻身全球十大半导体制造商之一，跃居成为全球第一大功率分立器件和车用半导体厂商。

(2) 国内主要企业简介

1、山东天岳先进科技股份有限公司

山东天岳成立于 2010 年 11 月，是以生产碳化硅衬底为主要业务的高新技术企业，能够供应导电型和半绝缘型晶体和晶片，是国内半绝缘型 SiC 衬底龙头企业，已掌握涵盖设备设计、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。根据其招股说明书，2018-2020 年，公司收入逐年增长，2020 年实现营收 4.25 亿元，毛利率从 2018 年的 8.5%大幅提升至 2020 年的 34.9%，逐渐接近国际

主要竞争者。公司 4 英寸产品已经量产，具有碳化硅衬底产能 4.81 万片/年。据 Yole 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三，2020 年在半绝缘型衬底的全球市场份额已达 30%。2021 年 9 月，其科创板 IPO 事项获得上交所科创板上市委审议通过。

2、北京天科合达半导体股份有限公司

天科合达成立于 2006 年 9 月，是从事碳化硅晶片及相关产品研发、生产和销售的高新技术企业，业务覆盖碳化硅晶片生产的“设备研制—原料合成—晶体生长—晶体切割—晶片加工—清洗检测”全流程关键技术和工艺，在国内率先成功研制出 6 英寸碳化硅晶片，相继实现 2 英寸至 6 英寸碳化硅晶片产品的规模化供应，是国内**导电型 SiC 衬底龙头企业**，形成了“以碳化硅晶片为核心，覆盖其他碳化硅产品和碳化硅单晶生长炉”的业务主线。根据 Yole Development 统计，2018 年公司导电型晶片的全球市场占有率为 1.7%，排名全球第六、国内第一。近三年天科合达碳化硅晶片以 4 英寸为主，逐步向 6 英寸过渡，并在 2020 年 1 月天科合达启动 8 英寸晶片研发工作。2020 年 10 月公司撤回科创板上市材料，并于 2021 年 3 月完成新一轮控股股东受让融资，估值 54 亿元。

3、嘉兴斯达半导体股份有限公司（603290.SH）

斯达半导成立于 2005 年 4 月，市值约 700 亿，是国内 IGBT 龙头企业。主营业务是以 IGBT 为主的功率半导体芯片和模块的设计研发和生产，并以 IGBT 模块形式对外实现销售（模块销售占比 95%以上），自主研发设计的 IGBT 芯片和快恢复二极管芯片是公司的核心竞争力之一，除 IGBT 模块外，还生产和供应 SiC 模块，产品广泛应用于工业控制和电源、新能源、新能源汽车、白色家电等领域。其业务模式主要通过自主设计和晶圆厂代工为主，主要代工厂为华虹和上海先进，主要芯片供应商包括英飞凌和 IXYS Semiconductor。2020 年斯达半导实现营收 9.63 亿元，同比增长 23.55%；净利润 1.81 亿元，同比增长 33.6%，其驱动力主要来自新能源车、工控等的旺盛需求。

3、华润微电子有限公司（688396.SH）

华润微成立于 2003 年 1 月，市值约 900 亿，是国内功率 IDM 龙头，拥有芯片设计、晶圆制造、封装测试等全产业链一体化经营能

力，兼有 MOSFET、功率 IC、MCU 等产品及对外代工制造业务，为国内功率器件第一、晶圆制造第三。公司前瞻布局第三代半导体器件，目前拥有国内首条 6 英寸商用 SiC 晶圆生产线，已正式量产 1200V 和 650V 工业级 SiC 肖特基二极管产品，现阶段规划产能为 1000 片/月，正在建设的两条 8 英寸线产能约为 133 万片/年，12 英寸产线预计在 2022 年可以实现产能贡献；目前该产线规划月产能为 3 万片。未来随着 SiC 二极管走向产业化，研发重点将会转向 SiC MOSFET，预计于 2021 年内推向市场，重点面对工控及汽车电子领域需求。此外，公司也在积极利用现有 IDM 优势开展硅基 GaN 研发，6 英寸和 8 英寸 GaN 产线正在同步开展研发。

