

# 新能源驱动需求快速增长，国产替代迎来换挡加速

## ——IGBT行业深度报告

证券分析师：黄细里

执业证书编号：S0600520010001

联系邮箱：huangxl@dwzq.com.cn

联系电话：021-60199793

2022年06月20日

- IGBT兼具MOSFET输入阻抗高、控制功率小、驱动电路简单、开关速度快和BJT通态电流大、导通压降低、损耗小等优点，被广泛应用在工业控制、新能源汽车、光伏风电、变频白电、智能电网以及轨道交通等领域。随着各个下游的快速发展，我们预计2025年中国IGBT市场空间将达到601亿元，CAGR高达30%。其中，增速最快的细分市场是新能源汽车IGBT，预计2025年我国新能源汽车的IGBT需求将达到387亿元，CAGR高达69%。
- 从市场格局上来看，外资IGBT厂商业务起步较早，先发优势明显，因此形成了当前IGBT市场被德国、日本和美国企业垄断的格局。目前全球IGBT前五大玩家为英飞凌、三菱、富士电机、安森美和赛米控，其中英飞凌在各个细分市场中都有较大的领先优势。与此同时，本土IGBT企业也在快速进步，技术上逐渐实现对国外领先企业的追赶，且在客户服务方面更具优势，能快速响应下游客户的需求，并且产品价格上相比于外资也有一定优势，有利于下游客户的降本。在目前IGBT下游快速发展，行业供需持续紧张的阶段，国产替代将迎来机会，优秀的本土IGBT企业有望在这一轮的行业中脱颖而出。
- 碳化硅作为第三代半导体材料的代表具有优异的性能，基于其制成的功率器件相比于传统的硅基器件具有耐高压、耐高温、工作频率高、能量损耗低等优势。在车载领域，目前各大主机厂为了提高补能速度纷纷布局800V高压平台，高压平台的到来将推动碳化硅器件在车载领域的应用，尤其是主驱逆变器中采用碳化硅模块是电驱系统升级的核心。未来随着碳化硅器件的持续降本，与硅基器件的价差将逐渐缩小，其在新能源汽车电驱系统中的渗透率将持续提升。
- **【投资建议】** 目前下游新能源汽车和新能源发电等领域持续快速发展，IGBT行业持续维持高景气度；此外国内IGBT厂商加速国产替代，快速切入下游主机厂供应体系。推荐车规级IGBT模块及碳化硅功率器件企业斯达半导（603290.SH），建议关注时代电气（688187.SH）和士兰微（600460.SH）等相关上市公司。
- **【风险提示】** 下游新能源汽车、新能源发电等行业的发展不及预期；IGBT行业国产替代进程不及预期；碳化硅行业发展不及预期；行业竞争加剧。



■ IGBT：电力电子行业中的核心器件

---

■ 空间：新能源等驱动IGBT需求持续增长

---

■ 格局：外资垄断集中度高，国产替代持续加速

---

■ 国内车规级IGBT产业链梳理

---

■ 碳化硅——第三代半导体功率器件大有可为

---

■ 投资建议及风险提示

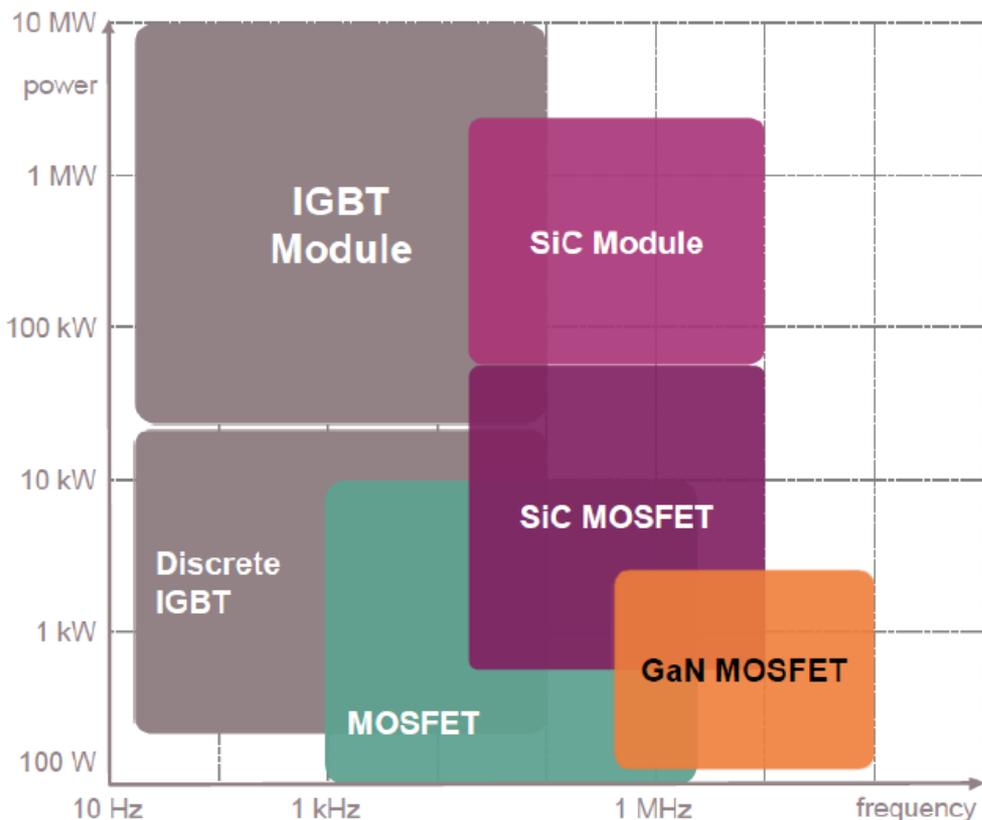
---

# 1. IGBT：电力电子行业中的核心器件

■ **IGBT具有优秀的综合性能。** IGBT全称为绝缘栅双极型晶体管，它由绝缘栅型场效应管和双极型三极管两个部分组成，其兼具MOSFET输入阻抗高、控制功率小、驱动电路简单、开关速度快和BJT通态电流大、导通压降低、损耗小等优点，是功率半导体未来主要的发展方向之一。

图1：适用于不同功率和频率的功率半导体器件

表1：IGBT与BJT、MOSFET性能比较



	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 (微秒)	快 (纳秒)	中等
工作频率	低 ( $\leq 100\text{kHz}$ )	快 ( $\leq 1\text{MHz}$ )	中等
安全工作区	窄	宽	宽
饱和电压	低	高	低

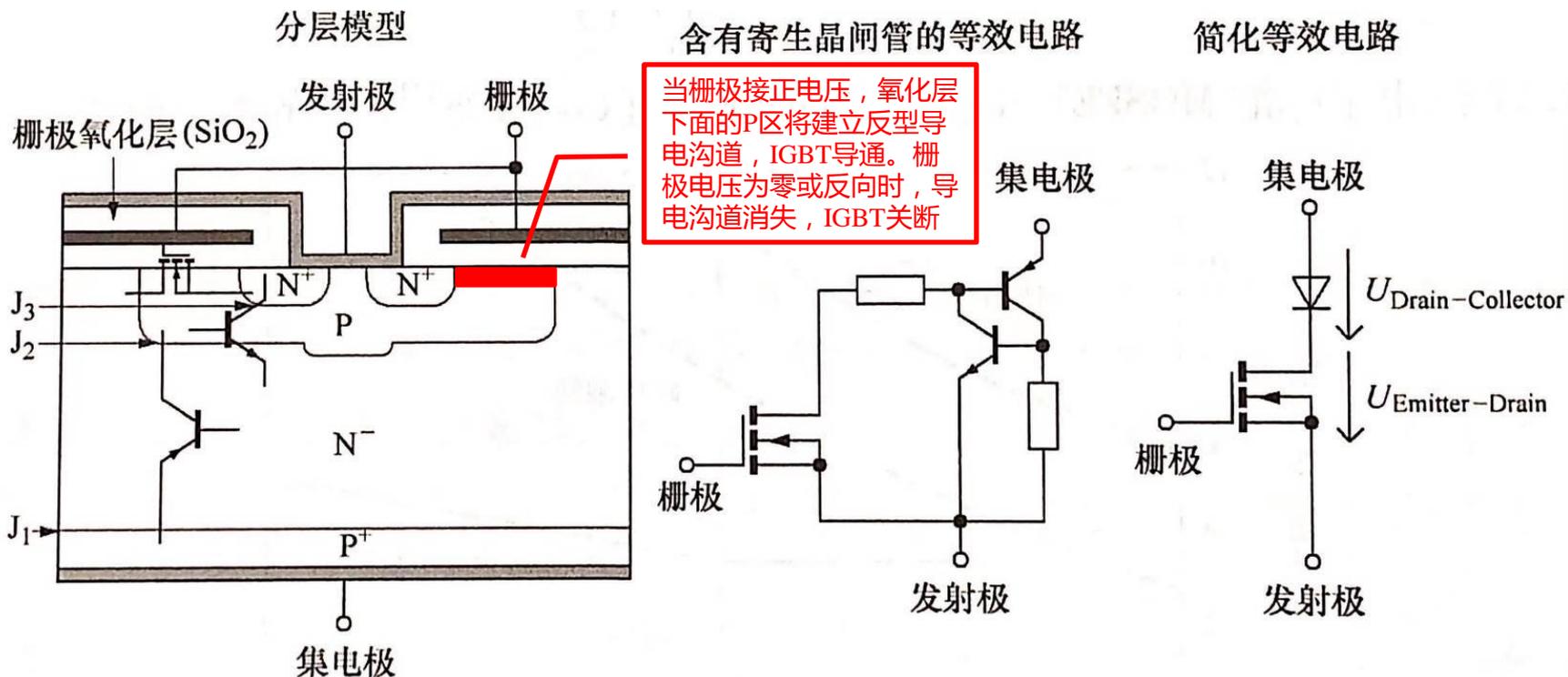
■ IGBT凭借着高功率密度、驱动电路简单以及宽安全工作区等特点，成为了中大功率、中低频率电力电子设备的首选。在工作频率低于 $10^5\text{Hz}$ 的范围内，硅基IGBT是首选的功率半导体器件，其功率范围涵盖几千瓦至十兆瓦，典型的应用领域包括工业控制（变频器、逆变焊机、不间断电源等）；新能源汽车（主电驱、OBC、空调、转向等）；新能源发电（光伏逆变器、风电变流器）；变频白电（IPM）；轨道交通（牵引变流器）；智能电网等。

表2：IGBT下游主要应用领域

应用领域	具体产品		
工业控制与节能电机	变频器	逆变焊机	UPS电源
新能源汽车及新能源发电	新能源汽车	风电变流器	光伏逆变器
变频白电及其它领域	变频家电	轨道交通	智能电网

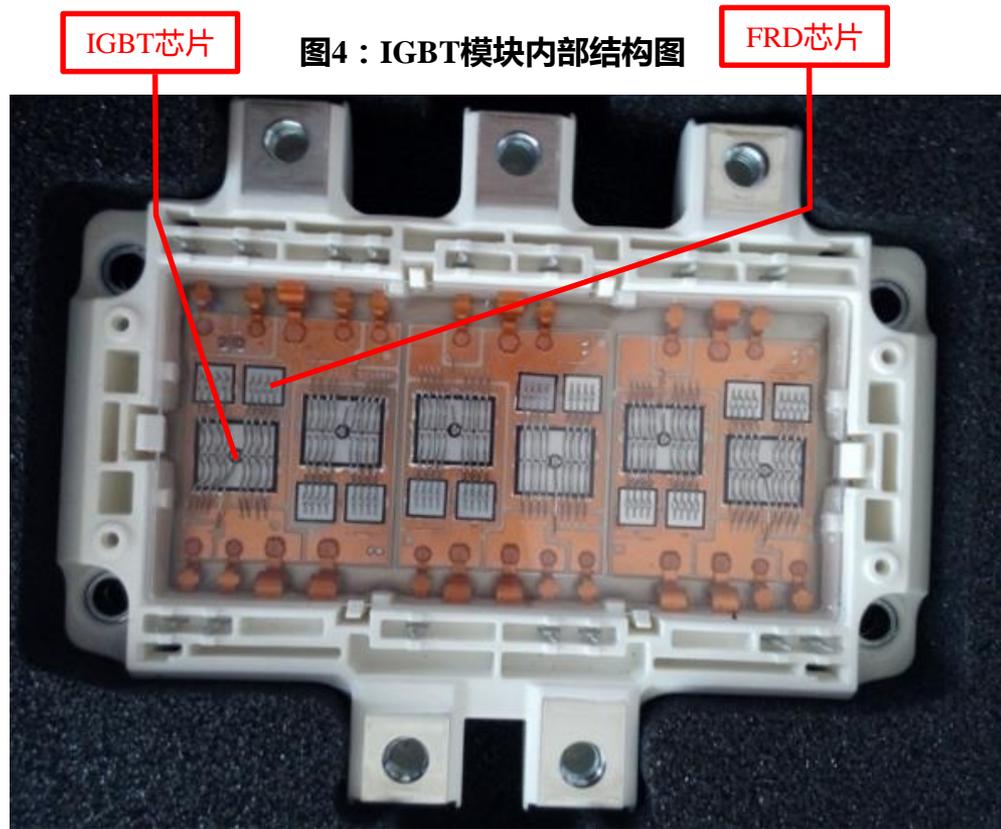
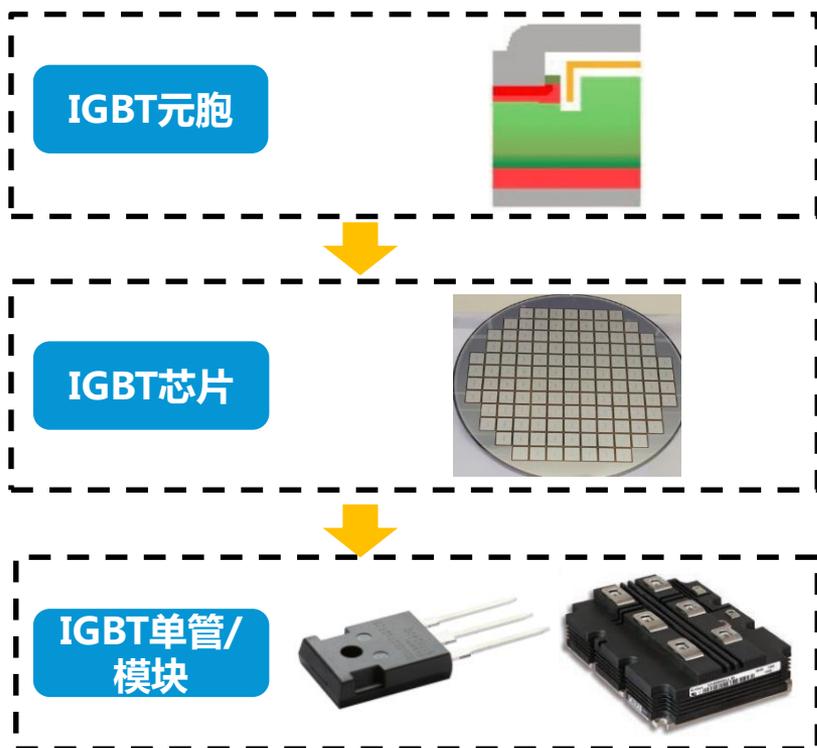
- IGBT的驱动原理与MOS相同，由栅极电压控制。
- 导通：当IGBT的栅极接到正电压，在氧化层下面的P区建立反型导电沟道，为电子从发射极到N<sup>-</sup>区提供导电通路，此时IGBT导通。
- 关断：当栅极电压为零或者反向时，MOS内的沟道消失，晶体管的基极电流被切断，此时IGBT关断。IGBT关断有两个阶段，第一阶段是关断反型沟道，电流迅速下降，第二阶段为晶体管关断，持续时间较长，导致IGBT存在拖尾电流。

图2：IGBT的分层模型及等效电路



- **元胞**：元胞是IGBT芯片的关键结构，其由三部分构成，分别为正面MOS结构、体结构和背面集电极。
- **IGBT芯片**：IGBT芯片是由几万个元胞组合而成，在制造工艺上采用大规模集成电路技术和功率半导体器件技术制造。
- **IGBT单管和IGBT模块**：IGBT单管是将单个IGBT芯片和FRD芯片采用一个分立式晶体管的形式封装在铜框架上。IGBT模块是将多个IGBT芯片和FRD芯片通过特定的电路和桥路封装而成，具有集成度高、可靠性高、散热稳定等特点。

图3：元胞→芯片→单管/模块



## IGBT技术发展和迭代的方向：

- (1) 降低导通损耗；
- (2) 降低开关损耗；
- (3) 提高电流密度；
- (4) 提高阻断电压；
- (5) 减少半导体材料用量（即在电压和电流等级一定的情况下，降低芯片厚度和减小芯片面积，以此达到降本的目的）；
- (6) 提升结温；
- (7) 扩展安全工作区。

图5：IGBT芯片面积和厚度逐年减小

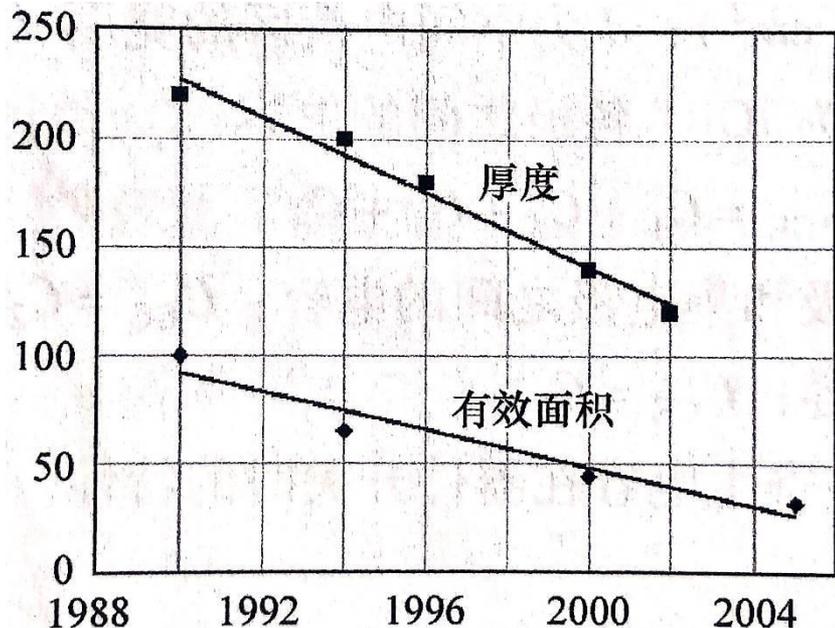
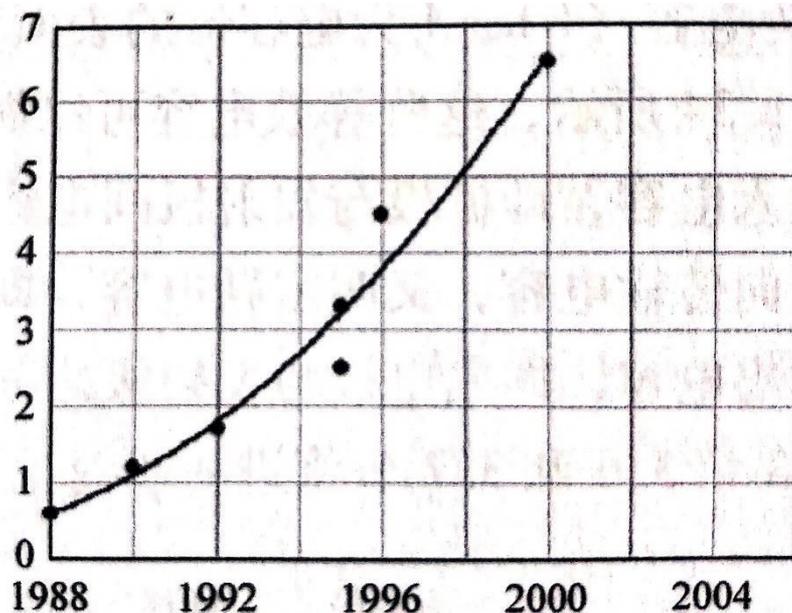


图6：IGBT阻断电压等级逐年提升



■ 从正面栅极结构上来看，其结构经历了从平面栅向沟槽栅以及最新的微沟槽栅的演化，目前市场主流的IGBT芯片以沟槽栅为主。栅极结构从平面向沟槽的发展有利于提高电流密度、降低导通压降、降低元胞尺并降低制造成本。

表3：IGBT栅极结构的发展趋势

结构类型	结构示意图	结构描述	结构特点
平面栅		采用的是平面栅极结构	最初始的栅极结构设计，平面形状的栅极会形成JFET结构，并且发射极区的电导调制效应较弱。高电压等级一般采用平面栅结构。
沟槽栅		栅极形状由平面改成了沟槽型	当IGBT开通时，P型发射区的反型沟道是垂直的，不存在JFET效应且发射区附近的电导调制效率很高。有利于降低总的比导通电阻并提高电流密度。沟槽栅的优势在600V-1700V的中低压范围较为明显。此外，还能降低元胞尺寸，降低器件的单位成本。
微沟槽栅		采用高密度沟槽技术，将沟槽间距降到1微米-2微米	可以大幅度提高正向导通时的正面载流子浓度，降低正向导通压降的范围

- 从体结构上来看，其经历了从穿通型（PT，Punch Through）到非穿通型（NPT，Non-Punch Through）再到场截止型（FS，Field Stop）三代的演化。

表4：IGBT体结构的发展趋势

结构类型	结构示意图	结构描述	结构特点
穿通型		<p>这种IGBT以高掺杂的P<sup>+</sup>为衬底，之上是N<sup>+</sup>缓冲层，然后以N<sup>-</sup>基为外延，最后通过扩散和注入工艺构造发射极和栅极</p>	<p>在外加电压足够强时，电场可以穿通整个N<sup>-</sup>基区，因此命名为“穿通型”。PT IGBT的是负温度系数的，且大多数情况下，在标称电流范围内，IGBT无法从负温度系数转变为正温度系数，这样就很难实现PT IGBT的并联使用。</p>
非穿通型		<p>NPT IGBT使用低掺杂的N<sup>-</sup>衬底作为起始层，先在N<sup>-</sup>漂移区的正面做成MOS结构，然后用研磨减薄工艺从背面减薄到IGBT电压规格需要的厚度，再从背面用离子注入工艺形成P<sup>+</sup> collector，而且不需要N型缓冲区。</p>	<p>电场不会穿通N型衬底，因此被称为“非穿通”IGBT。非穿通型IGBT直接采用薄片工艺，具有成本低的优势。且NPT IGBT基本表现为正温度系数，有利于IGBT的并联使用。基于非穿通型器件的成熟，采用多芯片并联的IGBT模块技术得到快速发展。</p>
场截止型		<p>FS IGBT是在NPT IGBT的基础上开发的。其设计目的是为了尽可能的降低IGBT的总损耗。</p>	<p>由于增加了电场终止层，所以N<sup>-</sup>衬底可以做的更薄一些，降低导通时的压降。此外，FS IGBT同样具有正温度系数。</p>

■ **通过不断的技术迭代，IGBT芯片各项性能指标不断优化。**从最早的平面穿通型（PT）迭代至2018年的精细沟槽栅场截止型，IGBT芯片的各项技术指标如芯片面积、工艺线宽、导通压降、关断时间和功率损耗等均得到了不断优化。

表5：IGBT芯片各项性能指标随着技术迭代逐代优化

序号	以技术特点命名	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)	出现时间
1	平面穿通型	100	5	3.0	0.50	100	600	1988
2	改进的平面穿通型	56	5	2.8	0.30	74	600	1990
3	沟槽型	40	3	2.0	0.25	51	1200	1992
4	非穿通型	31	1	1.5	0.25	39	3300	1997
5	电场截止型	27	0.5	1.3	0.19	33	4500	2001
6	沟槽型电场-截止型	24	0.5	1.0	0.15	29	6500	2003
7	精细沟槽栅场截止型	20	0.3	0.8	0.12	25	7000	2018

■ 从最初的平面穿通型IGBT到微沟槽场截止IGBT，英飞凌的IGBT芯片技术引进迭代到了第七代。  
（此处没有列出仅有单管封装产品的IGBT芯片）

表6：英飞凌IGBT芯片技术迭代历程

	最初代IGBT	IGBT2	IGBT3	IGBT4	IGBT5	IGBT7
芯片结构示意图	<p><b>Punch Through</b></p>	<p><b>IGBT1/2 Non Punch Through</b></p>	<p><b>IGBT3 Trench + Field-Stop</b></p>	<p><b>IGBT4 Trench + Field-Stop</b></p>	<p><b>IGBT5 Trench + Field-Stop III</b> (IFX -2011/2012)</p>	<p><b>Micro pattern trench</b></p>
	结构特征	平面栅+穿通	平面栅+非穿通	沟槽栅+场截止	沟槽栅+场截止	沟槽栅+场截止+表面覆铜
芯片说明	<p>最初代的IGBT芯片，工艺复杂、成本高。饱和压降呈负温度系数不利于并联。目前英飞凌已不再使用该代芯片。</p>	<p>截止时电场没有贯穿N<sup>-</sup>漂移区。但要提高电压阻断能力，需要电阻率更高且更厚的N<sup>-</sup>漂移层，将增大器件损耗和温升。</p>	<p>沟槽栅消除了JFET结构，提高了近表面载流子浓度。增加N<sup>-</sup>buffer层以截止电场，大大减小了N<sup>-</sup>漂移区的厚度，此外还降低了关断拖尾电流及损耗。</p>	<p>是目前使用最广泛的IGBT芯片技术，整体结构与IGBT 3相同，额外优化了背面结构。此外，工作结温相比IGBT 3也有所提升。</p>	<p>该代芯片主要区别在于表面覆铜（其芯片为铝），因此该芯片允许更高的工作结温和输出电流，同时该芯片厚度进一步减小。</p>	<p>IGBT 7的沟道密度更高，元胞间距经过精心设计，并且优化了寄生电容参数。</p>
	Advantage	<ul style="list-style-type: none"> <li>Implanted back-emitter</li> <li>better adjustable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Implanted back-emitter</li> <li>better adjustable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Implanted back-emitter</li> <li>Implanted field-stop</li> <li>enables thinner base region</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Optimized <math>R_{Modulation}</math></li> <li>Adjusted Backside</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reduced thickness</li> <li>Improved thermal concept</li> <li>New vertical concept</li> </ul>
Performance	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lower switching losses</li> <li>Higher switching robustness</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lower switching losses</li> <li>Higher switching robustness</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lower <math>V_{CESat}</math></li> <li>Lower switching losses</li> <li>Robustness like IGBT2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lower switching losses</li> <li>Increased softness</li> <li>Robustness like IGBT3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Higher current density</li> <li>Better reliability</li> <li>improved short circuit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lower <math>V_{CESat}</math></li> <li>Lower switching losses</li> </ul>

## 2.空间：新能源等驱动IGBT需求持续增长

全球IGBT市场规模持续增长，目前已经超过66亿美元。根据研究机构Omdia的数据，全球IGBT市场规模在过去近十年中保持持续增长，从2012年的32亿美元增长至2020年的66亿美元，八年间的复合增长率在10%左右。

全球范围内来看，工控和新能源汽车是IGBT需求占比最大的两个下游领域。分下游需求来看（2017年数据），工控是IGBT目前最大的需求市场，需求占比达到37%；新能源汽车位居第二大市场，需求占比为28%；其次是新能源发电和变频家电市场，两者的需求占比分别为9%和8%。

