

行业报告：汽车功率半导体深度

2022年8月5日



中航证券有限公司

AVIC SECURITIES CO., LTD.

IGBT方兴未艾，SiC势在必行

行业评级：增持

分析师：刘牧野
证券执业证书号：S0640522040001

股市有风险 入市需谨慎

- **电动车核心器件，动力“CPU”供不应求：**汽车电动化、智能化推动车规级IGBT成为增长最快的细分领域，远超行业平均增速。受益于国内新能源车的高速发展，新能源车IGBT在2020年已成为中国IGBT第一大应用领域，占比约30%。全球主要功率半导体供应商陆续宣布涨价，毛利率得到显著提升。2021年行业经历的缺货行情仍在延续，头部供应商明显感受到供不应求的产能紧张状况。
- **高功率IGBT价值凸显：**大功率新能源车所使用的IGBT和碳化硅模块附加值高，国内设计生产的IGBT目前在较低功率的80kw电机应用已逐渐成熟，并且在80kw以上的电机开始放量。据我们保守测算，短期内国产替代的市场在180kw以下，再除去比亚迪的市场，2021年国内供应商主要面对的低功率IGBT的市场规模约为25亿元。2021年国内大功率车型的高速增长，表明消费者在高端车型的消费意愿强烈，大功率IGBT占据国内约一半的市场，且利润率更高，看好国内供应商持续追赶，攻克大功率IGBT高地，实现全面替代。
- **升级碳化硅趋势明显：**碳化硅器件的全球市场在2021年为10.9亿美元，至2027年增长至62.87亿美元，年复合增长率34%，其中新能源车用碳化硅占市场主导地位，且市场占比将由2021年63%提升至2027年79%。我们预计2022年国内车厂的驱动逆变器碳化硅需求0.57亿元，至2025年达到28.36亿元，年复合增速约166%。蔚来ET7、小鹏G9均采用了碳化硅器件，国内功率半导体供应商积极布局碳化硅，有望加速碳化硅在国内的搭载速度。
- **国产替代加速：**国产车载IGBT拐点已至，实现市占率的快速上升。2022年一季度国内出货量前五的功率器件供应商中，已经有三家中国本土企业入列，分别为斯达半导、比亚迪半导体、时代电气，三家合计装机量占比约40%。建议关注已实现车规IGBT放量的斯达半导、时代电气、BYD半导（未上市），拥有较多自主产能，资金、研发实力雄厚的士兰微、闻泰科技，以及在碳化硅衬底积极扩产的天岳先进、东尼电子、露笑科技等供应商。
- **风险提示：**新能源车销量不及预期、国内芯片设计、制造端遭遇技术瓶颈、产能建设不及预期、竞争加剧的风险

一、拥抱新能源，动力“CPU”迎风口

二、IGBT方兴未艾

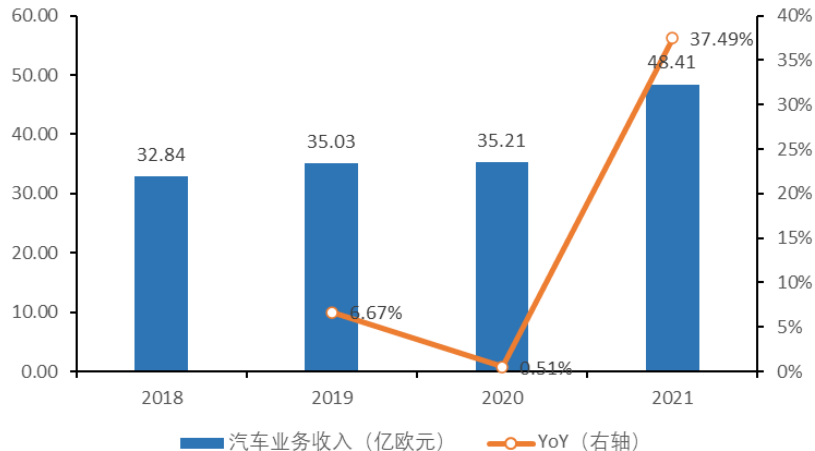
三、碳化硅势在必行

四、附表：全球产能统计

汽车电动化汹涌澎湃，车载半导体如火如荼

- 电动车进入发展快车道，车载半导体景气度提升。据Ev Volumes，全球2021年新能源车销量694万辆，同比增长106%，尽管2022年欧洲新能源车销量疲软，但2022年1-6月，国内新能源汽车销量260万辆，同比均增长1.1倍。由于国内新能源车持续高景气，Ev Volumes预计2022年全球电动车销量1070万辆，同比增长54.3%。
- 随着电动车的繁荣发展，国际半导体龙头供应商的汽车业务营收创新高，其中功率半导体龙头英飞凌的汽车相关业务在2021年实现约37%的同比增长，代工厂龙头台积电的汽车业务同比提升约51%。

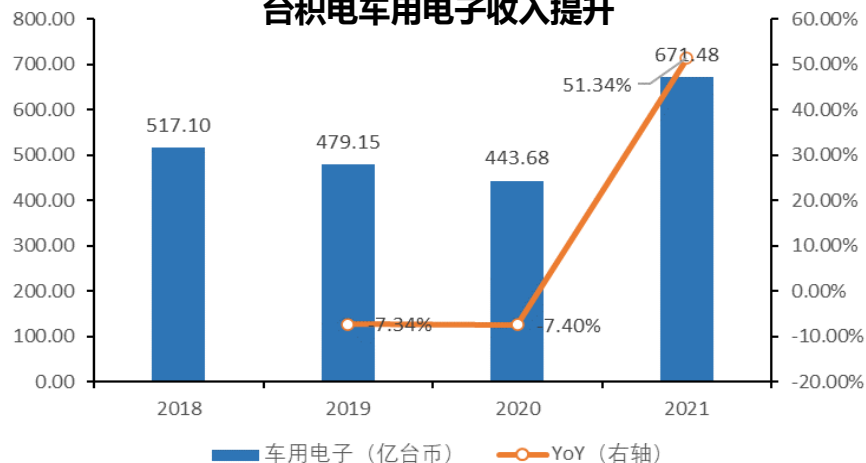
英飞凌汽车业务收入提升



全球新能源车销量大幅增长



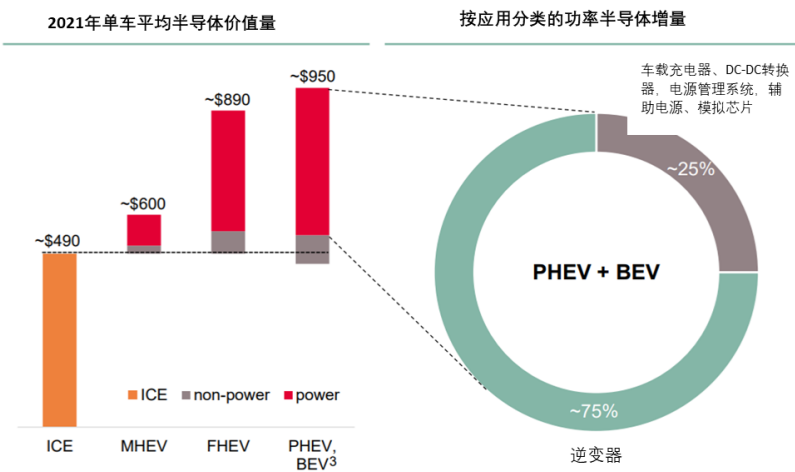
台积电车用电子收入提升



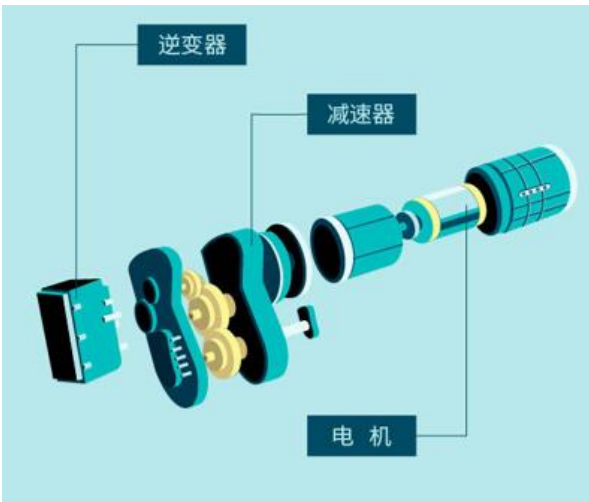
电动车核心器件，价值占比高

- 电动车半导体单车价值量激增，逆变器用功率半导体占比最高。据英飞凌，电动车的半导体单车价值量较燃油车增长约950美元，其中约900美元来自功率半导体的使用，而逆变器使用的功率半导体，占单车功率半导体总价值量75%左右。
- 电机和逆变器是电动车新增核心需求，功率器件（IGBT和碳化硅MOS）是逆变器核心器件，也是车辆性能的主要保证方式之一。和计算机上处理数字信号的CPU类似，功率器件是电动车在功率上的“CPU”。CPU依靠软件实现信号流在0和1之间转换。功率器件依靠变频控制软件，处理功率流的开和关。

