

智能汽车时代，功率半导体的发展新机遇

中信证券研究部 电子组

2021年6月3日

精选汽车研报，入群免费分享

1. 工作日群内免费分享多篇精选汽车行业资料，涵盖市场、技术、产业等多个维度；
2. 海量资料库，及时满足群友专题资料搜寻需求；
3. 严明群规，禁止广告，外链，禁止未沟通加好友，保护群友隐私；
4. 车企高管，行业大咖都在参与的行业干货分享社群；

我们致力于构建优质、极致的汽车行业知识、情报及案例分享社群；

扫码关注！ or 微信搜索“3W AUTO”关注！

回复关键词【进群】，加入 3W AUTO 汽车干货分享群

精选研报，均为网络收集版本，权利归原作者所有，3W AUTO 仅作为内部学习分发。

1

只有干货，没有废话！



■ 为什么要关注汽车功率半导体？

- 功率半导体是电子装置电能转换与电路控制的核心，全球市场空间接近400亿美金（其中功率器件占比接近一半）
- 汽车的电动化与智能化拉动功率器件需求显著提升，单车价值量提升5倍以上

■ 当前关注的重点细分赛道是？

- IGBT在电动车上应用于电控、空调与热管理、充电系统等场景，是决定电动车性能与安全性的核心器件
- IGBT的单车价值量达千元级别，预计未来5年全球IGBT市场空间CAGR达30~40%
- 德日厂商主导，斯达、比亚迪等厂商在车规领域已实现突破

■ 未来产业发展新趋势是？

- 相比Si-IGBT，SiC MOSFET具有性能优势，但高成本限制其快速普及
- 基于综合考量，高端电动乘用车与电动大巴车有望率先在电控中应用SiC MOSFET
- Cree等进口品牌处于领先地位，国内厂商在SiC产业各环节均积极布局

CONTENTS

目录

1. 为什么要关注汽车功率半导体？
2. 当前关注的重点细分赛道是？
3. 未来产业发展新趋势是？

1.1 从传统燃油车到智能电动车，核心零部件出现巨大变化

■ 电动车以驱动电机、动力电池、电控取代了传统汽油车“三大件”（发动机、变速箱和底盘），功率半导体成重要增量

传统燃油车核心零部件

传动系统



离合器



变速箱



分动器



液力变矩器



驱动桥

其他系统



排气系统



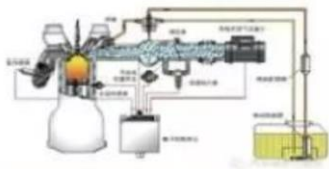
油箱



发动机系统



配汽机构



燃油供给全系统



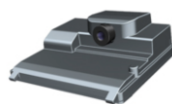
发动机冷却系统



增压系统

智能电动车核心零部件

感知



摄像头



雷达



红外探测器

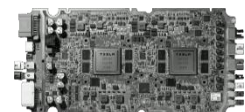


定位导航



V2X通信芯片

决策



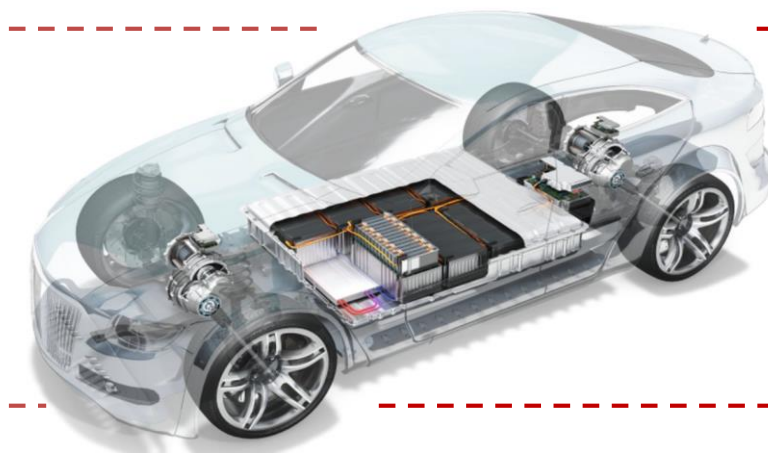
ADAS主控芯片



功能芯片



存储芯片



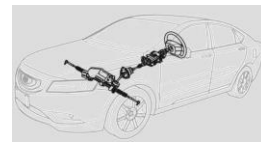
执行



电子驱动



电子制动



电子转向



其他零部件控制

1.2 功率器件是电能转换与电路控制的核心

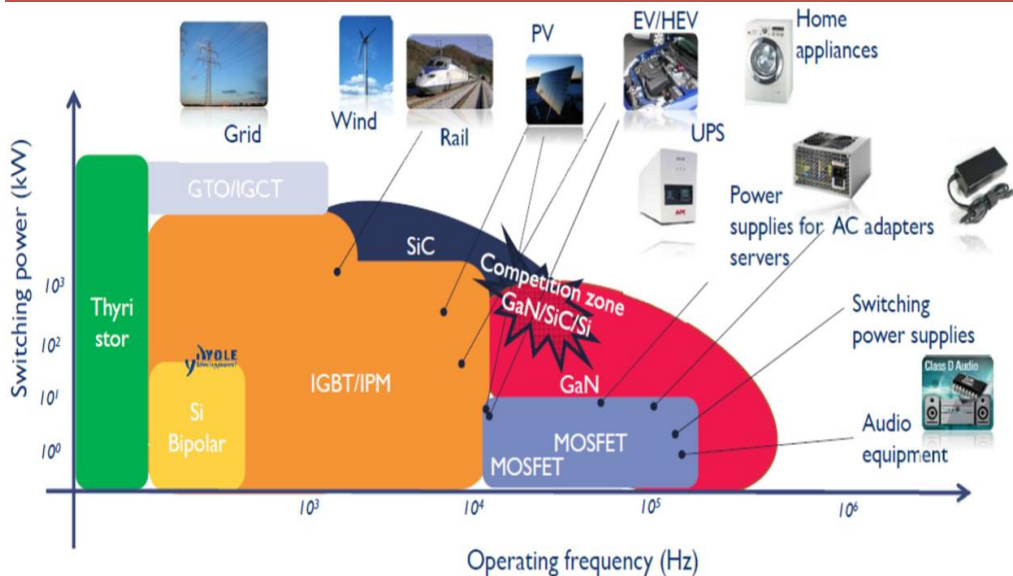
- 功率器件是电子装置电能转换与电路控制的核心，主要用于改变电压和频率。主要用途包括变频、整流、变压、功率放大、功率控制等，同时具有节能功效。功率半导体器件广泛应用于移动通讯、消费电子、新能源汽车、轨道交通、工业控制、发电与配电等电力、电子领域，涵盖低、中、高各个功率层级。

功率半导体的主要应用

设备	直流变换器	逆变器	整流器	变频器	稳压器
英文名	DC-DC Converter	Inverter	Rectifier	Cycloconverter	Regulator
功能	改变直流电压	直流转交流	交流转直流	改变交流电频率	改变交流电电压

资料来源：产业调研，中信证券研究部

典型功率半导体应用：IGBT高压为主，MOSFET高频为主



资料来源：Yole

三种功率器件对比

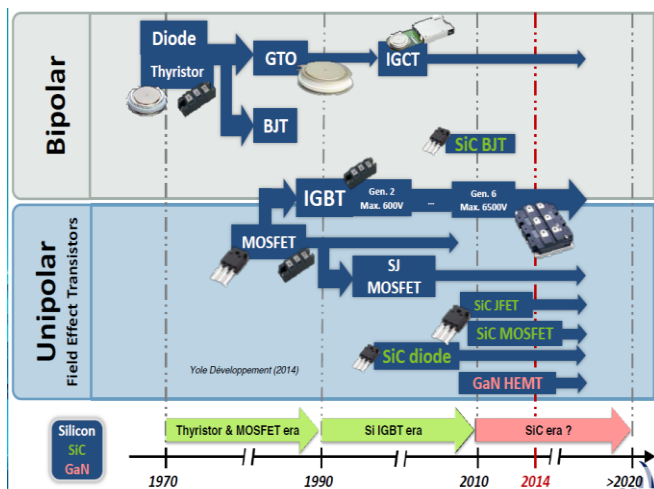
	BJT	MOSFET	IGBT
驱动方式	电流	电压	电压
驱动电路	复杂	简单	简单
输入阻抗	低	高	高
驱动功率	高	低	低
开关速度	慢	快	居中
工作频率	低	高	居中
饱和压降	低	低	高

资料来源：《工业强基一条龙》——朱宏任，中信证券研究部

1.3 功率半导体的技术演进路径

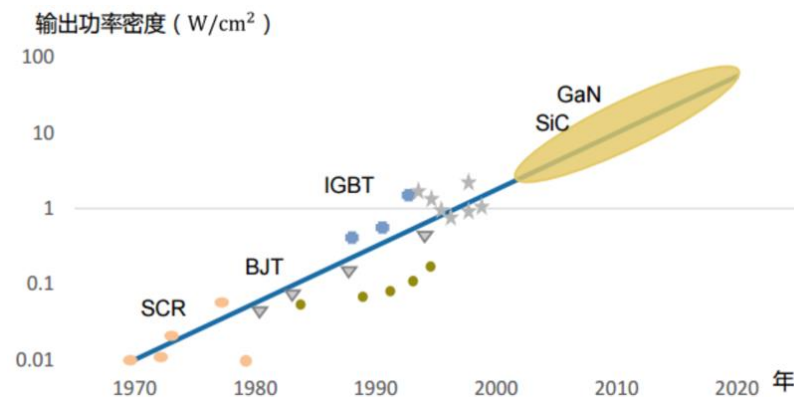
功率半导体器件	类别	器件	优势	劣势	应用领域
功率分立器件	不可控器件	功率二极管	结构和原理简单，工作可靠	应用中必须考虑关断方式问题，电路结构上必须设置关断（换流）电路，大大复杂了电路结构、增加了成本、限制了在频率较高的电力电子电路中的应用。此外晶闸管的开关频率也不高，难于实现变流装置的高频化。	工业和电力系统
	半控型器件	晶闸管	承受电压和电流容量在所有器件中最高		
功率分立器件	全控型器件	IGBT	开关速度高，开关损耗小，具有耐脉冲电流冲击的能力，通态压降较低，输入阻抗高，为电压驱动，驱动功率小	开关速度低于电力MOSFET,电压、电流容量不及GTO	计算机、通信、消费电子、汽车电子为代表的4C行业 (computer、communication、consumer electronics、cartronics)
		GTR	耐压高，电流大，开关特性好，通流能力强，饱和压降低	开关速度低，为电流驱动，所需驱动功率大，驱动电路复杂，存在二次击穿问题	
		GTO	电压、电流容量大，适用于大功率场合，具有电导调制效应，其通流能力很强	电流关断增益很小，关断时门极负脉冲电流大，开关速度低，驱动功率大，驱动电路复杂，开关频率低	
		MOSFET	开关速度快，输入阻抗高，热稳定性好，所需驱动功率小且驱动电路简单，工作频率高，不存在二次击穿问题	电流容量小，耐压低，一般只适用于功率不超过10kW的电力电子装置	
功率IC			体积小、重量轻、引出线和焊接点少、寿命长、可靠性高、性能好、成本低、便于大规模成产		各类电子产品
功率模组			功率半导体模块可根据封装的元器件的不同实现不同功能		各类电子产品

