

汽车电动化深度：新能源车销量+渗透率双升，IGBT 与 SiC 大放异彩

报告要点

汽车电子：

汽车电动化浪潮势不可挡，汽车电子迎来新机遇。汽车电子是安装在汽车上所有电子设备和电子元器件的总称，主要包括车身电子控制系统和车载电子装置。根据 IEA 数据，2021 年全球 BEV 和 PHEV 销量合计 684 万辆，预计 2022/2025/2030 年将分别达到 973/1550/4813 万辆。根据 BCG 数据，预计全球电动车（纯电+插电+混合动力+轻混）2022/2025/2030 年渗透率将分别达到 25%/46%/76%。根据 Roland Berger 数据，在不考虑电池和电机情况下，豪华品牌 L1 级别 ADAS 汽油车整车电子 BOM 为 3145 美元，豪华品牌 L3 级别自动驾驶纯电车整车电子 BOM 为 7030 美元，增幅达到 123.5%。

功率半导体：

功率半导体最为受益，单车价值量增幅超 4 倍。伴随着汽车电动化过程，汽车半导体将充分受益。相比于传统燃油车，新增的半导体应用包括逆变器、车载充电机（OBC）、DC/DC 转换器、电池管理系统、加热器以及辅助逆变器。在各类汽车半导体产品中，功率半导体受益最大。根据 Infineon 和 Strategy Analytics 数据，传统燃油车功率半导体价值量为 88 美元/辆，纯电动车功率半导体价值量为 459 美元/辆，增幅高达 421.6%。

IGBT 作为逆变器等核心部件，充分受益于汽车电动化。根据 Yole 数据，全球 IGBT 市场规模，2020 年 54 亿美元，2026 将增长到 84 亿美元，CAGR 为 7.6%；各下游应用中，新能源车占比 9.4%。全球前 3 厂商为英飞凌、富士电机、三菱，中国厂商斯达半导排名第 6，是唯一进入前 10 的中国厂商。IGBT 主要应用在逆变器、车载充电机（OBC）、DC/DC 转换器等，是逆变器中的核心零部件，随着电动车渗透率持续提升，IGBT 需求将持续高景气。我们预计 1 辆电动乘用车上 IGBT 价值量大约为 340 美元/辆。

动力电池向 800V 升级，SiC 性能优势明显，渗透率将逐步提升。为了提高充电效率，电动车电压平台将从 400V 向 800V 及以上升级，而在 800V 及以上高压情况下，SiC 由于在击穿场强、饱和电子漂移速率、热导率等性能指标上具有明显优势，在 800V 及以上电压情况下，比 IGBT 器件能量损耗低，封装尺寸小，能实现高频开关，并且耐高温、散热能力强，因此从性能上更适合 800V 及以上电压，但是由于 SiC 衬底生长速率慢、制备技术难度较大，导致大尺寸、高品质 SiC 衬底产量低、成本高，根据我们推算，1 辆电动车 SiC 器件价格为 1005 美元/辆。随着技术升级，Wolfspeed、II-VI、ROHM（SiCrystal）、天岳先进、晶盛机电、露笑科技、三安光电等全球主要厂商陆续扩产，未来 SiC 成本将有望持续降低，SiC 渗透率将稳步提升。

投资建议：我们看好汽车电动化变革带来的新机遇，电动车逆变器、车载充电机（OBC）、DC/DC 转换器等将为功率半导体，尤其是 IGBT 和 SiC 领域的高速成长注入新动能。建议关注：斯达半导、天岳先进、三安光电。

风险提示： 1、新能源车等下游需求不及预期；2、IGBT 行业竞争加剧、车规级产品导入不及预期；3、SiC 扩产、技术研发进度不及预期。

电子

评级：看好

日期：2022.05.13

分析师 王少南

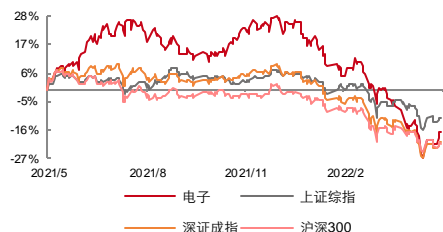
登记编码：S0950521040001

☎：0755-23375522

✉：wangshaonan@wkzq.com.cn

行业表现

2022/5/12



资料来源：Wind，聚源

相关研究

- 《2022 年电子行业投资策略：5G 渗透率持续提升，半导体供应链安全大势所趋》(2021/12/9)
- 《PCB 行业深度：通讯/消费电子/汽车齐发力，FPC 替代传统线束前景可期》(2021/12/7)
- 《半导体设备行业深度：新一轮景气周期，大国重器替代正当时》(2021/8/16)
- 《2021 年电子行业中期策略：5G+ARVR 引领新成长，国产替代奏响主旋律》(2021/8/6)
- 《需求错配+供给瓶颈+资源倾斜，汽车缺芯有望 2021Q2 开始改善》(2021/5/12)

内容目录

1、汽车电动化浪潮势不可挡，汽车电子充分受益.....	5
1.1 双碳驱使汽车行业加速变革.....	5
1.2 汽车电子前景可期.....	8
2、智车之“心”：传统“三大件”向“三电”过渡，汽车功率半导体充分受益.....	12
2.1 电动车渗透率有望持续提升，“三电”带来半导体增量新需求.....	12
2.2 功率半导体最为受益，增幅高达4倍以上.....	19
2.2.1 逆变器是核心部件，IGBT 深度受益.....	23
2.2.2 动力电池向800V升级，SiC有望大放异彩.....	26
3、投资建议.....	37
3.1 投资观点.....	37
3.2 建议关注.....	38
3.2.1 斯达半导（603290.SH）.....	38
3.2.2 天岳先进（688234.SH）.....	38
3.2.3 三安光电（600703.SH）.....	39
4、风险提示.....	39

图表目录

图表 1：全球主要国家/地区 CO ₂ 排放量及规划.....	5
图表 2：燃油车与电动车 CO ₂ 排放量.....	5
图表 3：全球主要国家地区双碳计划.....	5
图表 4：全球主要国家及车企关于新能源车布局计划.....	6
图表 5：汽车产业加速变革.....	7
图表 6：汽车代码行数.....	7
图表 7：汽车电子产品及分类.....	8
图表 8：汽车电子供应链.....	9
图表 9：汽车半导体供应链演变.....	9
图表 10：电动车电子零部件.....	9
图表 11：汽车半导体应用和设备市场规模增长预测（2020-2025）.....	10
图表 12：汽车与手机半导体性能要求对比.....	11
图表 13：汽车半导体生产工艺平台.....	11
图表 14：紧凑级燃油车 VS 纯电动车成本（千美元/车）.....	11
图表 15：L1 级别燃油车 VS L3 级别纯电动车汽车电子成本（美元/车）.....	11
图表 16：汽车软件及各硬件市场规模（十亿美元）.....	12
图表 17：芯片在汽车上的应用.....	12
图表 18：2020-2025 年全球半导体各类别增速（CAGR）.....	12
图表 19：燃油车 VS 电动车核心三大件变化.....	13
图表 20：燃油车 VS 纯电动车能量转换效率.....	14
图表 21：电动车“三电”系统.....	14
图表 22：纯电动车核心部件.....	14
图表 23：传统燃油车与新能源车成本结构对比.....	15
图表 24：动力电池成本及预测.....	15
图表 25：2010-2030 年 BEV 和 PHEV 销量（万辆）.....	16
图表 26：不同动力系统的轻型汽车全球市占率.....	16
图表 27：美国电动车市占率预测.....	17

图表 28: 中国电动车市占率预测.....	17
图表 29: 欧洲电动车市占率预测.....	17
图表 30: 全球主要国家地区电动车规模预测 (万辆)	17
图表 31: 电动车半导体应用场景.....	18
图表 32: 全球汽车半导体市场规模 (亿美元)	18
图表 33: 2020 年汽车半导体前 5 厂商市占率.....	19
图表 34: 2020 年汽车传感器前 5 厂商市占率.....	19
图表 35: 2020 年汽车 MCU 前 5 厂商市占率.....	19
图表 36: 2020 年汽车功率半导体前 5 厂商市占率.....	19
图表 37: 传统燃油汽车各类芯片占比.....	20
图表 38: 纯电动汽车各类芯片占比.....	20
图表 39: 2020 年电动车半导体价值量 (美元/辆)	20
图表 40: 中国汽车芯片平均数量 (颗/辆)	20
图表 41: 功率半导体产品范围.....	21
图表 42: 功率器件下游应用.....	21
图表 43: 功率半导体对比.....	21
图表 44: 全球功率半导体市场规模 (亿美元)	21
图表 45: 2020 年全球功率分立器件和模组市场格局.....	21
图表 46: 2019 年全球功率半导体产品结构.....	22
图表 47: 2019 年全球功率半导体下游应用占比.....	22
图表 48: 2020 年全球功率 IC 市场格局.....	22
图表 49: 2020 年全球功率 MOSFET 分立器件市场格局	22
图表 50: 中国功率半导体产品规模 (亿美元)	23
图表 51: 中国功率半导体产品结构.....	23
图表 52: 2019 年中国功率半导体下游应用占比.....	23
图表 53: 中国 IGBT 市场格局	23
图表 54: Renesas 功率半导体产品在电动车中的应用.....	24
图表 55: 电动车功率半导体应用占比.....	24
图表 56: 电驱系统价值链 (以逆变器为例)	24
图表 57: IGBT 结构图	25
图表 58: IGBT 模组	25
图表 59: 全球 IGBT 市场规模及各下游应用规模 (十亿美元)	25
图表 60: 中国 IGBT 下游应用占比	25
图表 61: 2020 年 IGBT 分立器件厂商市占率	26
图表 62: 2020 年 IGBT 模组厂商市占率	26
图表 63: IGBT 历代产品	26
图表 64: 主要 OEM 高压平台量产规划	27
图表 65: 主要 OEM 快充桩部署情况	27
图表 66: 广汽埃安 480kW 超充电桩.....	28
图表 67: 特斯拉 250kW 超级充电桩充电时间缩短 50%以上.....	28
图表 68: 从家用插座到超高功率充电桩.....	28
图表 69: 不同功率直流充电桩充电时间对比 (充到 200km 的时间)	28
图表 70: Si、SiC、GaN 性能参数对比.....	29
图表 71: Si、SiC、GaN 性能对比.....	29
图表 72: 同规格 SiC 器件与 Si 器件对比.....	29
图表 73: 导通电阻温度特性 (与 650V 产品比较)	30
图表 74: 关断特性 (与 1200V 产品比较)	30

图表 75: SiC 衬底制备工艺流程.....	31
图表 76: SiC 从粉末到应用的制备过程.....	31
图表 77: SiC 衬底产业链.....	31
图表 78: SiC 器件成本结构.....	31
图表 79: 导电型 SiC 衬底.....	31
图表 80: 半绝缘型 SiC 衬底.....	31
图表 81: Infineon 对 Si、SiC、GaN 功率市场的概念划分.....	32
图表 82: Infineon 功率半导体产品包.....	32
图表 83: 2021-2027 年全球 SiC 功率器件及下游应用市场规模 (百万美元)	32
图表 84: SiC 在电动车中的应用.....	33
图表 85: 2026 年 SiC 在电动车中应用占比.....	33
图表 86: 2018-2020 年全球导电型 SiC 衬底市场规模 (亿美元)	33
图表 87: 2019-2020 年全球半绝缘型 SiC 衬底市场规模 (亿美元)	33
图表 88: 2018 年全球导电型 SiC 衬底厂商市占率.....	34
图表 89: 2019-2020 年全球半绝缘型 SiC 衬底厂商市占率.....	34
图表 90: 全球 SiC 衬底厂商市占率.....	34
图表 91: 6 英寸与 8 英寸 SiC 晶圆生产效率对比.....	34
图表 92: 国外 SiC 衬底技术进展.....	35
图表 93: 国内 SiC 衬底技术进展.....	35
图表 94: SiC 产业链主要厂商.....	35
图表 95: 2017-2020 年 650V SiC SBD 和 Si FRD 价格 (元/A)	36
图表 96: 2017-2020 年 1200V SiC SBD 和 Si FRD 价格 (元/A)	36
图表 97: 2018-2020 年 650V SiC MOSFET 和 Si IGBT 价格 (元/A)	36
图表 98: 2020 年 SiC MOSFET 平均价格 (元/A)	36

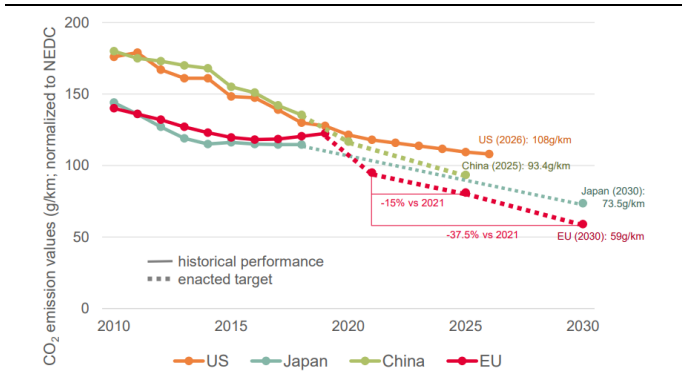
1、汽车电动化浪潮势不可挡，汽车电子充分受益

1.1 双碳驱动汽车行业加速变革

自 2010 年以来，全球各主要国家/地区电动车 CO₂ 排放量及规划整体呈现逐步降低的趋势，根据 ICCT 数据，美国 2020 年 CO₂ 排放量为 125g/km，计划 2026 年降至 108g/km，2050 年碳中和；日本则在 2013 年就已经达到 2020 年法定目标值 122g/km，计划 2026 年降至 73.5g/km，2050 年碳中和；中国 2020 年 CO₂ 排放量为 117g/km，计划 2025 年降至 93.4g/km，2060 年碳中和；欧盟 2021 年 CO₂ 排放量目标为 95g/km，计划到 2025 年降到 81g/km，2030 年降到 59g/km，相比 2021 年排放量降低 37.5%，2050 年碳中和。CO₂ 排放量的减少将驱使欧盟的纯电动车和插电混动车渗透率不断提升，预计到 2030 年渗透率将达到 40%。逐步降低 CO₂ 排放量已成为全球共识。

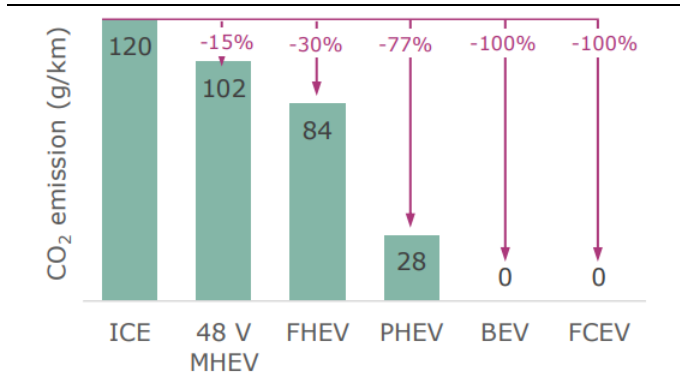
以传统能源石油为燃料的汽车工业虽然经历 100 余年的发展，已十分成熟，但在资源与环境双重压力下，在政策和技术进步的驱动下，新能源汽车已成为未来汽车工业发展的方向，传统动力系统将会逐渐被驱动电机、动力电池与控制器所取代。汽车电动化已是大势所趋，发展电动汽车不仅能够减少碳排放和大气污染，也是发展可再生能源的最佳搭配。根据 ICCT 关于 CO₂ 的排放数据，与 ICE 的 120 g/km 排放量相比，随着电动化程度提升，CO₂ 排放量逐步降低，其中 48V 轻混 (MHEV) 下降 15%，为 102g/km；全混 (FHEV) 下降 30%，为 84g/km；插混 (PHEV) 下降 77%，为 28g/km；而纯电动 (BEV) 与燃料电池 (FCEV) 均下降 100%，实现了 CO₂ 零排放。

图表 1：全球主要国家/地区 CO₂ 排放量及规划



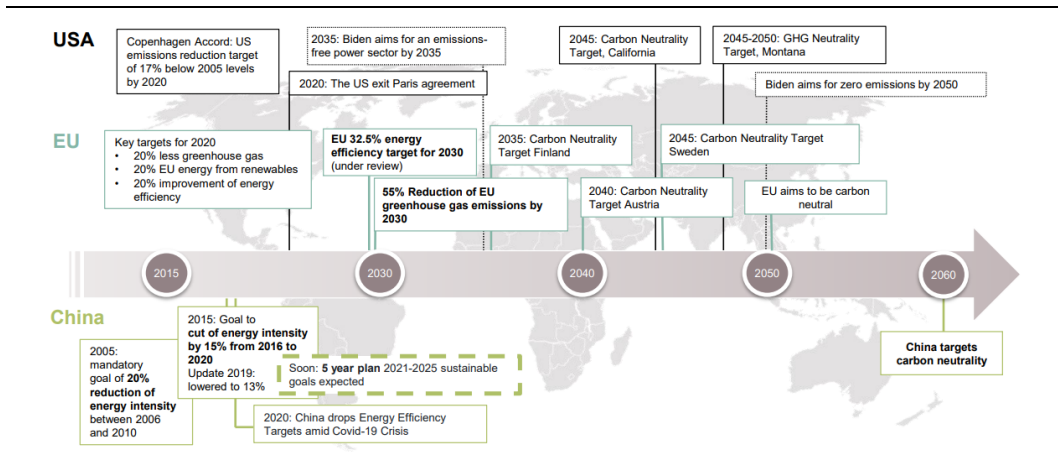
资料来源：ICCT，五矿证券研究所

图表 2：燃油车与电动车 CO₂ 排放量



资料来源：ICCT，五矿证券研究所

图表 3：全球主要国家地区双碳计划

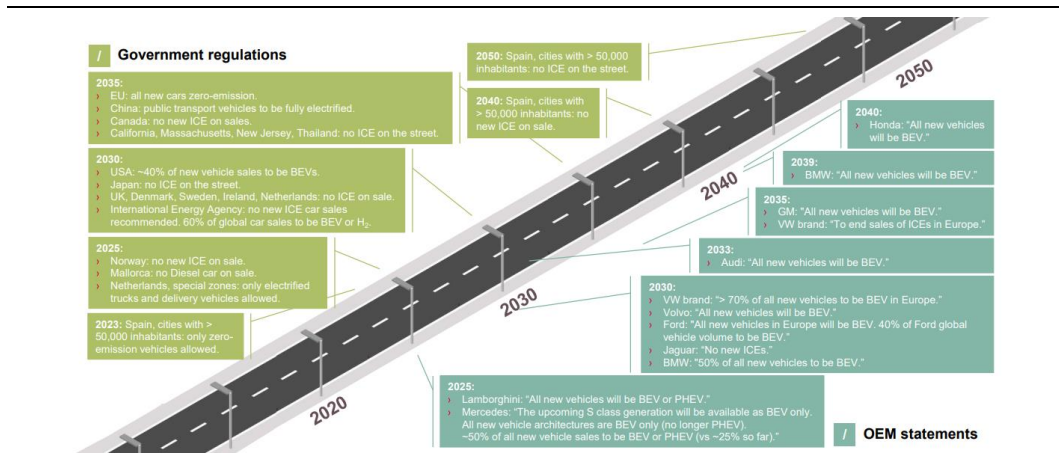


资料来源：Infineon，五矿证券研究所

在“双碳”指引下，全球主要国家都提出了禁售传统燃油车时间表：挪威计划到 2025 年不再销售燃油车，日本计划到 2030 年地面不再有燃油车，英国计划到 2030 年不再销售燃油车，中国计划到 2035 年实现公共交通车辆全部电动化，欧盟计划到 2035 年所有新车 0 排放。