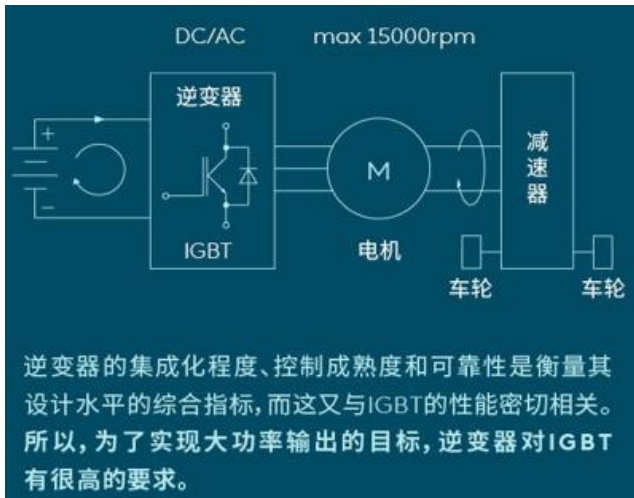
电动车单车半导体价值量



电动车动力系统结构



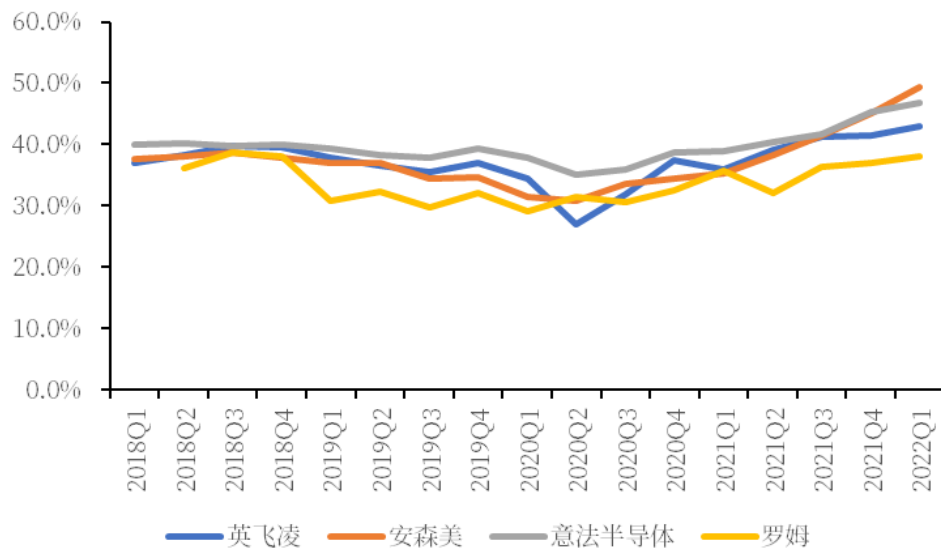
逆变器核心器件



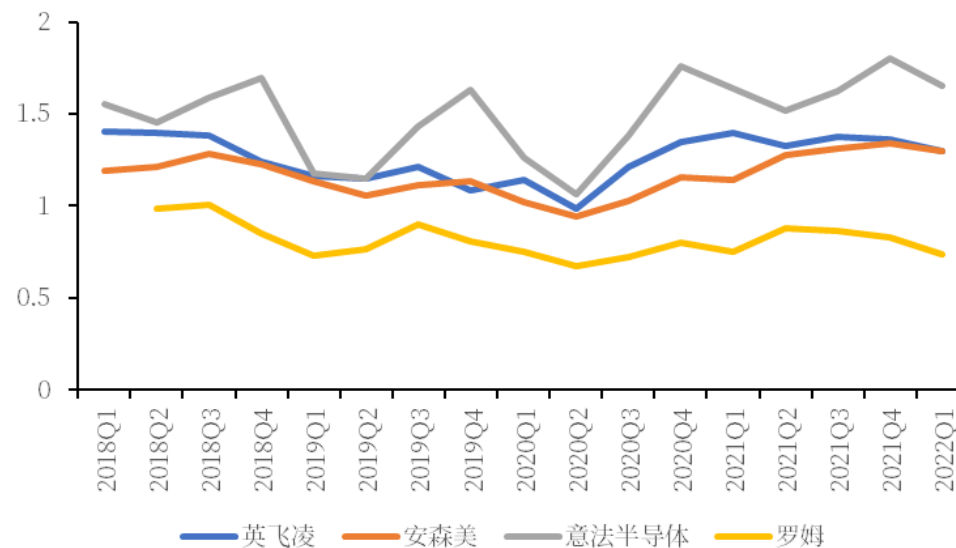
动力“CPU”高景气持续

- 全球功率半导体持续供不应求。主要功率半导体供应商陆续宣布涨价，毛利率得到显著的提升。受供需关系影响，当前供应商进入主动补库存阶段，季度收入/库存比例维持在正常水位。2021年行业经历的缺货行情仍在延续，头部供应商明显感受到供不应求的产能紧张状况。据英飞凌，包括尚未确认的订单在内，2022年1-3月英飞凌积压的订单金额从去年四季度的310亿欧元增长了19.4%至370亿欧元，这些订单当中超过五成是汽车相关产品，75%的订单在未来12个月内才能交货，积压订单显然远超出英飞凌的交付能力。

全球主要功率半导体供应商季度毛利率

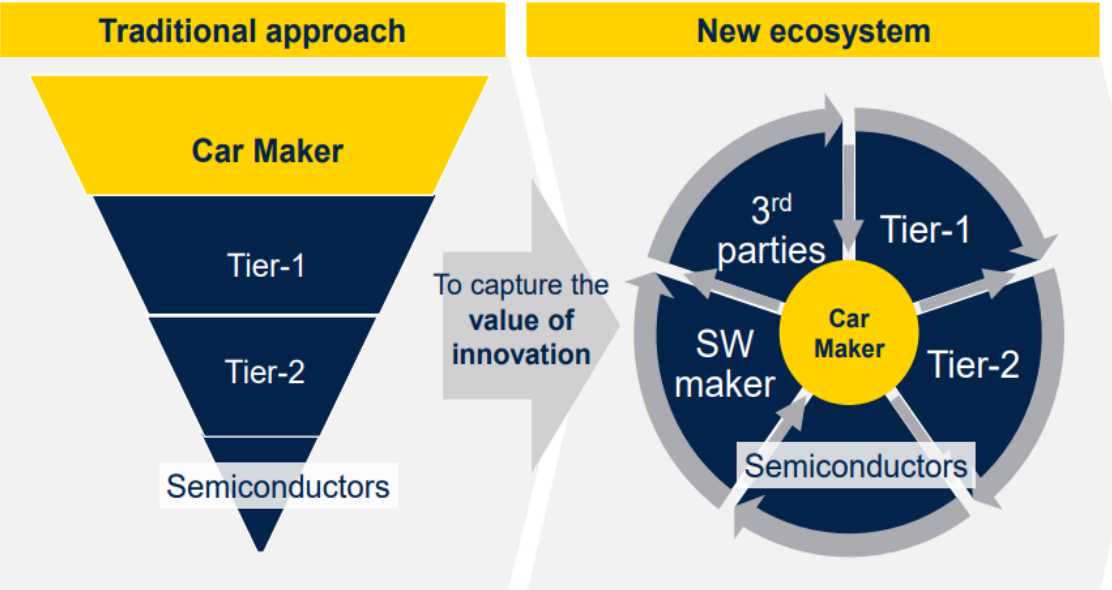


全球主要功率半导体供应商季度收入/库存



- 新能源电气系统垂直整合趋势愈发明显。新能源电气系统在整车安全与性能表现方面起到关键作用，主机厂掌控意愿较高，以规避潜在技术缺陷与产能短缺风险。同时，相关技术仍处于发展阶段，垂直整合带来的独家供应能够构建主机厂新的核心竞争力，且更高的产品价值与利润也成为重要诱因。
- 目前国内OEM出于国产化替代，供应链稳定的考量愿意培养自主半导体产业，投资或成立合资公司共同探索车规级半导体技术和质量达标方案，或者自建模块产线，将品质掌控在自己手中。OEM和Tier供应商对功率模块的设计和制造进行完整的评价测试和长期管理培养后，将方便采用部分本土的功率芯片，从而在成本控制上找到合适的方案。