4、闻泰科技股份有限公司（600745.SH）

闻泰科技成立于 1993 年 1 月，市值约 1700 亿，是国内 ODM 与功率半导体双龙头。2019 年收购全球知名的半导体 IDM 公司安世半导体，打通产业链上游和中游，形成从芯片设计、晶圆制造、半导体封装测试到终端产品研发设计、生产制造于一体的产业平台，2019 年推出行业领先性能的 650V 高效率氮化镓功率器件（GaN FET），进军高性能要求的应用市场，包括电动汽车、数据中心、电信设备、工业自动化和高端电源。目前公司的 650V 氮化镓技术，已经通过车规级测试。碳化硅（SiC）产品目前已经交付了第一批晶圆和样品。

5、三安光电股份有限公司（600703.SH）

三安光电成立于 1993 年 3 月，市值约 1650 亿，是国内 LED 芯片龙头。其深耕 LED 芯片领域多年，目前在 mini/micro LED、第三代化合物半导体均抢先布局，作为全球领先的第三代化合物半导体平台，采用垂直产业链模式，碳化硅业务布局衬底、外延、器件全产业链，主要应用在光伏和储能等领域，应用包括服务器电源、矿机电源、新能源汽车等。2014 年三安光电成立全资子公司三安集成，主要提供前端射频、光技术、电力电子化合物半导体研发生产制造服务，布局砷化镓、氮化镓、碳化硅、光通讯和滤波器五大板块，2020 年三安集成收入达 9.73 亿元。在碳化硅衬底布局方面，湖南三安收购北电新材，北电新材 2019 年在福建投资建设碳化硅衬底生产项目，规划年产能 3.6 万片。2020 年公司长沙投资 SiC 等化合物第三代半导体等的研发及产业化项目，投资总额 160 亿元，涵盖长

晶—衬底制作—外延生长—芯片制备—封装产业链，是国内首条碳化硅垂直整合产业链，月产 3 万片（6 英寸），预计将实现年销售额 120 亿元。

6、浙江晶盛机电股份有限公司（300316.SZ）

晶盛机电成立于 2006 年 12 月，市值约 950 亿，是国内半导体材料装备和 LED 衬底材料制造的领先企业，围绕硅、碳化硅、蓝宝石开发出一系列关键设备，并适度延伸到材料领域。公司已经开发出碳化硅长晶炉、外延设备，其中碳化硅长晶炉已经交付客户使用，外延设备已通过客户验证。其碳化硅长晶炉已成功生长出 6 英寸碳化硅晶体，8 英寸半导体加工设备已实现批量销售，12 英寸边缘抛光、双面抛光设备已通过客户验证并实现销售，12 英寸减薄设备、最终抛光设备也已进入客户验证阶段。2021 年其自主研发的国内首台 12 英寸硬轴直拉硅单晶炉成功生长出 12 英寸硅单晶，取得再次突破。

（四）第三代半导体价格趋势

第三代半导体目前渗透率较低，国内企业的第三代半导体收入占比不高。其中 SiC 衬底的高成本是主要瓶颈，但制备技术的进步将使得 SiC 和 GaN 器件成本不断下降，SiC 和 GaN 的性价比优势将充分显现，未来成本下降也将带来渗透率提升。目前各类 SiC 器件成本仍比 Si 基器件高 2.4-8 倍，但受下游扩产及电动车需求逐步增加，年降幅达 36-46%，逐步接近商业化应用。