图7：全球IGBT市场规模

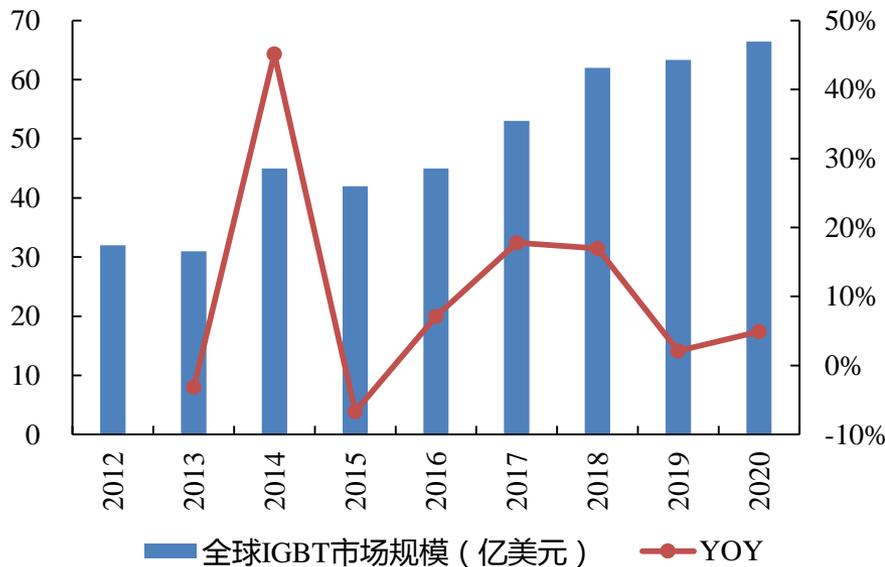
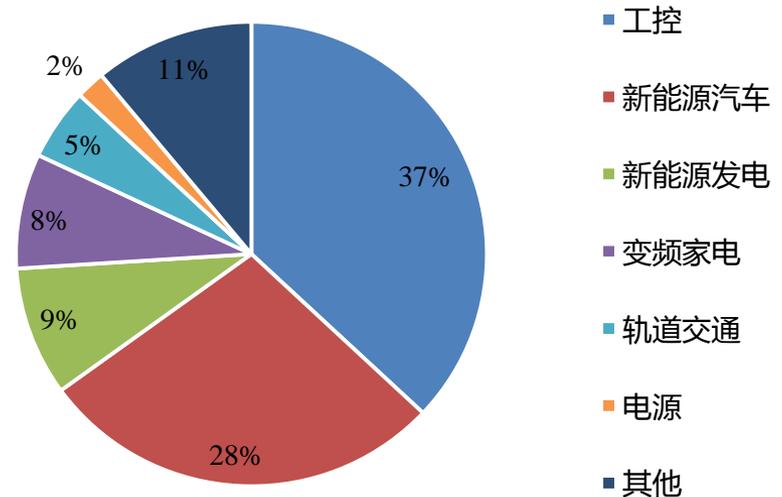


图8：2017年全球IGBT分下游需求占比

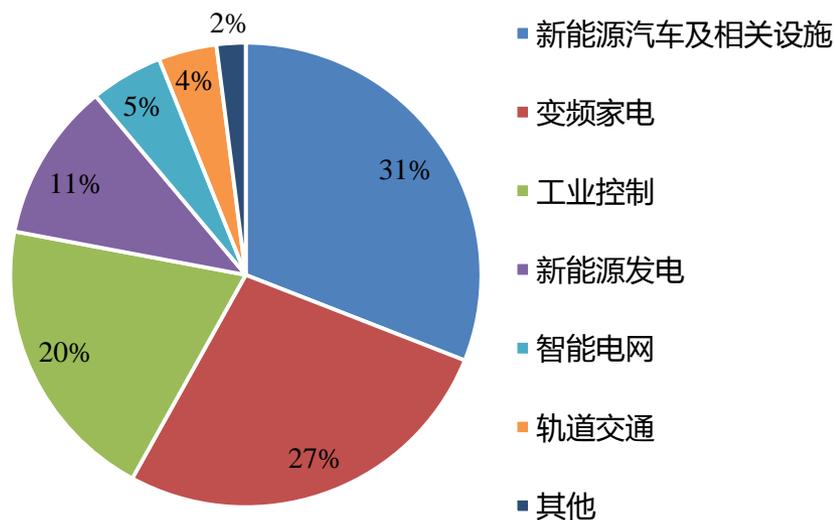


- **中国IGBT市场规模迅速增长，2019年已超过150亿元。**根据智研咨询的数据，中国IGBT市场规模增长迅速，从2012年的60亿元增长至2019年的155亿元，复合增速在15%左右，相比全球IGBT市场规模的增速更高。
- **中国已经成为了全球IGBT市场的重要组成部分，从市场需求占比来看，以2019年的数据为例，中国的IGBT市场规模已经占到全球IGBT市场规模的38%左右。**
- **中国IGBT需求结构：**中国的IGBT需求结构与全球市场略微有些不同（2018年数据），新能源汽车、变频家电和工业控制是中国IGBT市场需求占比最高的三个下游，其占比分别为31%、27%和20%，新能源发电、智能电网和轨交的需求目前较低。

图9：中国IGBT市场规模



图10：2018年中国IGBT分下游需求占比



- **IGBT是变频器、逆变焊机、UPS电源和电磁感应加热等传统工业控制及电源行业的核心元器件。**以工控领域最常用的变频器为例，变频器是把固定电压、固定频率变换成电压和频率可变化的设备，其通常由整流部分、滤波部分、逆变部分、制动电路、驱动电路和检测电路等组成。IGBT通常应用在变频器中的逆变电路以及制动电路中，其中以逆变电路的应用为主。变频器依靠内部IGBT的开断来调整输出电源的电压和频率。
- **工控市场是IGBT下游需求的基本盘。**根据集邦咨询的数据，2019年全球工控IGBT市场规模约为140亿元，是IGBT当前最大的下游市场。
- **全球工控IGBT市场规模后续预计将以低速保持稳定增长，预计增速将保持在3%~5%的区间。**根据集邦咨询的预测，预计到2025年全球工业控制IGBT市场规模将达到170亿元。

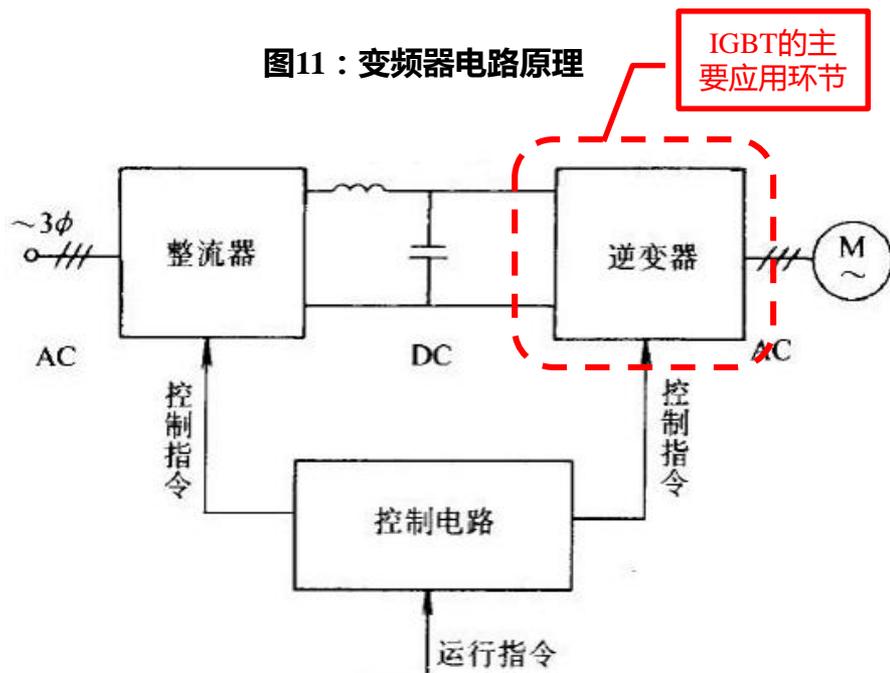
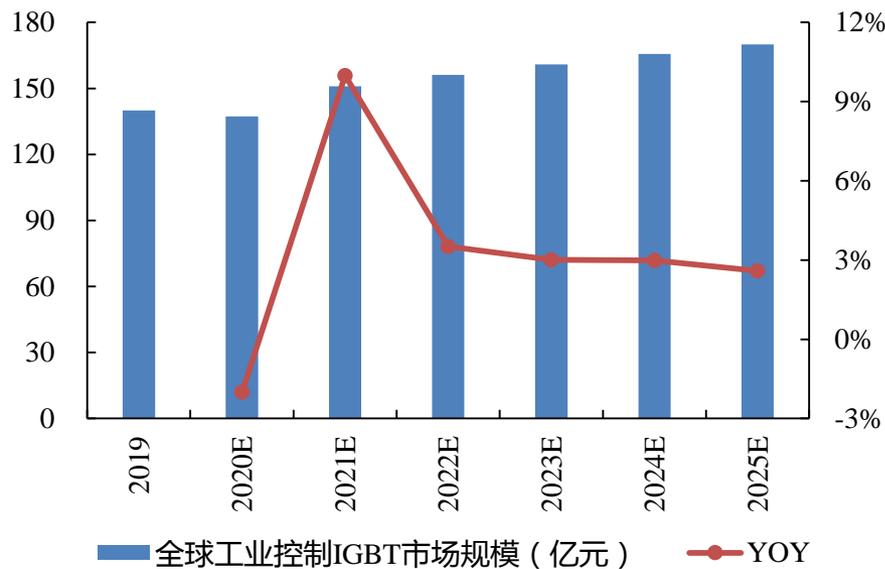


图12：全球工业控制IGBT市场规模预测



- 根据集邦咨询的数据，中国工业控制IGBT市场规模约为30多亿元（2019年）。
- 中国工控行业的发展，以变频器和逆变焊机为例：中国变频器市场规模从2016年的416亿元增长至2020年的541亿元，复合增速在7%左右，且未来到2025年预计将保持10%左右的增长速度；中国电焊机产量从2016年的677万台增长至2021年的1434万台，复合增速高达16%，后续随着电焊机产量的继续增长以及逆变焊机渗透率的提升，逆变焊机的产量增速我们保守预计在10%左右。
- 综上，我们保守预测中国工控IGBT市场规模增速保持在8%，高于全球工控IGBT市场增速。

图13：中国变频器市场规模

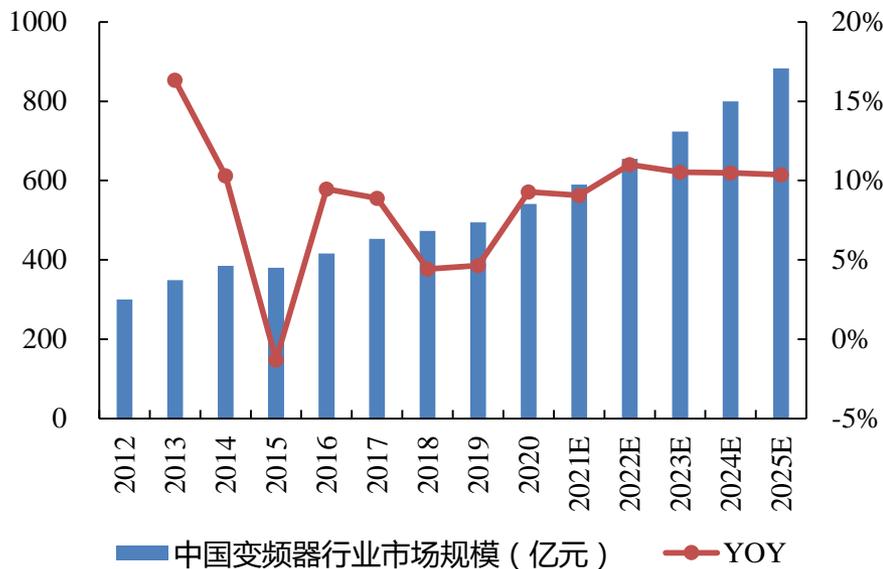


图14：中国电焊机产量



表7：中国工控IGBT市场规模测算

	2020A	2021A	2022E	2023E	2024E	2025E
中国工控IGBT市场规模 (亿元)	38.00	41.04	44.32	47.87	51.70	55.83
YOY		8.00%	8.00%	8.00%	8.00%	8.00%

■ **IGBT是新能源汽车中的核心元器件。** IGBT在新能源汽车中得到了广泛的应用，对整车的性能有着重要的影响。IGBT在新能源汽车中的主要应用包括电机控制器、车载充电器（OBC）、车载空调、以及为新能源汽车充电的直流充电桩中。

图15：IGBT在新能源汽车中的应用

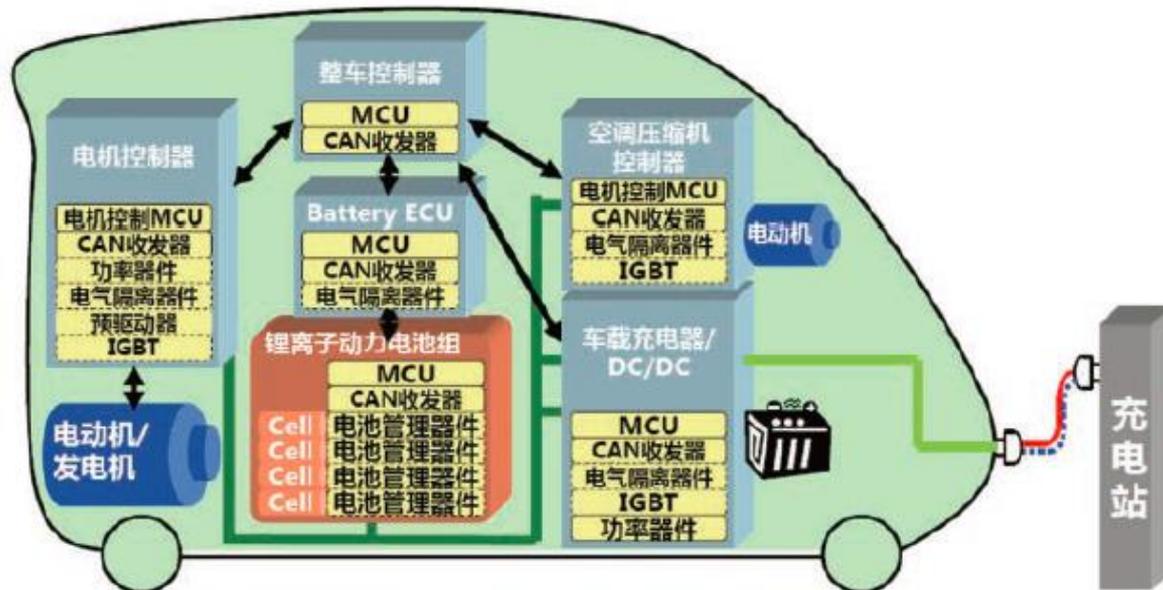
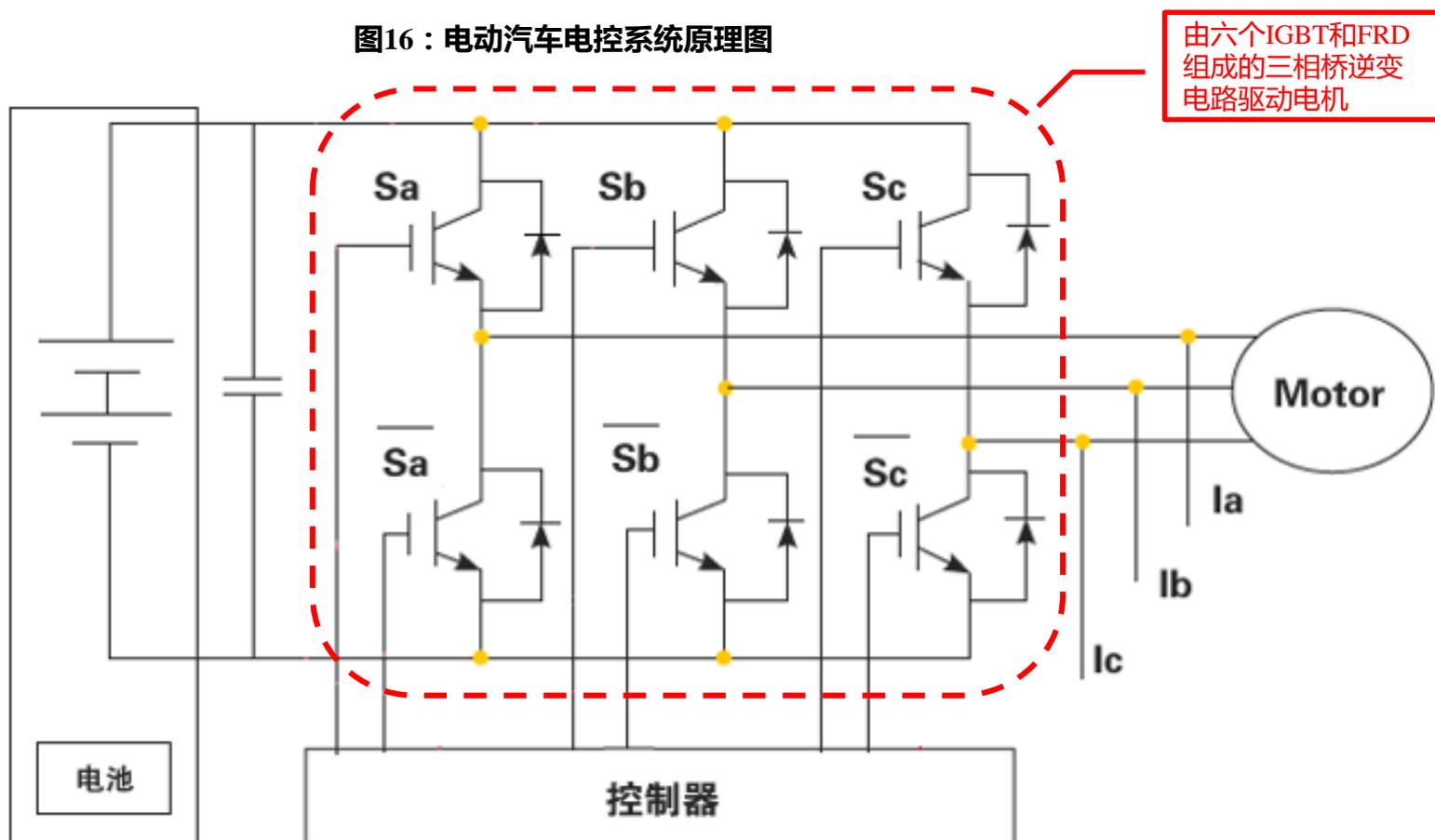


表8：IGBT在新能源汽车各部位的主要作用和功能

应用场景	功能
电机控制器	主逆变器中，IGBT将高压电池的直流电转换为驱动电机的交流电
车载空调	通过逆变器将高压电池的直流电转换成交流电后，驱动空调压缩机电机进行工作
车载充电器（OBC）	IGBT参与220V交流电转换为直流并为高压电池充电
直流充电桩	IGBT是充电模块的关键组成部分，是充电过程中电力转换与传输的核心器件

- **主逆变器是电动汽车的关键部件，它控制电动机的运转。**主逆变器的设计应当尽量减少损耗并提升热效率，车辆的续航能力和续航里程与主逆变器的效率高有着直接的关系。
- **整车控制器通过脉冲宽度调制（PWM）的方式控制IGBT的导通和关断，一方面将动力电池的直流电转换成交流电驱动电机运转；另一方面，也可以将汽车刹车或者下坡时回收的交流电转换成直流电，向动力电池充电。**

图16：电动汽车电控系统原理图



- **新能源汽车销量的快速增长为IGBT带来了新增需求。**我国新能源汽车在过去的几年里实现了销量的快速增长，根据乘联会的数据，我国新能源乘用车销量从2015年的17.5万辆增长至2021年的329.1万辆，复合增速高达63.1%，特别是2021年在新能源乘用车已经有着较大的销售规模的基础上实现了181%的销量增长。
- **汽车电动化提升了功率半导体的单车价值量。**根据Strategy Analytics的统计数据，2019年传统燃油车中功率半导体的价值量仅为71美元，价值量较低；而混合动力汽车中功率半导体的价值量提升至425美元，是传统燃油车的6倍；纯电动汽车中的功率半导体价值量提升至387美元，是传统燃油车的5.5倍。

图17：新能源汽车销量快速增长

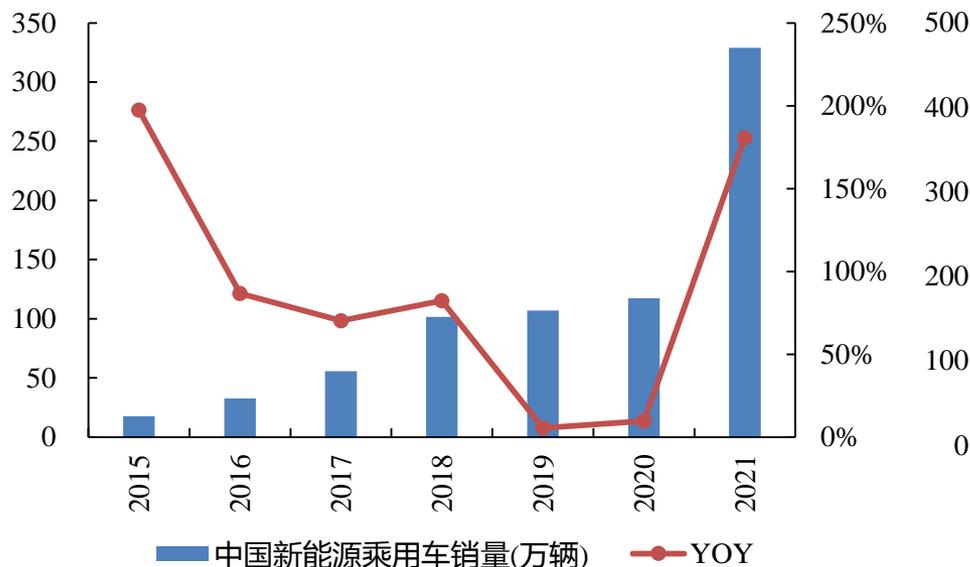
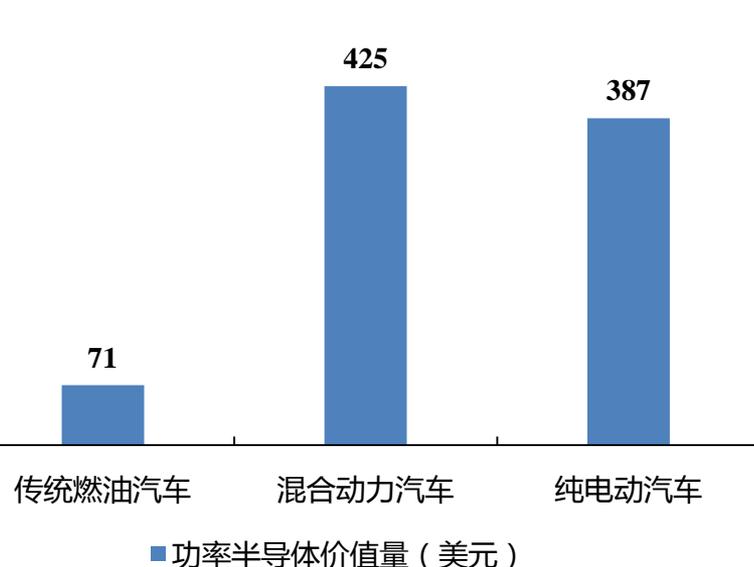


图18：汽车电动化推动功率半导体单车价值量大幅提升（2019年数据）



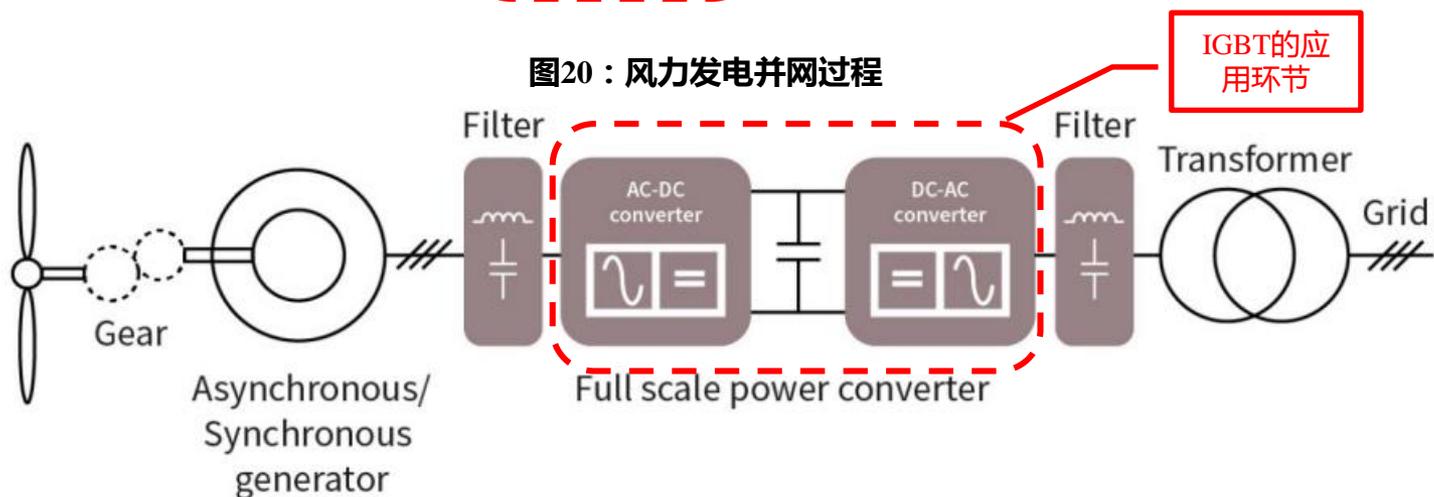
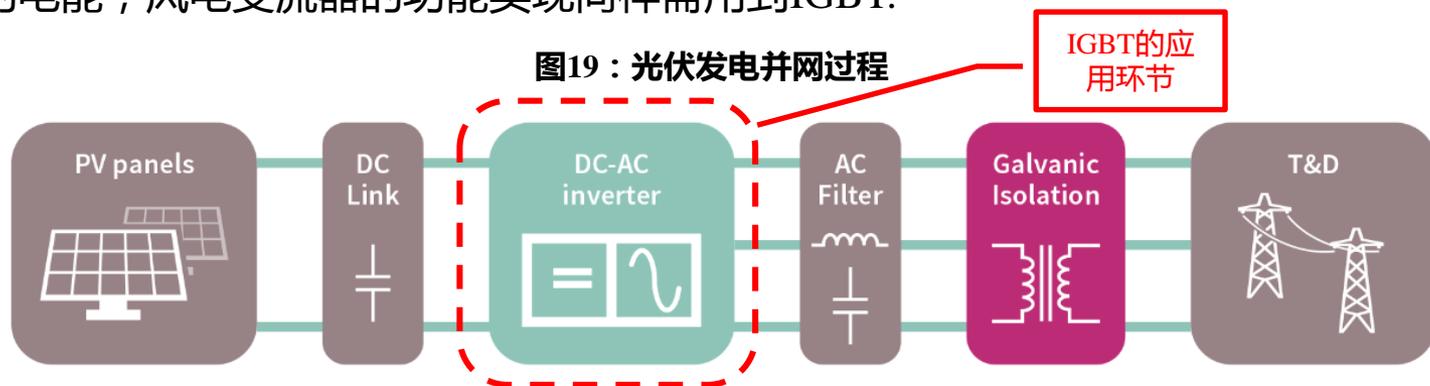
# 新能源汽车：销量提升带动IGBT需求快速增长

- 我们对全球和中国的新能源汽车IGBT市场规模进行了测算，结果如下：
- 核心假设：（1）全球和中国的汽车市场保持低速稳定增长，增速分别为2%和3%；（2）全球和中国的新能源汽车渗透率在2025年分别达到40%和59%；（3）根据英飞凌的数据，新能源汽车IGBT单车价值量在300美元上下，且后续随着新能源汽车性能提升及销量结构改善，IGBT单车价值量持续提升。
- 测算结果：至2025年，全球新能源汽车IGBT市场规模将达到116亿美元，是2021年的5倍以上；中国新能源汽车IGBT市场规模将达到387亿元，同样为2021年的5倍以上。