此外，各大车企也都提出了自己的目标：梅塞德斯计划到 2025 年所有 S 级车辆全部纯电动化，沃尔沃计划到 2030 年所有新车纯电动化，宝马计划到 2030 年 50% 新车纯电动化，到 2039 年所有新车纯电动化，奥迪计划到 2033 年所有新车纯电动化，通用计划到 2035 年所有新车纯电动化，大众计划到 2035 年在欧洲不再销售燃油车，本田计划到 2040 年所有新车纯电动化。

图表 4：全球主要国家及车企关于新能源车布局计划

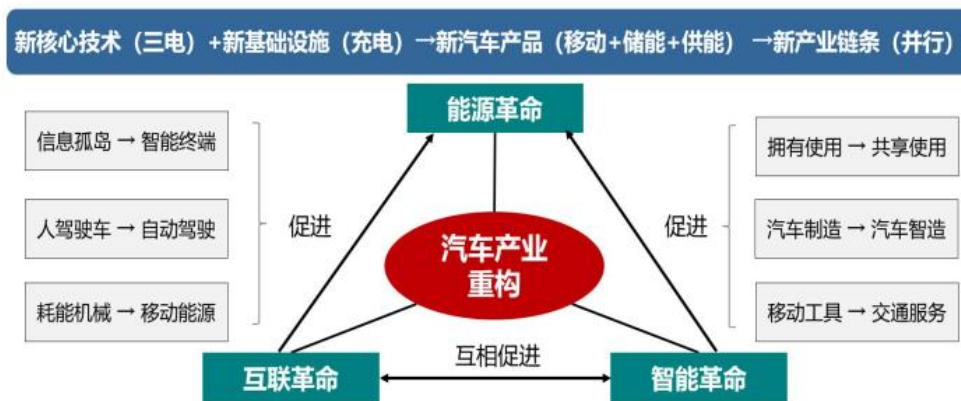


资料来源：Infineon，五矿证券研究所

根据中国国务院办公厅《新能源汽车产业发展规划（2021-2035 年）》，发展新能源汽车是中国从汽车大国迈向汽车强国的必由之路，是应对气候变化、推动绿色发展的战略举措。随着汽车与能源、交通、信息通信等领域有关技术加速融合，电动化、网联化、智能化成为汽车产业的发展潮流和趋势，未来中国将坚持电动化、网联化、智能化发展方向，深入实施发展新能源汽车国家战略，同时计划到 2025 年，中国纯电动乘用车新车平均电耗降至 12kWh/百公里，新能源汽车新车销售量达到汽车新车销售总量的 20% 左右，高度自动驾驶汽车实现限定区域和特定场景商业化应用，充换电服务便利性显著提高。

在汽车产业电动化、网联化、智能化变革过程中，整个产业将面临重构，催生出能源革命、互联革命以及智能革命。能源革命是指传统燃油动力汽车向新能源汽车的转变，核心是“三电”（电池、电机、电控）技术，此时将出现围绕“三电”的全新产业链、配套设施以及运营服务体系；互联革命以及智能革命则相辅相成，将从自动驾驶、车联网等方面增强驾驶功能、提升驾驶体验，推动汽车产业形成全新的产业生态系统。

图表 5: 汽车产业加速变革

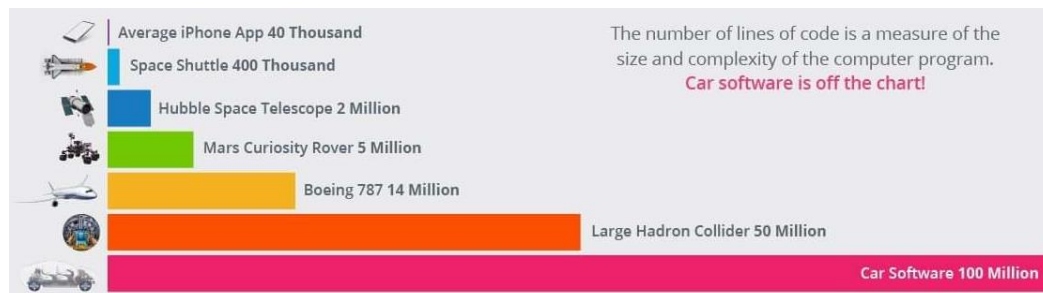


资料来源: 中国汽车工程学会, 五矿证券研究所

借鉴手机行业发展历史, 在从功能机向智能机升级过程中, 实现了从通话-上网浏览图片-上网观看视频的体验和功能升级, 究其本质, 是硬件升级-软件升级-硬件再升级-软件再升级的良性循环。我们认为, 未来汽车发展方向很可能会类似于手机行业的发展过程, 随着技术进步, 汽车将从传统的代步工具, 逐步进化成具备交通、办公、通信、娱乐等多功能为一体的新一代智能移动空间和应用升级终端, 在减少碳排放的同时, 具备智能座舱、自动驾驶、车联网等新功能, 这一阶段用户感知最深的是汽车硬件功能的提升。当硬件升级至一定程度, 创新便会变缓, 此时软件与数据的作用和价值将变得更为重要, 售卖硬件产品仅为一次性收入, 当市场饱和之后便会进入存量竞争, 企业增长乏力, 同时同质化产品还会造成价格战, 降低毛利率, 最终消减利润。未来软件及数据服务带来的将是可持续性利润, 有望 10 倍于传统硬件的净利润, 如果丢掉未来软件和数据服务, 车企将彻底变为代工厂, 只能依靠制造销售整车硬件获取低利润, 不利于企业永续经营。因此, 我们认为, 现阶段车企需要更多关注硬件功能的升级, 完成汽车行业电动化、智能化、网联化的升级和改造, 之后需要更多关注软件及数据服务的运营, 保证企业能够真正可持续发展。

从软件代码行数角度, 汽车是所有科技类终端中最复杂的, 根据 KLA 数据, 平均一款 iPhone APP 为 4 万行, 航天飞机为 40 万行, 哈勃太空望远镜为 200 万行, 好奇号火星探测车为 500 万行, 波音 787 为 1400 万行, 大型强子对撞机为 5000 万行, 汽车为 1 亿行。

图表 6: 汽车代码行数



资料来源: KLA, 五矿证券研究所

1.2 汽车电子前景可期

在汽车电动化、智能化、网联化驱动下，汽车电子行业将迎来成长机遇期。汽车电子是安装在汽车上所有电子设备和电子元器件的总称，主要包括车身电子控制系统和车载电子装置。车身电子控制系统通过将芯片和机械系统结合，对汽车各子系统进行控制，从而保证完成基本行驶功能，具体又分为动力控制系统、底盘控制系统、车身控制系统等。车载电子装置主要用于提升汽车舒适性和便利性，具体可分为信息系统、导航系统和娱乐系统等。

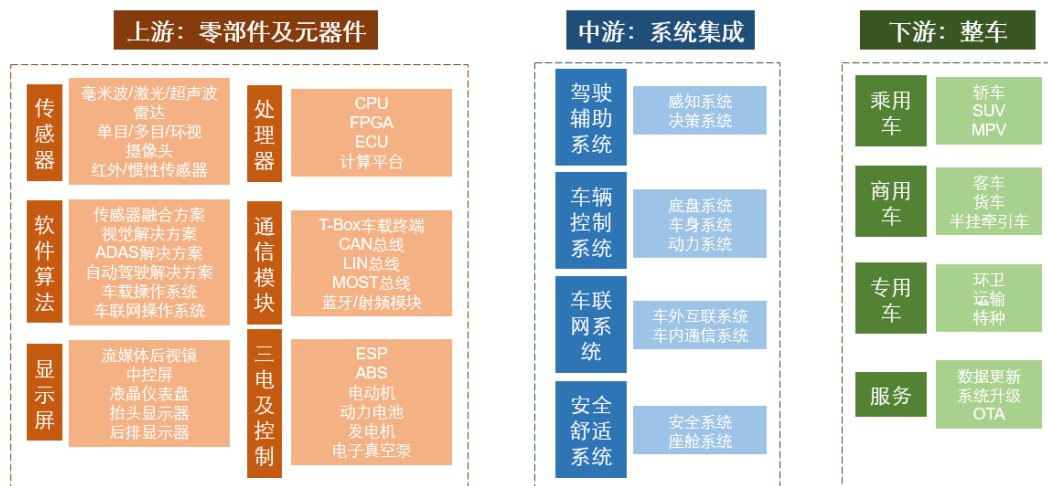
图表 7：汽车电子产品及分类

自动驾驶系统	车联网系统	安全舒适系统	车身电子电器	智能座舱	底盘电子系统	发动机电子系统
毫米波雷达	以太网	安全气囊控制单元	汽车车身控制器	车载信息娱乐系统	转向系统	冷却系统
激光雷达	蓝牙模块	座椅加热装置	天窗电机	中控显示屏	悬架系统	发动机管理
单目摄像头	CAN 总线	碰撞传感器	照明系统	后排座椅显示屏	制动系统	温度传感器
多目摄像头	GPS 模块	主动降噪单元	雨刮电机	抬头显示器		点火系统
FPGA	T-Box	乘客感应传感器	一键启动开关	流媒体后视镜		蓄电池
超声波雷达	射频模块	电喇叭	门窗开关	车载音响		爆震传感器
夜视系统	天线	座椅	USB/HSMI 线	液晶仪表盘		进排气系统
360 全息影像	遥控钥匙	调节电机	车身线束			氧气传感
车载计算平台	LIN	空调系统	后视镜			发电机
GPU	MOST		车窗升降电机			变速传动系统
红外传感器	OBU 车载单元		尾门电动撑杆			起动机
惯性传感器			车辆诊断 OBD			发动机线束
						动力电池

资料来源：汽车电子产业联盟，五矿证券研究所

汽车电子涉及细分领域众多，整个供应链体系中，上游为零部件及元器件，包括有传感器、处理器、软件算法、通信模块、三电、显示屏等；中游为系统集成，包括 ADAS、车辆控制系统、车联网系统、安全舒适系统等；下游为整车厂，包括乘用车、商用车、专用车和软件服务等。

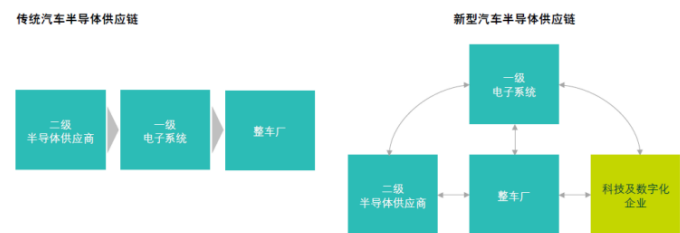
图表 8：汽车电子供应链



资料来源：汽车电子产业联盟，五矿证券研究所

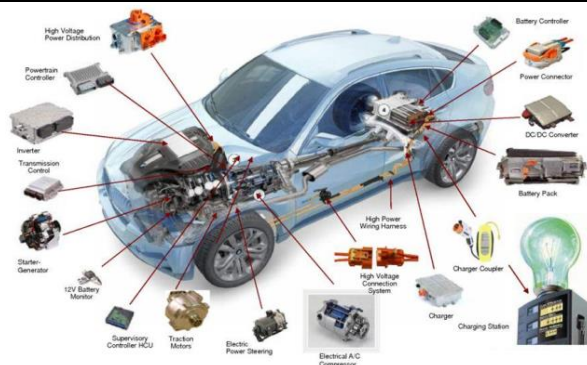
此外，汽车半导体供应链也有所变化。传统汽车体系中，半导体厂商仅为二级供应商，通过给一级电子系统厂商供货，间接给整车厂提供半导体产品；而在新型汽车供应链中，这种供应链体系已经被打破，整车厂不再单纯接受一级供应商供货，同时与二级半导体厂商和科技及数字化企业直接联系，在这个新系统中，一级电子系统厂商、二级半导体厂商、科技及数字化企业共同围绕整车厂这一核心，发挥各自优势，同时吸收借鉴其他厂商的优势和长处，不断优化迭代产品和服务，共同推动汽车行业迈向电动化、智能化、网联化。

图表 9：汽车半导体供应链演变



资料来源：汽车电子产业联盟，五矿证券研究所

图表 10：电动车电子零部件



资料来源：《全球电动汽车及其基础实施的发展前景》，五矿证券研究所

根据 Gartner 数据，2020-2025 年，汽车半导体市场规模将保持稳健增长。按应用领域划分，ADAS 增速最高，为 31.9%，2025 年将达到 250 亿美元；电动/混合动力汽车增速次之，为 23.1%，2025 年将达到 108 亿美元。按半导体类型划分，通用芯片增速最高，为 18%；集成基带增速 14.1%，排名第二。

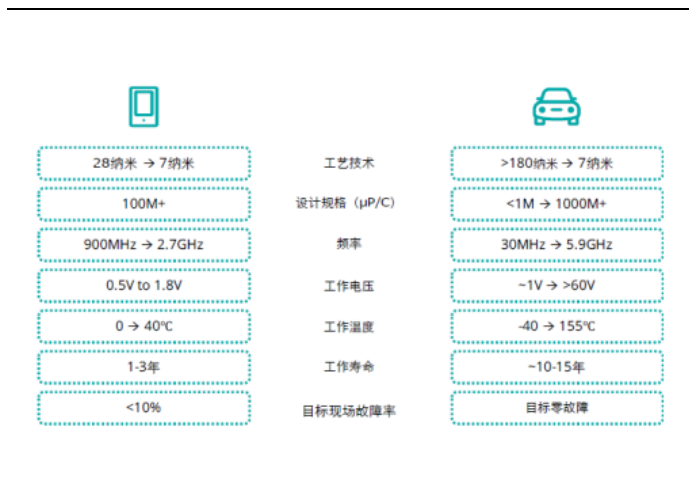
图表 11：汽车半导体应用和设备市场规模增长预测（2020-2025）

	细分领域	增长率 (2020-2025)	规模 (2025) (十亿美元)	细分子领域
按应用划分	高级辅助驾驶系统	31.9%	25	盲点侦测/碰撞预警/停车辅助/车联万物/视觉系统
	电动/混合动力汽车	23.1%	10.8	混合动力汽车
	车身	7%	8.9	电动车门/电动车窗/气候控制/雨刷控制
	信息娱乐系统	9.3%	7.9	联网/车载通信系统/车载导航/车载音响
	动力系统	3%	5	引擎控制/变速
	仪表组件	14.6%	4.9	仪表盘/仪表线速
	底盘	1%	4.7	悬挂/差速/转动轴
	安全系统	6.3%	4.7	电动助力转向系统/自动防抱死制动系统/安全气囊/牵引力控制/胎压监测
	售后市场	6.1%	2.9	汽车零部件/设备/维修服务/碰撞修复
	按设备划分	存储	8.9%	190
微型器件		1.1%	86	数字信号处理器/MCU
光学器件		8.6%	56	CMOS/CCD/LED/激光二极管/光敏元件/光耦合器
多媒体处理器		6.1%	39	离散应用/多媒体处理器
其他标准产品		5.7%	35	其他
分立器件		8.2%	33	功率晶体管/二极管
有线通信		7.4%	33	交互界面/功能控制
模拟电路		5.6%	32	数据转换/开关/电压调节器/基准
集成基带		14.1%	30	集成基带
射频接收器		11.7%	23	前后射频收发器
无线通信		6%	17.8	NFC/WiFi/BT/GPS
非光学器件		9.3%	15	环境传感器/指纹传感器/惯性传感器/磁传感器
图形处理		8.2%	15	GPU
电源管理		3.8%	14	电源管理
通用芯片		18%	7	FPGA/PLD/显示驱动器
离散蜂窝基带		-4.6%	5	离散蜂窝基带

资料来源：Gartner，五矿证券研究所

由于应用场景及目的不同，汽车与手机对芯片的性能要求也有所不同，汽车由于有载人功能，且会经历不同的环境变化，因此对安全性、不同温度场景下的可靠性要求更高，汽车芯片要求零故障率、工作温度-40-155°C，工作寿命 10-15 年；而在功耗和运算速度上要求不高，除了逻辑芯片 16nm 以外，其他的 NVM、CIS、BCD、IGBT 等芯片往往仅需要 28nm 及以上成熟工艺就能满足运算需求。

图表 12: 汽车与手机半导体性能要求对比



资料来源: 汽车电子产业联盟, 五矿证券研究所

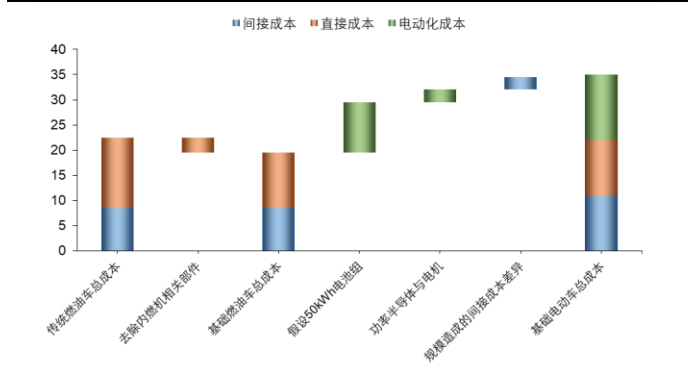
图表 13: 汽车半导体生产工艺平台

	逻辑芯片	NVM 芯片	CIS	BCD	IGBT
主流技术平台	16nm 及以上	40/55/65nm 及以上	28/40/55/65nm/0.11μm 及以上	90nm/0.13μm/0.18μm	平面穿透型/沟槽型
先进平台	7nm	28nm	28nm	40nm	沟槽电场截止型
SMIC 平台	14nm	55/65nm	55nm	90nm	Planning
用途	高性能计算	数据存储	高速成像/传感	电源管理	功率 IC