功率器件技术演化史



资料来源: Yole

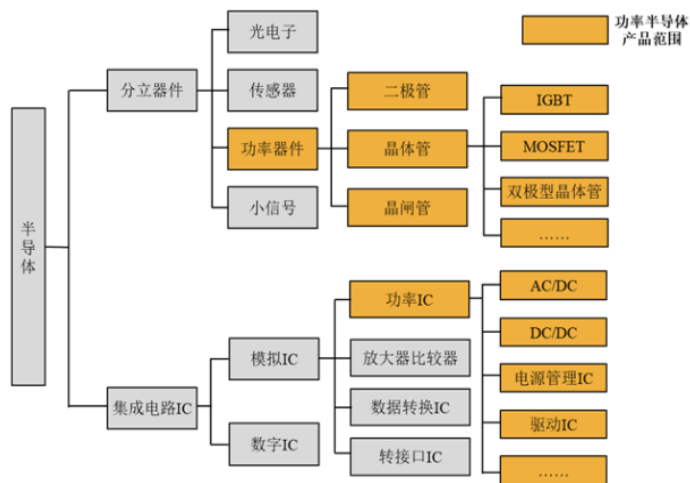
三代半导体突破Si基的性能极限



资料来源: 应用电力电子学会议和产品展示会 (APEC), 中信证券研究部

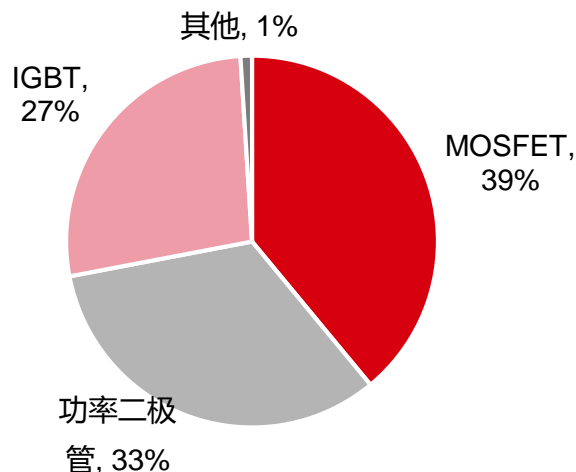
1.4 全球功率半导体需求超400亿\$, 汽车是成长最快的下游

功率半导体产品范围



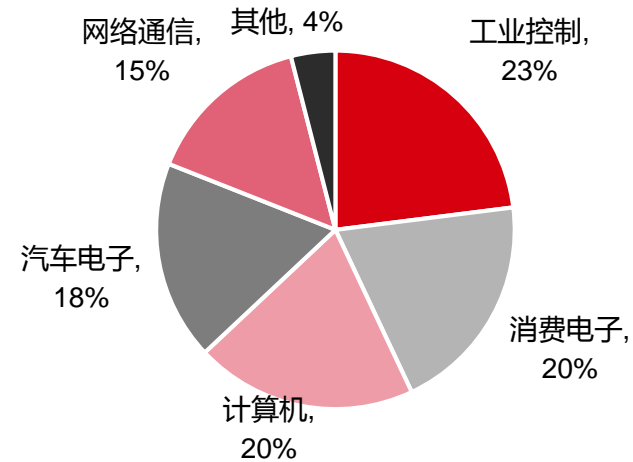
资料来源: 华润微招股说明书

2019年功率器件市场结构



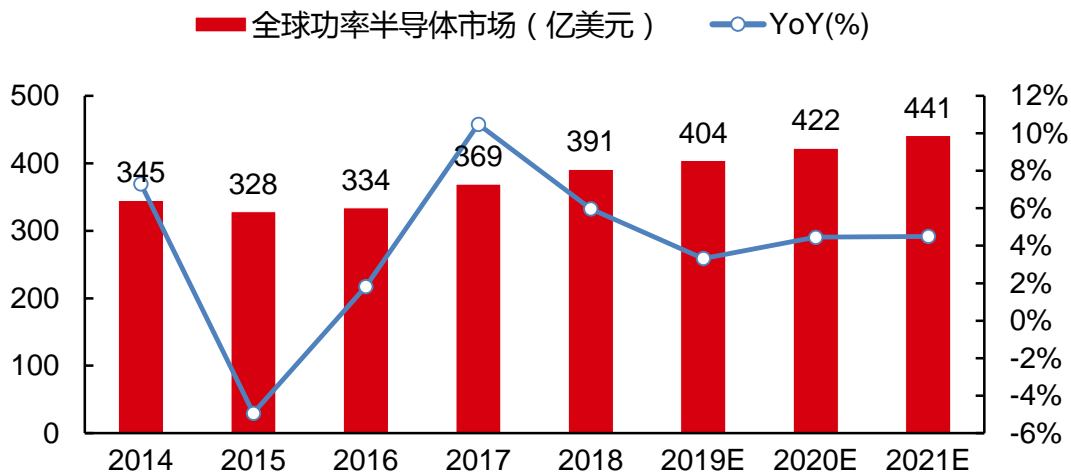
资料来源: IHS, Gartner, 中信证券研究部

2019年功率器件下游应用市场占比



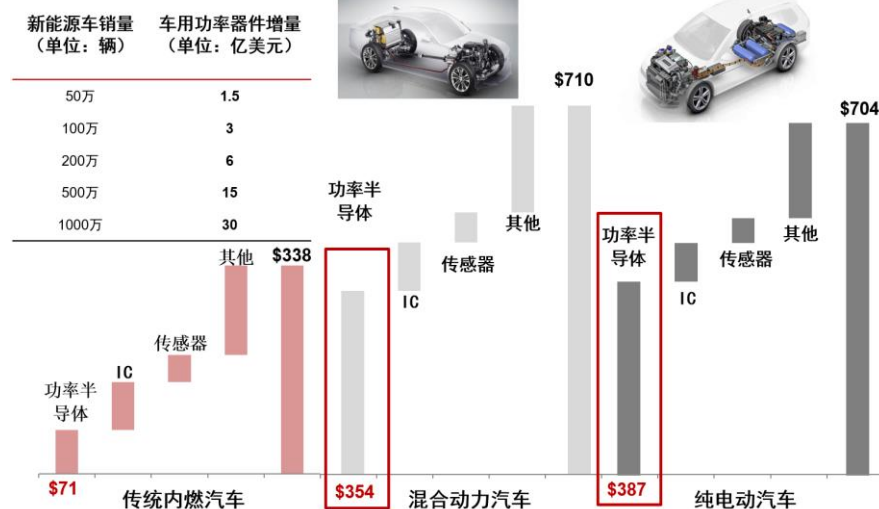
资料来源: 前瞻产业研究院, 中信证券研究部

全球需求近400亿美元, 4+%增速, 中国占比35%



资料来源: Strategy Analytics (含预测), 中信证券研究部

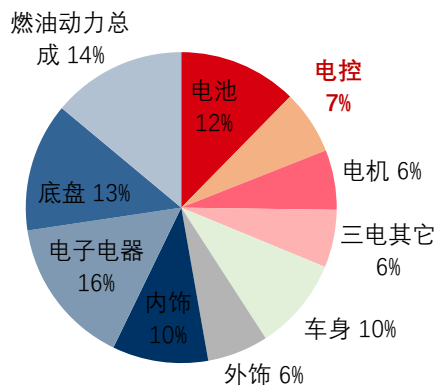
汽车成增长最快下游



资料来源: 英飞凌公告, 中信证券研究部

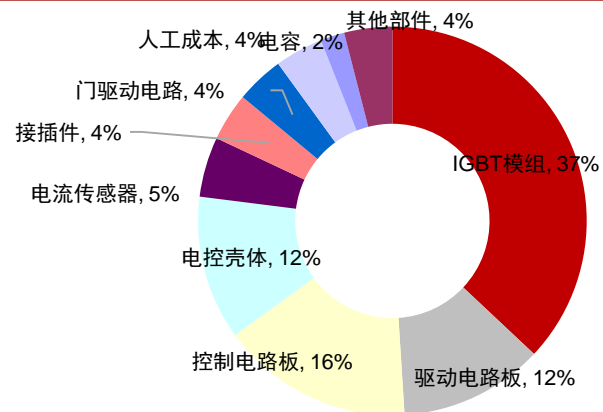
1.5 功率器件在汽车上的应用：IGBT是最大增量，未来SiC有望接棒

某插电混动车（双电机）物料成本结构



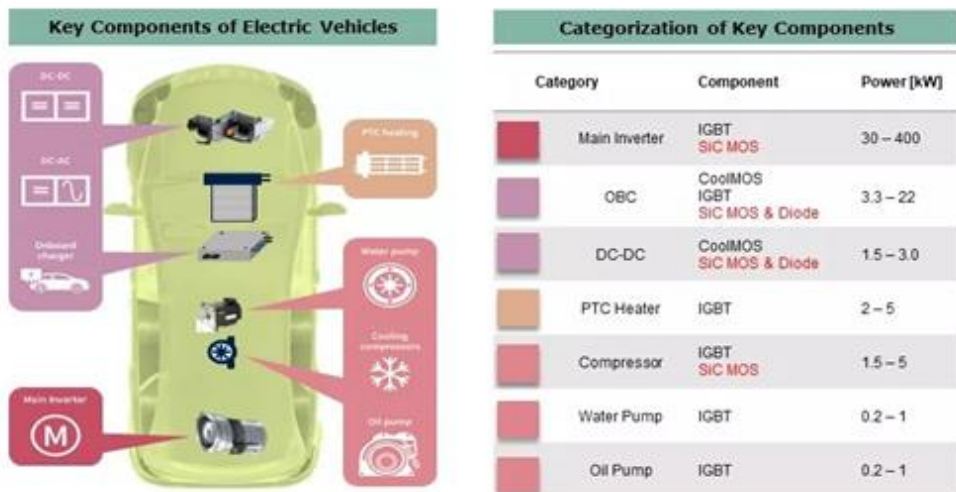
资料来源：中信证券研究部估算

电控成本结构



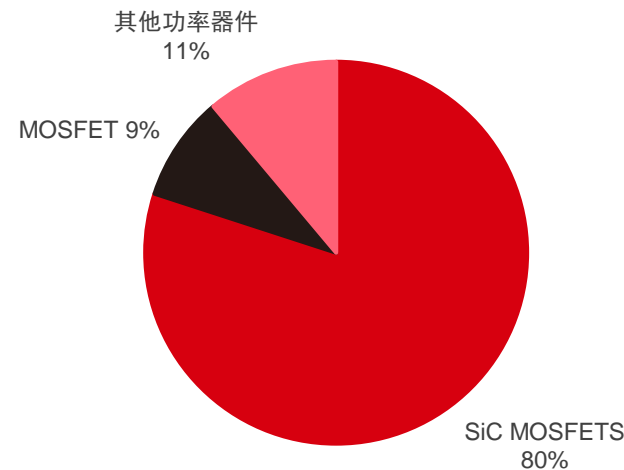
资料来源：北斗航天汽车，中信证券研究部

电动车功率半导体的典型应用



资料来源：英飞凌（微信）公众号

特斯拉Model 3单车功率半导体价值量拆解



资料来源：产业调研，中信证券研究部

CONTENTS

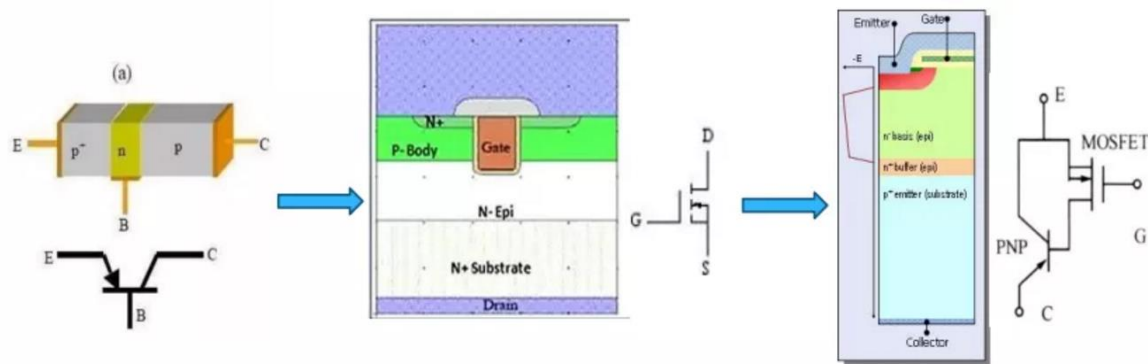
目录

1. 为什么要关注汽车功率半导体？
2. 当前关注的重点细分赛道是？
3. 未来产业发展新趋势是？

2.1 IGBT是功率器件最具发展前景的细分赛道

- **IGBT是功率半导体器件的一种**：用于交流电和直流电的转换、变频，相当于电力电子领域的“CPU”，也是新能源应用的**心脏**，属于功率器件领域门槛相对较高的赛道。
- **IGBT属于双极型、硅基功率半导体**，具有**耐高压特性**。融合了BJT（Bipolar junction transistor，双极型三极管）和MOSFET的性能优势，结构为**MOSFET+一个BJT**，高耐压为其优势，自落地以来在工业领域逐步替代MOSFET和BJT，目前广泛应用于650-6500V的中高压领域，属于**Si基功率器件领域最具发展前景的赛道**。

IGBT融合了BJT和MOSFET的结构



双极结型晶体管
BJT

金属-氧化物-半导体场效应晶体管
MOSFET

绝缘栅双极晶体管
IGBT

三种功率器件对比

	BJT	MOSFET	IGBT
驱动方式	电流	电压	电压
驱动电路	复杂	简单	简单
输入阻抗	低	高	高
驱动功率	高	低	低
开关速度	慢	快	居中
工作频率	低	高	居中
饱和压降	低	低	高