新能源车供应链中，主机厂将参与更多的半导体供应决策

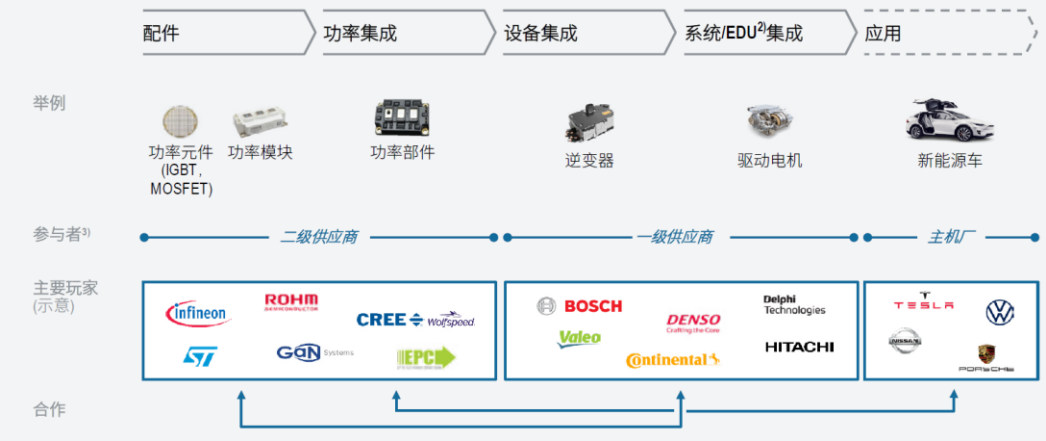


主机厂、tier供应商纷纷布局功率器件

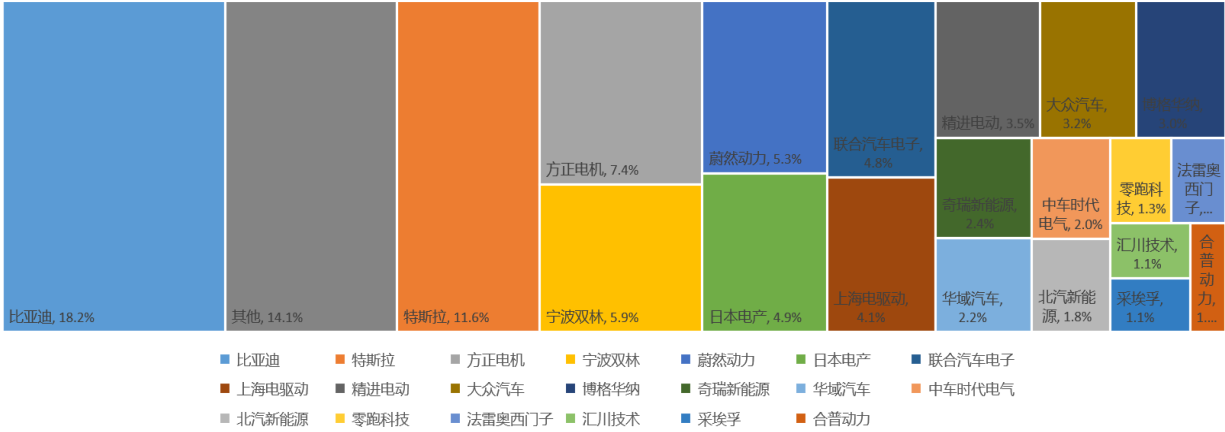
厂商	模式	产品	备注
比亚迪	自建产线	自研IGBT、SiC	SiC功率模块应用于汉EV
蔚来		SiC功率模块工艺实验线	设计生产能力5000套/年
博格华纳		IGBT和SiC模块	苏州工厂二期项目3条Viper封测生产线
联合电子		IGBT功率模块	IGBT功率模块
纬湃科技		IGBT功率模块和SiC模块	天津工厂封装产线
电装		SiC功率模块	应用于丰田燃料电池车Mirai
臻驱科技	股权合作	IGBT和SiC模块	筹划自建产线
上汽集团		IGBT模块	与英飞凌合资成立上汽英飞凌
吉利汽车		SiC芯片	与芯聚能等合资成立芯粤能
东风汽车		IGBT模块	与中车时代合资成立智新半导体
一汽		IGBT模块和SiC模块	与亿马先锋组建合资公司
理想汽车		SiC芯片、模块	与三安半导体设立合资公司
广汽集团		IGBT模块	与中车时代合资成立广州青蓝半导体
正海集团		SiC模块	与罗姆半导体合资成立海姆希科

- 越来越多的主机厂选择直接与Tier-2供应商进行合作甚至并购，以实现技术研发的内化和产能保障。例如，大众跳过Tier-1供应商，直接与Cree（科锐）达成深度合作，将后者变成大众专属的SiC供应商，以确保未来新能源汽车产品核心竞争力的构建。而雷诺-日产-三菱联盟也与ST（意法半导体）达成类似合作，以生产车载充电机所用的高性能SiC半导体。
- 在电机自供、合资占比增加的趋势下，功率器件厂作为二级供应商，和电机、主机厂的合作越来越重要。特斯拉和比亚迪均采用自供电机的模式，占据国内新能源电机市场约30%的出货量。英飞凌、意法半导体等国际龙头企业为特斯拉供应商，比亚迪半导体对比亚迪电动车的供应占比较多。

逆变器价值链



2021国内新能源电机企业配套量占比



资料来源：车百智库，罗兰贝格，第一电动汽车网，中航证券研究所

一、拥抱新能源，动力“CPU”迎风口

二、IGBT方兴未艾

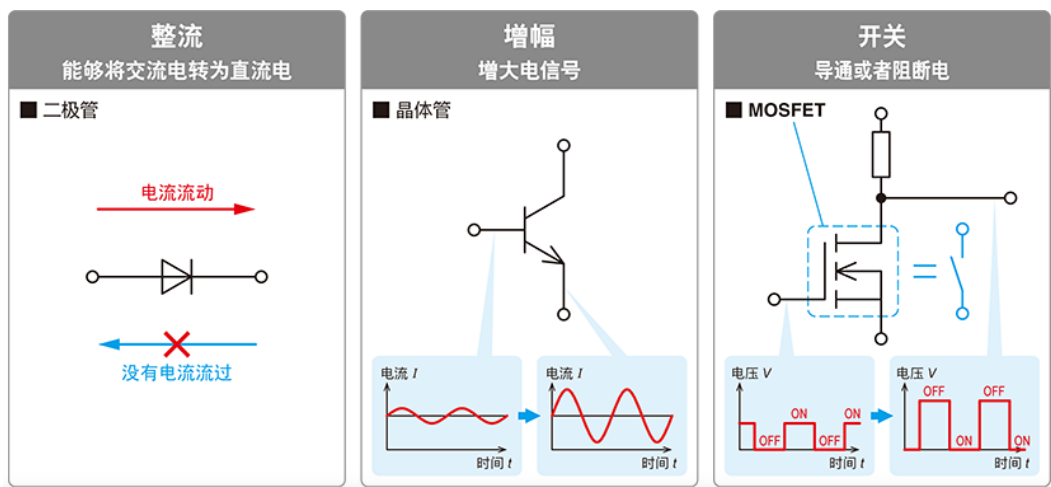
三、碳化硅势在必行

四、附表：全球产能统计

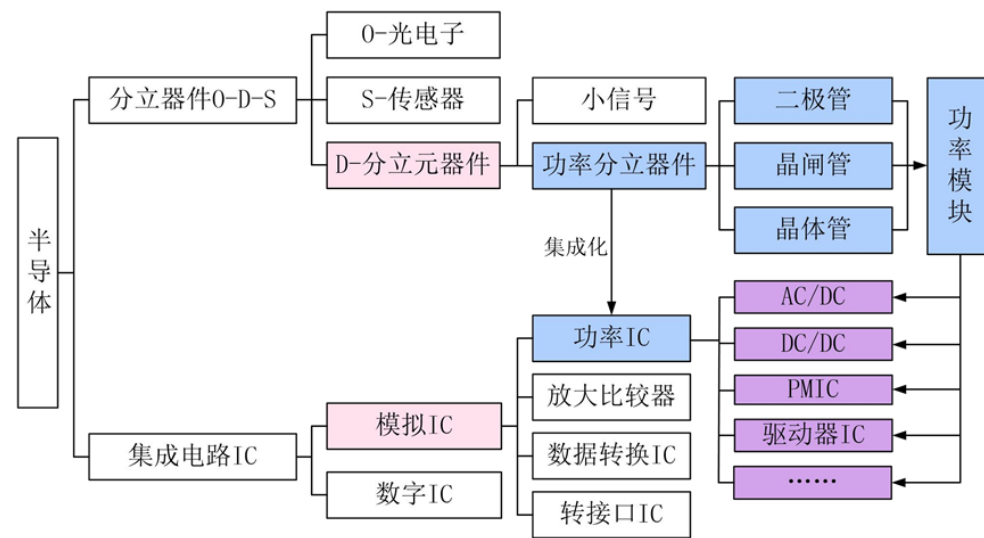
IGBT：取长补短的复合型功率器件

- 功率半导体器件（Power Electronic Device）又称为电力电子器件和功率电子器件，是指可直接用于处理电能的主电路中，实现电能的变换或控制的电子器件，其作用主要分为功率转换、功率放大、功率开关、线路保护和整流等。
- 功率半导体大致可分为功率半导体分立器件（Power Discrete）(包括功率模块)和功率半导体集成电路（Power IC）两大类。按照器件结构，现有的功率半导体分立器件可分二极管、功率晶体管、晶闸管等，其中功率晶体管分为双极性结型晶体管（BJT）、结型场效应晶体管（JFET）、金属氧化物场效应晶体管（MOSFET）和绝缘栅双极晶体管（IGBT）等。

功率半导体功能



半导体产业结构关系



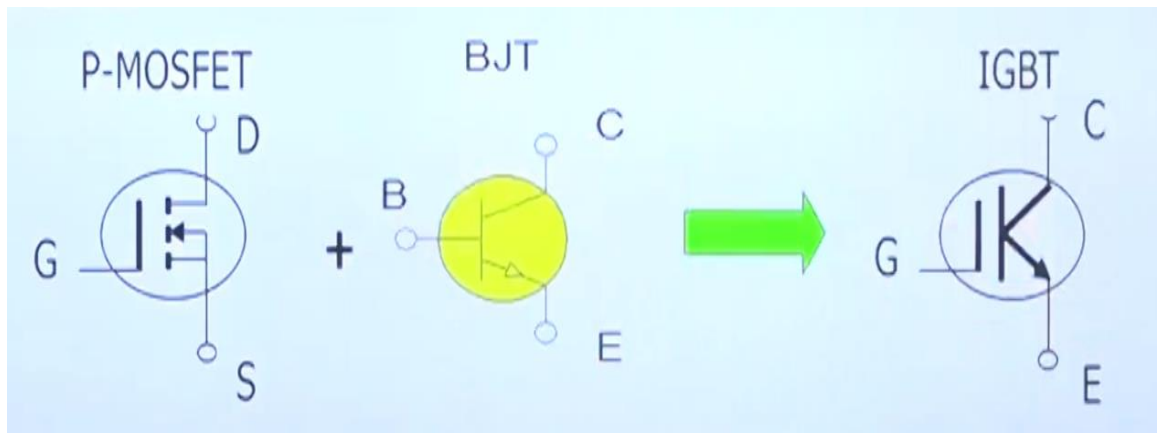
IGBT：取长补短的复合型功率器件

- 晶体管是能够提供电功率放大并具有三个或更多电极的一种半导体器件。根据主要工艺，可以把晶体管分为双极晶体管和场效应晶体管。双极晶体管属于流控器件，响应速度快，驱动能力强；场效应管属于压控器件，输入阻抗高，功率消耗相对较低。
- IGBT是由MOSFET和双极型晶体管复合而成的功率半导体分立器件，它的控制极为绝缘栅场效应晶体管，输出极为双极型功率晶体管，因而兼有两者速度和驱动能力的优点，克服了两者的缺点。

