



第三代半导体产业白皮书

(2020 年)

中关村天合宽禁带半导体技术创新联盟

2020 年 12 月

目 录

第一章 概述.....	1
一、 半导体材料的代际情况.....	2
二、 第三代半导体材料性能优势.....	4
三、 第三代半导体材料应用领域及方向.....	5
第二章 第三代半导体产业链情况.....	7
一、 产业链全景图.....	7
二、 SiC 半导体产业链情况.....	8
(一) SiC 衬底发展情况.....	8
(二) SiC 外延发展情况.....	10
(三) SiC 器件和模块发展情况.....	11
三、 GaN 产业链情况.....	13
(一) GaN 衬底发展情况.....	13
(二) GaN 外延发展情况.....	14
(三) GaN 器件发展情况.....	15
第三章 第三代半导体市场发展情况.....	18
一、 政策导向.....	18
二、 应用导向.....	20
第四章 国内第三代半导体产业发展思考.....	24

第一章 概述

半导体产业是电子信息产业的基础，是国家引领新一轮科技革命和产业变革的关键力量。其中第三代半导体是半导体产业重要组成部分，其发展在提升我国科技进步和经济发展的过程中起到了举足轻重的作用。

需要注意的是，报告中所指的“第三代半导体”并不是半导体材料的“升级换代”，而是一种材料的概念。第三代半导体材料是指禁带宽度大于 2.2eV 的半导体材料，因此又称为“宽禁带半导体材料”。其典型代表材料有碳化硅（SiC）、氮化镓（GaN）、氧化锌（ZnO）等，其中 SiC 和 GaN 是目前发展较为成熟的两种第三代半导体材料，是本报告中着重论述的两大材料。

随着 2020 年 4 月，国家发展和改革委员会正式明确“新基建”概念，定调了 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、人工智能、工业互联网七大领域的发展方向，第三代半导体材料因其具有高频、高效、高功率、耐高压、耐高温、抗辐射能力强等优越性能，而在这些领域中可发挥重要作用，现已成为全球半导体产业技术创新和发展热点，拥有巨大的发展空间和良好的市场前景。同时 2021 年即将进入我国的第十四个五年计划，近期在各省份的十四五规划建议稿中，都提及将第三代半导体写入“十四五”规划，大力支持发展第三代半导体产业。第三代半导体产业迎来了高成长性的应用市场，国内第三代半导体厂商迎来巨大发展机遇。

一、半导体材料的代际情况

半导体材料从 1947 年世界第一个 Ge 晶体管和 1958 年第一块 Si 集成电路发明以来，各个代际半导体情况如下：

1、第一代半导体材料：

第一代半导体材料是“元素半导体”，于二十世纪五十年代开始快速发展，以硅（Si）和锗（Ge）半导体材料为代表。尤其是 Si，在半导体器件的发展和应用中牢牢占据着统治地位，是大规模集成电路、模拟 IC、传感器等器件的材料基础，硅基芯片在电脑、手机、电视、硅光伏产业中都得到了极为广泛的应用，硅基半导体奠定了微电子产业的基础。

2、第二代半导体材料：

第二代半导体材料是“化合物半导体”，随着移动通信的飞速发展、以光纤通信为基础的信息高速公路和互联网的兴起，于 20 世纪八十年代开始逐步开始发展，以砷化镓（GaAs）、磷化铟（InP）为代表，是制作高性能微波、毫米波器件及发光器件的优良材料，奠定了信息产业的基础。

3、第三代半导体材料：

第三代半导体材料是“宽禁带化合物半导体”，禁带宽度大于 2.2 eV，于 20 世纪九十年代开始逐步发展，以碳化硅（SiC）和氮化镓（GaN）为代表，目前两种材料已经形成产业化。其中 SiC 与 GaN 相比较，碳化硅的发展更早一些，技术成熟度也更高一些。具体发展历程如下图所示：



图 1 碳化硅半导体材料发展历程图



图 2 氮化镓半导体材料发展历程图

4、第四代半导体材料:

第四代半导体材料是指禁带宽度超过 4 eV 的超宽禁带半导体材料, 以金刚石 (C)、氧化镓 (GaO)、氮化铝 (AlN) 为代表, 以及以铋化物 (GaSb、InSb) 为代表的超窄禁带 (UNBG) 半导体材料。

目前该类半导体材料仍需要开展更多的研发和推进工作。

表 1 第一、二、三代典型半导体材料主要特性

第一代	Si	<ul style="list-style-type: none"> • 主要应用于大规模集成电路中，产业链十分成熟，成本低； • 目前95%以上的半导体器件和99%以上的集成电路都是由Si材料制作。 • 但由于Si的物理特性，限制了其在光电子和高频大功率器件上的应用。
第二代	GaAs、InP	<ul style="list-style-type: none"> • 直接带隙，光电性能优越； • 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、移动通信、光通信、GPS导航等领域； • 但GaAs、InP材料资源稀缺，价格昂贵，并且还有毒性，能污染环境，InP甚至被认为是可疑致癌物质，具有一定的局限性。
第三代	SiC、GaN	<ul style="list-style-type: none"> • 宽禁带半导体材料，因其禁带宽度大于2 eV，因此具有可见光至紫外光的发光特性，抗高压、高温和高辐射性能优越，可承受大功率； • 主要应用于电力电子器件、射频微波器件、半导体照明等领域。

二、第三代半导体材料性能优势

第三代半导体材料具有大的禁带宽度、高击穿电场、高电子饱和速度、高热导率、高电子密度和高电子迁移率等特点，所制备出的半导体器件拥有耐高压、耐高温、大功率、抗辐射、导电性能更强、工作速度更快、工作损耗更低的特征，具备应用于电力电子器件、微波射频器件和光电子器件的先天性能优势。

