

2022年

中国SiC碳化硅器件行业 深度研究报告



CONTENTS

目录

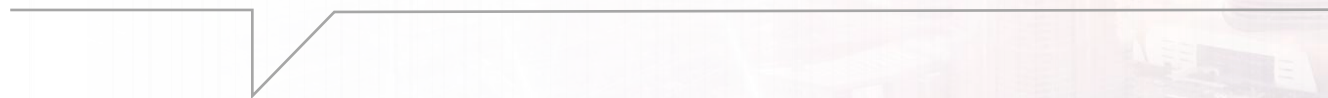
第一章 碳化硅器件行业概况	05	第四章 产业链上游—外延	36
碳化硅器件行业定义分类	06	碳化硅外延业定义分类	37
碳化硅器件行业政策	09	碳化硅外延片制作方法	38
碳化硅器件行业发展历程	10	CVD法制作碳化硅外延技术路线	39
中国碳化硅器件行业产业链	11	碳化硅外延技术进展	40
碳化硅器件行业市场规模	14	碳化硅外延制作设备	41
全球碳化硅器件行业市场规模	14	碳化硅外延成本与价格	42
中国碳化硅器件行业市场规模	15	碳化硅外延产能布局	43
中国碳化硅器件行业竞争格局	16	第五章 产业链中游—器件制造	44
中国碳化硅器件行业发展的机会和挑战	17	碳化硅器件设计	45
第二章 碳化硅器件行业技术情况	19	碳化硅器件制造	47
碳化硅器件行业国内外技术差距	20	碳化硅器件封测	48
碳化硅器件扩大应用技术难点	21	碳化硅器件产能布局	49
碳化硅器件行业降低成本技术路径	27	第六章 产业链下游—终端应用	53
第三章 产业链上游—衬底	28	碳化硅器件用途	54
衬底定义与分类	29	导电型器件应用	55
全球碳化硅衬底市场规模	30	半绝缘型器件应用	58
国内外衬底差距	31	第七章 行业企业	59
衬底竞争格局	32	株洲中车时代电气股份有限公司	60
衬底发展趋势	33	嘉兴斯达半导体股份有限公司	61
中国衬底产能布局 and 规划	34	无锡新洁能股份有限公司	62
		山东天岳先进科技股份有限公司	63
		广东天域半导体股份有限公司	64

- **SiC、碳化硅**：Silicon Carbide，碳和硅的化合物，一种宽禁带半导体材料，俗称第三代半导体材料之一。
- **GaN、氮化镓**：Gallium Nitride 三代半导体材料之一。
- **晶片、衬底、抛光片**：沿特定的结晶方向将晶体切割、研磨、抛光，得到具有特定晶面和适当电学、光学和机械特性，用于生长外延层的洁净单晶圆薄片。
- **外延片**：在晶片的基础上，经过外延工艺生长出特定单晶薄膜，衬底晶片和外延薄膜合称外延片。如果外延薄膜和衬底的材料相同，称为同质外延；如果外延薄膜和衬底材料不同，称为异质外延。
- **芯片**：在半导体外延片上进行浸蚀、布线，制成的能实现某种功能的半导体器件。
- **射频器件**：利用射频技术形成的一类元器件，常用于无线通信等领域。
- **HEMT**：High Electron Mobility Transistor，高电子迁移率晶体管，是一种异质结场效应晶体管
- **微波器件**：工作在微波波段（频率为300 ~ 300,000兆赫）的器件。通过电路设计，微波器件可组合成各种有特定功能的微波电路，用于雷达、电子战系统和通信系统等电子装备。
- **功率器件**：用于电力设备的电能变换和控制电路的分立器件，也称电力电子器件。
- **肖特基二极管**：Schottky Barrier Diode，即肖特基势垒二极管，利用金属与半导体接触形成的金属-半导体结原理制作的一种热载流子二极管，也被称为金属-半导体（接触）二极管或表面势垒二极管。
- **二极管**：用半导体材料制成的一种功率器件，具有单向导电性能，应用于各种电子电路中，实现对交流电整流、对调制信号检波、限幅和钳位以及对电源电压的稳压等多种功能。
- **MOSFET**：Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor，金属氧化物半导体场效应晶体管，是一种可以广泛使用在模拟电路与数字电路的场效晶体管。
- **IGBT**：Insulated Gate Bipolar Transistor 种电力电子行业的常用半导体开关器件的缩写，即绝缘栅双极性晶体管。
- **逆变器**：把直流电能转变成定频定压或调频调压交流电的转换器。

- **禁带**: 在能带结构中能态密度为零的能量区间, 常用来表示价带和导带之间的能量范围。禁带宽度的大小决定了材料是具有半导体性质还是具有绝缘体性质。第三代半导体因具有宽禁带的特征, 又称宽禁带半导体。
- **电子漂移速率**: 电子在电场作用下移动的平均速度。
- **饱和电子漂移速率**: 电子漂移速率达到一定范围后, 不再随着电场作用而继续增加的极限值。
- **热导率**: 物质导热能力的量度, 又称导热系数。
- **击穿电场强度**: 电介质在足够强的电场作用下将失去其介电性能成为导体, 称为电介质击穿, 所对应的电场强度称为击穿电场强度。
- **微管**: 碳化硅晶片的一种缺陷, 是晶片中延轴向延伸且径向尺寸在一微米至十几微米的中空管道。
- **导通电阻**: 半导体器件导通后两端电压与导通电流之比, 是器件的重要参数, 理想的半导体器件导通电阻应为零。
- **长晶炉**: 晶体生长炉。
- **PVT法**: Physical Vapor Transportation, 物理气相传输法, 一种常见的碳化硅晶体生长方法。
- **CVD法**: 化学气相沉积法, 一种晶体和外延生长方法。
- **光电器件**: 根据光电效应制作的器件, 主要种类包括光电管、光敏电阻、光敏二极管、光敏三极管、光电池、光电耦合器件等。
- **转换器**: 将一种信号转换成另一种信号的装置。
- **OBC**: On-board Charger, 车载充电器。

01

行业概述



SiC碳化硅是由碳元素和硅元素组成的一种化合物半导体材料，是制作高温、高频、大功率、高压器件的理想材料之一。相比传统的硅材料（Si），碳化硅（SiC）的禁带宽度是硅的3倍；导热率为硅的4-5倍；击穿电压为硅的8-10倍；电子饱和漂移速率为硅的2-3倍。

碳化硅原材料核心优势体现在：1)耐高压特性：更低的阻抗、禁带宽度更宽，能承受更大的电流和电压，带来更小尺寸的产品设计和更高的效率；2)耐高频特性：SiC器件在关断过程中不存在电流拖尾现象，能有效提高元件的开关速度（大约是Si的3-10倍），适用于更高频率和更快的开关速度；3)耐高温特性：SiC相较硅拥有更高的热导率，能在更高温度下工作。

定义：SiC碳化硅器件是指以碳化硅为原材料制成的器件，按照电阻性能的不同分为导电型碳化硅功率器件和半绝缘型碳化硅基射频器件。

功率器件又被称为电力电子器件，是构成电力电子变换装置的核心器件。电力电子器件是对电能进行变换和控制，所变换的“电力”功率可大到数百MW甚至GW，也可以小到数W甚至1W以下。电力电子装置正是实现电能高质量高效转换、多能源协调优化、弱电与强电之间控制运行、交流与直流之间能量互换、自动化高效控制等的重要手段，也是实现节能环保、提高电能利用效率的重要保障。

射频器件在无线通讯中扮演信号转换的角色，是无线通信设备的基础性零部件，主要包括功率放大器、滤波器、开关、低噪声放大器、双工器等。

相比传统的硅材料（Si），碳化硅（SiC）各项性能指标优势明显

半导体材料	第一代半导体		第二代半导体			第三代半导体			
	Si	Ge	GaAs	GaN	4H-SiC	6H-SiC	3C-SiC	ALN	
禁带宽度 (eV)	1.12	0.67	1.43	3.37	3.26	3	2.2	6.2	
能带类型	间接	间接	直接	直接	间接	间接	间接	间接	
击穿场强 (MV/cm)	0.3	0.1	0.06	5	3	5	3	1.4	
电子迁移率 (cm ² /Vs)	1350	3900	8500	1250	800	<400	<800	300	
空穴迁移率 (cm ² /Vs)	480	1900	400	<200	115	90	320	14	
热导率 (W/cm*K)	1.3	0.58	0.55	2	4.9	4.9	3.6	2.85	

导电型碳化硅功率器件主要是通过通过在导电型衬底上生长碳化硅外延层，得到碳化硅外延片后进一步加工制成，品种包括肖特基二极管、MOSFET、IGBT等，主要用于电动汽车、光伏发电、轨道交通、数据中心、充电等基础设施建设。性能优势如下：（1）更强的高压特性。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）更好的高温特性。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）更低的能量损耗。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；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。

半绝缘型碳化硅基射频器件是通过在半绝缘型碳化硅衬底上生长氮化镓外延层，制得碳化硅基氮化镓外延片后进一步制成，包括HEMT等氮化镓射频器件，主要用于5G通信、车载通信、国防应用、数据传输、航空航天。碳化硅、氮化镓材料的饱和电子漂移速率分别是硅的2.0、2.5倍，因此碳化硅、氮化镓器件的工作频率大于传统的硅器件。然而，氮化镓材料存在耐热性能较差的缺点，而碳化硅的耐热性和导热性都较好，可以弥补氮化镓器件耐热性较差的缺点，因此业界采取半绝缘型碳化硅做衬底，在衬底上生长氮化镓外延层后制造射频器件。

碳化硅的主要器件形式及应用



碳化硅制成的功率器件在新能源汽车、光伏发电、轨道交通、5G通讯等领域具有明显的优势。

半绝缘型碳化硅基射频器件以半绝缘型碳化硅衬底经过异质外延制备而成，主要面向通信基站以及雷达应用的功率放大器。碳化硅基氮化镓射频器件已成功应用于众多领域，以无线通信基础设施和国防应用为主。无线通信基础设施方面，5G具有大容量、低时延、低功耗、高可靠性等特点，要求射频器件拥有更高的线性和更高的效率。相比砷化镓和硅基LDMOS射频器件，以碳化硅为衬底的氮化镓射频器件同时具有碳化硅良好的导热性能和氮化镓在高频段下大功率射频输出的优势，能够提供下一代高频电信网络所需要的功率和效能，成为5G基站功率放大器的主流选择。在国防军工领域，碳化硅基氮化镓射频器件已经代替了大部分砷化镓和部分硅基LDMOS器件，占据了大部分市场。对于需要高频高输出的卫星通信应用，氮化镓器件也有望逐步取代砷化镓的解决方案。

导电型碳化硅功率器件主要应用于电动汽车/充电桩、光伏新能源、轨道交通等领域，具体情况如下：

导电型碳化硅功率器件应用及优势

应用领域	优势
电动汽车/充电桩	“三电”（即电池、电驱、电控）是电动汽车的主要组成部分，从电池的充放电再到电力驱动汽车行走，整个系统中对于电力控制以及电力转换有着很高的需求，同时随着电动汽车的发展对电力电子功率驱动系统提出了更轻、更紧凑、更高效、更可靠的要求。而碳化硅优良的物理性能可以使芯片尺寸更小、效率更高，更加耐高温，可以应用在电动汽车的功率控制单元（PCU）、逆变器、车载充电器中。以SiC基MOSFET器件在逆变器中的应用为例，通常电池输出的是直流电，需要通过逆变器将其转换成交流电后驱动感应电机，进而带动车轮转动，这一过程中交流电的频率、转换效率、等都会直接影响到电动汽车的续航里程，和传统方案相比，SiC在缩减体积的基础上，提升了电能的转换效率，提升电动汽车的续航里程。
光伏新能源	光伏逆变器曾普遍采用硅器件，经过40多年的发展，转换效率和功率密度等已接近理论极限。碳化硅器件具有低损耗、高开关频率、高适用性、降低系统散热要求等优点。使用碳化硅功率器件的光伏逆变器在系统转换效率方面能够很好的保持在96%以上，甚至可以达到99%，在能量损耗以及设备使用寿命方面也得到了不同程度的优化。
轨道交通	碳化硅功率器件在轨道交通行业得到重要应用。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。采用碳化硅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。目前，受限于碳化硅功率器件的电流容量，碳化硅混合模块将首先开始替代部分硅IGBT模块。

近年来，国家陆续出台政策文件，大力支持行业发展，鼓励企业深入布局，第三代半导体碳化硅（SiC）蓬勃发展。国家持续出台相关政策支持第三代半导体发展，2016年7月，国务院《关于印发“十三五”国家科技创新规划的通知》明确发展第三代半导体芯片；2019年11月工信部将第三代半导体产品写入《重点新材料首批次应用示范指导目录》，2019年12月，在《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》中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月为鼓励企业积极发展集成电路，国家减免相关企业税收；2021年3月，十四五规划中特别提出第三代半导体要取得发展；2021年8月，工信部将第三代半导体纳入“十四五”产业科技创新相关发展规划。

中国与碳化硅行业相关的政策与活动

日期	相关活动政策
2021.08	8月14日，工信部宣布将SiC（SiC）复合材料、碳基复合材料等纳入“十四五”产业科技创新相关发展规划
2021.05	国家科技体制改革和创新体系建设领导小组第十八次会议召开，会上讨论了面向后摩尔时代的集成电路潜在颠覆性技术
2021.03	新华网刊登了《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》，其中“集成电路”领域，特别提出SiC、氮化镓等宽禁带半导体即第三代半导体要取得发展。
2020.07	国务院发文《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》中指出，国家鼓励集成电路企业，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%的法定税率或减半征收企业所得税
2019.12	国务院在《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》中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
2019.11	工信部印发《重点新材料首批次应用示范指导目录》，其中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产品进入目录
2019.06	商务部及发改委在鼓励外商投资名单中增加了支持引进SiC超细粉体外商企业
2016.07	国务院推出了《关于印发“十三五”国家科技创新规划的通知》，其中首次提到要加快第三代半导体芯片技术与器件的研发

自1824年J.J.Berzelius首次发现SiC材料后，至今已200年历史。但是SiC材料走出实验室始于CREE（现Wolfspeed）开展SiC商用生产线，SiC材料呈现加速成长趋势。

SiC材料及器件发展历程

1987年

Gree (Wolfspeed) 建立第一条SiC商用生产线

1998年

Gree推出GaN-on-SiC新产品

2001年

第一个商用SiCSBD

2005年

Gree产业化生产4英寸SiC衬板

2006年

Si/SiC混合功率模块问世

2008年

Semisouth发布第一个增强型SiCFET
TranSiC发布SiCBJT

2011年

Rohm生产SiCMOSFET
Gree推出SiCMOSFET

2012年

Infineon发布1200VSiCJEFT
Gree启动6英寸SiC衬底量产

2014年

Gree发布27KVSiCIGBT

2015年

II-VI展示8英寸晶圆
Rohm量产1200V/180A全SiC模块

2017年

ST推出5mm×6mm双面散热微型封装汽车级SiCMOSFET

2018年

Rohm推出高温环境下可靠性1700V功率模块

2019年

Rohm推出内置1700VSiCMOSFET的AC/DC转换器IC

2020年

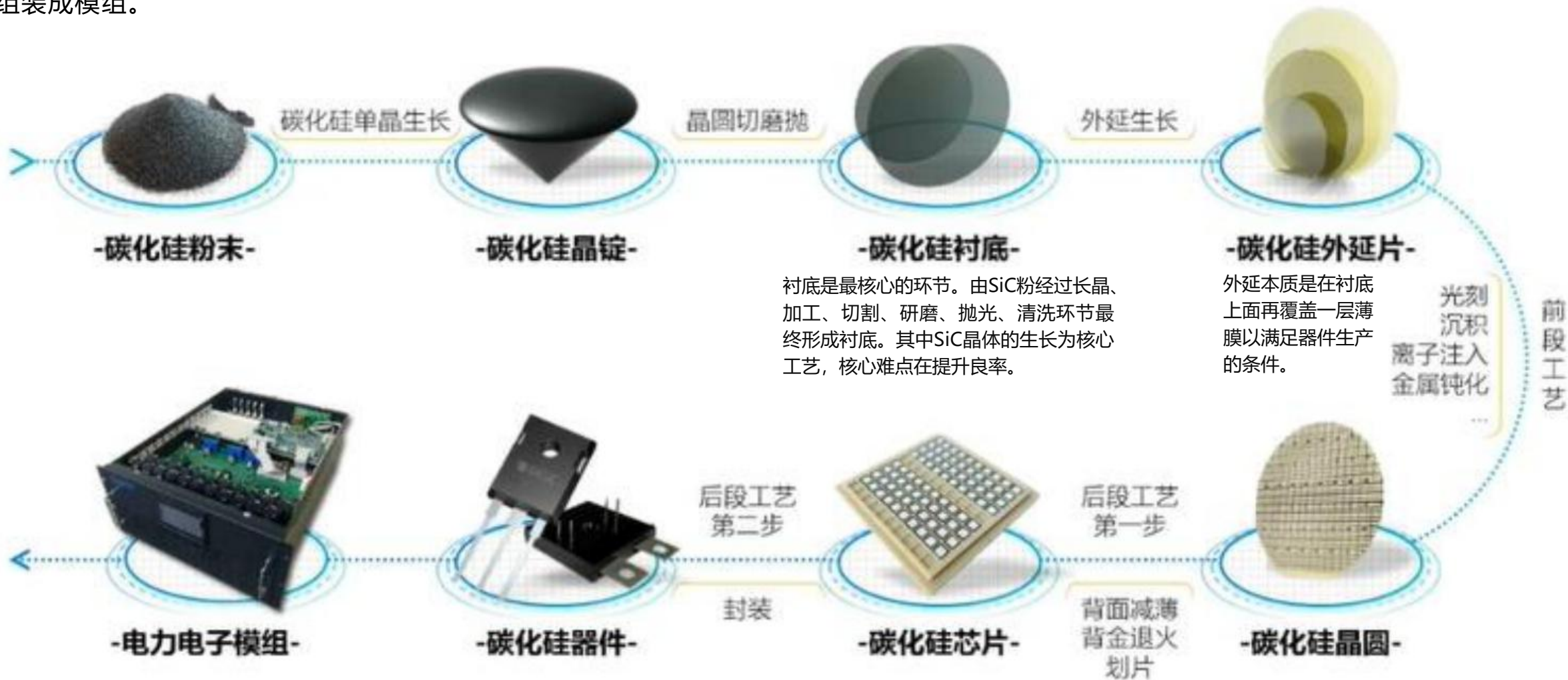
特斯拉宣布电驱电控采用SiC模块

萌芽期

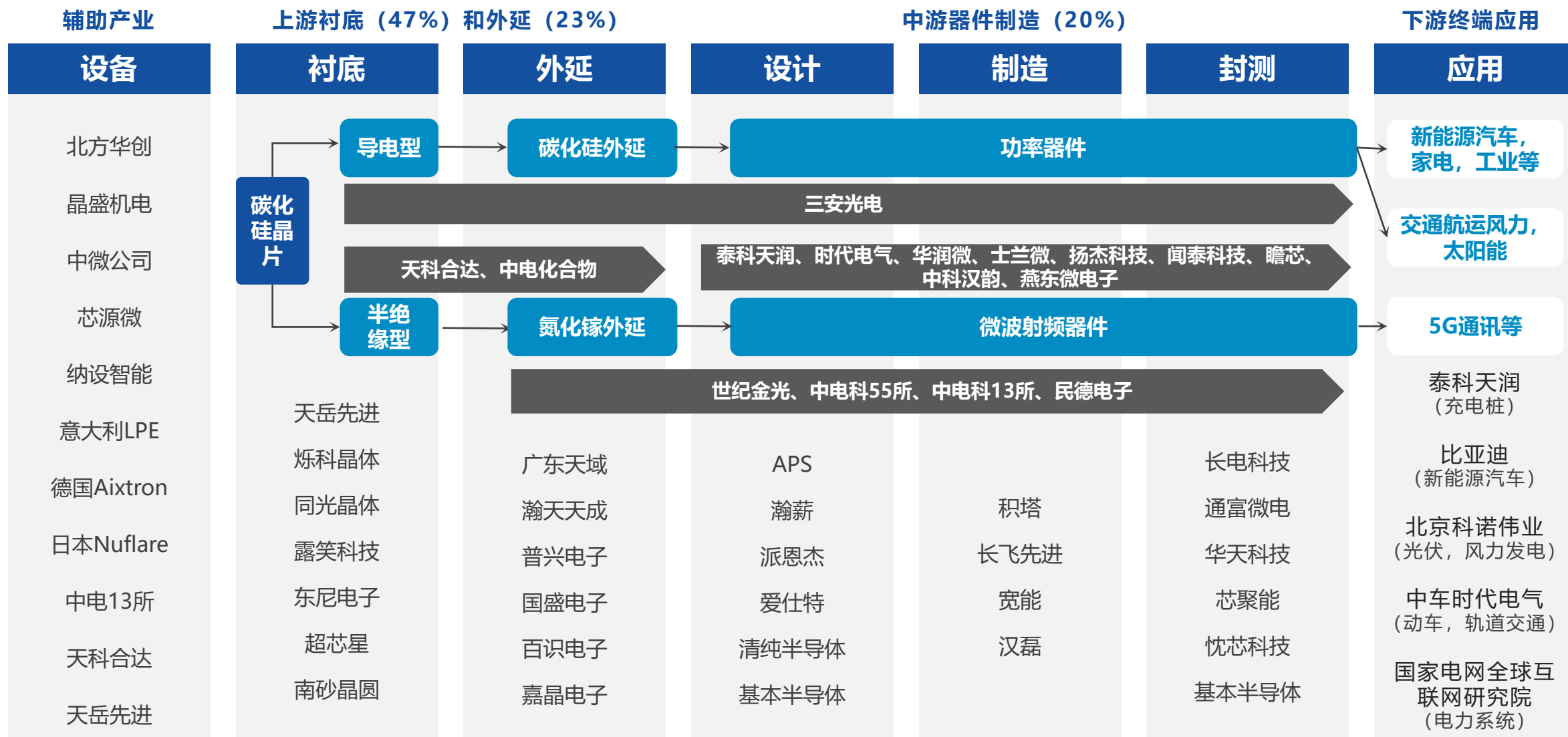
培育期

发展期

从工艺流程上看，碳化硅一般是先被制作成晶锭，然后经过切片、打磨、抛光得到碳化硅衬底；衬底经过外延生长得到外延片。外延片经过光刻、刻蚀、离子注入、沉积等步骤制造成器件。将晶圆切割成die，经过封装得到器件，器件组合在一起放入特殊外壳中组装成模组。