资料来源: 汽车电子产业联盟, 五矿证券研究所

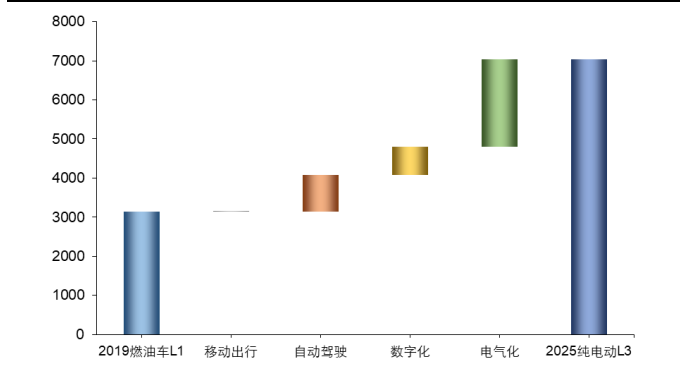
在从燃油车向电动车升级过程中, 整车成本将有所增加, 根据车百智库数据, 对于紧凑级燃油车, 整车成本 2.25 万美元, 去掉内燃机, 并增加电池组、功率半导体与电机以及间接成本差异等, 纯电动车整车成本将达到 3.4-3.5 万美元, 增幅达到 51.1% 以上。而整车电子成本方面, 根据 Roland Berger 数据, 在不考虑电池和电机情况下, 豪华品牌 L1 级别 ADAS 汽油车整车电子 BOM 为 3145 美元, 豪华品牌 L3 级别自动驾驶纯电动整车电子 BOM 为 7030 美元, 增幅达到 123.5%, 因此, 汽车电子在汽车电动化、智能化、网联化过程中, 将迎来价值量翻倍增长。

图表 14: 紧凑级燃油车 VS 纯电动车成本 (千美元/车)



资料来源: 车百智库, 五矿证券研究所 (注: 基础燃油车总成本不含 ICE 相关部件, 假设 50kWh 电池组含 BMS)

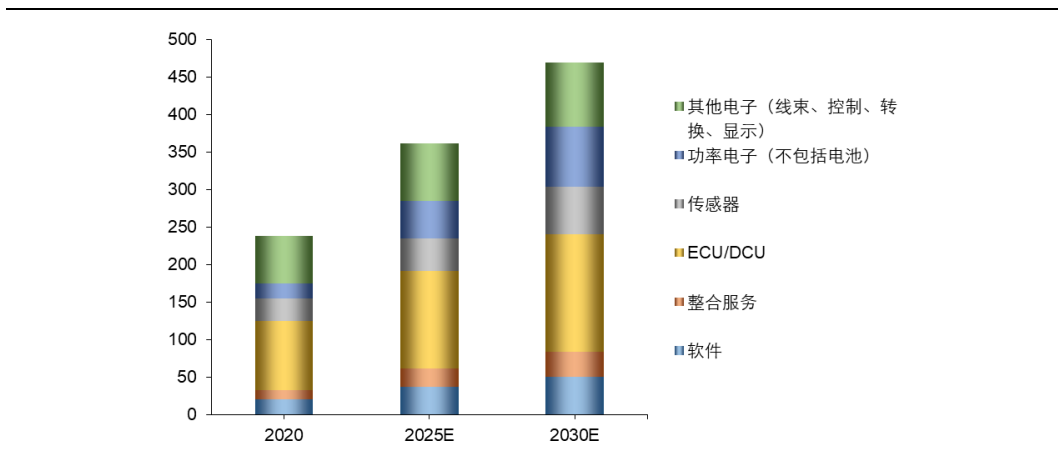
图表 15: L1 级别燃油车 VS L3 级别纯电动车汽车电子成本 (美元/车)



资料来源: Roland Berger, 五矿证券研究所 (注: 不包括锂离子电池和驱动电机)

从汽车行业各硬件组成及软件市场规模角度, 根据 McKinsey 数据, 2020-2030 年, 功率电子增速最快, 将从 200 亿美元增长至 810 亿美元, CAGR 为 15%; 传感器将从 300 亿美元增长至 630 亿美元, CAGR 为 7.7%; ECU/DCU 将从 920 亿美元增长至 1560 亿美元, CAGR 为 5.4%; 软件将从 200 亿美元增长至 500 亿美元, CAGR 为 9.6%。

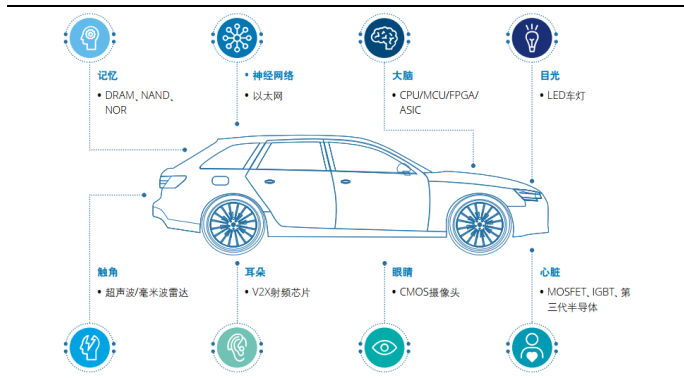
图表 16: 汽车软件及各硬件市场规模 (十亿美元)



资料来源: McKinsey, 五矿证券研究所

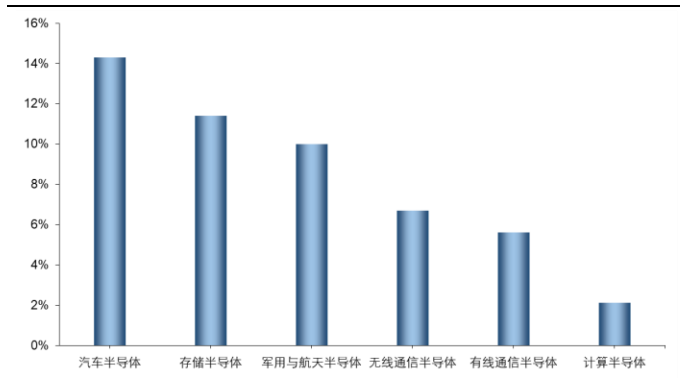
根据功能不同,可以形象化的把不同类型的汽车芯片做一区分,包括记忆、神经网络、大脑、目光、触角、耳朵、眼睛以及心脏,各类芯片各司其职,在汽车行驶中将分别起到关键性作用,加速汽车行业电动化、智能化、网联化升级。根据 Gartner 数据,2020-2025 年,全球半导体各类别增速中,汽车半导体排名第一,为 14.3%。

图表 17: 芯片在汽车上的应用



资料来源: Gartner, 五矿证券研究所

图表 18: 2020-2025 年全球半导体各类别增速 (CAGR)



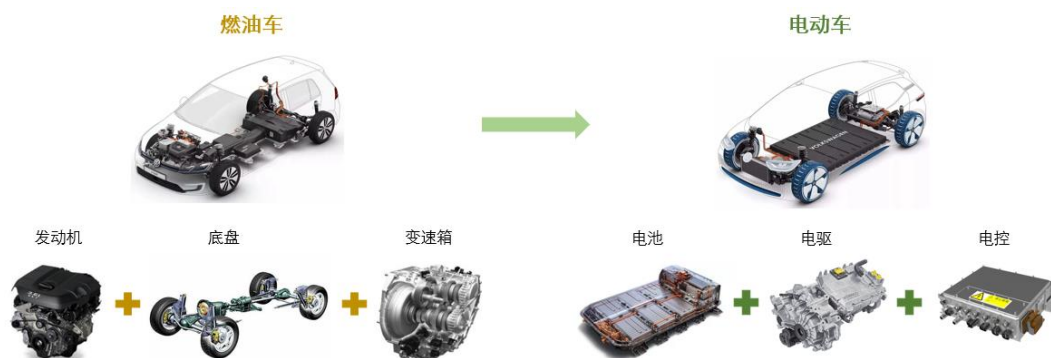
资料来源: Gartner, 五矿证券研究所

2、智车之“心”：传统“三大件”向“三电”过渡，汽车功率半导体充分受益

2.1 电动车渗透率有望持续提升，“三电”带来半导体增量新需求

汽车是将多种技术综合应用于一身的高度综合体,对于传统燃油车而言,三大件最为重要,包括发动机、底盘和变速箱,在电动化驱动下,电动车则倚重其三电系统的正常运转,包括电池、电驱和电控。

图表 19: 燃油车 VS 电动车核心三大件变化



资料来源: 大众, 搜狐, OFweek, 纬湃科技, Rawsuns, 五矿证券研究所

电池: 一般电动汽车分为高压平台和低压平台, 其中高压平台为动力电池, 电池相当于汽油+油箱, 为电动车提供动力来源。电池的核心是电芯, 主要由正极、负极、电解液、隔膜等组成, 要求高能量密度、长寿命、可靠安全, 正极材料主要有磷酸铁锂、钴酸锂、锰酸锂、三元、高镍三元, 综合考虑安全稳定性、能量密度、循环寿命和价格等因素, 目前电动车市场以磷酸铁锂和三元锂电池为主。

电驱: 电驱是将动力电池的能量转化成车轮的动能的装置, 包括电机、传动机构和变换器。

1) **电机:** 电机是把电能转换为机械能的装置, 相当于燃油车的发动机, 主要由定子和转子两部分组成, 分为直流电机和交流电机两种大的类型, 直流电机由于效率低、质量大、体积大、可靠性差、无法实现制动能量回收等, 目前电动车基本不再使用, 主要采用交流电机, 其中三相感应异步电机和永磁同步电机最常用。

2) **传动机构:** 传动机构是将电机输出的扭矩和转速传递到汽车主轴上, 从而驱动汽车行驶的机构, 主要包含减速器和差速器。差速器主要作用是使汽车转弯时两侧车轮转速不同, 减速器是动力传递机构, 相当于燃油车的变速箱, 由于电机调速性能足够宽, 因而减速器一般都是固定传动比的单级减速器, 即只有一个档位的变速箱。

3) **变换器:** 变换器是使电气系统的一个或多个特性(电压、电流、频率、波形、相数)发生变化的装置, 主要包括逆变器和 DC/DC 转换器。逆变器主要是将直流电转变为交流电, 从而驱动交流电机工作, 进而驱动汽车行驶, 所以说, 逆变器直接关系到驱动电机能否可靠和高效的运行。DC/DC 转换器主要用于直流高低压转换, 比如将动力电池高压(400V)转换为低压(12V-48V), 给多媒体系统、空调、车灯、娱乐设施等供电。

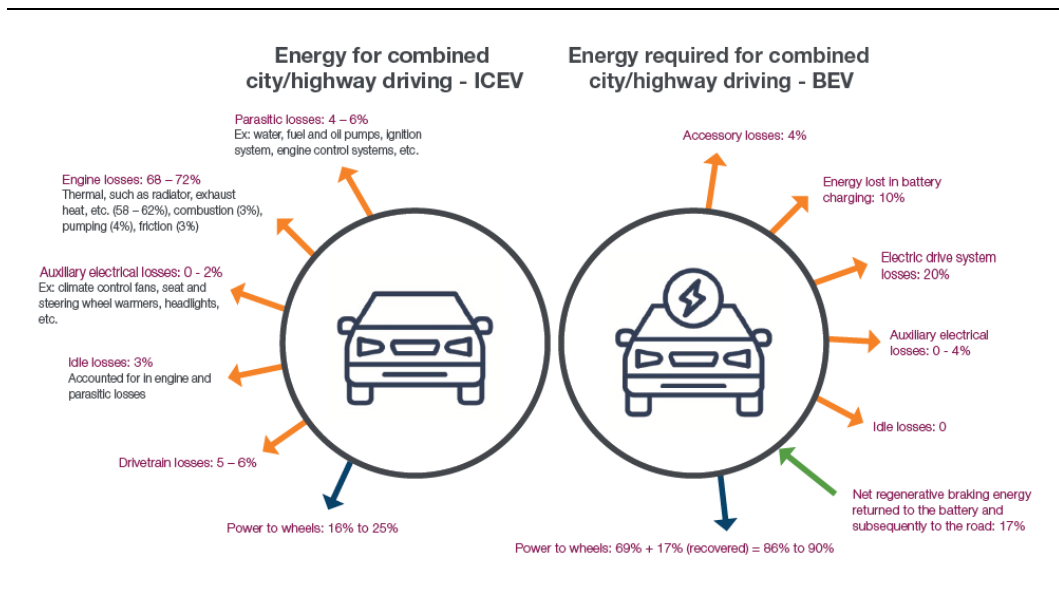
电控: 电控系统是电动汽车的总控制台, 如同“电动汽车的大脑”。是一套机电一体化装置, 有电子处理单元(也就是电脑), 也有复杂的机械执行模块。电控决定了电动车的能耗、动力性、操控性、舒适性等主要性能指标。电控系统主要包括整车控制器(Vehicle Control Unit, VCU), 电机控制器(Motor Control Unit, MCU)和电池管理系统(Battery Management System, BMS), 之间通过 CAN 网络通信。整车控制器是电动车各个电控子系统的调控中枢, 它是与驾驶员互动的主要接口, 接收来自驾驶员的各项操作指令, 诊断和分析整车及部件状态, 控制子系统控制器的动作, 最终实现整车安全、高效行驶。电机控制器用于控制电机输出指定的扭矩和转速, 驱动车辆行驶。电池管理系统是动力电池系统的“大脑”, 主要对电池系统的电压、电流、温度等数据进行采集并监测, 实现电池状态监测和分析, 电池安全保护, 能量控制管理和信息管理功能。

电动车相比燃油车，能量转换效率明显提升。根据美国能源部数据，在综合考虑城市/高速公路行驶环境下，燃油车的能量转换效率仅有 16%-25%，纯电动车的能量转换效率为 86%-90%，因此纯电动车的能量转换效率是燃油车的 3.4-5.6 倍。对于燃油车，发动机由于发热、燃烧、摩擦等，造成的损失最大，占比达到 68-72%；对于电动车，损耗最大的是电驱系统，占比 20%，其次是电池充电，占比 10%，但是电动汽车由于配备了动能回收系统，可以贡献约 17%的能源补偿，因此最终能量转换效率可达近 9 成。

电动车能量回收仅限于采用交流电机的电动车。当驾驶员松开加速踏板后，电机进入到静止工作状态，车辆惯性前进的动力开始反向拖拽电机，此时电机变成发电机，定子与转子旋转产生交流电。对于采用交流电机的电动车，由于有逆变器，产生的交流电可以经过逆变器等转变成直流电，最终回充给动力电池；早期电动车多采用直流电机，由于没有逆变器，产生的交流电无法回充给电池，因此没有能量回收系统。

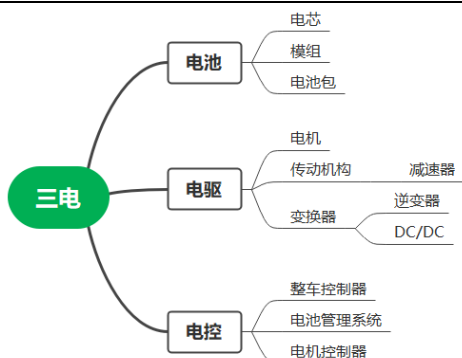
1L 汽油所蕴含的能量相当于 8.9kWh 电能（国际通用换算标准），以燃油车油箱 50L 计算，相当于电能 445kWh，目前市场上纯电动车电池能量大约在 20-100kWh 之间，对比之下，燃油车的能量是纯电动车的 4.5-22.3 倍。但是电动车凭借较高的能量转换效率，仍然能够实现和燃油车相近的续航里程（大约 500km），未来，如果开发新材料、新体系取得突破，将有望进一步提升动力电池能量密度，进而提升续航里程。

图表 20：燃油车 VS 纯电动车能量转换效率



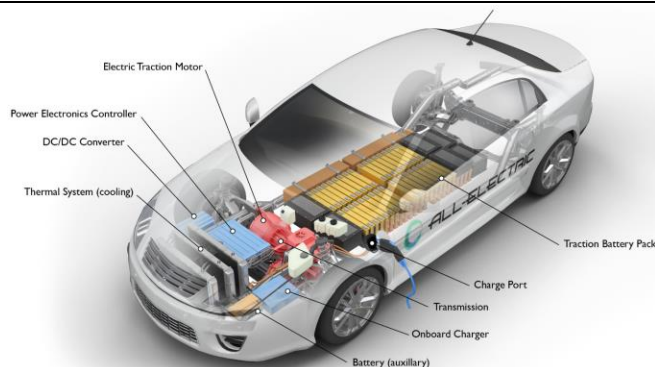
资料来源：U.S. Department of Energy，五矿证券研究所

图表 21：电动车“三电”系统



资料来源：汽车人参考，五矿证券研究所

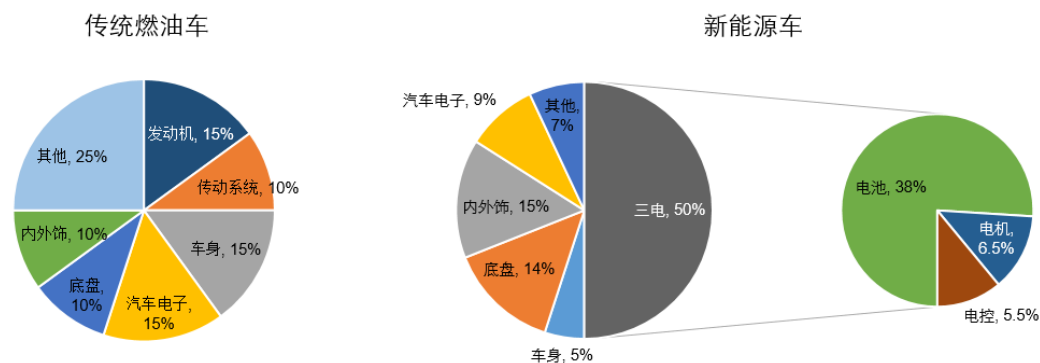
图表 22：纯电动车核心部件



资料来源：EERE，五矿证券研究所

对比燃油车与电动车成本，根据高工机器人数据，在燃油车成本构成中，发动机、车身与汽车电子占比最高，均为 15%，底盘、传动系统分别占比 10%；而在电动车中，“三电”系统占比高达 50%，其中电池占比最高，为 38%，电机占比 6.5%，电控占比 5.5%。