通过下表的对比可以更清晰的看出第三代半导体材料的性能特征和主要特性。

表 2 第一、二、三代典型半导体材料性能表

	第一代	第二代		第三代	
	Si	GaAs	InP	SiC	GaN
禁带宽度/eV	1.12	1.4	1.3	3.3	3.4
击穿电场/(MV/cm)	0.3	0.4	0.5	2.2	3.3
热导率/W/(cm·K)	1.5	0.5	0.7	4.9	1.3
电子饱和漂移速度/($\times 10^7$ cm/s)	1	2	1	2	2.2
电子迁移率/(cm ² /Vs)	1200	8500	5400	900	1000
介电常数	11.7	13.1	12.5	10	9

三、第三代半导体材料应用领域及方向

在第三代半导体材料中，目前发展较为成熟的是碳化硅（SiC）和氮化镓（GaN），这两种材料是当下规模化商用最主要的选择。目前，第三代半导体（主要是 SiC 和 GaN）应用领域的产业成熟度各有不同，见下图。

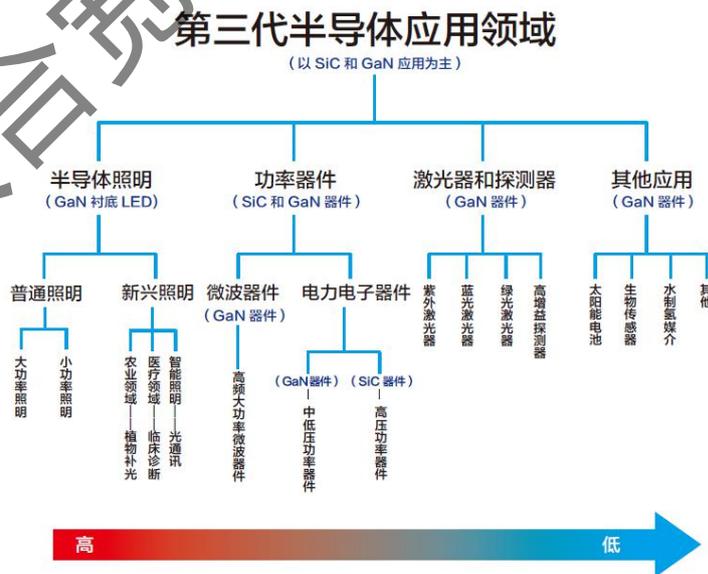


图 3 SiC 和 GaN 应用领域及产业成熟度

(来源：第三代半导体产业发展报告)

当前市场情况下，受到广泛关注和具有广阔应用前景的集中在功率器件市场。功率器件是第三代半导体应用市场迅速增长的行业。由于 SiC 和 GaN 两种第三代半导体材料在材料性能上各有优劣，因此在应用领域上各有侧重和互补。在热导率性能上，SiC 的热导率远高于 GaN，因此在高温和高压 (>1200V) 的大电力领域具备应用优势，如新能源、新能源汽车、高铁运输、智能电网的逆变器等器件领域；在电子迁移率性能上，GaN 具有更高的电子迁移率，所以在高频小电力领域，Si 基 GaN 器件在中低压 (200~1200V) 具备应用优势，如电脑、高性能服务器、基站的开关电源。在射频功率器件方面，GaN 射频器件是第三代半导体最早应用的领域，主要用于军用雷达、智能武器和通信系统等方面。当前，GaN 射频器件已开始应用于 5G 移动通讯基站等民用领域。