产业链包括上游是衬底和外延、中游是器件和模块制造，下游是终端应用。产业链价值量倒挂，其中衬底制造技术壁垒最高、价值量最大，是未来SiC大规模产业化推进的核心。

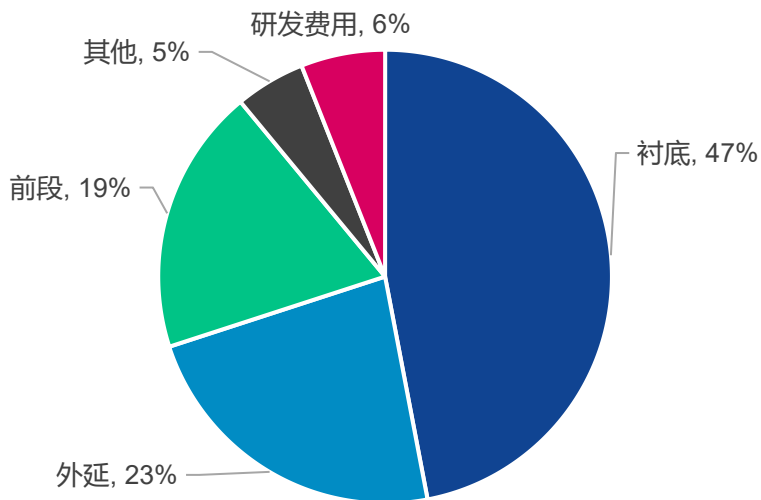


衬底和外延成本占比高达70%，远高于硅基衬底，导致碳化硅功率器件渗透率较低。

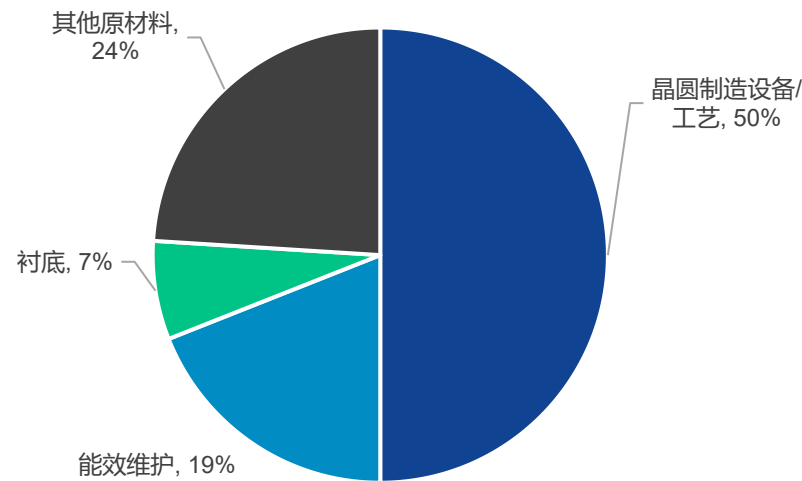
从最上游的碳粉、硅粉制备成碳化硅圆晶，再进行外延，最后制备成SBD、MOSFET、IGBT等器件，圆晶及外延是整个环节最关键的一环。他决定着上游原材料制备的方式及相关参数，同时也决定着下游器件的性能。

碳化硅衬底约占碳化硅器件成本的47%，外延环节又占据23%，制造前的成本占据全部成本的70%。而对于Si基器件来说，晶圆制造占据50%的成本，硅片衬底仅占据7%的成本，碳化硅器件上游衬底和外延价值量凸显。由于碳化硅衬底及外延价格相对硅片较为昂贵，碳化硅功率器件现阶段渗透率较低。然而，由于碳化硅器件高效率、高功率密度等特性，新能源汽车、能源、工业等领域的强劲需求有望带动碳化硅渗透率快速提升。

碳化硅器件成本结构



硅基器件的成本结构



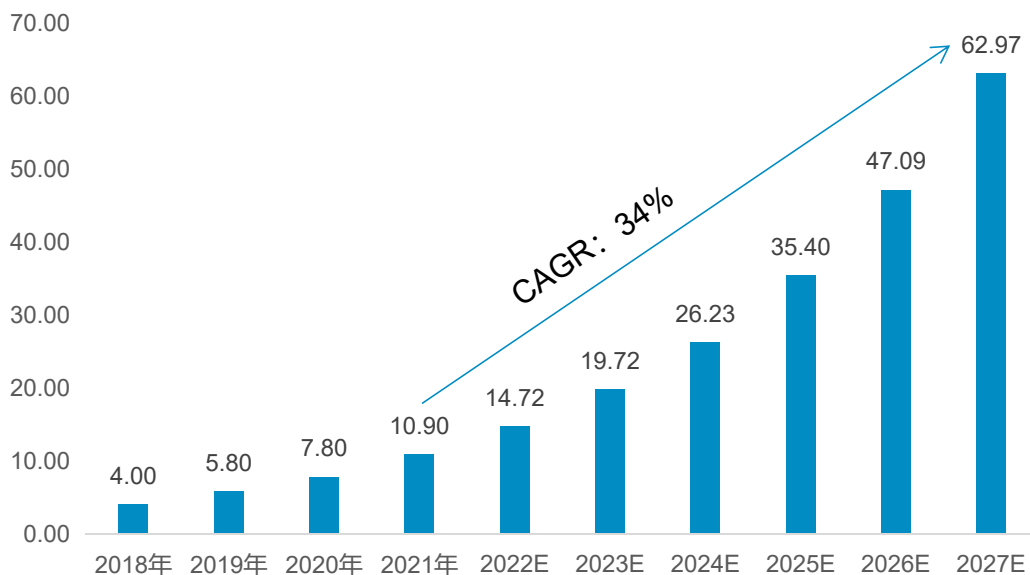
数据来源: CASA, TelescopeMagazine, 亿渡数据整理

未来随着碳化硅器件在新能源汽车、能源、工业、通讯等领域渗透率提升，碳化硅器件市场规模有望持续提升。

2027年全球导电型碳化硅功率器件市场规模有望突破60亿美元。根据Yole，2027年全球导电型碳化硅功率器件市场规模将由2021年的10.90亿美元增至62.97亿美元，2021-2027年每年以34%年均复合增长率快速增长。汽车应用主导SiC市场，占整个功率SiC器件市场的75%以上。

2021年、2027年导电型碳化硅功率器件市场规模变化

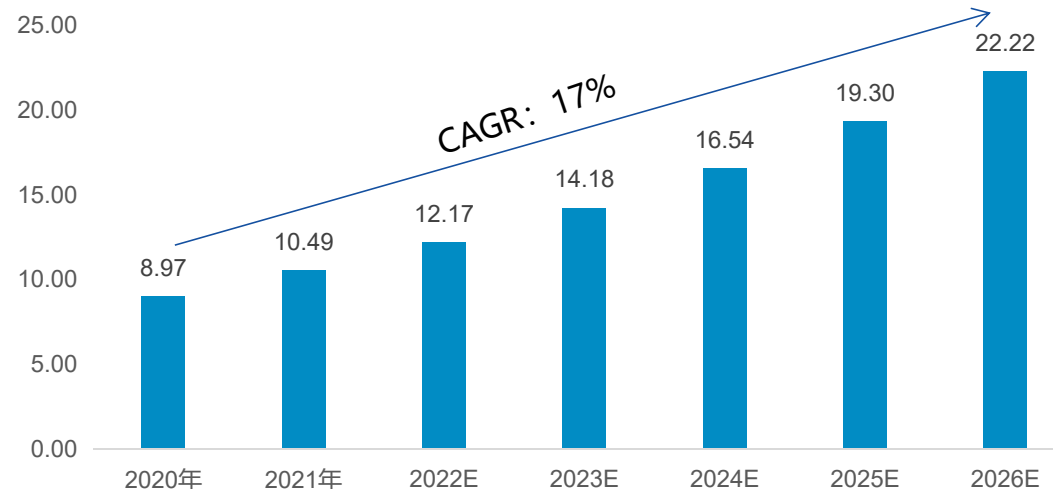
单位：亿美元



随着5G建设的加速，半绝缘型碳化硅器件市场有望持续增长。半绝缘型碳化硅器件主要用于5G基站、卫星通信、雷达等方向，随着5G建设的加速，尤其是MassiveMIMO技术的推广，半绝缘型碳化硅基氮化镓器件市场规模将不断扩大。根据YOLE的数据，2020年封装的氮化镓射频器件市场规模约为8.91亿美元，其中超过99%都是采用碳化硅衬底，到2026年，这部分市场规模有望增长至22.22亿美元，年复合增速17%。

2020年、2026年半绝缘型碳化硅基射频器件市场规模变化

单位：亿美元



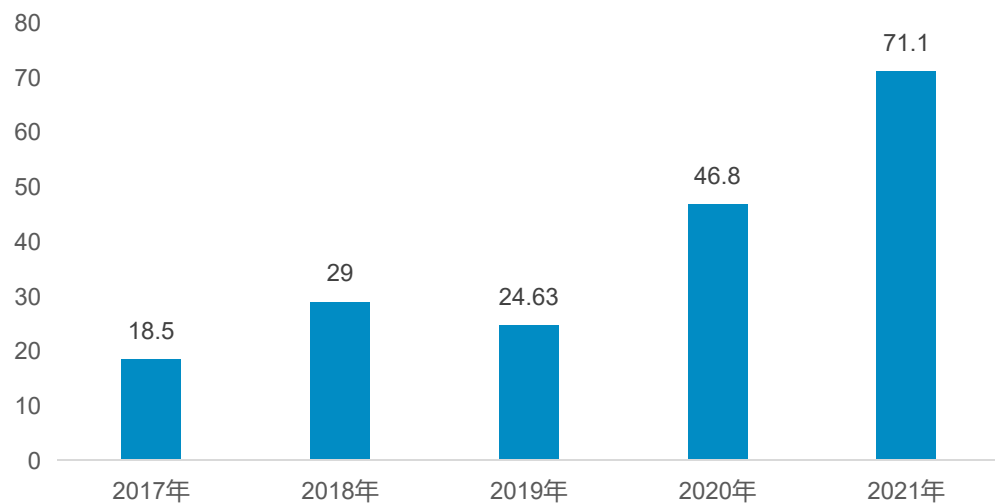
碳化硅器件可大幅降低能耗及可耐高压高频，被广泛应用在电动汽车/充电桩、光伏新能源、轨道交通及智能电网领域，随着5G，新能源汽车，光伏发电和轨道交通的发展，碳化硅器件市场规模将快速增长。

2017-2021年，中国碳化硅基电力电子器件应用市场快速增长。2021年中国碳化硅电力电子器件应用市场规模达到71.1亿元，同比增长51.9%。

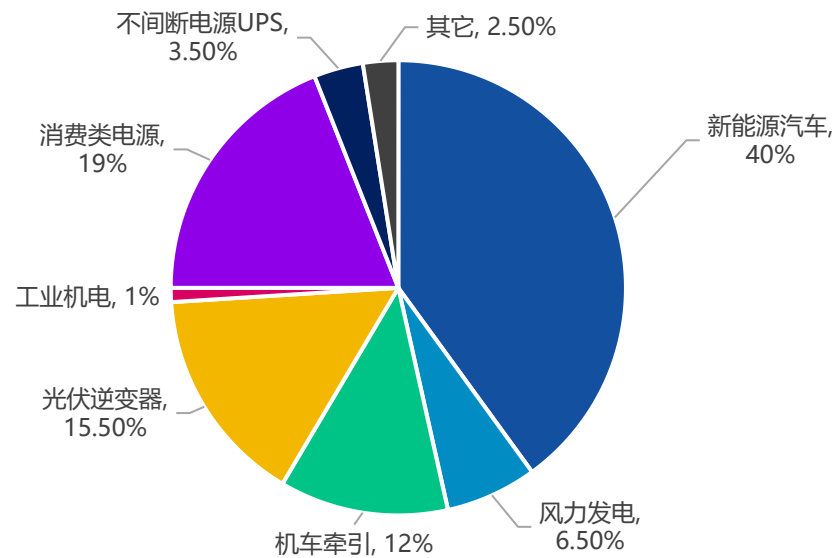
在中高压领域，碳化硅基电力电子器件将继续渗透，新能源汽车仍将是最大应用领域。在低压、小功率电源领域，包括LED驱动电源、电动工具电源、消费电源、D类音频，GaN电力电子器件将是主角，成为驱动市场的新力量；在中压领域，GaN、SiC电力电子器件在数据中心服务器、路由器和网络交换机中的应用正呈现不断增长的趋势。

2017-2021中国碳化硅功率器件应用市场规模

单位：亿元



2021年中国碳化硅功率器件应用市场结构



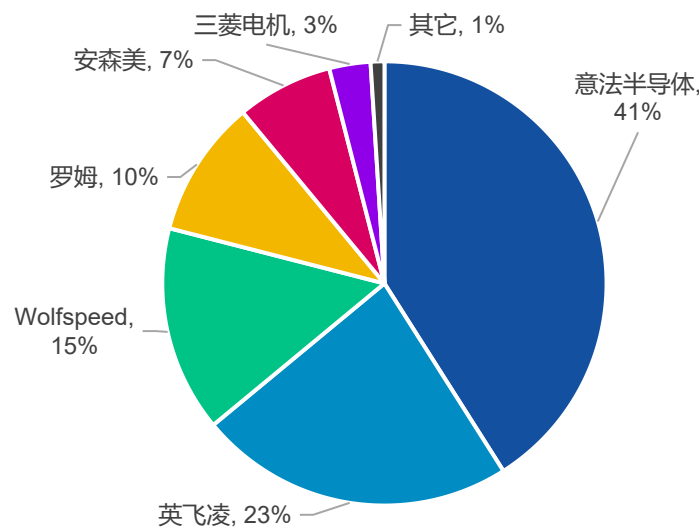
数据来源：CASA，亿渡数据

在碳化硅器件领域，欧美日企业领先，全球前6大厂商市占率达到99%

全球碳化硅器件市场格局仍由海外巨头主导。根据Yole的数据，2021年全球导电型碳化硅功率器件市场规模为10.90亿美元，市场份额由海外巨头意法半导体、Wolfspeed、罗姆、英飞凌、三菱电机、安森美等厂商垄断，全球TOP6占据99%的市场份额。

碳化硅器件行业市场空间广阔，全球巨头纷纷规划大规模扩产。Wolfspeed在纽约州北部开始运营新的8英寸SiC晶圆厂。博世正在德国增加近40000平方英尺的新SiC专用洁净室。Rohm在日本开设了一家新工厂，目标是在未来五年内将SiC制造量提高5倍。英飞凌刚刚开始马来西亚建设新的SiC工厂。东芝计划到2024年将SiC产量提高3倍，到2026年提高10倍。未来随着全球巨头产能扩张，碳化硅器件有望加速应用于下游市场。

2021年全球导电型碳化硅功率器件市场竞争格局



2021年全球导电型碳化硅功率器件厂商排名

排名	地区	公司	2020营收 (百万美元)	2021营收 (百万美元)	同比
1	欧洲	意法半导体	290	450	55%
2	欧洲	英飞凌	110	248	125%
3	北美	Wolfspeed	108	165	53%
4	日本	罗姆	103	108	5%
5	北美	安森美	55	78	42%
6	日本	三菱电机	26	28	8%

巨大的市场需求、持续下行的成本、技术自主可控的迫切需求和政府政策支持将使行业迎来发展契机。

碳化硅衬底制备成本高

由于晶体生长速率慢、制备技术难度较大，大尺寸、高品质碳化硅衬底生产成本依旧较高，碳化硅衬底较低的供应量和较高的价格一直是制约碳化硅器件大规模应用的主要因素之一，限制了产品在下游行业的应用和推广。

虽然碳化硅衬底和器件工艺逐渐成熟，衬底和器件的价格呈一定下降趋势，但是目前碳化硅功率器件的价格仍数倍于硅基器件，下游应用领域仍需平衡碳化硅器件的高价格与碳化硅器件优越性能带来的综合成本下降间的关系，短期内一定程度上限制了碳化硅器件在功率器件领域的渗透率，使得碳化硅材料即使在部分相对优势领域的大规模应用仍存较大挑战。

高端技术和人才缺乏

半导体材料行业属于典型技术密集型行业，对于技术人员知识背景、研发能力及操作经验积累均有较高要求，国内在高端技术和人才方面与国外龙头企业尚存在差距。缩小技术差距，需要靠国内企业和研究机构持续投入研发，完成前期技术积累工作。

国际巨头科锐公司成立于1987年，于1993年在美国纳斯达克上市，贰陆公司成立于1971年，于1987年在美国纳斯达克上市，相比于国际巨头具有数十年的研发和产业化经验，中国由于研发起步较晚，业内人才和技术水平仍然较为缺乏，在一定程度上制约了行业的快速发展。

国外技术封锁

碳化硅器件属于宽禁带半导体，宽禁带半导体的军事用途使得国外对中国实行技术和产品禁运和封锁。宽禁带半导体是有源相控阵雷达、毫米波通信设备、激光武器、“航天级”固态探测器、耐超高辐射装置等军事装备中的核心组件，因而受到国际上《瓦森纳协定》的出口管制，并且对外收购相关企业也会受到西方发达国家的严格审查。

技术封锁导致国内企业难以通过外延式收购进行发展。

外延设备国产化率低

外延环节技术壁垒相对较高，对第三方厂商成熟设备具有较强依赖性。目前外延设备主要由意大利LPE公司、德国Aixtron公司、日本Nuflare公司垄断，占据全球87%左右市场空间。

国内相关设备厂商市场占有率低，并且国产外延炉厂家多以单腔、水平气流、手动设备为主，月产能约为300~500片，还需验证设备工艺以及外延工艺，这也制约了行业发展。

产品良率低

国内碳化硅衬底厂商天岳先进和天科合达良率约为50%，而国外巨头Wolfspeed的良率已达85%，良率偏低造成材料大量浪费，有效产能较低，最终导致衬底价格居高不下，最终导致碳化硅半导体功率器件价格远高于硅基半导体器件，在终端渗透缓慢。良率低也是阻碍行业发展的因素之一。

巨大的市场需求、持续下行的成本、技术自主可控的迫切需求和政府政策支持将使行业迎来发展契机。

碳化硅市场需求旺盛

随着碳化硅器件在5G通信、电动汽车、光伏新能源、轨道交通、智能电网等行业的应用，碳化硅器件市场需求迅速增长，全球碳化硅行业呈现产能供给不足的情况。为了保证衬底供给，满足以电动汽车为代表的客户未来的增长需求，各大厂商纷纷开始扩产。据CASAResearch整理，2019年有6家国际巨头宣布了12项扩产，主要为衬底产能的扩张，其中最大的项目为科锐公司投资近10亿美元的扩产计划，分别在北卡罗来纳州和纽约州建造全新的可满足车规级标准的8英寸功率和射频衬底制造工厂。

随着下游市场的超预期发展，产业链的景气程度有望持续向好，碳化硅衬底产业也将直接受益。

碳化硅器件成本下行 行业应用的替代前景向好

2019年是碳化硅产业快速发展的关键年份。与同类硅基产品相比，虽然碳化硅器件价格仍然较高，但是由于其优越的性能及价格持续走低，其综合成本优势逐渐显现，客户认可度持续提高。

行业正在通过多种措施降低碳化硅器件成本：在衬底方面，通过增大碳化硅衬底尺寸、升级制备技术、扩大衬底产能等，共同推动碳化硅衬底成本的降低；在制造方面，随着市场的开启，各大器件供应商扩产制造，随着规模扩大和制造技术不断成熟，也带来制造成本的降低；