图表 23：传统燃油车与新能源车成本结构对比

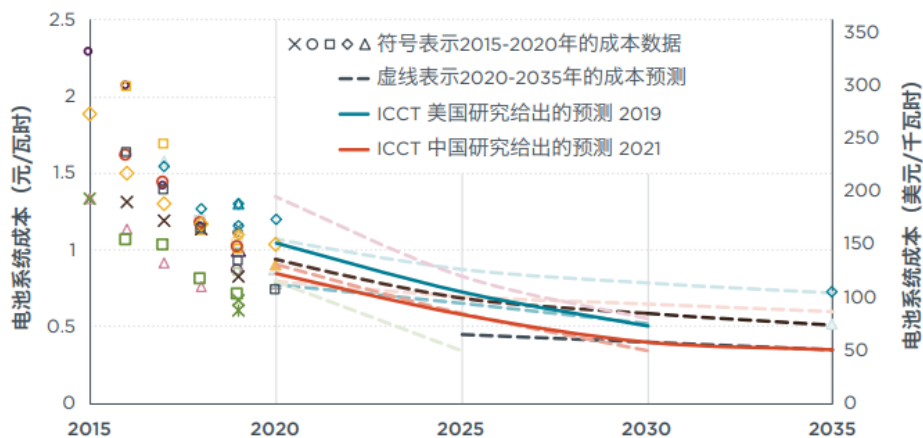


资料来源：高工机器人，五矿证券研究所

动力电池在电动车成本中占比达到 38%，是占比最大的组件，因此电动车成本下降很大程度上取决于电池成本的下降，换言之，电动车的渗透率提升速度很大程度上取决于电池成本下降的速度。在电动车早期发展阶段，由于电池成本较高，往往需要政府补贴来推动电动车走向市场，随着电池技术不断进步，电池成本不断下降，驱动电动车成本下降，逐步摆脱了对补贴的依赖，促进了电动车渗透率逐步提升。

根据 ICCT 预测，动力电池成本未来将呈现持续下降趋势，其中美国市场动力电池系统成本从 2020 年的 152 美元/kWh 下降至 2030 年的 74 美元/kWh，年均下降率为 6.9%；中国市场动力电池系统成本从 2020 年的 123 美元/kWh 下降至 2030 年的 58 美元/kWh，年均下降率为 7.2%，2035 年将降至 51 美元/kWh。整体来看，中国动力电池系统成本低于美国 20%，主要源于中国动力电池生产规模更大，上游材料成本更低。

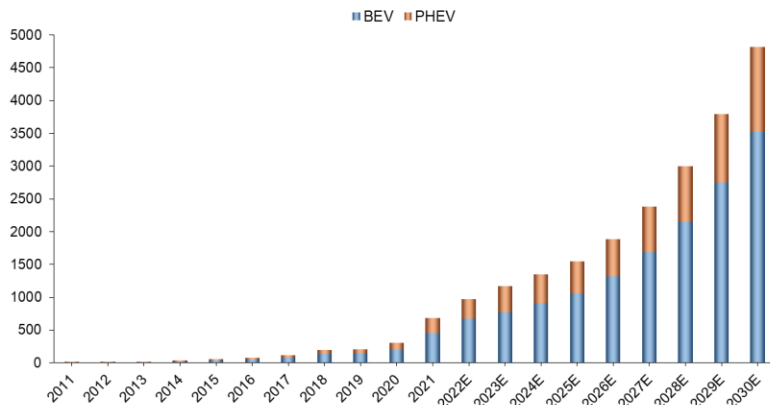
图表 24：动力电池成本及预测



资料来源：ICCT，五矿证券研究所

随着动力电池成本降低及政府补贴，电动车在 2010-2021 年实现了销量稳步增长，根据 IEA 数据，2021 年全球 BEV 和 PHEV 销量合计 684 万辆，预计 2022 年将达到 973 万辆，2025 年将达到 1550 万辆，2030 年将达到 4813 万辆。

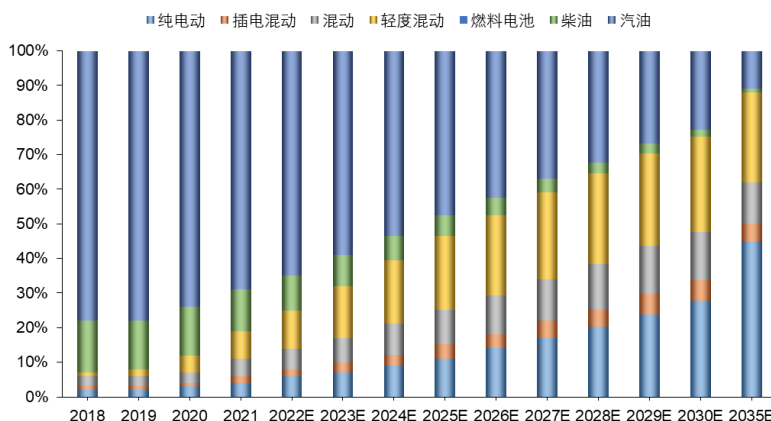
图表 25：2010-2030 年 BEV 和 PHEV 销量（万辆）



资料来源：IEA，五矿证券研究所

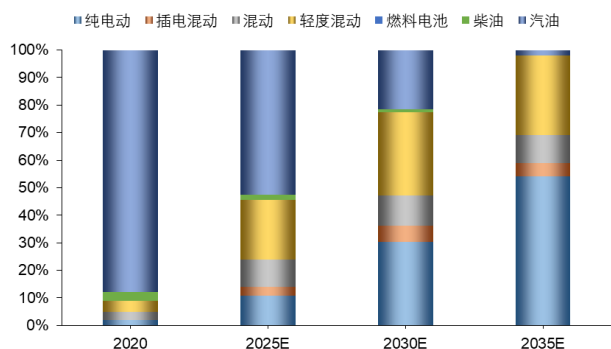
随着电动车放量，渗透率亦将持续提升。根据 BCG 数据，预计全球电动车（纯电+插电+混合动力+轻混）2022 年渗透率将达到 25%，2025 年将达到 46%，2030 年将达到 76%。各主要国家地区方面，预计美国 2025 年电动车（纯电+插电+混合动力+轻混）渗透率将达到 46%，2030 年将达到 79%；中国 2025 年电动车（纯电+插电+混合动力+轻混）渗透率将达到 62%，2030 年将达到 96%；欧洲 2025 年电动车（纯电+插电+混合动力+轻混）渗透率将达到 65%，2030 年将达到 88%。销量方面，根据 IEA 数据，2025 年预计美国/中国/欧洲电动车销量将分别为 230/830/570 万辆，合计占全球比例为 81.5%；2030 年预计美国/中国/欧洲电动车销量将分别为 810/1200/1330 万辆，合计占全球比例为 71.4%。美国、中国和欧洲将是全球电动车最重要的市场。

图表 26：不同动力系统的轻型汽车全球市占率



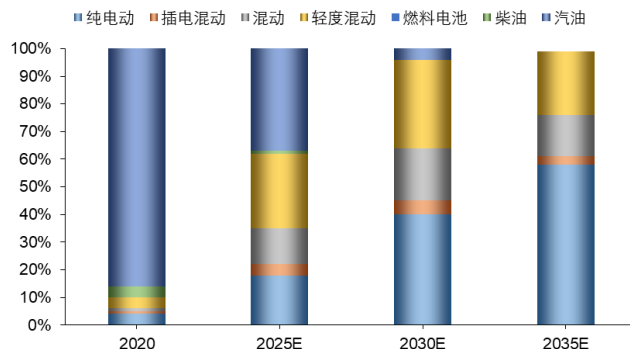
资料来源：BCG，五矿证券研究所

图表 27: 美国电动车市占率预测



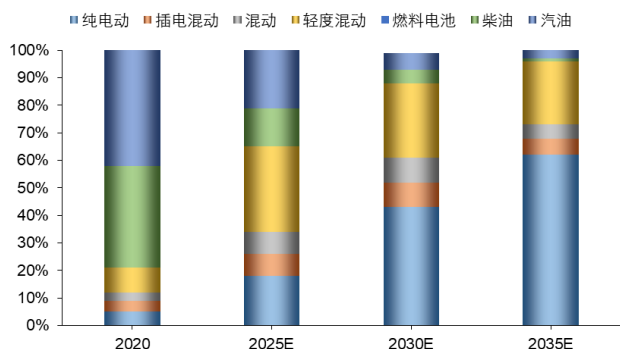
资料来源: BCG, 五矿证券研究所

图表 28: 中国电动车市占率预测



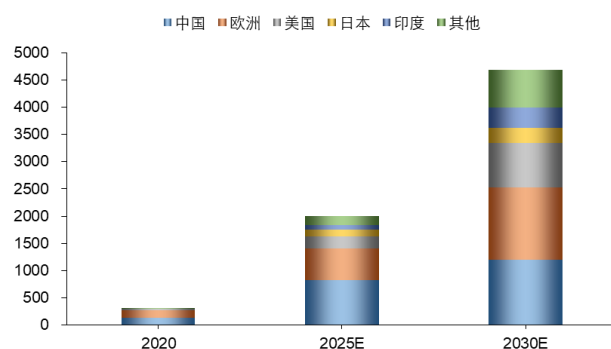
资料来源: BCG, 五矿证券研究所

图表 29: 欧洲电动车市占率预测



资料来源: BCG, 五矿证券研究所

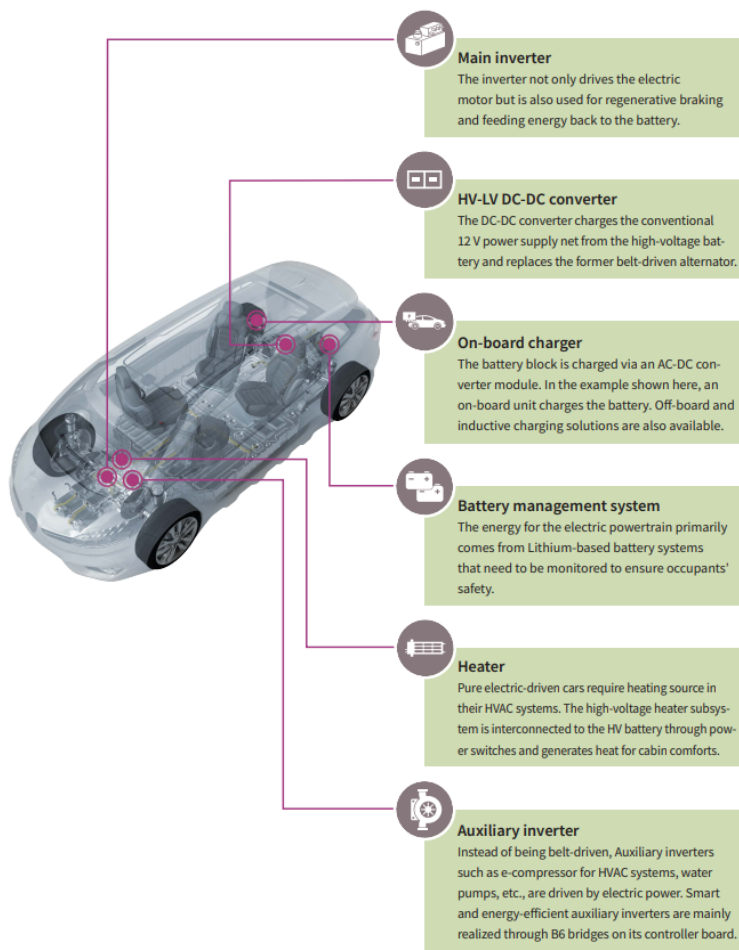
图表 30: 全球主要国家地区电动车规模预测 (万辆)



资料来源: BCG, 五矿证券研究所

伴随着汽车电动化过程, 汽车半导体将充分受益。相比于传统燃油车, 新增的半导体应用包括逆变器、车载充电机 (OBC)、DC/DC 转换器、电池管理系统、加热器以及辅助逆变器。逆变器主要作用是将直流电变成交流电, 在电动车中是将电池的直流电转换成交流电驱动电机工作, 驱动汽车行驶。车载充电机 (OBC) 主要作用是将交流充电桩的交流电转换成直流电, 再将直流电供给动力电池充电。此外, 逆变器和车载充电机 (OBC) 还能在电动车制动时实现能量回收, 给动力电池充电。DC/DC 转换器则是将动力电池 400-500V 的高压转换成 12-48V 的低压, 从而给多媒体系统、空调、车灯、娱乐设施等供电。电池管理系统主要对电池系统的电压、电流、温度等数据进行采集并监测, 实现电池状态监测和分析、电池安全保护、能量控制管理和信息管理功能。加热器是暖通空调系统的一部分, 通过与电池相连接给电动车内提供暖气。辅助逆变器则包括暖通空调系统中的电子压缩机、抽水泵等。

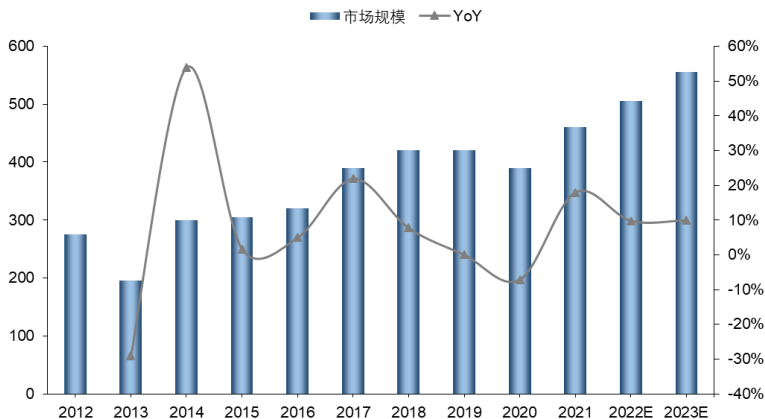
图表 31：电动车半导体应用场景



资料来源：Infineon，五矿证券研究所

根据 Gartner 和 Statista 数据，2012 年以来，全球汽车半导体规模整体呈上升趋势，2020 年受疫情影响仅有 390 亿美元，受益新能源车渗透率提升，预计到 2023 年，全球汽车半导体市场规模将达到 555 亿美元。

图表 32：全球汽车半导体市场规模（亿美元）

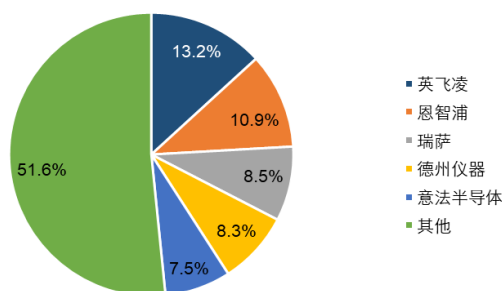


资料来源：Gartner，Statista，五矿证券研究所

2020年汽车半导体主要厂商中，仍然以欧洲、美国、日本厂商为主。根据 Strategy Analytics 数据，英飞凌、恩智浦、瑞萨、德州仪器、意法半导体分列前 5 名，市占率分别为 13.2%、10.9%、8.5%、8.3%、7.5%。

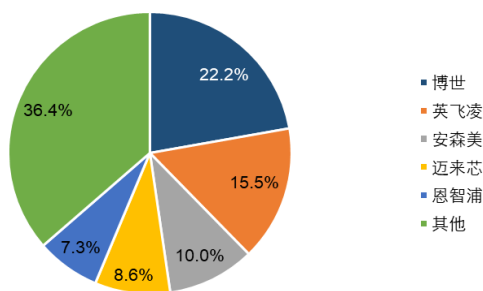
分产品来看，传感器方面，博世、英飞凌、安森美、迈来芯、恩智浦分列前 5 名，市占率分别为 22.2%、15.5%、10.0%、8.6%、7.3%。微控制器（MCU）方面，瑞萨、恩智浦、英飞凌、德州仪器、微芯科技分列前 5 名，市占率分别为 26.7%、26.3%、16.9%、9.8%、6.9%。功率半导体方面，英飞凌、意法半导体、德州仪器、安森美、罗姆分列前 5 名，市占率分别为 30.2%、16.3%、10.3%、7.1%、5.9%。

图表 33：2020 年汽车半导体前 5 厂商市占率



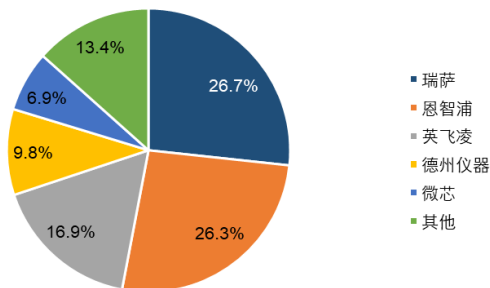
资料来源：Strategy Analytics，五矿证券研究所

图表 34：2020 年汽车传感器前 5 厂商市占率



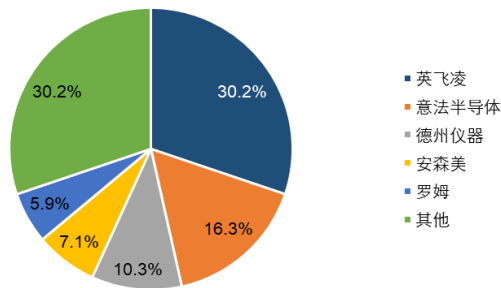
资料来源：Strategy Analytics，五矿证券研究所

图表 35：2020 年汽车 MCU 前 5 厂商市占率



资料来源：Strategy Analytics，五矿证券研究所

图表 36：2020 年汽车功率半导体前 5 厂商市占率

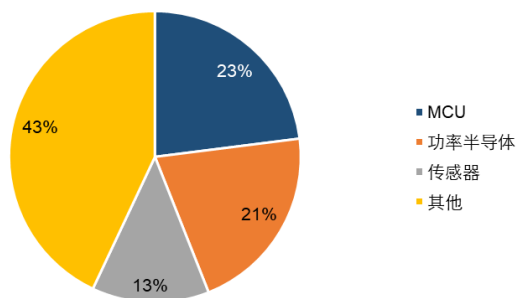


资料来源：Strategy Analytics，五矿证券研究所

2.2 功率半导体最为受益，增幅高达 4 倍以上

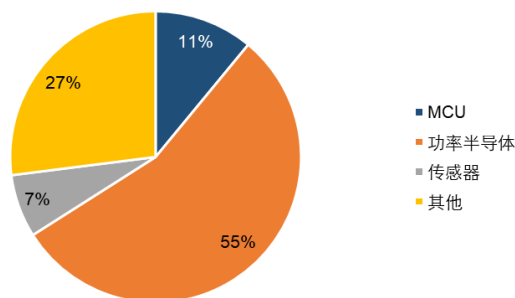
在各类汽车半导体产品中，功率半导体受益最大。根据 Strategy Analytics 数据，在传统燃油车中，MCU 价值占比最高，达到 23%；其次为功率半导体，达到 21%；传感器排名第三，占比为 13%。而在纯电动车型中，功率半导体使用量大幅提升，占比最高，达到 55%，其次为 MCU，达到 11%；传感器占比为 7%。