表9：全球和中国新能源汽车IGBT市场规模测算

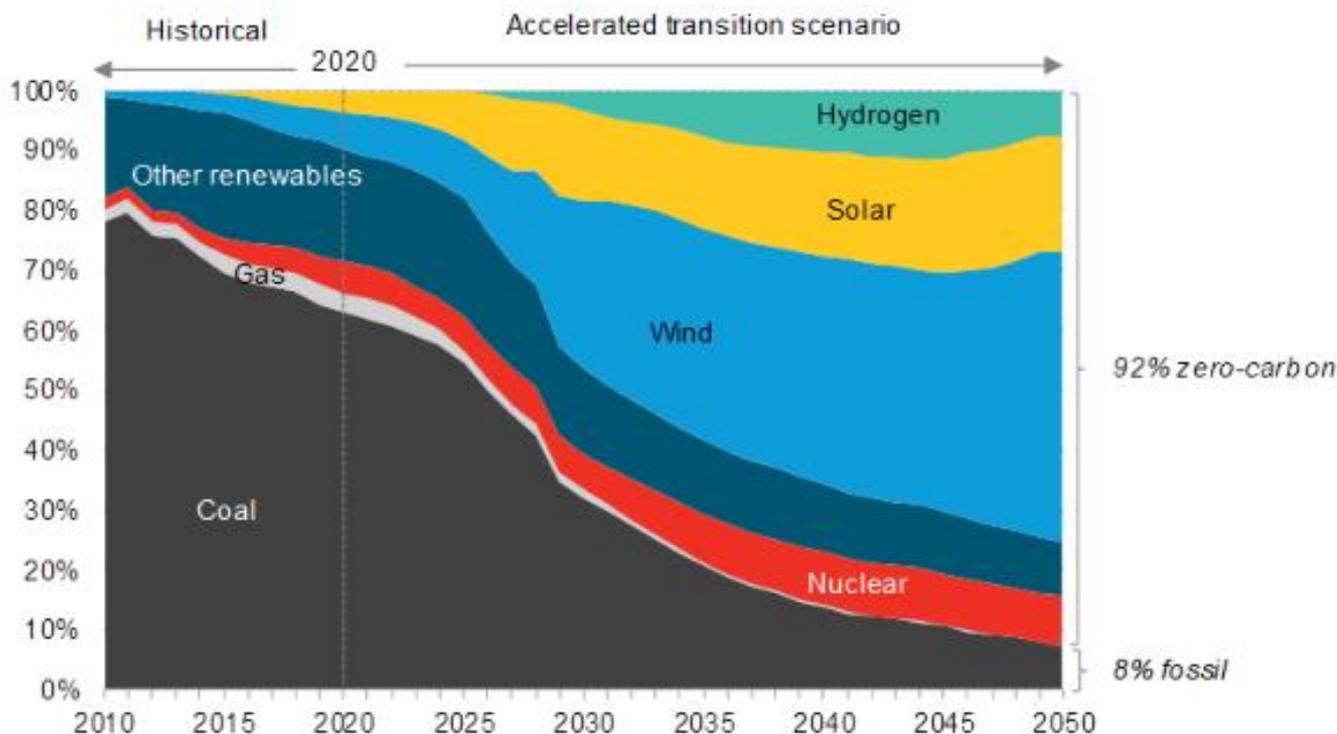
	2020A	2021A	2022E	2023E	2024E	2025E
全球汽车销量（万辆）	7797.12	8105.00	8267.10	8432.44	8601.09	8773.11
YOY		3.95%	2.00%	2.00%	2.00%	2.00%
全球新能源汽车渗透率	4.16%	8.02%	14.08%	23.47%	32.71%	39.78%
全球新能源汽车销量（万辆）	324.00	650.00	1163.72	1979.14	2813.72	3489.58
YOY		100.62%	79.03%	70.07%	42.17%	24.02%
IGBT单车价值量（美元）	300.00	306.00	312.00	318.00	325.00	331.00
全球新能源汽车IGBT市场空间（亿美元）	9.72	19.89	36.31	62.94	91.45	115.51
YOY		104.63%	82.54%	73.34%	45.30%	26.31%
中国汽车销量（万辆）	2531.10	2627.50	2706.33	2787.51	2871.14	2957.27
YOY		3.81%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%
中国新能源汽车渗透率	5.40%	13.40%	21.50%	35.50%	49.00%	59.00%
中国新能源汽车销量（万辆）	136.73	352.05	581.86	989.57	1406.86	1744.79
YOY		157.48%	65.28%	70.07%	42.17%	24.02%
IGBT单车价值量（美元）	300.00	306.00	312.00	318.00	325.00	331.00
中国新能源汽车IGBT市场空间（亿美元）	4.10	10.77	18.15	31.47	45.72	57.75
中国新能源汽车IGBT市场空间（亿元）	27.48	72.18	<b>121.63</b>	<b>210.84</b>	<b>306.34</b>	<b>386.94</b>
YOY		162.63%	68.52%	73.34%	45.30%	26.31%

- **光伏发电需要通过光伏逆变器后并入电网，IGBT是光伏逆变器的核心部件。**光伏逆变器是太阳能光伏发电系统中的关键设备之一，其作用是将光伏发电所产生的直流电转化为符合电网电能质量要求的交流电，IGBT则是光伏逆变器的核心部件。
- **风力发电需通过风电变流器后并网，IGBT同样是风电变流器的核心部件。**风电变流器的功能是将风电机组在自然风作用下产生的电压频率、幅值不稳定的电能转换为频率、幅值稳定，符合电网要求的电能，风电变流器的功能实现同样需用到IGBT。



- 2020年9月，中国提出将在2030年实现“碳达峰”，2060年实现“碳中和”；2021年9月，中共中央、国务院印发《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》，提出到2030年，非化石能源消费比重达到25%左右，风电、太阳能发电总装机容量达到12亿千瓦以上；
- 2022年1月，国家发改委、国家能源局印发《“十四五”现代能源体系规划》，其中明确提出要加快发展风电、太阳能发电；
- 彭博新能源财经也曾预测，中国能源市场在加速转型的情景下，到2050年中国92%的电能由光伏和风电为主的零碳电源提供。

图21：彭博预测的加速转型情景下的中国发电结构



- 我们对全球和中国的光伏发电领域IGBT的市场规模进行了测算，结果如下：
- 核心假设：（1）全球新增光伏装机量和中国新增光伏装机量到2025年分别持续增长至388GW和134GW；（2）光伏组件和光伏逆变器的容配比为1.2；（3）光伏逆变器单瓦价格从2020年的0.2元，持续降低至2025年的0.18元；（4）IGBT占光伏逆变器总成本的比例为15%。
- 测算结果：根据我们的测算，全球光伏逆变器用IGBT的市场规模将从2020年的35亿元持续增长至2025年的85亿元；中国光伏逆变器用IGBT市场规模将从2020年的12亿元持续增长至2025年的29亿元。

表10：全球和中国光伏领域IGBT市场规模测算

	2020A	2021A	2022E	2023E	2024E	2025E
全球新增光伏装机量 (GW)	139.40	181.24	231.64	304.59	347.80	387.70
YOY		30.01%	27.81%	31.49%	14.18%	11.47%
中国新增光伏装机量 (GW)	48.20	54.93	84.29	104.28	121.47	134.23
YOY		13.96%	53.44%	23.73%	16.48%	10.50%
容配比	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
全球光伏逆变器需求量 (GW)	116.17	151.03	193.04	253.83	289.83	323.08
中国光伏逆变器需求量 (GW)	40.17	45.78	70.24	86.90	101.23	111.86
光伏逆变器单瓦价格 (元/W)	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18
IGBT占光伏逆变器成本比例	15.00%	15.00%	15.00%	15.00%	15.00%	15.00%
全球光伏逆变器用IGBT市场规模 (亿元)	34.85	44.18	55.02	70.44	78.25	84.81
YOY		26.76%	24.54%	28.03%	11.10%	8.38%
中国光伏逆变器用IGBT市场规模 (亿元)	12.05	13.39	20.02	24.12	27.33	29.36
YOY		11.11%	49.51%	20.47%	13.33%	7.43%

- 我们对全球和中国的风力发电领域IGBT的市场规模进行了测算，结果如下：
- 核心假设：（1）全球风电新增装机规模到2025年达到146GW，中国风电新增装机规模到2025年达到78GW；（2）风电变流器单瓦价格为0.1元；（3）IGBT占风电变流器成本的比例为15%。
- 测算结果：根据我们的测算，全球风电变流器用IGBT的市场规模将从2021年的14亿元持续增长至2025年的22亿元；中国风电变流器用IGBT市场规模将从2021年的7亿元持续增长至2025年的12亿元。

表11：全球和中国风电领域IGBT市场规模测算

	2020A	2021A	2022E	2023E	2024E	2025E
全球新增风电装机量 (GW)	114.00	90.62	106.91	124.61	136.64	146.24
YOY		-20.51%	17.98%	16.55%	9.65%	7.03%
中国新增风电装机量 (GW)	71.67	47.57	59.52	67.95	73.05	77.55
YOY		-33.63%	25.12%	14.15%	7.51%	6.17%
全球风电变流器需求量 (GW)	114.00	90.62	106.91	124.61	136.64	146.24
中国风电变流器需求量 (GW)	71.67	47.57	59.52	67.95	73.05	77.55
风电变流器单瓦价格 (元/W)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
IGBT占风电变流器成本比例	15.00%	15.00%	15.00%	15.00%	15.00%	15.00%
全球风电变流器用IGBT市场规模 (亿元)	17.10	13.59	16.04	18.69	20.50	21.94
YOY		-20.51%	17.98%	16.55%	9.65%	7.03%
中国风电变流器用IGBT市场规模 (亿元)	10.75	7.14	<b>8.93</b>	<b>10.19</b>	<b>10.96</b>	<b>11.63</b>
YOY		-33.63%	25.12%	14.15%	7.51%	6.17%

- IGBT与驱动电路、保护电路集成为IPM模块应用在变频白电中。功率变换模块是变频家电实现变频的关键部件，通常使用智能功率模块（IPM）。
- 我国变频白电的渗透率正不断提升。我国三大白电销量近年来稳定在3亿上下，且随着节能减排要求的提高，我国白电的变频化率正不断提升，根据产业在线的数据，2021年空调、冰箱和洗衣机的变频化率分别达到68%、34%和46%，未来还将进一步提升。

图22：英飞凌变频冰箱解决方案采用了IPM模块

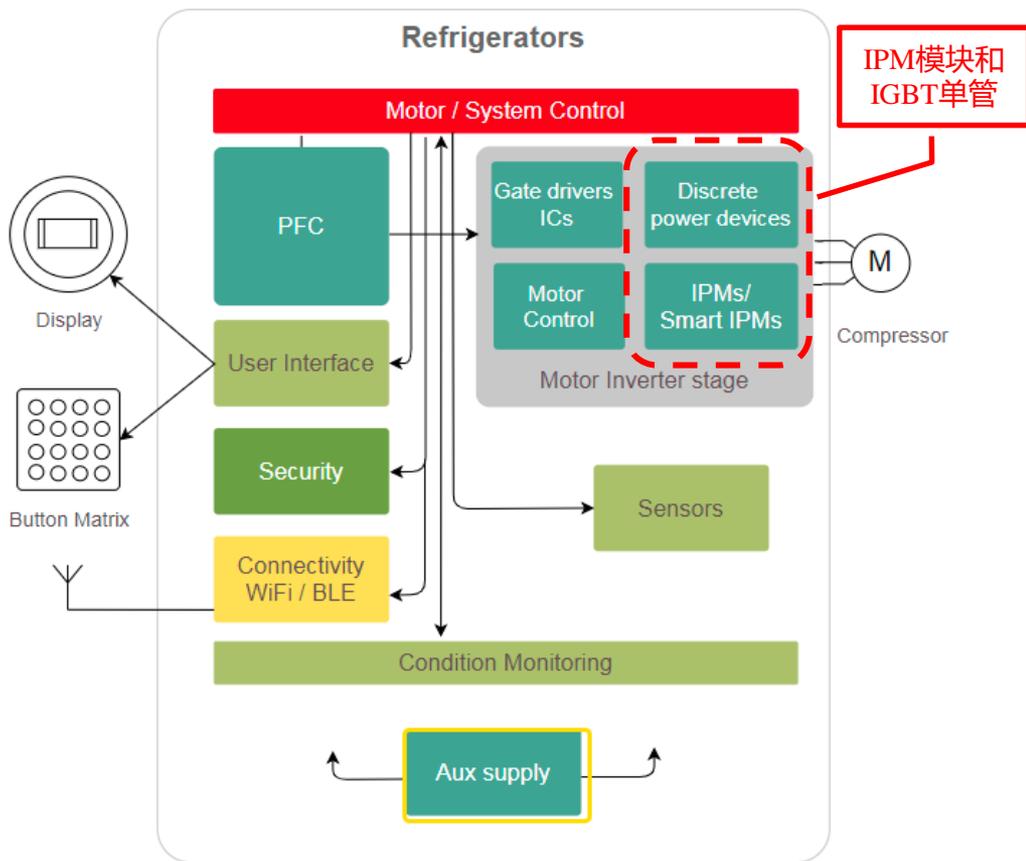
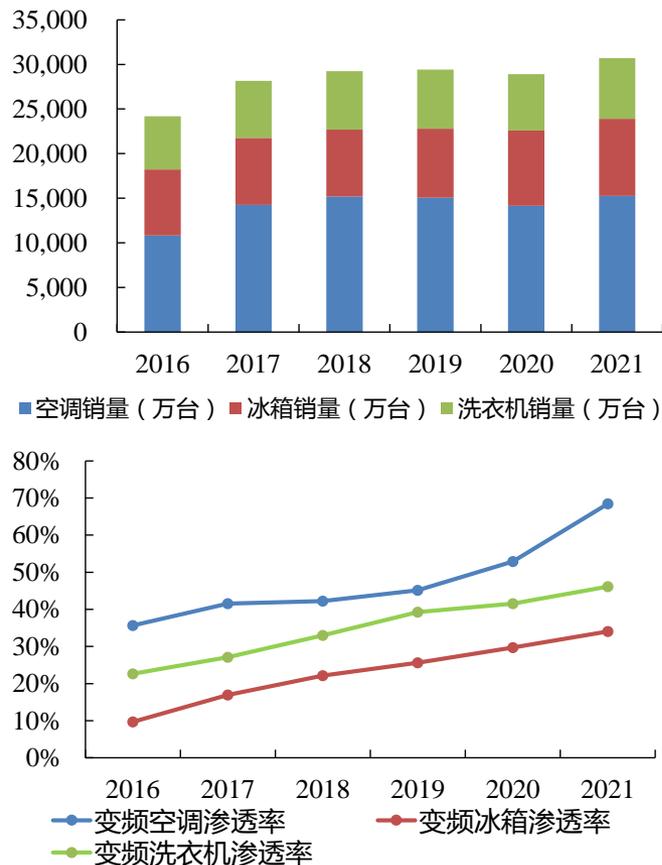


图23：我国白电销量及其变频渗透率



# 变频白电：变频白电IGBT需求2025年将达90亿元

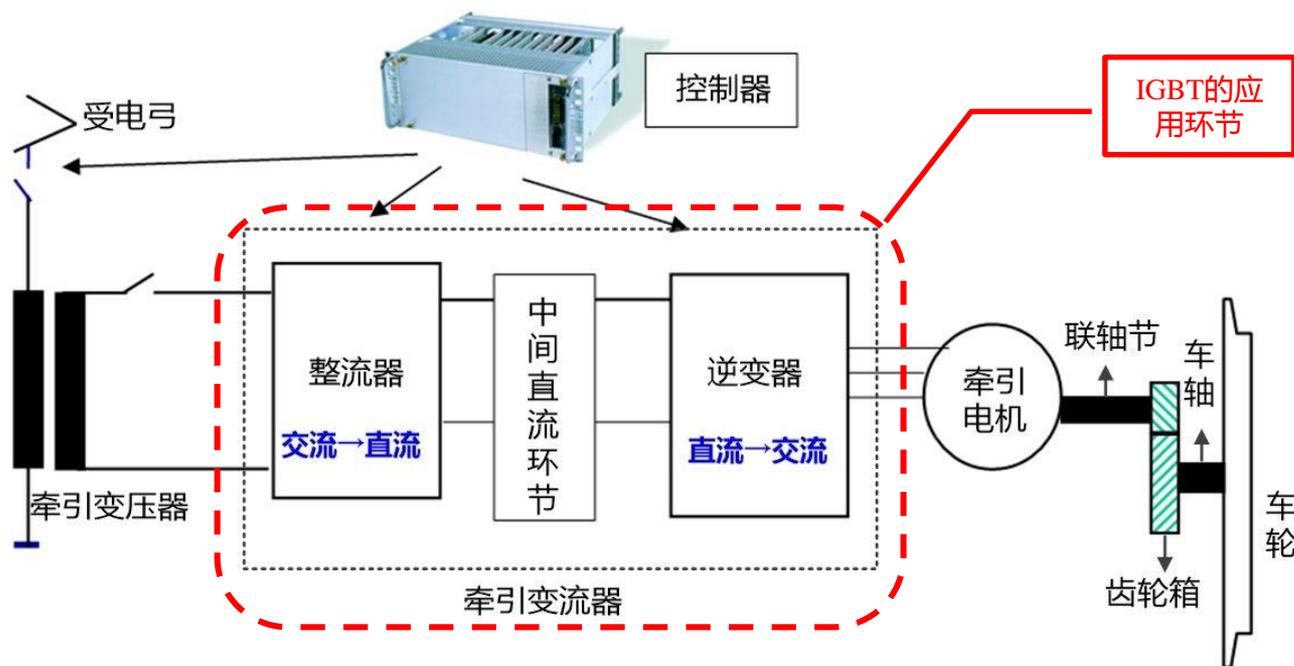
- **核心假设：**（1）空冰洗销量增速分别为5%、2%和2%；（2）节能减排促进空冰洗的变频化率持续提升；（3）一般空调IPM模块数量为两个，冰洗IPM模块数量为一个；（4）变频白电IPM模块价格在20元-25元，且价格每年2%递减。

表12：中国变频白电领域IGBT市场规模测算

	2020A	2021A	2022E	2023E	2024E	2025E
空调销量（万台）	14146.40	15260.00	16023.00	16824.15	17665.36	18548.63
YOY	-6.08%	7.87%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%
变频空调销量（万台）	7485.40	10447.00	12818.40	14300.53	15722.17	17064.74
变频空调渗透率	52.91%	68.46%	80.00%	85.00%	89.00%	92.00%
变频空调单机IPM模块数量（个）	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
变频空调IPM模块需求（万个）	14970.80	20894.00	25636.80	28601.06	31444.34	34129.47
冰箱销量（万台）	8446.90	8643.00	8815.86	8992.18	9172.02	9355.46
YOY	9.17%	2.32%	2.00%	2.00%	2.00%	2.00%
变频冰箱销量（万台）	2506.60	2943.00	3350.03	3776.71	4219.13	4677.73
变频冰箱渗透率	29.67%	34.05%	38.00%	42.00%	46.00%	50.00%
变频冰箱单机IPM模块数量（个）	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
变频冰箱IPM模块需求（万个）	2506.60	2943.00	3350.03	3776.71	4219.13	4677.73
洗衣机销量（万台）	6323.50	6817.00	6953.34	7092.41	7234.25	7378.94
YOY	-4.59%	7.80%	2.00%	2.00%	2.00%	2.00%
变频洗衣机销量（万台）	2626.97	3145.00	3476.67	3758.98	4051.18	4353.57
变频洗衣机渗透率	41.54%	46.13%	50.00%	53.00%	56.00%	59.00%
变频洗衣机单机IPM模块数量（个）	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
变频洗衣机IPM模块需求（万个）	2626.97	3145.00	3476.67	3758.98	4051.18	4353.57
变频白电IPM模块需求（万个）	20104.37	26982.00	32463.50	36136.75	39714.65	43160.78
YOY	10.50%	34.21%	20.32%	11.32%	9.90%	8.68%
变频白电IPM单价（元）	23.00	22.54	22.09	21.65	21.21	20.79
YOY		-2.00%	-2.00%	-2.00%	-2.00%	-2.00%
中国变频白电用IPM模块市场规模（亿元）	46.24	60.82	<b>71.71</b>	<b>78.23</b>	<b>84.25</b>	<b>89.73</b>

- **交流传动技术是现代轨道交通牵引传动的主流选择和核心技术。**交流传动原理：车辆经受电弓从接触网获得单相交流高压电，输送给车载牵引变压器进行降压，然后通过整流器转换成直流电，再由逆变器将直流电转换成调频调压的三相交流电，最后输送给交流牵引电机，整个过程包含了交-直-交的变化。交流传动优势：（1）良好的牵引和制动性能；（2）功率因数高，谐波干扰小；（3）电机功率大、体积小、质量轻、运行可靠性高；（4）动态性能和粘着利用好。
- **牵引变流器是交流传动技术的关键部件。**牵引变流器由整流器、中间直流电路和逆变器三部分组成，在交流传动系统中负责交-直-交转换，实现能量的转换，满足列车牵引与运行控制的要求。
- **IGBT是牵引变流器最核心的器件之一。**IGBT作为牵引变流器的主要开关器件，是牵引变流器中最核心的器件之一。

图24：轨道交通交流传动系统原理



■ 我们对中国轨道交通领域IGBT的市场规模进行了测算，结果如下：

■ **核心假设：**（1）根据“十四五规划”，2025年我国高铁里程达到5万公里，城市轨交里程达到1.3万公里；（2）动车组密度缓慢增加，轨交车辆密度保持相对稳定；（3）根据铁科院数据，假设标准组动车组IGBT数量为120个，单列城市轨交列车IGBT数量为50个；（4）动车组用IGBT价格为0.9万元/个，城市轨交车辆用IGBT价格为0.65万元/个。

■ **测算结果：**根据我们的测算，中国轨道交通领域IGBT的市场规模后续将保持相对稳定，整体市场空间保持在5.5亿元至6.5亿元之间。

表13：中国轨道交通领域IGBT市场规模测算

	2020A	2021A	2022E	2023E	2024E	2025E
中国高铁营业里程（公里）	37929.01	40204.75	42617.03	45174.05	47884.49	50757.56
YOY	7.18%	6.00%	6.00%	6.00%	6.00%	6.00%
中国动车组保有量（标准组）	3918	4262	4560	4879	5219	5583
动车组密度（标准组/百公里）	10.33	10.60	10.70	10.80	10.90	11.00
当年新增动车组（标准组）	253	344	298	319	341	364
单标准组动车组IGBT数量（个）	120	120	120	120	120	120
动车组用IGBT单价（万元/个）	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
中国高铁用IGBT市场规模（亿元）	2.73	3.71	3.22	3.44	3.68	3.93
中国城市轨道交通运营里程（公里）	7597.94	8585.67	9701.81	10866.03	12061.29	13267.42
YOY	25.40%	13.00%	13.00%	12.00%	11.00%	10.00%
城市轨道交通运营车辆（辆）	39603	43787	49479	55417	61513	67664
运营车辆密度（辆/公里）	5.21	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10
当年新增运营车辆（辆）	8935	4184	5692	5938	6096	6151
单列城市轨交车辆车厢数量（辆）	7	7	7	7	7	7
单列城市轨交车辆的IGBT数量（个）	50	50	50	50	50	50
城市轨交用IGBT单价（万元/个）	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
中国城市轨交用IGBT市场规模（亿元）	4.15	1.94	2.64	2.76	2.83	2.86
中国轨道交通用IGBT市场规模（亿元）	6.88	5.65	<b>5.86</b>	<b>6.20</b>	<b>6.51</b>	<b>6.79</b>

# 需求汇总：中国IGBT市场规模2025年将超600亿元

- **市场规模总量**：根据我们的测算，中国IGBT市场规模在2021至2025年间将保持持续增长的态势，预计到2025年中国IGBT市场规模总量将达到601亿元，复合增速高达30%。
- **下游需求结构**：（1）工控IGBT市场将保持稳定的增长，复合增速在8%左右；（2）新能源汽车IGBT是IGBT最具成长性的细分市场，其市场规模将从2020年28亿元增长至2025年的387亿元，CAGR高达69.71%，是IGBT市场规模增长的最强驱动力，2025年新能源IGBT需求将占到IGBT总需求的65%；（3）新能源发电IGBT市场规模在2025年将达到41亿元，CAGR为12.5%，也是驱动IGBT需求增长的重要细分市场；（4）变频白电IGBT市场规模随着白电变频化率的提高同样将持续增长，CAGR在14%左右；（5）轨交市场整体发展较为平稳，因此轨交IGBT需求也将保持相对稳定的状态。

表14：中国IGBT市场规模测算

	2020A	2021A	2022E	2023E	2024E	2025E	CAGR
工业控制	38.00	41.04	44.32	47.87	51.70	55.83	8.00%
YOY		8.00%	8.00%	8.00%	8.00%	8.00%	
新能源汽车	27.48	72.18	121.63	210.84	306.34	386.94	69.71%
YOY		162.63%	68.52%	73.34%	45.30%	26.31%	
新能源发电	22.80	20.52	28.95	34.31	38.29	41.00	12.45%
YOY		-9.98%	41.03%	18.52%	11.60%	7.07%	
变频白电	46.24	60.82	71.71	78.23	84.25	89.73	14.18%
YOY		31.53%	17.91%	9.09%	7.70%	6.50%	
轨道交通	6.88	5.65	5.86	6.20	6.51	6.79	-0.28%
YOY		-17.82%	3.72%	5.71%	4.99%	4.26%	
其他	18.00	18.54	19.10	19.67	20.26	20.87	3.00%
YOY		3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	
合计	159.40	218.75	291.57	397.11	507.35	601.16	30.41%
YOY		37.23%	33.29%	36.20%	27.76%	18.49%	

### 3.格局：外资垄断集中度高，国产替代持续加速

- **从行业进入的角度来看，IGBT行业的进入门槛非常高。**整体来看，IGBT行业的进入壁垒有三个方面，分别为技术壁垒、市场壁垒以及资金壁垒，这里我们主要关注前面两者。
- **技术壁垒：**IGBT的技术环节包含了IGBT芯片的设计和制造以及模组的设计和制造。（1）IGBT芯片需要工作在大电流、高电压和高频率的环境下，对芯片的可靠性有着很高的要求；同时芯片设计还要保证开通关断、抗短路能力和导通压降的均衡。因此IGBT芯片自主研发的要求非常高，设计和参数的调整优化十分特殊复杂，有着非常多的行业know how的积累。（2）IGBT芯片的制造环节同样有着较高的难度，一方面IGBT芯片本身的背面工艺难度较高，另一方面IDM模式自建产能需要非常大的资金投入，而Fabless模式下需要与代工厂实现技术和工艺的深度磨合。（3）模块方面，由于模块的集成度高，且工作在大电流、高电压、高温等恶劣环境下，因此在模块设计和制造工艺实现上须同时考虑绝缘、耐压、散热和电磁干扰等诸多因素。要实现IGBT模块产品的高可靠性、稳定性和一致性同样需要长时间的行业经验积累。
- **市场壁垒：**IGBT是下游应用产品的核心器件，IGBT的产品性能、可靠性以及稳定性对下游产品的性能表现有着直接的影响。因此，客户在导入IGBT时的验证测试周期长，替换成本高。因此客户在选择IGBT时通常较为保守谨慎，且一旦在选定后去做更改和替换的意愿都不强。

表15：IGBT行业拥有非常高的进入壁垒

行业壁垒	具体表现
技术壁垒	IGBT行业的核心技术包括IGBT芯片的设计和制造，IGBT模块的设计、制造和测试。由于IGBT是下游产品的核心器件，且需要工作在大电流、高电压和高温等环境下，因此不管是在芯片设计、芯片制造以及模组封装等环节都有非常高的技术要求和工艺要求。
市场壁垒	IGBT是下游应用产品的核心器件，IGBT的产品性能、可靠性以及稳定性对下游产品的性能表现有着直接的影响。因此，客户在导入IGBT时的验证测试周期长，替换成本高，客户在选择IGBT时通常较为保守谨慎。
资金壁垒	IGBT同样属于资金密集型行业，研发投入大，各环节的生产测试设备投入大。且从研发立项到实现客户大批量销售需要较长时间，对行业玩家有着较强的资金要求。