未来碳化硅器件的价格有望持续下降，其行业应用将快速发展。

宽禁带半导体技术 自主可控势在必行

由于宽禁带半导体的军事用途使得国外对中国实行技术禁运和封锁，国内碳化硅产业的持续发展对核心技术国产自主化、实现供应链安全可控提出了迫切的需求。

自主可控趋势加速了宽禁带半导体器件的国产化替代进程，为宽禁带半导体行业带来了发展新机遇。

在宽禁带半导体领域，下游应用企业已在调整供应链，支持国内企业。数家国内宽禁带半导体企业的上中游产品陆续获得了下游用户验证机会，进入了多个关键厂商供应链，逐步开始了以销促产的良性发展。

积极的宽禁带半导体产业政策

近年来从国家到地方相继制定了一系列产业政策来推动宽禁带半导体产业的发展。2020年8月，国务院印发《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》，提出聚焦高端芯片、集成电路装备等关键核心技术研发，在新一代半导体技术等领域推动各类创新平台建设；2021年3月，十三届全国人大四次会议通过的《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》，提出要大力发展碳化硅、氮化镓等宽禁带半导体产业。

此外，上海、广东、湖南、山东等多省市均出台了相关政策支持碳化硅等半导体产业发展。中国碳化硅行业迎来了发展契机。

02

行业技术情况



与国外企业相比，国内企业从材料到产能、到尺寸到器件应用上都与国外存在一定差距，这导致国内碳化硅企业整体竞争力低于国外企业。

国内外技术差距对比

	国外	国内
衬底	6英寸：2015年产业化；向8英寸转移	4英寸：大批量生产；向6英寸转移
外延	<12um：20A成品率>85%	<12um：成本偏高，质量不稳定
	>30um：质量控制良好	>30um：缺陷密度偏高
器件	二极管：批量生产	二极管：批量生产
	MOSFET：三代技术	MOSFET：少量实现产业化
封装	高温封装材料与专用设备	关键封装材料与设备尚未国产
	先进封装结构	沿用硅基封装结构
可靠性	车规级测试经验丰富	测试经验少，设备认可度不高
	测试标准尚在摸索	测试方法尚在摸索中
应用	电动车、新能源发电等批量应用	少数行业开始渗透、尚未批量应用
	大容量、高频电力应用预研开发	大容量高频电力应用预研开发
生态	产业链各环节闭环反馈	产业链各环节条块分割
	研发与产业化加速	缺乏IDM龙头企业

碳化硅衬底生长“慢”。

碳化硅单晶方面主要存在三点难点：对温度和压力的控制要求高，其生长温度在2300°C以上；长晶速度慢，7天的时间大约可生长2cm碳化硅晶棒；晶型要求高、良率低，只有少数几种晶体结构的单晶型碳化硅才可作为半导体材料。

目前商业的SiC晶圆的合成方法为PVT法。通过熔融状态或溶液状态结晶的方式可以制备出来大部分半导体单晶，但由于碳化硅自身性质的原因利用这两种方法无法生长出单晶。只有当压力 > 100GPa、温度 > 3200°C时C和Si才能熔化。而且当温度在1412~2830°C之间时，C在熔化的Si中溶解度仅为0.01%~19%。当温度超过1750°C时，通过在熔体里加入其它金属（Pr、Tb、Sc等）作为助溶剂，C的溶解度也仅能达到50%，但此时会产生大量Si蒸汽，无法完成生长过程。另外，碳化硅晶片中会混入大量金属助溶剂，不能用于制造半导体器件。直到1955年制备技术才有了突破性的进展，菲利普实验室的科学家们制备出了尺寸可控、质量较高的碳化硅单晶，其杂质浓度较低且可控，被称之为“Lely法”。这种方法是在反应器中持续通入氩气，同时加热装满碳化硅颗粒的反应器到2550°C，碳化硅在气相中成核并逐渐生长成晶体。这种方法的优点是：气相自发成核，产率高而且污染少。其缺点是：不能长出大尺寸的碳化硅单晶。

碳化硅晶体生长主流工艺比较

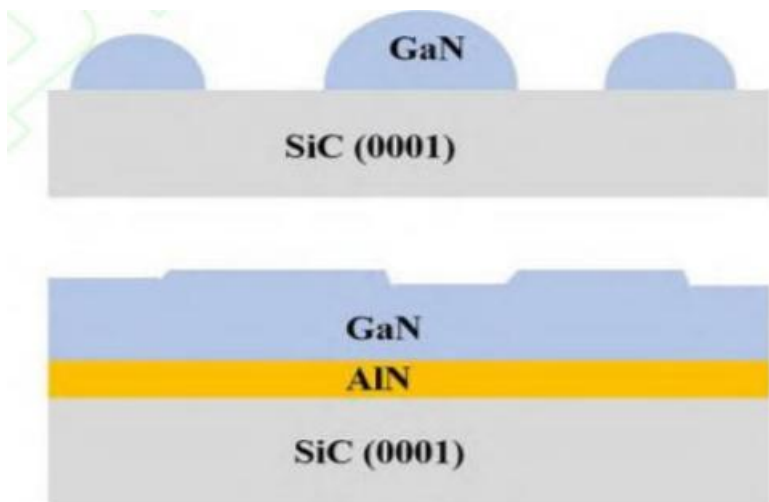
生长工艺	晶型	生长温度 (°C)	生长速度 (mm/h)	优点	缺点	主要厂商
物理气相传输/PVT	4H&6H	2200-2500	0.2-0.4	最成熟最常用	半绝缘制造困难、生长厚度受限、没有一体化设备	Wolfspeed、贰陆、道康宁、Sicystal、天岳、天科
高温化学气相沉积/HTPVD	4H&6H	2200	0.3-1.0	可持续的原料、可调整的参数、一体化的设备	速率和缺陷控制	Norstel、日本电装
液相外延/LPE	4H&6H	1460-1800	0.5-2.0	类似提拉法	金属杂质、硅溶液碳的溶解度有限	住友等

国内碳化硅外延生长速度慢，鲜见100μm/h以上外延速率工艺报道

外延部分，有别于硅基器件，碳化硅器件不能直接制作在碳化硅单晶材料上，外延必不可少，当前CVD法制备是应用最为广泛的方式。制备SiC外延层的方法有：液相外延法、分子束外延生长法、磁控溅射法、升华外延法、和CVD法等。其中，液相外延法、分子束外延生长法、CVD法是制备半导体器件所需SiC外延层的方法中较为成熟的方法。对比以上三种方法，MBE法制备的SiC外延层的质量最好，缺陷最少，但是生长速率较慢。从工业化生产方面考虑，由于MBE法和LPE法生长的速率比较慢，无法满足工业化生长的需求，而CVD法的生长速率较高，满足条件。同时，CVD法能够直接制备出复杂的半导体器件且CVD系统比较简单易操作，成本较低。

国内从事高速外延生长SiC厚膜研究的单位较少，很少出现100μm/h以上外延速率工艺报道。随着国家节能减排任务的加重，采用高效、节能电子元器件将成为必然趋势，厚膜SiC外延层在高压输电、轨道交通、智能电网等领域将广泛使用，因此研究开发高速外延生长工艺对于国内经济发展的意义重大。

GaN/SiC及GaN/AlN/SiC外延生长模式示意图



国内碳化硅晶体生长主流工艺比较

生长工艺	液相外延法/LPE	分子束外延生长/MBE	化学气相沉积/CVD
优点	设备需求简单、成本较低	可在低生长温度下生长不同的晶型外延层	生长厚外延层时能够对生长速率精确控制
缺点	很难控制好外延层的表面形貌、设备不能同时外延多片晶圆限制批量生产	设备真空要求度高、成本高昂、生长外延层速率慢	外延层仍存在各种缺陷、外延生长工艺仍需不断优化

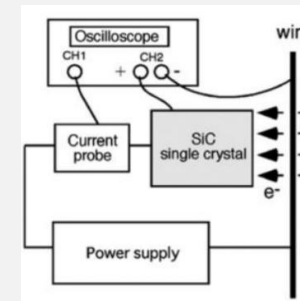
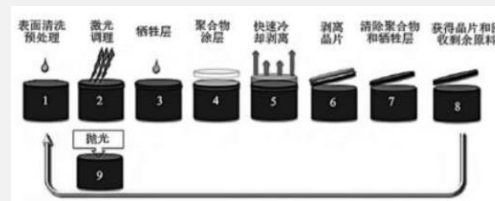
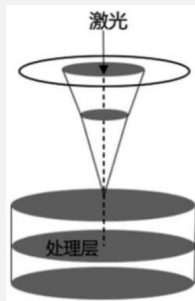
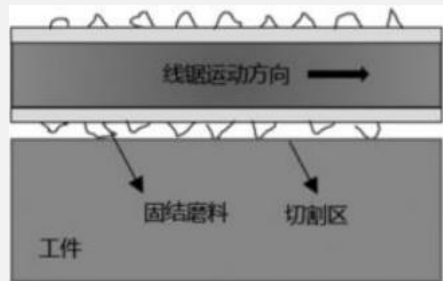
碳化硅衬底加工“难”——切片

碳化硅单晶的加工过程主要分为切片、薄化和抛光。全球碳化硅制造加工技术和产业尚未成熟，在一定程度上限制了碳化硅器件市场的发展，要充分实现碳化硅衬底的优异性能，开发提高碳化硅晶片加工技术是关键所在。

切片是碳化硅单晶加工过程的第一道工序，切片的性能决定了后续薄化、抛光的加工水平。切片加工易在晶片表面和亚表面产生裂纹，增加晶片的破片率和制造成本，因此控制晶片表层裂纹损伤，对推动碳化硅器件制造技术的发展具有重要意义。传统的锯切工具如内圆锯片、金刚石带锯，转弯半径受限，切缝较宽，出片率较低，不适用于碳化硅晶体切割。目前报道的碳化硅切片加工技术主要包括固结、游离磨料切片、激光切割、冷分离和电火花切片，其中往复式金刚石固结磨料多线切割是最常应用于加工碳化硅单晶的方法。

不同切割工艺的性能对比

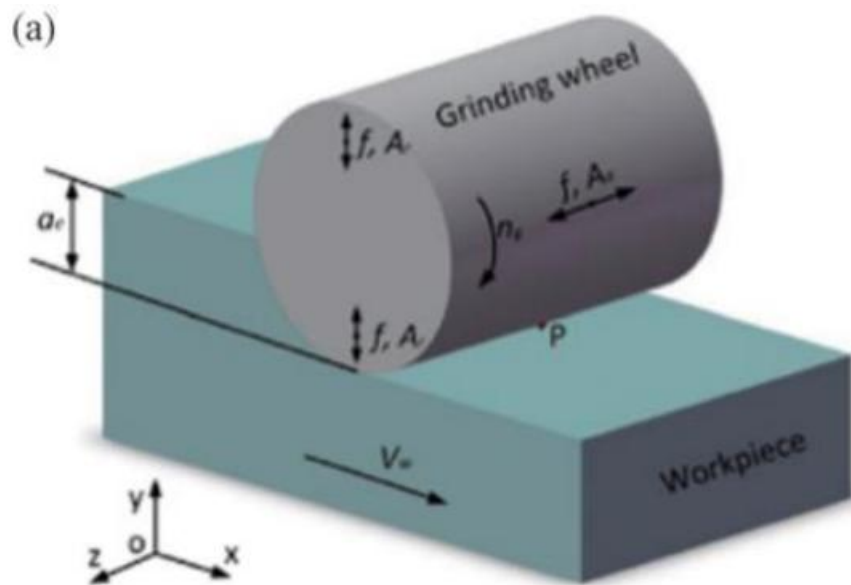
切割工艺	磨料切片	激光切割	冷分离	电火花
材料去除原理	磨料研磨	脉冲激光改性	激光改性	脉冲火花放电蚀除
切缝宽度/ μm	180 ~ 250	< 10	< 10	~ 100
总厚度变化/ μm	< 30	~ 25	< 1	< 25



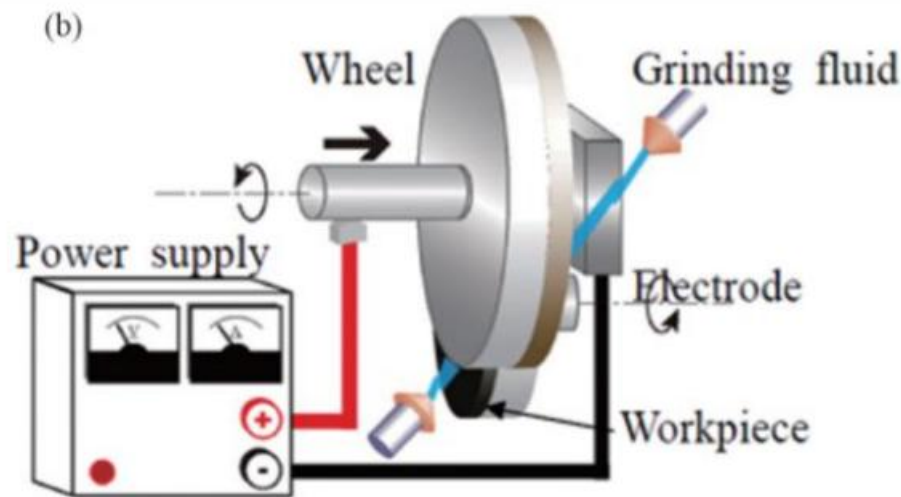
碳化硅衬底加工“难”——薄化

碳化硅断裂韧性较低，在薄化过程中易开裂，导致碳化硅晶片的减薄非常困难，为防止碎片，优化单面研磨技术是未来薄化加工大尺寸碳化硅晶片的主要技术发展趋势。碳化硅切片的薄化主要通过磨削与研磨实现。晶片磨削最具代表性的形式是自旋转磨削，晶片自旋转的同时，主轴机构带动砂轮旋转，同时砂轮向下进给，进而实现减薄过程。自旋转磨削虽可有效提高加工效率，但砂轮易随加工时间增加而钝化，使用寿命短且晶片易产生表面与亚表面损伤。加工缺陷的存在严重制约加工精度和效率，为了解决这些问题，目前主要的技术包括超声振动辅助磨削和在线电解修整辅助磨削。薄化工艺中晶片材料去除率和磨料粒径大小、密度、研磨盘转速、研磨压力等因素密切相关。

超声振动辅助磨削



在线电解修整辅助磨削



碳化硅衬底加工“难”——抛光

碳化硅晶片的抛光工艺可分为粗抛和精抛，粗抛为机械抛光，目的在于提高抛光的加工效率。碳化硅单晶衬底机械抛光的关键研究方向在于优化工艺参数，改善晶片表面粗糙度，提高材料去除率。精抛为单面抛光，化学机械抛光是应用最为广泛的抛光技术，通过化学腐蚀和机械磨损协同作用，实现材料表面去除及平坦化。晶片在抛光液的作用下发生氧化反应，生成的软化层在磨粒机械作用下相对容易被除去。作为单晶衬底加工的最后一道工序，化学机械抛光是实现碳化硅衬底全局平坦化的常用方法，也是保证被加工表面实现超光滑、无缺陷损伤的关键工艺。

不同切割工艺的性能对比

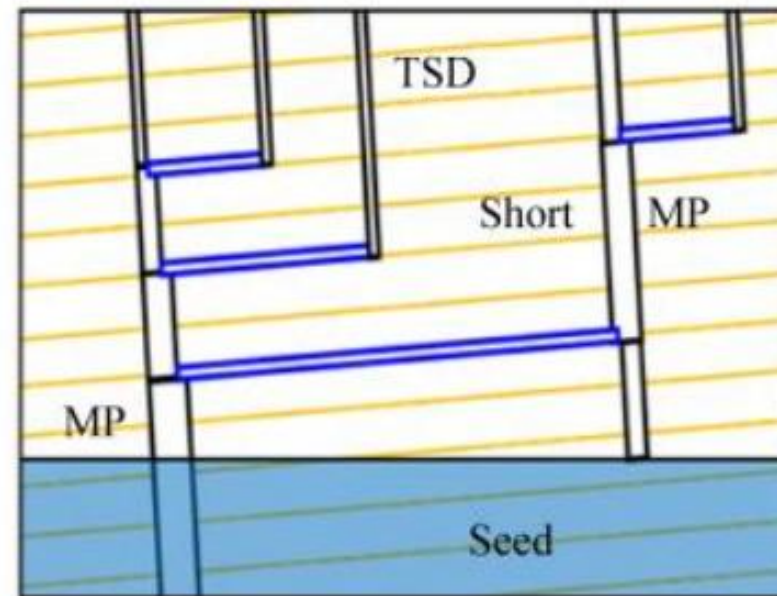
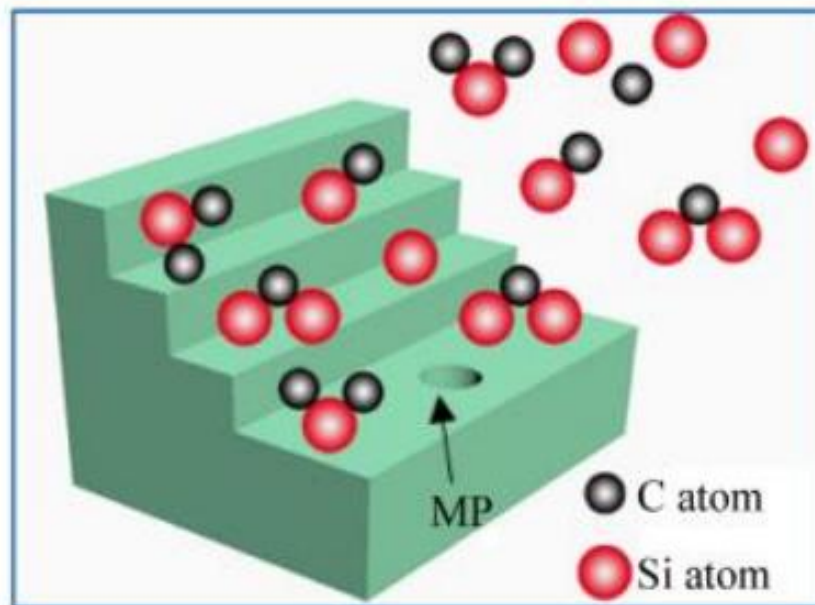
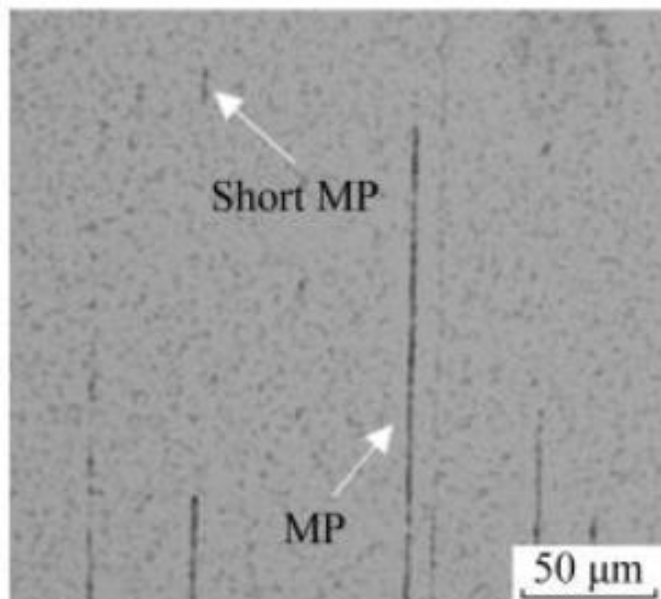
工艺技术	化学机械抛光(CMP)	电化学机械抛光(ECMP)	化学磁流变复合抛光(CMRF)	常压等离子体辅助磨料抛光(PAP)	光催化辅助化学机械抛光(PCMP)	超声辅助化学机械抛光(UCMP)
抛光工艺原理示意						
主要抛光条件	传统胶体二氧化硅磨料+氧化剂H ₂ O ₂	对金刚石磨料抛光后的晶片进行ECMP，磨料为CeO ₂	磁流变液(主要成分羟基铁粉)+H ₂ O ₂ +Fe ₃ O ₄ +金刚石磨料	等离子体(He : H ₂ O=98 : 2)+氧化铈磨料	紫外线+SiO ₂ 磨料+TiO ₂ +(NaPO ₃) ₆ +H ₂ O ₂ 氧化	超声+胶体二氧化硅磨料+多孔聚氨酯抛光垫+H ₂ O ₂
去除原理	化学氧化+磨料磨损	阳极的表面氧化+软磨料的机械抛光	化学腐蚀+磁流变抛光	等离子体氧化+磨料磨损	紫外光催化腐蚀+磨料磨损	超声振动+化学氧化+磨料磨损
加工效果	MR R 0.1 ~ 0.2μm/h	MR R 3.62μm/h	MR R 5.31μm/h	MR R 0.185μm/h	MR R 0.95μm/h	MR R 1.057μm/h

碳化硅缺陷密度去除工艺壁垒“高”

碳化硅单晶生长热场存在温度梯度，导致晶体生长过程中存在原生内应力及由此诱生的位错、层错等缺陷，其可靠性备受关注。在密闭高温腔体内进行原子有序排列并完成晶体生长、同时控制微管密度、位错密度、电阻率、翘曲度、表面粗糙度等参数指标是复杂的系统工程，涉及一系列高难度工艺调控，工艺壁垒高。