晶体管分类及特点

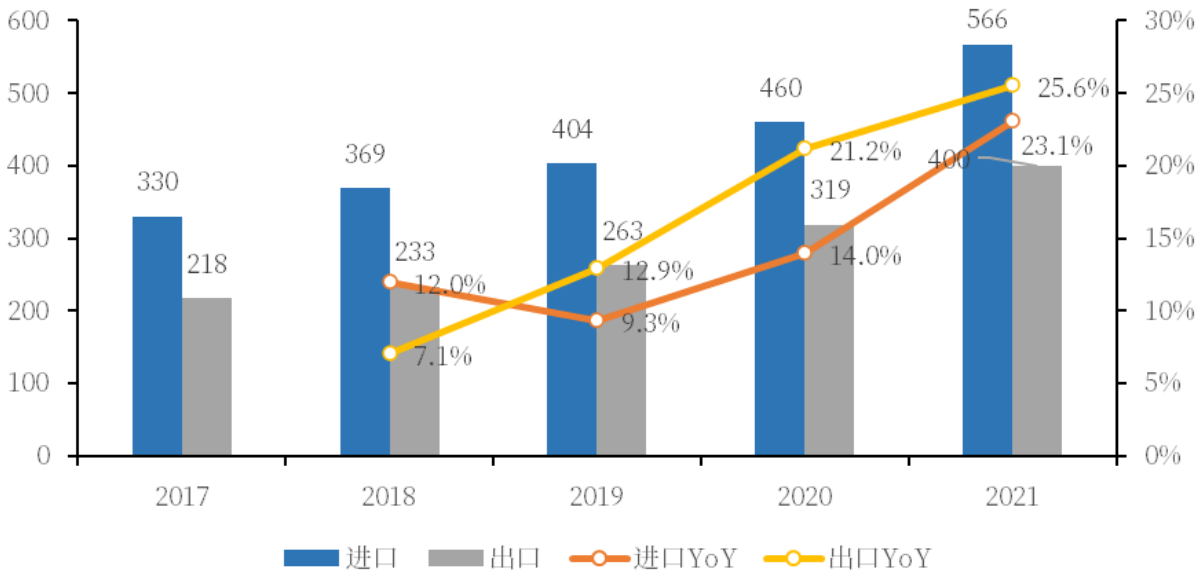
BJT	双极型器件，通流能力强，但所需驱动功率大。
MOSFET	单极型器件，所需驱动功率小，开关速度快，但体电阻大。
IGBT	BJT 和 MOSFET 取长补短结合而成的复合器件，导通损耗低，开关速度较快，驱动方便，耐压等级高，工作结温高

IGBT结构示意图



- 我国在功率二极管、功率三极管、晶闸管等分立器件大部分已实现国产化。MOSFET、IGBT、SiC等高端分立器件产品较大程度依赖进口。
- 耗散功率大于5瓦的晶体管一般为功率器件。我国耗散功率 ≥ 1 瓦晶体管的进出口规模逐年增长，且进口规模增速大于出口规模。IGBT属于功率晶体管中技术壁垒较高的产品，我国起步较晚，还存在较广阔的进口替代空间。

我国耗散功率 ≥ 1 瓦的晶体管进出口规模（亿元）



资料来源：国家海关总署，中航证券研究所



■ 经过几十年的发展，IGBT头部供应商英飞凌不断改进芯片结构，将IGBT技术做到了第七代，IGBT1和IGBT2已经不被英飞凌建议使用，目前使用最广泛的是IGBT4，国内部分供应商目前能在第四代进行量产。IGBT的发展方向依然是提高耐压、增加电流、扩大功率、提升最高工作结温。

英飞凌历代IGBT

代数	结构特征	封装形式	推出年份	优点	应用
3	沟槽栅，场截止	模块	1992	低导通压降，125℃工作结温（600V器件为150℃），开关性能优化	中低压领域基本已经被IGBT4取代，但在高压领域依然占主导地位，比如3300V，4500V，6500V的主流产品仍然在使用IGBT3技术。
4	沟槽栅+场截止+薄晶圆	模块	1997	进一步降低了开关损耗，同时开关软度更高，漂移区厚度更薄	使用最广泛，电压包含600V，1200V，1700V，电流从10A到3600A
5	沟槽栅+场截止+表面覆盖铜（FS）	模块	2001	允许更高的工作结温及输出电流。厚度相对于IGBT4进一步减薄，使得饱和压降更低，输出电流能力提升30%。	针对高可靠性，长寿命应用
6	沟槽栅+场截止	单管（1200V）	2003	4代的优化版本，优化了背面P+注入，从而得到了新的折衷曲线。Rg可控，3us短路	目前只在单管中有应用
7	微沟槽栅+场截止	模块	2018	沟道密度更高，实现5kv/us下的最佳开关性能。Vce(sat)相比IGBT4降低20%。	针对可控性、灵活性应用。电动商用车主驱，光伏逆变器等

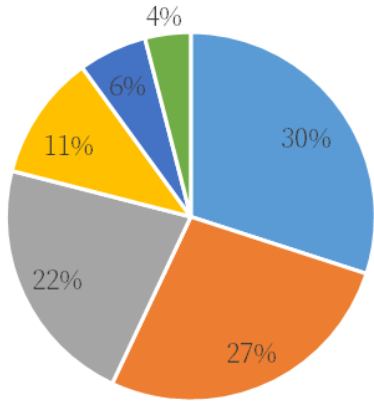
资料来源：比亚迪招股书，英飞凌，中航证券研究所

- IGBT具有导通电阻小、开关速度快、工作频率高等特点，可以在各种电路中提高功率转换、传送和控制的效率，实现节约能源、提高工业控制水平的目的，广泛应用于电机节能、轨道交通、智能电网、航空航天、家用电器、汽车电子、新能源发电、新能源汽车等领域。
- 电动车成为驱动IGBT需求的主要动力。据比亚迪半导招股书，从2020年IGBT模块全球应用占比来看，工业控制占比33.5%，是目前IGBT最大的应用领域，新能源汽车占比14.2%。未来，汽车电动化、智能化推动车规级IGBT成为增长最快的细分领域，远超行业平均增速。
- 受益于国内新能源车的高速发展，据华经产业研究院，新能源车IGBT在2020年已成为中国IGBT第一大应用领域，占比约30%。工业控制、消费电子（家电）与新能源发电市场分别占比27%、22%、11%，为中国新能源汽车外前三大应用领域。

IGBT应用领域

	电压	应用领域
低压	600V以下	消费电子
中压	600V-1200V	新能源车、工控、家用电器
高压	1700V-6500V	轨交、新能源发电、智能电网

国内IGBT市场应用占比

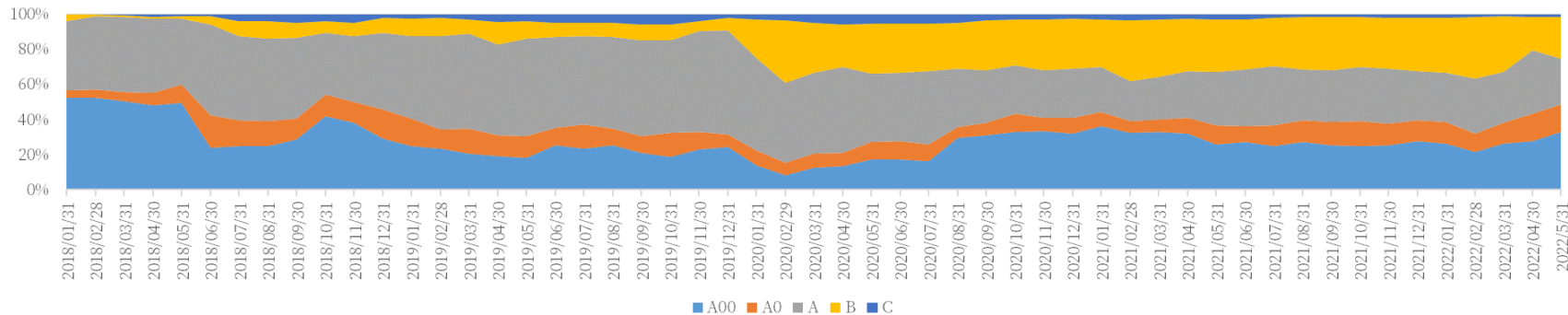


■ 新能源汽车 ■ 工业控制 ■ 家电 ■ 新能源家电 ■ 智能电网 ■ 轨道交通

资料来源：比亚迪招股书，华经产业研究院，中航证券研究所

■ 2022年国内新能源车呈现市场下沉的趋势，A级车型以下的销量占比有所提升，但A级以上的车型需要使用更大功率的IGBT。产品附加值高，技术壁垒高的大功率IGBT仍然是未来国产替代的主要方向。

国内A00至C级新能源车月度批发量占比



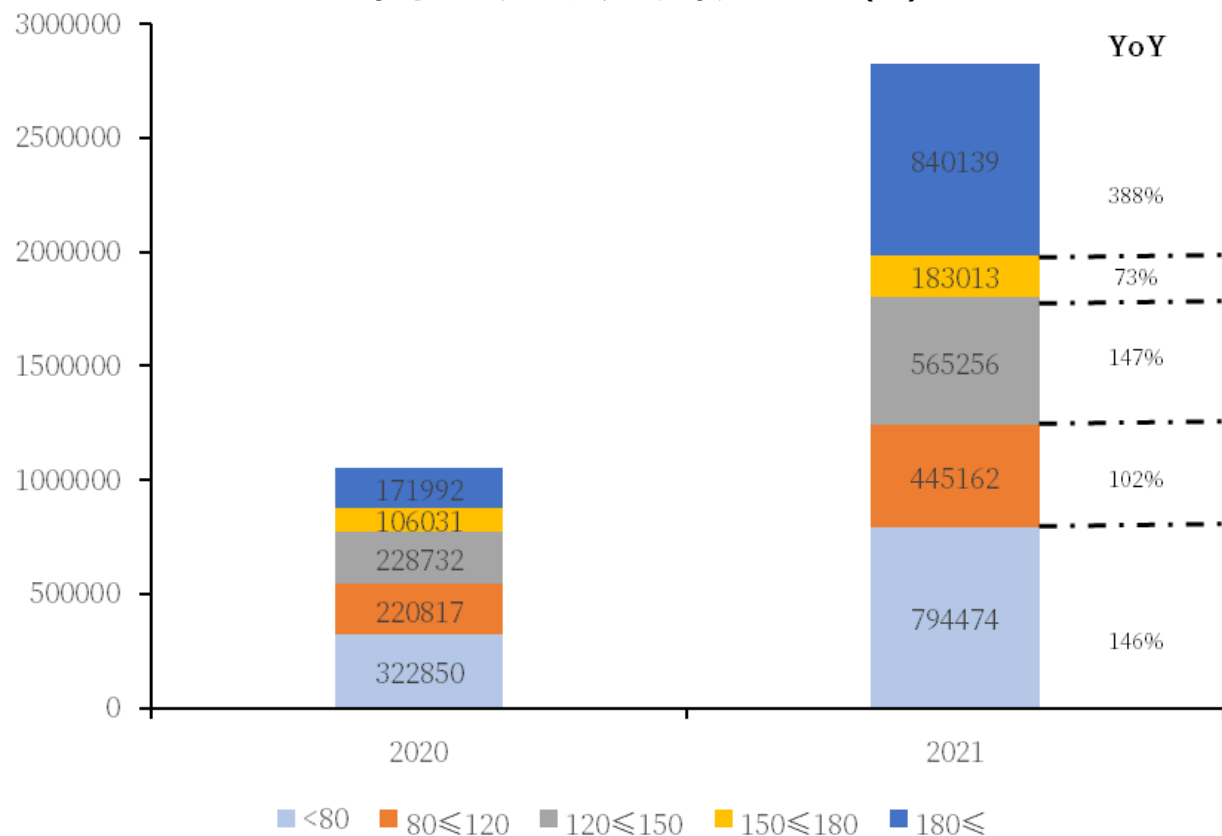
■ 从主机厂的角度来观察国内IGBT市场规模，国内高端车型的主机厂主要包括特斯拉、理想、蔚来、小鹏等，电机功率在180kw以上。特斯拉使用的碳化硅和IGBT模块主要由意法半导体、英飞凌提供，国内技术上还有差距。比亚迪的驱动IGBT大部分由比亚迪半导提供。保守测算，短期内国产替代的市场在180kw以下，再除去比亚迪的市场，2021年国内供应商主要面对的车载驱动IGBT的市场规模约为25亿元。