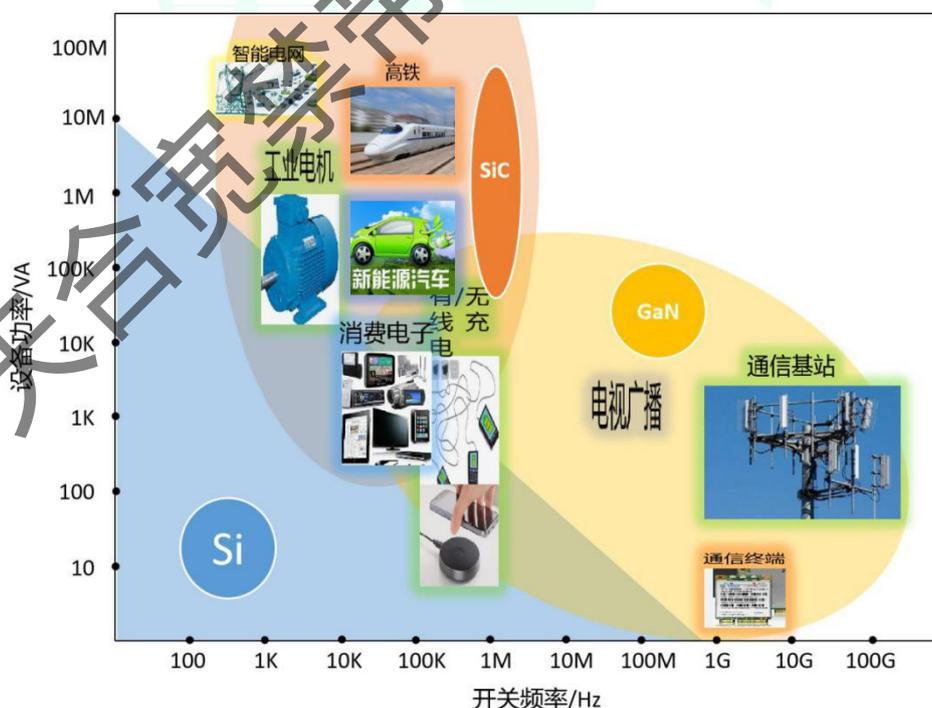


图 4 SiC 和 GaN 的应用领域

第二章 第三代半导体产业链情况

一、产业链全景图

第三代半导体产业链主要包括上游晶圆制造和外延、中游制造封测以及下游应用三个方面。

上游晶圆制造、外延环节：SiC 和 GaN 的生长方法不同，SiC 晶片是 SiC 粉料在单晶炉中经过高温升华之后在单晶炉中形成 SiC 晶锭，然后在经过粗加工、切割、研磨、抛光、清洗、检测得到 SiC 晶片。而由于将 GaN 熔融所需的气压非常高（超过 1 万个大气压），所以 GaN 无法通过从熔融液相中结晶的方法生长单晶，只有采用在 GaN 单晶衬底其他结构相近的衬底上（如蓝宝石、SiC、Si）异质外延较厚的 GaN 薄膜，然后将薄膜剥离，作为二次外延的 GaN 同质衬底。

芯片制造封测环节：其中芯片制造环节主要包括光刻、刻蚀、离子注入、薄膜沉积等步骤；封测环节主要包括划片、粘片、压焊、塑封、切筋、测试等步骤。

下游应用环节：目前 SiC 和 GaN 两种第三代半导体材料主要应用方向为电力电子器件和微波射频器件两个方向。

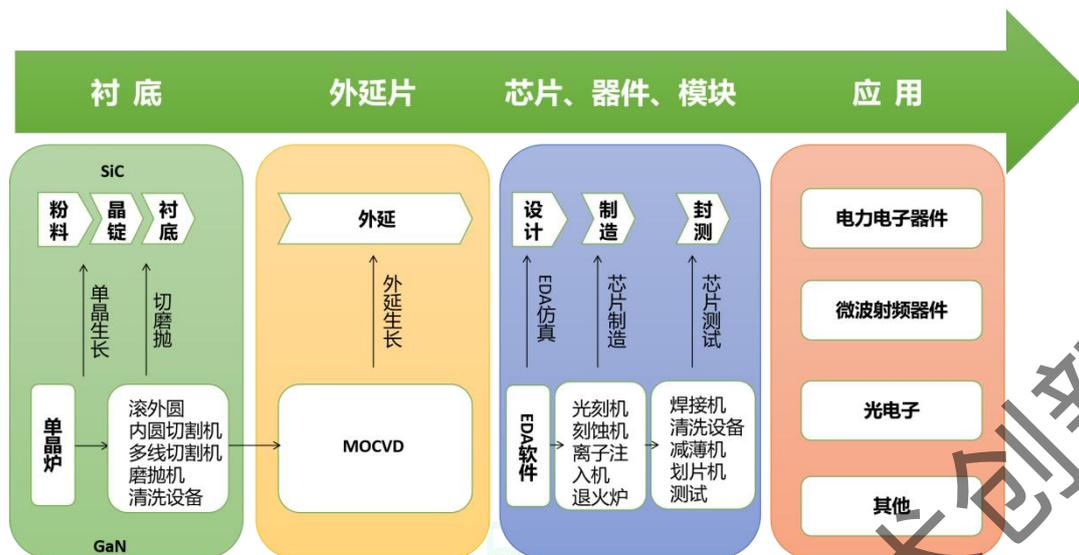


图 5 第三代半导体产业链全景图

二、SiC 半导体产业链情况

(一) SiC 衬底发展情况

SiC 半导体材料，按照晶体结构主要分 4H-SiC 和 6H-SiC，目前根据市场发展，4H-SiC 为主流产品。按照性能主要分为导电型和半绝缘型 SiC 衬底。导电型 SiC 衬底主要分为 N 型衬底和 P 型衬底，其中 N 型导电衬底为主流导电产品，主要用于 SiC 基电力电子器件等；半绝缘型 SiC 衬底主要用于外延制造 GaN 大功率射频器件。

SiC 晶体生长方法包括物理气相传输法（PVT 法（升华法），又称改良的 Lely 法）、高温化学气相沉积法（HTCVD）和液相法（LPE），其中 PVT 法生长碳化硅单晶是目前最成熟的方法。PVT 法的生长机理是在超过 2000℃ 高温下将碳粉和硅粉升华分解成为 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碳化硅籽晶上形成碳化硅晶体。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。晶体再进行

切割、抛光等工艺，制作成衬底。

目前 SiC 衬底主流的尺寸是 4-6 英寸，8 英寸衬底已由 Cree 公司和 II-VI 公司研制成功。国内厂商如天科合达、山东天岳等公司 2020 年已经逐步开始扩大生产 6 英寸 SiC 衬底，以满足市场需求。未来高质量、大尺寸的碳化硅单晶材料是碳化硅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。

在衬底市场的主要供应商有美国 Cree(Wolfspeed)、DowCorning、日本罗姆（收购德国 SiCrystal）、美国 II-VI、日本新日铁住金、瑞典 Norstel（中国资本收购）等。据 Yole 2019 年报告显示，导电 SiC 衬底方面，Cree 公司的 SiC 导电衬底占据整个市场 62%左右的份额，其次为 II-VI 公司、日本 ROHM（SiCrystal），三者合计占据 91%左右的市场份额。国内公司天科合达占据了全球导电市场的 4.8%，位居国内第一，全球第四。