对于微管缺陷，2010年以前研究工作比较多。现阶段研发和商用的SiC衬底微管密度都得到了有效控制，根据《半绝缘碳化硅单晶衬底的研究进展》一文数据，现阶段SiC衬底中位错密度的典型值为 $10^3 \sim 10^4/cm^2$ 。当前减少SiC晶锭扩展缺陷的最显著技术是“重复a面生长法”，暨准备一个几乎为零位错的籽晶，随后在稳定条件下在这个高质量的籽晶上进行升华法生长。

SiC单晶中微管闭合及短微管形成的图片和示意图



对于降低成本，从市场上的动态来看，主要有扩大晶圆尺寸、改进碳化硅长晶工艺及改进切片工艺等三个方向。

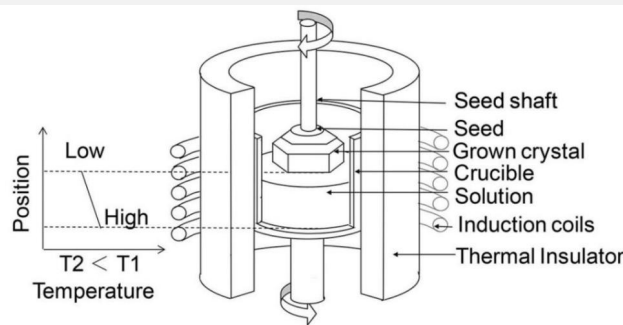
扩大晶圆尺寸

根据Wolfspeed最新资料，从6寸转向8寸晶圆，碳化硅芯片（32mm²）数量有望从448颗增加到845颗，增加了75%。8英寸SiC衬底的基面和螺纹螺钉密度分别为684cm⁻²和289cm⁻²。化学机械抛光后，表面质量得到改善，有66个缺陷。碳化硅外延可以实现略高于1%的厚度和掺杂均匀性。根据GTAT公司的预估，相对于6寸晶圆平台，预计8寸衬底的引入将使整体碳化硅器件成本降低20-35%。而且，6寸SiC晶体厚度为350微米，而最初投放市场的8寸SiC衬底厚度为500微米。尽管晶体成本会略微上涨，但是由于更厚的晶体可以切出更多的衬底片，预计也有望进一步降低器件生产成本。

改进碳化硅长晶技术提升长晶速度

2021年8月5日，住友官网提到了他们利用一种所谓的MPZ技术，生长了高质量、低成本的SiC衬底和SiC外延片，消除了表面缺陷和基面位错(BPD)，无缺陷区(DFA)达到99%，相比PVT法，SiC长晶速度提高了5倍左右，相比普通的LPE法速度提升了200倍。

住友MPZ（多参数和区域控制）溶液生长技术



ColdSplit技术分割碳化硅晶圆，从而使得单个晶圆的芯片数量翻倍

ColdSplit技术分割碳化硅晶圆，从而使得单个晶圆的芯片数量翻倍2018年11月12日，英飞凌科技股份有限公司收购了位于德累斯顿的初创公司Sillectra GmbH。该初创公司开发了一种创新技术（ColdSplit），可有效处理晶体材料，同时最大限度地减少材料损耗。与普通锯切割技术相比，Sillectra开发出了一种分解晶体材料的新技术，能够将材料损耗降到技术。该技术同样适用于碳SiC，并将在其现有的德累斯顿工厂、以及英飞凌（奥地利）菲拉赫工厂实现工业化生产。

2015年，Sillectra冷切割技术同时获得了“红鲑鱼”欧洲前100和世界前100技术研究大奖，同年，被欧洲半导体创新谷评为2015年最佳创业路演项目。冷切割技术是迄今为止第一也是唯一能在半导体级实现20到200微米厚度无损切割的技术。凭借着全能特性，冷切割技术能完美运用于硅片切割和研磨市场。因此，此项技术的潜能也只受限于硅片切割和研磨市场的大小。Sillectra称其知识产权组合现在由70个专利族组成，总共拥有200项专利。这些专利的组合涵盖了与该公司基于激光的晶圆薄化工艺相关的每项创新。据Sillectra称，其冷分裂技术在几分钟内就可以以极高的精度将晶圆薄到100微米及以下，并且几乎没有材料损失。

03

产业链上游分 析——衬底

SiC粉经过长晶、加工、切割、研磨、抛光、清洗环节最终形成衬底。其中SiC晶体的生长为核心工艺，核心难点在提升良率。

衬底定义：沿特定的结晶方向将晶体切割、研磨、抛光，得到具有特定晶面和适当电学、光学和机械特性，用于生长外延层的洁净单晶圆薄片。

衬底分类：从电化学性质差异来看，碳化硅衬底材料可以分为导电型衬底（电阻率区间 $15\sim 30\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$ ）和半绝缘型衬底（电阻率高于 $105\Omega\cdot\text{cm}$ ）。这两类衬底经外延生长后分别用于制造功率器件、射频器件等分立器件。其中，半绝缘型碳化硅衬底主要应用于制造氮化镓射频器件、光电器件等。通过在半绝缘型碳化硅衬底上生长氮化镓外延层，制得碳化硅基氮化镓外延片，可进一步制成HEMT等氮化镓射频器件。导电型碳化硅衬底主要应用于制造功率器件。与传统硅功率器件制作工艺不同，碳化硅功率器件不能直接制作在碳化硅衬底上，需在导电型衬底上生长碳化硅外延层得到碳化硅外延片，并在外延层上制造肖特基二极管、MOSFET、IGBT等功率器件。

半绝缘型和导电型碳化硅衬底的对比

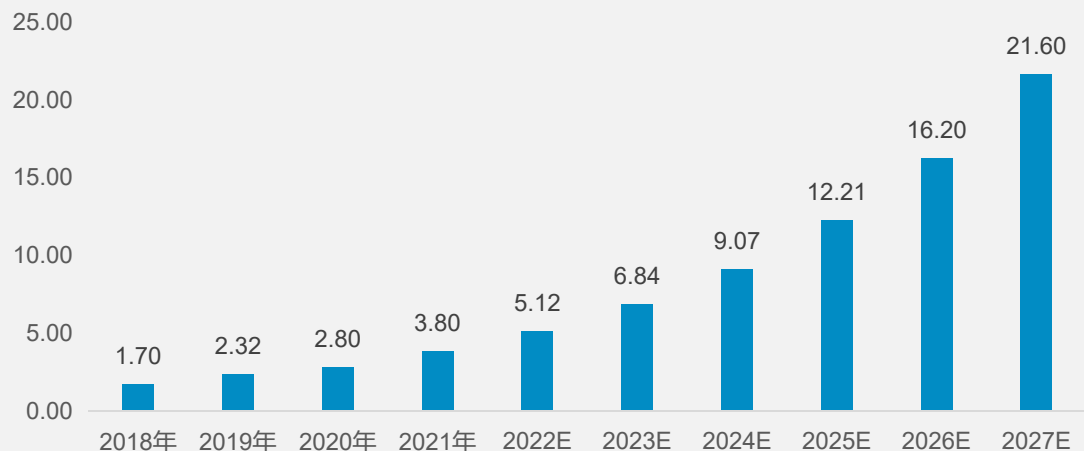
种类	电阻率	尺寸	外延	适用环境	器件	应用领域
半绝缘型碳化硅衬底	高电阻率：电阻率 $\geq 105\Omega\cdot\text{cm}$	以4英寸为主，逐渐向6英寸衬底发展	在半绝缘型碳化硅衬底上生长氮化镓外延层	适用于高频、高温工作环境	射频器件	制成HEMT等微波射频器件，应用在微波射频、光电和中低压功率半导体等领域，主要应用于5G通信、卫星、雷达等领域
导电型碳化硅衬底	低电阻率：电阻率区间为 $15\sim 30\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$	以6英寸为主，8英寸衬底开始发展	在导电型碳化硅衬底上生长碳化硅外延层	适用于高压、高温工作环境	功率器件	制成碳化硅二极管、碳化硅MOSFET等功率器件，主要应用于新能源汽车、光伏发电、轨道交通、智能电网、航空航天等领域

在尺寸、良率、产能等方面中国衬底企业明显落后于国外企业

2027年全球导电型碳化硅衬底市场规模将增至21.6亿美元

受下游民用领域的持续景气，如新能源汽车与光伏，导电型SiC衬底市场规模不断扩容。根据Yole数据，2018年，全球导电型SiC衬底市场规模为1.7亿美元，2020年增长至2.8亿美元，复合增长率为26%。预计2027年全球导电型碳化硅衬底市场规模将增长至21.6亿美元。根据中国宽禁带功率半导体及应用产业联盟数据，全球6英寸导电型衬底需求从2020年的超8万片增长至2025年的20万片，而4英寸产品将逐步退出市场。

全球导电型碳化硅衬底市场规模（亿美元）



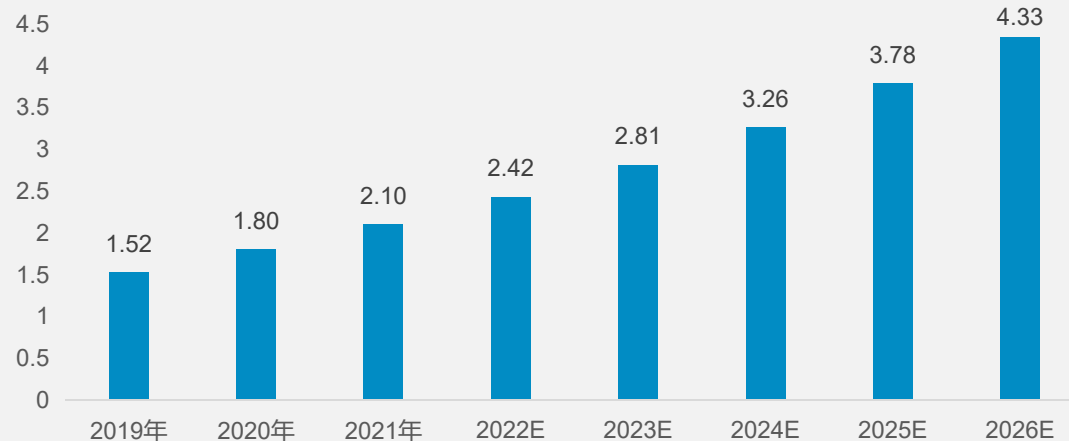
数据来源：Yole，亿渡数据

2026年全球半绝缘型SiC衬底市场规模将增至4.33亿美元

受益于5G基建加快布局和全球地缘政治动荡，半绝缘型SiC衬底市场增长空间巨大。根据Yole数据，2021年全球半绝缘型SiC衬底市场规模约为2.1亿美元，预计2026年将增至4.33亿美元。

此外，根据中国宽禁带功率半导体及应用产业联盟数据，2020年全球4英寸半绝缘型SiC晶片的市场需求约4万片，6英寸约5万片，两者需求占比不相上下；预计到2025年，4英寸市场需求将减少至2万片，6英寸成为发展趋势。

全球半绝缘型碳化硅衬底市场规模（亿美元）



数据来源：Yole，亿渡数据

国外主流大厂在尺寸、良率、产能等方面均领先于中国本土衬底企业，正陆续推出8英寸衬底。

SiC主流大厂正陆续推出8英寸衬底，国内以4、6英寸为主

中国企业在单晶衬底方面以4英寸为主，目前国内企业已经开发出了6英寸导电性碳化硅衬底和高纯半绝缘碳化硅衬底。其中天科合达和天岳先进为主的碳化硅晶片厂商发展速度较快，市占率提升明显，三安光电（北电新材）在碳化硅方面也在深度布局。

各企业在衬底尺寸方面的研发进度

衬底尺寸	CREE	贰陆	罗姆	天岳先进	天科合达
4寸	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寸	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寸	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

国内衬底产品在良率、产能、尺寸上与国外产品仍存在一定差距

国内碳化硅衬底产品良率、可靠性和稳定性均低于国外企业，衬底产能规模也远低于国外企业，导电型衬底和半绝缘型衬底尺寸与国外企业相比均相差一代，这导致国内碳化硅器件技术落后于国外企业。

国内外技术、产能差距对比

	国内	国外	差距
材料端良率	天岳先进和天科合达良率约50%	Wolfspeed良率达85%	良率、可靠性和稳定性有差距
产能	20-30万片/年（天科合达、山东天岳等）	50-60万片/年（Wolfspeed、II-VI、罗姆）	产能存在较大差距
导电型衬底	从4英寸向6英寸在逐步过渡，6英寸衬底开始规模化生产或者开始建设产线，2-3年内会有大量产线实现量产，8英寸导电型衬底少数企业研发成功。位错密度5000个/cm ²	以6英寸为主，Wolfspeed已有8英寸样品出货，未来5年将达到量产标准。位错密度1000个/cm ²	尺寸相差一代
半绝缘型衬底	国内主要半绝缘衬底集中在2-4英寸	半绝缘衬底和外延由4英寸向6英寸线转移，4英寸线3-5年逐渐淘汰	尺寸相差一代
器件	二极管SBD量产，三极管MOSFET研发成功	三极管量产，批量用在器件上	国内二极管晚一代，三极管未量产

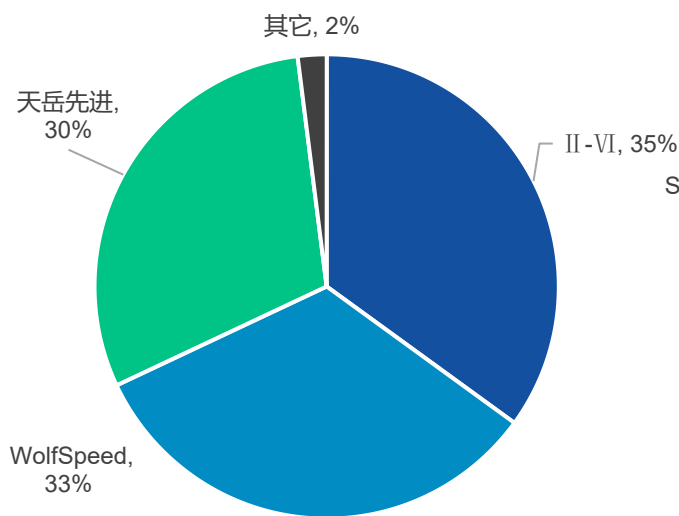
海外巨头高度垄断，国产厂商潜力巨大，衬底市场海外走向8英寸，国内呈现后发优势。

不同类型衬底产品在生产技术存在差距。半绝缘型SiC目前主流的衬底产品规格为4-6英寸;导电型碳化硅衬底目前主流的衬底产品规格为6英寸。

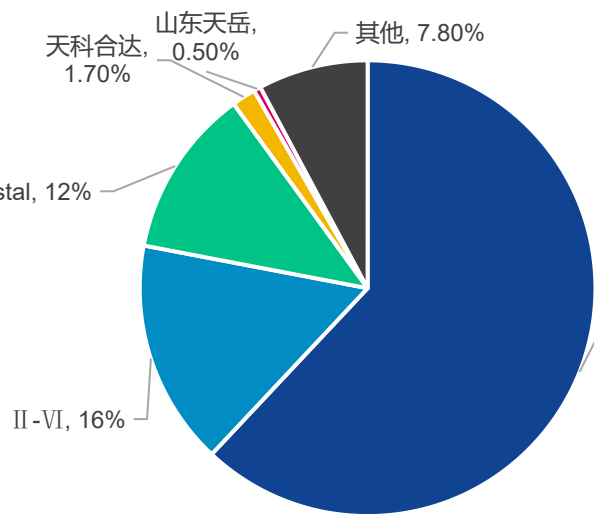
市场集中度高，两类衬底CR3均高达90%以上。半绝缘型碳化硅衬底市场集中度CR3为98%，Wolfspeed、II-VI、山东天岳三足鼎立；导电型碳化硅衬底市场集中度CR3为90%，其中Wolfspeed占比超50%。

国外厂商在两类衬底市场中均占有主要份额，国内厂商在全球半绝缘衬底市场具有一定优势，但在导电型衬底全球市场占比较小。半绝缘型衬底市场中山东天岳占比30%；导电型天科合达和山东天岳占比1.7%和0.5%。

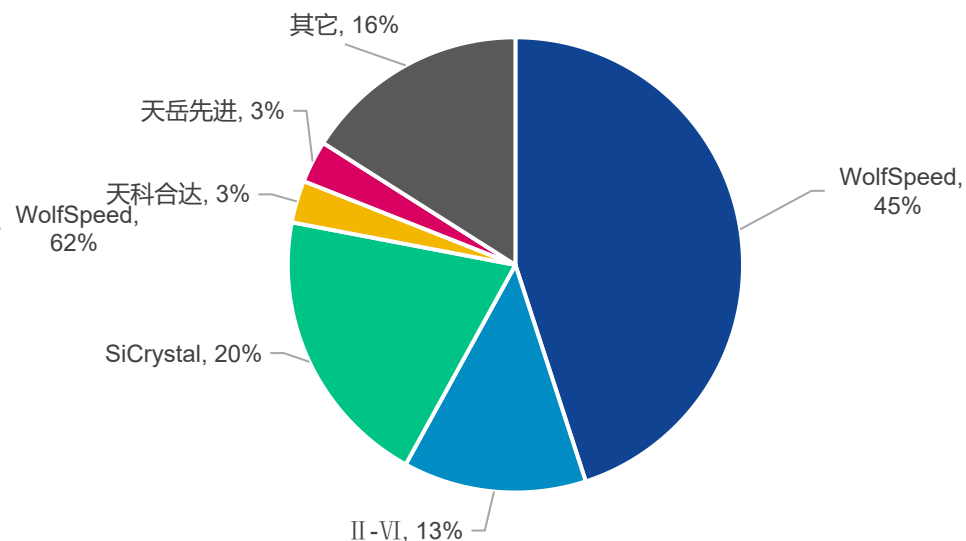
2020年全球半绝缘型碳化硅衬底份额情况



2020年全球导电型碳化硅衬底份额情况



2020年全球碳化硅衬底市场份额情况



数据来源: Yole, Gartner, CASA, 亿渡数据整理

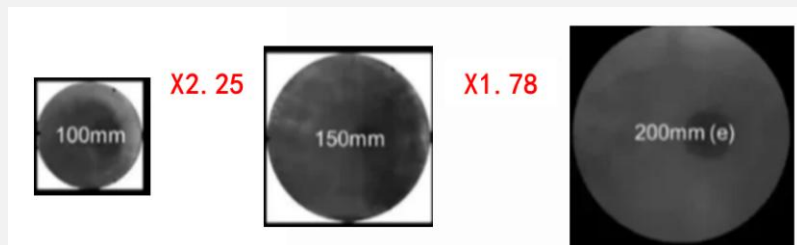
未来在技术进步和规模经济推动下，产线将向大尺寸转移，并且衬底价格会进一步下探。

产线向大尺寸转移

全球SiC市场6英寸量产线正走向成熟，领先公司已进军8英寸市场。目前包括罗姆、II-VI、Wolfspeed已具备成熟6英寸SiC衬底产线，正在向8英寸市场进行开拓，例如，Wolfspeed的第一条8英寸SiC产线已在2022年Q2开始生产，标志着全球第一条8英寸SiC产线的投产。

国内正在开发项目以6英寸为主。目前虽然国内大部分公司还是以4寸产线为主，但是产业逐步向6英寸扩展，随着6英寸配套设备技术成熟后，国产SiC衬底技术也在逐步提升大尺寸产线的规模经济将会体现，目前国内6英寸的量产时间差距缩小至7年。更大的晶圆尺寸可以带来单片芯片数量的提升、提高产出率，以及降低边缘芯片的比例，研发和良率损失部分成本也将保持在7%左右，从而提升晶圆利用率。

从4英寸、6英寸到8英寸的芯片数量变化



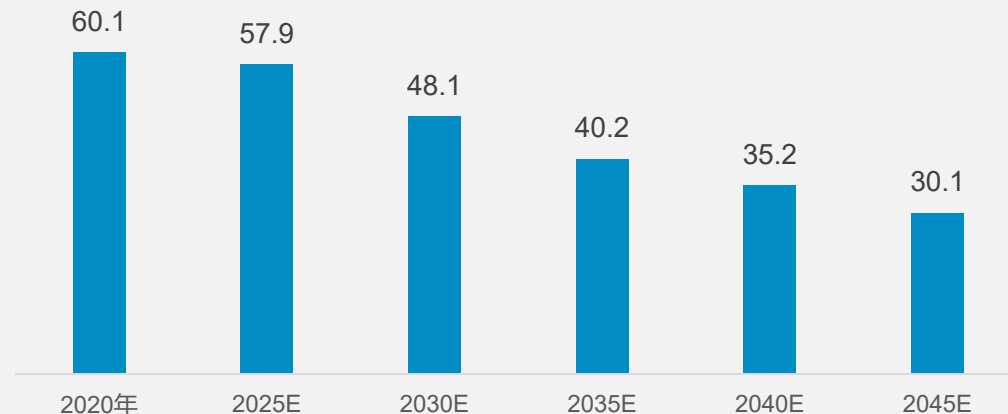
衬底尺寸	4英寸	6英寸	8英寸
Die颗数	199	448	845
边缘Die占比 (%)	25%	14%	7%