# 技术壁垒（1）：芯片设计要求大电流密度、低损耗、耐高温高压

- IGBT芯片设计需满足大电流密度、低功率损耗、耐高温高压等技术要求，特别是车规级IGBT芯片的要求将会更高。
- 目前，在大电流密度、低功率损耗方面的芯片技术主要有：沟槽栅技术、屏蔽栅技术、载流子存储层技术、超级结技术和逆导IGBT等技术。

表16：IGBT芯片大电流密度、低功率损耗技术

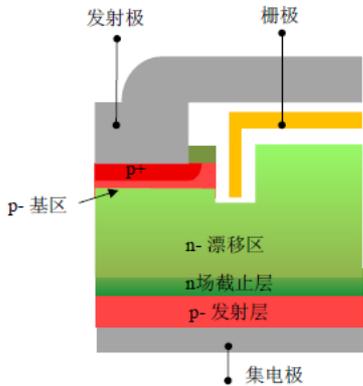
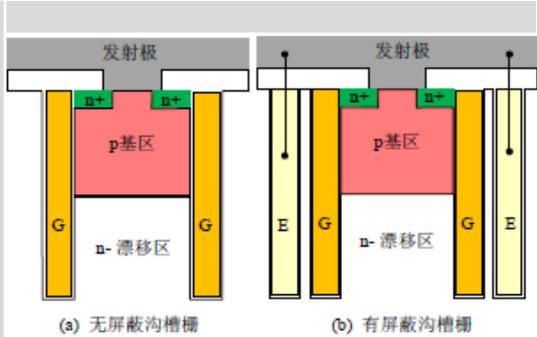
技术	原理	示意图	技术优势	技术不足	典型应用案例及产品
沟槽栅技术	提高增强注入效应		消除了结型场效应管区域，具有元胞紧凑和通态压降小的特点，可以实现更大的电流密度	需考虑窄台面宽度对器件短路能力的影响且对制造工艺要求高	英飞凌 HybridPACK Drive
屏蔽栅技术	通过减小栅极与集电极的正对面积降低密勒电容		减小密勒电容，降低开通损耗	太小的密勒电容对造成反向恢复时过大的dV/dt，引起EMI问题	日立车规级模块 MBB400TX12A

表16续：IGBT芯片大电流密度、低功率损耗技术

技术	原理	示意图	技术优势	技术不足	典型应用案例及产品
载流子存储层技术	提高增强注入效应，通过添加载流子存储层（CS layer）阻止空穴进入P基区，以提高近发射极处的空穴浓度		实现通态压降的降低	需考虑对各元胞 $V_{ge(th)}$ 一致性的影响	三菱J1系列模块
超级结技术	超级结技术		进一步降低芯片的损耗	目前正处于研究阶段	暂无
逆导技术	同一芯片上集成IGBT和FWD		减小芯片面积使封装更方便，同时节省了焊接芯片和键合绑定线的成本，散热面积更大，允许更高的工作结温	存在电压回跳现象，且由于反向恢复特性差和成品率较低等因素目前未还广泛应用	富士M653系列车规级模块

■ 目前，在耐高温、高压方面的IGBT芯片技术主要有：缓冲层技术和终端结构优化技术。

表17：IGBT芯片耐高温高压技术

技术	原理	示意图	技术优势	技术不足	典型应用案例及产品
缓冲层技术	芯片厚度的减小会导致芯片耐压裕量下降的问题，可以通过添加缓冲层改变电场分布，实现芯片耐压等级的提高		实现芯片耐压等级的提高	/	/
终端结构优化	通过缓解结面处的电场集中效应，实现增大器件击穿电压和提高可靠性的目的		电动汽车中普遍采用场限环与场板相结合的终端结构，制造工艺简单，一般通过增大场限环个数、宽度以及场板长度即可提高器件耐压等级	如何选择合适的环数、环宽和场板长度是一个技术难点	/

■ IGBT芯片制造环节中背面工艺难度较高。IGBT芯片的正面工艺与MOS基本一致，在正面结构形成后，IGBT芯片将进行背面工艺，主要包括：背面减薄，背面注入、背面退火和背面金属化，背面工艺的难度整体较大。

图25：Trench FS IGBT芯片的主要工艺流程

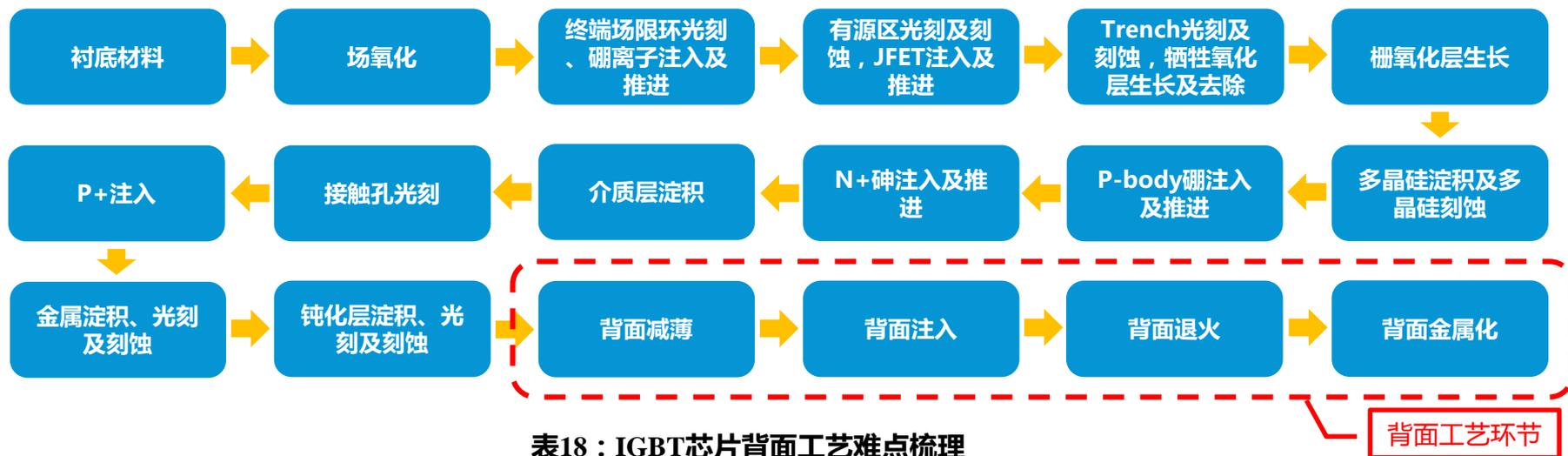


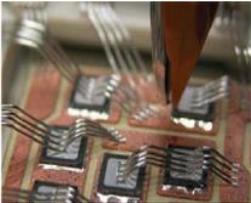
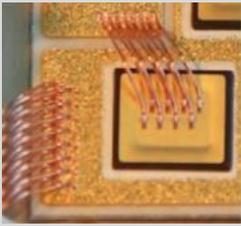
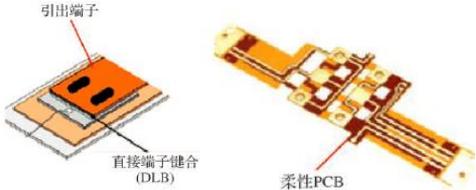
表18：IGBT芯片背面工艺难点梳理

工艺环节	作用	工艺难点
背面减薄	满足特定耐压指标，降低芯片损耗	减薄会在背面和引入大量的层错、位错等缺陷，同时会带来晶圆翘曲和碎片的问题。英飞凌最低能减薄至40μm，国内普遍在120μm至175μm
背面注入	通过离子注入完成背面掺杂	注入区域内会产生空位、间隙原子和晶格畸变，形成的损伤区将直接影响期间的性能
背面退火	激活离子注入的杂质离子，并消除和修复注入过程中形成的损伤层	受限于正面金属的熔点，退火温度一般限制在500°C以下，这种温度条件下离子注入掺杂的激活率很低，因此需采用激光退火工艺来激活掺杂，激光退火可以有效控制热量的传导，使正面区域保持在较低的温度

# 技术壁垒（3）：模块封装是保证产品可靠性和稳定性的关键环节

- IGBT模块对可靠性和稳定性要求高，模块封装技术是关键环节。IGBT模块封装主要涉及到芯片表面互连、贴片互连、导电端子引出互连等相关工艺。要实现IGBT模块产品的高可靠性和高稳定性，模块封装技术至关重要，企业必须在模块封装技术上有长时间的行业经验积累。
- 目前IGBT模块封装技术的发展方向主要有新型互连材料，新型互连方式以及工艺参数的优化等，均旨在提高IGBT模块产品的可靠性并进一步缩小模块产品体积。

表19：IGBT模块封装各环节的工艺梳理

环节	目的	工艺方法	示意图	工艺优点	工艺不足
芯片表面互连	将芯片与芯片、芯片与绝缘衬板表面金属化层、半导体绝缘衬板之间以及绝缘衬板与功率端子之间进行电气连接	铝线键合		工艺成熟，成本较低	电气、热力学性能较差，膨胀系数失配大，影响IGBT使用寿命
		铜线键合		电气、热力学性能优良，可靠性高，适用于高功率密度、高效散热的模块	需要对芯片表面进行铜金属化处理，同时需要更高的超声能量，有可能伤及IGBT芯片
		直接电极引出、柔性电路板键合等		属于新型芯片表面互联技术，可靠性更高	/

# 技术壁垒（3）：模块封装是保证产品可靠性和稳定性的关键环节

表19续：IGBT模块封装各环节的工艺梳理

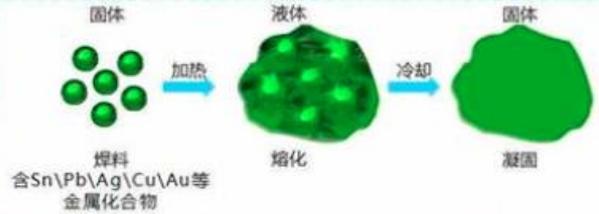
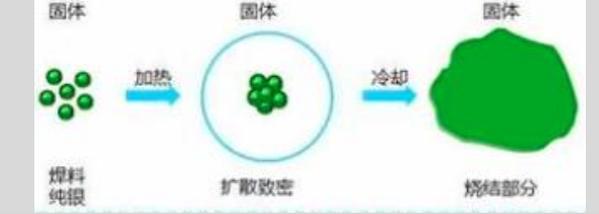
环节	目的	工艺方法	示意图	工艺优点	工艺不足
贴片互联	将芯片下表面与绝缘衬板焊接在一起	软钎焊接	 <p>固体 液体 固体 加热 冷却 熔化 凝固 焊料 含Sn\Pb\Ag\Cu\Au等金属化合物</p>	工艺简单，成本较低	软钎焊接的焊接层熔点为220℃，如果在高温环境下工作可能出现热负荷过重、模块可靠性降低
		低温银烧结	 <p>固体 固体 固体 加热 冷却 扩散致密 烧结部分 焊料 纯银</p>	焊接层具有高热导率、高电导率、高可靠性的优点	工艺过程中需要施加高温、高压，材料成本较高，且对设备和工装的要求较高
端子引出技术	/	传统焊接工艺	/	工艺简单，成本较低	难以满足车载环境中 的大电流冲击、热循环作用以及机械振动
		超声键合	/	工艺简单快捷，接触电阻较低，键合强度较高	/

表19续：IGBT模块封装各环节的工艺梳理

环节	目的	工艺方法	示意图	工艺优点	工艺不足
散热结构设计	利用散热结构对工作中的模块进行冷却，避免出现过高的温度	铜基板三明治散热结构		工艺简单成熟	热阻大、散热性能差、结构笨重
		时代电气Pin-Fin散热结构		散热系统结构简单，散热性能好	成本较高，工艺难度较大
		无基板和无焊接结构		体积小、重量轻	/
		平面互联和双面冷却技术（两块铜板直接与芯片的上下表面相焊接）		整体热阻大幅下降	需要在两个电极与外部散热器之间加绝缘层

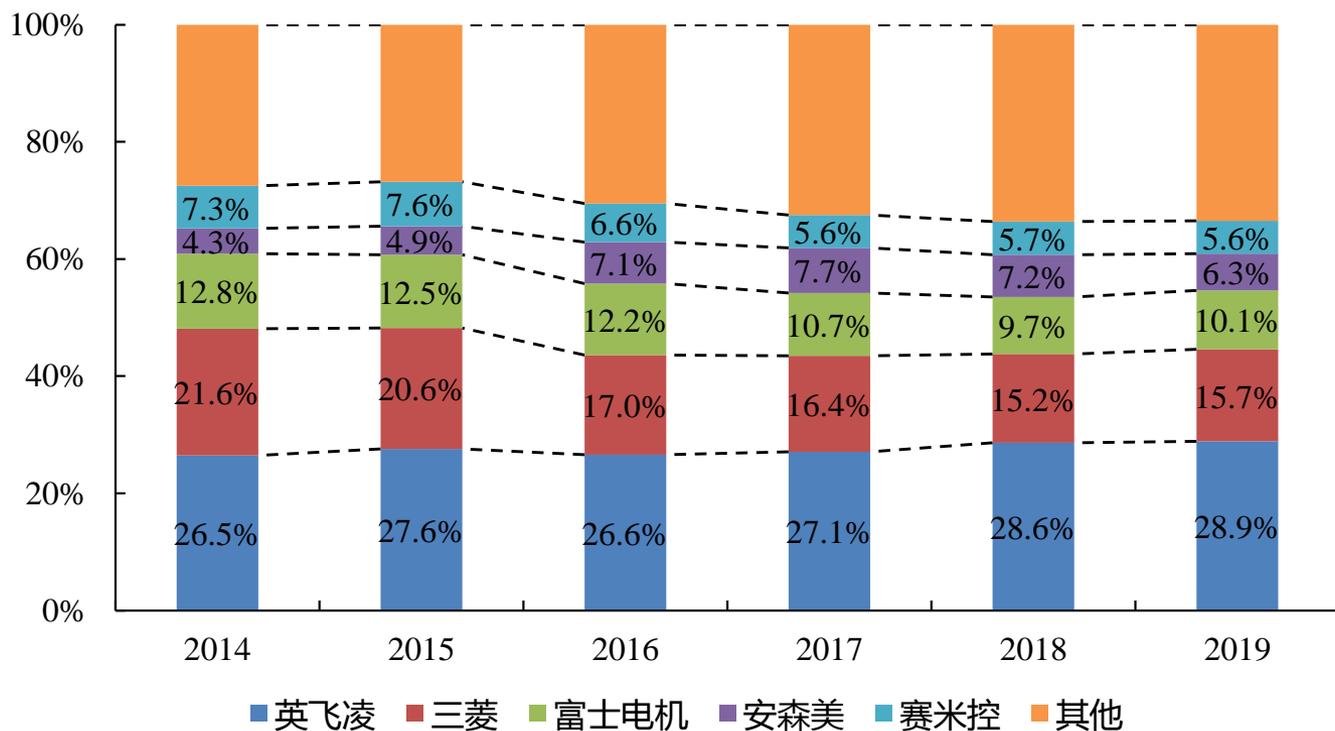
- **IGBT直接决定下游产品性能，客户的选择通常较为保守。** IGBT通常都是下游产品的核心部件，因此IGBT的产品性能、可靠性以及稳定性对下游产品的性能表现有着直接的影响。这也就导致客户在选择IGBT供应商时通常偏于保守，且有明显的跟随性，即下游客户往往跟随自己所在行业的行业龙头去选择IGBT供应商。
- **IGBT产品的测试验证周期长，替换成本高。** 对于新的IGBT供应商，客户一方面将评定供应商的综合实力，另一方面还将对产品进行严格的测试验证，通常包括单体测试、整机测试、多次小批量试用等环节。此外，在大批量供应之后，客户仍将持续关注IGBT产品在实际使用过程中长时间的可靠性和稳定性。这就导致整个IGBT产品测试验证的周期非常长，带来非常高的替换成本。因此，一旦IGBT供应商获得了客户的认可，那么双方将进行长时间的合作，在不发生产品质量问题以及供应链保障问题的情况下，客户一般没有进行更改和替换的动力。

图26：IGBT模块认证测试常规项目清单



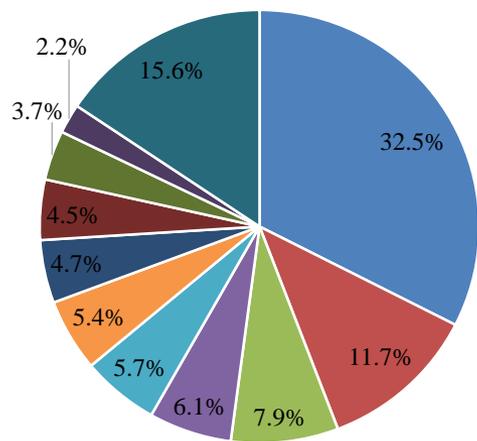
- **全球IGBT市场目前处于德国、日本和美国企业垄断的格局。**由于IGBT行业进入门槛高，且外资厂商的业务起步早，先发优势明显（英飞凌第一代IGBT产品诞生于1988年），因此形成了当前IGBT市场被德日美等国企业垄断的局面，目前全球IGBT前五大厂商分别为英飞凌、三菱、富士电机、安森美和赛米控。且英飞凌、三菱、富士电机和安森美均为IDM模式，垂直整合整个产业链的上中下游，建立起了强大的护城河。
- **IGBT市场集中度较高，2019年CR3为54.7%，CR5为66.6%。**高技术门槛和下游客户选择供应商的趋同性使得全球IGBT的市场集中度一直较高，以2019年为例，IGBT市场CR3为54.7%，CR5为66.6%。

图27：IGBT产品各厂商市场份额情况（包含单管、模块和IPM，销售额口径）



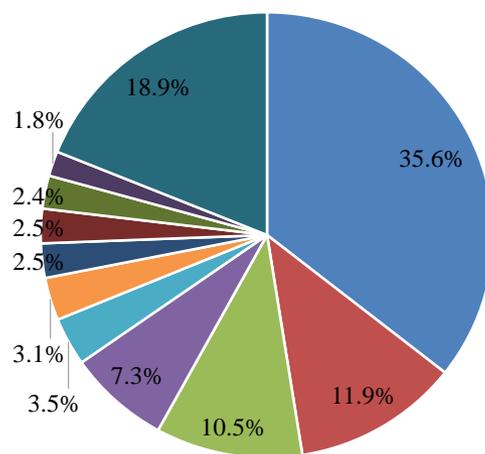
- **英飞凌作为IGBT行业龙头在各细分市场都拥有领先的市场地位（销售额口径）。**
- **IGBT单管市场**：2019年，英飞凌在IGBT单管市场的市场份额为32.5%，是第二名份额的近三倍，竞争力遥遥领先。
- **IGBT模块市场**：2019年英飞凌占据了全球IGBT模块市场35.6%的市场份额，同样大幅领先第二名的三菱。
- **IPM模块市场**：2019年英飞凌在IPM模块市场的份额为11.5%，位居第三位。从纵向对比来看，英飞凌的IPM市占率在持续提升，从2014年的7.1%提升至了2019年的11.5%。

图28：IGBT单管市场2019年各厂商市占率（销售额口径）



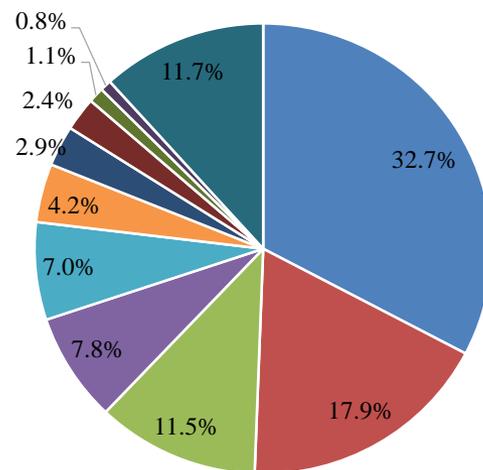
■ 英飞凌 ■ 富士电机 ■ 安森美  
 ■ 东芝 ■ 三菱 ■ 意法半导体  
 ■ 力特 ■ 瑞萨 ■ Magnachip  
 ■ 士兰微 ■ 其他

图29：IGBT模块市场2019年各厂商市占率（销售额口径）



■ 英飞凌 ■ 三菱 ■ 富士电机  
 ■ 赛米控 ■ 威科电子 ■ 日立  
 ■ 丹弗斯 ■ 斯达半导 ■ 东芝  
 ■ ABB ■ 其他

图30：IPM模块市场2019年各厂商市占率（销售额口径）



■ 三菱 ■ 安森美 ■ 英飞凌  
 ■ 富士电机 ■ 赛米控 ■ 罗姆  
 ■ 三垦电气 ■ 意法半导体 ■ 士兰微  
 ■ 华微电子 ■ 其他

- **国产替代加速的内在原因：**（1）IGBT作为功率半导体期间，其技术迭代速度较慢，周期较长，一代产品的使用时间非常长，超过十年；且客户主要追求的是IGBT产品的稳定性和可靠性，对新技术的追求意愿不高（英飞凌2007年推出的第四代IGBT芯片仍然是当前行业的主力产品）。因此，虽然国内IGBT厂家的起步较晚，但是行业留给了本土IGBT厂家充足的发展和追赶的时间，目前国内IGBT厂商技术进步较快，已经有产品能大批量满足下游客户需求。（2）本土IGBT企业的服务更好，能快速响应下游客户的需求，并且产品价格上相比于外资有一定优势，有利于下游客户的降本。
- **国产替代加速的外部推动：**当前新能源汽车、新能源发电以及变频白电等领域发展迅速，带动着上游IGBT产品需求快速增长，但海外IGBT龙头厂商对扩产相对谨慎，进程较慢，因此造成全球IGBT供应紧张。此外，近年全球车规级的芯片供应短缺也让汽车、家电和工业等行业充分意识到芯片国产自主可控的重要性。在这样的大背景下，国内IGBT下游客户为保证供应链的安全以及自主可控，对国产IGBT产品的接受意愿逐步提高，给国产IGBT产品做测试验证和产品导入的意愿提升，也为IGBT国产替代带来了非常好的发展机会。

图31：IGBT国产替代迎来发展机遇

- IGBT作为功率半导体其技术迭代速度较慢、周期较长，本土IGBT厂商迅速发展实现技术的进步和追赶，产品性能提升能满足下游要求

本土IGBT  
企业的进步

- 本土IGBT厂商服务好，能快速响应和满足客户需求，且价格上相对外资产品有一定优势，有利于客户降本

**IGBT国  
产替代正  
换挡提速**

供应链安全  
及可控

- 新能源汽车、新能源发电等下游需求快速增长，外资IGBT厂商扩产进程缓慢，IGBT供应持续紧张，下游客户供应链安全受到影响

- 为实现IGBT自主可控以及保障供应链安全，下游客户给国产IGBT产品做测试验证和供应导入的意愿提升，为IGBT国产替代带来难得的发展机遇

## 4.国内车规级IGBT产业链梳理

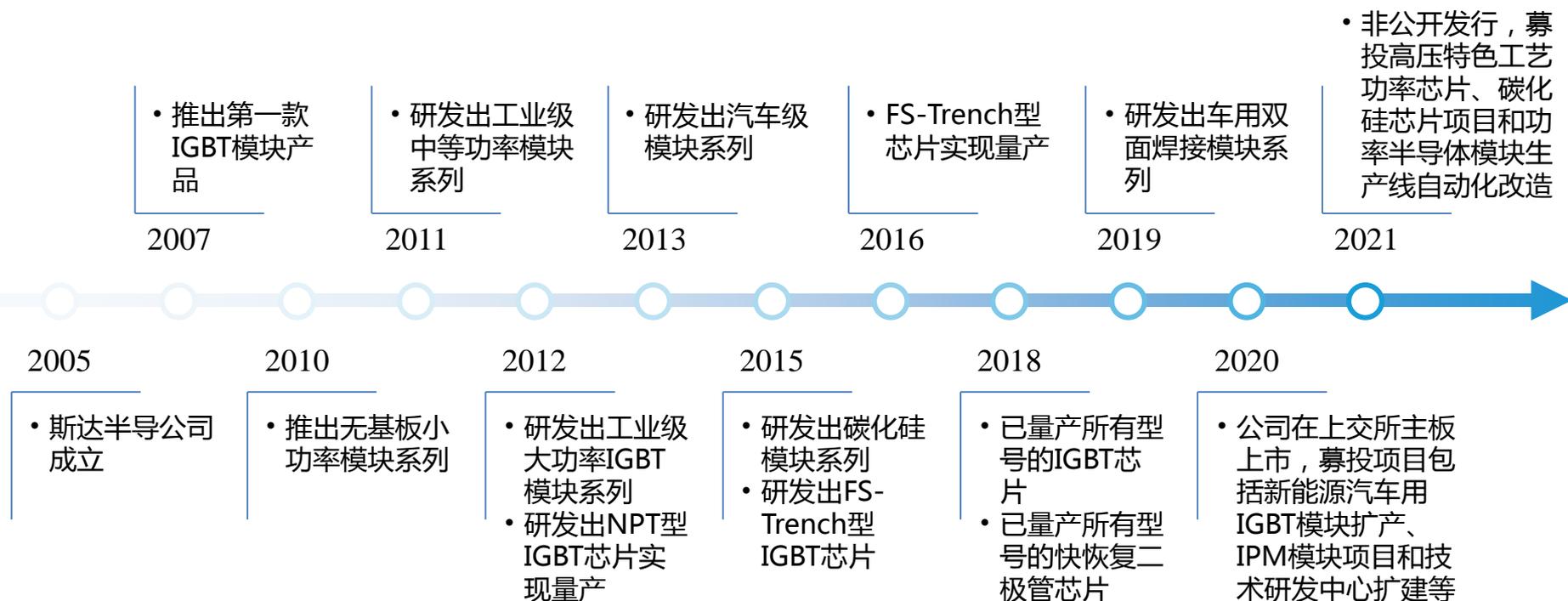
- **车规级IGBT产业链主要包括四个环节**：1、芯片设计；2、晶圆制造；3、模块封装；4、下游应用即电控系统。
- 本土企业中，时代电气和比亚迪业务垂直整合，从IGBT芯片设计到最下游的电控系统均有布局；士兰微作为IDM大厂，业务同样完整覆盖芯片设计、晶圆制造和模块封装；斯达和宏微均采用Fabless的模式，专注芯片设计和模组封装环节，晶圆制造则外包给晶圆代工厂完成；智新半导体和青蓝半导体则专注于模组封装环节；华虹、积塔和中芯绍兴则专业从事IGBT晶圆代工。

图32：国产车规级IGBT产业链情况



- **自成立以来，公司一直专注于IGBT主业。**公司成立于2005年，从IGBT模块封装业务起家，后向产业链上游延伸，进入到IGBT芯片设计领域。目前公司已经形成了“芯片设计”+“模块封装”的业务模式，成为了国产IGBT行业的龙头企业。
- **公司的主要产品为IGBT模块，约占主营收入的95%。**IGBT模块是公司最主要的产品，其他产品还包括IGBT单管、MOSFET和碳化硅模块等。公司IGBT模块产品完整覆盖了下游细分市场，包括工控、新能源汽车、新能源发电、变频白电等。