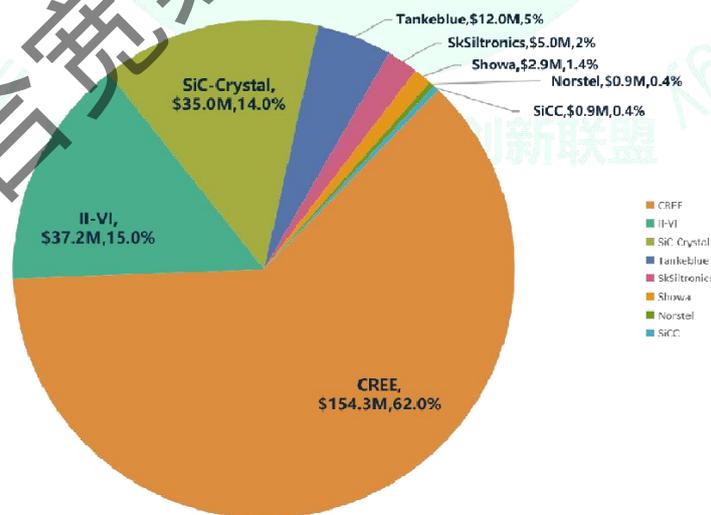


图 6 碳化硅导电衬底市场占比

(数据来源: Yole Développement)

（二）SiC 外延发展情况

外延生长是指在具有一定结晶取向的原有晶体（衬底）上延伸出并按一定晶体学方向生长薄膜的方法。经过多年发展，CVD（化学气相沉积）生长已成为 SiC 外延的主要方法。SiC 外延过程和 Si 基本上差不多，在温度设计以及设备的结构设计不太一样。4H-SiC CVD 外延生长就是利用载气（ H_2 ）将反应源气体（如 SiH_4 、 C_3H_8 等）输送到生长室内的热区，源气体被热分解成单个原子或一两个原子团，进而通过扩散、迁移过程连续不断地到达衬底表面而生成所需要的薄膜材料的方法。

SiC 外延方面，国际上企业已大量采用 6 英寸外延片，外延厚度最厚达到 $180\ \mu m$ ，目前国际上已经研发出了超过 $250\ \mu m$ 的 SiC 外延样品。国内 SiC 外延方面，企业外延厚度达到 $50\ \mu m$ ，并已经开始小批量生产 6 英寸 SiC 外延片。外延工艺是整个产业中的一种非常关键的工艺，由于现在所有的器件基本上都是在外延上实现，所以外延的质量对器件的性能影响是非常大的，但是外延的质量它又受到晶体和衬底加工的影响，处在一个产业的中间环节，对产业的发展起到非常关键的作用。未来，SiC 外延片整体上将沿着大尺寸、低缺陷和大厚度方向发展。

在外延市场中，外延片企业主要有 DowCorning、II-VI、Norstel、Cree、罗姆、三菱电机、Infineon 等，多数是 IDM 公司。在国内市场，纯粹做外延片的有：瀚天天成（EpiWorld）和东莞天域半导体，均可供应 4-6 英寸外延片，中电科 13 所、55 所亦均有内部供应的外延片

生产部门，另外还有台湾的嘉晶电子。全球业内的龙头 Cree 旗下 Wolfspeed，是 IDM 公司，除了对外提供衬底片和外延片，还做器件、模块。

（三）SiC 器件和模块发展情况

SiC 主要的产品是电力电子器件。电力电子器件包括二极管和三极管。SiC 二极管主要包括肖特基势垒二极管（SBD）、结势垒肖特基功率二极管（JBS）、PIN 功率二极管、混合 PIN 肖特基二极管（MPS）。SiC 三极管主要包括金属氧化物半导体场效应开关管（MOSFET）、结型场效应开关管（JFET）、双极型开关管（BJT）、门极可关断晶闸管（GTO）、发射极可关断晶闸管（ETO）、绝缘栅场效应开关管（IGBT）等。

SiC 模块产品包括全 SiC 模块和混合 SiC 模块。全 SiC 模块是将 SiC MOSFET 和 SiC 二极管封装在一起，而混合 SiC 模块是用 SiC 二极管代替 Si IGBT 模块中的快恢复二极管（FRD），将 Si IGBT 和 SiC 二极管封装在一起。目前全 SiC 模块的使用主要受限于 SiC MOSFET 的可靠性，在可靠性没有达到用户要求之前，混合 SiC 模块可以作为一个过渡的选项，直到 SiC MOSFET 技术成熟。未来，全 SiC 模块将是主流，充分发挥 SiC 器件的优势。

SiC 器件与模块制造涉及到的关键技术有：芯片设计技术、芯片加工工艺（SiC 二极管肖特基接触的调控、SiC MOSFET 栅氧热生长工艺和退火工艺技术、高温离子注入工艺、沟槽刻蚀技术及刻蚀后的界面修复技术等）、封装技术（高温封装、集成封装、SiC MOSFET

引脚封装)、器件可靠性研究及器件测试技术等。

目前国际商业化的 SiC SBD 目前最高耐压为 3300V，最高工作温度（100-190℃）下的电流在 60A 以下。商业化的 SiC MOSFET 目前最高耐压为 1700V，最高工作温度（100-160℃）下电流在 65A 以下。SiC 模块方面，商业化的全 SiC 功率模块耐压达到 3300V，最高电流达到 800A，已开发出 6500V 样品。

国内 600-3300V SiC SBD 技术目前已经发展成熟，已经开始批量替代，SiC-MOSFET 因可靠性问题尚未完全解决，目前处于小批量生产阶段。预计在 2023 年发展成熟，并由领先的整车厂商开始替代。SiC 模块，国内已经开发出 1200V/50-600A、650V/900A 全 SiC 功率模块以及 600-1200V/100-600A 混合 SiC 功率模块。