SiC衬底价格将下降

衬底直径及大直径衬底占比将不断增加，助力全产业链降本。预计未来30年，大尺寸衬底的比例将不断增加，在大部分衬底提供商具备新型大尺寸量产能力，一轮尺寸更新周期迭代完成后，衬底单位面积价格会迎来相对快速的降低。

SiC衬底价格会随着尺寸增加有所下降，同时进一步带来销量的稳步上升。目前衬底发展最重要的方向趋势是扩大直径，这会降低衬底生产成本，进而降低售价，价格的下降也会加速SiC衬底在各领域内的渗透。根据CASA数据预测，SiC衬底和外延随着产业技术逐步成熟（良率提升）和产能扩张（供给提升），预计衬底价格将以每年8%的速度下降。

SiC衬底价格发展趋势 (RMB/cm²)



数据来源：CASA，《第三代半导体电力电子技术路线图（2018）》，亿渡数据整理

目前已有25家企业已在衬底环节布局，新项目投资额约为300亿元。

公司	已有产能	项目投资额	项目所在地	在建产能
同光晶体	2020年1-8月供货1.1万片	10亿	河北	已建成年产10万片的4-6英寸衬底厂商，预计2022年产能达到10万片
天科合达	江苏天科合达项目2019年完工，可实现年产4-8英寸SiC衬底6万片	IPO募资9.5亿(已终止上市)		拟IPO募资-年产12万片6英寸SiC晶片，其中6英寸导电型SiC晶片约为8.2万片，6英寸半绝缘型SiC晶片约为3.8万片；SiC衬底生产线，项目计划于2022年年初完工投产，建成后可年产SiC衬底12万片；另深圳投资22亿元SiC衬底及外延片项目，天科合达占股25%
山东天岳688234	6英寸半绝缘型和6英寸导电性衬底已形成小批量销售，SiC衬底2020年产量4.75万片	IPO-20亿	上海临港	项目2022年试生产，预计2026年100%达产，主要生产6英寸导电型SiC半导体材料
东尼电子603595		定增-4.69亿	吴兴	定增-拟建SiC半导体材料项目，12万片/年SiC材料
天通股份600330	子公司凯成半导体从事SiC晶体材料的生产研发，目前业务处于前期中试产阶段			
露笑科技002617	一期2021年9月份可实现6英寸导电型SiC衬底片的小批量试生产	100亿	合肥市	第一期预计投资21亿，达产后年产24万片导电型SiC衬底、5万片外延片
中电科2所	年产10万片4-6英寸n型SiC单晶片、5万片4-6英寸高纯半绝缘型SiC单晶片		山西	
超芯星	公司已实现6英寸SiC单晶衬底生产		南京	
烁科晶体	年产已达10万片，销售3万片以上，预计2021年销售4万片。4-6英寸SiC衬底片完全掌握“切磨抛”工艺		山西	8英寸SiC衬底片研发成功，即将量产，预计在建项目投产后实现年产能15万片，全球前三
中科钢研	4英寸导电型及高纯半绝缘型SiC晶体及衬底	南通15.5亿，滁州7亿，青岛10亿		南通：可年产石墨烯碳纳米电热膜1200万延米、4英寸N型SiC晶体衬底片5万片、6英寸N型SiC晶体衬底片5万片、4英寸高纯度半绝缘型SiC晶体衬底片1万片、4/6英寸SiC电力电子芯片6万片。 青岛：5万片4英寸SiC晶体衬底片，5000片4英寸高纯度半绝缘型SiC晶体衬底片。滁州：SiC晶体和衬底片项目
国宏中能	4-6英寸导电型和半绝缘衬底片，2021年6月产线建成，全部投产后，SiC衬底年产能超10万片/年	7亿	山东	年产11万片SiC衬底片项目2021年1月启动试生产。

目前已有25家企业已在衬底环节布局，新项目投资额约为300亿元。

公司	已有产能	项目投资额	项目所在地	在建产能
博兰特		10亿	金华	建设年产15万片第三代半导体SiC衬底及年产200万片用于Mini/Micro-LED显示技术的大尺寸蓝宝石衬底研发及产业化项目
华大半导体		10.5亿	浙江宁波	计划年产8万片4-6寸SiC衬底及外延片、SiC基氮化镓外延片
科友半导体	已完成6英寸第三代半导体衬底制备，正在进行8英寸研制	10亿	哈尔滨	项目达产后可形成年产高导晶片近10万片，高纯半绝缘晶体1000公斤的产能；PTV-SiC晶体生长成套设备年产销200台套
天达晶阳		7.3亿	河北清河	一期年产4-6英寸SiC晶片2.8万片(2021年6月投产运营)，二期年产6-8英寸SiC晶片9.2万片
微芯长江	年产SiC晶圆片15万片。达产后预计年产4英寸SiC晶圆片3万片、6英寸12万片。2021年Q3完成厂房建设，年底试销	13.5亿	安徽铜陵	
五丰半导体			吉林长春	将建一条月产5000片的4英寸砷化镓、氮化镓、磷化铟晶圆生产线
溢泰半导体	一期项目建成	21亿		年产6万片6英寸SiC晶片等6个子项目
中电化合物	目前是国内少数几家掌握6英寸导电型SiC长晶技术的企业；SiC年产能已达2万片，未来三年将达到8万片			2022年，中电化合物的目标是在现有的生产规模基础上，产能提高三倍，产值提升3倍，做8寸SiC先锋。
优晶	6英寸SiC产线		昆山	21年底SiC生产线将扩容至100台，年产10万片6英寸产品
晶格领域		7.5亿	北京	建设4-6英寸液相法SiC晶体中试生产线
青岛瀚海		9亿		建设300台SiC长晶炉，后期建设SiC外延片项目；预计在2022年9月达产
荃芯		4.1亿	山西铜川	SiC长晶项目
中国电科	300台单晶生产设备，具备年产7.5万片SiC单晶衬底的产能	50亿	山西太原	整个项目建成后，将具备年产10万片4-6英寸N型SiC单晶晶片、5万片5-6英寸高纯半绝缘型SiC单晶晶片的生产能力

04

产业链上游分 析—外延

碳化硅衬底无法直接加工，需要生长一层薄膜后再进行加工，导电型衬底生长出同质外延层，半绝缘型衬底生长出异质外延层。

1、定义：外延工艺是指在碳化硅衬底的表面上生长一层质量更高的单晶材料，在半绝缘型碳化硅衬底上生长氮化镓外延层，称为异质外延；在导电型碳化硅衬底表面生长一层碳化硅外延层，则称为同质外延。

2、重要性：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非常大，但是外延的质量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。

3、关键参数：碳化硅外延材料的最关键参数是厚度和掺杂浓度。外延的参数其实主要取决于器件的设计，根据器件的电压等级不同，外延参数也不同。

4、缺陷的影响：碳化硅晶体生长的过程中会不可避免地产生缺陷、引入杂质，导致衬底材料的质量和性能都不够好。而外延层的生长可以消除衬底中的某些缺陷，使晶格排列整齐。控制碳化硅外延缺陷是制备高性能器件的关键，缺陷会对碳化硅功率器件的性能和可靠性有严重影响。TSD和TED基本不影响最终的碳化硅器件的性能，而BPD会引发器件性能的退化。堆垛层错、胡萝卜缺陷、三角形缺陷、掉落物等缺陷，一旦出现在器件上，器件就会测试失败，导致良率降低。

SiC外延缺陷对器件的影响

电压	击穿电压	掺杂浓度 (cm ³)	厚度(μm)
600V	750V	2.5E16	6
1200V	1500V	1E16	10
1700V	2125V	7E15	15
3300V	4125V	3E15	30
6500V	8125V	1.2E15	60
10000V	12500V	7E14	95
15000V	18750V	4E14	145

SiC外延缺陷对器件的影响

缺陷/器件	SBD	MOSFET, JFET	pin, BJT, 晶闸管, IGBT
TSD(无蚀坑)	无	无	无，但会引发局部载流子寿命降低
TED(无蚀坑)	无	无	无，但会引发局部载流子寿命降低
BPD(包括界面位错、半环换阵列)	无，但会引发体二极管退化	无，但会引发体二极管退化	双极退化(导通电阻及漏电流增加)
内生堆垛层错	VB降低(20%~50%)	VB降低(20%~50%)	VB降低(20%~50%)
胡萝卜缺陷、三角形缺陷	VB降低(30%~70%)	VB降低(30%~70%)	VB降低(30%~70%)
掉落物缺陷	VB降低(50%~90%)	VB降低(50%~90%)	VB降低(50%~90%)

1、外延是一种常用的单晶薄膜制备技术，和Si器件工艺有所区别，几乎所有的SiC电力电子器件工艺均在4H-SiC同质外延层上实现，衬底只是起到支撑和导电的作用。现阶段SiC薄膜外延的方法主要包括：化学气相沉积（CVD）、分子束外延（MBE）、液相外延法（LPE）、脉冲激光沉积和升华法（PLD）等。

2、化学气相沉积（CVD）是最为普及的4H-SiC外延方法。其优势在于生长过程中气体源流量、反应室温度以及压力均可以有效控制，大幅降低了外延过程中的随机因素，工艺稳定性好；外延过程中通过调整各种气体的流量可以精准控制外延层的厚度、掺杂浓度以及掺杂类型，工艺可控性强。广东天域采用CVD法生产碳化硅外延片，在中国拥有最多的碳化硅外延炉-CVD。

3、对比液相外延法/LPE，分子束外延生长/MBE法和化学气相沉积/CVD，MBE法制备的SiC外延层的质量最好，缺陷最少，但是生长速率较慢。在工业化生产方面考虑，由于MBE法和LPE法生长的速率比较小，无法满足工业化生长的需求，而CVD法的生长速率较高，满足条件。同时，CVD法能够直接制备出复杂的半导体器件且CVD系统比较简单易操作，成本较低。

CVD法制作SiC外延片过程



常用设备	热壁式水平外延炉
常用反应前驱气体	硅烷、甲烷、乙烯等
掺杂源	氮气N ₂ 和三甲基铝（TMA）
典型生长温度范围	1500~1650°C
生长速率	5~30μm/h

SiC外延外延层三种生长方式优缺点对比

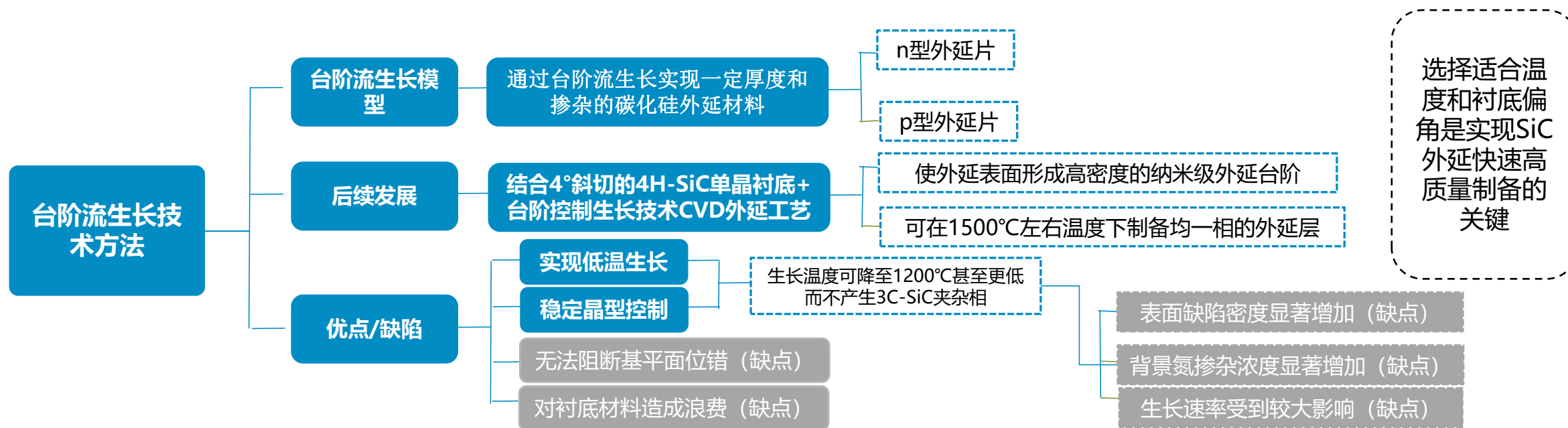
	优点	缺点
液相外延法/LPE	设备需求简单、成本较低	很难控制好外延层的表面形貌、设备不能同时外延多片晶圆限制批量生产
分子束外延生长/MBE	可在低生长温度下生长不同的晶型外延层	设备真空要求度高、成本高昂、生长外延层速率慢
化学气相沉积/CVD	生长厚外延层时能够对生长速率精确控制	外延层仍存在各种缺陷、外延生长工艺仍需不断优化

1、早期碳化硅是在无偏角衬底上进行外延生长，但受多型体混合影响，实际外延效果并不理想，难以进行器件制备。后来出现的台阶生长技术方法将这个问题有效解决，成为主流的碳化硅外延技术方案；随后引入TCS，使碳化硅外延生长速率得到大幅提升。

2、1980年提出的台阶流生长模型，这对外延的发展、对外延的质量都起到了非常重要的作用。台阶流生长方法能够在不同偏角下斜切碳化硅衬底，这种方法的优点在于不仅能够实现低温生长，而且能够稳定晶型控制，但缺陷在于无法阻断基平面位错和对衬底材料造成浪费。

3、后来引入TCS，突破台阶控制外延法的限制，可以同时实现生长速率大幅提升和质量的有效控制，非常有利于SiC厚膜外延生长。TCS法可以实现生长速率达到传统的生长速率10倍以上，不光是生产速率得到提升，同时也使质量得到大大的控制，尤其是对于硅滴的控制，所以说对于厚膜外延生长来说是非常有利的。

台阶流生长SiC外延技术方法优缺点



1、电压越高对外延厚度和掺杂浓度均匀性要求越高，高压生产难度较大。一般低压在600伏，需要的外延的厚度可能就是6 μ m左右，中压1200-1700伏，需要的外延厚度就是10-15 μ m。高压10000V以上，需要100 μ m以上。因此随着电压的增加，外延厚度随之增加，高质量外延片的制备也就非常难，尤其在高压领域，重要的就是缺陷的控制。

2、在中、低压应用领域，碳化硅外延的技术相对比较成熟。外延片核心参数厚度、掺杂浓度可以做到相对较优的水平，基本上可以满足中低压的SBD、JBS、MOS等器件的需求。

3、在高压领域外延的技术发展相对比较滞后。目前外延片需要攻克的难关还很多，主要参数指标包括厚度、掺杂浓度均匀性、三角缺陷等，缺陷多主要影响大电流的器件制备，大电流需要大的芯片面积。

4、从终端应用层上来看在碳化硅材料在高铁、汽车电子、智能电网、光伏逆变、工业机电、数据中心、白色家电、消费电子、5G通信、次世代显示等领域有着广泛的应用，市场潜力巨大。

外延片在不同电压环境下的应用

电压环境	应用场景
低压领域	主要是针对消费电子：PFC、电源。
中压领域	主要是汽车电子和3300V以上的轨道交通和电网系统。
中低压领域	碳化硅和氮化镓为竞争关系。在中低压碳化硅已经有非常成熟的二极管和MOSFET产品在市场当中推广应用。
高压领域	碳化硅有独一无二的优势。产品仍处于研发阶段。

1、外延设备基本被海外企业垄断，各厂商设备存在差异，国内企业具备替代空间。外延环节技术壁垒相对较高，对第三方厂商成熟设备具有较强依赖性。目前外延设备主要由意大利LPE公司、德国Aixtron公司、日本Nuflare公司垄断，占据全球87%左右市场空间。国内相关设备厂商包括中电55所、普兴电子/中电13所、三安集成和希科半导体(江苏苏州)，国产外延炉厂家多以单腔、水平气流、手动设备为主，月产能约为300~500片，还需验证设备工艺以及外延工艺。

2、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。日本曾经也存在比较优越的碳化硅外延的供应商，比如说昭和电工，但随着前几年收购了日本的新日铁，开始进行SiC单晶制备。目前国内相关外延厂商东莞天域和厦门瀚天天成，两者均已实现产业化，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，台湾地区有嘉晶电子。

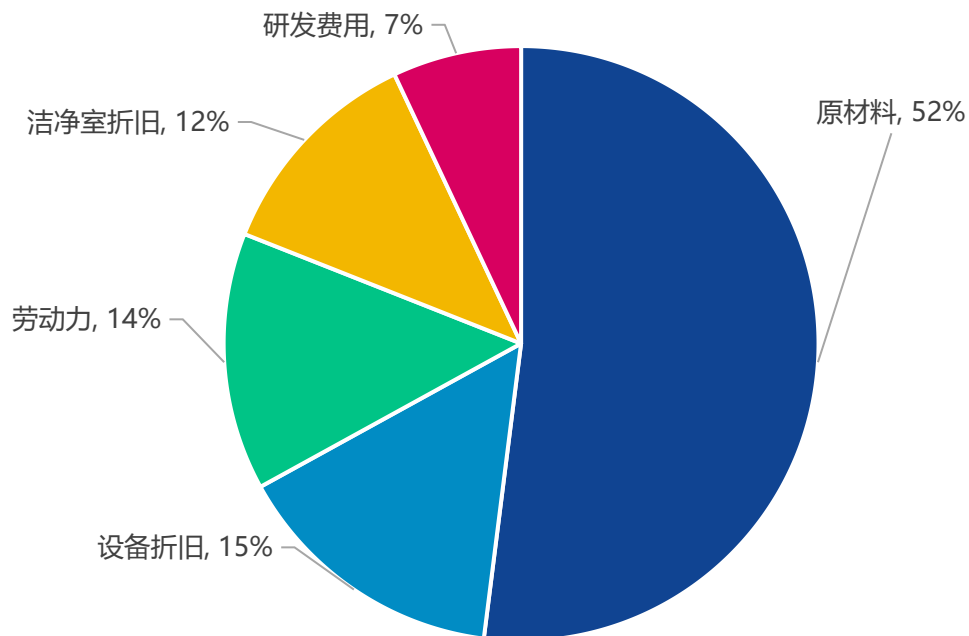
全球相关外延设备对比

	意大利LPE公司	日本Nuflare公司	德国Aixtron公司
产能	300~500片/月	1500~1800片/月	600~1200片/月
型号	PE106	PEIREVOS6/S8	PE108
外延尺寸	4" /6"	4" /6" /8"	4" /8"
模式	单腔·单片·手动	双腔·单片·全自动	双腔·8片·手动/全自动
生长速率	>50m/h	>50m/h	>25m/h
维护周期	500m	>3000m	500m
生长方式	水平气流	垂直气流	水平气流
特点	属于单片机，生长速率非常大	能高速旋转，可以达到一分钟1000转，这对外延的均匀性是非常有利的。同时它的气流方向不同于其他设备，是垂直向下的，所以它可以避免一些颗粒物的产生，减少滴落到片子上的概率。	产能比较大

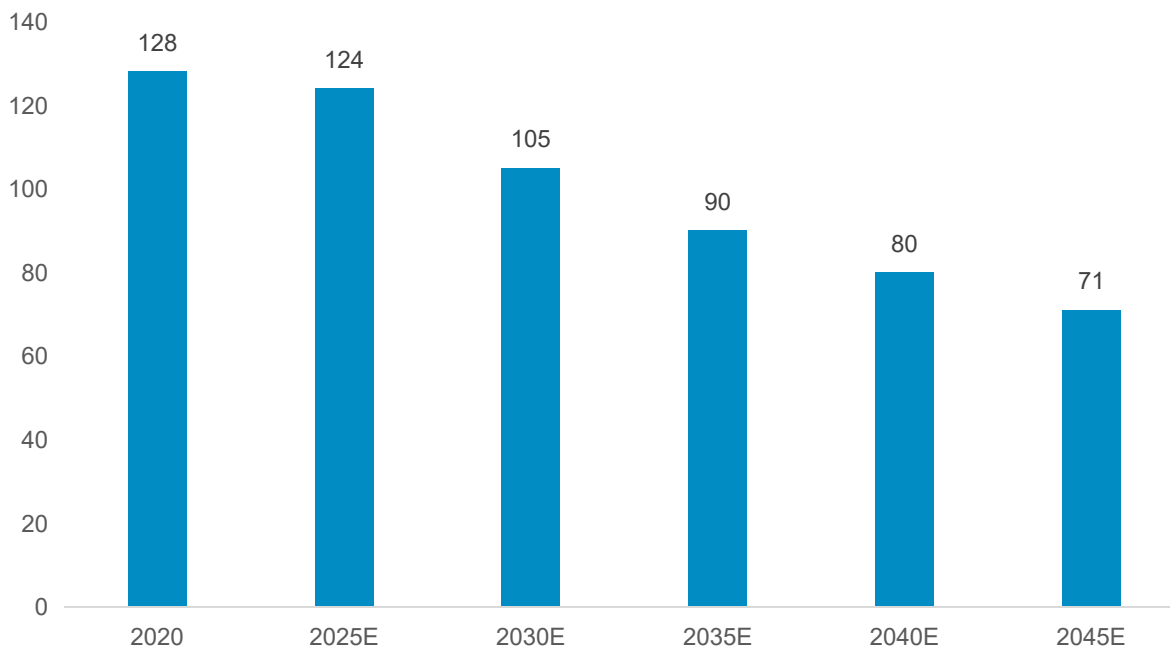
1、外延片的成本结构，原材料成本占比是52%，设备折旧成本是15%，剩下的劳动力、洁净室和研发成本的占比分别是14%、12%和7%。