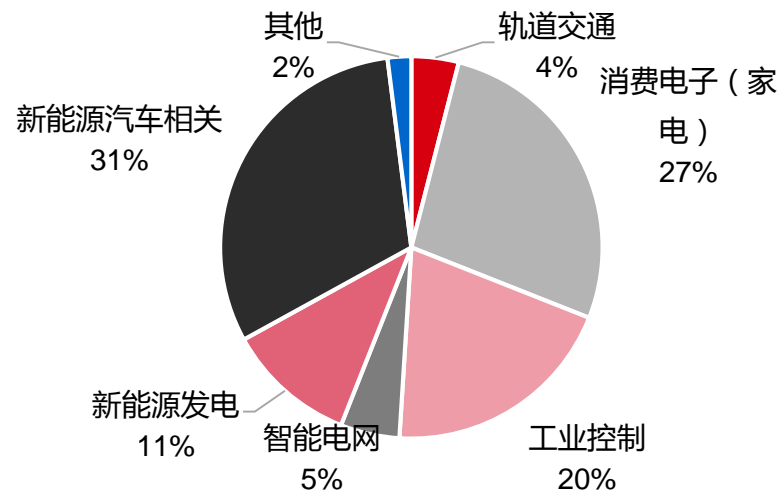
2.2 IGBT下游应用广泛，全球空间超400亿元

不同应用领域的IGBT工作电压也不同



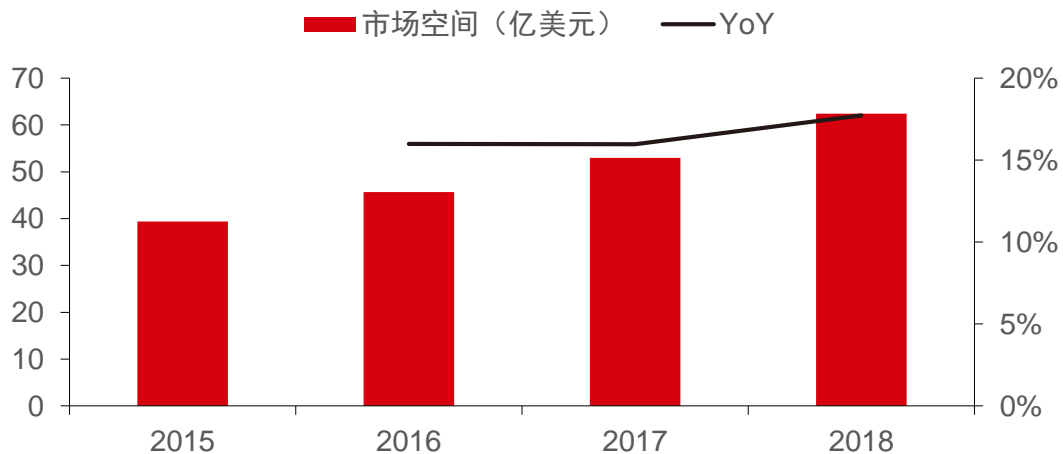
资料来源: Yole, 中信证券研究部

2019年IGBT的下游需求分布



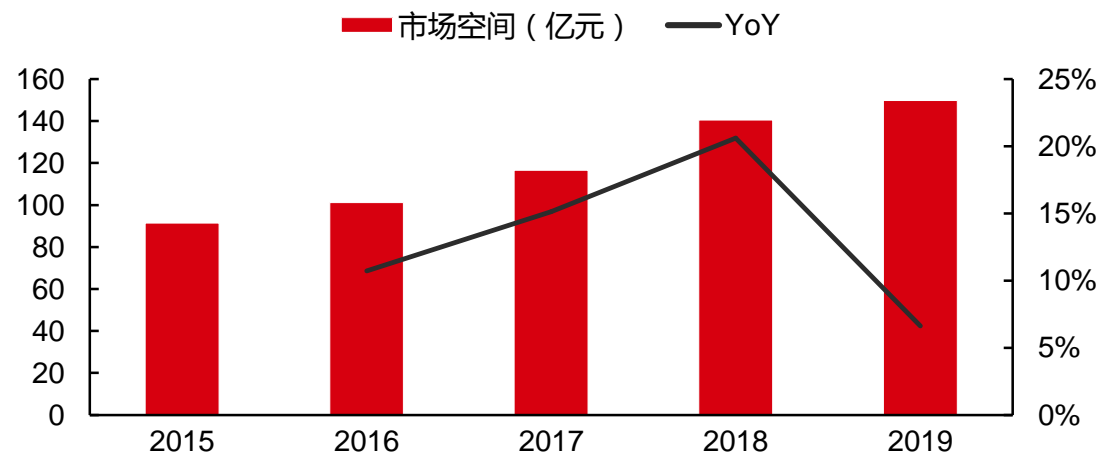
资料来源: 集邦咨询, 中信证券研究部

全球IGBT市场空间



资料来源: Yole, 中信证券研究部 注: 包括单管和模块

国内IGBT市场空间



资料来源: 高工研究院, 中信证券研究部

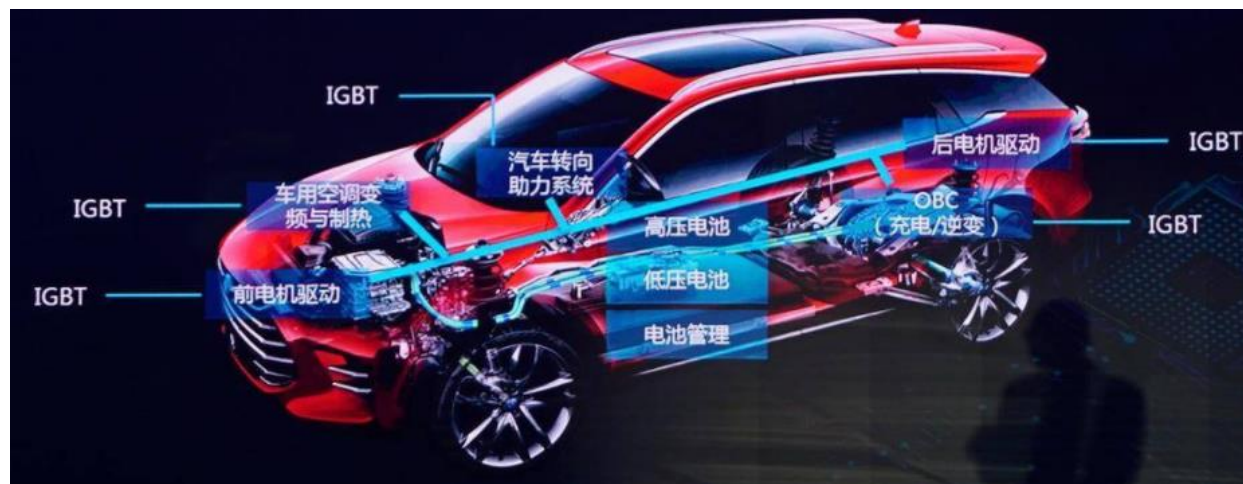
2.3 IGBT的单车价值量达到千元级别

典型电动车IGBT价值量

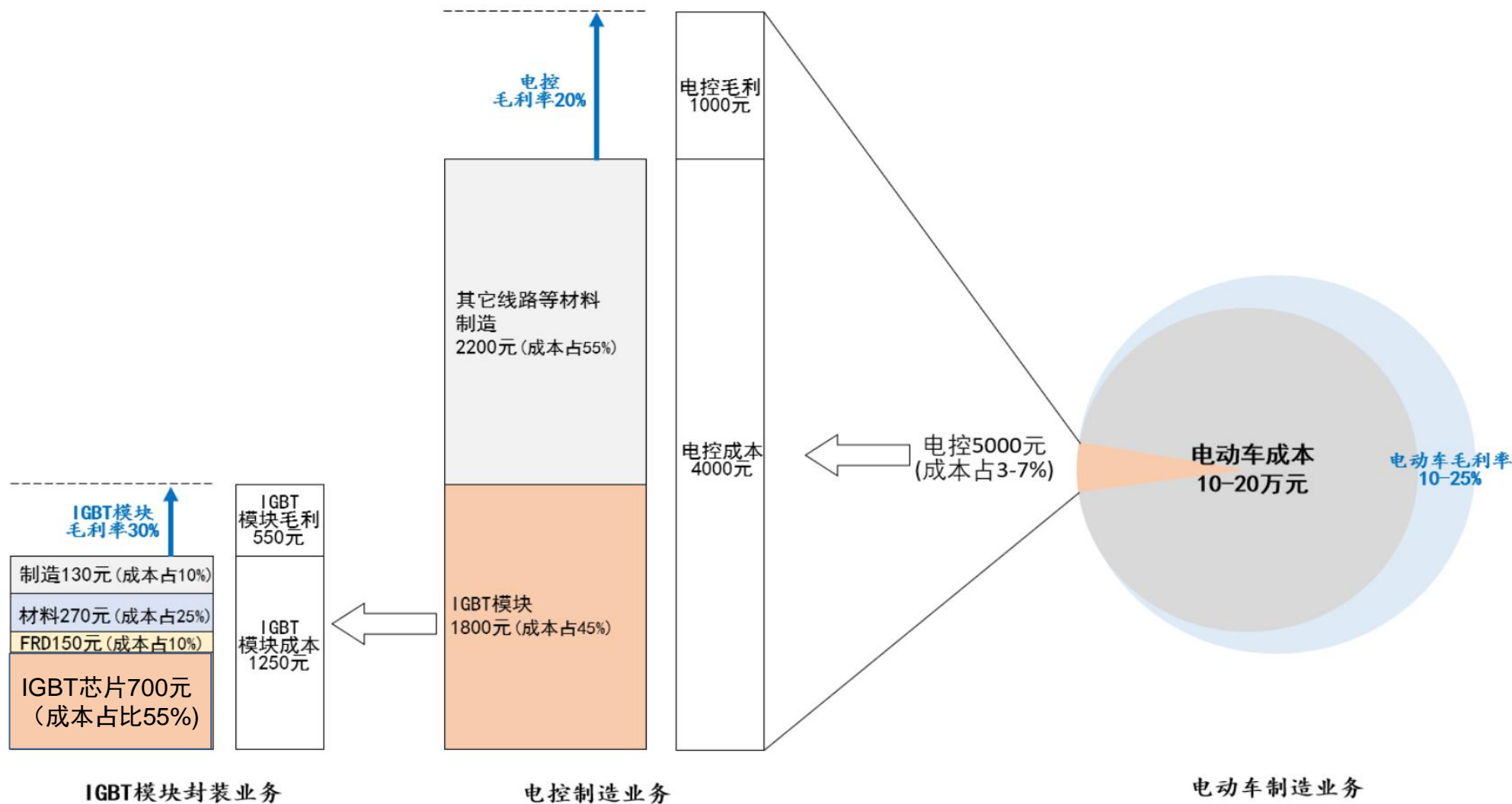
	举例	电机功率	(1) 电控用	(2) 空调与 电池热管理	(3) 充电系统	整体估算 IGBT价值
PHEV	比亚迪唐双电机	前110kw 后180kw	前电控、后电控 BSG伺服电机	有	有	4500-5000元
	比亚迪宋双电机	前110kw 后110kw	后电控 BSG伺服电机	有	有	2800-3000元
A00/A0级	某代步车	45kw	英飞凌、国产			600-1000元
A级以上	比亚迪宋pro纯电	120kw	前电控：1800元	有	有	2000-3000元
	特斯拉Model 3	后211kw	SiC的MOSFET			5500-6500元
豪华电动	特斯拉Model S	前193kw	IGBT			3500-4000元
	特斯拉Model X	后193kw	IGBT			4000-5000元
商用车	电动公交	75kw	预计三个			1500-2500元

资料来源：汽车之家，IHS，中信证券研究部估算 注：（1）估算值可能与实际存在一定差异（2）大巴车对IGBT器件体积要求低，因而单车价值量略低于高端纯电动车

比亚迪唐双电机插混车型全车三大部位（电控、热管理、充电）使用IGBT



2.4 电动车—电控—IGBT模块—IGBT晶圆的价值量分布



2.5 电动车IGBT市场空间测算：未来5年CAGR达30~40%

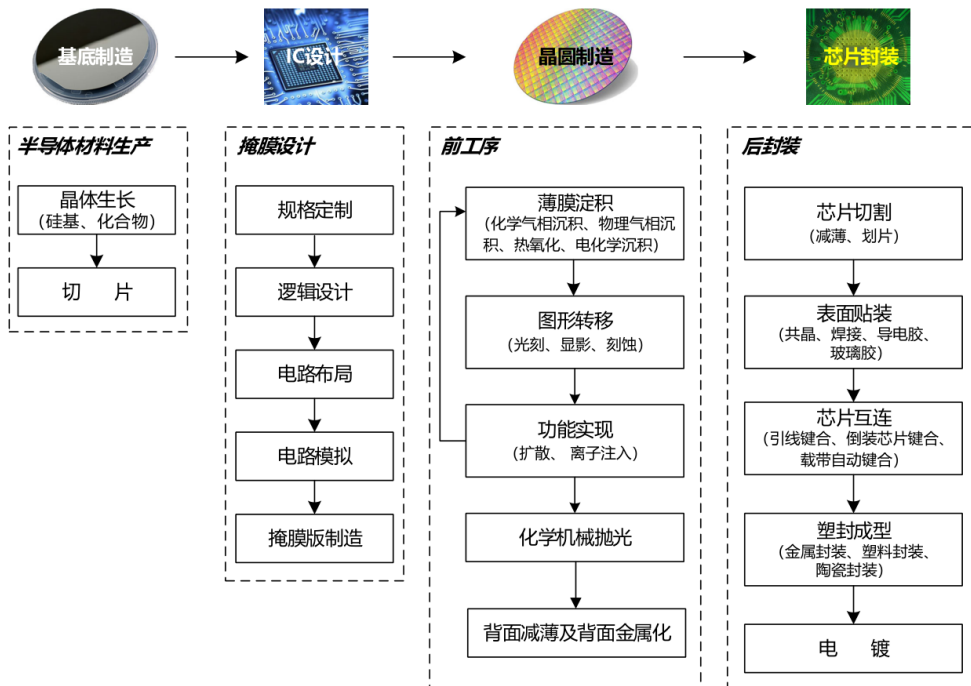
全球车用IGBT市场空间测算

			2017	2018	2019	2020	2021E	2022E		2025E
电动车销量 (万辆)	中国	EV乘用车	45	76	85	100	151	221		494
		A00/A0占比	76%	65%	42%	33%	25%	20%		15%
		PHEV乘用车	11	24	20	25	41	59		111
		中国乘用	56	100	106	125	192	280		605
		中国商用车	20	19	14	12	18	23		45
	海外	EV乘用车	34	61	80	120	189	239		556
		PHEV乘用车	33	39	43	56	78	99		224
		海外乘用	67	100	123	176	267	338		780
合计		142	220	243	313	477	641		1430	
单车价值量 (万元/辆)	A级以上EV		0.35							
	A00/A0级EV		0.08							
	PHEV		0.30							
	商用车		0.18							
			2017	2018	2019	2020	2021E	2022E		2025E
电动车IGBT 市场规模 (亿元)	中国	EV乘用车	7	13	20	26	43	65		153
		PHEV乘用车	3	7	6	8	12	18		33
		中国小计	10	21	26	33	55	83		186
		中国商用车	4	4	3	2	3	4		8
	海外	EV乘用车	12	21	28	42	66	84		195
		PHEV乘用车	10	12	13	17	23	30		67
		海外小计	22	33	41	59	90	113		262
	合计		35	57	70	94	148	200		456
YoY			63%	22%	35%	57%	35%		32%	

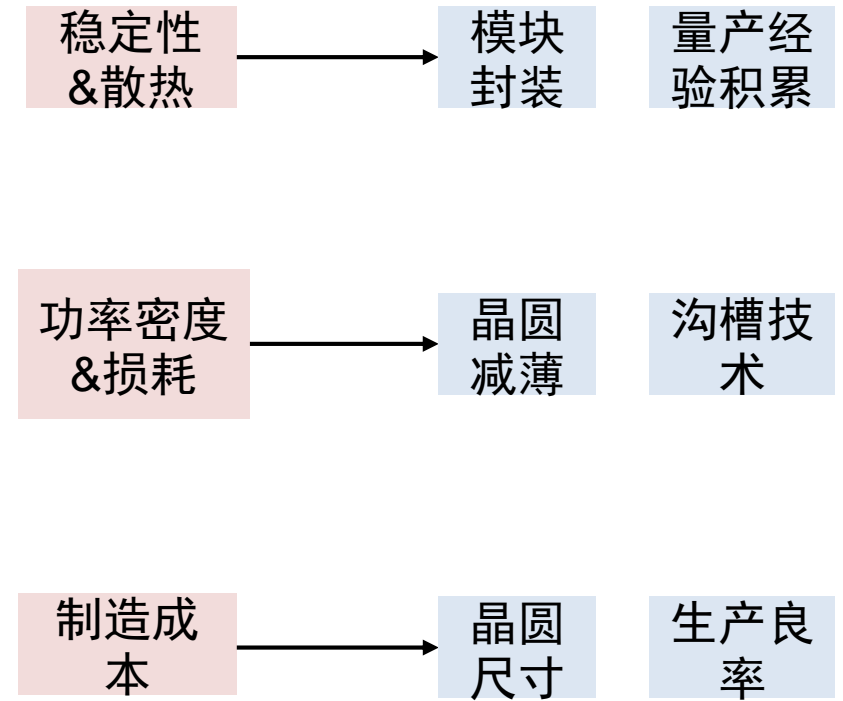
2.6 IGBT属于功率器件领域壁垒相对较高的细分赛道

- IGBT产业大致可分为芯片设计、晶圆制造、模块封装、下游应用四个环节，其中设计环节技术突破难度略高于其他功率器件，制造环节资本开支相对大同时更看重工艺开发，封装环节对产品可靠性要求高，应用环节客户验证周期长，综合看IGBT属于壁垒较高的细分赛道。