图33：斯达半导发展历程

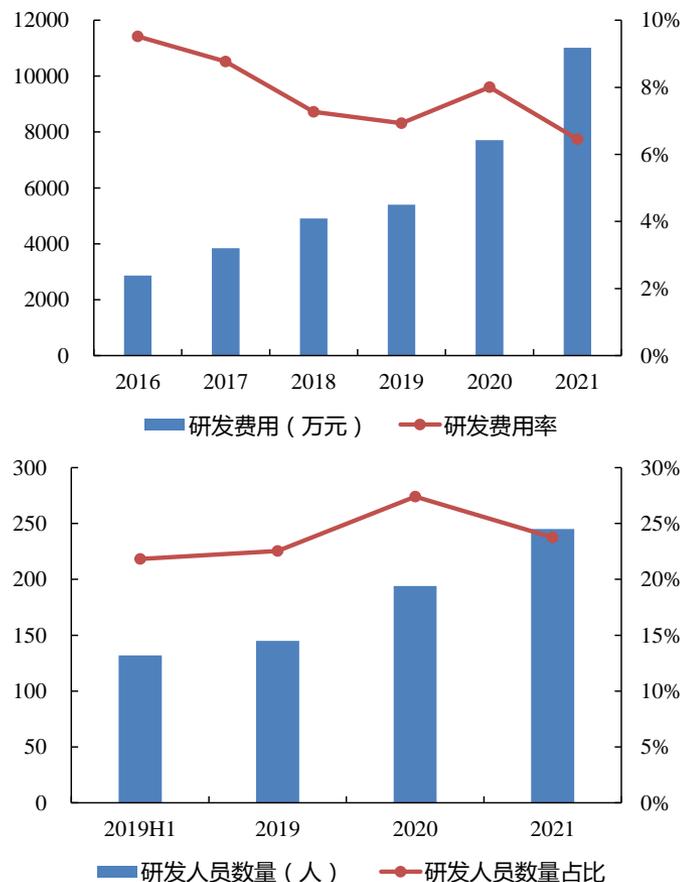


- **公司技术背景深厚。**公司核心技术人员均毕业于知名高校相关专业，在相关行业有着丰富的工作经验；且核心技术队伍均持有股权，激励充分。
- **研发投入持续增长，打造公司核心技术优势。**公司近年来研发费用持续增长，研发费用率维持在8%上下的水平；研发人员数量也在持续提升。

表20：公司核心技术人员情况梳理

姓名	职务	出生年份	教育及学术背景	工作履历及成果
沈华	董事长、总经理	1963	MIT博士、高级工程师	1995-1999年在西门子半导体部门任职高级研发工程师；1999-2006年在赛灵思担任高级项目经理。公司设立以来一直担任公司董事长和总经理
汤艺	副总经理	1973	美国仁斯利尔理工学院电子工程系博士	2003-2015在美国国际整流器公司工作历任集成半导体器件高级工程师、主管工程师、高级主管工程师、IGBT器件设计经理、IGBT器件设计高级经理。2015年加入公司，现任公司副总经理，负责IGBT芯片技术研发工作
戴志展	副总经理	1970	国立清华大学电机工程研究所硕士	1997-1999年在飞瑞股份有限公司工作历任研发部高级工程师、产品研发小组专案负责人；1999-2002年在昀瑞公司工作，历任研发课课长、研发部经理；2002-2009年在乾坤科技股份有限公司工作，历任研发处经理、电源应用部资深经理。2009年加入公司，现任公司副总经理
刘志红	监事、研发部总监	1983	浙江大学电力电子与电力传动专业硕士	2006年加入公司，历任设计工程师、研发部经理，现任公司研发部总监
胡少华	监事、工艺部总监	1982	浙江大学材料科学与工程专业硕士	2007年加入公司，现任公司工艺部总监

图34：公司研发投入情况



- **公司营业收入实现稳定增长，过去五年复合增速达41.5%**。在营收端公司表现出稳定的成长性。受益于公司下游工业控制、新能源汽车、新能源发电及变频白电等行业的快速发展，以及公司IGBT产品进口替代比例的持续上升，公司营业总收入从2016年的3.01亿元增长至2021年的17.07亿元，五年复合增长率高达41.5%。
- **从收入结构上来看，工业控制行业是目前公司营收的基本盘，新能源行业是公司营收增长新的驱动力**。工控行业的收入从2016年的2.51亿元增长至2021年的10.65亿元，复合增长率为33.5%；新能源行业的收入从2016年的0.36亿元，增长至2021年的5.71亿元，复合增长率为73.8%，且新能源行业收入占公司主营业务收入的比例也从2016年的12.0%提升至2021年的33.7%。综上，工控行业为公司贡献了最大的收入增量，而新能源行业（新能源汽车+新能源发电）是公司增速最高，也是后续驱动力最强的下游行业。

图35：公司营业收入及YOY

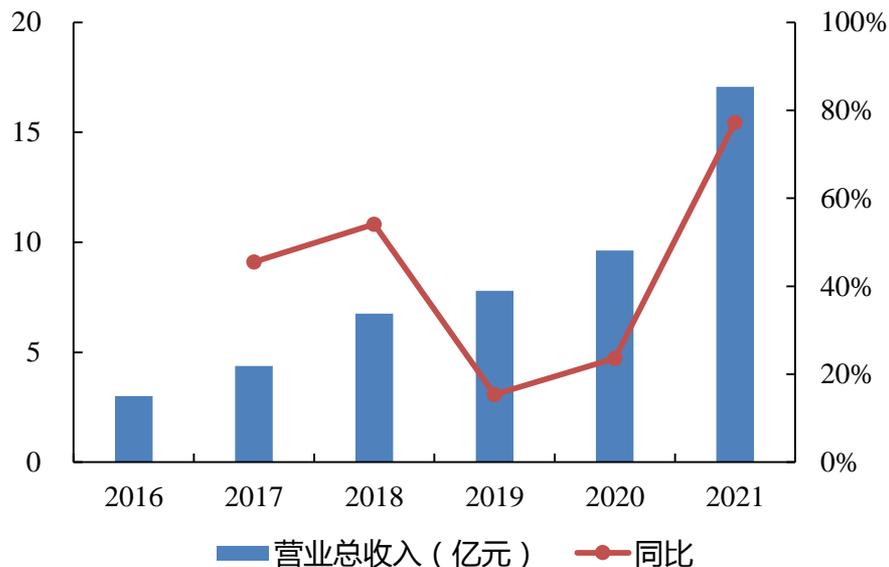
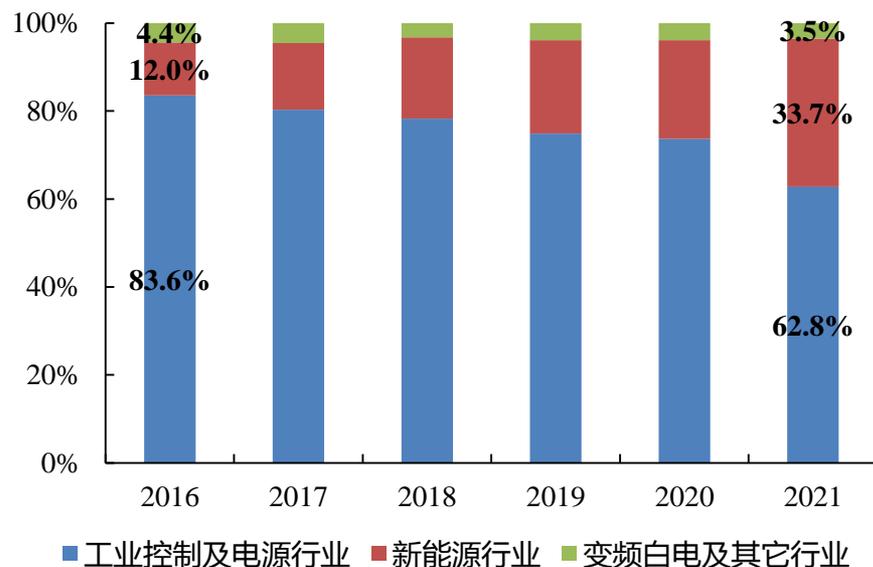


图36：公司分下游收入占比情况



- **公司归母净利润持续提升。**公司归母净利润从2016年的0.21亿元快速提升至2021年的3.98亿元，五年复合增速高达80.1%，利润增速超过营收增速。公司归母净利润快速提升的原因主要系下游需求增长和公司份额提升带来的营业收入增长，以及公司净利率持续提升。
- **公司毛利率和净利率均持续提高。**公司毛利率在过去几年中保持稳中有升，从2016年的27.97%提升至2021年的36.73%，主要原因系公司自研芯片的配套比例提升以及产销规模扩大带来的规模效应。净利率端，从2016年的6.65%持续提升至2021年的23.40%，主要原因系公司毛利率端的持续提升以及公司期间费用率的持续下降。
- **公司费用端管控有效，期间费用率持续下降。**公司期间费用率从2016年的21.50%持续下降到2021年的10.76%，主要系公司费用管控有效，增长较少，而营收端规模持续增长带来的规模效应。

图37：公司归母净利润及YOY

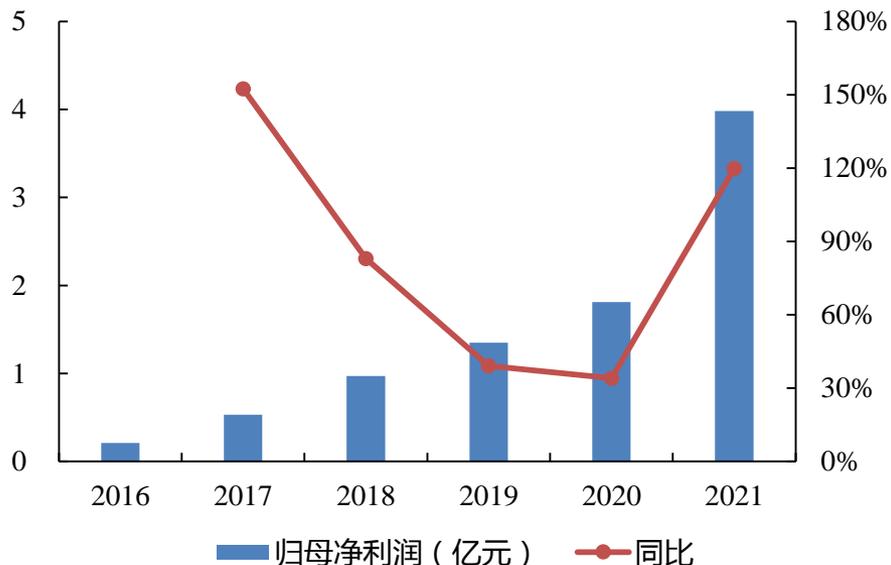
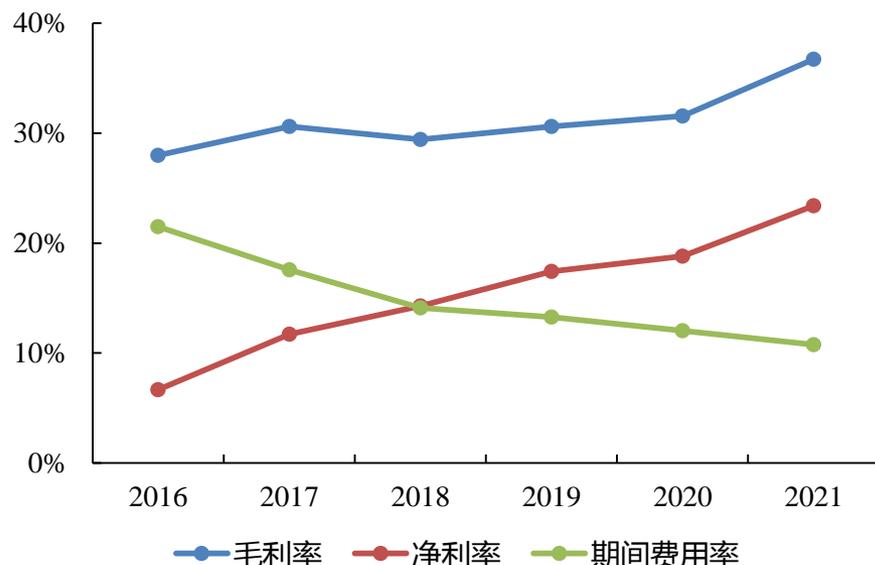


图38：公司毛利率、净利率及期间费用率情况



■ 下表中梳理了斯达半导在车规级IGBT模块的业务情况，包括技术、客户、产能及营收等。

表21：公司车规级IGBT业务情况

项目	对应情况
----	------

**模块封装：**  
 公司2005年成立便开始从事IGBT模块封装业务，陆续开发出工业级小、中、大功率模块，汽车级模块，碳化硅模块以及车用双面焊接模块。掌握了真空无气孔焊接、超声波键合、测试老化、模块电磁场仿真、金属端子外壳插接和注塑、串并联及动静态均流均压、多DBC并联、银浆烧结、铜线键合、双面焊接等IGBT模块技术。

**芯片设计：**  
 公司2012年研发出NPT IGBT芯片并量产（**英飞凌第二代**）；  
 2015年研发出沟槽栅+场截止IGBT芯片（**英飞凌第四代**）并在2016年实现量产；  
 2021年研发出微沟槽+场截止（**英飞凌第七代**）的车规级芯片，并将于2022年量产。  
**整体上看，公司技术水平全面对标英飞凌，对英飞凌实现了很好的匹配。**

**模块名称：**

**GD800HTX65P4S**

650V/800A 6 in one-package

**主要特征：**

芯片类型：沟槽栅—场截止芯片

$V_{CES}$ ：650V (25°C)

$I_c$ ：800A (25°C)

$V_{CE(sat)}$ ：1.30 (典型值，

$I_c=550A, V_{GE}=15V, T_j=25^\circ C$ )

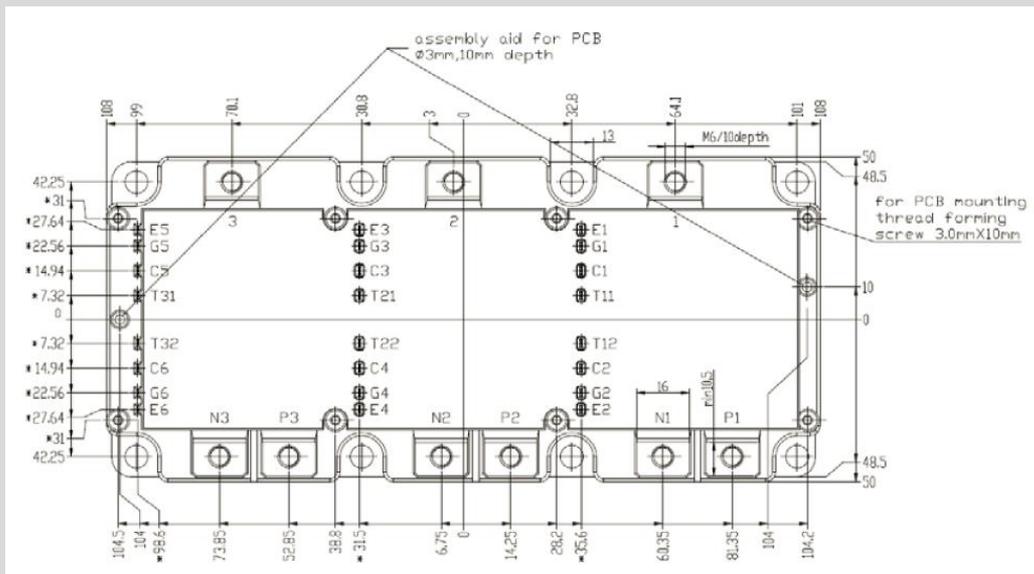
$E_{off}$ ：16.4mJ (25°C)

结温：175°C

模块封装特点：采用铜针翅基板

模块典型应用：混动及纯电动汽车主逆变器

**封装尺寸：**



典型产品

■ 下表中梳理了斯达半导在车规级IGBT模块的业务情况，包括技术、客户、产能及营收等。

表21续：公司车规级IGBT业务情况

项目	对应情况
产能	<p><b>现有产能：</b>  <u>晶圆产能：</u>                      斯达采用的是Fabless的模式，依靠华虹和积塔代工（目前大部分为华虹代工）</p> <p><u>模块产能：</u>                      2021年公司IGBT模块产量930万只（包括所有下游领域）。</p> <p><b>扩产计划：</b>  <u>晶圆产能：</u>                      华虹：无锡12寸线晶圆线将在2022年继续扩产，从2021年末的6万片/月提高至2022年年末的9万片/月。</p> <p><u>模块产能：</u>                      预计公司模块产能将继续扩产，以满足新能源汽车等下游快速增长的需求。</p>

配套客户



上海电驱动



业务情况

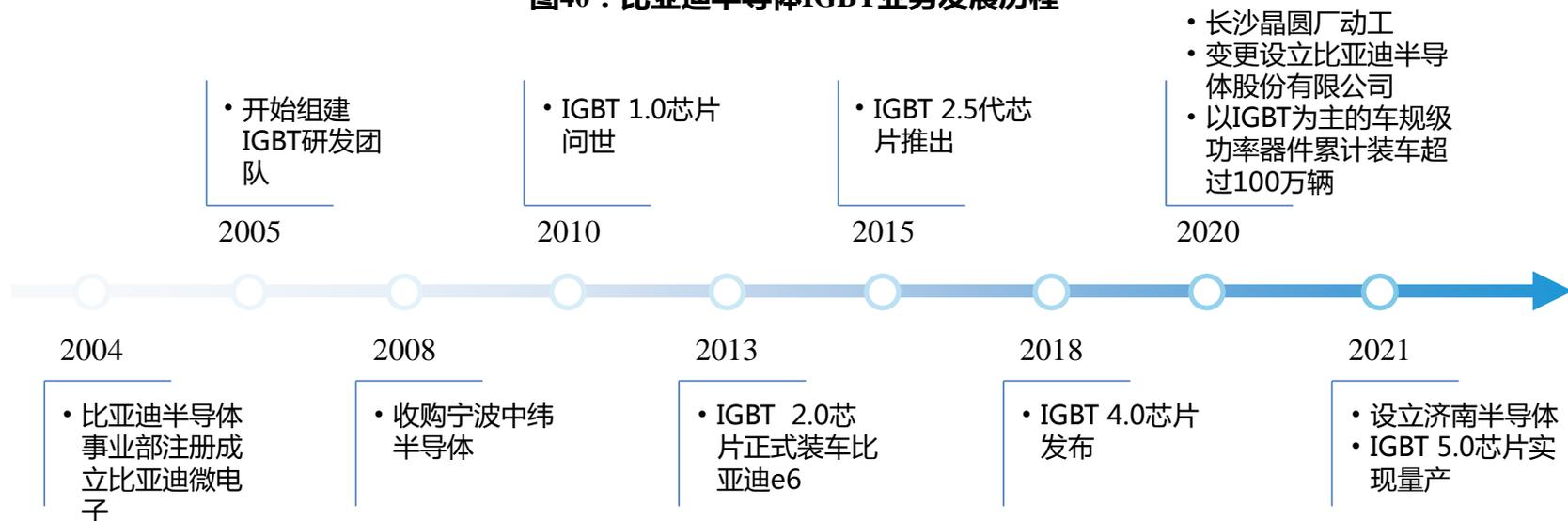
主电控IGBT模块：2019年配套16万辆新能源汽车；2020年配套20万辆新能源汽车；**2021年配套60万辆新能源汽车，按单车价值量计算，预计对应营业收入4.5亿元-5.0亿元，其中配套A级及以上的占比在25%。**

- **公司是国内领先的车规级半导体企业。** 公司的前身为比亚迪半导体事业部（第六事业部），目前公司主要从事功率半导体（IGBT、碳化硅器件）、智能控制IC（MCU芯片、电源IC）、智能传感器以及光电半导体的研发生产和销售。
- 公司的产品以车规级半导体为核心，广泛应用于汽车、能源、工业和消费电子领域。

图39：比亚迪半导体主要产品情况



图40：比亚迪半导体IGBT业务发展历程



- **公司营业收入与下游新能源汽车行业的景气度高度相关。**公司第一大客户为比亚迪集团，其在公司营业收入中的占比超过50%，因此公司营收与下游新能源汽车销量高度相关。
- 2019年，新能源汽车补贴大幅退坡，行业遇冷，销量下滑，因此公司2019年营业收入同比下降19%。2020年，新能源汽车行业回暖，叠加公司第三代半导体产品贡献收入，推动公司营业收入大幅增长。2021H1，新能源汽车行业持续高景气，比亚迪整车产品在终端持续热销，带动公司功率半导体业务大幅增长；此外，公司其他产品如MCU、COMS图像传感器、指纹传感器、LED等均有所增长。
- **分产品来看，功率半导体是公司第一大业务。**2021H1，功率半导体业务实现营业收入4.65亿元，在主营业务中的占比为38%。

图41：公司营业收入及YOY

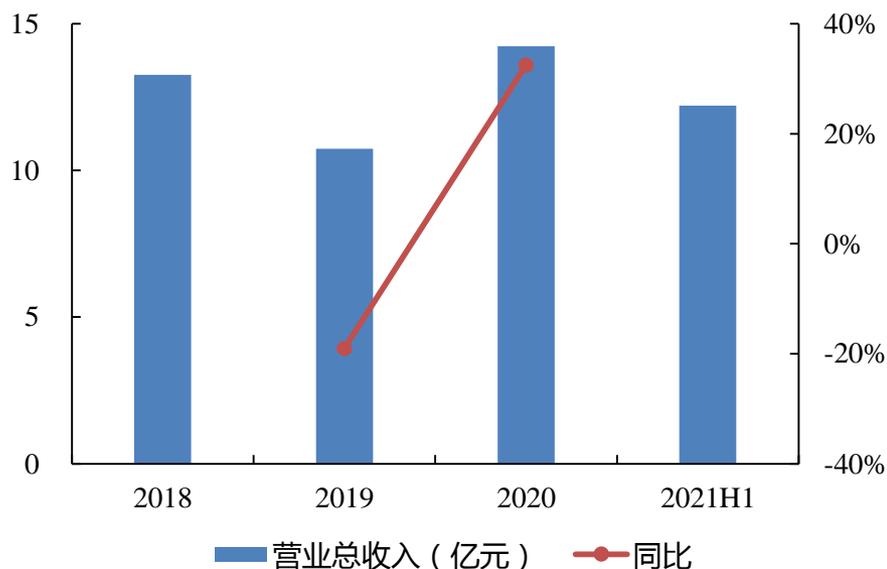
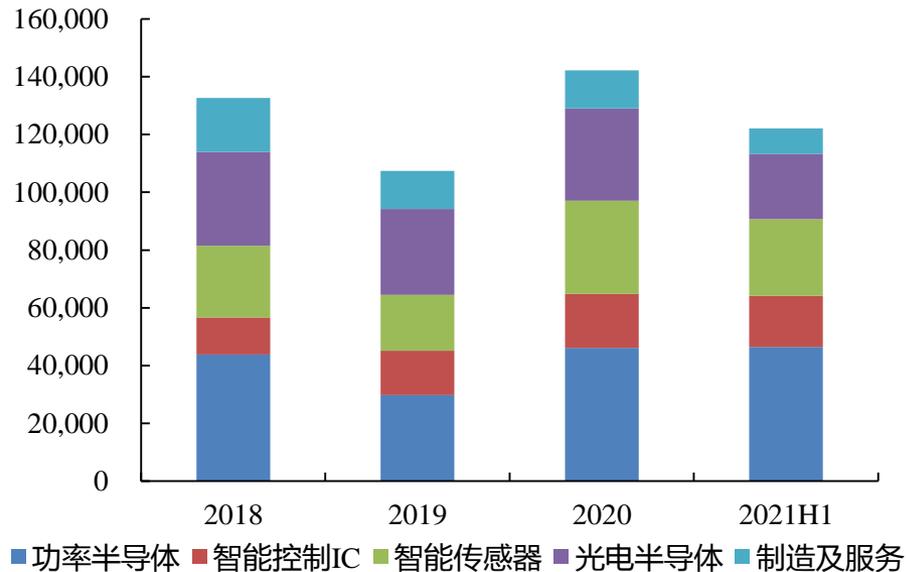


图42：公司分下游收入情况（万元）



- 净利润方面，公司2018年至2020年净利润出现下滑，主要原因系：1、2019年受新能源汽车行业波动影响，公司营业收入出现大幅下滑；2、2020年公司收入恢复增长，但受股权激励计划的影响，期间费用有所增加，侵蚀了部分利润。2021年公司一方面各个板块收入均实现同比大幅增长，另一方面毛利率大幅提高，两者共同推高公司利润规模。
- 盈利能力方面，我们主要关注毛利率指标。2019年，公司毛利率提升3.92个百分点，主要系功率半导体毛利率提高所带动，2019年公司车规级IGBT模块经过大批量验证，性能稳定，产品价格有所提升，因此使功率半导体业务毛利率整体提升。2020年，公司毛利率下降2.21个百分点，主要系低毛利的工业级功率半导体产品销量占比增加，导致功率半导体毛利率同比下降3.70个百分点。2021H1公司毛利率大幅提升，主要系功率半导体销量提升带来的规模效应以及新品功率模块的毛利率水平较高。

图43：公司归母净利润及YOY

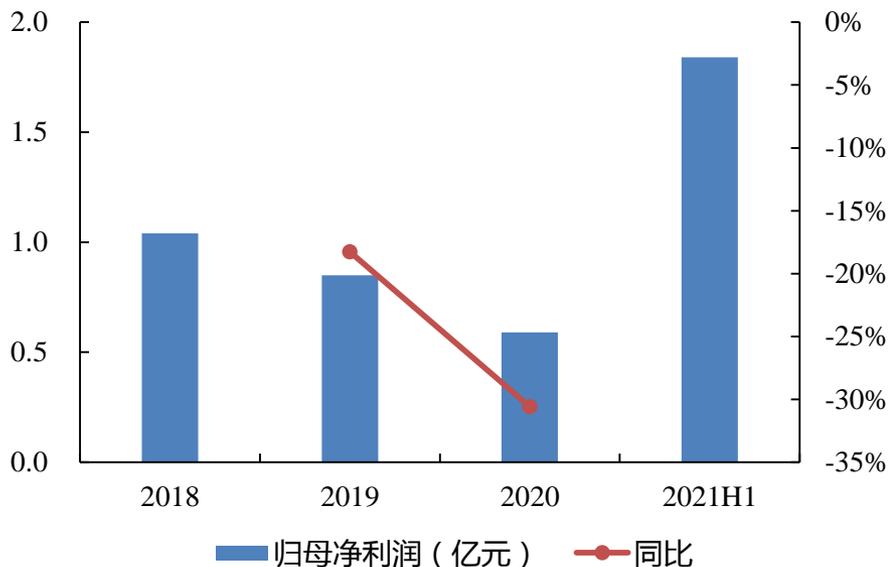
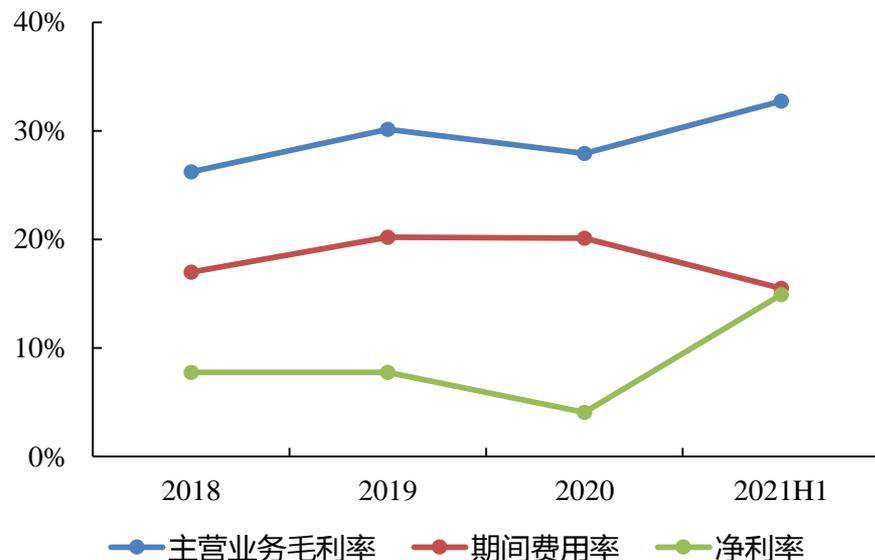