2、伴随衬底价格降低，未来外延价格有下降趋势。基于SiC衬底，外延环节普遍采用化学气相沉积技术(CVD)获得高质量外延层，随后在外延层上进行功率器件的制造。伴随SiC衬底价格的降低，预计未来外延价格也将呈现下降趋势，据CASA，2020年SiC外延片价格约为128元/平方厘米，预计到2025年，价格将会出现明显下降，至2045年SiC外延片价格将降至71元/平方厘米。

碳化硅外延片成本结构



碳化硅外延片价格发展趋势(RMB/cm²)



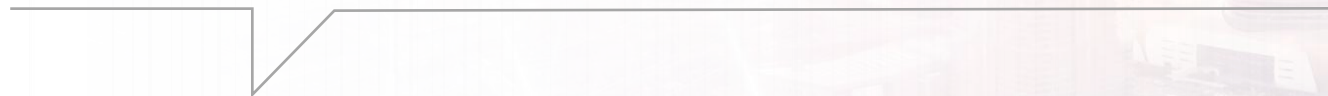
数据来源：CASA，《第三代半导体产业发展报告(2020)》，亿渡数据整理

Wolfspeed垄断碳化硅外延片市场，2020年全球市场占比52%。目前已有15家企业已在外延片环节布局，新项目投资额约为200多亿元。

公司	已有产能	项目投资额	项目所在地	在建产能
博兰特		10亿	金华	建设年产15万片第三代半导体SiC衬底及年产200万片用于Mini/Micro-LED显示技术的大尺寸蓝宝石衬底研发及产业化项目
华大半导体		10.5亿	浙江宁波	计划年产8万片4-6寸SiC衬底及外延片、SiC基氮化镓外延片
科友半导体	已完成6英寸第三代半导体衬底制备，正在进行8英寸研制	10亿	哈尔滨	项目达产后可形成年产高导晶片近10万片，高纯半绝缘晶体1000公斤的产能；PTV-SiC晶体生长成套设备年产销200台套
天达晶阳		7.3亿	河北清河	一期年产4-6英寸SiC晶片2.8万片(2021年6月投产运营)，二期年产6-8英寸SiC晶片9.2万片
微芯长江	年产SiC晶圆片15万片。达产后预计年产4英寸SiC晶圆片3万片、6英寸12万片。2021年Q3完成厂房建设，年底试销	13.5亿	安徽铜陵	
五丰半导体			吉林长春	将建一条月产5000片的4英寸砷化镓、氮化镓、磷化铟晶圆生产线
溢泰半导体	一期项目建成	21亿		年产6万片6英寸SiC晶片等6个子项目
中电化合物	目前是国内少数几家掌握6英寸导电型SiC长晶技术的企业；SiC年产能已达2万片，未来三年将达到8万片			2022年，中电化合物的目标是在现有的生产规模基础上，产能提高三倍，产值提升3倍，做8寸SiC先锋。
优晶	6英寸SiC产线		昆山	21年底SiC生产线将扩容至100台，年产10万片6英寸产品
晶格领域		7.5亿	北京	建设4-6英寸液相法SiC晶体中试生产线
青岛瀚海		9亿		建设300台SiC长晶炉，后期建设SiC外延片项目；预计在2022年9月达产
荃芯		4.1亿	山西铜川	SiC长晶项目
中国电科	300台单晶生产设备，具备年产7.5万片SiC单晶衬底的产能	50亿	山西太原	整个项目建成后，将具备年产10万片4-6英寸N型SiC单晶晶片、5万片5-6英寸高纯半绝缘型SiC单晶晶片的生产能力

05

产业链中游分析



SiC二极管商业化逐步完善，SiC MOS仍存众多难点。目前国内多家厂商已设计出SiC SBD产品，中高压SiC SBD产品稳定性较好，在车载OBC中，多采用SiC SBD+SI IGBT实现稳定的电流密度。目前国内在SiC SBD产品上在专利设计方面没有障碍，派恩杰已经开始六代SiC SBD的研发，与国外差距较小。

SiC MOS仍与海外厂商存在差距，相关制造平台仍在搭建中。目前ST、英飞凌、Rohm等600-1700V SiC MOS已实现量产并和多制造业达成签单出货，而国内目前SiC MOS设计已基本完成，多家设计厂商正与晶圆厂流片阶段，后期客户验证仍需部分时间，因此距离大规模商业化仍有较长时间。

半绝缘型和导电型碳化硅衬底的对比

企业	地址	类型	企业	地址	类型	企业	地址	类型
比亚迪	宁波	IDM	华润微	重庆	IDM	华大半导体	深圳	设计
中车时代	湖南株洲	IDM	扬杰科技	扬州	IDM	深圳爱仕特	深圳	设计
泰科天润	北京、浏阳	IDM	斯达半导体	嘉兴	IDM	国星光电	深圳	设计
三安集成	福建、长沙	IDM	士兰微	厦门	IDM	清纯半导体	上海	设计
中电五十五所	南京	IDM	长飞先进半导体	芜湖	代工	瑞能半导体	上海	设计
基本半导体	深圳	IDM	瞻芯	浙江义乌	代工	萨科微	深圳	设计
世纪金光	金华	IDM	积塔半导体	上海	代工	瑶芯微	上海	设计
中科汉韵	江苏徐州	IDM	中芯绍兴	绍兴	代工	东微半导体	苏州	设计
华瑞微	安徽滁州	IDM	派恩杰	杭州	设计	华微电子	吉林	设计
绿能芯创	山东淄博	IDM	上海瀚薪	上海	设计	芯塔电子	芜湖	设计

目前平面型结构为主流选择，未来沟槽型在高压领域应用广泛。平面结构SiC MOS厂商众多，平面结构相比沟槽不容易产生局部击穿问题，影响工作稳定性，在1200V以下市场具备广泛应用价值，并且平面结构在制造端相对简单，满足可制造性和成本可控两方面。沟槽型器件寄生电感极低，开关速度快，损耗低，器件性能相对高效。

目前选择平面MOSFET结构厂商为：Wolfspeed、意法半导体、Microsemi，国内厂商包括斯达半导、新洁能、APS、瞻芯、瀚芯等Fabless厂商。

目前市场中，能够量产沟槽型SiC MOSFET的企业为罗姆的双沟槽节、英飞凌的半包沟槽和日本住友的接地双掩埋结构。目前国内市场，时代电气子公司时代半导体宣布投资4.62亿元扩产6英寸沟槽型SiC芯片。

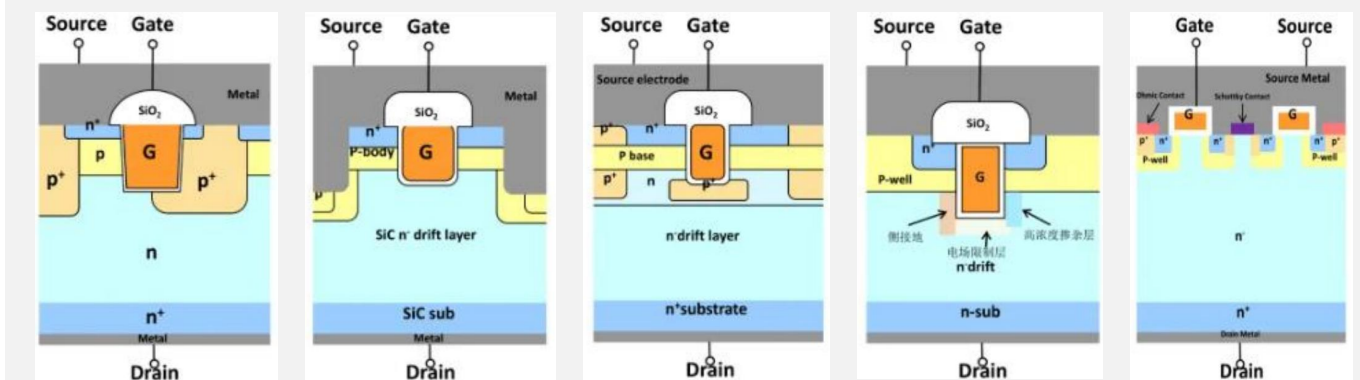
对于沟槽型碳化硅器件来说，未来的技术演进方向是减小沟槽底部氧化层工作电场强度，避免专利侵权（英飞凌、意法、罗姆均有相关专利）和可控的制造成本。

平面结构和沟槽结构的对比

平面型结构	沟槽型结构
<p>工艺简单</p> <p>单元的一致性较好</p> <p>雪崩能量比较高</p> <p>JFET效应增加通态电阻</p> <p>寄生电容较大</p>	<p>工艺相对复杂</p> <p>单元的一致性较差</p> <p>雪崩能量比较差</p> <p>导通电阻明显降低</p> <p>寄生电容更小，开关速度快，开关损耗非常低</p>

市场上目前沟槽型SiCMOSFET结构

英飞凌-不对称沟槽结构 罗姆-双沟槽结构 富士Electric-沟槽结构 三菱-沟槽结构 翰芯-沟槽结构



SiC器件制造的工艺环节与硅基器件基本类似，包括涂胶、显影、光刻、减薄、退火、掺杂、刻蚀、氧化、清洗等前道工艺。但由于碳化硅材料特性的不同，厂商在晶圆制造过程中需要特定的设备以及开发特定的工艺，无法与过去的硅制程设备、工艺完全通用，因此当前SiC晶圆制造产能紧缺。SiC晶圆制造特定工艺与Si工艺的一些差异点主要在于：

(1) 光刻对准。由于SiC晶圆是透明的，因此CD-SEM和计量测量变得复杂，光刻对准、设备传送取片等难度较大。

(2) 蚀刻工艺。由于SiC在化学溶剂中呈现惰性，因此同光使用干法蚀刻。则掩膜材料、掩膜蚀刻的选择、混合气体、侧壁斜率的控制、蚀刻速率、侧壁粗糙度等都需要重新开发。

(3) 高温大剂量高能离子注入工艺。由于SiC器件的特性，SiC扩散温度远高于硅，传统的热扩散在碳化硅中并不实用，掺杂时只能采用高温离子注入的方式。

(4) 超高温退火工艺。高温离子注入会破坏材料本身的晶格结构，因此需要在惰性气体中高温退火来恢复结构，通常退火温度高达1600-1700度，使SiC表面再结晶并电激活掺杂剂。

(5) 高质量栅极氧化层生长。较差的SiC/氧化硅界面质量会降低MOSFET反转层的迁移率，导致阈值电压不稳定，因此需要开发钝化技术，以提高SiC/氧化硅界面质量。

SiC晶圆制造特定工艺带来特定设备的需求，主要包括高温离子注入机、高温退火炉、SiC减薄设备、背面金属沉积设备、背面激光退火设备、SiC衬底和外延片表面缺陷检测和计量。其中，是否具备高温离子注入机是衡量碳化硅产线的重要标准之一。

SiC晶圆制造在原来Si基础上需求特定设备（部分）

设备	特性
高温退火炉	最高温度：1950°C
高温离子注入机	最高温度：700°C
SiC减薄设备	晶圆减薄
背面金属沉积设备	Ti/Cr/W/Mo/TiW/Ni
背面激光退火设备	背面欧姆接触形成
SiC衬底和外延片表面缺陷检测和计量	与透明晶圆兼容的工作波长（385nm带隙）

高温离子注入机



高温退火炉



东横化学（日本）

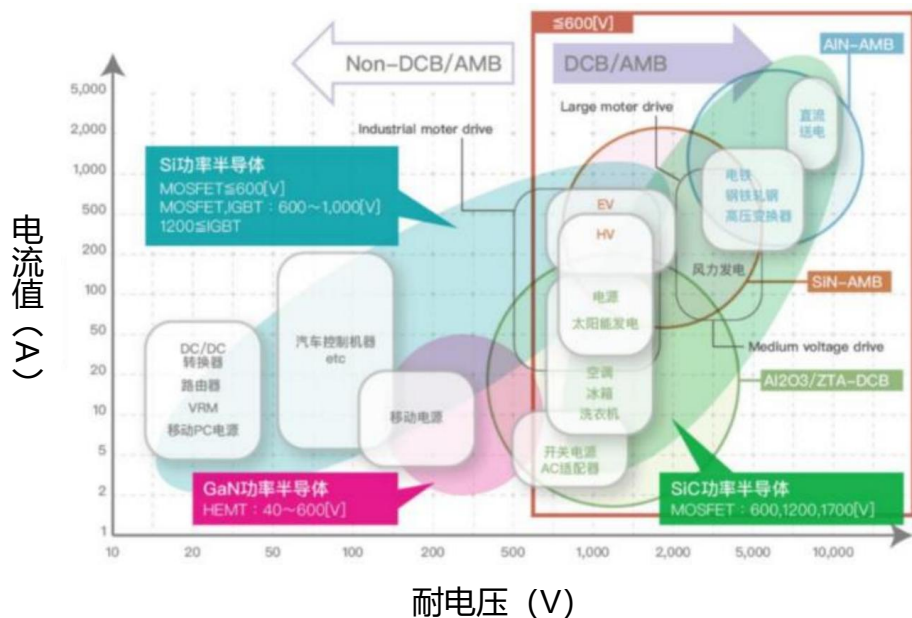
拉普拉斯（中国）

陶瓷基板按照工艺主要分为DBC、AMB、DPC、HTCC、LTCC等基板，国内常用陶瓷基板材料主要为氧化铝、氮化铝和氮化硅，其中氧化铝陶瓷基板最常用，主要采用DBC工艺；氮化铝陶瓷基板导热率较高，主要采用DBC和AMB工艺；氮化硅可靠性较为优秀，主要采用AMB工艺。**AMB工艺生产的陶瓷衬板主要运用在功率半导体模块上作为硅基、碳化硅功率芯片的基底。**

DBC衬板应用场景受限，AMB衬板性能优势明显。由于AMB氮化硅基板有较高热导率 ($>90W/mK$)，可将非常厚的铜金属（厚度可达0.8mm）焊接到相对薄的氮化硅陶瓷上，载流能力较高；且氮化硅陶瓷基板的热膨胀系数与第3代半导体衬底SiC晶体接近，使其能够与SiC晶体材料匹配更稳定，**因此成为SiC半导体导热基板材料首选**，特别在800V以上高端新能源汽车中应用中不可或缺。另外，**目前以硅基材料为主的IGBT模块在具有高导热性、高可靠性、高功率等要求的轨道交通、工业级、车规级领域正逐渐采用AMB陶瓷衬板替代原有的DBC陶瓷衬板。**

中国AMB陶瓷基板主要依赖进口，国内厂商加速扩产，国产替代进行时。AMB基板比较领先的企业包括美国罗杰斯、德国贺利仕科技集团、日本日立新材、日本电化株式会社、韩国金刚高丽化学等。受益于SiC功率模块新机遇，部分国际企业已在计划对AMB进行扩产，如东芝高新材料公司已于去年开设大分工厂，开始生产氮化硅陶瓷基板；今年2月，罗杰斯官宣扩大德国埃申巴赫工厂AMB基板产能。在国际企业积极扩产之时，中国本土也涌现出了一批AMB基板生产商包括博敏电子、富乐华、德汇电子、同欣电子、芯舟电子、华清电子等，国产AMB基板厂商有望随着扩产加速国产替代，实现快速成长。

DBC/AMB应用场景比较



国内外AMB基板供应商

国外AMB基板供应商



国内AMB基板供应商



目前已有49家企业已在功率器件环节布局，新项目投资额达到约为1000亿元。

公司	已有产能	项目投资额	项目所在地	在建产能
三安集成	2021年6月，SiC晶圆36万片/年，工厂落成	160亿	湖南长沙	
泰科天润	一期6万片6英寸SiC晶圆已通线	7亿	湖南	
鸿海(富士康)		6亿		收购6英寸SiC晶圆厂，计划2024年年产能将达18万片
零跑		-		2023年量产800V SiC电控产品
中电科55所	4-6英寸，现有一条于2017年投产，产能50万只/年的模块工艺线			
中电科13所				2018年SiC电力电子器件芯片产业化项目获得了石家庄高新区备案批复
比亚迪半导体		7.3亿	宁波	拟建设SiC晶圆生产线，年产能达到24万片，项目建设期为5年
捷捷微电 300623		5.1亿	南通	建设功率半导体6英寸晶圆及器件封测生产线建设项目
华微电子 600360		102亿		拟建设产业园用于SiC外延片、IGBT、MOSFET等芯片生产制造
华润微 688396	拥有3条6寸产线；6寸商用SiC仅仅官员生产线正式量产；目前规划产能1000片/月	9.5亿		正在建设12寸产线
斯达半导 603290		35亿		20亿元将用于高压特色工艺功率芯片和SiC研发及产业化项目，预计将形成年产35万片；拟投2.2947亿元建设SiC功率模组，年产8万颗
扬杰科技 300373		30亿	扬州	功率半导体器件及集成电路封装测试项目主体工程
绿能芯创		20亿	淄博	一期投资5亿元，全部投产后可达月产1万片
瞻芯电子		5亿	浙江义乌	拟建成国内第一条车规级SiC半导体生产线，2022年投入生产，形成年产30万片6英寸晶圆的生产能力
基本半导体	拥有4/6寸生产流程线	3.5亿	深圳	预计2023年4月建成投产，年产能将达到200万只SiC器件，重点打造车规级SiC功率器件封装线等

目前已有49家企业已在功率器件环节布局，新项目投资额达到约为1000亿元。

公司	已有产能	项目投资额	项目所在地	在建产能
世纪金光	2018年公司6英寸SiC器件生产线成功通线	35亿	上海	将建设年产22万片6-8英寸SiC生产线
国基南方	4/6英寸SiC; 1200VSiCMOSFET小批量产, 年供货约为1000万只			
国家电网	已完成6500V50A高压SiC二极管芯片制备; 2019年建成投运国内首条6英寸电力系统用大功率电力电子器件中试线			
中车时代电气	国内首条6英寸SiC生产线, 6万片/年; 成功试制1200VSiC肖特基二极管功率芯片	3.5亿		第一条投资10亿元的IGBT生产线产能释放, 第二条投资35亿元的生产线预计2020年第开始试生产
积塔半导体	一期投资89亿元, 规划建设月产能6万片8英寸晶圆的0.11μm/0.13μm/0.18μm工艺生产线, 月产能3000片12英寸特色工艺晶圆的55nm/65nm, 工艺先导生产线, 以及月产能5000片6英寸晶圆的SiC化合物半导体生产线, 并在2020年全面量产	359亿		
瑞能半导体	4/6英寸SiC; 器件覆盖2A-40A, 650V-1200V的应用			
中科汉韵			徐州市	规划中的2022年6英寸SiCMosfet芯片产线已经开始启动前置工作。
富能半导体	月产3万片的8英寸硅基功率元件产能和月产1000片的6英寸SiC(SiC)功率元件产能	60亿	山东济南	规划建设10万片/月的两条8英寸厂及5万片/月的12英寸厂, 计划2020年底实现量产, 2022年满产
芯聚能		25亿	广州南沙	第一阶段建设用于新能源汽车的IGBT和SiC功率器件与模块生产基地, 模拟产能超过10万颗/年, 2021年Q4产能或达标
青岛惠科	6英寸半导体晶圆功率器件项目全部达产后, 将月产芯片20万片、WLCSP封装10万片, 年销售收入25亿元	29亿		自2021年4月份量产以来, 产能连续5个月实现提升, 从不到5千片到8月的4万片
华润微	SiCMOSFET项目封顶	10亿	安徽滁州	一期建设的6英寸晶圆厂, 是国内建设速度最快的晶圆厂之一, 于2021年12月正式投产
英唐智控300131	子公司英唐微技术拥有一条6英寸晶圆的生产线, 兼具Si和SiC器件的生产能力			将建6英寸SiC生产线

目前已有49家企业已在功率器件环节布局，新项目投资额达到约为1000亿元。

公司	已有产能	项目投资额	项目所在地	在建产能
中科院		20亿	徐州	SiC产业一体化项目，主要产品为SiC肖特基二极管、SiCMOS晶体管等功率器件
臻驱科技	臻驱与日本罗姆半导体共建联合实验室，完成了多款SiC模块的迭代开发			
青铜剑			深圳坪山	2021年开工第三代半导体产业基地，预计2022年底完工
派恩杰	第三代半导体功率器件设计公司、产品有SiCSBD、SiCMOS、氮化镓HEMT等三大系列，涵盖650V-3300V的电压平台			
矽臻智诚	国内面积最小的SiC二极管产品将进行量产；SiC二极管将在2021年4月量产，SiCMOSFET也计划2021年下半年量产			
民德电子 300656.SZ		5亿		建设6英寸SiC功率器件等项目，年产能3.6万片。项目建设周期2.5年，预计2023年建成。生产600V-1700V SiC肖特基二极管、SiCMOSFET
安世半导体	收购NWF，获得月产能为3.2万片8英寸晶圆，最大月产能为4.4万片8英寸晶圆			Newport晶圆厂在2022年将贡献较多的产能。前端晶圆，未来，一方面是安世在海外产能增加，另一方面是临港晶圆厂产能的数倍补充；后道封装，海外马来西亚工厂已在扩建，2022年就能形成新产能，国内东莞与无锡也会增加。估计在2022年5月可完成新产能。其中，原料仓库和出产车间将完成全自动化配备。扩产后产能将新增250亿颗。
辽晶电子	现有一条完整的大功率晶体管国军标生产线，和一条厚膜混合集成电路国军标生产线			SiC二极管项目在研；1200V、20ASiCSBD项目揭榜
中科鞍稼		62.86亿	鞍山市	建设第三代化合物半导体芯片制造项目，年产第三代化合物晶体管5亿颗
科兴半导体				6英寸第三代(SiC/GaN)半导体芯片及晶体管，年产能5亿颗；项目于2019年9月开工