图表 37: 传统燃油汽车各类芯片占比



资料来源: Strategy Analytics, 五矿证券研究所

图表 38: 纯电动汽车各类芯片占比



资料来源: Strategy Analytics, 五矿证券研究所

根据 Infineon 和 Strategy Analytics 数据, 传统燃油车半导体价值量为 417 美元/辆, 其中 MCU 价值量为 96 美元/辆, 功率半导体价值量为 88 美元/辆, 传感器价值量为 54 美元/辆。48V 轻混半导体价值量为 572 美元。纯电动车半导体价值量为 834 美元/辆, 其中 MCU 价值量为 92 美元/辆, 功率半导体价值量为 459 美元/辆, 传感器价值量为 58 美元/辆。因此, 在从燃油车向纯电动车升级过程中, 半导体价值量提升幅度明显, 整车半导体价值量增长 100%, 功率半导体价值量提升幅度最大, 增幅高达 421.6%。

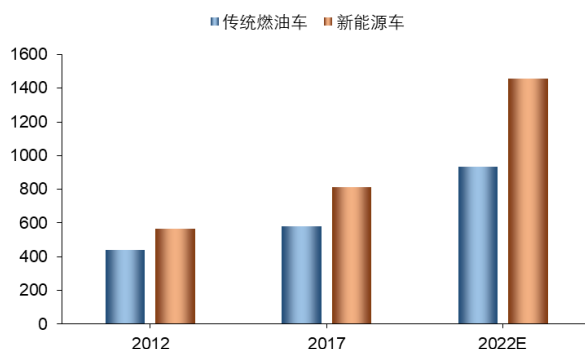
不仅是芯片价值量有所提升, 数量亦有增加。根据 Deloitte 数据, 2012/2017/2022 年, 中国传统燃油车芯片平均数量分别为 438/580/934 颗, 新能源车芯片平均数量分别为 567/813/1459 颗, 因此, 随着汽车功能丰富, 汽车芯片数量整体呈上升趋势, 而电动车与燃油车相比, 芯片用量更多, 2022 年达到 1459 颗, 并且在部分高端车型中, 芯片用量达到 2000 颗左右。

图表 39: 2020 年电动车半导体价值量 (美元/辆)



资料来源: Infineon, 五矿证券研究所

图表 40: 中国汽车芯片平均数量 (颗/辆)

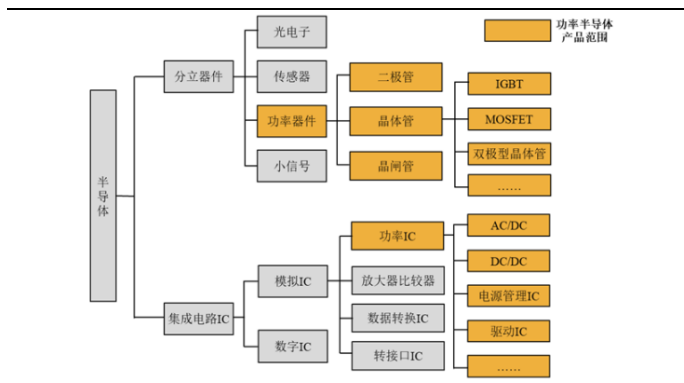


资料来源: Deloitte, 五矿证券研究所

功率半导体是电子装置中电能转换与电路控制的核心, 主要是通过利用半导体的单向导电性实现电源开关和电力转换的功能, 具体用途包括变频、变相、变压、逆变、整流、增幅、开关等。功率半导体分为功率 IC 和功率分立器件两大类, 功率分立器件主要包括二极管、晶闸管、晶体管等产品, 功率 IC 主要有 AC/DC、DC/DC、电源管理 IC、驱动 IC 等。

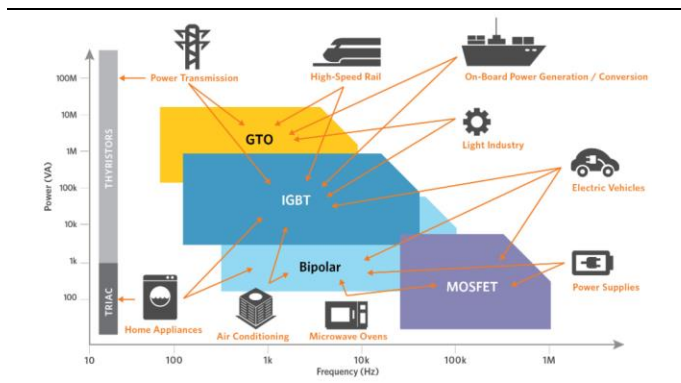
在功率器件中, 晶体管份额最大, 常见的晶体管主要有 BJT、MOSFET 和 IGBT, MOSFET 是金属氧化物半导体场效应晶体管, 是一种广泛使用在模拟电路与数字电路的场效晶体管, 更适用于高频场景; IGBT 是绝缘栅双极晶体管, 是同时具备 MOSFET 的栅电极电压控制特性和 BJT 的低导通电阻特性的全控型功率半导体器件, 更适用于高压场景。

图表 41：功率半导体产品范围



资料来源：华润微公告，五矿证券研究所

图表 42：功率器件下游应用



资料来源：Yole，五矿证券研究所

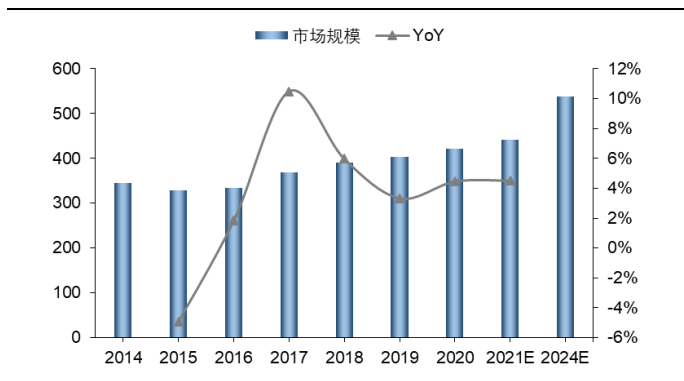
图表 43：功率半导体对比

类型	可控性	驱动形式	导通方向	电压	特点	应用领域
功率二极管	不可控	电流驱动	单向	低于 1V	电压电流小、只能单向导电	电子设备、工业
晶闸管	半控型	电压驱动	单向	几千 V	体积小、耐压高	工业、UPS、电焊机、变频器
MOSFET	全控型	电压驱动	双向	十几 V 到 1000V	能承受高电压、不能放大电压	电机、逆变器、高铁、汽车
IGBT	全控型	电压驱动	双向	600V 以上	开关频率高、不耐超高压、可改变电压	高速开关电源
功率 IC	通常包括电源管理 IC、驱动 IC 等				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、便于大规模生产	电子产品

资料来源：智研咨询，五矿证券研究所

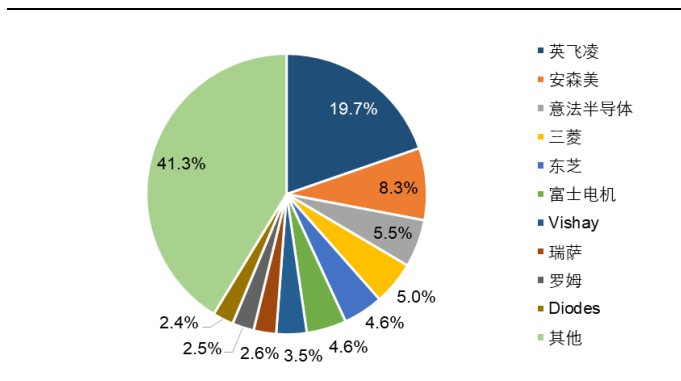
受益于下游需求拉动，全球功率半导体市场规模稳步增长。根据 Omdia 数据，2020 年全球功率半导体市场规模 422 亿美元，预计 2024 年将达到 538 亿美元。全球功率半导体市场基本被欧洲、美国、日本厂商主导，根据 Omdia 数据，2020 年全球功率分立器件和模组市场规模 209 亿美元，其中英飞凌占比 19.7%，排名第 1；安森美占比 8.3%，排名第 2；意法半导体占比 5.5%，排名第 3；Top 10 厂商合计占比 58.7%，市场集中度较高。

图表 44：全球功率半导体市场规模（亿美元）



资料来源：Omdia, Valuates Reports，五矿证券研究所

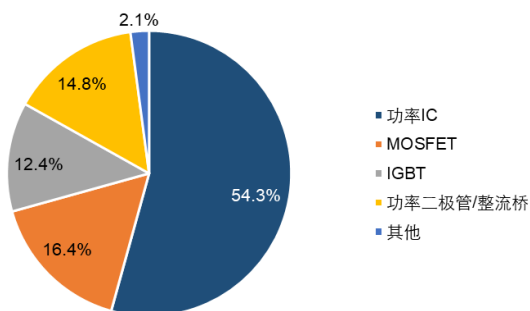
图表 45：2020 年全球功率分立器件和模组市场格局



资料来源：Omdia，五矿证券研究所

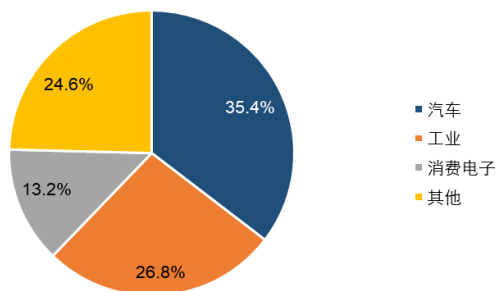
根据智研咨询数据,2019 年全球功率半导体产品结构中,功率 IC 占比 54.3%,功率器件中,以 MOSFET 和 IGBT 为主, MOSFET 占比 16.4%, IGBT 占比 12.4%。下游应用分类中,汽车占比 35.4%,排名第 1;工业占比 26.8%,排名第 2;消费电子占比 13.2%,排名第 3。

图表 46: 2019 年全球功率半导体产品结构



资料来源:智研咨询,五矿证券研究所

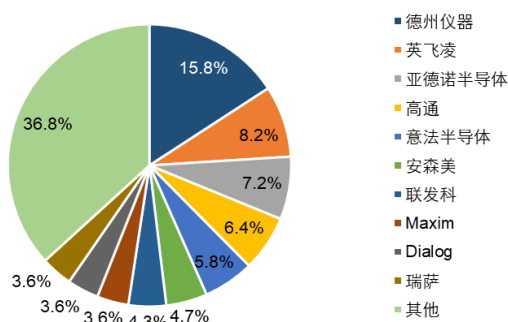
图表 47: 2019 年全球功率半导体下游应用占比



资料来源:智研咨询,五矿证券研究所

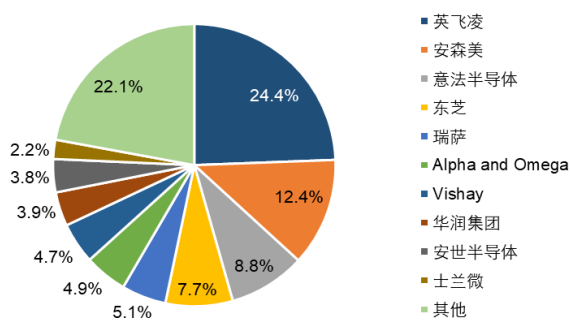
根据 Omdia 数据,2020 年全球功率 IC 市场规模 243 亿美元,其中德州仪器占比 15.8%,排名第 1;英飞凌占比 8.2%,排名第 2;亚德诺半导体占比 7.2%,排名第 3;Top 10 厂商合计占比 63.2%。2020 年全球功率 MOSFET 分立器件市场规模 81 亿美元,其中英飞凌占比 24.4%,排名第 1;安森美占比 12.4%,排名第 2;意法半导体占比 8.8%,排名第 3;Top 10 厂商合计占比 77.9%。

图表 48: 2020 年全球功率 IC 市场格局



资料来源:Omdia,五矿证券研究所

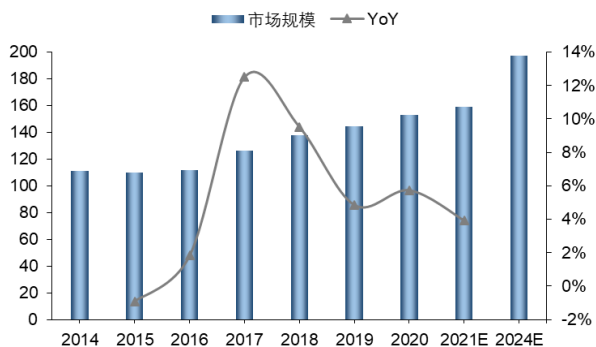
图表 49: 2020 年全球功率 MOSFET 分立器件市场格局



资料来源:Omdia,五矿证券研究所

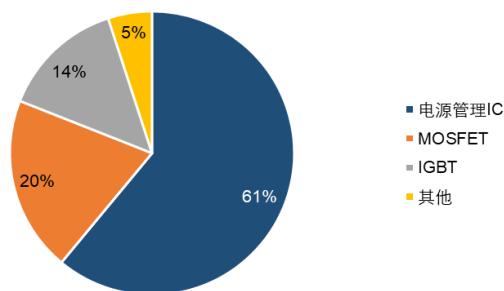
中国功率半导体市场规模也保持持续增长,根据 Omdia 数据,2020 年中国功率半导体市场规模 153 亿美元,占全球市场 36.3%,预计 2024 年将达到 197 亿美元。从产品结构来看,电源管理 IC 占比 61%, MOSFET 占比 20%, IGBT 占比 14%。

图表 50: 中国功率半导体产品规模 (亿美元)



资料来源: Omdia, 五矿证券研究所

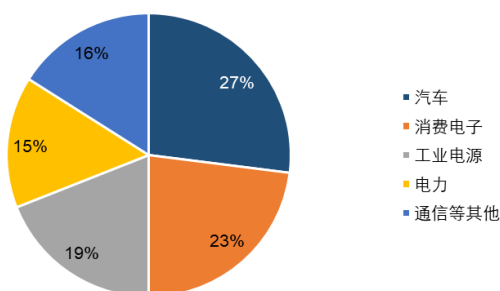
图表 51: 中国功率半导体产品结构



资料来源: Omdia, 五矿证券研究所

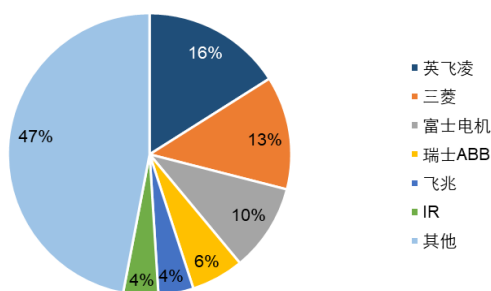
根据电子工程世界数据, 2019 年中国功率半导体下游应用中, 汽车占比 27%, 消费电子占比 23%, 工业电源占比 19%, 电力占比 15%, 通信等其他占比 16%。中国 IGBT 市场主要被国外厂商主导, 根据 Omdia 数据, 英飞凌占比 16%, 排名第 1; 三菱占比 13%, 排名第 2; 富士电机占比 10%, 排名第 3, 前 6 名合计占比 53%。

图表 52: 2019 年中国功率半导体下游应用占比



资料来源: 电子工程世界, 五矿证券研究所

图表 53: 中国 IGBT 市场格局

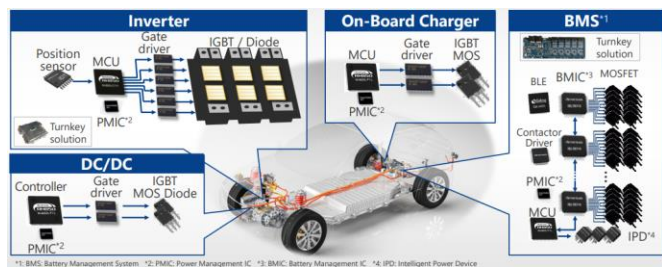


资料来源: Omdia, 五矿证券研究所

2.2.1 逆变器是核心部件, IGBT 深度受益

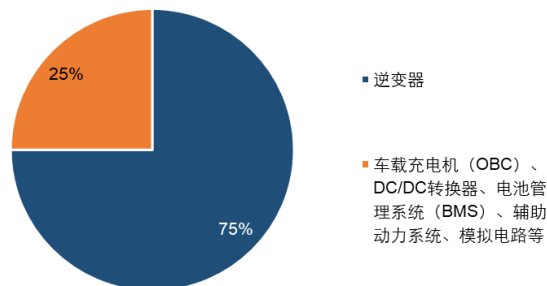
功率半导体在电动车中的应用丰富, 产品类型包括 IGBT、MOSFET、二极管等, 主要应用包括逆变器、车载充电机 (OBC)、DC/DC 转换器、电池管理系统 (BMS)、辅助动力系统、模拟电路等。IGBT 主要应用在逆变器、车载充电机 (OBC)、DC/DC 转换器等, 此外还广泛应用于 PTC 加热器、水泵、油泵、空调压缩机等辅逆变器中, 完成小功率 DC-AC 转换, MOSFET 主要应用在车载充电机 (OBC)、DC/DC 转换器、电池管理系统 (BMS) 等, 二极管主要应用在逆变器等。整体而言, 功率半导体在逆变器中用量最大, 占比 75%; 其他零部件如车载充电机 (OBC)、DC/DC 转换器、电池管理系统 (BMS)、辅助动力系统、模拟电路等合计占比 25%。