IGBT的加工流程



IGBT技术主要升级方向



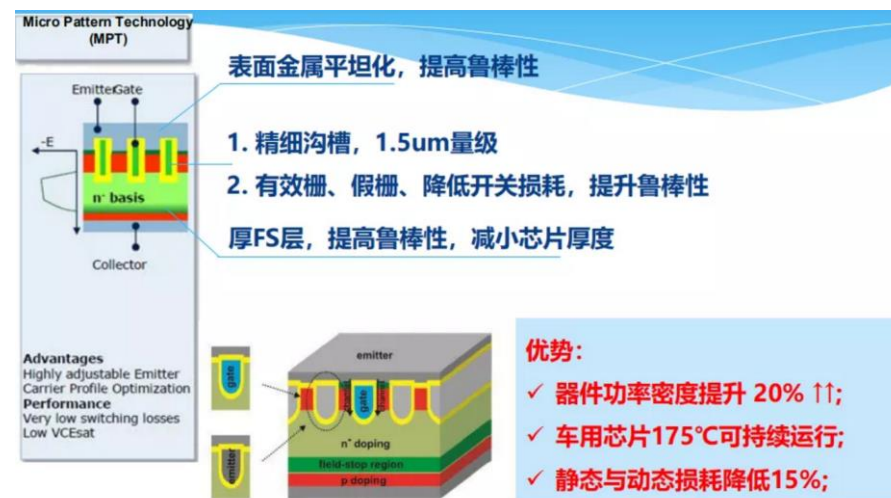
2.6.1 芯片设计：已迭代7代，核心是高功率密度和高稳定性

- IGBT 芯片由于其工作在大电流、高电压的环境下，对可靠性要求较高，同时芯片设计需保证开通关断、抗短路能力和导通压降（控制热量）三者处于均衡状态，芯片设计与参数调整优化十分特殊和复杂，因而对于新进入者而言研发门槛较高（**看重研发团队的设计经验**）

IGBT芯片结构升级

		技术名称及特点	
正面	Planar Gate平面栅	Trench Gate沟槽栅	高电流密度 (目前升级为 微沟槽)
	短路能力强、抗冲击、高鲁棒性		
		CSL,载流子扩展层,提高电流密度,降低导通压降	
背面	PT; 穿通型 ;	NPT; 非穿通型 ;	FS; 场截止型 ;
	最早期技术,已淘汰	降低开关损耗,高鲁棒性	芯片厚度变薄,开关损耗降低

典型车用IGBT芯片结构，看重稳定性（鲁棒性）



IGBT历代发展参数

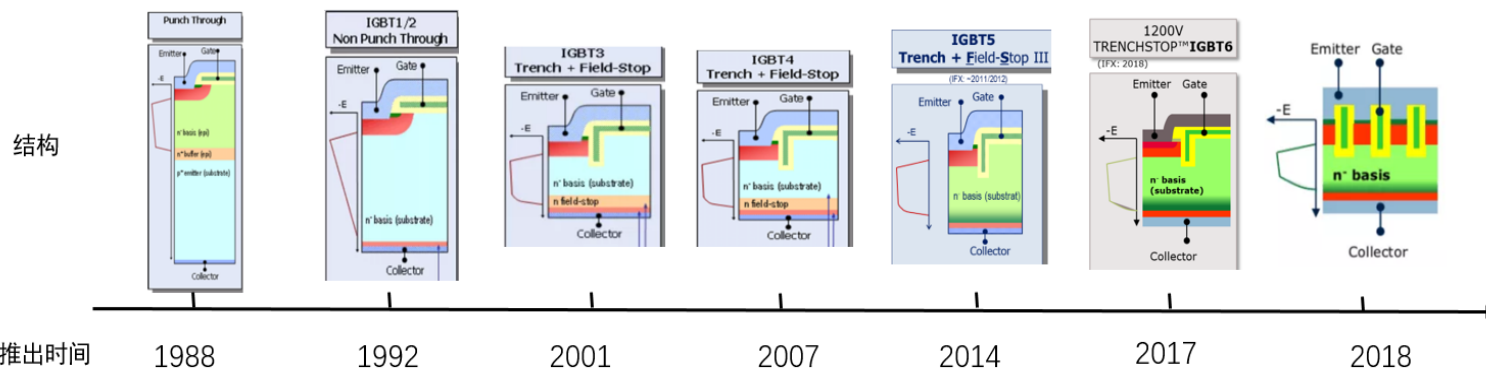
代别	技术特点	芯片面积 (相对值)	工艺线宽 (微米)	通态饱和压降 (伏)	关断时间 (微秒)	功率损耗 (相对值)	断态电压 (伏)	最早出现时间
1	平面穿通型 (PT)	100	5	3	0.5	100	600	1988
2	改进的平面穿通型 (PT)	56	5	2.8	0.3	74	600	1990
3	沟槽型 (Trench)	40	3	2	0.25	51	1200	1992
4	非穿通型 (NPT)	31	1	1.5	0.25	39	3300	1997
5	电场截止型 (FS)	27	0.5	1.3	0.19	33	4500	2001
6	沟槽型电场截止型 (FS-Trench)	24	0.3	1	0.15	29	6500	2003
7	微沟槽-场截止型	20	0.3	0.8	0.12	25	7000	2018

2.6.2 芯片设计：应用端迭代慢于研发端

- IGBT应用端迭代节奏慢于研发端，目前市场主流水平相当于英飞凌第4代。由于IGBT属于电力电子领域的核心元器件，客户在导入新一代IGBT产品时同样需经过较长的验证周期，且并非所有应用场景都追求极致性能，因此每一代IGBT芯片都拥有较长的生命周期。

英飞凌历代IGBT芯片情况梳理

	第一代	第二代	第三代	第四代	第五代	第六代	第七代
特征	穿通结构(NPT)	平面栅, 非穿通结构(NPT)	沟槽栅, 场截止结构	沟槽栅+场截止+薄晶圆	沟槽栅+场截止+表面覆盖铜	沟槽栅+场截止	微沟槽栅+场截止
性能	工艺复杂, 成本高, 不利于并联	低饱和压降, 可并联, 125°C工作结温, 高稳定性	低导通压降, 125°C工作结温 (600V器件为150°C), 开关性能优化	高开关频率, 优化开关软度, 150°C工作结温	175°C工作结温, 1.5V饱和电压, 输出电流能力提升30%	175°C过载结温, dv/dt可控	175°C过载结温, dv/dt可控
应用情况	1990S被NPT取代, 目前完全退出市场	少量应用高频开关的产品仍大量销售	中低压领域已被IGBT4替代, 高压领域仍占据主导地位	目前应用最广泛的IGBT品类	IGBT4 针对大功率需求的优化版本, 应用场景包括动力牵引、风电等	IGBT4 针对快速开关需求的优化版本, 应用场景包括电磁炉等	IGBT4的全面升级版, 尚未大规模应用



2.6.3 晶圆制造：背板减薄、激光退火、离子注入是难点

- IGBT制造的三大难点：背板减薄、激光退火、离子注入
- IGBT的正面工艺和标准BCD的LDMOS区别不大，但背面工艺要求严苛（为了实现大功率化）。具体来说，背面工艺是在基于已完成正面Device和金属Al层的基础上，将硅片通过机械减薄或特殊减薄工艺（如Taiko、Temporary Bonding 技术）进行减薄处理，然后对减薄硅片进行背面离子注入，在此过程中还引入了激光退火技术来精确控制硅片面的能量密度。
- 特定耐压指标的IGBT器件，芯片厚度需要减薄到100-200 μm ，对于要求较高的器件，甚至需要减薄到60~80 μm 。当硅片厚度减到100-200 μm 的量级，后续的加工处理非常困难，硅片极易破碎和翘曲。
- 从8寸到12寸有两个关键门槛：
 - 芯片厚度从120微米降低到80微米，翘曲现象更严重
 - 背面高能离子注入（氢离子注入），容易导致裂片，对设备和工艺要求更高

IGBT芯片制造流程



资料来源：《一种IGBT芯片的剖析》，薛华虎

2.6.4 模块封装：散热和可靠性是关键

- **IGBT模块重视散热及可靠性，封装环节附加值高。** IGBT模块在实际应用中高度重视散热性能及产品可靠性，对模块封装提出了更高要求。此外，不同下游应用对封装技术要求存在差异，其中车规级由于工作温度高同时还需考虑强振动条件，其封装要求高于工业级和消费级。

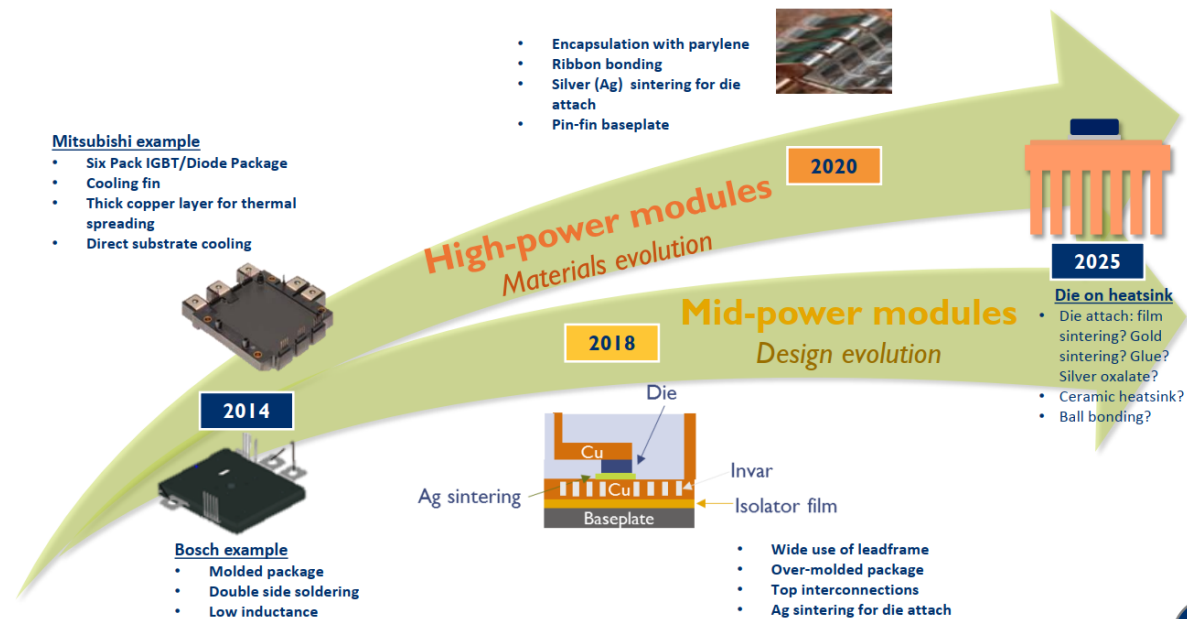
各应用场景IGBT参数对比

参数要求	消费类	工业级	汽车级
温度	-20°C-70°C	-40°C-85°C	-40°C-125°C
温度	低	根据使用环境确定	0°C-100°C
验证	JESD27(chips) ISO16750(modules)	JESD47(chips) ISO16750(modules)	AEC-Q100(chips) ISO16750(modules)
出错率	<3%	<1%	0
使用时间	1-3年	5-10年	15年
供货时间	高至2年	高至5年	高至30年
工艺处理	防水处理	防水、防潮、防腐、防霉变处理	增强封装设计和散热处理
电路设计	防雷设计、短路保护、热保护等	多级防雷设计、双变压器设计、抗干扰设计、短路保护、热保护、超高压保护等	多级防雷设计、双变压器设计、抗干扰设计、多重短路保护、多重热保护、超高压保护等
系统成本	线路板一体化设计。价格低廉但维护费用较高	积木式结构，每个电路均带有自检功能，造价稍高但维护费用低	积木式结构，每个电路均带有自检功能并增强了散热处理，造价较高但维护费用也高

2.6.5 模块封装：散热和可靠性是关键

- 设计优化、材料升级是封装技术进化的两个维度。
- 设计升级方面主要是：1) 采用聚对二甲苯进行封装。聚对二甲苯具有极其优良的导电性能、耐热性、耐候性和化学稳定性。2) 采用低温银烧结和瞬态液相扩散焊接。在焊接工艺方面，低温银烧结技术、瞬态液相扩散焊接与传统的锡铅合金焊接相比，导热性、耐热性更好，可靠性更高。
- 材料升级方面主要是：1) 通过使用新的焊材，例如薄膜烧结、金烧结、胶水或甚至草酸银，来提升散热性能；2) 通过使用陶瓷散热片来增加散热性能；3) 通过使用球形键合来提升散热性能。

IGBT模块技术路线图



2.7 竞争格局：英飞凌及日厂领先，国内斯达位居第一

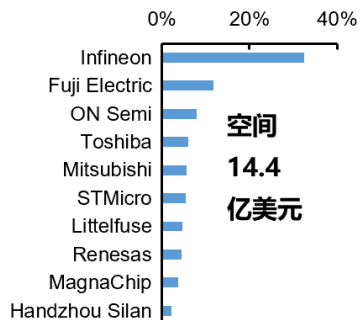
全球IGBT主要制造商



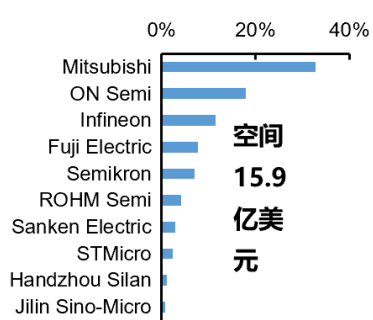
资料来源：Yole, 中信证券研究部

全球IGBT市场份额分布

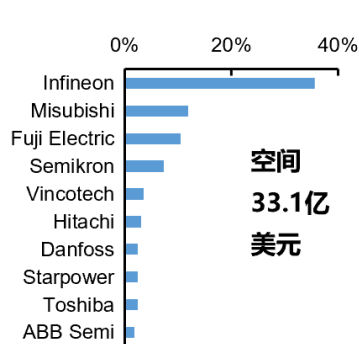
2019年IGBT分离器件市场份额



2019年IPM（主要是家电）市场份额



2019年IGBT模组市场份额



资料来源：英飞凌财报

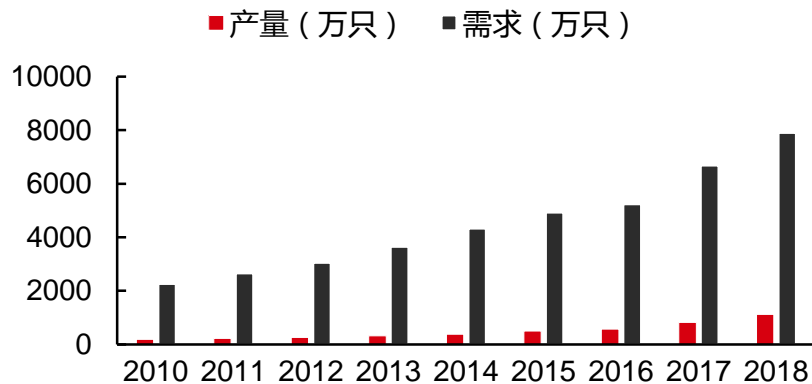
IGBT制造商排名——根据电压，2017年

电压等级	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5
400 V and less	ON	Infineon	TOSHIBA	ST	ROHM
600-650 V	Infineon	ON	MITSUBISHI	Fuji Electric	ST
1,200 V	Infineon	MITSUBISHI	Fuji Electric	ON	ST
1,700V	Infineon	MITSUBISHI	Fuji Electric	HITACHI	IXYS
2,500-3,300 V	MITSUBISHI	Fuji Electric	Infineon	HITACHI	ABB
4,500 V and more	MITSUBISHI	ABB	HITACHI	Infineon	中国中车 CRRC