目前已有49家企业已在功率器件环节布局，新项目投资额达到约为1000亿元。

公司	已有产能	项目投资额	项目所在地	在建产能
港信光电		10亿	江苏徐州	加将生产第三代大功率半导体器件IGBT模组、模场效应管、双极型晶体管、可控硅等应用产品
新微半导体		15亿(一期)	上海临港	一期建设一条4英寸光电芯片和一条6英寸射频芯片产线，预计将于2021年建成并投入使用；第二期计划投资15.5亿，建设一条8英寸硅基芯片产线及封装中试线；第三期扩大再投资50亿
睿矽	SiCSBD的1200V/20A产品已基本具备量产能力			
汉磊科技3707		约11.6亿		6英寸SiC生产线;进入8英寸SiC制程
冠杰9966		5亿	山东临沂	计划年产10万件SiC等器件
飞莱特		8亿	山东	半导体SiC芯片及电子应用项目
富元电子		13.56亿		年产8寸硅基功率器件36万片、6寸SiC功率器件12万片
芯光润泽		20亿	福建	第三代半导体功率模块产业化项目，6万片/年，4-8英寸
德兴意发		5亿	江西	6英寸德沟槽和平面型IGBT、智能功率MOSFET及SiC器件
瀚薪科技	650V系列、1200V系列和1700V系列SiC二极管和MOS管均已规模量产，且已全部通过车规级认证			
士兰微 600460.SH	SiC功率器件德中试线实现通线			
燕东微电子	SiC器件线项目通过验收			

06

产业链下游分析



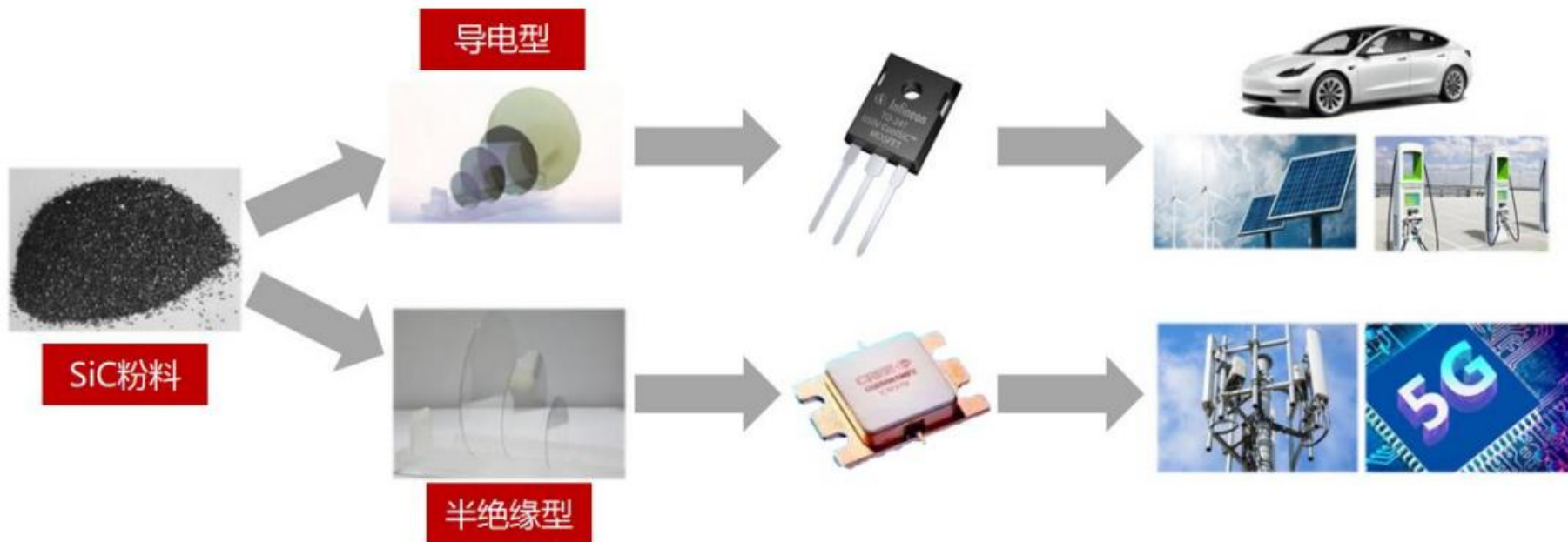
碳化硅制成的功率器件根据电学性能差异分成两类，广泛应用于新能源汽车、光伏发电、轨道交通、5G通讯等领域。

按照电学性能的不同，碳化硅材料制成的器件分为导电型碳化硅功率器件和半绝缘型碳化硅器件，两种类型碳化硅器件的终端应用领域不同。

导电型碳化硅功率器件主要是通过导电型衬底上生长碳化硅外延层，得到碳化硅外延片后进一步加工制成，品种包括肖特基二极管、MOSFET、IGBT等，主要用于电动汽车、光伏发电、轨道交通、数据中心、充电等基础建设。

半绝缘型碳化硅基射频器件是通过在半绝缘型碳化硅衬底上生长氮化镓外延层，制得碳化硅基氮化镓外延片后进一步制成，包括HEMT等氮化镓射频器件，主要用于5G通信、车载通信、国防应用、数据传输、航空航天。

两种类型的碳化硅器件的终端用途



导电型碳化硅功率器件广泛应用于新能源汽车、光伏、高铁、工业电源等领域，汽车是最大的终端应用市场。

导电型碳化硅功率器件目前主要应用于逆变器中。逆变器是一种将直流信号转化为高压交流电的装置，在传统硅基IGBT逆变器中，其基本原理为利用方波电源控制IGBT的开关，使得原来的直流电路输出方波高电压，经过整形模块的整形后形成正弦电压，即交流电。由于输出电压和输出频率可以任意控制，所以逆变器被广泛用于控制交流电机和无刷电机的转速，是新能源发电、不间断电源、电动汽车、轨道交通、白色家电、电力配送等领域不可或缺的功率转换装置。

汽车是导电型碳化硅功率器件最大的终端应用市场。根据YOLE的数据，2021年全球导电型碳化硅功率器件市场规模为10.90亿美元，其中应用于汽车市场的导电型碳化硅功率器件市场规模为6.85亿美元，占比约为63%；其次分别是能源、工业等领域，2021年市场规模分别为1.54亿、1.26亿美元，占比分别为14.1%、11.6%。

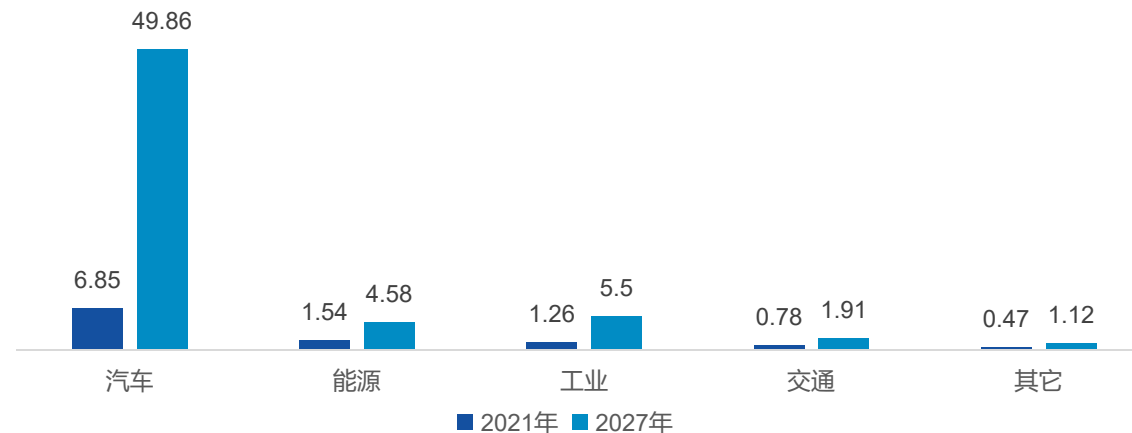
未来随着碳化硅器件在新能源汽车、能源、工业等领域渗透率不断提升，碳化硅器件市场规模有望持续提升。根据Yole的预测，2027年全球导电型碳化硅功率器件市场规模有望达62.97亿美元，2021-2027年CAGR达34%；其中汽车市场导电型碳化硅功率器件规模有望达49.86亿美元，占比达79.2%，是导电型碳化硅功率器件第一大应用市场。

导电型碳化硅功率器件应用领域



2021年、2027年全球各细分市场导电型碳化硅功率器件市场规模

单位：亿美元



碳化硅在电动汽车领域主要用于：主驱逆变器、车载充电系统(OBC)、电源转换系统(车载DC/DC)和非车载充电桩。

碳化硅MOSFET在电动汽车主驱逆变器中相比Si-IGBT优势明显，虽然当前SiC器件单车价格高于Si-IGBT，但SiC器件的优势可降低整车系统成本：（1）由于碳化硅MOSFET相比硅基IGBT功率转换效率更高，根据Wolfspeed数据，采用碳化硅MOSFET的电动汽车续航里程相比硅基IGBT可延长5-10%，即在同样续航里程的情况下可削减电池容量，降低电池成本。（2）碳化硅MOSFET的高频特性可使得逆变器线圈、电容小型化，电驱尺寸得以大幅减少，而可听噪声的降低可以减少电机铁损。（3）碳化硅MOSFET可承受更高电压，在电机功率相同的情况下可以通过提升电压来降低电流强度，从而使得束线轻量化，节省安装空间。

车载充电机(OBC)为电动汽车的高压直流电池组提供了从基础设施电网充电的关键功能，通过使用车载充电器可将电网中的交流电转换为直流电对电池进行充电，OBC是决定充电功率和效率的关键器件。**对于电动汽车车载充电机来说，碳化硅MOSFET相比Si基器件同样具有系统优势：**（1）更低的系统成本。虽然SiC器件相较于Si基器件价格较贵，但是使用SiC器件的OBC可以节省磁感器件和驱动器件成本，从而降低系统成本。（2）更高的峰值效率。OBC中使用SiC器件后充电峰值效率较使用Si基器件的系统提升2个点。（3）更大的功率密度。使用SiC器件的系统功率密度较Si基器件提升约50%，从而减少OBC的重量和体积。

DC-DC转换器是转变输入电压并有效输出固定电压的电压转换器。车载DC/DC转换器可将动力电池输出的高压直流电转换为低压直流电，主要给车内动力转向、水泵、车灯、空调等低压用电系统供电。未来随着电动汽车电池电压升至800V高压平台，1200V的SiCMOSFET有望被广泛应用于DC-DC转换器中：（1）首先，OBC与DC-DC等功率器件集成化趋势明显，22KW车载充电机中，DC-DC转换器与OBC有望集成（2）其次，双向DC-DC转换器中，SiC的高速恢复特性最为合适；（3）为能够适配原400V直流快充桩，搭载800V电压平台的新车须配有额外DC-DC转换器进行升压，进一步增加对DC-DC的需求。

全球新能源汽车头部厂商逐渐采用导电型碳化硅功率器件。特斯拉是业界首个在电动汽车中采用碳化硅主驱逆变器模块的车企，2018年，特斯拉在Model3中首次将IGBT模块换成了SiC模块。当前越来越多的车厂正在转向在电驱中使用碳化硅MOSFET器件，目前除特斯拉Model3外，还有比亚迪汉EV、比亚迪新款唐EV、蔚来ES7、蔚来ET7、蔚来ET5、小鹏G9、保时捷Tayan和现代ioniq5等车型已经在电驱中采用了碳化硅器件。

导电型碳化硅功率器件在新能源汽车上的应用



车载充电机 (OBC) 在电动汽车中的作用



22KW双向OBC中SiC器件与Si器件对比

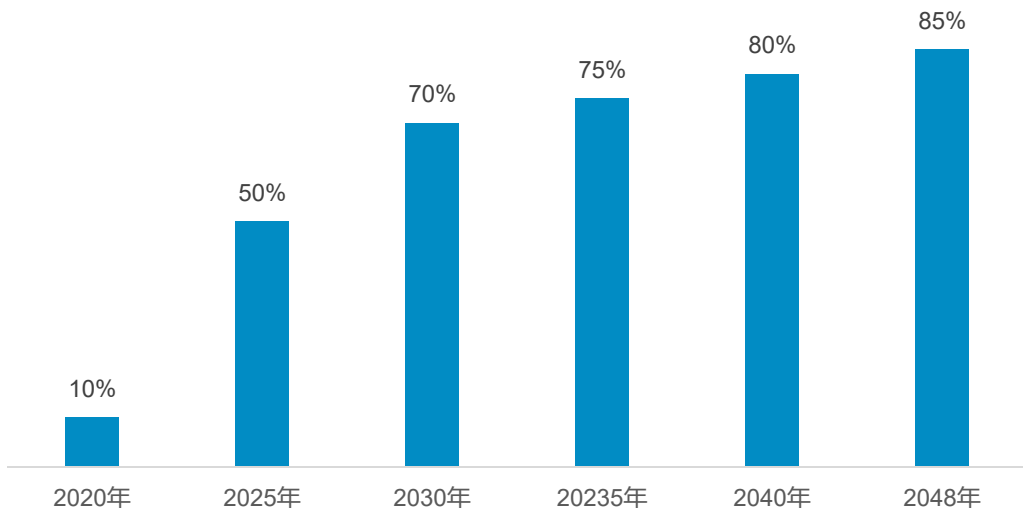
22KW双向OBC	SiC器件系统	Si器件系统
系统成本	1.00x	1.18x
系统峰值效率	97%	95%
功率密度	~3KW/L	~2KW/L

导电型碳化硅功率器件可以降低光伏发电系统损耗，提升列车牵引系统节能效果，在这2个领域也具有广阔发展前景。

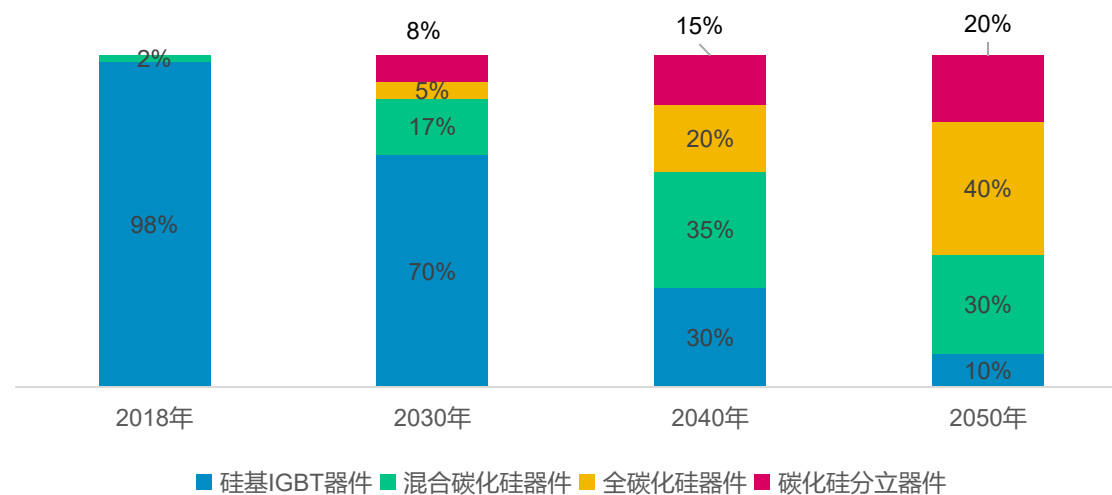
在光伏发电领域，由于使用导电型碳化硅功率器件可以降低光伏发电系统损耗，未来随着碳化硅器件成本的不断降低，碳化硅器件有望逐步替代硅基器件，市场规模有望不断提升。在光伏发电应用中，基于硅基器件的传统逆变器成本约占系统10%左右，却是系统能量损耗的主要来源之一。而使用碳化硅材料，可将转换效率可从96%提升至99%以上，能量损耗降低50%以上，设备循环寿命提升50倍。根据CASA预测，在2025年，碳化硅功率器件占比将达到50%，相比2020年增长40个百分点，并将持续扩大占比。

碳化硅材料可以显著提升列车牵引系统节能效果，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，有望在轨道交通中得到广泛应用。同时，由于碳化硅抗高温高压高频的特性，完美切合智能电网发展需求，被应用在固态变压器、柔性交流输电、柔性直流输电、高压直流输电及配电系统等应用方面推动智能电网的发展和变革。虽然2018年碳化硅在轨道交通的应用占比仅为2%，但CASA预测在2030年碳化硅在轨道交通功率器件的应用占比将达30%，渗透率不断提升。

光伏逆变器中导电型碳化硅功率器件占比预测



轨道交通中碳化硅功率器件占比预测



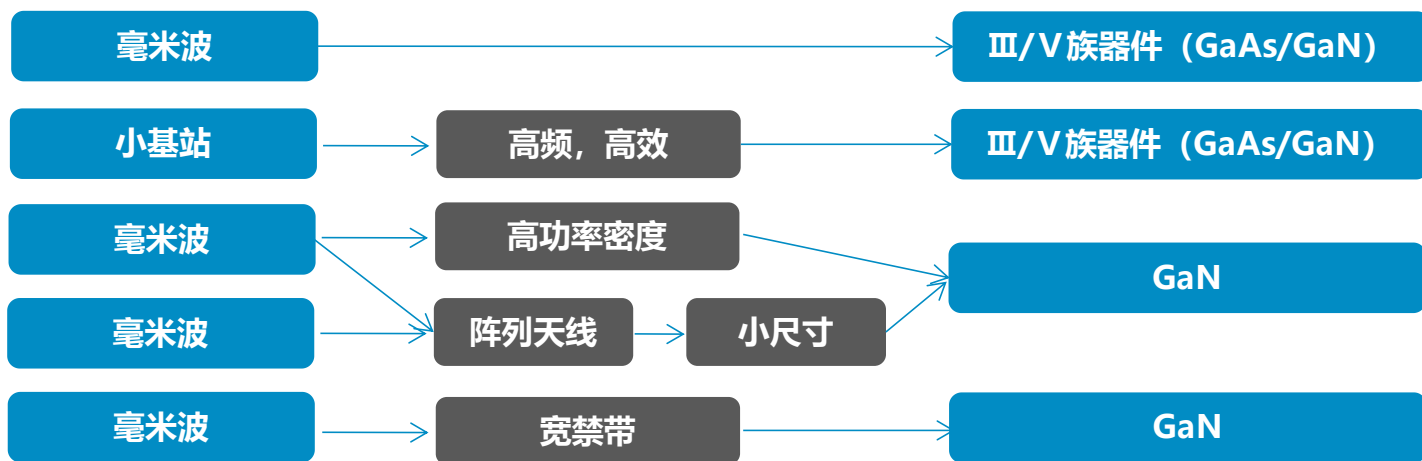
碳化硅基氮化镓射频器件具备了碳化硅的高导热性能和氮化镓在高频段下大功率射频输出的优势，在基站中应用广泛。

半绝缘型碳化硅器件主要是碳化硅基氮化镓射频器件。目前主流的射频器件材料有砷化镓、硅基LDMOS、碳化硅基氮化镓等不同类型。其中，砷化镓器件已在功率放大器上得到广泛应用，硅基LDMOS器件也已在通讯领域应用多年，但其主要应用于小于4GHz的低频率领域。**碳化硅基氮化镓射频器件同时具备了碳化硅的高导热性能和氮化镓在高频段下大功率射频输出的优势，随着信息技术产业对数据流量、更高工作频率和带宽等需求的不断增长，氮化镓器件在基站中应用越来越广泛。**