图44：公司毛利率、净利率及期间费用率情况



■ 下表中梳理了比亚迪半导体在车规级IGBT模块的业务情况，包括技术、客户、产能及营收等。

表22：公司车规级IGBT业务情况

项目	对应情况										
技术	<p><b>芯片设计：</b> 公司目前掌握了精细化沟槽栅技术、场终止技术及薄片晶圆技术；</p> <p><b>模组封装：</b> 公司目前掌握了车规级功率模组的模组设计和封装技术，包括低电感设计、多芯片并联技术；真空焊接及银烧结工艺；铝线键合、铜线键合及超声波焊接等绑定工艺；直接水冷散热技术。</p> <p><b>公司目前正在量产的IGBT芯片包括IGBT 2.5、IGBT 4.0和IGBT 5.0。</b></p>										
	<p>IGBT 2.5：于2015年推出的平面栅NPT芯片（<b>对标英飞凌第二代</b>），2019年比亚迪开始逐渐将IGBT 2.5向IGBT 4.0切换，到2021Q2基本完成切换，仅保留了少部分IGBT 2.5芯片的产能。</p> <p>IGBT 4.0：于2018年推出的精细化平面栅场截止芯片（<b>对标英飞凌2.5代</b>），是公司目前销售最多的芯片类型。</p> <p>IGBT 5.0：微沟槽+场终止技术（<b>对标英飞凌第七代</b>），于2021年实现量产。IGBT 5.0在部分指标如饱和压降上与英飞凌第七代芯片仍有差距。</p> <p>IGBT 6.0：微沟槽+场终止技术（<b>对标英飞凌第七代</b>），目前未实现量产。IGBT 6.0与英飞凌第七代技术在性能上基本接近。</p>										
典型产品	<table border="1"> <thead> <tr> <th>产品型号</th> <th>额定电压(V) 结温=25°C</th> <th>额定电流(A)</th> <th>饱和压降(V) 结温=25°C</th> <th>关断损耗(mJ) 结温=25°C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BG600F08B14L5</td> <td>750</td> <td>600</td> <td>1.50</td> <td>17.0</td> </tr> </tbody> </table>	产品型号	额定电压(V) 结温=25°C	额定电流(A)	饱和压降(V) 结温=25°C	关断损耗(mJ) 结温=25°C	BG600F08B14L5	750	600	1.50	17.0
产品型号	额定电压(V) 结温=25°C	额定电流(A)	饱和压降(V) 结温=25°C	关断损耗(mJ) 结温=25°C							
BG600F08B14L5	750	600	1.50	17.0							

**现有产能：**  
晶圆产能：  
比亚迪半导体目前有宁波半导体（6寸）、长沙半导体（8寸）和济南半导体（8寸）三处晶圆产能。

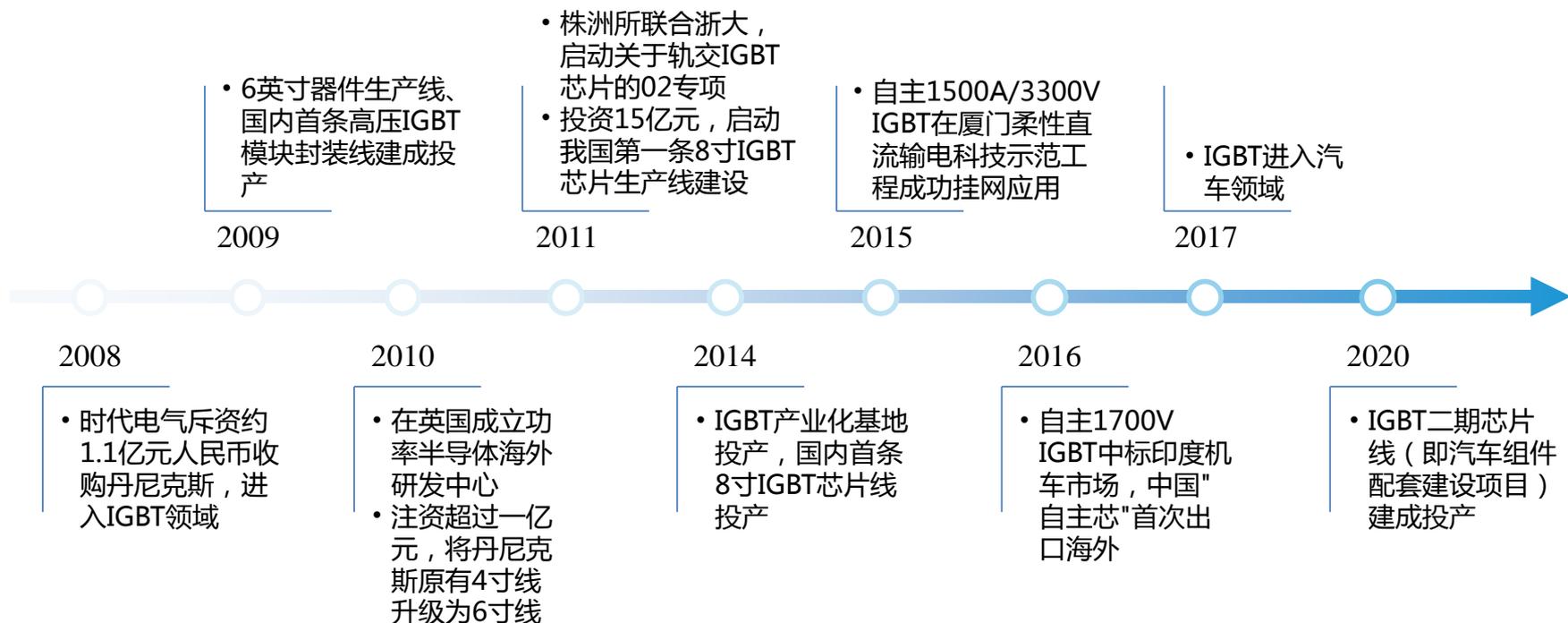
宁波半导体：2021年宁波6寸硅基晶圆线的晶圆产能为30万片/年（约3万片/月），下游包新能源汽车和家电等，对应配套新能源汽车的产量为40万辆。

表22续：公司车规级IGBT业务情况

项目	对应情况
<p>产能</p>	<p>长沙半导体：2021年9月，长沙半导体的晶圆线完成设备采购和调试，达到了预定可使用状态（目前还未投产）。长沙半导体8寸晶圆线产能为24万片/年（2万片/月），规划产品为硅基功率半导体晶圆和智能控制IC晶圆，满产时约能满足30万辆新能源汽车的配套。</p> <p>济南半导体：济南半导体为8寸晶圆线，规划产能为36万片/年（3万片/月），满产时可满足90万辆新能源汽车的配套。济南半导体8寸线于2022年1月投产。</p> <p><u>模块产能：</u> 招股书中披露2021H1的模块产能为130万个/半年，考虑到正在扩产，预计2021全年的产能在300万个左右。该产能数据为车规级标准二单元模块产品口径，对应到新能源汽车配套量在100万辆左右（3个二单元模块产品组成一个三相桥逆变电路）。</p> <p><u>扩产计划：</u></p> <p><u>晶圆产能：</u> 宁波半导体：现有6寸硅基晶圆线未来将改造为6寸碳化硅晶圆线，仅将根据现有外部订单情况酌情保留部分硅基产能，主要生产FRD、PD、VDMOS晶圆。目前由于整个行业功率半导体行业缺货，目前改造计划将会推迟，至少等到济南晶圆线产能爬坡完成后再进行。</p> <p>长沙半导体：扩产计划见前述。</p> <p>济南半导体：计划产能爬坡节奏如下，预计自2022年1月月产0.8万片至2022年12月月产2.2万片，2022年全年产量将达到20万片；预计2023年3月实现满产，产能3万片/月。</p> <p><u>模块产能：</u> 预计扩产节奏整体上与晶圆产能相互匹配</p>
<p>配套客户</p>	    
<p>业务情况</p>	<p>2020年功率半导体收入4.6亿元，大部分均为车用IGBT；2021年受益于下游新能源汽车销量迅速增长，2021H1功率半导体收入就达到了2020年全年水平。比亚迪半导体截至2020年年末，以IGBT为主的车规级功率器件已累计配套新能源汽车超过100万辆。</p>

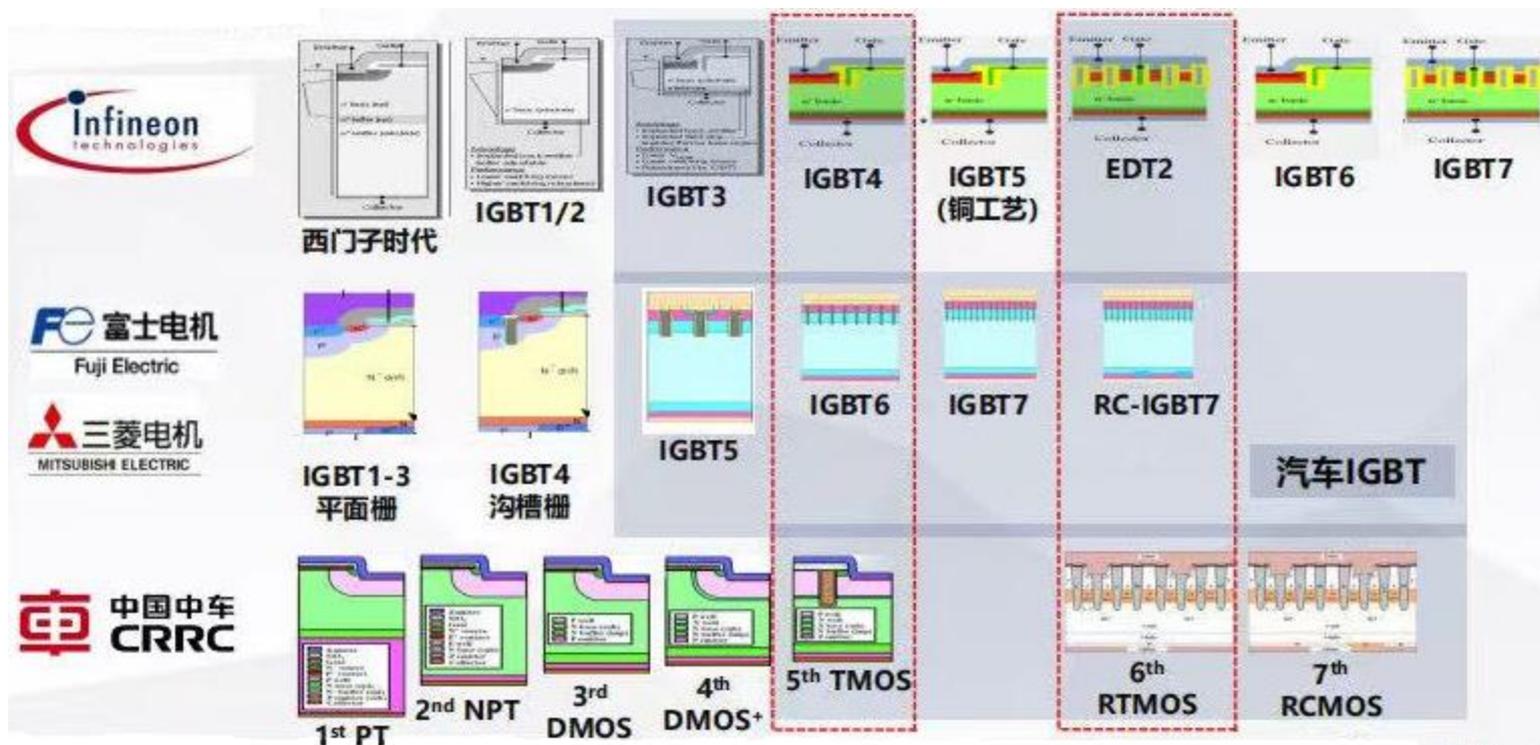
- **轨交装备龙头持续拓展新兴装备业务。**公司主业为轨道交通装备产品的研发、设计、制造、销售和相关服务，产品包括轨道交通电气装备、轨道工程机械和通信信号系统等。与此同时，公司还在不断拓展轨交以外的新兴业务，如功率半导体器件、工业变流产品、新能源汽车电驱系统、传感器以及海工装备等。
- 公司自2008年收购丹尼克斯进入到IGBT领域。公司首先布局轨交和电网等高压IGBT领域，目前公司在轨交和电网IGBT领域市占率国内第一。公司2017年进入到汽车IGBT领域，面向新能源汽车的IGBT二期芯片线（设计产能24万片/年）于2020年建成，并在2021年正式投产。

图45：时代电气IGBT业务发展历程



- 公司通过深入开展IGBT芯片元胞技术、终端技术与背面技术研究，构建了高低压IGBT芯片技术体系。
- 高压IGBT芯片：以“U”型槽与软穿透为核心特征的高压平面栅IGBT芯片技术体系。
- 低压IGBT芯片：以“沟槽栅+软穿透”与“精细沟槽”两代技术为支撑的低压沟槽IGBT技术体系。在车规级IGBT芯片方面，公司拥有第五代TMOs芯片（2017年推出，高性能沟槽栅，对标英飞凌第四代芯片）和第六代RTMOs芯片（2018年推出，精细沟槽栅芯片，对标英飞凌EDT2）。

图46：时代电气IGBT芯片技术迭代情况



■ 下表中梳理了时代电气在车规级IGBT模块的业务情况，包括技术、客户、产能及营收等。

表23：公司车规级IGBT业务情况

项目	对应情况
技术	<p><b>芯片设计：</b>公司建立了以“沟槽栅+软穿通”与“精细沟槽”两代技术为支撑的低压沟槽IGBT技术体系。在车规级IGBT芯片方面，公司拥有第五代TMOS芯片（2017年推出，高性能沟槽栅，<b>对标英飞凌第四代芯片</b>）和第六代RTMOS芯片（2018年推出，精细沟槽栅芯片，<b>对标英飞凌EDT2</b>）。</p> <p><b>模组封装：</b>公司攻克了多芯片并联均流设计技术、高效热管理技术、多物理场耦合仿真技术等设计技术；建立了大面积焊接、铜端子超声键合、烧结、DTS、引线键合及界面强化等先进封装能力。</p>
典型产品	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>模块名称：</b> TG820FF08S3-S4A01 六单元 IGBT 模块 Six-Pack IGBT Module</p> <p><b>主要特征：</b> 芯片类型：沟槽栅—场截止芯片 V<sub>CES</sub>：750V（25℃） I<sub>c</sub>：820A V<sub>CE(sat)</sub>：1.25（典型值，I<sub>c</sub>=450A, V<sub>GE</sub>=15V, 25℃） E<sub>off</sub>：33mJ（25℃） 结温：175℃ 模块封装特点：采用铜针翅基板 模块典型应用：电动汽车电机驱动</p> </div> <div style="width: 45%; text-align: center;"> <p><b>模块外形：</b></p>  </div> </div>
产能	<p><b>现有产能：</b> <u>晶圆产能：</u> 时代电气目前的半导体产线包括：1、一条上一代双极型晶闸管产线；2、两条IGBT的产线；3、一条碳化硅器件的产线。</p>

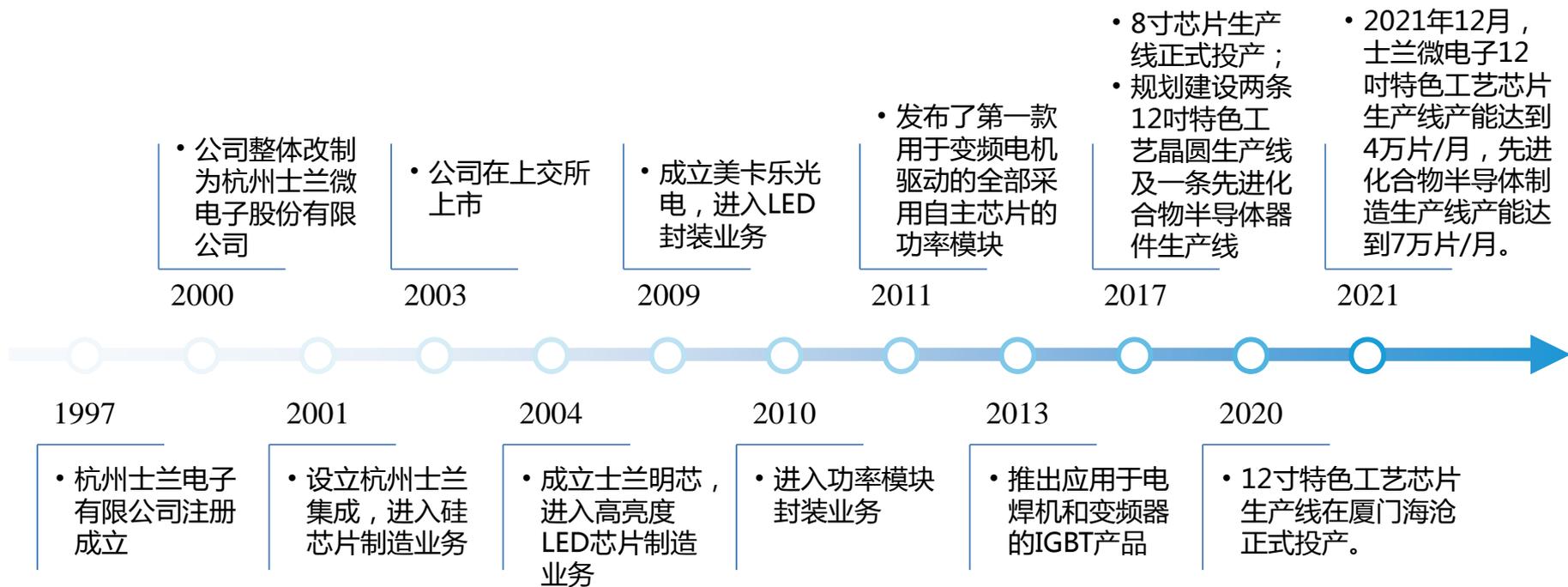
表23续：公司车规级IGBT业务情况

项目	对应情况
	<p>IGBT二期产线的晶圆产能为24万片/年，主要面向低电压等级的新能源汽车和光伏领域，两者同等重要（若全部折算成新能源汽车IGBT模块产品，可以满足年240万辆新能源汽车的主电控需求）。IGBT二期产线2022年具备满产能力，具体产量要根据市场需求情况。</p> <p><u>模块产能：</u> 时代电气车规级模块的产能分本部和合资公司两个部分，整体与车规级晶圆产能相匹配。 东风合资公司：合资成立智新半导体，一期已建成模块产能30万个/年；二期产能规划90万个/年，将于2025年投产。2025年总计产能120万个/年。 广汽合资公司：合资设立广州青蓝半导体，投资总额约为4.63亿元人民币，一次规划，分两期投资，一期规划产能为年产30万只汽车IGBT模块，计划2023年投产；二期规划产能为年产30万只汽车IGBT模块，计划2025年投产。项目全部完成后，可实现总产能60万只/年。 本部模块产能：自建的模块封装产能为120万个/年，根据市场需求情况推进。</p> <p><u>扩产计划：</u> <u>晶圆产能：</u> 目前IGBT二期产线正在产能爬坡，需求端足够的前提下具备在2022年实现24万片/年的满产能力；</p> <p><u>模块产能：</u> 模块封装产能的扩产计划可见前述模块产能部分。</p>
配套客户	    
业务情况	<p>公司车规级IGBT产品与一汽、长安等10余家客户实现多个项目定点和批量交付。公司2021年IGBT收入约9亿元，其中汽车IGBT产品收入约2亿元，按单车价值量1200元计算，公司2021年配套量在15万辆至20万辆的水平。</p>

# 士兰微：本土IDM大厂，深耕功率器件多年

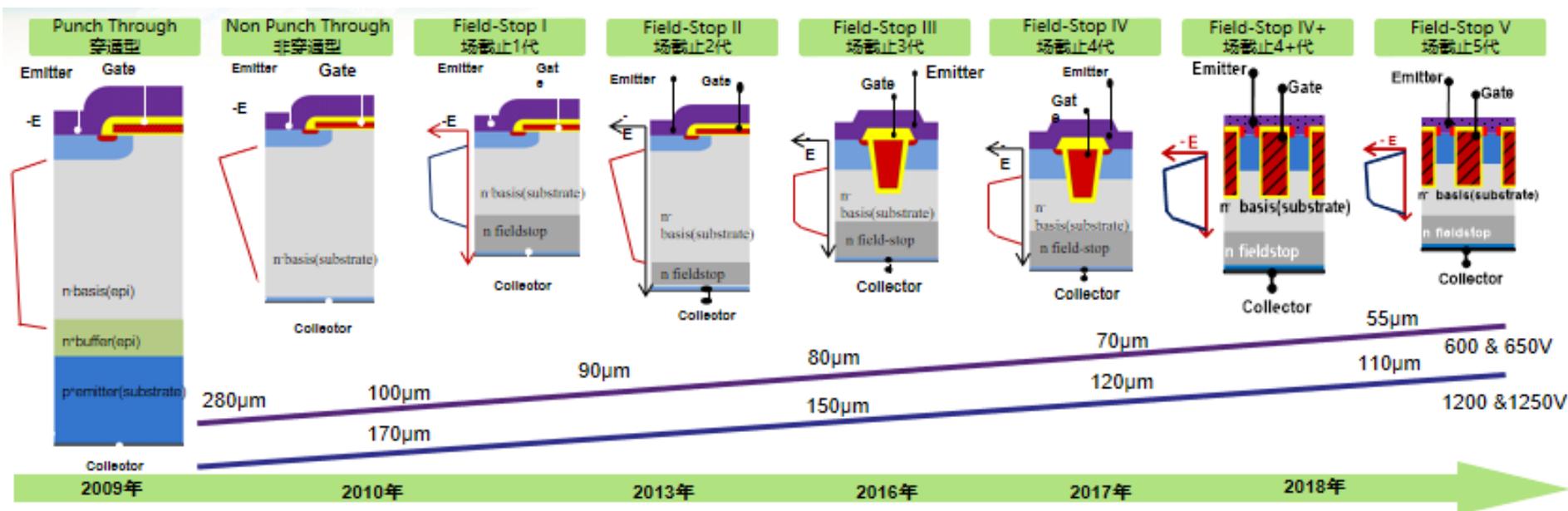
- 公司成立于1997年，总部位于中国杭州。公司成立之初采用Fabless模式经营，2001年设立杭州市兰集成，引入晶圆产线转型IDM厂商，经过20余年的发展已经成长为国内规模最大的集成电路芯片IDM厂商之一。
- 公司主要产品包括：1、基于士兰芯片生产线高压、高功率、特殊工艺的集成电路、功率模块（IPM/PIM）、功率器件及（各类MCU/专用IC组成的）功率半导体方案；2、MEMS传感器产品、数字音视频和智能语音产品、通用ASIC电路；3、光电产品及LED芯片制造和封装（含内外彩屏和LED照明）。

图47：士兰微发展历程



- 公司自2009年研发出穿通型IGBT芯片以来，持续迭代IGBT芯片技术，目前已经迭代到场截止型第五代IGBT芯片。目前，公司所有量产的IGBT模块所配套的IGBT芯片均采用场截止技术，与英飞凌第四代芯片对标，性能指标上均与英飞凌第四代持平。
- 公司最新一代的场截止5代芯片（Field-Stop V）采用了精细沟槽技术，具有更窄的台面宽度，沟槽间距缩小到1.6微米，功率密度更高、芯片尺寸更小、厚度更薄（1200V截止电压的芯片厚度为110微米），总体损耗相比上一代芯片明显降低。

图48：士兰微IGBT芯片技术迭代情况



■ 下表中梳理了士兰微在车规级IGBT模块的业务情况，包括技术、客户、产能及营收等。

表24：公司车规级IGBT业务情况

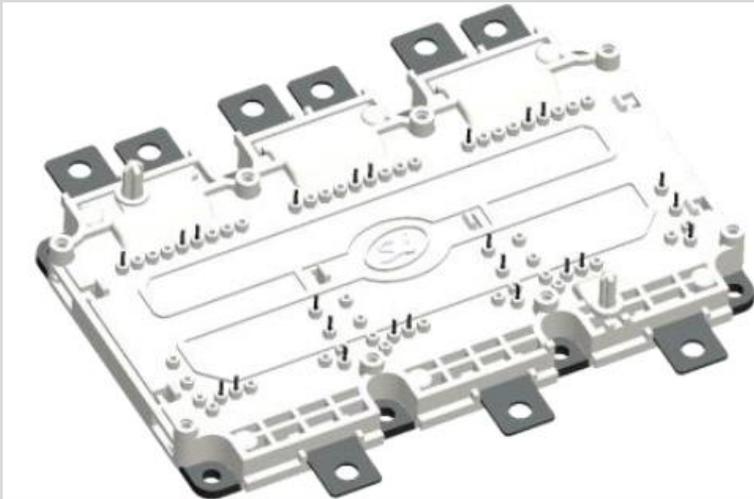
项目	对应情况
技术	<p><b>模块封装：</b>封装已从单管、IPM逐渐拓展到大功率工业级模块与车规级IGBT模块</p> <p><b>芯片设计：</b>目前，公司所有量产的IGBT模块所配套的IGBT芯片均采用场截止技术，<b>与英飞凌第四代芯片对标，性能指标上均与英飞凌第四代持平。</b>公司最新一代的场截止5代芯片（Field-Stop V）采用了精细沟槽技术，具有更窄的台面宽度，沟槽间距缩小到1.6微米，功率密度更高、芯片尺寸更小、厚度更薄（1200V截止电压的芯片厚度为110微米），总体损耗相比上一代芯片明显降低。</p>
典型产品	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>模块名称：</b> SGM950PB8B3TFM六单元拓扑模块</p> <p><b>主要特征：</b> 芯片类型：精细沟槽FS-V技术 950A/750V 低<math>V_{CES(sat)}</math>同时具有正温度系数 低开关损耗 模块封装特点：直接水冷基板，低热阻 模块典型应用：电动汽车电机驱动</p> </div> <div style="width: 45%; text-align: center;"> <p><b>模块外形：</b></p>  </div> </div>
产能	<p><b>现有产能：</b></p> <p><u>晶圆产能：</u> 士兰微产品线布局广泛，主要产品包括集成电路（MCU、语音识别芯片、MEMS芯片、快充芯片等）、分立器件（IGBT、MOSFET、IGBT大功率模块、肖特基管、快恢复二极管等）和发光二极管（LED芯片、LED彩屏像素管等）等。士兰微目前的晶圆产能包括5&amp;6寸兼容线、8寸线、12寸线和4&amp;6寸兼容化合物线。</p>

表24续：公司车规级IGBT业务情况

项目	对应情况
产能	<p>杭州士兰集成：5&amp;6寸兼容线，目前产能22万片/月；                      杭州士兰集昕：8寸线，目前产能6-6.5万片/月，主要是功率器件，还包括电路以及传感器产品；                      厦门士兰集科：总共计划了两条12寸线，第一条12寸线2021年年底产能达到3.6万片/月；第二条12寸线还在规划中。</p> <p><u>模块产能：</u>                      子公司成都集佳已形成年产工业级和汽车级功率模块（PIM）80万只。</p> <p><b>扩产计划：</b>  <b>晶圆产能：</b>                      杭州士兰集成：5&amp;6寸兼容线基本处于满负荷生产状态，后续产能将保持稳定，22-23万片/月的水平；                      杭州士兰集昕：8寸线后续仍将继续爬坡；                      厦门士兰集科：第一条12寸线预计将在2022年Q4实现月产6万片的产能，第二条12寸线还在规划中。</p> <p><b>模块产能：</b>                      汽车IGBT模块将继续扩产，与晶圆产能相配合。</p>
配套客户	  
业务情况	<p>2021年，基于公司自主研发的V代IGBT和FRD芯片的电动汽车主电机驱动模块，已在国内多家客户通过测试，并已在部分客户批量供货。目前公司正在加快汽车级和工业级功率模块产能的建设，预计今后公司PIM模块的营业收入将快速成长。</p>