2021年国内车载驱动IGBT市场空间测算

销量（万辆）						
电机功率(kw)	<80	80≤120	120≤150	150≤180	180≤	合计
合计	79.4	44.5	56.5	18.3	84.0	282.8
比亚迪	3.7	24.8	3.3	0.2	5.3	37.2
特斯拉中国	0.0	0.0	0.0	0.0	45.8	45.8
蔚来	0.0	0.0	0.0	0.0	9.3	9.3
理想	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	9.0
小鹏汽车	0.0	0.0	3.0	0.8	6.2	9.9
其他主机厂	75.8	19.7	50.3	17.4	8.4	171.5
IGBT单价（元）	500	1700	2500	3500	5000	
市场空间（亿元）						
电机功率(kw)	<80	80≤120	120≤150	150≤180	180≤	合计
合计	4.0	7.6	14.1	6.4	19.1	51.2
比亚迪	0.2	4.2	0.8	0.1	2.7	7.9
特斯拉中国	-	-	-	-	-	-
蔚来	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	4.6
理想	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	4.5
小鹏汽车	0.0	0.0	0.7	0.3	3.1	4.1
其他主机厂	3.8	3.3	12.6	6.1	4.2	30.0

- 不同车型所需的逆变器功率不同，高功率逆变器对IGBT的性能要求更高。据英飞凌IGBT价格，用于250kw逆变器的车载IGBT价格约是50kw的7倍。
- 2021年国内新能源乘用车销量328万辆，同比增长约180%，其中电机功率80kw以下和180kw以上的车型销量增速最大，分别增长146%和388%。2021年国内大功率车型的高速增长，主要原因是特斯拉model Y的上市，吸引了大批消费者购买，表明国内在高端车型的消费意愿强烈。
- 大功率新能源车所使用的IGBT和碳化硅模块附加值高，国内设计生产的IGBT目前在单电机功率120kw以下的新能源车开始放量，180kw以上的新能源车IGBT具备高市场增速和广阔的替代空间。

国内不同电机功率的新能源车销量结构（辆）



- 目前，为满足电动汽车的功率需求，牵引逆变器中一般使用多芯片并联的功率模块。可通过提高芯片电流密度，和改进封装工艺，来实现模块功率密度以及模块电、热性能的综合提升。
- 在电动汽车应用领域，IGBT芯片性能优化的思路基本为：在沟槽精细化的基础上，采用薄片工艺并优化背面缓冲层设计，再结合优良的终端结构提高芯片耐压等级；将IGBT芯片和反并联二极管整合于一体，形成RC-IGBT结构，进一步提升芯片电流密度；芯片上集成温度/电流传感器，门极驱动电阻以及RC芯片，有利于提高芯片长期运行的可靠性。
- 在封装层面，为了实现高可靠性、高功率密度、成本优势，目前汽车厂商主流的几种模块应用解决方案，主要分为：分立器件；1 in 1；2 in 1；6 in 1。虽然6 in 1模块对汽车来说并不是最优设计，但由于其设计应用的方便性，在短期内还将占据主流，技术改进主要聚焦在散热技术和可靠性。

IGBT芯片优化方案

IGBT芯片优化方案	技术特点
沟槽栅精细化技术	改进深亚微米级的曝光技术、化学机械抛光、快速热退火处理等制造工艺，使最小台面宽度从目前600nm向20至40nm的理论极限靠近
高压/高温优化技术	改进缓冲层掺杂方式、解决电压回跳的问题，使电压等级提升至800V以上，提高耐温
多种优化技术组合	沟槽栅、超级结、逆导技术、薄片工艺和终端结构技术的结合，平衡电流密度、开关损耗和短路耐量之间的复杂制约关系
多功能集成技术	集成部分传感器、智能驱动功能，实现运行异常时的自我纠正

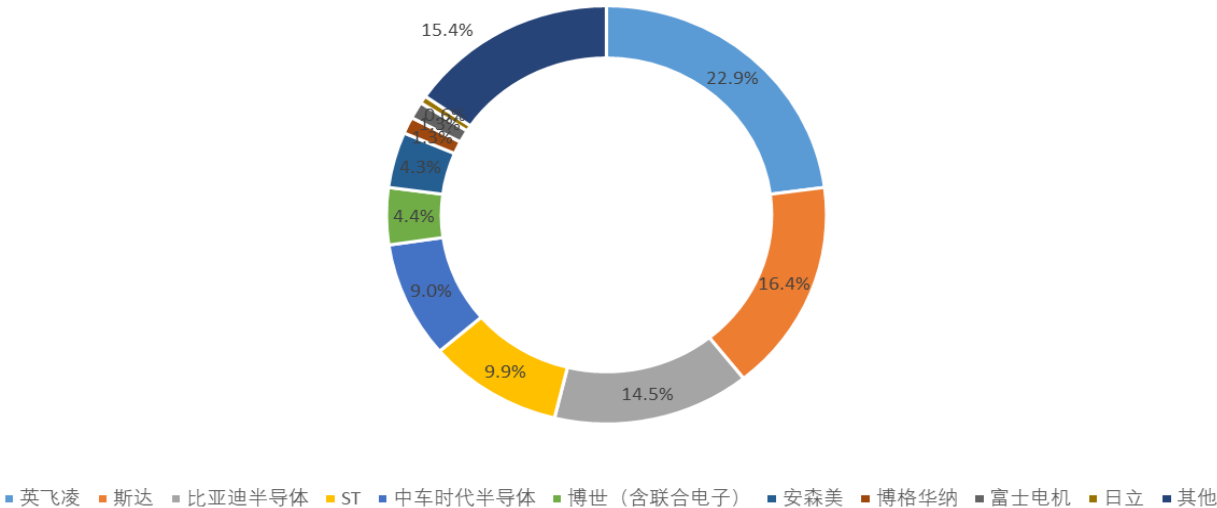
IGBT器件封装优化方案

方案名称	封装方案简介	经典案例	优点	缺点
分立器件	IGBT单管夹在散热水道两边，立体式设计节省空间；并且方便叠层母排布局，减小杂散电感	特斯拉Model X	成本低，集成度高，通用产品	设计复杂，热阻较大，散热效率不高
1 in 1	单个小模块包含一个开关，内部两个SiC芯片并联，使用时多个小模块并联	特斯拉Model 3	散热效率高，设计布局灵活	量产工艺要求很高
2 in 1	一种是灌胶模块封装，第二种是塑封	丰田普锐斯4代PCU	结构紧凑，散热效率高，塑封的可靠性高	没有集成散热绝缘陶瓷，设计时跟散热器之前需要加隔离垫片
6 in 1	目前应用最广泛的模块，尤其是国内汽车厂商，设计相对简单	英飞凌HP Drive	设计简单，功率密度高，应用门槛低	成本高

■ 国产车载IGBT拐点已至，实现市占率的快速上升。据爱集微，2022年一季度国内出货量前五的功率器件供应商中，已经有三家中国本土企业入列，分别为斯达半导体、比亚迪半导体、时代电气，三家合计装机量占比约40%。

■ 比亚迪半导体具备产业下游的支持，随着比亚迪新能源汽车的销量增长，比亚迪半导体的IGBT高速发展。斯达半导体生产的应用于主电机控制器的车规级IGBT模块持续放量，2021年合计配套超过60万辆新能源汽车，其中A级及以上车型配套超过15万辆。时代电气具备高压IGBT的丰富经验，并且拥有中车集团的下游支持，2022年新能源车IGBT预计年内交付的在手订单70万台。

2022Q1国内车载IGBT出货占比



新能源车主机厂客户		车载IGBT交付量	碳化硅进度
时代电气	合众、一汽、长安等10余家客户	至2021年累计交付18万套，2022年预计交付70万套。	2022年会在车厂小批量应用
斯达半导体	长城、长安、东风（据电机客户配套的主机厂推测）	2021年交付60万套	已经获得总金额为3.4亿元的车规级SiC MOSFET模块订单
BYD半导体	比亚迪、小康、宇通、福田等	估计2021年配套60万辆	已实现SiC模块在新能源汽车高端车型的规模化应用