SiC 器件及模块领域，主要生产企业包括美国 Cree、德国英飞凌、日本罗姆和三菱电机。目前国内已有超过 30 家 SiC 材料和器件生产企业，覆盖了从上游 SiC 材料的制备（衬底、外延）、中游器件设计、制造、封测到下游的应用，形成完整的产业链结构。中车电气时代和泰科天润是中游 IDM 模式的领军者，代工企业中最突出的是三安集成，比亚迪是目前下游应用环节中进展最快的一家。



图 7 全球 SiC 半导体产业链主要公司



图 8 国内 SiC 半导体产业链主要公司

三、GaN 产业链情况

(一) GaN 衬底发展情况

GaN 生长只能采用其他结构相近的衬底上（如蓝宝石、SiC、Si）一致外压较厚的 GaN 薄膜，然后将厚膜剥离，作为二次外延的 GaN 同质衬底。是哪个这个 GaN 厚膜方法有 HVPE 法、钠流法和氨热法，其中 HVPE 法为主流的生长方法，其他方法仍以实验室研究为主。HVPE 法的原理是在密闭容器中由金属镓、氯化氢、氨气发生化学反

应在衬底表面生成 GaN 薄膜。该方法生长速率在 100-200mm/小时，常压下可生长出 6 英寸衬底，但目前存在位错密度较高的问题。

在 GaN 衬底方面，主流产品以 2~4 英寸为主，6 英寸甚至 8 英寸的也已经实现商用。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。GaN 衬底主要由日本公司主导，如日本住友电工、三菱化学、古河机械等，其中日本住友电工的市场份额达到 90% 以上。我国目前已实现产业化的企业有中科院苏州纳米所的苏州纳维科技公司和北京大学的东莞市中镓半导体科技公司。

（二）GaN 外延发展情况

从理论上讲，氮化镓外延片最好就是用本身氮化镓的单晶衬底，但是氮化镓单晶衬底制备难度很高，长晶效率很低，且面积较小、价格昂贵，不具备任何经济性。因此 GaN 器件主要是基于蓝宝石、Si、SiC 等衬底上异质外延生长的 GaN 薄膜制备的。其中，蓝宝石基 GaN 外延主要用于 LED 制备，其外延片主流尺寸为 4 英寸，在 LED 市场占有率达到 90% 以上，是 GaN 异质外延最成熟的技术；GaN 和 SiC 有着超过 95% 的晶格适配度，因此性能指标远超其他衬底材料，因此 SiC 基 GaN 外延片成为最佳选择。SiC 基 GaN 外延主要用于射频器件和高功率 LED，其外延片已实现产业化，产品主流尺寸为 4~6 英寸；Si 基 GaN 外延技术发展最晚，是中低压电力电子器件和 LED 低成本化重要支撑，也成为当前 GaN 异质外延技术发展的重要方向。

目前，美国 Nitronex、德国 Azzuro 和日本住友化学公司等企业

已开始提供制备 600V 以上电力电子器件的 6 英寸 Si 基 GaN 外延。我国 GaN 外延材料供应商，苏州晶湛半导体有限公司 2014 年底在全球首家发布其商品化 8 英寸硅基氮化镓外延片产品，Infineon、ST、On Semi 等国际企业已开始对公司的外延片产品进行可靠性验证。聚能晶源在 2018 年 12 月研制了 8 英寸硅基氮化镓（GaN-on-Si）外延晶圆。该型外延晶圆在实现了 650V/700V 高耐压能力的同时，保持了外延材料的高晶体质量、高均匀性与高可靠性，可以完全满足产业界中高压功率电子器件的应用需求。

（三）GaN 器件发展情况

GaN 器件主要包括射频器件、电力电子功率器件、以及光电器件三类。GaN 的商业化应用始于 LED 照明和激光器，其更多是基于 GaN 的直接带隙特性和光谱特性，相关产业已经发展的非常成熟。射频器件和功率器件是发挥 GaN 宽禁带半导体特性的主要应用领域。

1、GaN 射频器件

GaN 射频器件是 GaN 材料主要的应用方向。GaN 射频器件主要包括高电子迁移率晶体管（HEMT）和异质结双极型晶体管（HBT）。主要应用于通信基站（4G、5G）、低噪放大器、射频开关、卫星通讯、有源相控阵雷达、民用消费等。GaN 射频器件在功率密度上的优势使得使得芯片体积大为缩小；在 5G 基站上会用到多发多收天线阵列方案，GaN 射频器件对于整个天线系统的功耗和尺寸都有巨大的改进；在高功率，高频率射频应用中，获得更高的带宽、更快的传输速率，以及更低的系统功耗。

国际领先的企业有美国 Cree、Qorvo（美国 TriQuint 和 RFMD 两家公司合并后的企业名称）和日本 Sumitomo Electric 三家公司，Sumitomo Electric 和 Cree 是行业的龙头企业，市场占有率超过 30%，Qorvo 的市场占有率达到 17%。目前，Cree 公司已有数十种不同频段的 GaN 基器件实现产品化应用。国内 GaN 射频器件制造企业有苏州能讯、英诺赛科、成都海威华芯和中电科 13 所、中科电 55 所。2017 年 11 月英诺赛科的 8 英寸硅基氮化镓生产线通线投产，成为国内首条实现量产的 8 英寸硅基氮化镓生产线。海威华芯填补了国内空白，打破了国外对中国高端射频芯片的封锁，成为国家高端芯片供应安全的重要保障。另外三安光电、彩虹蓝光、方大化工等上市公司也开始积极布局。

2、GaN 电力电子器件

GaN 电力电子器件，与前述 GaN 射频功率芯片有所区分。主要指在高电压和较大电流下工作，与高频和射频关系不大。这类最常见的应用是电源相关的芯片。GaN 电力电子器件主要包括金属-氧化物-半导体场效应晶体管（MOSFET）、肖特基二极管（SBD），主要应用于电源开关、无线充电、包络跟踪、逆变器等。