图表 54: Renesas 功率半导体产品在电动车中的应用



资料来源: Renesas, 五矿证券研究所

图表 55: 电动车功率半导体应用占比



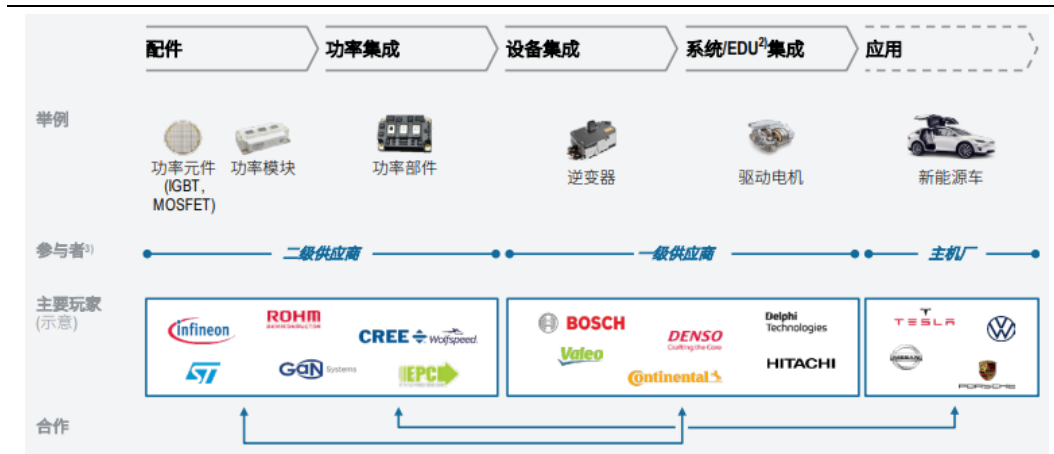
资料来源: Infineon, 五矿证券研究所

在电动车功率半导体中, IGBT 价值量最大, 其中电驱部分用量最大, 按车型分, 对于商用车而言, 物流车 1000 元/辆, 大巴车 3000-3600 元/辆, 对于乘用车而言, A00 级 900 元/辆, A 级及以上 1000-2000 元/辆, 高端车型则达到 3000-3900 元/辆。车载充电机 (OBC) 300 元/辆, 车载空调 100 元/辆, 电子助力转向 200 元/辆。考虑到 A 级及以上电动乘用车销量最大, 我们预计 1 辆电动乘用车上 IGBT 价值量大约为 2200 元/辆 (340 美元/辆)。

按照电压等级划分, IGBT 一般为三类, 低压 (600V 以下) IGBT 主要用于消费电子等领域, 中压 (600V-1200V) IGBT 主要用于新能源汽车、工业控制、家用电器等领域, 高压 (1700V-6500V) 主要用于轨道交通、新能源发电和智能电网等领域。

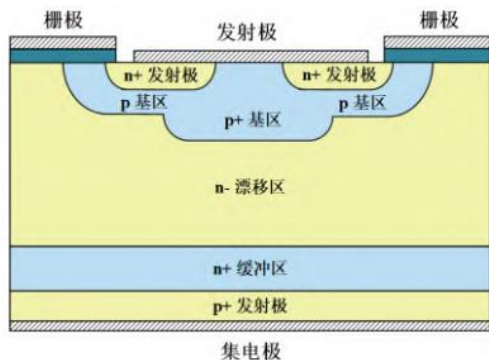
对于电动车, 逆变器作用十分重要, 通过将直流电转变为交流电, 从而驱动交流电机工作, 进而驱动汽车行驶, 因此, 逆变器直接关系到驱动电机能否可靠和高效的运行。IGBT 作为逆变器的核心器件, 将深度受益汽车电动化发展浪潮。

图表 56: 电驱系统价值链 (以逆变器为例)



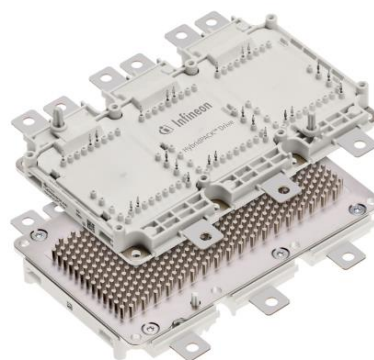
资料来源: 车百智库, 五矿证券研究所

图表 57: IGBT 结构图



资料来源:《中国电机工程学报》，五矿证券研究所

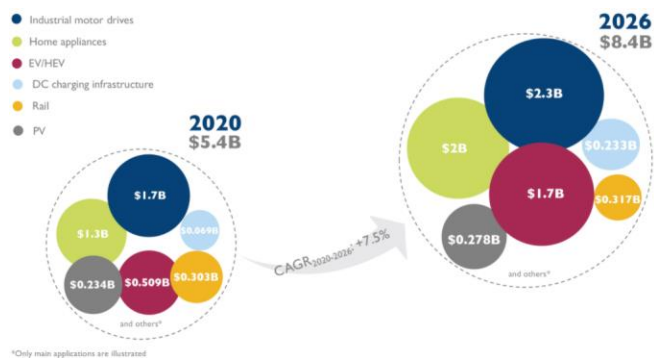
图表 58: IGBT 模组



资料来源: Infineon, 五矿证券研究所

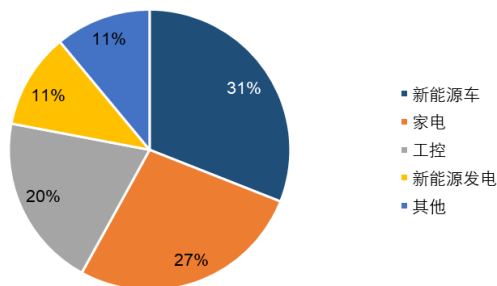
根据 Yole 数据, 全球 IGBT 市场规模, 2020 年 54 亿美元, 2026 将增长到 84 亿美元, CAGR 为 7.5%。各下游应用中, 全球市场前三大下游应用中, 工控占比 31.5%, 家电占比 24%, 新能源车占比 9.4%; 中国市场前三大下游应用中, 新能源车占比 31%, 家电占比 27%, 工控占比 20%。

图表 59: 全球 IGBT 市场规模及各下游应用规模 (十亿美元)



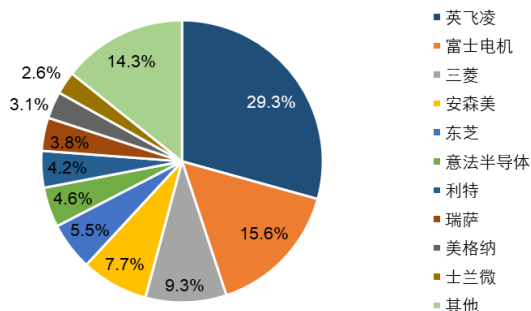
资料来源: Yole, 五矿证券研究所

图表 60: 中国 IGBT 下游应用占比

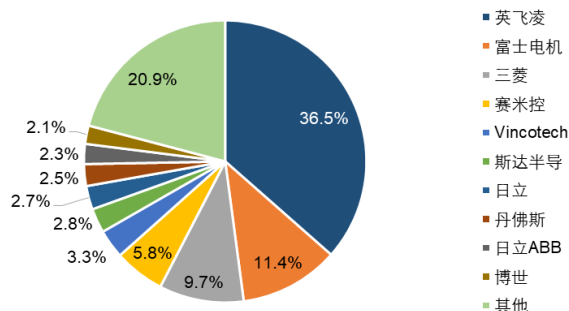


资料来源: 华经情报网, 五矿证券研究所

根据 Omdia 数据, 2020 年全球 IGBT 分立器件市场规模为 15.9 亿美元, 全球各厂商排名中, 英飞凌占比 29.3%, 排名第 1; 富士电机占比 15.6%, 排名第 2; 三菱占比 9.3%, 排名第 3; 中国厂商士兰微占比 2.6%, 排名第 10。2020 年全球 IGBT 模组市场规模为 36.3 亿美元, 英飞凌占比 36.5%, 排名第 1; 富士电机占比 11.4%, 排名第 2; 三菱占比 9.7%, 排名第 3; 中国厂商斯达半导体占比 2.8%, 排名第 6, 是唯一进入前 10 的中国厂商。

图表 61：2020 年 IGBT 分立器件厂商市占率


资料来源：Omdia，五矿证券研究所

图表 62：2020 年 IGBT 模组厂商市占率


资料来源：Omdia，五矿证券研究所

IGBT 芯片发展，历经了 6 代产品升级，从第 1 代平面穿通型（PT）到第 7 代沟槽型电场一截止型（FS-Trench），芯片面积、工艺线宽、通态饱和压降、关断时间、功率损耗等各项指标经历了不断的优化，断态电压也从 600V 提高到 6500V 以上。

图表 63：IGBT 历代产品

序号	技术特点	芯片面积 (相对值)	工艺线宽 (μm)	通态饱和压降 (V)	关断时间 (μs)	功率损耗 (相对值)	断态电压 (V)	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	0.5	1	0.15	29	6500	2003

资料来源：斯达半导招股书，五矿证券研究所

2.2.2 动力电池向 800V 升级，SiC 有望大放异彩

在保证安全的前提下，续航里程和充电时间便成为了电动车能否快速普及的重要因素，目前电动车续航里程已经能够达到燃油车水平，但是充电时间较慢仍然是一大痛点，因此大功率快充将逐步普及，而对于电动车来说，就需要更高电压来匹配大功率快充，因此，电动车电压平台将从 400V 向 800V 及以上升级。

当充电桩功率达到 200kW 以上时，在现有 E/E 架构下，400V 平台已经较难实现，但升级到 800V 高压平台之后，快充电流大幅减小，同时也将更有希望实现 350KW 以上的快充。此外，在同等充电功率下，800V 架构下的高压线束直径更小，相应成本更低，电池的散热更少，热管理的难度相对也低一些，整体电池成本更优。800V 电压平台能有效解决充电焦虑，因此 2021 年比亚迪、吉利、长城、小鹏、零跑等相继发布了 800V 高压平台量产规划，蔚来、理想等车企也在积极筹备相关技术，预计各大车企基于 800V 高压技术方案的新车将在 2022 年之后陆续上市。

图表 64: 主要 OEM 高压平台量产规划

OEM	电压	功率	电流	续航	量产时间
长城沙龙	800V	400kW	600A	充电 10 分钟, 续航 800km	2022H1
比亚迪	800V	228kW	-	充电 5 分钟, 续航 150km	2022
东风岚图	800V	360kW	600A	充电 10 分钟, 续航 400km	-
广汽埃安	1000V	480kW	600A	充电 5 分钟, 续航 200km	率先搭载在 AIONV 车型上
吉利	800V	360kW	-	充电 5 分钟, 续航 120km	-
路特斯	800V	-	-	20 分钟充满 80%电量	2022 年发布, 2023 年全球交付
北汽极狐	800V	-	-	充电 10 分钟, 续航 196km	阿尔法 S 于 2021 年 12 月底小批量交付
小鹏	800V	480kW	670A	充电 5 分钟, 续航 200km	2022Q3 交付
理想	800V	-	-	-	2023 年以后
零跑	800V	400kW	-	充电 5 分钟, 续航 200+km	2024Q4
保时捷	800V	350kW	-	5 分钟充满 80%电量	Taycan 已量产, Macan 将于 2023 年发布
现代	800V	220kW	-	14 分钟充满 80%电量	IONIQ 5 于 2021 年发布, 国内版于 2022 年交付

资料来源: 佐思汽研, 五矿证券研究所

做为 800V 平台配套使用的充电桩, 当电压达到 800V 时, 普通充电桩充电速度已经无法满足用户需求, 可以说如果没有超级充电桩搭配使用, 车载 800V 高压平台无法真正发挥功效, 因此 800V 高压平台+超级充电桩技术将成为一种发展趋势。随着 800V 高压平台陆续进入量产, 超级充电桩的部署也在有序推进, 目前主要有 2 种方式, 一种是车企与运营商合作部署, 另一种是车企自建充电网络。从车企布局来看, 特斯拉 V3 超级充电桩, 功率达到 250kW, 当启用在途电池预热功能时, 比 120kW 充电桩充电时间缩短 50%以上, 已经在全球部署超过 25000 个; 广汽埃安于 2021 年 8 月发布 480kW 超级充电桩, 计划到 2025 年在全国建设 2000 座超充站。

图表 65: 主要 OEM 快充桩部署情况

车企	功率	高压值	充电桩部署情况
吉利	240-360kW	-	2021 年在北京、上海、广州、深圳、杭州、宁波、西安、长沙、武汉、成都自建充电网络
广汽	480-600kW	1000V	2021 年独立建设 100 个充电桩, 预计 2025 年将在全国 300 个城市建设 2000 座超充站
北汽	180-360kW	-	2021 年在北京、上海、深圳、广州、苏州建设 24 座专属超充站和 16 座目的地站, 84 座认证站, 267 座推优站
小鹏	480kW	800V	截至 2021 年 10 月, 超充站上线 439 座, 覆盖 121 个城市
特斯拉	250kW	400V	全球范围内拥有 25000 个超级充电桩, 在中国超级充电站突破 800 个, 超级充电桩超过 6300 个
大众	-	-	大众与度普新能源共同投资的灵活储能快充桩落户苏州, 总投资 1.1 亿欧元

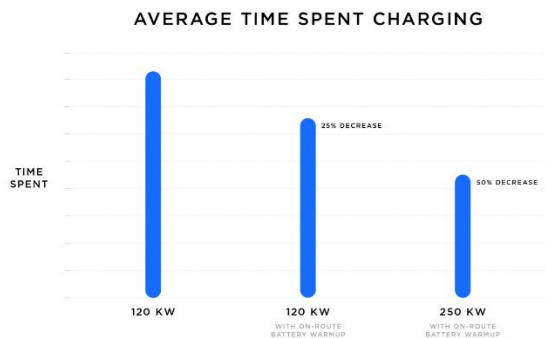
资料来源: 佐思汽研, 五矿证券研究所

图表 66: 广汽埃安 480kW 超充桩



资料来源: 广汽埃安, 五矿证券研究所

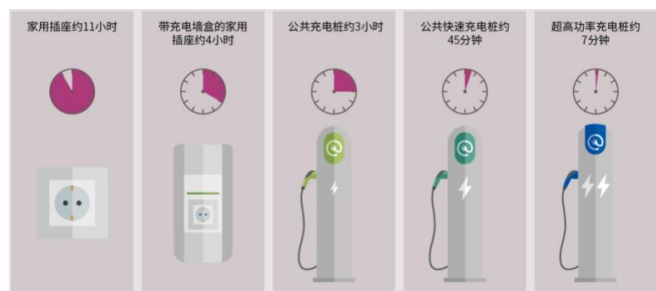
图表 67: 特斯拉 250kW 超级充电桩充电时间缩短 50%以上



资料来源: Tesla, 五矿证券研究所

根据英飞凌数据, 对于直流充电桩, 20kW 充电桩充满电需要 120min, 150kW 需要 16min, 而 350kW 仅需要 7min, 因此 800V 高压平台+超级充电桩已成为趋势, 而在 800V 及以上高压情况下, Si 基材料由于其材料的局限性, SiC 等第三代半导体将有望大放异彩。

图表 68: 从家用插座到超高功率充电桩



资料来源: Infineon, 五矿证券研究所

图表 69: 不同功率直流充电桩充电时间对比 (充到 200km 的时间)

DC charging system	charging time ¹⁾	power semi content ²⁾
350 kW (6 racks of 60 kW each)	7 min	\$1,500 - \$3,000 Si / SiC-based
150 kW (5 racks of 30 kW each)	16 min	\$300 - \$900 Si / SiC-based
50 kW (3 racks of 20 kW each)	48 min	\$100 - \$300 Si / SiC-based
20 kW (2 racks of 10 kW each)	120 min	\$40 - \$90 Si / SiC-based

资料来源: Infineon, 五矿证券研究所

半导体衬底材料历经发展, 一共经历了 3 个阶段:

- 1、第一阶段: 1950 年代开始, 以 Si 和 Ge 为代表的第一代半导体材料制备而成的晶体管取代电子管, 其典型应用是集成电路, 主要应用于低压、低频、低功率的晶体管和探测器中, 95%以上的集成电路都是以硅基材料制作;
- 2、第二阶段: 1990 年代开始, 以 GaAs 为代表的第二代半导体材料崭露头角, 由于其电子迁移率是 Si 的 6 倍, 具有直接带隙, 因此具有高频、高速的光电性能, 被广泛用于制作半导体发光二极管和通信器件;
- 3、第三阶段: 近年来, 以 SiC、GaN 为代表的第三代半导体材料在禁带宽度、击穿场强、饱和电子漂移速率、热导率以及抗辐射等方面具有显著优势, 可以满足对高温、高功率、高压、高频及抗辐射等恶劣工作条件的要求, 同时功耗更低, 体积更小。

具体表现在:

- 1) 能量损耗低。SiC 模块的开关损耗和导通损耗显著低于同等 IGBT 模块, 且随着开关频率的提高, 损耗越低, 同时可以实现高速开关, 有助于降低电池用量, 提高续航里程;
- 2) 封装尺寸小。在功率相同条件下, SiC 功率模块的体积显著小于硅基模块, 有助于提升系

统的功率密度；

3) 实现高频开关。SiC 材料的饱和电子漂移速率是 Si 的 2 倍，有助于提升器件的工作频率；高临界击穿电场的特性使其能够将 MOSFET 带入高压领域，克服 IGBT 在开关过程中的拖尾电流问题，降低开关损耗和整车能耗，减少无源器件如电容、电感等的使用，从而减少系统体积和重量；

4) 耐高温、散热能力强。SiC 的禁带宽度、热导率约是 Si 的 3 倍，可承受更高温度，高热导率也将带来功率密度的提升和热量的更易释放，冷却部件可小型化，有利于系统的小型化和轻量化。

根据 ROHM 数据，相同规格的 SiC MOSFET 和 Si MOSFET 相比，导通电阻降低为 1/200，尺寸减小为 1/10；相同规格的使用 SiC MOSFET 的逆变器和使用 Si 基 IGBT 相比，总能量损失小于 1/4，从而成为半导体材料领域最具前景的材料之一。

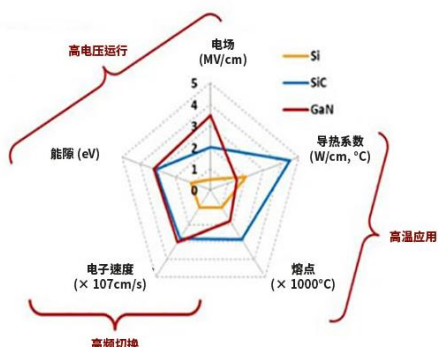
对比 Si 与 SiC，最核心的指标包括击穿场强、饱和电子漂移速率、热导率。击穿场强决定了耐压性，SiC 击穿场强最高，更适合高压场景，如果在相同电压情况下，SiC 器件厚度更薄，尺寸更小，重量更轻，导通电阻更低，能量损失更小；热导率决定了散热性，SiC 的热导率最高，因此散热片等冷却部件体积可以做到更小。