表25：车规级IGBT模组厂家对比

	斯达半导	比亚迪半导体	时代电气	士兰微
业务背景	公司创始人曾在IGBT龙头英飞凌任职，回国创办斯达半导一直深耕IGBT行业，从模块向芯片设计延伸	比亚迪汽车业务此前一直采用垂直整合的模式，比亚迪半导体是由比亚迪半导体事业部发展而来，此前主要为比亚迪内部配套	时代电气主业为轨交装备，2008年收购丹尼克斯进入IGBT行业，首先切入的是轨交用高压IGBT领域，后来进入到新能源汽车IGBT市场	士兰微是本土IDM大厂，产品线覆盖完善。2009年公司研发出第一款IGBT芯片，后续持续迭代，同样进入了车规级IGBT市场
芯片技术	量产的车规级芯片为“沟槽栅+场截止”（对标英飞凌第四代）；“微沟槽+场截止”芯片将在2022年量产（对标英飞凌第七代）	目前出货占比最大的为IGBT 4.0（精细化平面栅+场截止，对标英飞凌2.5代）；IGBT 5.0（微沟槽+场截止，与英飞凌第七代仍有一定性能差异）也已经量产；IGBT 6.0还未量产（微沟槽+场截止，对标英飞凌第七代）	已量产的车规级芯片包括“沟槽栅+场截止”和“微沟槽+场截止”两代，分别对标英飞凌第四代和第七代	已量产车规级“精细沟槽+场截止”芯片，对标英飞凌第七代
经营模式	Fabless，主要依靠华虹和积塔代工芯片，自己做模块封装	IDM，从芯片设计到晶圆制造再到模块封装全覆盖	IDM，从芯片设计到晶圆制造再到模块封装全覆盖	IDM，从芯片设计到晶圆制造再到模块封装全覆盖
客户	宇通、比亚迪、上海电驱动、英威腾、汇川技术等	比亚迪、福田、金龙、小康股份、蓝海华腾等	比亚迪、一汽、长安、东风、广汽等	零跑、比亚迪、吉利等
业务体量	2021年配套超过60万辆新能源汽车，预计收入在4.5亿-5亿元	累计配套超过100万辆新能源汽车，主要面向比亚迪内部配套	公司2021年汽车IGBT产品收入约2亿元，按单车价值量1200元计算，公司2021年配套量在15万辆至20万辆的水平。	公司电动汽车主电机驱动模块已在多家客户通过测试，并已在部分客户批量供货。预计今后公司PIM模块的营业收入将快速成长。

## 5.碳化硅——第三代半导体功率器件大有可为

- 常见的半导体材料包括硅、锗等元素半导体以及砷化镓、碳化硅、氮化镓等化合物半导体材料，根据研究和规模化应用的时间先后，业内通常将半导体材料划分为三代：
- **第一代半导体材料**：以硅和锗为代表，典型应用是集成电路。硅基半导体材料是目前产量最大、应用范围最为广泛的半导体材料。
- **第二代半导体材料**：以砷化镓为代表。砷化镓电子迁移率为硅的6倍以上，其器件具有高频、高速的光电性能，因此被广泛应用于光电子和微电子领域。
- **第三代半导体材料**：以碳化硅和氮化镓为代表。相比于前两代半导体材料，碳化硅具有禁带宽度大、击穿电场强度高、热导率高、电子饱和速率高以及抗辐射能力强等特点，适用于高压、高频和高温的场景，特别适合于电力电子领域的高功率半导体器件的制造。

表26：各代半导体材料性能对比

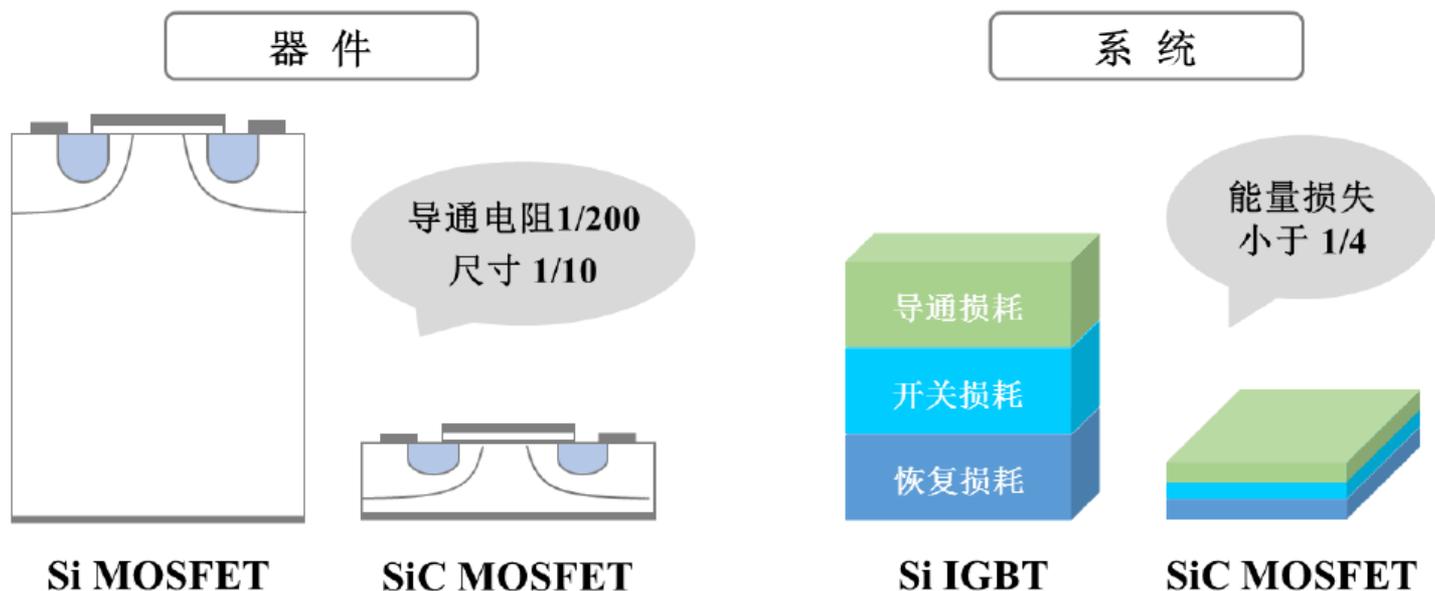
	第一代	第二代	第三代		金刚石
	Si	GaAs	4H-SiC	GaN	
禁带宽度 (eV)	1.12	1.43	3.26	3.37	5.5
击穿电场强度 (MV/cm)	0.3	0.4	3	5	56
电子迁移率 (cm <sup>2</sup> /V·s)	1350	8500	950	1250	2200
热导率 (W/cm·K)	1.5	0.55	4.9	1.3	20
饱和电子漂移速度 (cm/s)	10 <sup>7</sup>	2×10 <sup>7</sup>	2.2×10 <sup>7</sup>	1.5×10 <sup>7</sup>	3×10 <sup>7</sup>
相对介电常数	11.7	12.9	10	8.9	5.7
理论最高工作温度 (°C)	175	350	600	800	> 800

图49：SiC材料性能优越



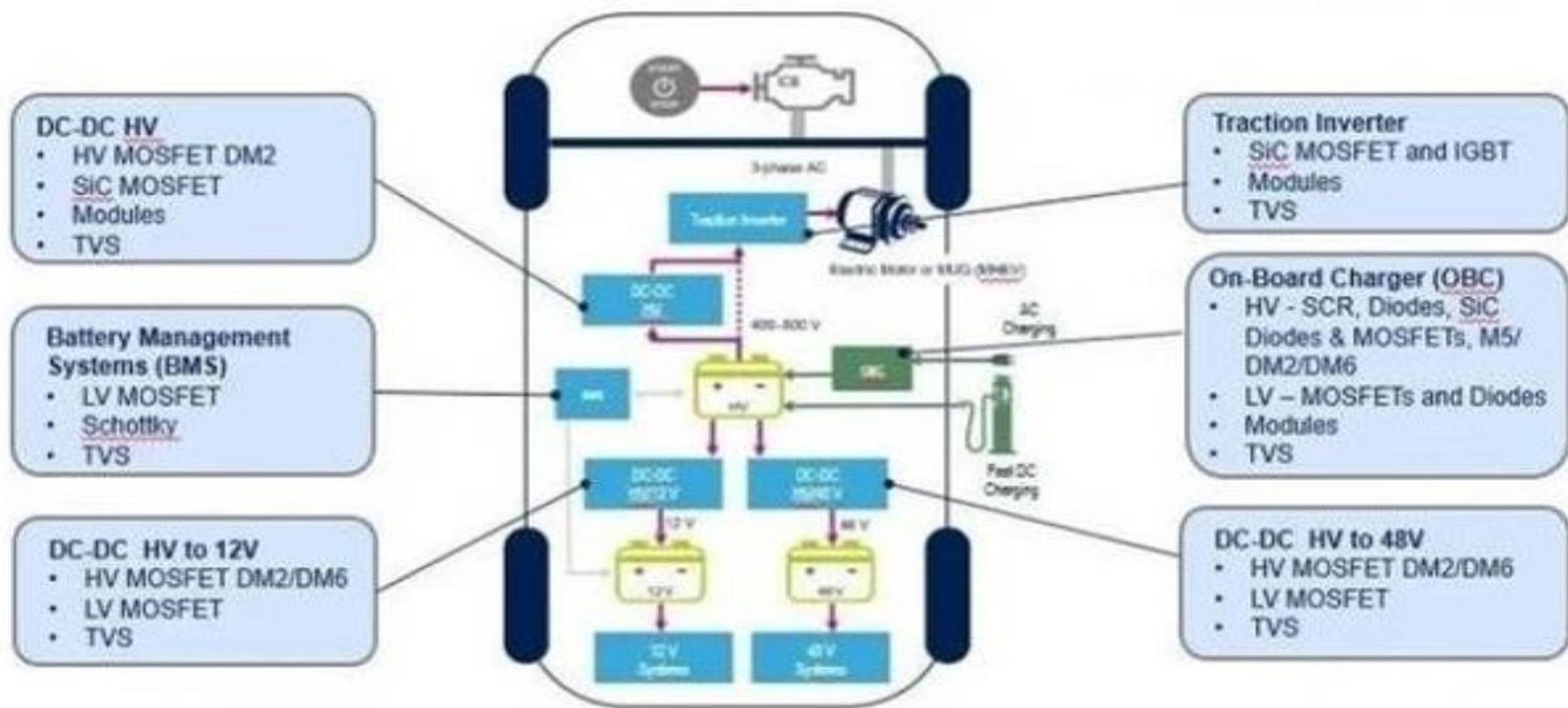
- **得益于碳化硅材料的优异特性，基于碳化硅材料的碳化硅功率器件具有优越的电气性能：**
- **耐高压：**碳化硅材料的击穿电场强度为传统硅基材料的十倍，因此碳化硅功率器件的耐高压特性显著强于同规格的硅基功率器件；
- **耐高温：**一方面，碳化硅的热导率为硅材料的三倍以上，在同样功率的情况下具有更好的散热能力，保持更低的温度，由此降低器件散热设计方面的要求，有利于提高集成度，使得器件向小型化方向发展。另一方面，碳化硅的禁带宽度是硅基的三倍以上，禁带宽度越宽，器件的极限工作温度越高（半导体器件在高温下会产生载流子本征激发现象，造成器件失效），因此碳化硅功率器件的极限工作温度能达到 $600^{\circ}\text{C}$ 以上，而目前硅基的IGBT工作温度一般在 $175^{\circ}\text{C}$ 。
- **低损耗：**碳化硅饱和电子漂移速度是硅的两倍以上，因此碳化硅器件具有更低的导通电阻，导通损耗低；碳化硅器件不存在电流拖尾，开关损耗也比硅基器件要低，也可以实现更高的开关频率。

图50：同规格碳化硅器件与硅基器件性能对比



- 碳化硅器件在新能源汽车上主要应用于主逆变器、OBC以及DC-DC中：
- 主逆变器：将动力电池的直流电逆变成三相交流电驱动电机；
- OBC（车载充电机）：将电网的交流电转变成对应电压的直流电为动力电池充电；
- DC-DC：将动力电池的高电压转换为12V、48V等低电压，为其他低电压系统供电。

图51：碳化硅器件在电动汽车中的应用



- **OBC和DC-DC率先导入碳化硅，主驱逆变器碳化硅导入节奏较慢。**
- **OBC和DC-DC**：在2017年/2018年左右，车用OBC和DC-DC就开始迎来革新，部分领先车企开始使用碳化硅器件，其中OBC由SiC SBD转向SiC SBD+SiC MOS的方案，而DC-DC则是由硅基的MOS向SiC MOS发展，目前OBC和DC-DC对碳化硅的应用已经相对成熟。
- **主驱逆变器**：主驱逆变器中碳化硅的导入节奏要慢一些，验证周期长达3-4年，且后续较长一段时间内仍将以硅基IGBT+硅基FRD的方案为主。2018年特斯拉在Model 3的主驱逆变器中率先应用了碳化硅模块（SiC MOS）的方案；后续有比亚迪在汉EV高性能四驱版本中也搭载了碳化硅模块（后驱为SiC MOS，前驱仍为硅基IGBT）；2022年Q1上市的蔚来ET7在前永磁同步电机中也搭载了碳化硅模块（SiC MOS）。
- **主驱逆变器中的碳化硅价值量最大，在碳化硅单车价值量中的占比超过80%，因此后文主要聚焦于主驱逆变器碳化硅模块。**

图52：碳化硅器件在电动汽车中的应用进程



表27：主驱逆变器碳化硅方案梳理

时间	车企	主驱逆变器碳化硅应用情况
2018	特斯拉	Model 3首次在主逆变器中采用碳化硅模块（ST提供），为逆变器带来5-8%的效率提升。
2020	比亚迪	汉EV高性能四驱版本中也搭载了碳化硅模块，（后驱为SiC MOS，前驱仍为硅基IGBT）
2022	蔚来	ET7的前永磁同步电机采用了碳化硅模块（安森美提供），使永磁同步电机的电控损耗降低了4到6个百分点，在CLTC工况下的效率超过91.5%。

- **目前纯电动乘用车的用户痛点：充电速度较慢。**传统燃油车加油方式的补能时间在5分钟左右，而目前纯电动乘用车直流快充的补能时间通常在30分钟或者更长（30%充至80%），由此可见纯电动汽车的补能速度与传统燃油车仍存在一定的差距。
- **纯电动乘用车补能速度提高的方法：**1、换电，以蔚来为代表，需要布局数量庞大的换电站，投资较大；2、进一步提高充电功率，有两种方式，进一步提高电流或者提高电压。
- **进一步提高电流：**提高充电电流即大电流快充，以特斯拉为代表，特斯拉维持电压平台400V不变，V3超充最大功率达到250kW（对应充电电流625A，2015年充电桩新国标中直流充电接口额定电流最大为250A，过大的电流将产生发热问题）。
- **进一步提高电压：**传统的纯电动乘用车电压平台为400V，目前众多主机厂均在规划将电压平台进一步提高到800V，如保时捷、小鹏、理想、比亚迪、东风岚图、吉利、极狐等。高压平台对绝缘的要求将进一步提升。

表28：目前直流快充的补能速度仍然较慢

车企	车型	直流快充时间（30%-80%）
比亚迪	汉EV	25分钟
广汽埃安	AION S	≤47分钟
吉利	帝豪EV	30分钟
长城	欧拉好猫	≥30分钟
小鹏	P7	≥27分钟
蔚来	ES6	75kWh电池包，10%-80%，36分钟

表29：进一步提高补能速度的几种方案

补能方式	面临挑战	代表企业					
换电模式	需布局大量换电站，投资较大，且不同品牌不同车型之间电池规格难以统一	NIO BAIC BJEV 北汽新能源					
	快充	<table border="1"> <tr> <td>大电流</td> <td>电流过高存在较为严重的发热问题</td> <td></td> </tr> <tr> <td>高电压</td> <td>电压等级提升对绝缘和耐压等级的要求将进一步提高</td> <td>  小鹏   PORSCHE                     </td> </tr> </table>	大电流	电流过高存在较为严重的发热问题		高电压	电压等级提升对绝缘和耐压等级的要求将进一步提高
大电流	电流过高存在较为严重的发热问题						
高电压	电压等级提升对绝缘和耐压等级的要求将进一步提高	小鹏 PORSCHE					

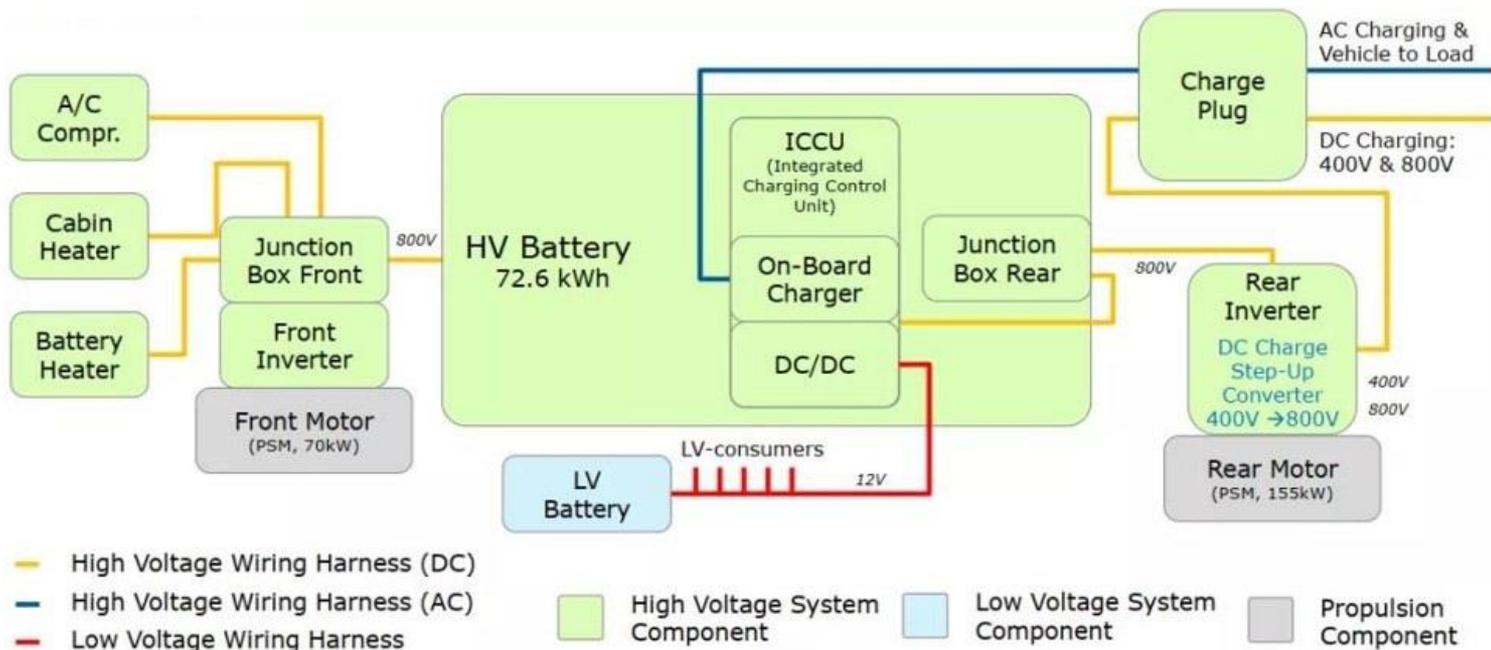
■ **当前，众多主机厂正加速布局800V高压平台。**当前自主、合资和新势力均在加快800V高压平台的布局，我们预计2023-2024年将迎来800V高压平台的快速发展期。

**表30：各家主机厂正加速布局800V高压平台**

类型	车企/品牌	800V高压平台规划	代表车型
自主	极狐	2021年发布的极狐阿尔法S华为HI版采用了800V高电压平台，支持200kW直流快充，实测中10分钟补充197km续航里程	极狐阿尔法S华为HI版
	长安	2021年8月，2021长安汽车科技生态大会上长安汽车发布了800V电驱平台。在该平台与高倍率快充电芯支持下，最快可具备充电10分钟续航200km的能力	C385
	比亚迪	2021年，比亚迪在e平台3.0上导入800V高压技术，实现充电5分钟续航150公里	海豹
	极氪	2020年9月，吉利发布的SEA浩瀚架构采用了800V高压平台	/
	长城	2021年11月，长城沙龙发布旗下首款车型机甲龙，机甲龙采用了800V高压充电技术，峰值电流最高可达600A，充电10分钟，可实现续航401km，充电15分钟，可实现续航545km	机甲龙
	岚图	2021年9月，岚图展示了自研800V高压平台和快充技术，采用4C电芯，配合360kW超级快充桩充电速率可以提升125%，实现充电10分钟，续航400公里的充电效率。预计将在2023年量产	/
新势力	广汽埃安	2021年8月，广汽埃安发布了A480超充桩，与800V高压平台车型搭配使用可以实现6C的高倍率充电，可实现0%至80%电量充电时间8分钟，30%至80%电量充电时间5分钟	/
	小鹏	小鹏G9采用了800V高压SIC平台以及480千瓦的大功率充电桩，可以在5分钟实现200公里的续航	小鹏G9
	理想	理想正在开发Whale和Shark平台，用于未来的高压纯电动汽车，自2023年起理想计划每年至少推出两款高压纯电动车型	/
合资/外资	零跑	规划了800V超高压电气平台，计划2024年第四季度量产，并支持400kW的超级快充能力	/
	保时捷	保时捷Taycan成了第一款采用800V平台的量产电动车	Taycan
	大众	大众集团终极纯电平台SSP将支持800V高压架构	/
	奔驰	奔驰MMA平台预计将会是奔驰第一款800V架构的平台，预计在2024年推出	/
	现代	2020年12月，现代汽车集团全球首发了全新电动汽车专用平台E-GMP，平台可以实现最大800V多功能充电系统	IONIQ 5

- 整车电压等级的升高要求三电系统以及DC-DC、OBC等部件都需求在800V的电压下正常工作，由此带来了较多的变化：
- **动力电池**：通过调整电芯和模组的串并联对电压进行调整，但需要保证在高电压和大电流下动力电池的安全性、稳定性和使用寿命；
- **电机电控**：整车上到高压平台后最重要的部件升级就是电驱，而在**功率模块中使用碳化硅器件是电驱升级的核心**；
- **线束、连接器**：电流下降，降低了线束材料的用量，但对耐压、绝缘等要求进一步提高；
- **其他**：如下图IONIQ 5的800V架构，为了兼容400V的充电桩，后驱单元中还装有DC-DC，将400V电压升至800V，再给动力电池充电。

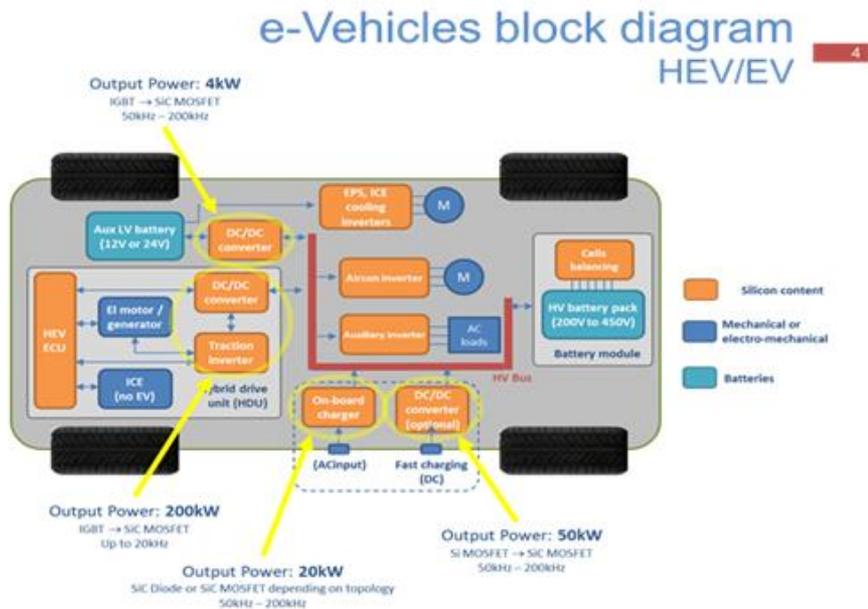
图53：现代IONIQ 5的800V高压架构



- **800V高压平台下，主驱逆变器由硅基IGBT向SiC MOS切换的动力：**
- **1、耐压能力提升。**功率器件的耐压等级取决于动力电池的母线电压，在800V高压平台下，考虑过载等因素，功率器件的耐压要提升至1200V。SiC MOS耐压性能显著高于同规格的硅基IGBT；
- **2、损耗降低，提升效率。**硅基IGBT在高电压下的拖尾损耗增加，而SiC MOS的开关损耗低，且车辆90%工作都在电机额定功率30%以内，处于碳化硅的高效区间。主驱逆变器采用SiC MOS的800V平台车型整体节能5%-10%的水平；
- **3、进一步小型化、集成化。**SiC MOS的开关频率更高，可以实现更高的电机转速，在功率一定的情况下可以减小电机体积，以降低成本和实现更高的集成度。
- **因此，目前推出的800V高压平台以及在规划的800V高压平台几乎全部采用了碳化硅主驱逆变器。**

图54：800V高压架构下功率半导体有望由硅基转向碳化硅

表31：众多主机厂在800V平台中使用SiC作为主驱逆变器



车企	800V高压平台+碳化硅应用情况
小鹏	小鹏G9是国内首款800V平台+碳化硅的量产车型
理想	理想在研的高压平台采用了SiC方案
现代	IONIQ 5的800V高压架构下电机控制器功率器件采用了SiC
岚图	岚图发布的800V高压系统中采用了SiC电驱总成
零跑	零跑800V高压平台下采用了碳化硅控制器，将于2023年年底量产
吉利	吉利宣布将于2023年量产800V高功率碳化硅芯片

- **受新能源汽车应用的带动，碳化硅器件市场将高速增长。**根据Yole的预测，受益于碳化硅在新能源汽车、工业和能源等领域需求的增长，全球碳化硅器件市场将从2021年10亿美元的规模增长至2027年的60亿美元以上，复合增速将高达34%；其中汽车碳化硅器件的市场将从2021年的6.85亿美元增长至2027年的约50亿美元，复合增速高达40%，至2027年汽车碳化硅器件市场规模将占到碳化硅器件市场总规模的80%左右。
- **碳化硅器件市场快速发展带动碳化硅晶圆需求迅速增长。**随着新能源汽车渗透率不断提升，叠加800V高压平台的发展，电动车市场对碳化硅晶圆的需求也在快速增长。根据TrendForce的数据，到2025年，全球电动车市场对6英寸SiC晶圆需求将达到169万片。