国际上主要的 GaN 电力电子器件厂商有国际整流器公司（IR）、EPC、Transform、GaN system、松下公司，2016 年 7 月，日本丰田合成株式会社宣布研制成功 1200V GaN 器件。2017 年，Transphorm 公司的 GaN 器件通过汽车标准认证。国内已经在实验室实现了耐压超过 900V 的 GaN-on-Si 电力电子器件，性能与国际先进水平有一定

差距。苏州能讯、江苏能华、江苏华功、苏州捷芯威、华润微电子、杭州士兰等企业均已布局 GaN 电力电子器件。其中江苏能华公司已经建设了 8 条 6 英寸以上的外延片生产线和一条完整的功率器件工艺生产线，主要生产以氮化镓为代表的复合半导体高性能晶圆及其功率器件、芯片和模块。华功半导体的技术团队以北京大学、中山大学以及合作的高校产业化企业为核心，从 2012 年开始合作推动硅基氮化镓功率电子产业化，目前已攻克了相关材料与器件的产业化关键技术。苏州捷芯威半导体有限公司是国内第一家专注于氮化镓电力电子器件研发和制造的高科技企业，拥有多款硅基氮化镓电力电子器件、电压等级从 200V 到 600V，并率先在国内实现了 600V 氮化镓增强型高压开关器件。同时开发了多款基于 GaN 技术的应用电路，例如 500W 的 PFC 电路、500W 的 DC-DC、DC-AC 和 AC-DC 转换电路、双脉冲测试电路、无线电能传输电路等。产品涉及 IT、消费电子、电机控制、电动汽车、可再生资源、智能电网等应用领域。

3、GaN 光电子器件

GaN 的商业化应用始于 LED 照明和激光器，其更多是基于 GaN 的直接带隙特性和光谱特性，相关产业已经发展的非常成熟。本报告中不过多赘述。



图 9 全球 GaN 半导体产业链主要公司



图 10 国内 GaN 半导体产业链主要公司

第三章 第三代半导体市场发展情况

一、政策导向

近几年，我国政府高度重视第三代半导体的研发和产业化，从中央到地方先后出台多项关于第三代半导体产业发展的利好政策与规划。2015年，国务院便印发了《中国制造2025》战略规划，提出了发展先进半导体材料的任务要求，从材料、器件、模块和应用等制定了发展目标。2016-2017年，国务院、国家发改委、工信部、科技部

等部门相继出台《“十三五”国家科技创新规划》、《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》等7项重要规划中，均布局了第三代半导体相关内容，2016年，国家重点研发专项——战略性先进电子材料专项中，第三代半导体作为最主要的部分，针对第三代半导体材料、器件及应用进行了重点立项，以期推动我国第三代半导体技术与产业的快速发展。此外，各地区依托当地优势研究机构和企业，通过推进技术成果转化、资本投资等多种形式，推动第三代半导体产业发展，抢占市场先机，打造产业聚集区。目前，全国已形成京津冀地区、长三角地区、珠三角地区、福厦泉地区为主的产业集聚区。

2020年4月20日，国家发改委正式明确“新基建”的范围，立足于高新科技的技术设施建设。国家持续密集部署“新基建”，给予“新基建”新时代的丰富内涵，目前最受关注的领域包括：5G基建、人工智能、工业互联网、新能源汽车充电桩、轨道交通、大数据中心以及特高压，其发展既符合未来经济社会发展趋势，又适应中国当前社会经济发展阶段和转型需求，在补短板的同时将成为社会经济发展的新引擎。以第三代半导体为基础制备的电子器件是支持这七大领域的关键核心器件，保证我国“新基建”政策的顺利实施。

在近期各省份的十四五规划建议稿中，第三代半导体也都是各地方关注的重点，比如浙江就明确提出要“超前布局发展人工智能、生物工程、第三代半导体、类脑芯片、柔性电子、前沿新材料、量子信息等未来产业，加快建设未来产业先导区。”辽宁省也提及了第三代半导体领域，表示在十四五期间，辽宁将“积极发展前沿新材料产业。

超前布局未来产业，面向增材制造、柔性电子、第三代半导体、量子科技、储能材料等领域加快布局，打造一批领军企业和标志产品，形成新的产业梯队。”

第三代半导体作为支撑下一代移动通信、新能源汽车、高速列车、能源互联网、国防军工等产业自主创新发展和转型升级的重点核心材料和关键电子元器件，在国家安全、国家经济安全和传统产业转型升级方面都起到核心支撑作用。未来五年，将是中央政府、各级地方重点关注的领域之一。

二、应用导向

从应用方向来看，以耐受电压与输出功率为界，SiC、GaN 各有其优势场域。

Yole Développement 电源与无线部门总监 Claire Troadec 表示，电源芯片产业大约每 20 年会有一次革命性突破，GaN on Si 与 SiC 将是引领这波新革命的要角。但由于材料特性不同，这两种元件适合的应用市场也有所区隔。一般来说，以耐受电压 600~650 V 为界，高于此一区间的应用会以 SiC 为主；低于此一区间的市场则会成为 GaN 的主战场。就个别应用来说，SiC 最重要的应用会是电动车、轨道运输与电动车充电站；GaN 最重要的应用则是消费性电源，其次是电动车与不断电系统（UPS）等。