图表 70：Si、SiC、GaN 性能参数对比

指标参数	Si	SiC	GaN
禁带宽度 (eV)	1.12	3.2	3.4
相对介电常数	11.9	9.7	9.5
击穿场强 (10^6V/cm)	0.3	3.5	3.3
饱和电子漂移速率 (10^7cm/s)	1.0	2.0	2.5
电子迁移率 (cm^2/Vs)	1350	1000	900
热导率 (W/cmK)	1.5	4.0	1.3

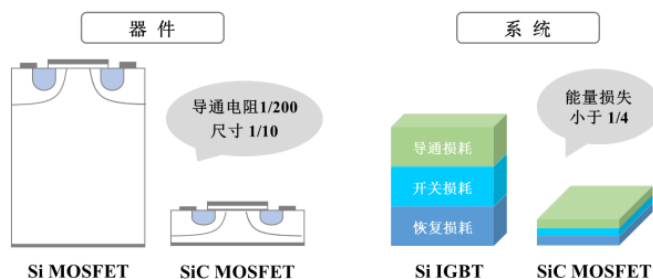
资料来源：《宽禁带半导体高频及微波功率器件与电路》，ROHM，五矿证券研究所（注：表中所列 SiC 数值为目前主流的 SiC 晶型 4H-SiC 的参数）

图表 71：Si、SiC、GaN 性能对比



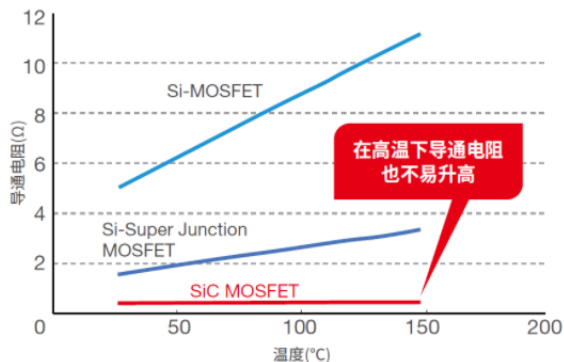
资料来源：Navitas，五矿证券研究所

图表 72：同规格 SiC 器件与 Si 器件对比



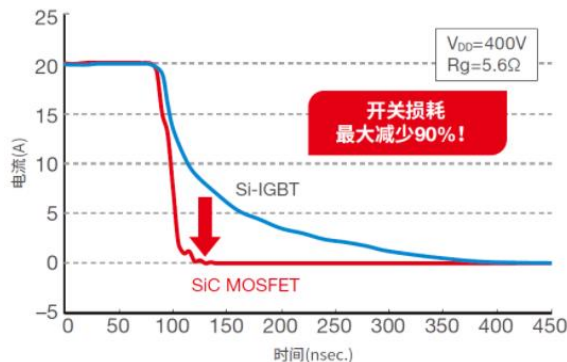
资料来源：ROHM，五矿证券研究所

图表 73: 导通电阻温度特性 (与 650V 产品比较)



资料来源: ROHM, 五矿证券研究所

图表 74: 关闭特性 (与 1200V 产品比较)



资料来源: ROHM, 五矿证券研究所

SiC 及 GaN 产业链主要包括衬底材料制备、外延层生长、器件制造以及下游应用, SiC 衬底分为导电型和半绝缘型。SiC 功率器件的制备是在导电型 SiC 衬底上进一步生长 SiC 外延层, 之后在 SiC 外延层上制造各类 SiC 功率器件, 主要应用于新能源车等场景; GaN 功率器件的制备, 受技术与工艺水平限制, 以 GaN 材料作为衬底实现规模化应用仍面临挑战, 目前主要是以蓝宝石、Si 或半绝缘型 SiC 为衬底, 通过生长 GaN 外延层以制造 GaN 射频器件, 主要应用于 5G 通信、国防等场景。根据 CASA 数据, 在 SiC 器件成本结构中, 衬底占比 47%, 外延层占比 23%, 二者合计占比 70%。

SiC 模组产品制备过程中, 首先是制备 SiC 衬底, 之后制备外延层和 SiC 器件、模组, 最终应用到电动车等下游领域。

SiC 衬底的制备一般采用成熟的物理气相传输法 (PVT 法), 流程主要包括 7 步, 每一步流程中都需要进行相应参数、性能的检测:

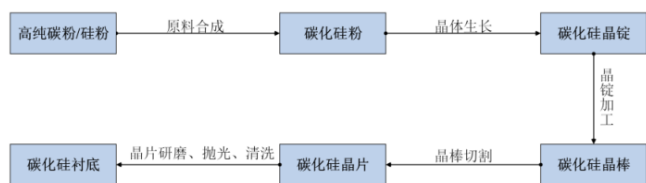
- 1) 原料合成: 在 2000°C 以上的高温条件下将高纯硅粉和高纯碳粉按工艺配方均匀混合, 制得满足晶体生长要求的高纯度 SiC 粉原料;
- 2) 晶体生长: 在密闭生长腔室内, 在 2300°C 以上高温、接近真空的低压下加热碳化硅粉料, 使其升华产生包含 Si、Si₂C、SiC₂ 等不同气相组分的反应气体, 通过固-气反应产生碳化硅单晶反应源。在生长腔室顶部设置碳化硅籽晶 (种子), 运输至籽晶处的气相组分在气相组分过饱和度的驱动下在籽晶表面原子沉积, 生长为碳化硅单晶。由于碳化硅单晶在其结晶取向向上的不同密排结构存在多种原子连接键合方式, 从而形成 200 多种碳化硅同质异构结构的晶型, 且不同晶型之间的能量转化势垒极低。因此, 在 PVT 单晶生长系统中极易发生不同晶型的转化, 导致目标晶型杂乱以及各种结晶缺陷等严重质量问题, 故需采用专用检测设备检测晶锭的晶型和各项缺陷;
- 3) 晶锭加工: 将碳化硅晶锭使用 X 射线单晶定向仪进行定向, 之后通过精密机械加工的方式磨平、滚圆, 加工成标准直径尺寸和角度的碳化硅晶棒;
- 4) 晶棒切割: 在考虑后续加工余量的前提下, 使用金刚石细线将碳化硅晶棒切割成满足客户需求的不同厚度的切割;
- 5) 切割片研磨: 使用研磨液将切割片减薄到相应的厚度, 并且消除表面的线痕及损伤;
- 6) 研磨片抛光: 抛光液对研磨片进行机械抛光和化学抛光, 用来消除表面划痕、降低表面粗糙度及消除加工应力等, 使研磨片表面达到纳米级平整度;
- 7) 抛光片清洗: 在百级超净间内, 通过特定配比的化学试剂及去离子水对清洗机内的抛光片

进行清洗，去除抛光片表面的微尘颗粒、金属离子、有机沾污物等，甩干封装在洁净片盒内，形成开盒即用的 SiC 衬底。

SiC 衬底制备完成后，还需要在上面生长外延层，进而制备 SiC 器件（如 SiC MOSFET）以及 SiC 模组，最终应用到电动车、充电桩等下游应用中。

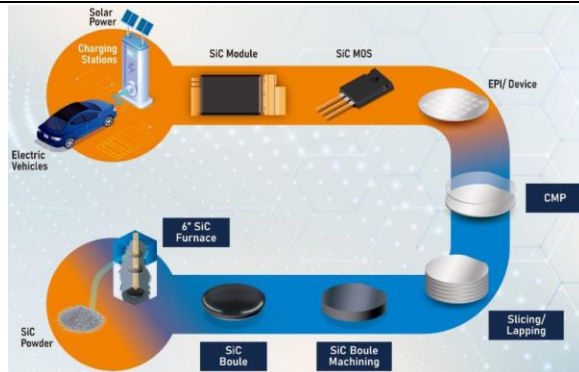
目前导电型 SiC 衬底以 6 英寸为主，8 英寸开始发展；半绝缘 SiC 衬底以 4 英寸为主，逐渐向 6 英寸发展。

图表 75: SiC 衬底制备工艺流程



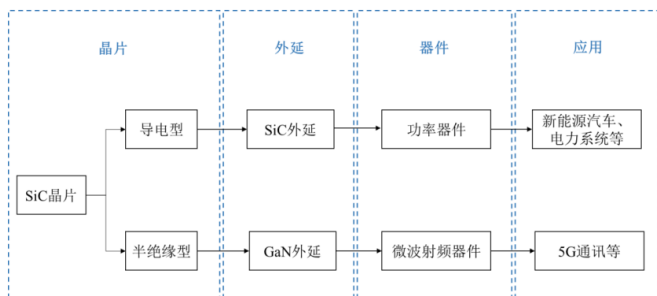
资料来源: 天岳先进招股书, 五矿证券研究所

图表 76: SiC 从粉末到应用的制备过程



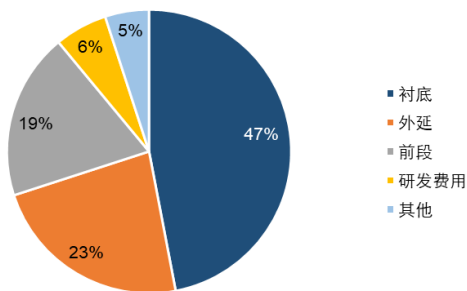
资料来源: 汉民, 五矿证券研究所

图表 77: SiC 衬底产业链



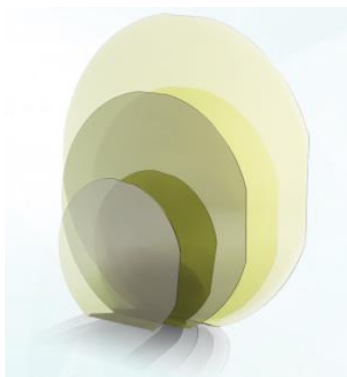
资料来源: 天科合达招股书, 五矿证券研究所

图表 78: SiC 器件成本结构



资料来源: CASA, 五矿证券研究所

图表 79: 导电型 SiC 衬底



资料来源: 天岳先进, 五矿证券研究所

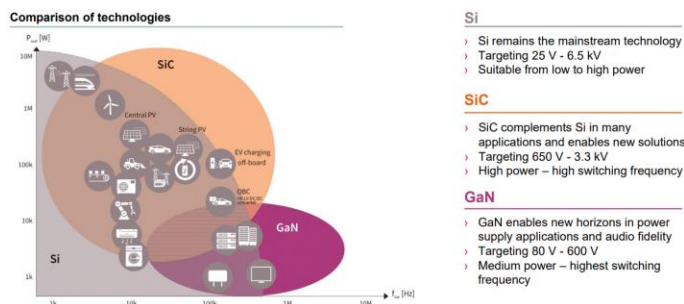
图表 80: 半绝缘型 SiC 衬底



资料来源: 天岳先进, 五矿证券研究所

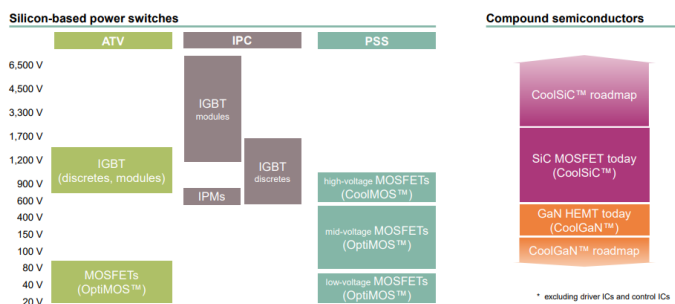
根据 Infineon 数据，对于 Si 基 MOSFET 和 IGBT，工作电压范围为 25V-6500V，其中，MOSFET 工作电压范围大约为 25V-900V，IGBT 分立器件工作电压范围大约为 600V-1700V，IGBT 模组则可实现 1200V-6500V 电压范围。对于 SiC 和 GaN 器件，SiC 器件（SiC MOSFET）工作电压更大，目前工作电压范围大约为 650V-3300V，未来计划做到 4500V、甚至 6500V。

图表 81：Infineon 对 Si、SiC、GaN 功率市场的概念划分



资料来源：Infineon，五矿证券研究所

图表 82：Infineon 功率半导体产品包

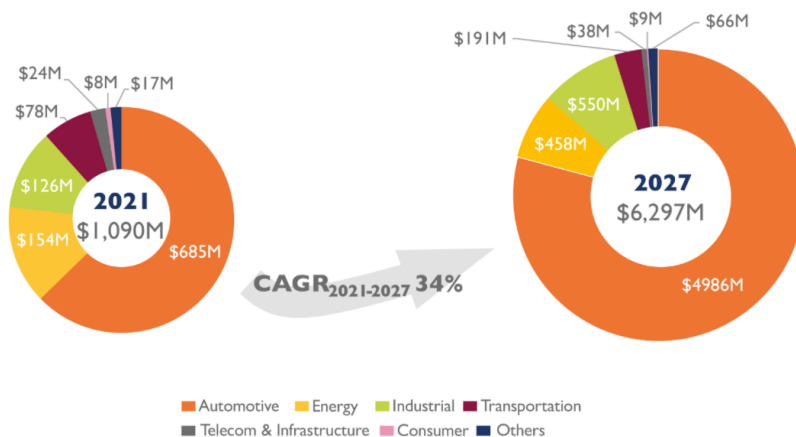


资料来源：Infineon，五矿证券研究所

SiC 在电动车中主要用在逆变器中，此外还有车载充电机（OBC）、DC/DC 转换器等，绝大部分将用于逆变器，SiC 在上述零组件中的应用将越来越多。新能源车领域，SiC 器件已被国际知名车企应用在其电动车上，特斯拉 Model 3 的主逆变器采用了意法半导体生产的 24 个 SiC MOSFET 功率模块，是全球第一家将 SiC MOSFET 应用于商用车主逆变器的 OEM 厂商；比亚迪在推出首款采用 SiC 技术的车型“比亚迪·汉”的同时，还宣布到 2023 年将实现 SiC 功率器件对 Si 基 IGBT 的全面替代；蔚来在 2022 年交付的新款 ET7 车型上，采用了基于 SiC 技术的电驱系统；2020 年 12 月丰田也首次在其电动车上使用 SiC 器件。

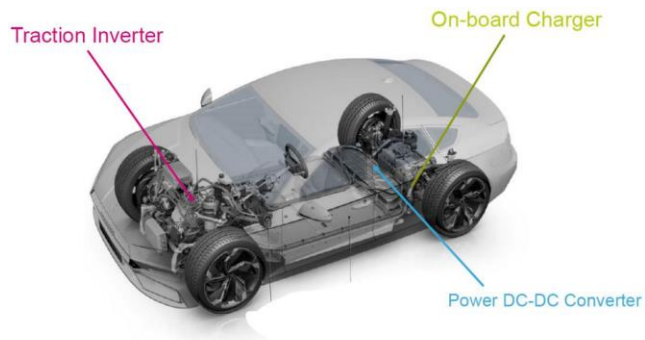
根据 Yole 数据，2021-2027 年，全球 SiC 功率器件市场规模将由 10.9 亿美元增长到 62.97 亿美元，CAGR 为 34%；其中电动车用 SiC 市场规模将由 6.85 亿美元增长到 49.86 亿美元，CAGR 为 39.2%，电动车（逆变器+OBC+DC/DC 转换器）是 SiC 最大的下游应用，占比由 62.8% 增长到 79.2%，市场份额持续提升。

图表 83：2021-2027 年全球 SiC 功率器件及下游应用市场规模（百万美元）



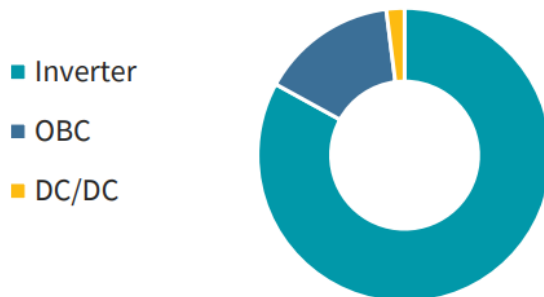
资料来源：Yole，五矿证券研究所

图表 84: SiC 在电动车中的应用



资料来源: STMicroelectronics, 五矿证券研究所

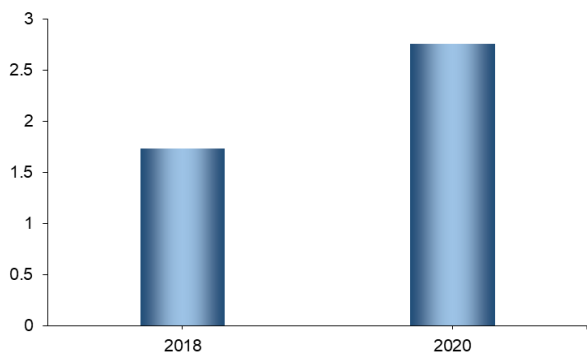
图表 85: 2026 年 SiC 在电动车中应用占比



资料来源: Wolfspeed, 五矿证券研究所

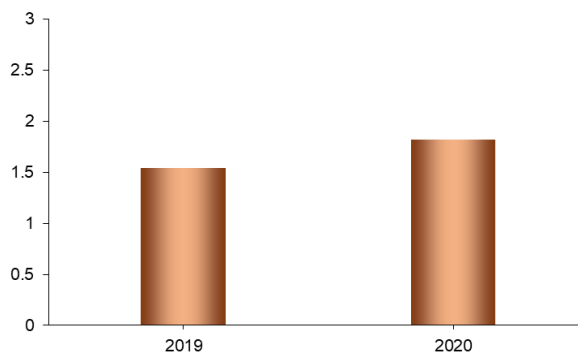
SiC 衬底方面, 根据 Yole 数据, 全球导电型 SiC 衬底市场规模由 2018 年的 1.73 亿美元增长至 2020 年的 2.76 亿美元, CAGR 为 26.36%; 全球半绝缘型 SiC 衬底市场规模由 2019 年的 1.54 亿美元增长至 2020 年的 1.82 亿美元, 同比增长 18.2%。

图表 86: 2018-2020 年全球导电型 SiC 衬底市场规模 (亿美元)



资料来源: Yole, 五矿证券研究所

图表 87: 2019-2020 年全球半绝缘型 SiC 衬底市场规模 (亿美元)