资料来源：爱集微，NE时代，公司公告，中航证券研究所

■ 国内IGBT供应商中，士兰微、华润微、扬杰科技等均以进入汽车供应链为目标，并且在工控、家电、光伏等领域取得进展，在2021年实现放量或高速增长。

国内IGBT供应商百舸争流

	产业链环节					研发进度 (对标英飞凌)	下游应用					
	设计	制造	封测	单管	模组		汽车电驱	光伏	风电	工控	家电	轨交
华润微	√	√	√	√	√	第四代		√	√	√		
台基股份	√	√	√	√	√	起步阶段		√	√	√		
扬杰科技	√	√	√	√	√	第四代		√		√	√	
时代电气	√	√	√	√	√	第五代	√	√	√	√		√
士兰微	√	√	√	√	√	第五代		√	√	√	√	
华微电子	√	√	√	√	√	第六代		√		√	√	
斯达半导	√		√	√	√	第七代	√	√		√		
宏微科技	√		√	√	√	第五代		√	√	√		
BYD半导	√	√	√	√	√	第五代	√					
新洁能	√			√	√	第四代		√		√	√	

国内主要供应商IGBT业务收入情况（亿元）

	2020	2021	2022Q1
斯达半导	9.12	15.95	~5.1
BYD半导	4.6	13.5	-
时代电气	~6	9	3
士兰微		~13	-
宏微科技	3.32	5.51	1.4
华润微	1	1.57	-
新洁能	-	0.8	-
扬杰科技	-	少量出货	0.5

一、拥抱新能源，动力“CPU”迎风口

二、IGBT方兴未艾

三、碳化硅势在必行

四、附表：全球产能统计

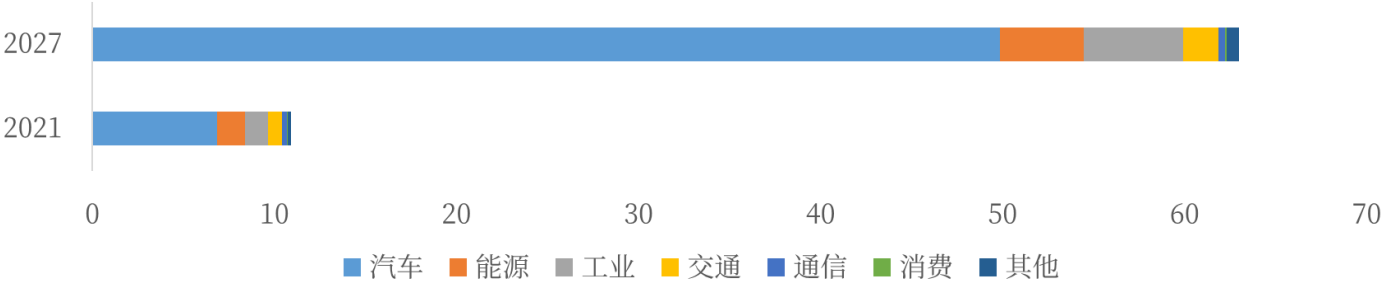
- 与硅（Si）相比，碳化硅（SiC）是一种介电击穿强度更大、饱和电子漂移速度更快且热导率更高的半导体材料。因此，与硅器件相比，当用于半导体器件中时，碳化硅器件可以提供高耐压、高速开关和低导通电阻。鉴于该特性，其将成为有助于降低能耗和缩小系统尺寸的下一代低损耗器件。据东芝半导，通过更改2kVA单相逆变器产品的开关元件（将IGBT替换为SiC MOSFET），额定运行期间每个器件的损耗降低了约41%。这主要归功于SiC MOSFET卓越的开关能力。
- 除了降低损耗外，采用SiC MOSFET还具有诸多优点。SiC MOSFET在高温环境下具有优异的工作特性，与IGBT相比，可简化现有散热措施。此外，由于开关损耗非常低，系统可在比IGBT开关可支持频率更高的频率下运行。如能提高开关频率，就可以降低外围器件（线圈和电容器）的使用，从而节省空间和成本，并使产品具有更大的竞争优势。

碳化硅较IGBT损耗更低

	导通损耗	开通损耗	关断损耗	总损耗
IGBT现有型号	4.4W	3.1W	6.9W	14.4W
采用碳化硅替代品	4.5W（增加约2%）	2.5W（减少约19%）	1.5W（减少约78%）	8.5W（减少约41%）

- 据Yole于2022年的预测，碳化硅器件的全球市场在2021年为10.9亿美元，至2027年增长至62.87亿美元，年复合增长率34%，其中新能源车用碳化硅占市场主导地位，且市场占比将由2021年63%提升至2027年79%。

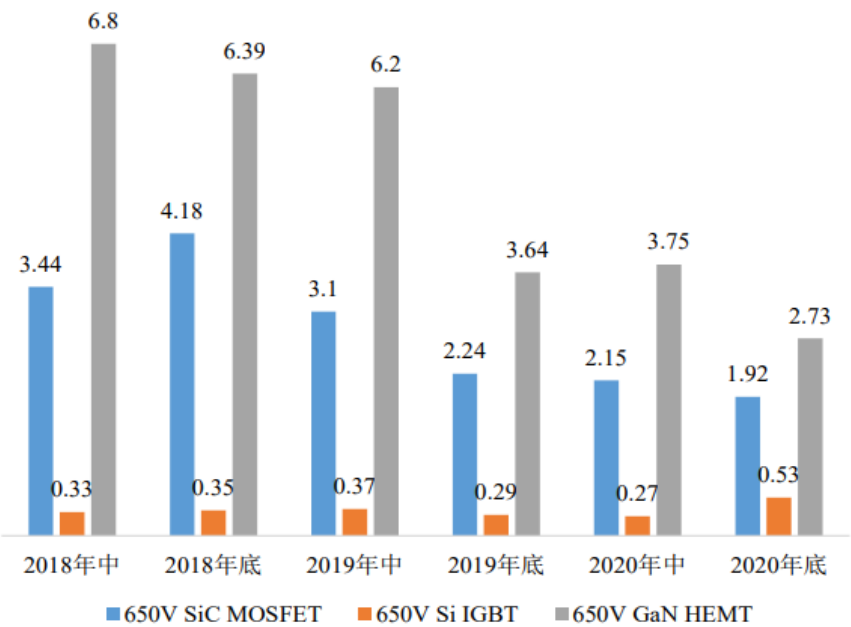
全球碳化硅市场规模（亿美元）



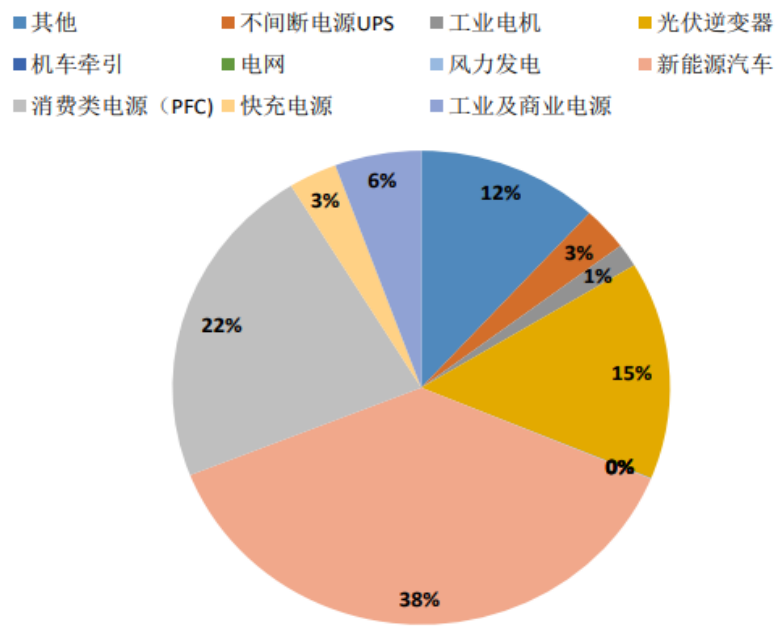
资料来源：东芝半导，yole，中航证券研究所

- 据意法半导体，使用SiC器件能使电动车平均减重150kg至200kg，延长电池寿命，使电车续航里程平均超过600公里。据中国半导体行业协会，采用碳化硅能使整车成本节省约2000美元，包括节省600美元电池成本、600美元汽车空间成本，节省1000美元散热系统成本。
- 在新能源车的大量应用，推动了SiC MOSFET价格下降，使SiC更具市场竞争力。2020年，新能源车已经成为我国SiC器件的主要应用场景。