图55：Yole预测碳化硅器件市场规模2027年将达63亿美元

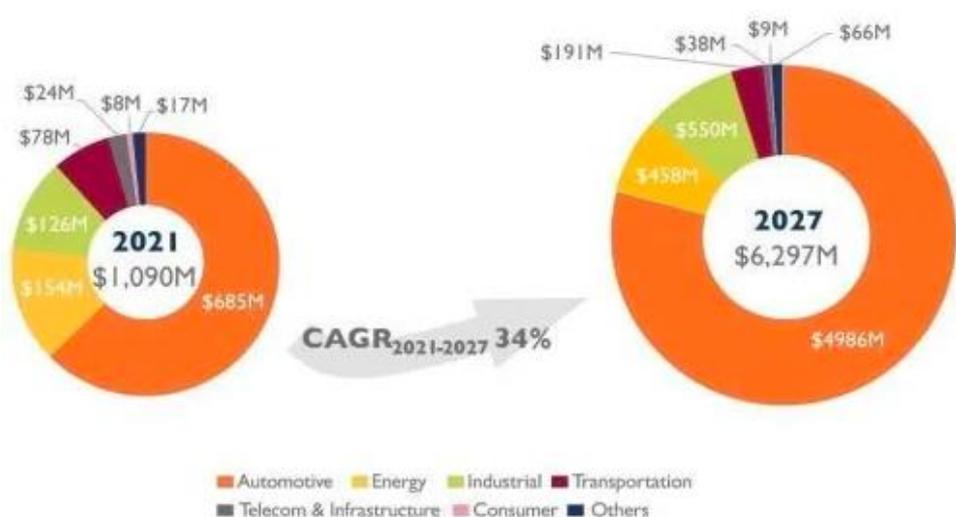


图56：碳化硅晶圆需求也将快速增长

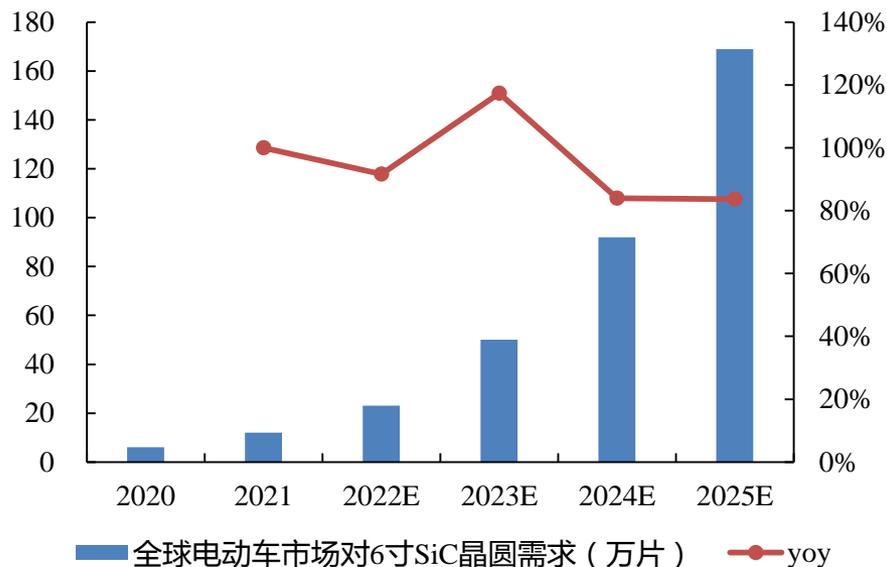
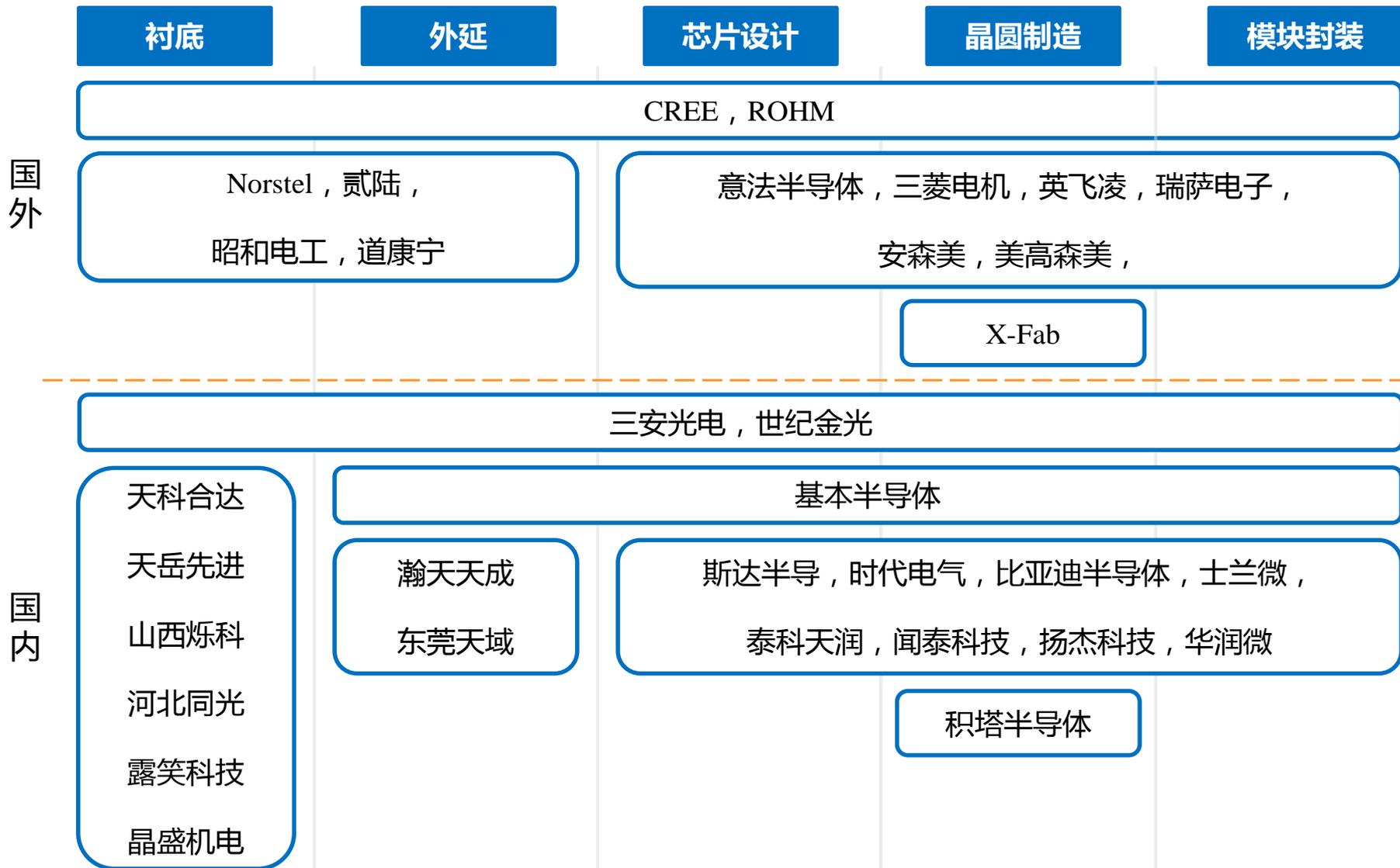


图57：碳化硅产业链梳理

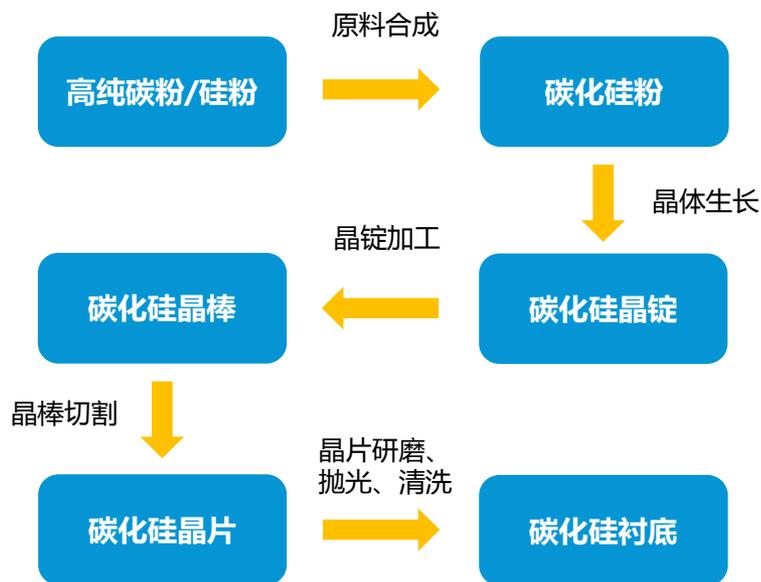


- **碳化硅衬底**是一种由C和Si两种元素组成的化合物半导体单晶材料，基于碳化硅衬底可以开发出适应高压、高温、高频和高功率条件的碳化硅器件，被广泛应用于新能源汽车、轨道交通、5G基站建设等领域。
- **碳化硅衬底的分类**：根据碳化硅衬底的电阻率可以分为导电型碳化硅衬底（应用于功率器件）和半绝缘型碳化硅衬底（应用于微波射频器件）；
- **衬底的制备工艺**：通常以高纯碳粉、高纯硅粉为原料合成碳化硅粉，在特殊温度场下，采用物理气相传输法（PVT法），生长不同尺寸的碳化硅晶锭，再经过多道工序得到碳化硅衬底。

表32：碳化硅衬底的分类

类型	图示	电阻率	产品用途
半绝缘型		$\geq 10^5 \Omega\cdot\text{cm}$	在半绝缘型衬底上生长氮化镓外延层，得到碳化硅基氮化镓外延片，可进一步制成HEMT等微波射频器件
导电型		15~30 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$	在导电型碳化硅衬底上生长碳化硅外延层，得到碳化硅同质外延片，可进一步制成功率器件

图58：碳化硅衬底的制备工艺流程



- 碳化硅半导体晶片材料的核心参数包括微管密度、位错密度、电阻率、翘曲度以及表面粗糙度等。要稳定量产各项性能参数指标波动幅度较低的高品质碳化硅晶片的技术难度非常大。

表33：碳化硅衬底制备的技术难点

工艺环节	技术难点	具体说明
	生长温度控制	碳化硅晶体需要在两千摄氏度以上的高温环境中生长，完成“固态-气态-固态”的转化重结晶过程，且在生产过程中需要精密调控生长温度，控制难度大
晶体生长	晶体结构类型控制	碳化硅存在200多种晶体结构类型，其中4H-SiC等少数几种晶体结构的单晶型碳化硅才是所需的半导体材料，在晶体生长过程中需要精确控制碳硅比、生长温度梯度、晶体生长速率以及气流气压等参数，否则将产生多晶型夹杂，导致产出的晶体不合格
	扩径技术	在气相传输法下，碳化硅晶体生长的扩径技术难度大，随着晶体尺寸的扩大，其生长难度呈几何级增长
晶体切割、研磨和抛光	加工易开裂和翘曲	碳化硅硬度与金刚石接近，切割、研磨、抛光技术难度大，容易存在开裂以及翘曲等质量问题，工艺水平的提高需要长期的研发积累

- **高品质碳化硅衬底的生产成本较高。**由于碳化硅衬底的制备难度较大，主要表现为生产速率慢（生长速度在零点几毫米每小时），产品良率低（Cree、贰陆的良率在60%~70%，国内要低10%），因此碳化硅衬底的生产成本较高。目前6寸碳化硅衬底的价格在6500元-7000元人民币左右。
- **碳化硅功率器件的价格也为硅基器件的数倍水平。**受衬底成本较高的影响，碳化硅器件的价格也显著高于硅基器件。目前，碳化硅功率器件的价格是硅基器件的3-5倍。
- **降本路径：**1、市场规模增长带来规模效应；2、技术提升带来良率的提高；3、向大尺寸衬底方向发展（目前国内以4寸和6寸为主，国外已经开始8寸线）。
- **降本目标：**预计后续碳化硅衬底的价格按每年10%的幅度降低，碳化硅器件的成本预计也将在2025-2026年期间降至硅基器件的2倍左右。

图59：碳化器件的成本结构

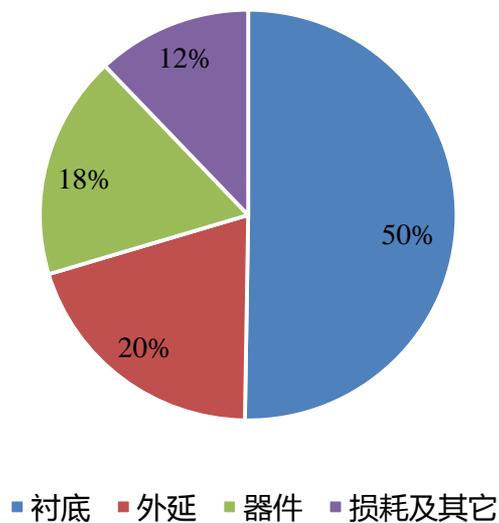
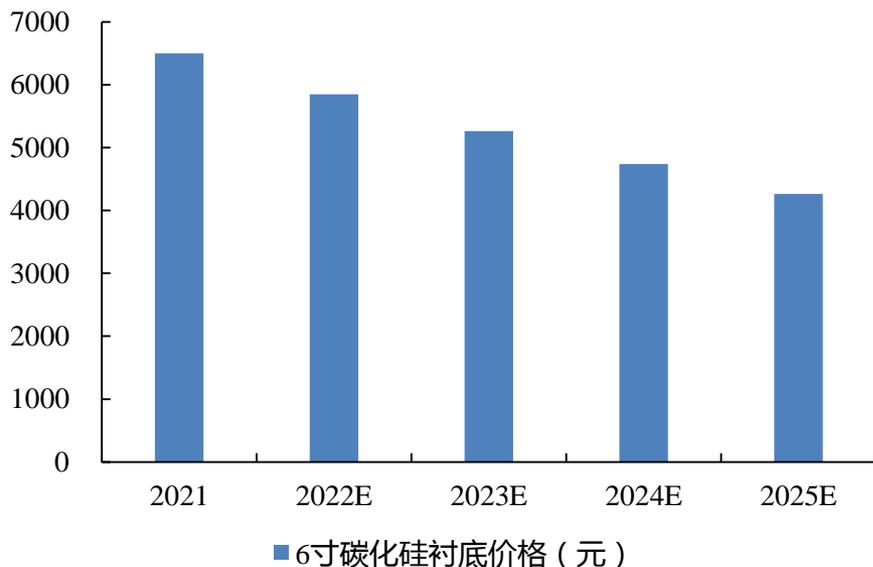


图60：6寸碳化硅衬底价格预测



- 目前，美国、欧洲和日本等发达国家和地区在上游的碳化硅衬底环节占据了领先地位，具有较大优势。
- 在半绝缘型碳化硅衬底市场，形成了三家垄断的竞争格局。2020年贰陆、Cree和天岳先进在半绝缘型碳化硅衬底市场的市占率分别为35%、33%和30%，合计占据了98%的市场份额。国内厂商天岳先进位列行业第三。
- 在导电型碳化硅衬底市场，目前呈现出Cree一家独大的竞争格局。2020年Cree在导电型碳化硅衬底的市场占有率高达62%，领先第二位的贰陆48个百分点。国内厂商天科合达以4%的全球市占率排在导电型碳化硅衬底厂商的第四位。
- 整体上看，以Cree、贰陆和罗姆为代表的外资碳化硅衬底厂商占据了该环节绝对的领先地位。

图61：2020年全球半绝缘型碳化硅衬底厂商市占率情况  
(销售额口径)

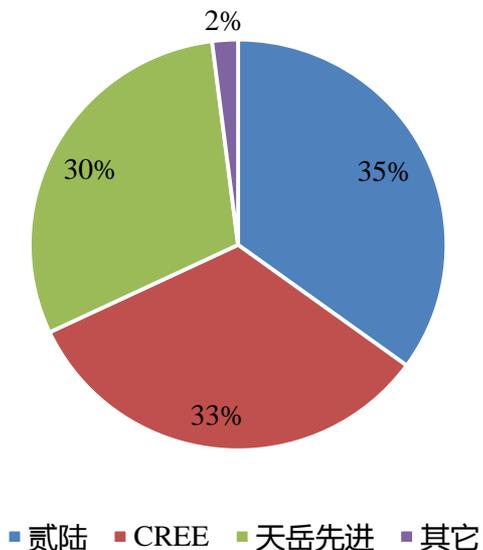
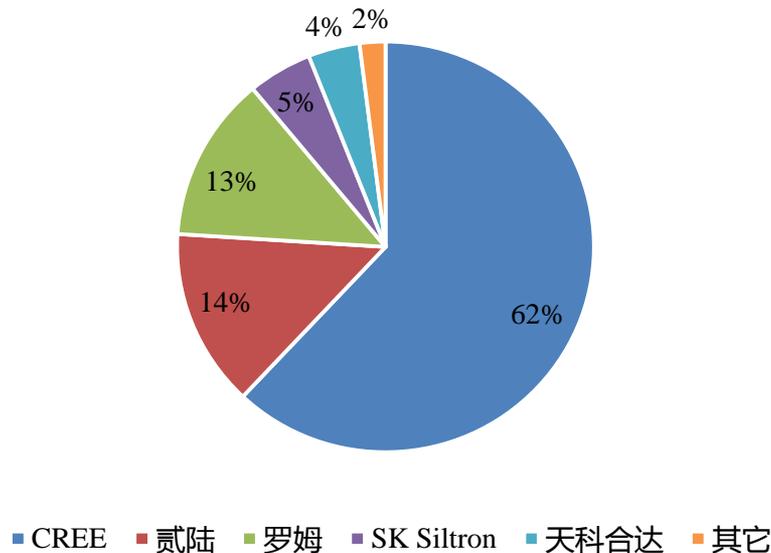


图62：2020年全球导电型碳化硅衬底厂商市占率情况  
(销售额口径)



■ **国内功率半导体厂商正加紧布局碳化硅器件业务。**在车规级功率器件领域中，硅基器件是目前最为主流的选择。随着行业持续发展，碳化硅器件在OBC和DC-DC中的应用逐渐成熟，并且在主驱逆变器中也开始逐渐得到应用，凭借着优异的器件性能以及成本逐渐降低，碳化硅功率器件未来在车载领域的渗透率也将逐步提高。目前国内主要的车规级IGBT模块供应商，如斯达半导、时代电气、比亚迪半导体和士兰微均在加速布局碳化硅功率器件，未来将有望充分受益于碳化硅行业的快速发展。

表34：国内车规级IGBT厂商加速布局SiC器件

厂商	碳化硅业务模式	碳化硅业务具体布局情况
斯达半导	IDM	2021年，公司非公开发行募集资金投入SiC芯片研发及产业化项目。该项目通过新建厂房，购置光刻机、涂胶显影机、铝刻蚀机、高温注入机等设备，开展SiC芯片的研发和产业化。项目达产后，预计将形成年产6万片6英寸SiC芯片生产能力。
时代电气	IDM	控股子公司中车时代半导体有限公司投资4.62亿，对现有碳化硅芯片线进行改造升级。项目建成达产后，将现有平面栅SiC MOSFET芯片技术能力提升到满足沟槽栅SiC MOSFET芯片研发能力，将现有4英寸SiC芯片线提升到6英寸，将现有4英寸SiC芯片线年10000片/年的能力提升到6英寸SiC芯片线25000片/年。
比亚迪半导体	IDM	宁波晶圆厂未来将对现有硅基生产设备进行改造升级并新增部分碳化硅专用设备，逐步将现有的6寸硅基晶圆制造产能改造为6寸碳化硅晶圆制造产能。
士兰微	IDM	2021年，公司SiC功率器件的中试线已在上半年实现通线。目前公司已完成车规级SiC-MOSFET器件的研发，正在做全面的可靠性评估，将要送客户评价并开始量产。公司已着手在厦门士兰明镓公司建设一条6吋SiC功率器件芯片生产线，预计在2022年三季度实现通线。

## 6.投资建议及风险提示

- **从当前的时点来看，预计IGBT的供需关系将持续紧张。**
- 目前下游新能源汽车销量快速增长，而上游功率器件的扩产相对较慢。一方面是海外企业的扩产节奏较慢，另一方面晶圆线的扩产及满产爬坡需要非常长的时间。因此出现了功率模块的供应紧张现象，部分新能源汽车的交期持续拉长。
- 根据我们的测算，2022年-2023年新能源汽车主驱IGBT模块的需求分别为607万个和1067万个，而根据供给端各厂商的产能放量节奏来看，距离需求总量仍有较大的缺口。

表35：车规级IGBT模块需求端测算

	2021A	2022E	2023E
新能源汽车销量（万辆）	350.8	585.0	993.0
其中：乘用车销量（万辆）	329.9	555.0	953.0
单车功率模块数量（个）	1.12	1.16	1.19
功率模块需求数量（万个）	369.5	643.8	1134.1
乘用车碳化硅模块需求（万个）	58.0	68.2	107.7
乘用车IGBT模块需求（万个）	311.5	575.6	1026.3
商用车销量（万辆）	20.95	30	40
IGBT单车数量（个）	1.05	1.05	1.05
商用车IGBT模块需求（万个）	22	31.05	41.05
新能源汽车IGBT需求（万个）	333.5	606.6	1067.4

■ **当前车企正加速布局功率半导体领域，未来或将影响电动车市场的放量和格局。**短期来看，布局功率半导体领域可以在行业供应紧张的情况下优先保障供应；长期来看，功率半导体对整车性能有着重要影响，布局功率半导体领域，未来做定制化的模块封装设计，也将为主机厂的产品带来性能上的差异化。

表36：车企正加速布局功率半导体领域

车企	在功率半导体方向的布局	领域	方式
	2018年，上汽集团与英飞凌成立合资公司上汽英飞凌汽车功率半导体（上海）有限公司，上汽集团持股51%，英飞凌持股49%	IGBT模块	合资
	2020年，上汽集团投资比亚迪半导体	IGBT芯片及模块、碳化硅芯片及模块	投资
上汽	2021年，上汽通过旗下多个投资平台入股上海瀚薪科技有限公司，瀚薪科技为研发与生产第三代宽禁带半导体功率器件及功率模块的高科技企业	车规级碳化硅MOS管、二极管	投资
	2021年，上汽集团携旗下市场化私募股权投资平台尚颀资本共同出资5亿元，完成对国内领先车规级芯片及碳化硅功率器件生产企业上海积塔半导体有限公司的A轮投资	晶圆制造	投资
	2021年，上汽集团参与天岳先进战略配售，天岳先进为碳化硅衬底生产商	碳化硅衬底	投资
	2019年，广汽集团与日本电产成立合资公司广州尼得科汽车驱动系统有限公司，其中的IGBT模块主要来自于日系IGBT厂商	电机	合资
	2021年，广汽与时代电气合资成立广州青蓝半导体有限公司，通过合资的形式建设车规级IGBT封装厂，广汽持股51%	IGBT模块	合资
广汽	2021年，广汽通过旗下企业投资上海瀚薪科技有限公司，瀚薪科技为研发与生产第三代宽禁带半导体功率器件及功率模块的高科技企业	车规级碳化硅MOS管、二极管	投资
	2021年，广汽集团参与天岳先进战略配售，天岳先进为碳化硅衬底生产商	碳化硅衬底	投资
	2021年，广汽通过旗下企业投资上海瞻芯电子科技有限公司，瞻芯电子是一家聚焦于碳化硅功率半导体领域的高科技芯片公司	碳化硅功率器件、碳化硅功率模块	投资
长安	2018年，长安汽车与时代电气、南方电网、格力电器等共同合资成立湖南国芯半导体科技有限公司，布局IGBT、碳化硅等功率半导体领域，长安汽车持有国芯半导体25%股权	IGBT、碳化硅	合资
一汽	2019年，一汽基金领投与亿马先锋组建合资公司，并在苏相合作区设立全资子公司——苏州亿马半导体科技有限公司。主要业务为半导体功率模块封装、电机控制器及车载充电机的研发、生产、销售	IGBT模块、碳化硅模块	合资
东风	2019年，东风与时代电气成立合资公司智新半导体，布局IGBT模块封装业务	IGBT模块	合资

表36续：车企正加速布局功率半导体领域

车企	在功率半导体方向的布局	领域	方式
北汽	北汽旗下北汽产投战略投资碳化硅功率器件公司森国科，森国科产品主要包括碳化硅二极管，碳化硅MOS目前在研	碳化硅（SiC）功率器件	投资
	2020年，北汽产投投资比亚迪半导体	IGBT芯片及模块、碳化硅芯片及模块	投资
	北汽旗下北京安鹏行远新能源产业投资中心（有限合伙）投资了SiC半导体企业上海瞻芯电子科技，瞻芯电子是一家聚焦于碳化硅功率半导体领域的高科技芯片公司，2017年成立于上海临港，致力于开发碳化硅功率器件、驱动和控制芯片和碳化硅功率模块产品	碳化硅功率器件、碳化硅功率模块	投资
	2021年，北汽通过旗下关联公司投资飞镓半导体，飞镓半导体是第三代半导体供应商，专业从事碳化硅器件的研发、生产及销售	碳化硅器件	投资
	2021年，北汽旗下北汽产投参与碳化硅衬底企业同光晶体D轮融资	碳化硅衬底	投资
	2021年，北汽旗下北汽产投参与功率芯片设计公司芯长征C轮融资，芯长征核心业务包括：IGBT、coolmos、SiC等芯片产品及技术开发、IGBT模块设计、封装、测试代工等	功率半导体器件设计研发与封装制造	投资
比亚迪	比亚迪子公司比亚迪半导体从事IGBT以及碳化硅功率器件业务	IGBT芯片及模块、碳化硅芯片及模块	自供
长城	2021年，长城汽车战略投资同光股份布局碳化硅领域（同光股份为碳化硅单晶衬底企业）	碳化硅衬底	投资
吉利	2021年，吉利汽车旗下威睿公司宣布与芯聚能半导体等企业合资成立广东芯粤能半导体有限公司，吉利持股40%。芯聚能半导体的主要业务是面向新能源电动汽车（EV、HEV）主驱动器的核心功率半导体芯片设计、器件与模块产品，包括IGBT、SiC的功率模块及功率器件	碳化硅芯片	合资
	2021年，吉利汽车与半导体制造商罗姆半导体达成了战略合作伙伴关系	碳化硅	合作
蔚来	蔚来将建设自研碳化硅功率模块工艺实验线一条，新增测试设备若干，将使用4万个碳化硅芯片，设计生产能力每年5000套模块。	碳化硅	自研
小鹏	2021年，小鹏参与天岳先进战略配售，天岳先进为碳化硅衬底生产商；	碳化硅衬底	投资
	2022年，小鹏战略投资上海瞻芯电子科技有限公司，瞻芯电子是一家聚焦于碳化硅功率半导体领域的高科技芯片公司，2017年成立于上海临港，致力于开发碳化硅功率器件、驱动和控制芯片和碳化硅功率模块产品。	碳化硅功率器件、碳化硅功率模块	投资
理想	此前，理想IGBT模块由英飞凌供应，后引入了国产供应商时代电气；碳化硅方面，理想与三安光电成立了合资公司苏州斯科半导体，专注于第三代半导体碳化硅车规芯片模组的研发及生产。	碳化硅芯片、模块	合资

- 【投资建议】** 目前下游新能源汽车和新能源发电等领域持续快速发展，IGBT行业持续维持高景气度；此外国内IGBT厂商加速国产替代，快速切入下游主机厂供应体系。推荐车规级IGBT模块及碳化硅功率器件企业斯达半导（603290.SH），建议关注时代电气（688187.SH）和士兰微（600460.SH）等相关上市公司。

表37：相关公司盈利预测及估值评级

公司	代码	股价 (元)	总市值 (亿元)	归母净利润(亿元)			PE			评级
				2021A	2022E	2023E	2021A	2022E	2023E	
斯达半导	603290.SH	342.00	583.47	3.98	6.45	9.29	146.60	90.46	62.81	推荐
时代电气	688187.SH	59.00	835.44	20.18	23.62	27.33	41.40	35.37	30.57	-
士兰微	600460.SH	45.93	650.40	15.18	14.88	19.14	42.85	43.71	33.98	-

注：所有数据更新至2022年6月17日；斯达半导（603290.SH）盈利预测数据来自于东吴证券研究所，时代电气（688187.SH）和士兰微（600460.SH）盈利预测数据来自于Wind一致预测。

- **下游新能源汽车、新能源发电等行业的发展不及预期。** 新能源汽车销量若增长速度不及预期或风电光伏装机量的增长不及预期将导致对IGBT等功率器件的需求下滑。
- **IGBT行业国产替代进程不及预期。** 若自主IGBT企业的产品在实际应用中出现性能和可靠性等方面的问题，或将导致国产替代进程放缓。
- **碳化硅行业发展不及预期。** 若碳化硅功率器件在衬底产能、成本和技术成熟度等方面的发展不及预期，或将导致其在车规级领域的应用进程放缓。
- **产能过剩，行业竞争加剧。** 若车规级功率器件行业后续出现产能过剩情况，或将导致行业竞争加剧，影响公司盈利能力。

东吴证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

本研究报告仅供东吴证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议，本公司不对任何人因使用本报告中的内容所导致的损失负任何责任。在法律许可的情况下，东吴证券及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供投资银行服务或其他服务。

市场有风险，投资需谨慎。本报告是基于本公司分析师认为可靠且已公开的信息，本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性，也不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。

本报告的版权归本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。如引用、刊发、转载，需征得东吴证券研究所同意，并注明出处为东吴证券研究所，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。

东吴证券投资评级标准：

公司投资评级：

- 买入：预期未来6个月个股涨跌幅相对大盘在15%以上；
- 增持：预期未来6个月个股涨跌幅相对大盘介于5%与15%之间；
- 中性：预期未来6个月个股涨跌幅相对大盘介于-5%与5%之间；
- 减持：预期未来6个月个股涨跌幅相对大盘介于-15%与-5%之间；
- 卖出：预期未来6个月个股涨跌幅相对大盘在-15%以下。

行业投资评级：

- 增持：预期未来6个月内，行业指数相对强于大盘5%以上；
- 中性：预期未来6个月内，行业指数相对大盘-5%与5%；
- 减持：预期未来6个月内，行业指数相对弱于大盘5%以上。

东吴证券研究所  
苏州工业园区星阳街5号  
邮政编码：215021  
传真：（0512）62938527  
公司网址：<http://www.dwzq.com.cn>

# 东吴证券 财富家园