根据 CASA 整理的公开报价，受益于技术进步和行业规模化的影响，SiC 功率器件最主要的原材料成本——SiC 衬底、外延片的价格近年来持续下降，主要表现为在近期 5 年内，衬底、外延片单位面积价格会伴随直径 200mm（8 英寸）衬底的快速推广，小幅度下调，在大部分衬底提供商完成低缺陷密度单晶生长工艺及厚单晶生长工艺研发后，外延片提供商优化外延生长工艺及采用快速外延生长技术后，衬底、外延片单位面积价格会迎来相对快速的降低。其中，二极管方面，2019 年底耐压 600V-650V 的 SiC SBD 的平均价格与 Si 器件的差距缩小至 2.4 倍，耐压 1200V 的 SiC SBD 均价与 Si 器件差距仍在 5 倍左右。晶体管方面，2019 年 SiC、GaN 器件与同类 Si 器件的价格差距仍然较大，低压器件的价差比高压器件大。未来

随着龙头厂商扩产、终端需求逐步释放，规模效应和产能利用率提升将进一步摊薄 SiC 成本。

八、我国第三代半导体产业发展趋势

2020 年以来，我国加快“新基建”建设力度，明确新基建涉及“5G 基建、特高压、城际高速铁路和城际轨道交通、新能源汽车充电桩、大数据中心、人工智能、工业互联网”等七大领域，市场预测新基建的规模是 40 万亿人民币。目前，我国在 5G 通讯、新能源等新兴产业的技术水平、产业化规模等方面都处于国际优势地位，将促进我国上游半导体行业的持续发展，进一步提高半导体企业在国际市场的影响力。根据智研咨询发布的《2020-2026 年中国功率半导体行业市场运作模式及投资前景展望报告》：目前中国的功率半导体市场规模占全球市场规模 35%左右，是全球最大的功率半导体市场，约为 940.8 亿元。在新基建的产业环境下，5G、新能源汽车、数据中心、工业控制等诸多产业对第三代半导体产生了巨大的需求，随着第三代半导体市场的持续发展与国产替代进程的加速，第三代半导体具有广阔的市场前景。

我国拥有全球最大的新能源汽车市场，车用功率器件市场增量巨大。据 EV Sales，2019 年我国新能源汽车销量 116 万辆，占据全球的 54%。新能源车采用电力动力系统，从电池充电到汽车行驶，涉及（1）AC-AC 变压器，用于从民用 220V 电压到电池输入 12-36V 电压之间的转换；（2）AC-DC 整流器，用于车载充电器中，将充电桩交流电转换为动力电池直流电；（3）DC-DC 变换器，用于电力传动的升压变化，以及充电电池向电池储能的稳压变换；（4）DC-AC 逆变器，用于充电电池将 12V 直流电转换为驱动电机数百伏的交流电。

SiC MOSFET 元件将是大势所趋。目前电车中的主驱逆变器仍以 IGBT+Si FRD 方案为主，考虑到未来电动车需要更长的行驶里程，更短的充电时间和更高的电池容量，SiC 有望提高 3%-5%的 SiC 逆变器效率，从而降低电池成本，时间节点大约在 2021 年左右。根据 Cree 测算，采用 SiC 可节省 5-10%的电池使用量，每辆车成本

节约 400-800 美元，价格只增加 200 美元，每辆车净节省 200-600 美元。

以特斯拉为例，Model 3 已将意法半导体的 SiC MOSFET 功率模块集成于逆变器中。Model 3 有一个主逆变器，需要 24 个电源模块，每个电源模块基于两个 SiC MOSFET 裸片，则每辆 Model 3 需要 48 个 SiC MOSFET 裸片。此外，车身其他包括 OBC、一般充电器（每车 2 个）、快充电桩等，都可以放上 SiC。按照特斯拉今年疫情之前的产能预测，美国和上海工厂总年产能接近 100 万辆，那么仅主逆变器就需要 50 万片 6 英寸 SiC。而目前全球 SiC 硅晶圆总年产能约在 40 万-60 万片，如此就消耗掉全球当下 SiC 总产能。

SiC 晶圆生产大厂纷纷布局，也反映出 SiC 在车用市场发展的巨大潜力。在半导体产业中，由于制造端设备成本最高，厂商必须考虑资本投入后的成本回收，因此如果没有看到终端需求有维持 5 年以上潜力，业界一般不会贸然扩产。大厂纷纷扩产，证明了对 SiC 晶圆的看好。