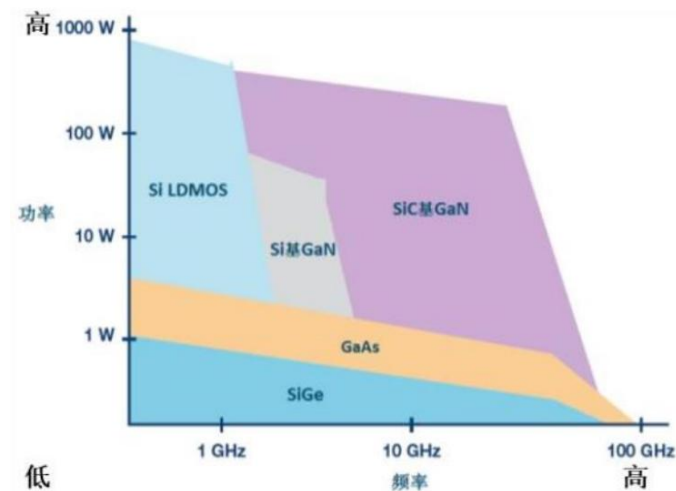
氮化镓射频器件正在取代LDMOS在通信宏基站、雷达及其他宽带领域的应用。根据Yole预测，至2025年，功率在3W以上的射频器件市场中，砷化镓器件市场份额基本维持不变的情况下，氮化镓射频器件有望替代大部分硅基LDMOS份额，占据射频器件市场约50%的份额。

在应用方面，5G通信推动着碳化硅成为射频器件的主流材料。5G通讯高频、高速、高功率的特点对微波射频器件提出了更高要求，对目前采用的砷化镓和硅基LDMOS器件提出了挑战。不同于砷化镓和硅基LDMOS器件的固有缺陷，如高频段性能差、功率效率较差等。由于半绝缘型碳化硅衬底制备的氮化镓射频器件在高频段表现良好、能抗高温高压，具有高功率处理能力，已逐步成为5G时代较大基站功率放大器的候选技术。

5G基站发展趋势



不同类型射频器件在高频大功率下应用对比



07

行业企业



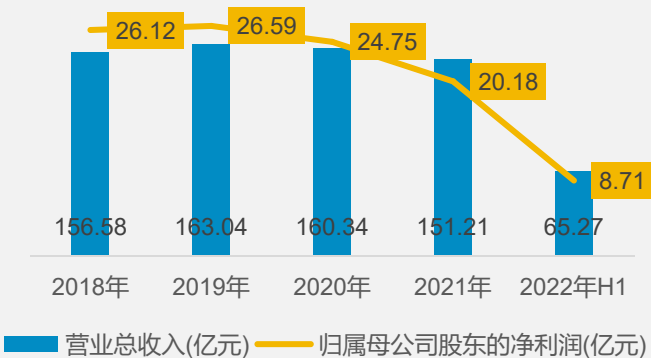
主要从事轨道交通装备产品的研发、设计、制造、销售

时代电气主要从事轨道交通装备产品的研发、设计、制造、销售并提供相关服务，具有“器件+系统+整机”的产业结构，产品主要包括以轨道交通牵引变流系统为主的轨道交通电气装备、轨道工程机械、通信信号系统等。同时，公司还积极布局轨道交通以外的产业，在功率半导体器件、工业变流产品、新能源汽车电驱系统、传感器件、海工装备等领域开展业务。

在功率半导体器件领域，公司产品布局覆盖IGBT及FRD模块、SiC芯片及器件、整流管及晶闸管产品线，产品应用领域包括光伏、轨交、电网、新能源汽车等领域，其中在轨交电网领域公司2021年IGBT交付量为全国第一。

公司收入受铁路投资额影响，有一定波动

时代电气2018年至2022H1收入与净利润（亿元）



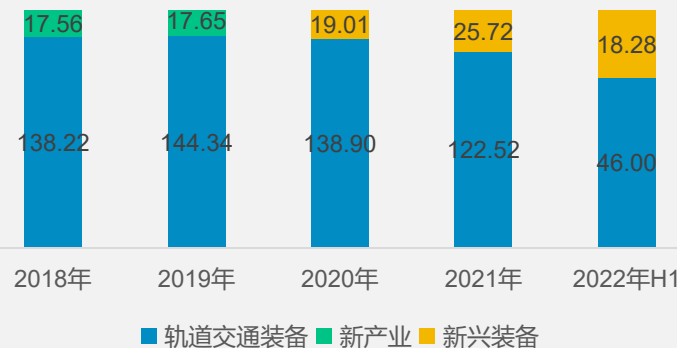
数据来源：公司年报，亿渡数据整理

2021年铁路投资额下降导致公司营业规模的下降，2021年公司实现营收151.21亿元，同比下降6%；2022年起主业触底反弹，2022年上半年公司营业收入达65.27亿元，同比增长23%，归母净利润达8.71亿元，同比增长25.28%。

公司在轨交装备业务外积极布局新兴装备业务

从营收构成来看，公司在轨交装备业务外积极布局新兴装备业务，新兴装备业务以功率半导体器件业务为主，随着公司产能的爬坡和产品种类的拓展，从2018年至今新兴装备业务总营收占比持续提高，2021年新兴装备业务总营收占比达17.01%。

时代电气2018年至2022年H1收入构成（亿元）



数据来源：公司年报，亿渡数据整理

时代电气SiC领域布局国内领先

时代电气SiC领域产品情况介绍

产品	简介	产品参数	应用
SBD芯片及器件	具有正温度系数、耐高压、高浪涌能力、高电流密度，低比导通电阻等特点	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 反向重复峰值电压 (V) : 1200-3300 ✓ 正向电流 (A) : 10-47 ✓ 运行结温 (°C) : -40-150 	光伏、轨交、电网等
MOSFET芯片及器件	车规级SiCMOSFET芯片，具有高电流密度，低比导通电阻，高工作频率等特点，适用于新能源汽车、充电桩领域；高压SiCMOSFET芯片，芯片内置栅电阻，具有低开关损耗，高工作频率的特点，适用于轨道交通、电网领域	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 击穿电压 (V) : 1200-3300 ✓ 正向电流 (A) : 32-60 ✓ 运行结温 (°C) : -40-175 	高压MOSFET用于轨交、电网。车规级MOSFET用于新能源汽车、充电桩
SiC模块	采用中车第二代SiC芯片，具有正温度系数，高浪涌能力等特点	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 额定电压 (V) : 1200-3300 ✓ 额定电流 (A) : 500-1600 ✓ 工作结温 (°C) : 75-95 	轨交、电网、新能源汽车、充电桩

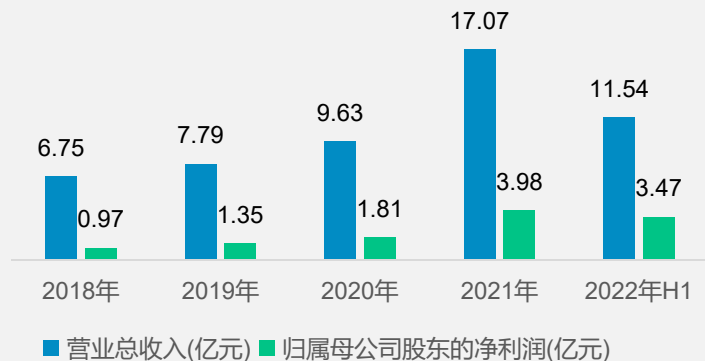
IGBT为主的功率半导体芯片和模块的研发、生产及销售

公司长期致力于IGBT、快恢复二极管等功率芯片的设计和工艺及IGBT、MOSFET、SiC等功率模块的设计、制造和测试，公司的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。

IGBT作为一种新型功率半导体器件，是国际上公认的电力电子技术第三次革命最具代表性的产品，是工业控制及自动化领域的核心元器件，其作用类似于人类的“心脏”，能够根据装置中的信号指令来调节电路中的电压、电流、频率、相位等，以实现精准调控的目的。因此，IGBT被称为电力电子行业里的“CPU”，广泛应用于新能源、新能源汽车、电机节能、轨道交通、智能电网、航空航天、家用电器、汽车电子等领域。

营收及归母净利润规模整体保持较快的增长

斯达半导2018年至2022H1收入与净利润（亿元）

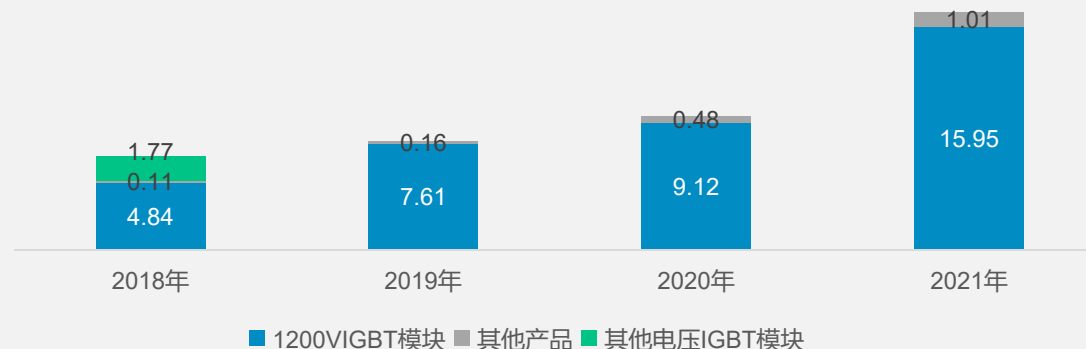


数据来源：公司年报，亿渡数据整理

在工控及电源行业稳定发展、新能源领域快速上升的背景下，斯达半导营收及归母净利润规模整体保持较快的增长。

IGBT模块的销售收入占公司主营业务收入的94%以上

斯达半导2018年至2021年收入构成（亿元）



数据来源：公司年报，亿渡数据整理

公司不断发展IGBT技术，车规级SiC模块获得较多供应商认可

公司在IGBT的技术基础上不断发展以SiC和主的宽禁带功率半导体器件关键技术。斯达作为国内车规级SiC模块的重要供应商，车规级SiC模块已获得了国内外多家车企和Tier1的项目定点，有较强的市场竞争力。公司客户目前主要分布于新能源、新能源汽车、工业控制及电源、变频白色家电等行业，主要竞争对手均为国际品牌厂商。

公司在与国际主要品牌厂商的竞争过程中，已形成技术优势、快速满足客户个性化需求优势、细分行业领先优势、先发优势、人才优势、合理的业务模式优势、较强的市场开拓能力等优势。

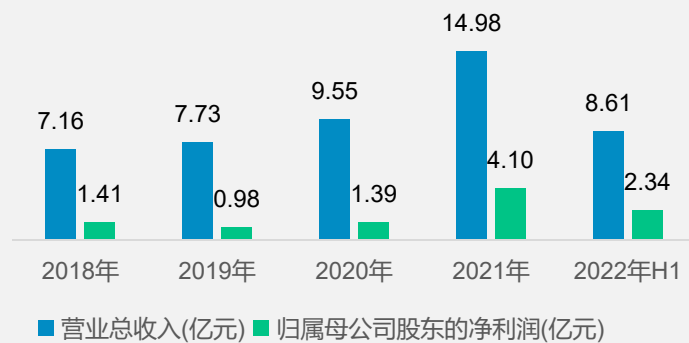
主营业务为MOSFET、IGBT等器件的研发、设计、销售

公司的主营业务为MOSFET、IGBT等半导体芯片和功率器件的研发设计及销售，销售的产品按照是否封装可以分为芯片和功率器件。通过持续的自主创新，公司在沟槽型功率MOSFET、超结功率MOSFET、屏蔽栅功率MOSFET以及IGBT等产品的设计研发方面拥有多项核心技术。

主要产品包括12V~200V沟槽型功率MOSFET、30V~300V屏蔽栅功率MOSFET、500V~900V超结功率MOSFET、600V~1350V沟槽栅场截止型IGBT及功率IC（栅驱动IC及电机驱动IC），产品广泛应用于消费电子、汽车电子、工业电子以及新能源汽车/充电桩、智能装备制造、物联网、5G、光伏新能源等领域。

受益于2020年下半年以来功率半导体缺货，营收和净利增长

新洁能2018年至2022H1收入与净利润（亿元）

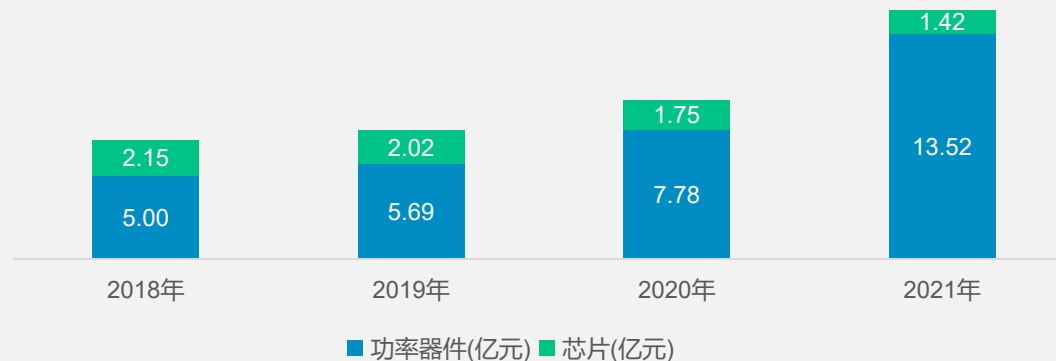


数据来源：公司年报，亿渡数据整理

受益于2020年下半年以来功率缺货带来的价格上涨和公司产品在华虹12寸产线上的起量，公司2021年营收和归母净利润都实现了大幅提升，2021年营收达14.98亿元，同比增长56.89%，归母净利润达4.1亿元，同比增长194.55%。

收入主要来自于功率器件，2021年占比达到90%

新洁能2018年至2021年收入构成（亿元）



数据来源：公司年报，亿渡数据整理

公司具有研发优势、产品系列优势、产品品质优势等诸多优势

研发实力优势

截至2022年底，公司拥有135项专利，其中发明专利36项，发明专利数量和占比在国内半导体功率器件行业内位居前列，已形成核心技术壁垒。

产品系列优势

公司已拥有覆盖12V~1700V电压范围、0.1A~450A电流范围的多系列细分型号产品，是国内MOSFET产品系列最齐全且技术先进的设计企业之一。

产品品质优势

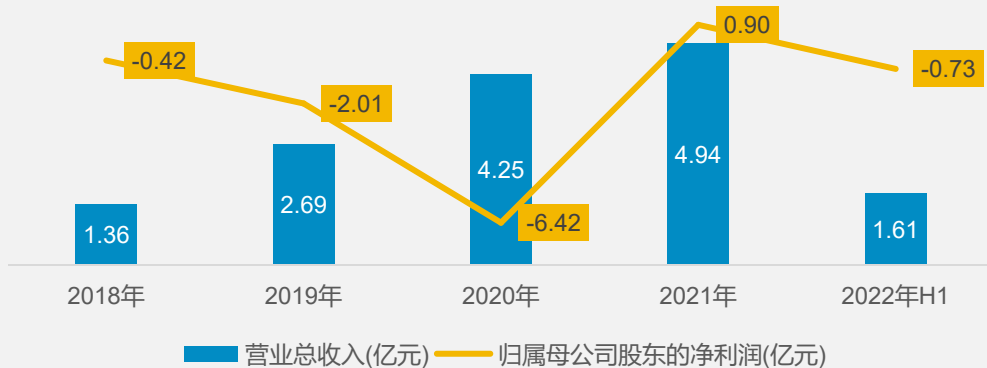
公司拥有完善的产品质量管控体系，针对产品进行全流程质量管控，产品性能优良、质量稳定、一致性高，公司产品在细分市场具有较高的品质优势。

公司自主研发出半绝缘型碳化硅衬底产品

公司是一家国内领先的宽禁带半导体（第三代半导体）衬底材料生产商，主要从事碳化硅衬底的研发、生产和销售，产品可广泛应用于微波电子、电力电子等领域。目前，公司主要产品包括半绝缘型和导电型碳化硅衬底。在国外部分发达国家对我国实行技术封锁和产品禁运的背景下，公司自主研发出半绝缘型碳化硅衬底产品，实现我国核心战略材料的自主可控，有力保障国内产品的供应，确保我国宽禁带半导体产业链的平稳发展。公司产品已批量供应至国内碳化硅半导体行业的下游核心客户，同时已被国外知名的半导体公司使用。在导电型碳化硅衬底领域，公司6英寸产品已送样至多家国内外知名客户，并于2019年中标国家电网的采购计划。

天岳先进收入增长较快目前尚未盈利

天岳先进2018年至2022H1收入与净利润（亿元）



数据来源：公司年报，亿渡数据整理

产品主要为半绝缘型碳化硅衬底，已实现少量导电型衬底销售

天岳先进产品类别



公司具有技术优势，已完成6英寸衬底的小批量销售

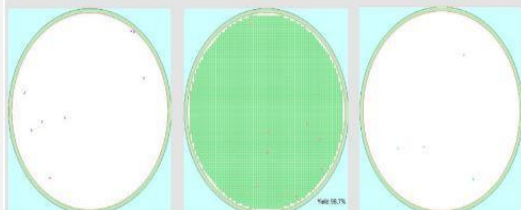
碳化硅衬底属于高度技术密集型行业，具有极高的技术壁垒。技术迭代更新需要长期持续开展大量创新性的工作，同时需要获取海量的技术数据积累，以完成各工艺环节的精准设计。公司自成立以来，专注于碳化硅单晶半导体的制备技术，经过十余年的技术发展，自主研发出2-6英寸半绝缘型及导电型碳化硅衬底制备技术，系统地掌握了碳化硅单晶设备的设计和制造技术、热场仿真设计技术、高纯度碳化硅粉料合成技术、不同尺寸碳化硅单晶生长的缺陷控制和电学性能控制技术、不同尺寸碳化硅衬底的切割、研磨、抛光和清洗等关键技术；较早在国内实现了4英寸半绝缘型碳化硅衬底的产业化，成为全球少数能批量供应高质量4英寸半绝缘型碳化硅衬底的企业；完成了6英寸导电型碳化硅衬底的研究并开始了小批量销售。

中国首家从事碳化硅(SiC)外延晶片市场营销、研发和制造

天域(TYSiC)成立于2009年，是中国第一家从事碳化硅(SiC)外延晶片市场营销、研发和制造的民营企业。

东莞天域在外延制造技术上位于领先地位，具有低缺陷、高度均匀性6英寸4HSiC外延生长技术。密度小于0.2每平方厘米、可用面积大于98%、BPD小于0.1每平方厘米。外延层载流子浓度均匀性小于2%、外延层厚度均匀性小于1%。

低缺陷密度、高均匀性6英寸外延片，已达到全球领先的技术指标



缺陷密度
<0.2/cm²

可用面积
>98%

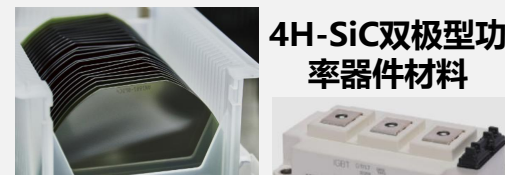
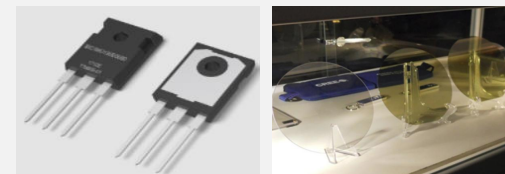
BPD<0.1
/cm²

产品种类齐全，覆盖市场主流单极型和双极型功率器件材料

公司产品种类齐全，覆盖市场主流单极型和双极型功率器件材料。公司产品类型涵盖单极型与双极型、中低压及超高压全系列规格。为全球客户提供n型和p型掺杂外延材料、制作肖特基二极管、JFET、BJT、MOSFET, GTO和IGBT等。

公司产品应用领域包括：电源/PFC、光伏、新能源汽车电驱系统及充电桩、风能、高铁、智能电网及船舶等领域。

4H-SiC单极型功率器件材料



4H-SiC双极型功率器件材料

广东天域碳化硅外延产能国内第一

SiC-CVD生产车间



天域在中国拥有最多的碳化硅外延炉-CVD，生产设备国际一流，产能国内第一。凭着最先进的外延炉设备、外延技术和最先进的测试和表征能力，天域在国内产能排名第一。

公司具有研发优势、产品技术优势、已量产6英寸产品

研发实力优势

公司SiC外延的全套核心技术，均为自主研发，作为保护，申请发明专利24件(授权12项)；申请实用新型专利24件(授权13项)。累计发表高水论文27篇(SCI/EI收录论文16篇)。

产品技术指标领先

广东天域生产出来的低缺陷、高均匀性6英寸外延片达到了全球领先的技术指标。

最早实现6英寸外延片量产

天域是国内最早实现6英寸外延晶片量产的公司，目前正在布局积极发展8英寸SiC外延片系列产品批量生产。

版权声明

本报告为亿渡数据制作，报告中所有的文字、图片、表格均受有关商标和著作权的法律保护，部分文字和数据采集于公开信息，所有权为原著者所有。没有经过本公司书面许可，任何组织和个人不得以任何形式复制或传递。任何未经授权使用本报告的相关商业行为都将违反《中华人民共和国著作权法》和其他法律法规以及有关国际公约的规定。

免责声明

本报告中行业数据及相关市场预测主要为行业研究员采用桌面研究、行业访谈、市场调查及其他研究方法，建立统计预测模型估算获得，只提供给用户作为市场参考资料。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议。在不同时期，亿渡数据可能撰写并发布与本报告所载资料、看法及推测不一致的报告。本公司不保证本报告所含信息及资料保持在最新状态，本公司将随时补充、更新和修订有关信息及资料，但不保证及时通知或发布。在任何情况下，本公司亦不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。