资料来源：Yole, 中信证券研究部

2.8 自主可控需求驱动，国内IGBT产业加速追赶

国内IGBT自给率不足15%



资料来源：工信部，中信证券研究部

2017年工信部推出“工业强基IGBT器件一条龙应用计划”

产业链环节	新能源汽车用IGBT	智能电网用IGBT	轨道交通用IGBT
上游材料	/	江阴市赛英电子	合肥圣达电子科技
IGBT设计、芯片制造、模块生产及IDM	上海道之科技（斯达半导）	南京南瑞集团	株洲中车时代
生产设备制造	上海微电子装备（集团）	上海微电子装备（集团）	上海凯世通半导体
下游应用的配套器件	江铃汽车	/	/

资料来源：工信部，中信证券研究部

部分主要IGBT产业链企业布局图（橙色表示已有布局）

	原材料供应链	设计电路图	晶圆制造	模组封装模块制造
国内	比亚迪			
	中车时代			
	华虹半导体			
	上海先进			
	士兰微			
	华润微			
	华微电子			
	扬杰科技			
	宏微科技			
	斯达半导			
汇川技术				
海外巨头	英威腾			
	英飞凌			
	三菱			
	富士			

资料来源：公司公告，公司招股说明书，英飞凌财报，IHS，中信证券研究部

中国大陆主要IGBT厂商对比

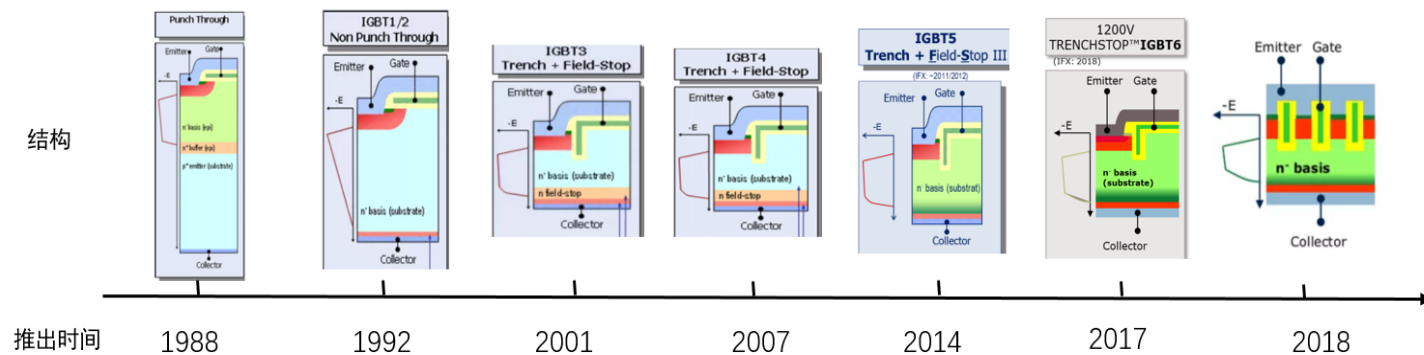
	2019年IGBT业务体量（亿元）	商业模式	下游
斯达半导	7.8	Fabless（目前布局晶圆产线）	工控（75%）、电动车（20%）、变频家电（4%）、新能源发电（1%）
中车时代电气	3~5	IDM	轨交为主，还包括新能源发电和电动车等
比亚迪半导体	3~5	IDM	电动车为主，还包括工控等
宏微科技	2.6	Fabless	工控为主，还包括充电桩、新能源发电等
士兰微	1~2	IDM	变频家电、工控为主
华润微	~1	IDM	工控为主

资料来源：产业调研，中信证券研究部

2.9 竞争格局：车规IGBT领域，斯达、比亚迪等率先突围

英飞凌历代IGBT芯片情况梳理（本土厂商正积极追赶）

	第一代	第二代	第三代	第四代	第五代	第六代	第七代
特征	穿通结构(NPT)	平面栅，非穿通结构(NPT)	沟槽栅，场截止结构	沟槽栅+场截止+薄晶圆	沟槽栅+场截止+表面覆盖铜	沟槽栅+场截止	微沟槽栅+场截止
性能	工艺复杂，成本高，不利于并联	低饱和压降，可并联，125°C工作结温，高稳定性	低导通压降，125°C工作结温（600V器件为150°C），开关性能优化	高开关频率，优化开关软度，150°C工作结温	175°C工作结温，1.5V饱和电压，输出电流能力提升30%	175°C过载结温，dv/dt可控	175°C过载结温，dv/dt可控
应用情况	1990S被NPT取代，目前完全退出市场	少量应用高频开关的产品仍大量销售	中低压领域已被IGBT4替代，高压领域仍占据主导地位	目前应用最广泛的IGBT品类	IGBT4 针对大功率需求的优化版本，应用场景包括动力牵引、风电等	IGBT4 针对快速开关需求的优化版本，应用场景包括电磁炉等	IGBT4的全面升级版，尚未大规模应用



资料来源：飞凌工业半导体微信公众号，产业调研，中信证券研究部

中国电动乘用车2019年IGBT配套份额

排名	公司	配套量(万套)	市场份额
1	英飞凌	62.8	52%
2	比亚迪微电子	19.4	16%
3	斯达	16	13%
4	三菱电机	5.6	5%
5	赛米控	3.3	3%
6	电装	1.7	1%
7	法雷奥	1.4	1%
8	德尔福	1	1%
9	中车时代	0.8	1%
10	东芝	0.3	0%
其它		7.8	7%
合计		120	100%

资料来源：NE时代，产业调研，中信证券研究部

2.10 汽车芯片缺货背景下，IGBT迎来国产替代加速机遇

国内经销渠道口径的各厂商IGBT交货周期（单位：周）

	17Q2	17Q3	17Q4	18Q2	18Q3	18Q4	19Q1	19Q2	19Q3	19Q4	20Q1	20Q2	20Q3	20Q4	21Q1	21Q2
On Smei	16-18&40	16-18&40	20-24&40	20-24&52	20-24&52	33-52	33-52	22-40	22-40	8-26	13-26	13-20	13-20	13-20	18-26	26-36
Infineon	18-22	18-22	18-24	26-39	26-39	39-52	39-52	20-30	20-26	8-26	22-30	22-30	18-20	18-20	18-26	26-36
Microsemi	18-20	18-20	18-20	20-26	20-26	36-44	36-44	36-44	20-26	20-26	25-30	25-30	18-20	18-20	22-32	26-40
IXYS	18-20	18-20	18-20	20-26	20-26	36-44	36-44	36-44	36-44	17-27	22-30	26-30	26-30	26-30	26-30	26-30
ST	24-26	34-38	34-38	50	50	50	44-50	44-50	30-32	44-50	17-25	16-20	16-20	14-18	18-24	24-30

资料来源：富昌电子，中信证券研究部 注：橙色表示交期延长，蓝色表示交期缩短

国内经销渠道口径的各厂商高压MOSFET交货周期（单位：周）

	17Q2	17Q3	17Q4	18Q2	18Q3	18Q4	19Q1	19Q2	19Q3	19Q4	20Q1	20Q2	20Q3	20Q4	21Q1	21Q2
Fairchild(On Sem)	14-16	16-18	16-18	16-26	16-26	16-26	36-44	26-36	20-26	10-18	15-22	15-22	16-26	16-26	18-32	26-36
Infineon	15-17	15-17	16-20	22-26	22-26	22-26	39-52	26-36	20-26	16-26	21-26	24-28	18-20	18-20	18-22	26-40
IXYS	17-19	17-19	17-19	20-26	20-26	20-26	36-44	36-44	30-36	17-27	22-30	26-30	26-30	26-30	26-30	26-36
Microsemi	18-20	18-20	20-24	24-28	24-28	24-28	26-40	26-40	20-24	20-24	25-30	25-30	20-22	20-22	30-37	30-40
Rohm	20-22	20-26	20-26	36-40	36-40	36-40	36-40	26-36	24-28	14-16	18-22	20-26	16-20	14-18	18-26	20-26
ST	18-20	26-36	30-38	38-42	38-42	38-42	38-44	38-50	26-36	18-22	19-24	18-30	12-18	12-18	14-26	22-30
Vishay	15-17	20-25	20-25	26-44	26-44	26-44	39-44	16-20&40	24-28	10-12	15-17	15-17	15-17	15-17	16-20	20-26

资料来源：富昌电子，中信证券研究部 注：橙色表示交期延长，蓝色表示交期缩短

国内经销渠道口径的各厂商低压MOSFET交货周期（单位：周）

	17Q2	17Q3	17Q4	18Q2	18Q3	18Q4	19Q1	19Q2	19Q3	19Q4	20Q1	20Q2	20Q3	20Q4	21Q1	21Q2
DIODES	10-12	14-16	16-18	26-40	26-40	26-40	32-40	32-40	32-40	16-20	21-25	21-25	17-22	17-22	17-22	22-30
Fairchild(On Semi)	14-16	16-26	16-26	24-42	24-42	26-40	26-40	24-40	20-26	10-24	15-24	15-24	12-16	12-16	16-34	26-52
Infineon	15-20	15-20	16-24	26-38	26-38	39-52	39-52	36-50	24-28	10-30	15-30	15-30	15-30	15-30	16-39	26-52
Nexperia	20-26	20-26	20-26	24-30	24-30	24-30	36-52	27-36	24-28	8-18	12-20	26-30	10-12	10-12	12-26	22-52
On Smei	20-24	26-30	26-30	30-42	30-42	30-42	39-52	22-36	16-22	8-16	13-20	13-20	8-16	8-16	18-30	26-52
ST	16-18	24-28	28-38	38-42	38-42	38-42	38-42	33-44	16-24	12-30	17-30	24-30	14-26	14-26	18-26	30-52
Vishay	15-17	20-25	20-25	26-44	26-44	26-44	33-50	36-44	20-26	12-24	17-22	14-20	12-16	12-16	14-16	22-26

资料来源：富昌电子，中信证券研究部 注：橙色表示交期延长，蓝色表示交期缩短

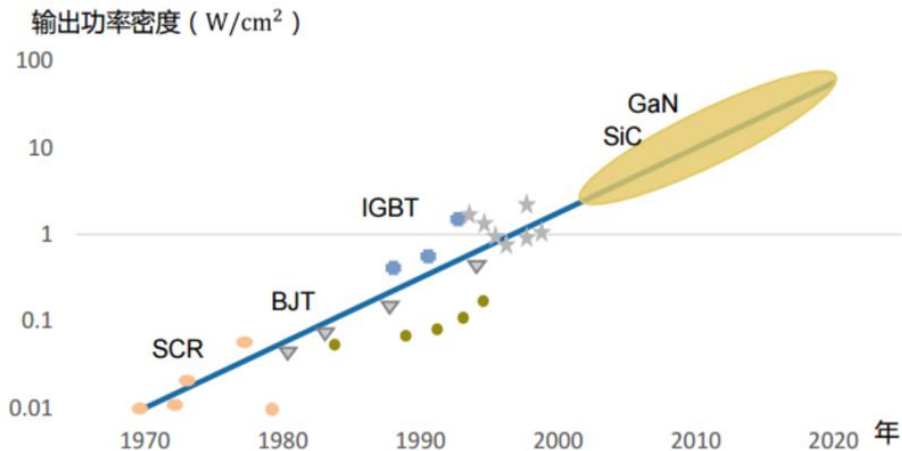
CONTENTS

目录

1. 为什么要关注汽车功率半导体？
2. 当前关注的重点细分赛道是？
3. 未来产业发展新趋势是？

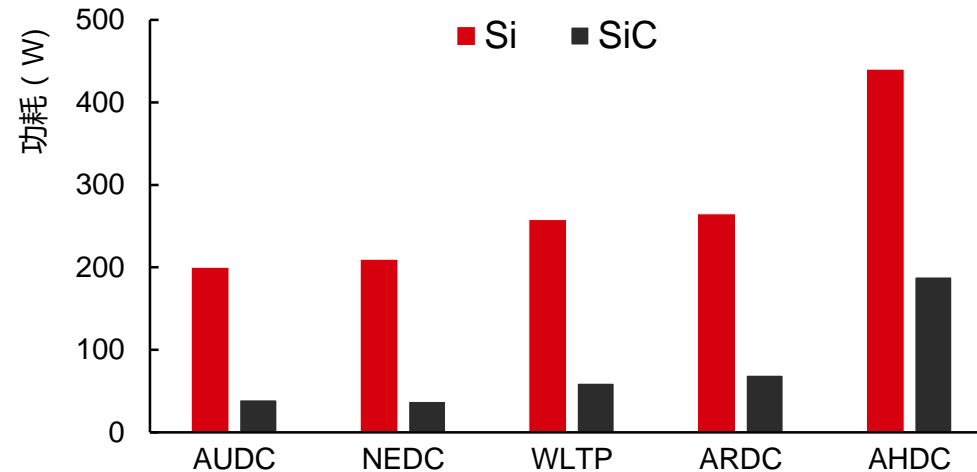
3.1 SiC具有性能优势：降低损耗、小型化、耐高温高压

各代半导体材料物理性质



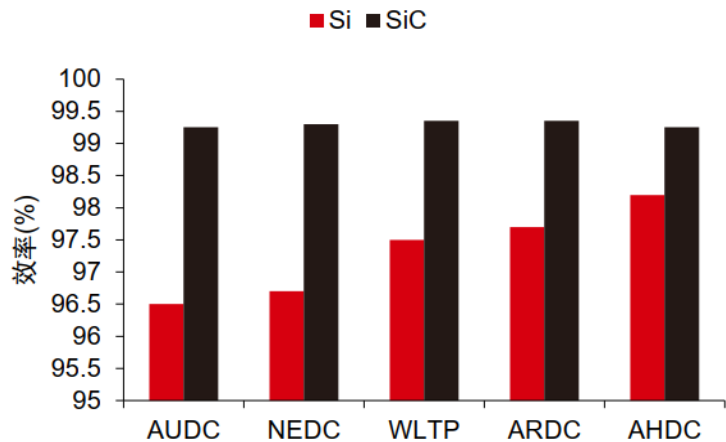
资料来源：应用电力电子学会议和产品展示会（APEC），中信证券研究部

不同工况测试下SiC-MOFET和Si-IGBT功耗对比



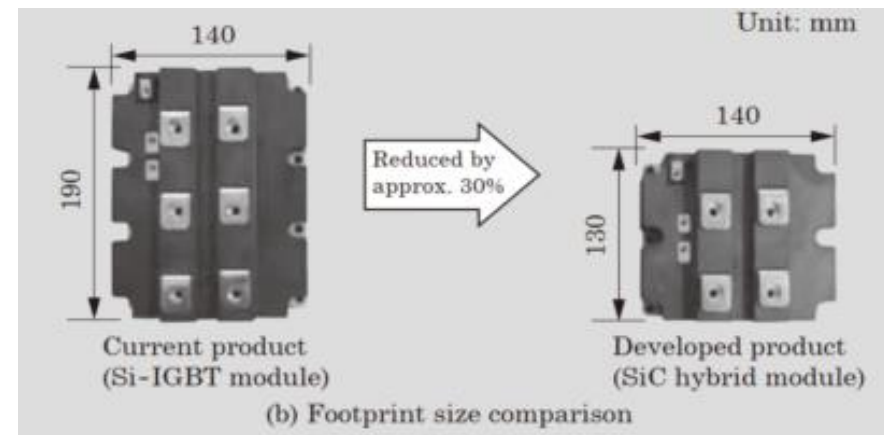
资料来源：《Benefits of new CoolSiCTM MOSFET in HybridPACKTM Drive package for electrical drive train applications》（Waldemar Jakobi etc.），中信证券研究部