（一）碳化硅市场发展情况

碳化硅功率器件定位于 1KW-500KW 之间，工作频率在 10KHz-100MHz 之间的场景，特别适用于对于能量效率和空间尺寸要

求较高的应用，如电动汽车充电桩、光伏逆变器、高铁、智能电网、工业级电源等领域，可逐渐取代硅基 MOSFET 和 IGBT。其中 SiC 器件最佳应用场景就是新能源汽车。

SiC 功率器件应用在电动汽车领域具有极大优势。SiC 功率器件的高温特性和高热导性能可以显著减少散热器的体积和降低成本，其高频特性有助于提高电机驱动器的功率密度，减小体积，降低重量，并推动新型拓扑在电机驱动、充电桩和车载充电器中的应用。从汽车产业来看，共分为三个子领域：电驱、DC-DC、充电器。专家预测，电驱导入验证周期需要 3-4 年；DC-DC 转换器导入得较快，对安全要求不高；充电器分 OBC 和充电桩，充电桩一般用 SiC 二极管+IGBT，已经被各个厂商在验证。随着特斯拉、比亚迪对 SiC 模块在汽车领域的应用，正逐渐带动起 SiC 功率模块的应用市场，预计 2023 年全碳化硅模块会被应用在电动汽车领域，因此 SiC 在新能源汽车市场前景很大。

2018 年碳化硅功率器件市场规模约 3.9 亿美元，受新能源汽车庞大需求的驱动以及电力设备等领域的带动，IHS 预测到 2027 年碳化硅功率器件的市场规模将超过 100 亿美元。2021 年起，受益电动汽车拉动，SiCMOSFET 将保持较快的速度增长，成为最畅销的分立 SiC 功率器件。

在光伏发电应用中，基于 Si 基器件的传统逆变器成本约占系统 10%左右，却是系统能量损耗的主要来源之一。使用 SiC--MOSFET 或 SiC--MOSFET 与 SiC--SBD 结合的功率模块的光伏逆变器，转换

效率可从 96%提升至 99%以上，能量损耗降低 50%以上，设备循环寿命提升 50 倍，从而能够缩小系统体积、增加功率密度、延长器件使用寿命、降低生产成本。高效、高功率密度、高可靠和低成本是光伏逆变器的未来发展趋势。在组串式和集中式光伏逆变器中，碳化硅产品预计会逐渐替代硅基器件。预计到 2025 年，光伏发电逆变器 SiC 渗透率将达到 50%。

城市轨道交通和高速列车是轨道交通未来发展的主要动力。轨道交通车辆中大量应用功率半导体器件，其牵引变流器、辅助变流器、主辅一体变流器、电力电子变压器、电源充电机都有使用碳化硅器件的需求。其中牵引变流器是机车大功率交流传动系统的核心装备，将碳化硅器件应用于轨道交通牵引变流器能极大发挥碳化硅器件高温、高频和低损耗特性，提高牵引变流器装置效率，符合轨道交通大容量、轻量化和节能型牵引变流装置的应用需求提升系统的体效能。2018 年碳化硅器件在轨道交通总占比约为 2%，预计到 2030 年轨道交通碳化硅器件占比将达到 30%。

（二）氮化镓市场发展情况

GaN 射频器件可以弥补 GaAs 和 Si-LDMOS 这两种传统技术的缺陷，将在高功率，高频率射频市场优势明显，特别是在高频（大于 8GHz）、中大功率（10W~100W）范围。

现阶段 5G 的快速普及，使得 GaN 材料成为在通信基站应用领域最具增长潜质的第三代半导体材料之一，GaN 射频器件已成为 5G 时代较大基站功率放大器的候选技术。2020 年底，中国已经实现 80 万

个 5G 基站的建设目标。根据 Yole 的预测，GaN 射频器件市场预计到 2024 年成长至 20 亿美元，6 年 CAGR 达到 21%。主要的市场增长来自无线通信基础设施和军工。5G 的普及将推动 GaN 在无线通信的市场达到 7.5 亿美元。但需要指出的是，整个半导体射频器件的市场空间规模在百亿美元。其中 GaAs 器件仍然占据的绝大部分市场份额，在整个百亿美元的射频芯片市场中 GaN 射频器件的占比仍然较小，但是增速可期。

另外消费电子将成为 GaN 电力电子器件的主要增长点。GaN 由于高功率密度和良好的温度特性，用在电源上可兼顾小体积与大功率输出，此外还具有更好的开关特性。2018 年 10 月，ANKER 发布了全球首款 GaN 充电器——ANKER PowerPort Atom PD1。与 APPLE USB-C 对比来看，ANKER 发布的该款充电器输出功率达到 27W，相较于 APPLE USB-C30W 相差不多，但是 ANKER 的 GaN 充电器的体积比 APPLE 充电器小 40% 之多。

目前 GaN 器件在整个功率半导体市场占比还非常小。2016 年 GaN 功率器件市场规模约为 1200 万美元，预计到 2022 年将增长到 4.6 亿美元，CAGR 达到 79%。主要增长来自电源管理、LiDAR、无线功率和封包追踪等应用。随着 GaN on Si 技术的成熟带来成本降低，GaN 功率器件的潜在市场空间将持续放大。GaN 有望在中低功率替代 Si MOSFET、IGBT 等硅基功率器件。根据 Yole 估计，在 0~900V 的低压市场，GaN 都有较大的应用潜力，这一块占据整个功率市场约 68% 的比重，按照整体市场 400 亿美元来看，GaN 功率器件的潜在市

场超过 270 亿美元。

第四章 国内第三代半导体产业发展思考

1.材料仍是制约产业发展关键环节

相较 Si 和 GaAs 等第一代和第二代半导体,第三代半导体的材料质量仍有很大提升空间。Si 片尺寸已经能达到 12 英寸以上,纯净度达到 99.99999999% (11 个 9) 以上。GaAs 材料经历了 60 多年的发展,材料质量非常高。然而 SiC 和 GaN 材料的杂质浓度和缺陷还都比较高。而材料作为整个产业链最上游,支撑着整个产业发展,是产业发展的基础和源头。