碳化硅价格持续下降（元/A）

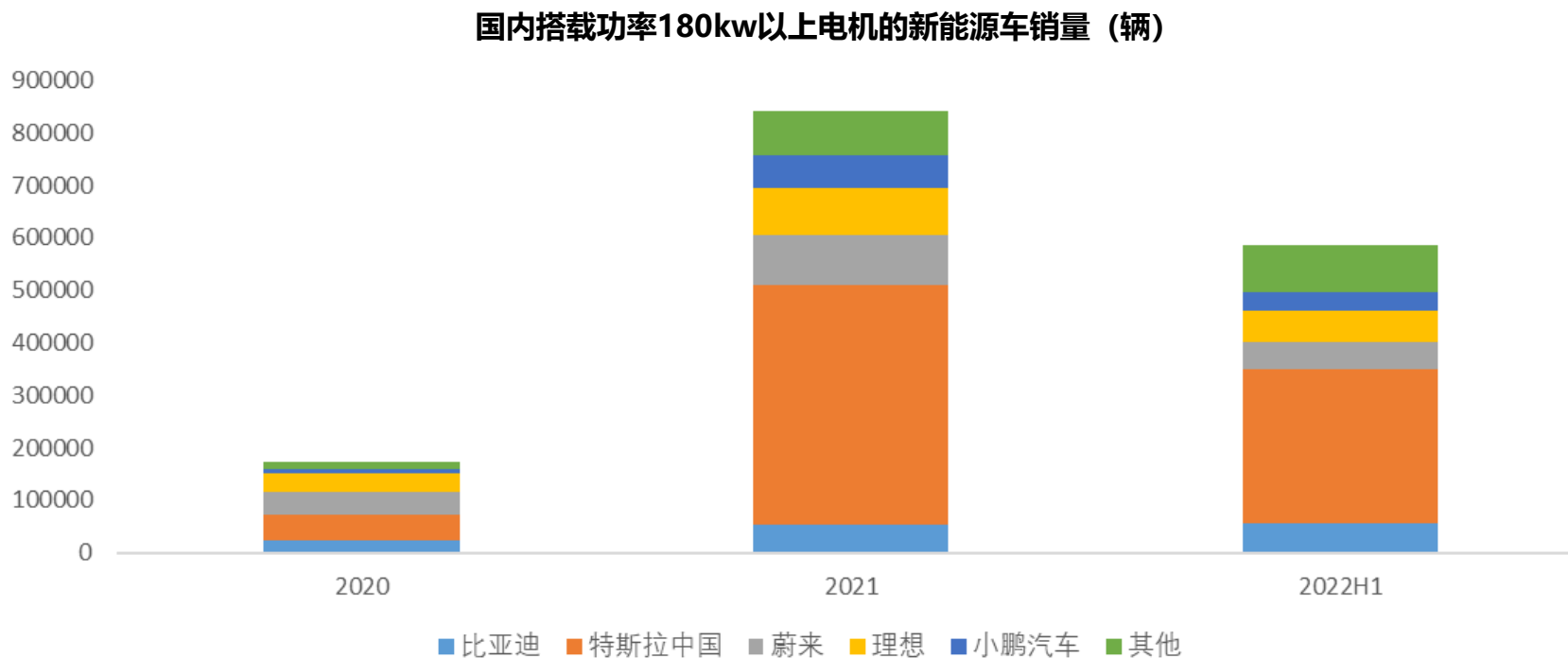


2020年我国SiC功率器件市场以新能源车为主



资料来源：CASA，中航证券研究所

- 随着越来越多新能源车型采用碳化硅器件，显示出碳化硅对传统车用硅基IGBT的替代已经逐渐展开。特斯拉上海工厂和比亚迪在其电机控制器的逆变器中已经采用了SiC MOSFET的芯片作为核心的功率器件。丰田、大众、本田、宝马、奥迪等汽车企业也都将SiC功率器件作为未来新能源汽车电机驱动系统的首选解决方案。
- 国内SiC供应商中，比亚迪半导体实现了SiC三相全桥模块在新能源汽车电机驱动控制器中大批量装车。2022年，国内造车新势力蔚来ET7、小鹏G9均采用了碳化硅器件。国内车厂的SiC MOSFET渗透率有望加速提升，随着搭载高功率电机的新能源车销量增长，车载SiC MOSFET需求将持续增长。



- 假设特斯拉品牌效应对销量的带动作用渐近瓶颈，国产品牌占比逐步提升，国内本土品牌电车（电机功率高于180kw）销量于2025年达到2022年国内整体销量水平，2022-2025年销量增速分别为52.9%、40%、30%、20%；
- 国产多款主流高端车型于2022年开始搭载碳化硅MOSFET，碳化硅的渗透率有望加速，假设渗透率分别为20%、30%、40%、50%；单车电驱动SiC价值量每年下降5%。
- 据我们测算，至2025年，本土主机厂对电驱SiC需求空间约98.84亿元，2021-2025年复合增长率约92%。

用于国产品牌车的碳化硅器件市场空间测算

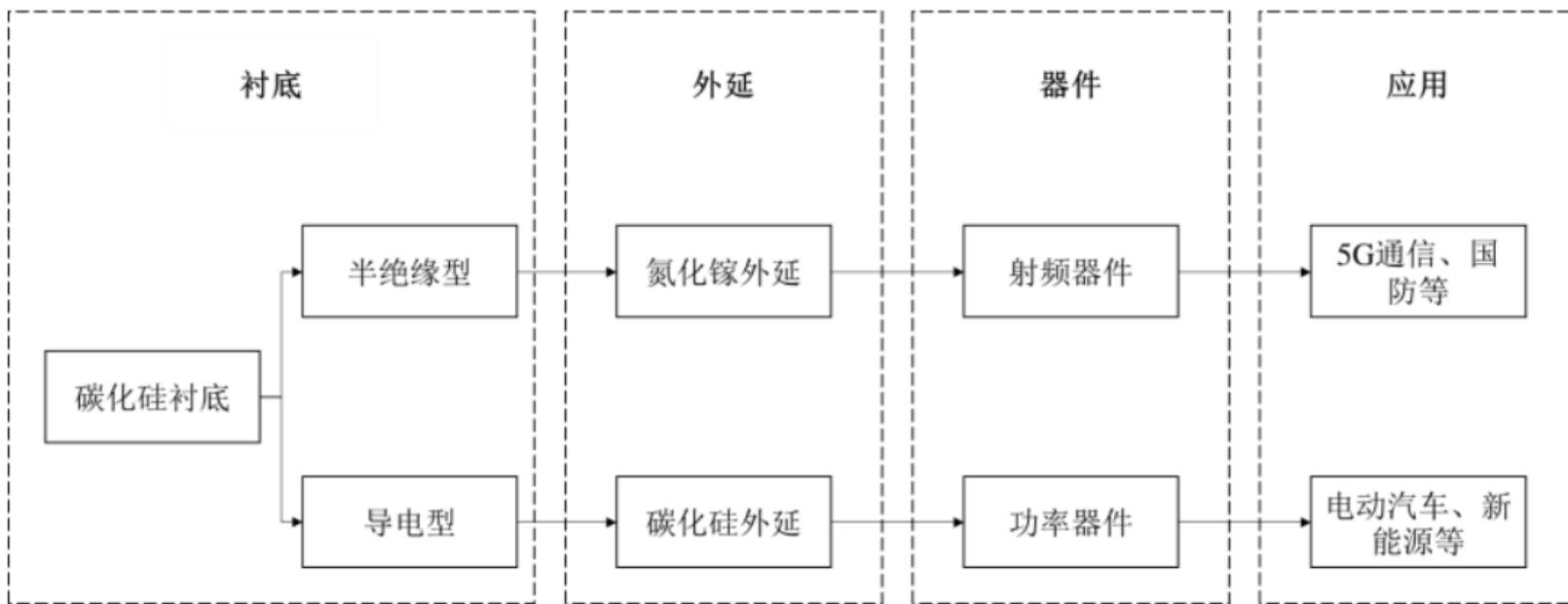
	2020年A	2021年A	2022年E	2023年E	2024年E	2025年E
国内电车销量（万辆，电机功率高于180kw）	12.3	38.3	58.5	81.9	106.5	127.7
YoY		210.7%	52.9%	40%	30%	20%
SiC渗透率	5%	10%	20%	30%	40%	50%
电驱动SiC需求量（万件）	0.62	3.83	11.70	24.57	42.58	63.87
单车电驱动SiC价值量（元）	20000	19000	18050	17148	16290	15476
国内电驱SiC器件市场空间（亿元）	1.23	7.27	21.11	42.12	69.36	98.84
YoY		490.4%	190.5%	99.5%	64.7%	42.5%

资料来源：车主之家，英飞凌，中航证券研究所测算

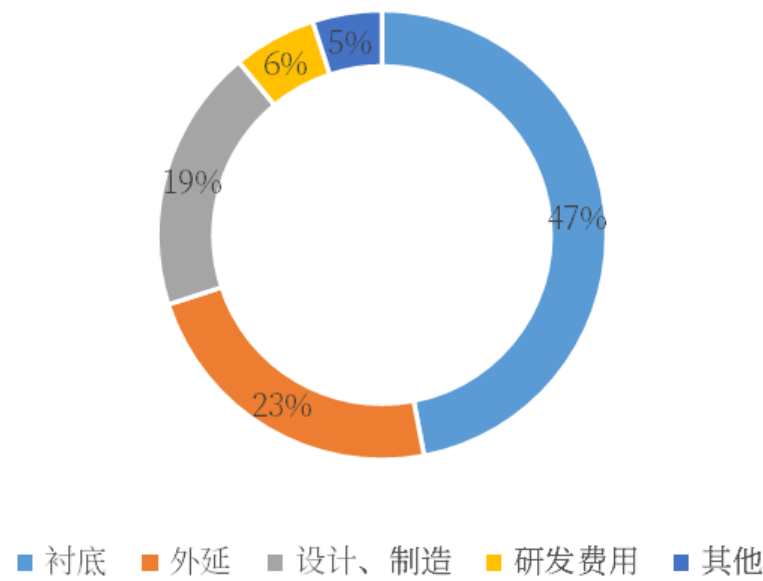
碳化硅降本核心：提高衬底生产速率及良率

- 以碳化硅材料为衬底的产业链主要包括碳化硅衬底材料的制备、外延层的生长、器件制造以及下游应用市场。在碳化硅衬底上，主要使用化学气相沉积法（CVD法）在衬底表面生成所需的薄膜材料，即形成外延片，进一步制成器件。
- SiC器件的制造成本中，SiC衬底成本占比50%，SiC外延的成本占比25%。SiC衬底成本较高的原因在于，目前主流商用的PVT法晶体存在生长速度慢、缺陷控制难度大，推高了SiC的单片成本。

SiC产业链



SiC器件制造成本结构



国内起步较晚，全产业链奋力追赶

- 碳化硅行业企业的业态主要可以分为两种商业模式：第一类是覆盖较全的产业链环节，同时从事碳化硅衬底、外延及器件的制作，例如科锐公司等；第二类是只从事产业链的单个或者部分环节，例如II-VI公司等。
- 国内碳化硅产业起步较晚。衬底方面，科锐和II-IV公司已分别于2009年和2012年实现了6英寸衬底的量产，国内公司如天岳先进于2019年才实现了量产。此外，科锐于2015年具备了更大的8英寸衬底量产能力，国内公司目前尚未有公司在8英寸实现突破。器件方面，意法半导体、英飞凌等设计、生产的SiC MOSFET已经批量应用于特斯拉，国内斯达半导、比亚迪还处于小批量供应阶段。