不同工况测试下SiC-MOFET和Si-IGBT效率对比



资料来源：《Benefits of new CoolSiCTM MOSFET in HybridPACKTM Drive package for electrical drive train applications》（Waldemar Jakobi etc.），中信证券研究部

SiC混合模块与Si基IGBT模块对比

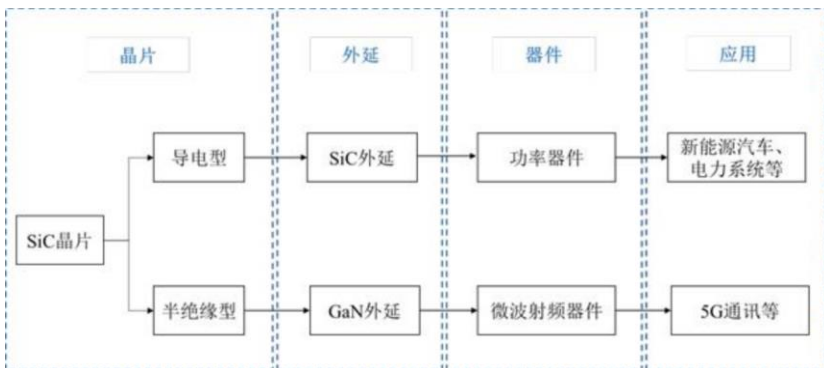


资料来源：富士电机

3.2 应用场景：导电型SiC主要应用于中高压功率器件

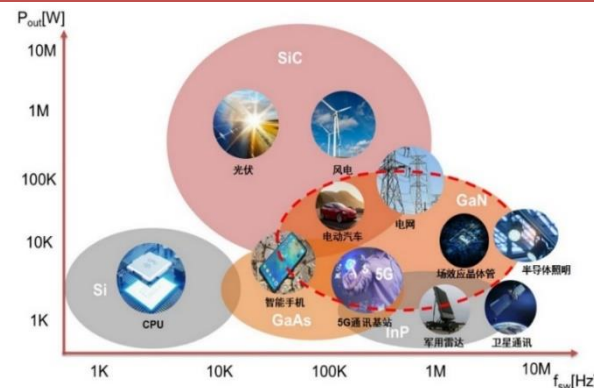
- 目前 SiC 功率器件主要定位于功率在 1kw-500kw 之间、工作频率在 10KHz-100MHz 之间的场景，特别是一些对于能量效率和空间尺寸要求较高的应用。

基于SiC衬底的两类应用



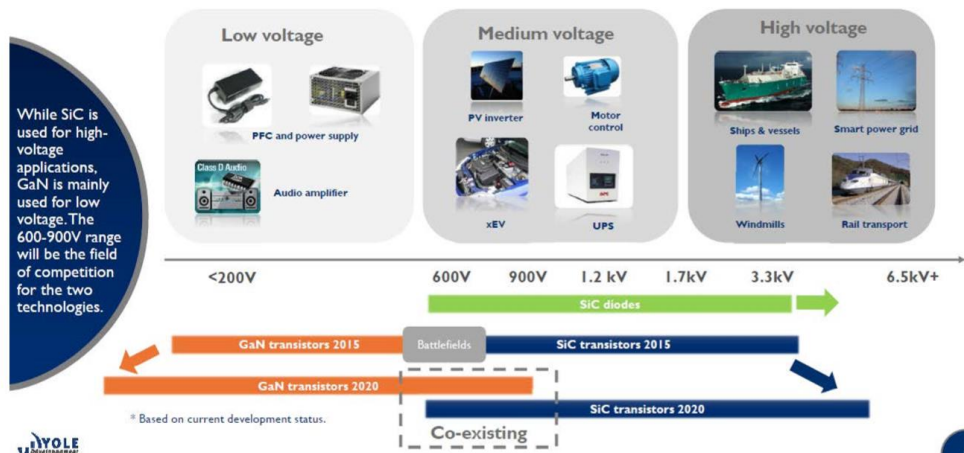
资料来源：天科合达招股说明书

各代半导体材料适用场景



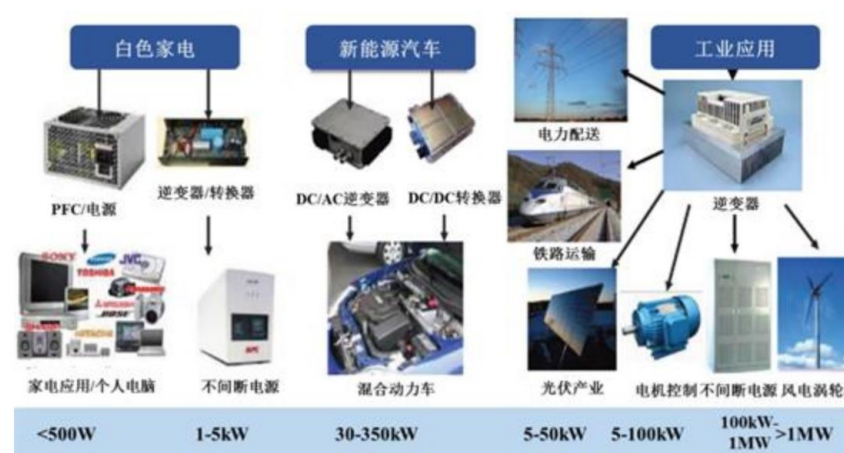
资料来源：天科合达招股说明书

SiC SBD（肖特基二极管）的耐压分布



资料来源：Yole

SiC功率器件应用领域

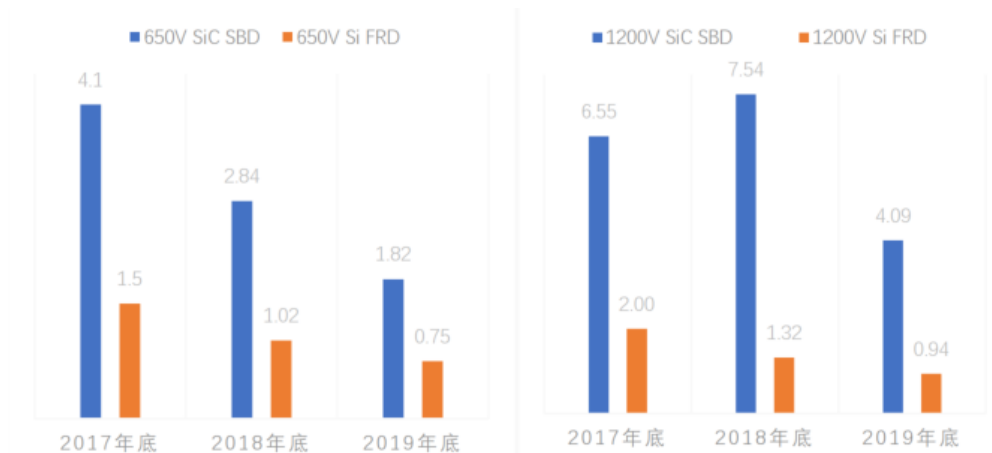


资料来源：Yole，中信证券研究部

3.3 行业痛点：价格远高于Si基器件，目前仍处于普及初期

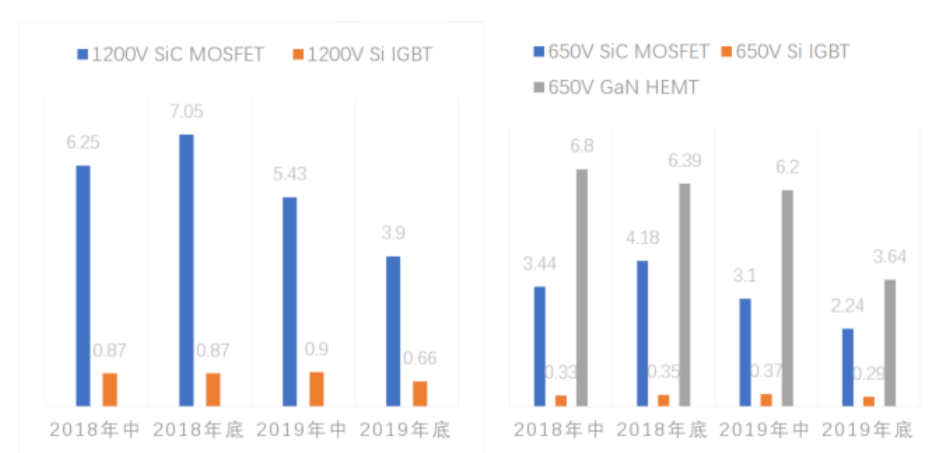
- 尽管1990s SiC衬底就已经实现产业化，但可靠性和高成本限制了行业普及
- SiC功率器件成本远高于Si基功率器件，成本降低驱动逐步渗透：
 - SiC 二极管：应用相对容易，和 Si 基产品价格差在3~5倍（650V价格差距小于1200V产品）。在比特币的蚂蚁挖矿机的电源中有批量的商业应用，在高效能的(数据中心)电源、PV、充电桩中已有不少应用。
 - SiC MOSFET：应用相对较难（如过快的开关带来高 dv/dt 问题），和 Si基产品价格差在6~8倍（1200V产品价格差小于650V产品），在 PV 逆变器、充电桩、电动汽车充电与驱动、电力电子变压器等逐步开始应用。

SiC SBD与Si SBD的平均价格（元/A）



资料来源：CASA, Mouser

SiC MOSFET与Si IGBT的平均价格（元/A）

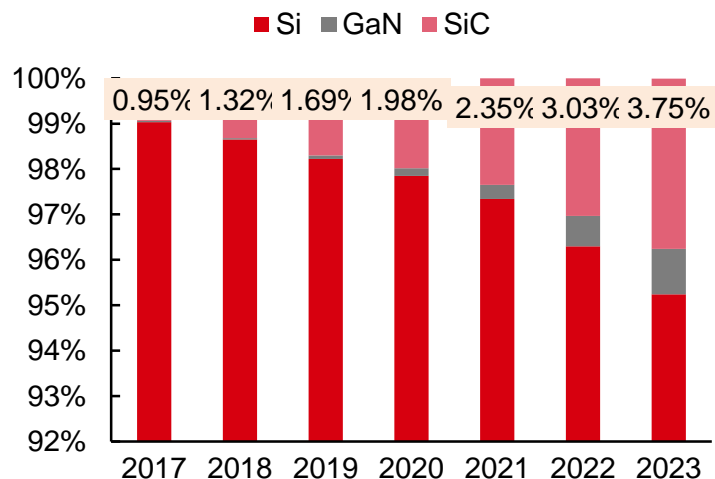


资料来源：CASA, Mouser

3.4 空间：18年SiC器件需求约4亿\$，预计10年35倍扩张

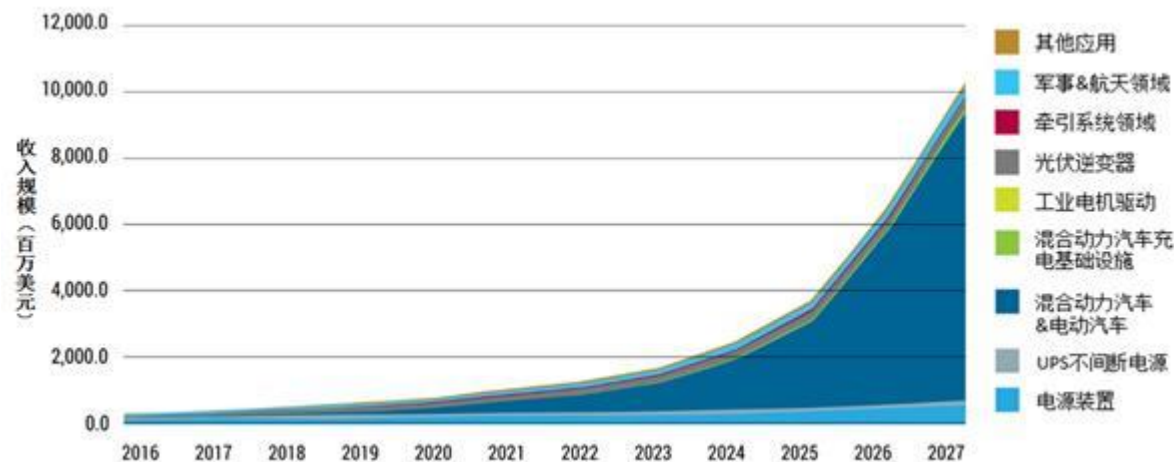
- 根据Omdia数据，2018年碳化硅功率器件市场规模约3.9亿美元。预计到2027年碳化硅功率器件的市场规模将超过**100亿美元**，**对应9年CAGR为43%**。驱动力包括：
 - 需求端：1) 特斯拉引领下，新能源汽车逐步开始使用SiC MOSFET，拉动庞大需求（我们预计是最大也是最重要的市场），2) 电力设备等领域的带动
 - 供给端：1) 产品技术升级，SiC衬底尺寸从4寸转向6寸，再向8寸升级；2) 产能扩张后产生规模效应。