表 9：第三代半导体头部企业扩产计划

厂商	扩产计划
Cree	<p>2021 年 3 月，CREE 正式将其 LED 产品业务部门出售给 SMART Global Holdings，专注 SiC 电力电子和 GaN 射频；</p> <p>2019 年 5 月宣布，到 2024 年共投资 10 亿美元扩充产能达 30 倍，在北卡罗来纳州总部建设超级材料工厂（8 英寸 SiC 衬底），在纽约州建设 8 英寸 SiC 电力电子和 GaN 射频产线；</p> <p>2018 年 3 月，以 3.45 亿欧元收购了 Infineon 射频（RF）功率业务，巩固射频市场优势地位。</p>
意法半导体 (ST)	<p>2020 年 2 月与台积电携手合作，加快氮化镓（GaN）工艺技术的开发以及 GaN 分立和集成器件的供货。</p> <p>2019 年 12 月以 1.375 亿美元收购瑞典 SiC 晶圆制造商 Norstel AB。交易完成后其在全球产能受限的情况下控制部分 SiC 器件的整个供应链。</p> <p>2019 年 11 月，与 CREE 将现有碳化硅(SiC)晶圆片多年长期供货协议总价提高至 5 亿美元以上，并延长协议有效期。</p> <p>2018 年 2 月，与 MACOM 签订硅上氮化镓合作开发协议，为 MACOM 制造硅上氮化镓射频晶片，还将在射频市场上制造、销售硅上氮化镓产品。</p>
罗姆 (ROHM)	<p>2009 年 Rohm 收购 SiC 晶圆供应商 SiCrystal，上游延伸至 SiC 衬底，SiCrystal 是中国 SiC 设计公司最多采购的供应商。</p> <p>2010 年推出首批批量生产的 SiC 肖特基二极管和 MOSFET，2012 年批量生产全 SiC 模块，2017 年交付 6 英寸 SBD。</p>

	2018 年筑后工厂新建 6 英寸 SiC 晶圆产线，2020 年投产，产能约 15 万片/年；2024 财年前进行约 600 亿日元投资，产能扩充 16 倍。
英飞凌 (Infineon)	其碳化硅材料主要采取外购的方式，拥有 15 年 SiC 生产和研发经验；2018 年收购碳化硅晶圆切割领域新锐公司 Siltecta，提高 90% 的生产效率。 在建 8 英寸 GaN-on-Si 生产线；6 英寸 SiC 晶圆量产线，积累 8 英寸晶圆量产技术；投资 3500 万欧元做碳化硅的技术研发。
II-VI	2018 年，SiC 外延产能扩充为原来 4 倍； 2020 年，计划将 6 英寸 SiC 衬底产能扩大 5-10 倍； 2020 年，计划建立 6 英寸 SiC 垂直集成平台：与通用电气合作，获得 SiC 器件和模块制造技术；收购 Ascatron AB 和 INNOVION Corporation；建立射频 GaN-on-SiC 技术平台。

第三代半导体行业目前整体处于产业化起步阶段，相较于第一代、第二代半导体尚处于发展初期，国内和国际巨头基本处于同一起跑线。国际大厂起步早，还不断加速在 SiC 领域的布局，一方面将推动碳化硅材料的市场渗透率加速，另一方面也加速抢占碳化硅晶片市场份额。对此，我国迫切需要加快发展步伐，但国内本土 SiC 厂家与国外同行相比，虽然仍有一定差距，但仍有希望能够迎头赶上。且第三代半导体核心难点在材料制备，其他环节可实现国产化程度非常高，加持国家在政策和资金方面大力支持。行业技术追赶速度更快、门槛准入较低、国产化程度更高，中长期给国内功率半导体企业、衬底材料供应商带来更多发展空间确定性更强。且对设备要求相对较低，投资额小，国内可以有很多玩家。在资本的推动下，可以全国遍地开花，最终走出几家第三代半导体公司的概率较大。