目前国内 SiC 衬底材料 6 英寸衬底成品率仍不高,导致相较国外衬底价格较高。GaN 器件尚且很难实现同质外延生长,需要依托在 SiC 或 Si 衬底上。材料质量和价格成为第三代半导体器件技术和应用发展的阻碍因素之一。

2.企业亟待提升创新能力和市场竞争力

我国第三代半导体技术和人才主要集中在北京大学、清华大学、中科院等科研机构。我国主要的第三代半导体企业,如天科合达、山东天岳、东莞中镓、苏州纳维、同光晶体、江苏华功等均是政府和市场推动下,由高校院所通过技术转移转化孵化出的创新型企业。相对于欧、美、日等国际半导体企业在第三代半导体领域进行的长期技术创新和产业布局,我国第三代半导体企业规模小、技术积累时间短、资本不够雄厚,在尚处于培育发展时期的第三代半导体市场竞争中,

面临着人才紧缺、技术储备不足、产品市场认可度不高的问题，亟待提升企业创新能力和市场竞争力。

3. 第三代半导体标准和产品评价体系缺乏

第三代半导体作为近几年快速发展的应用技术，相对于成熟的硅产业链而言，第三代半导体行业标准严重缺失。2017年9月12日，全球性的标准开发跨国组织——固态技术协会（JEDEC）在美国成立了宽禁带功率电子转换半导体委员会（JC-70），JC-70下设了 GaN 和 SiC 两个小组委员会，专注于建立对相关产品可靠性的评估和资格认证程序标准，并制定产品在数据参数、测试和表征等方面的行业标准。我国国内现行的器件测试标准均等同翻译自国际电工委员会（IEC）标准，新能源汽车用 SiC 模块产品的测试认证标准在国内仍是处于空白状态。另外，SiC 器件的混合模块作为新型封装器件，其检测方法主要参考 Si 基半导体器件的国家标准，检测方法和要求均已经落后于技术发展，不能够完全满足混合模块的测试要求。此外，国际主流的材料和器件生产企业，其产品已在相关应用领域进行了较长时间的应用验证，而国产产品虽然已有第三代半导体的联盟做出 SiC 的产品标准，如中关村天合宽禁带半导体技术创新联盟发布的《碳化硅单晶》《6 英寸碳化硅单晶抛光片》两项产品标准，但目前缺少标准认证以及国内企业对标准重视程度较低，因此面临推广困难的局面。这在一定程度上会阻碍产业的健康、长久发展。

4. 第三代半导体器件制备存在与 Si 半导体工艺融合的机遇

受第三代半导体材料尺寸和成本限制，第三代半导体器件以 4 英

寸和 6 英寸为主，部分在硅片上外延的 GaN 半导体器件尺寸可以达到 8 英寸。第三代半导体多数面向高电压、高功率的模拟器件或光电子器件，对器件制程工艺节点要求不高，无须使用 60nm 以下工艺，目前 GaN 器件以 0.15 μm 以上工艺为主，SiC 器件由于主要面向上千伏高压应用，工艺线宽在 0.5 μm 左右。相比于目前主流的 12 英寸集成电路制造生产线，4 英寸和 6 英寸生产线的建设成本较低，且已被市场淘汰的 4~6 寸 Si 基半导体器件制备工艺线，可以得到重新利用。

5. 发挥首都技术创新、人才聚集优势，创新机制，构建全流程价值链

第三代半导体作为北京重点发展的新材料方向，实现第三代半导体从基础研究、前沿技术、应用技术到示范应用创新链的全面突破，将北京市打造成为辐射全国的第三代半导体领域技术创新、人才聚集与科技服务中心，引领全国第三代半导体材料发展。

在创新机制方面，可以积极构建立足北京、带动全国、辐射世界的跨学科、跨行业、跨区域的第三代半导体创新价值链。鼓励第三代半导体领域的科研院所、企业开展高层次、国际化的技术、人才引进以及国际合作，聚集全球优势资源在京建设成第三代半导体的研发、设计、孵化及标准中心，布局第三代半导体专利战略和标准建设；以京津冀融合发展为契机，主动开展技术交易与服务；积极与江苏、广东等下游应用及配套基础较好的区域对接，通过开展技术对接与科技服务，推动第三代半导体应用产业实现快速发展；支持有条件的企业联合开拓国际市场、联手参与国际竞争，不断提升我国在第三代半导

体领域的国际地位与产业竞争力。

6.落实第三代半导体产业政策，加速产业集聚

第三代半导体已处于市场导入的窗口期，各地政府纷纷出台扶持政策，加速推进企业和成果落地，北京作为第三代半导体技术和产业的先行者，应把握领先优势，加速推动产业集聚发展，在产业集聚区推动产业上下游联动，规划和搭建共性技术平台，降低初创型创新企业风险，提升企业创新能力。顺义区作为北京第三代半导体集聚区，应尽快落实符合第三代半导体发展规律的针对性优惠政策，依托专业服务机构打造第三代半导体领域服务平台，从技术转移、产品研发设计、产业孵化、金融服务及配套服务（产品展示交易、品牌推广、行业培训）等方面入手，优化营商环境，提升企业落地顺义信心，形成产业集聚。

中关村天合宽禁带半导体技术创新联盟

地址：北京市大兴区天荣街 9 号

邮政编码：102600

联系电话：010-61256850-657/702

网址：www.iawbs.com