SiC在功率器件领域的渗透情况



资料来源：CASA（含预测），中信证券研究部

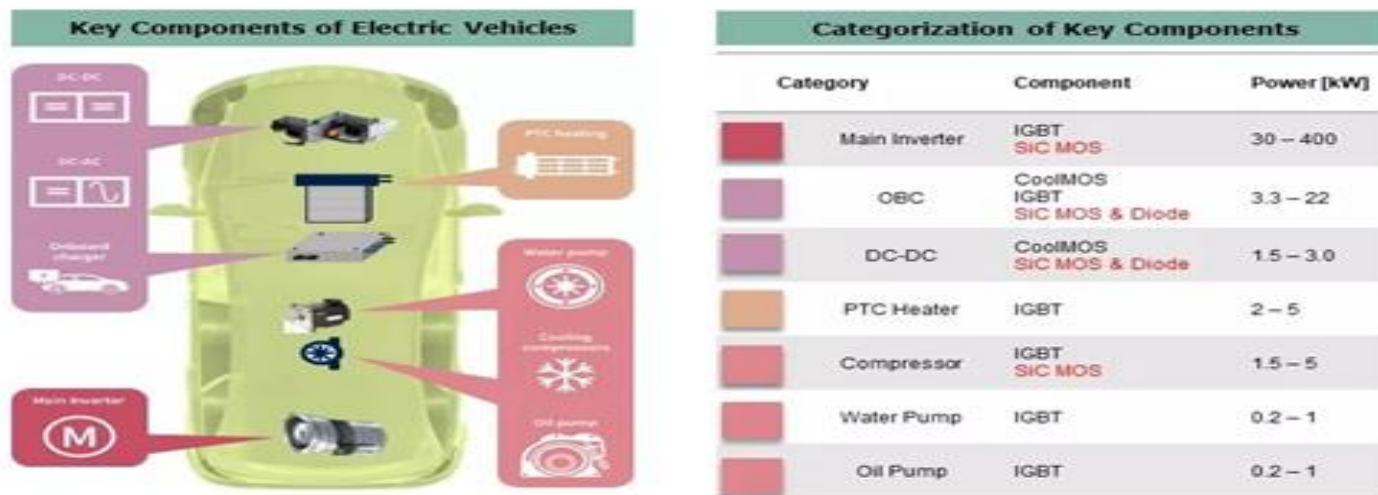
全球SiC功率器件市场规模（单位：亿美元）



资料来源：Omdia（含预测），中信证券研究部

3.5 电动车：电控、OBC、DC-DC等多部位可升级为SiC

SiC材料器件在新能源汽车上的应用部位



资料来源：英飞凌工业半导体微信公众号

电动车不同部位对于SiC器件的要求

应用领域		器件种类	电压	电流
OBC		SiC SBD、SiC MOSFET	650V~1200V	≥20A
DC/DC		SiC SBD、SiC MOSFET	650V~1200V	≥20A
电驱动	乘用车	SiC MOSFET	650V~1200V	≥100A
	商用车	SiC MOSFET	1200V~1700V	≥100A

资料来源：英飞凌，CASA

SiC在汽车中的应用趋势（逆变器认证要求最高）

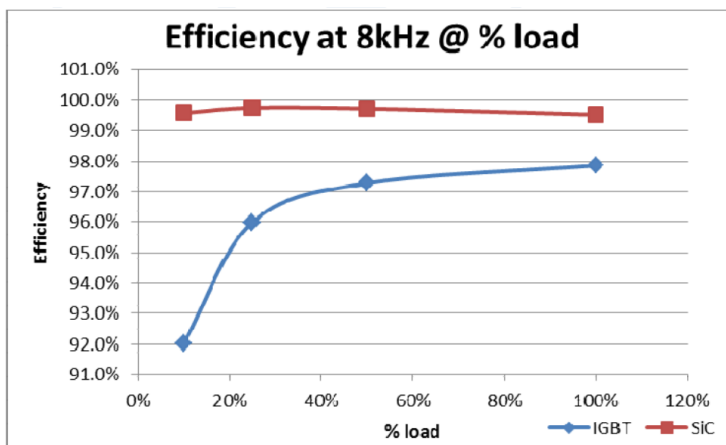


资料来源：Rohm

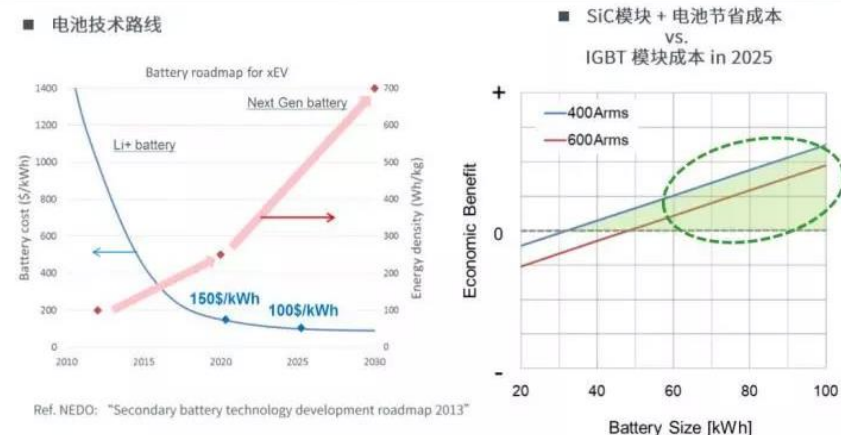
3.6 电动车：SiC优点在于可降低综合成本

- 直接成本增加：在逆变器中用SiC MOS替换IGBT，会增加约1~200美金的器件成本。
- 其他成本降低：1) SiC 可使控制器效率提升 2%~8，进而降低电池成本。根据CASA，电动车每百公里电耗减少1kWh，电池成本节约1500元（反之，同样的电池成本续航能力更强）。2) 由于高频特性，配套的变压器、电感等磁性元件成本降低（电感成本与频率成反比）。3) 逆变器体积减小，降低其他材料成本。4) 低功耗、高工作结温降低散热要求。
- 电池容量更大的高端车型或电动大巴车，更容易率先引入SiC MOSFET。

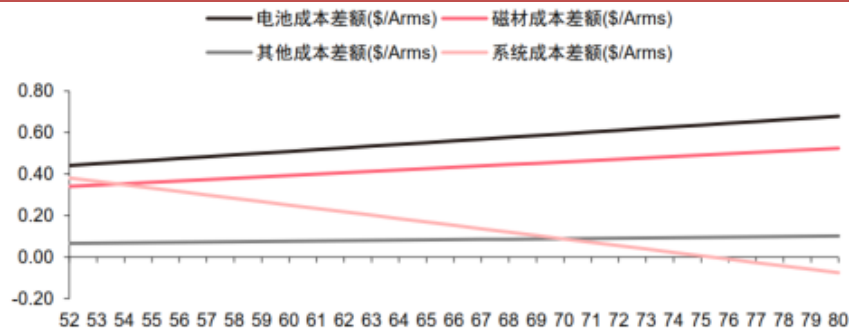
Si IGBT 和 SiC MOSFET 控制器效率对比



SiC与Si逆变器的经济收益



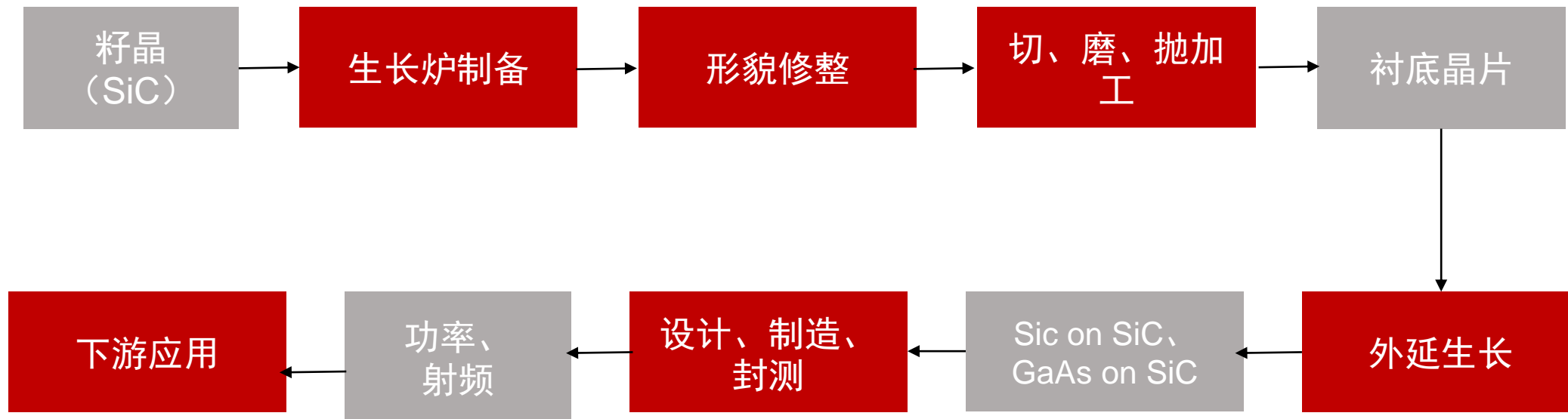
当电池容量达到75kWh，使用SiC MOS在系统单位成本上可获得正向经济性



3.7 产业链条：关键为衬底+外延，约占器件成本的70%

- 制备需多道工艺，其中衬底和外延生长最关键。SiC器件的制备过程为：将SiC籽晶置于生长炉中制备晶体，通过切磨抛数道工序将其加工成SiC晶片作为衬底，后续在衬底基础上生长SiC外延或是GaN外延，最终经历IC设计、制造、封测三个环节形成相应器件。

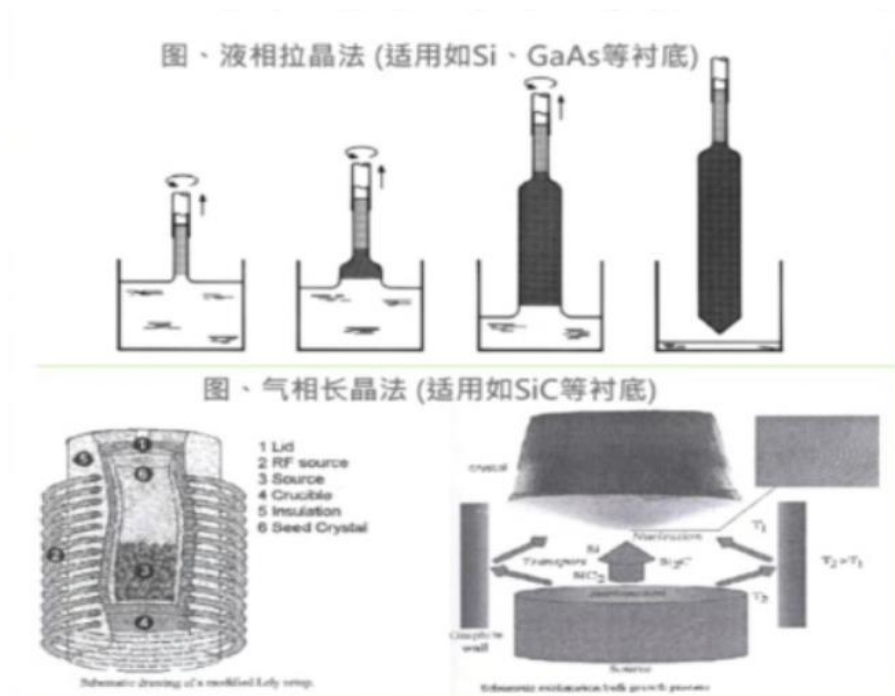
第三代半导体制备流程



3.7 产业链条：关键为衬底+外延，约占器件成本的70%

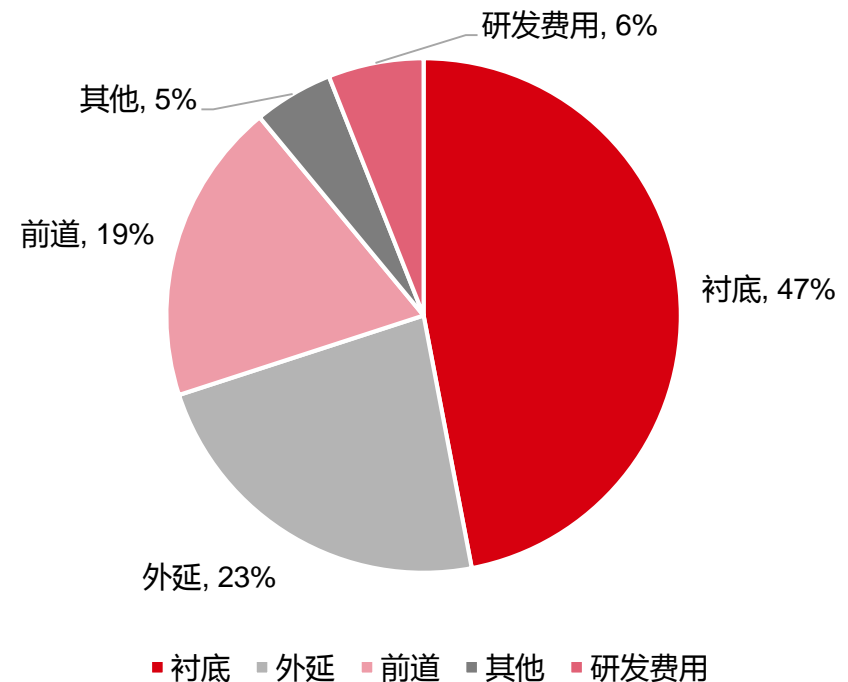
- 衬底制备难度最高，叠加外延后构成70%器件成本。SiC衬底的长晶温度需要2500°C，高温下的热场控制和均匀度控制难度极高，非平衡态合成过程容易产生晶体缺陷，同时其制备过程缓慢（主流气相法需要3-4天），进而导致衬底的制备困难且高成本，衬底（47%）和外延（23%）占器件总价值的70%。