	衬底	外延	设计	晶圆制造	IDM
国际公司	- 科锐 - 道康宁 - 罗姆 - II-VI - 昭和电工	- 科锐 - 道康宁 - 罗姆 - Novasic - 昭和电工	- USCI - Bruckewell - CISSOID	- SUNY POLY - 离子束 - X-Fab - 汉磊	- 科锐 - 安森美 - 英飞凌 - 意法半导体 - 罗姆 - 三菱电机
	衬底	外延	设计	晶圆制造	IDM
国内公司	- 天科合达 - 天岳先进 - 世纪金光 - 东尼电子 - 露笑科技	- 瀚天天成 - 东莞天域 - 世纪金光	- 斯达半导 - 比亚迪 - 宏微科技	- 三安集成 - 中芯国际	- 泰科天润 - 时代电气 - 华润微 - 中电科

一、拥抱新能源，动力“CPU”迎风口

二、IGBT方兴未艾

三、碳化硅势在必行

四、附表：全球产能统计

■ 英飞凌、意法半导体、安森美等国际头部功率半导体供应商的现有产能以8英寸线为主，并逐渐向12英寸线转移。日系供应商富士电机、东芝也在加速扩张。国内供应商起步较晚，4至6英寸的功率半导体产线居多，但有多条8英寸、12英寸以及碳化硅在建设、爬坡中。由于功率半导体的迭代速度较慢，国内供应商有更充足的时间追赶国际头部公司，逐渐实现功率半导体的国产化。

2021年国内外主要功率半导体供应商产能（万片/月）

		4英寸	6英寸	8英寸	12英寸
国内供应商	华润微		22.7	13	
	士兰微		21.5	6	3.6
	比亚迪半导体		1.6		
	扬杰科技	90	6.6		
	闻泰科技		10.5	3.5	
	时代电气			1.2	
	燕东微电子		6	5	
	华微电子	21	6.5	3	
	捷捷微电	41.7	0.5		
国际供应商	英飞凌			29.4	5.2
	意法半导体		42	4.2	
	安森美		8	10	
	富士电机			1.7	
	东芝			6	
	三菱		4	20	

资料来源：公司官网，公司公告，中航证券研究所

- 国外供应商扩产项目以12英寸功率半导体产线，以及6英寸、8英寸碳化硅产线为主。产能释放时间在2023年之后，因此短期内，全球功率半导体仍将呈现供需紧张的局面。
- 国内功率半导体供应商中，华润微、士兰微、闻泰科技、燕东微电子均有12英寸线的在建产能。华润微、士兰微、斯达半导、时代电气、燕东微电子正在建设、规划碳化硅6至8英寸的产线。比亚迪、上汽集团、蔚来、博格华纳等主机厂及零部件供应商，也在积极布局IGBT和碳化硅模块、芯片产线。

国外供应商扩产项方向

公司	类别	始建时间	建成时间	产线状态	产品	备注
英飞凌	12英寸			爬坡中	CMOS、电源管理IC、MOSFET、IGBT等	
英飞凌	12英寸	2019H1	2021.8	爬坡中	功率器件	16亿欧元
英飞凌	8英寸	2022.6	2024H2	规划待建	SiC/GaN功率器件	20亿欧元
意法半导体	12英寸	2019	2022年H2投产	在建	混合器件和功率器件	与Tower共享R3洁净室
富士电机	8英寸			扩产中	SiC器件	母工厂
富士电机	8英寸	2021年	2023年	在建	功率	追加资本开支，计划2024量产SiC功率半导体
富士电机	8英寸		2023年	在建	第六代IGBT生产	投资250亿日元
东芝	8英寸		2006年	扩产中	Discrete	
东芝	12英寸	2021年	2022H2	在建	MOSFET、IGBT等功率半导体	
东芝	12英寸	2023Q1	2024年	在建	功率	
三菱	8英寸		2022Q1	爬坡中	功率	2021.11试产
三菱	12英寸	2021年	2024年	在建	RC-IGBT	2021年收购Sharp Fukuyama Semiconductor
三菱	12英寸		2022H2	在建	功率/模拟	
瑞萨	12英寸	2022年重启	2024年	在建	IGBT/功率MOSFET	工厂原有6、8吋线，2014年关停
罗姆	6英寸	43497	2022年	爬坡中	SiC 功率器件	
威世	12英寸	2021年		在建	MOSFET	3-4年后，能使公司自建产能提升70%

资料来源：公司官网，公司公告，中航证券研究所

公司	产线类别	产线	产线状态	年设计产能	2021年产能	生产项目	公司已知产能
天岳先进	4英寸SiC衬底	济南工厂（大功率碳化硅电力电子器件用材料项目）	爬坡中	\	5.7	半绝缘型	4吋衬底5.7万片/年
天岳先进	6英寸SiC衬底	上海工厂（碳化硅半导体材料项目）	在建	30	0	导电型	
天科合达	2~4英寸SiC衬底	新疆项目	满产	7	2.8"(4吋)		4吋衬底6.4万片/年
天科合达	4~6英寸SiC衬底	江苏徐州项目	爬坡中	6	3.6"(4吋)		
天科合达	6英寸SiC衬底	北京大兴区项目	在建	12	0	导电型/半绝缘型	
天科合达	6英寸SiC衬底	新疆项目P2	在建	\	0		
天科合达	6英寸SiC衬底	江苏徐州项目P2	在建	\	0		
天科合达	6英寸SiC衬底	北京大兴区项目P2	规划待建	25	0		
天科合达	6英寸SiC衬底	深圳项目	规划待建	\	0		
露笑科技	4/6英寸SiC衬底	浙江工厂（新建碳化硅衬底片产业化项目）	在建	8.8	0	6吋导电型/4吋半绝缘型	6吋衬底2.5万片/年
露笑科技	6英寸SiC衬底	第三代碳化硅产业园P1	爬坡中	24	\	导电型	
露笑科技	8英寸SiC衬底	第三代碳化硅产业园P2	规划待建	10	0		
露笑科技	8英寸SiC衬底	第三代碳化硅产业园P3	规划待建	15	0		
河北同光晶体	4/6英寸SiC衬底	原SiC产线	满产	\	6	导电型/半绝缘型	4/6吋SiC衬底8万片/年
河北同光晶体	4/6英寸SiC衬底	涿源工厂（年产10万片碳化硅单晶衬底项目）	爬坡中	10	2		
河北同光晶体		涿源新厂（同光晶体高质量碳化硅单晶衬底及外延产业化项目）	在建	60	0		
三安光电	6英寸SiC晶圆	三安集成生产线	爬坡中?	\	\	SiC SBD	6吋SiC晶圆6万片/年
三安光电	6英寸SiC晶圆/GaN	湖南三安项目P1	爬坡中	合计36	SiC、GaN分别0.3、0.1WP/M	导电型/SiC SBD	
三安光电	6英寸SiC晶圆	湖南三安项目P2	规划待建（4年内完成建设）	合计36	0	导电型	
东尼电子	6英寸SiC衬底		在建	12	\	导电型	

资料来源：公司官网，公司公告，中航证券研究所

- 新能源车销量不及预期
- 国内芯片设计、制造端遭遇技术瓶颈
- 产能建设不及预期
- 竞争加剧的风险

我们设定的上市公司投资评级如下：

买入：未来六个月的投资收益相对沪深300指数涨幅10%以上。
持有：未来六个月的投资收益相对沪深300指数涨幅-10%-10%之间
卖出：未来六个月的投资收益相对沪深300指数跌幅10%以上。

我们设定的行业投资评级如下：

增持：未来六个月行业增长水平高于同期沪深300指数。
中性：未来六个月行业增长水平与同期沪深300指数相若。
减持：未来六个月行业增长水平低于同期沪深300指数。

中航科技电子团队介绍：

首席：赵晓琨
十六年消费电子及通讯行业工作经验，曾在华为、阿里巴巴、摩托罗拉、富士康等多家国际级头部品牌终端企业，负责过研发、工程、供应链采购等多岗位工作。曾任职华为终端半导体芯片采购总监，阿里巴巴人工智能实验室供应链采购总监。长期专注于三大方向：1、半导体及硬科技；2、智慧汽车及机器人；3、大势所趋的新能源。

分析师：刘牧野
约翰霍普金斯大学机械系硕士，2022年1月加入中航证券。拥有高端制造、硬科技领域的投研经验，从事科技、电子行业研究。

分析师承诺

负责本研究报告全部或部分内容的每一位证券分析师，在此申明，本报告清晰、准确地反映了分析师本人的研究观点。本人薪酬的任何部分过去不曾与、现在不与、未来也将不会与本报告中的具体推荐或观点直接或间接相关。风险提示：投资者自主作出投资决策并自行承担投资风险，任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

免责声明

本报告并非针对意图送发或为任何就送发、发布、可得到或使用本报告而使中航证券有限公司及其关联公司违反当地的法律或法规或可致使中航证券受制于法律或法规的任何地区、国家或其它管辖区域的公民或居民。除非另有显示，否则此报告中的材料的版权属于中航证券。未经中航证券事先书面授权，不得更改或以任何方式发送、复印本报告的材料、内容或其复印本给予任何其他人。

本报告所载的资料、工具及材料只提供给阁下作参考之用，并非作为或被视为出售或购买或认购证券或其他金融票据的邀请或向他人作出邀请。中航证券未有采取行动以确保于本报告中所指的证券适合个别的投资者。本报告的内容并不构成对任何人的投资建议，而中航证券不会因接受本报告而视他们为客户。

本报告所载资料的来源及观点的出处皆被中航证券认为可靠，但中航证券并不能担保其准确性或完整性。中航证券不对因使用本报告的材料而引致的损失负任何责任，除非该等损失因明确的法律或法规而引致。投资者不能仅依靠本报告以取代行使独立判断。在不同时期，中航证券可发出其它与本报告所载资料不一致及有不同结论的报告。本报告及该等报告仅反映报告撰写日分析师个人的不同设想、见解及分析方法。为免生疑，本报告所载的观点并不代表中航证券及关联公司的立场。

中航证券在法律许可的情况下可参与或投资本报告所提及的发行人的金融交易，向该等发行人提供服务或向他们要求给予生意，及或持有其证券或进行证券交易。中航证券于法律容许下可于发送材料前使用此报告中所载资料或意见或他们所依据的研究或分析。