半导体衬底制备方法



资料来源：《半导体衬底制备方法》（三星电机）

2019年 SiC器件成本构成



资料来源：CASA，中信证券研究部

3.8 产业格局：西方垄断衬底市场，Cree处于领先地位

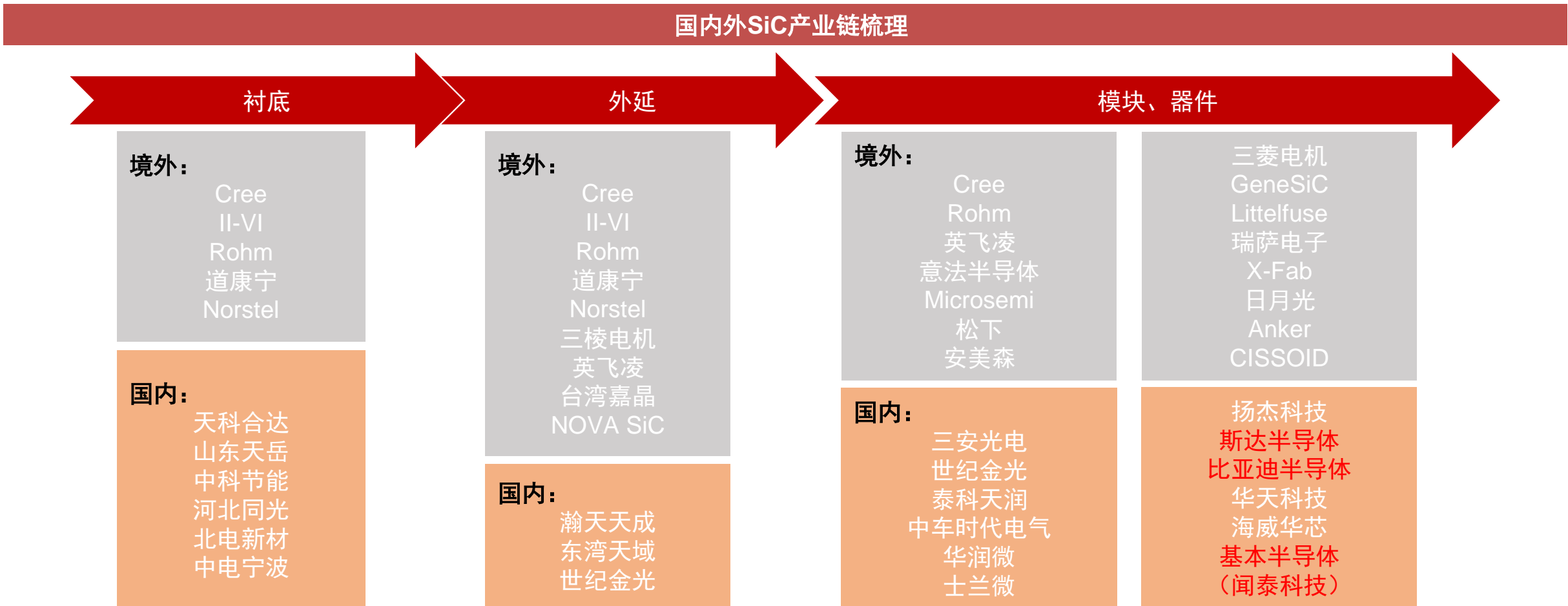
- **Cree、II-VI及Rohm在SiC衬底领域居于领先地位。** Cree、II-VI、Rohm为衬底研发及生产最早的企业，目前其工艺已普遍转为6英寸晶片生产和8英寸研制工作，而国内厂商则以4英寸生产为主，6英寸技术尚未规模化生产。衬底尺寸提升可有效降低器件制备成本，大直径晶片始终为市场发展方向。

各公司SiC衬底工艺研发进度

项目	CREE	II-VI	Rohm	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年全球首次研制，2019年宣布产线建设计划			2020年启动研发

3.9 本土厂商加速布局，国内初具完整产业链条

- 我国已成功跻身世界上少有的具备三代材料全产业链布局的国家，实现从小批量研发向规模化、商业化生产的成功跨越，在关键的SiC衬底领域主要有天科合达、山东天岳等占据一定份额。



3.10 第三代半导体被纳入纳入“十四五”规划

- **纲领目标：**2012年、2015年工信部分别制定了集成电路产业“十二五”、“十三五”规划；目前第三代半导体产业已被纳入“十四五”规划，目标“换道超车”。

大力发展三代半导体技术被列入十四五规划

专栏2 科技前沿领域攻关

01	新一代人工智能 前沿基础理论突破，专用芯片研发，深度学习框架等开源算法平台构建，学习推理与决策、图像图形、语音视频、自然语言识别处理等领域创新。
02	量子信息 城域、城际、自由空间量子通信技术研发，通用量子计算原型机和实用化量子模拟机研制，量子精密测量技术突破。
03	集成电路 集成电路设计工具、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）、微机电系统（MEMS）等特色工艺突破， 先进存储技术升级，碳化硅、氮化镓等宽禁带半导体发展。
04	脑科学与类脑研究 脑认知原理解析，脑介观神经联接图谱绘制，脑重大疾病机理与干预研究，儿童青少年脑智发育，类脑计算与脑机融合技术研发。

05	基因与生物技术 基因组学研究应用，遗传细胞和遗传育种、合成生物、生物药等技术创新，创新疫苗、体外诊断、抗体药物等研发，农作物、畜禽水产、农业微生物等重大新品种创制，生物安全关键技术研究。
06	临床医学与健康 癌症和心脑血管、呼吸、代谢性疾病等发病机制基础研究，主动健康干预技术研发，再生医学、微生物组、新型治疗等前沿技术研发，重大传染病、重大慢性非传染性疾病防治关键技术研究。
07	深空深地深海和极地探测 宇宙起源与演化、透视地球等基础科学研究，火星环绕、小行星巡视等星际探测，新一代重型运载火箭和重复使用航天运输系统、地球深部探测装备、深海运维保障和装备试验船、极地立体观监测平台和重型破冰船等研制，探月工程四期、蛟龙探海二期、雪龙探极二期建设。



感谢您的信任与支持！

THANK YOU

徐涛（首席电子分析师）

联系人：夏胤磊

执业证书编号：S1010517080003

免责声明



证券研究报告 2021年6月3日

分析师声明

主要负责撰写本研究报告全部或部分内容的分析师在此声明：(i) 本研究报告所表述的任何观点均精准地反映了上述每位分析师个人对标的证券和发行人的看法；(ii) 该分析师所得报酬的任何组成部分无论是在过去、现在及将来均不会直接或间接地与本报告所表述的具体建议或观点相联系。

评级说明

投资建议的评级标准		评级	说明
报告中投资建议所涉及的评级分为股票评级和行业评级（另有说明的除外）。评级标准为报告发布日后6到12个月内的相对市场表现，也即以报告发布日后的6到12个月内的公司股价（或行业指数）相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准。其中：A股市场以沪深300指数为基准，新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以摩根士丹利中国指数为基准；美国市场以纳斯达克综合指数或标普500指数为基准；韩国市场以科斯塔克指数或韩国综合股价指数为基准。	股票评级	买入	相对同期相关证券市场代表性指数涨幅20%以上
		增持	相对同期相关证券市场代表性指数涨幅介于5%~20%之间
		持有	相对同期相关证券市场代表性指数涨幅介于-10%~5%之间
		卖出	相对同期相关证券市场代表性指数跌幅10%以上
	行业评级	强于大市	相对同期相关证券市场代表性指数涨幅10%以上
		中性	相对同期相关证券市场代表性指数涨幅介于-10%~10%之间
		弱于大市	相对同期相关证券市场代表性指数跌幅10%以上

其他声明

本研究报告由中信证券股份有限公司或其附属机构制作。中信证券股份有限公司及其全球的附属机构、分支机构及联营机构（仅就本研究报告免责条款而言，不含CLSA group of companies），统称为“中信证券”。

法律主体声明

本研究报告在中华人民共和国（香港、澳门、台湾除外）由中信证券股份有限公司（受中国证券监督管理委员会监管，经营证券业务许可证编号：Z20374000）分发。本研究报告由下列机构代表中信证券在相应地区分发：在中国香港由CLSA Limited分发；在中国台湾由CL Securities Taiwan Co., Ltd.分发；在澳大利亚由CLSA Australia Pty Ltd.（金融服务牌照编号：350159）分发；在美国由CLSA group of companies（CLSA Americas, LLC（下称“CLSA Americas”）除外）分发；在新加坡由CLSA Singapore Pte Ltd.（公司注册编号：198703750W）分发；在欧盟与英国由CLSA Europe BV或CLSA（UK）分发；在印度由CLSA India Private Limited分发（地址：孟买（400021）Nariman Point的Dalal House 8层；电话号码：+91-22-66505050；传真号码：+91-22-22840271；公司识别号：U67120MH1994PLC083118；印度证券交易委员会注册编号：作为证券经纪商的INZ000001735，作为商人银行的INM000010619，作为研究分析商的INH000001113）；在印度尼西亚由PT CLSA Sekuritas Indonesia分发；在日本由CLSA Securities Japan Co., Ltd.分发；在韩国由CLSA Securities Korea Ltd.分发；在马来西亚由CLSA Securities Malaysia Sdn Bhd分发；在菲律宾由CLSA Philippines Inc.（菲律宾证券交易所及证券投资者保护基金会）分发；在泰国由CLSA Securities (Thailand) Limited分发。

针对不同司法管辖区的声明

中国：根据中国证券监督管理委员会核发的经营证券业务许可，中信证券股份有限公司的经营经营范围包括证券投资咨询业务。

美国：本研究报告由中信证券制作。本研究报告在美国由CLSA group of companies（CLSA Americas除外）仅向符合美国《1934年证券交易法》下15a-6规则定义且CLSA Americas提供服务的“主要美国机构投资者”分发。对身在美国的任何人士发送本研究报告将不被视为对本报告中所评论的证券进行交易的建议或对本报告中所载任何观点的背书。任何从中信证券与CLSA group of companies获得本研究报告的接收者如果希望在美国交易本报告中提及的任何证券应当联系CLSA Americas。

新加坡：本研究报告在新加坡由CLSA Singapore Pte Ltd.（资本市场经营许可持有人及受豁免的财务顾问），仅向新加坡《证券及期货法》s.4A（1）定义下的“机构投资者、认可投资者及专业投资者”分发。根据新加坡《财务顾问法》下《财务顾问（修正）规例（2005）》中关于机构投资者、认可投资者、专业投资者及海外投资者的第33、34及35条的规定，《财务顾问法》第25、27及36条不适用于CLSA Singapore Pte Ltd.。如对本报告存有疑问，还请联系CLSA Singapore Pte Ltd.（电话：+65 6416 7888）。MCI (P) 024/12/2020。

加拿大：本研究报告由中信证券制作。对身在加拿大的任何人士发送本研究报告将不被视为对本报告中所评论的证券进行交易的建议或对本报告中所载任何观点的背书。

欧盟与英国：本研究报告在欧盟与英国归属于营销文件，其不是按照旨在提升研究报告独立性的法律要件而撰写，亦不受任何禁止在投资研究报告发布前进行交易的限制。本研究报告在欧盟与英国由CLSA（UK）或CLSA Europe BV发布。CLSA（UK）由（英国）金融行为管理局授权并接受其管理，CLSA Europe BV由荷兰金融行为管理局授权并接受其管理，本研究报告针对由相应本地监管规定所界定的在投资方面具有专业经验的人士，且涉及到的任何投资活动仅针对此类人士。若您不具备投资的专业经验，请勿依赖本研究报告。对于由英国分析员编纂的研究资料，其由CLSA（UK）与CLSA Europe BV制作并发布。就英国的金融行业准则与欧洲其他辖区的《金融工具市场指令》，本研究报告被制作并意图作为实质性研究资料。

澳大利亚：CLSA Australia Pty Ltd（“CAPL”）(商业编号：53 139 992 331/金融服务牌照编号：350159)受澳大利亚证券与投资委员会监管，且为澳大利亚证券交易所及CHI-X的市场参与主体。本研究报告在澳大利亚由CAPL仅向“批发客户”发布及分发。本研究报告未考虑收件人的具体投资目标、财务状况或特定需求。未经CAPL事先书面同意，本研究报告的收件人不得将其分发给任何第三方。本段所称的“批发客户”适用于《公司法（2001）》第761G条的规定。CAPL研究覆盖范围包括研究部门管理层不时认为与投资者相关的ASX All Ordinaries指数成分股、离岸市场上市证券、未上市发行人及投资产品。CAPL寻求覆盖各个行业中与其国内及国际投资者相关的公司。

一般性声明

本研究报告对于收件人而言属高度机密，只有收件人才能使用。本研究报告并非意图发送、发布给在当地法律或监管规则下不允许向其发送、发布该研究报告的人员。本研究报告仅为参考之用，在任何地区均不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。中信证券并不因收件人收到本报告而视其为中信证券的客户。本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要，不应被视为对特定客户关于特定证券或金融工具的建议或策略。对于本报告中提及的任何证券或金融工具，本报告的收件人须保持自身的独立判断。

本报告所载资料的来源被认为是可靠的，但中信证券不保证其准确性或完整性。中信证券并不对使用本报告所包含的材料产生的任何直接或间接损失或与此有关的其他损失承担任何责任。本报告提及的任何证券或金融工具均可能含有重大的风险，可能不易变卖以及不适合所有投资者。本报告所提及的证券或金融工具的价格、价值及收益可能会受汇率影响而波动。过往的业绩并不能代表未来的表现。

本报告所载的资料、观点及预测均反映了中信证券在最初发布该报告日期当日分析师的判断，可以在不发出通知的情况下做出更改，亦可因使用不同假设和标准、采用不同观点和分析方法而与中信证券其它业务部门、单位或附属机构在制作类似的其他材料时所给出的意见不同或者相反。中信证券并不承担提示本报告的收件人注意该等材料的责任。中信证券通过信息隔离墙控制中信证券内部一个或多个领域的信息向中信证券其他领域、单位、集团及其他附属机构的流动。负责撰写本报告的分析师的薪酬由研究部门管理层和中信证券高级管理层全权决定。分析师的薪酬不是基于中信证券投资银行收入而定，但是，分析师的薪酬可能与投行整体收入有关，其中包括投资银行、销售与交易业务。

若中信证券以外的金融机构发送本报告，则由该金融机构为此发送行为承担全部责任。该机构的客户应联系该机构以交易本报告中提及的证券或要求获悉更详细信息。本报告不构成中信证券向发送本报告金融机构之客户提供的投资建议，中信证券以及中信证券的各个高级职员、董事和员工亦不为（前述金融机构之客户）因使用本报告或报告载明的内容产生的直接或间接损失承担任何责任。

未经中信证券事先书面授权，任何人不得以任何目的复制、发送或销售本报告。

中信证券2021版权所有。保留一切权利。

十大精选热门主题资料库下载