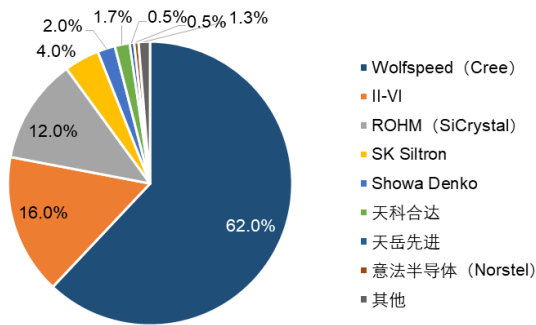


资料来源: Yole, 五矿证券研究所

导电型 SiC 衬底市场目前主要被美国、日本企业占据。根据 Yole 数据, 2018 年全球导电型 SiC 衬底厂商中, 美国 Wolfspeed (Cree) 占比 62%, 美国 II-VI (贰陆/高意) 占比 16%, 德国 SiCrystal (2009 年被日本罗姆收购) 占比 12%, 美国 DOW (陶氏化学) 占比 4%。中国厂商天科合达占比 1.7%, 天岳先进占比 0.5%, 排名全球第 6-7 名。

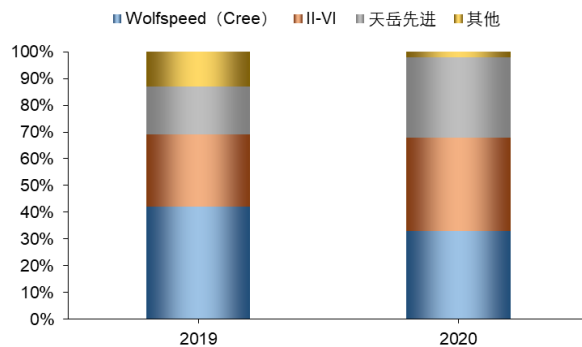
半绝缘型 SiC 衬底市场目前主要被美国、中国企业占据。2020 年全球半绝缘型 SiC 衬底厂商中, 美国 II-VI 占比 35%, 美国 Wolfspeed (Cree) 占比 33%, 中国厂商天岳先进占比 30%, 全球排名第 3。

图表 88: 2018 年全球导电型 SiC 衬底厂商市占率



资料来源: Yole, 五矿证券研究所

图表 89: 2019-2020 年全球半绝缘型 SiC 衬底厂商市占率



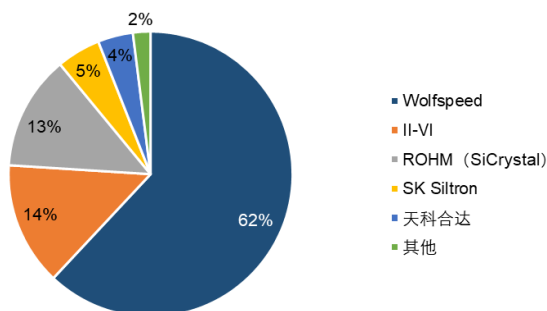
资料来源: Yole, 五矿证券研究所

根据 Wolfspeed 数据, 全球 SiC 衬底厂商中, Wolfspeed 占比 62%, 排名第 1; II-VI 占比 14%, 排名第 2; ROHM (SiCrystal) 占比 13%, 排名第 3; 中国厂商天科合达占比 4%, 排名第 5。CR3 占比达到 89%, 市场集中度高。

SiC 晶圆尺寸目前以 4-6 英寸为主, 为了降低 SiC 衬底成本, 将逐步向 8 英寸升级, 以 32mm² 的 SiC 晶粒为例, 6 英寸晶圆能产出 448 颗晶粒, 8 英寸晶圆能产出 845 颗晶粒, 产量提升 88.6%, 同时晶圆边缘芯片比例从 14% 降到 7%。因此, 随着 SiC 晶圆尺寸增大, 单片晶圆产量更高, 边缘浪费率更低, 整体提升了 SiC 产能和效率。

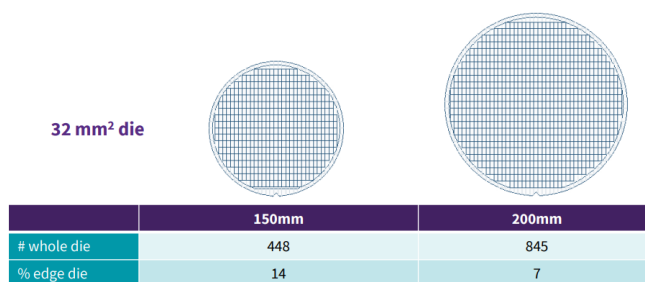
对比国内外 SiC 衬底发展水平, 国外已达到 8 英寸水平, Wolfspeed 已成功研发并投建 8 英寸产品生产线, II-VI 已成功研制 8 英寸导电型 SiC 衬底, Soitec 也宣称发布了首片 8 英寸 SiC 衬底; 国内目前还处于 6 英寸水平及以下, 计划在十四五期间突破 8 英寸衬底关键技术。

图表 90: 全球 SiC 衬底厂商市占率



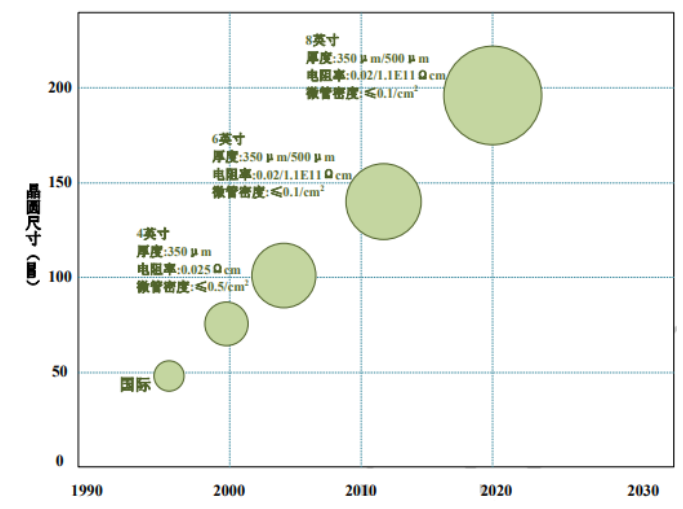
资料来源: Wolfspeed, Yole, 五矿证券研究所

图表 91: 6 英寸与 8 英寸 SiC 晶圆生产效率对比



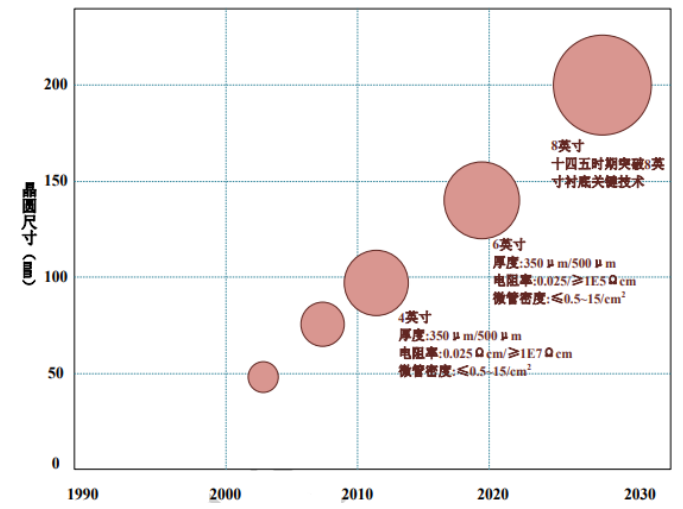
资料来源: Wolfspeed, 五矿证券研究所

图表 92: 国外 SiC 衬底技术进展



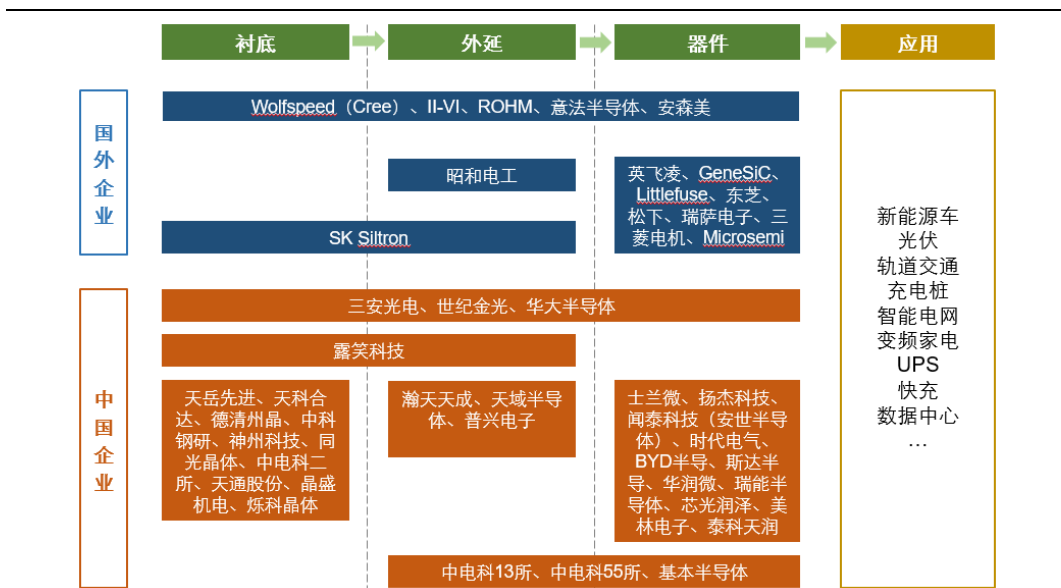
资料来源: CASA, 五矿证券研究所

图表 93: 国内 SiC 衬底技术进展



资料来源: CASA, 五矿证券研究所

图表 94: SiC 产业链主要厂商



资料来源: 天科合达招股书, 各公司官网, 各公司公告, 五矿证券研究所

SiC 衬底制备技术包括 PVT 法 (物理气相传输法)、溶液法和高温气相化学沉积法等, 目前商用 SiC 单晶生长均采用 PVT 法。SiC 半导体晶片材料核心参数包括微管密度、位错密度、电阻率、翘曲度、表面粗糙度等。稳定量产各项性能参数指标波动幅度较低的高品质 SiC 晶片的技术难度很大, 主要体现在:

- 1) 生长温度高。SiC 晶体需要在 2300°C 以上的高温环境中生长, 且在生产中需要精确调控生长温度, 控制难度极大, Si 生长温度为 1600°C;
- 2) 生长速度慢。SiC 7 天才能生长 2cm 左右, 而硅棒拉晶 2-3 天即可拉出约 2m 长的 8 英寸硅棒;
- 3) 晶体类型多。SiC 存在 200 多种晶体结构类型, 其中六方结构的 4H 型 (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硅碳比、生长温度梯度、晶体生长速率以及气流气压等参数, 否则容易产生多晶型夹杂, 导致产出的晶体不合格;

4) 扩径难度大。气相传输法下, SiC 晶体生长的扩径技术难度极大, 随着晶体尺寸的扩大, 其生长难度工艺呈几何级增长;

5) 材料硬度高。SiC 莫氏硬度为 9.2-9.6, 与金刚石接近, 切割、研磨、抛光技术难度大, 工艺水平的提高需要长期的研发积累。

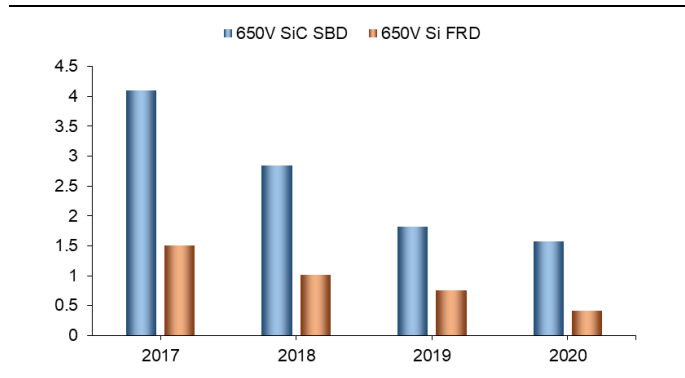
由于 SiC 晶体生长速率慢、制备技术难度较大, 导致大尺寸、高品质 SiC 衬底生产成本依旧较高, 产量低、价格高成为制约 SiC 大规模应用推广的主要因素。根据 CASA 数据, 近年来 SiC SBD 和 SiC MOSFET 器件呈现逐步下降趋势, 并且与 Si FRD 和 Si IGBT 器件的价格差也在缩小。

650V SiC SBD vs Si FRD: 2017-2020 年 SiC SBD 价格由 4.1 元/A 下降至 1.58 元/A, 降幅达 61.5%。价格差则由 2.6 元/A 下降至 2.97 元/A;

1200V SiC SBD vs Si FRD: 2017-2020 年 SiC SBD 价格由 6.55 元/A 下降至 3.83 元/A, 降幅达 41.5%。价格差则由 4.55 元/A 下降至 1.16 元/A;

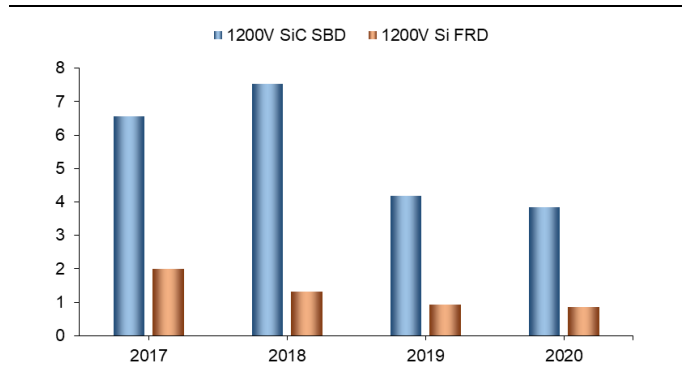
650V SiC MOSFET vs Si IGBT: 2017-2020 年 SiC MOSFET 价格由 3.44 元/A 下降至 1.92 元/A, 降幅达 44.2%; 同时与 Si IGBT 相比, 价格差从 3.11 元/A 下降至 1.39 元/A, 价格倍数从 10.4 倍下降至 3.6 倍, 价格差距逐步缩小。此外, 2019-2020 年, 650V/900V/1200V/1700V 的 SiC MOSFET 价格都呈下降趋势, 分别下降了 13%、2%、27.62%、33.4%。

图表 95: 2017-2020 年 650V SiC SBD 和 Si FRD 价格 (元/A)



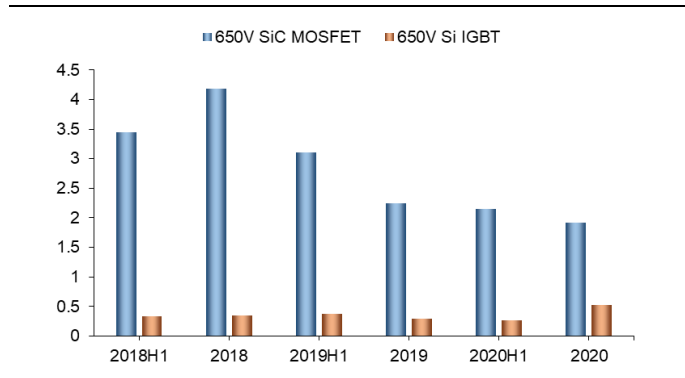
资料来源: CASA, 五矿证券研究所

图表 96: 2017-2020 年 1200V SiC SBD 和 Si FRD 价格 (元/A)



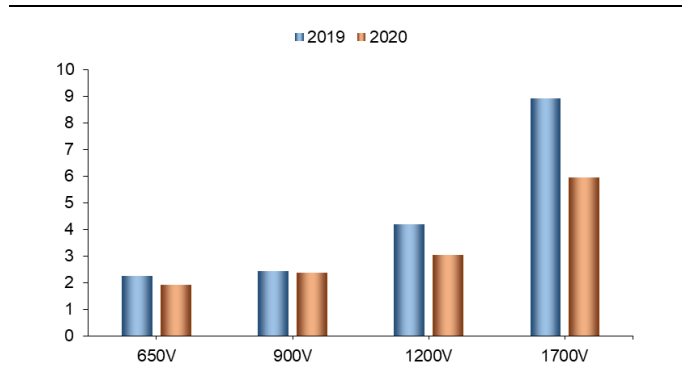
资料来源: CASA, 五矿证券研究所

图表 97: 2018-2020 年 650V SiC MOSFET 和 Si IGBT 价格 (元/A)



资料来源: CASA, 五矿证券研究所

图表 98: 2020 年 SiC MOSFET 平均价格 (元/A)



资料来源: CASA, 五矿证券研究所

我们认为, 未来 SiC 价格有望继续下探, 主要原因在于:

- 1) 全球 SiC 衬底厂商扩产，增加产能供给，衬底价格下降，带动器件成本下降；
- 2) SiC 制备技术不断提升，带动良率提升；
- 3) 晶圆尺寸向 6 英寸、8 英寸升级，单片晶圆产量增加、边缘浪费率降低、边际成本降低；
- 4) 产能陆续建设投产，行业竞争加剧，引发价格进一步下降。

根据 CASA 关于 Si IGBT 和 SiC MOSFET 价格走势，未来几年 Si IGBT 和 SiC MOSFET 都将呈下降趋势。

1) Si IGBT: 根据我们推算，1 辆电动车 Si IGBT 器件价格为 340 美元/辆。Si IGBT 已经大规模应用在电动车中，且由于需求旺盛，供给吃紧，因此缺货状态仍将持续至 2023 年，所以我们判断 Si IGBT 价格 2022-2023 年将保持基本稳定，2024-2025 年将有所下降，但是下降空间有限，预计年均下降幅度为 5-10%。

2) SiC MOSFET: 根据我们推算，1 辆电动车 SiC 器件价格为 1005 美元/辆，对应消耗 0.5 片 6 英寸 SiC 晶圆。由于 SiC MOSFET 目前成本较高，在电动车种渗透率很低，因此为了大规模应用，价格下降就成为最重要的影响因素，同时 Wolfspeed、II-VI、ROHM (SiCrystal)、天岳先进、晶盛机电、露笑科技、三安光电等全球 SiC 厂商均有扩产计划，因此我们判断 SiC MOSFET 价格下降速度较快，预计 2022-2025 年年均下降幅度为 10-20%，其中 2022-2023 年较慢，2024-2025 年由于技术精进、各厂商扩产计划陆续投产、稼动率提升，因此下降速度较快。

总体而言，我们判断未来几年，IGBT 仍然是逆变器主流器件，随着 SiC 成本进一步下降，电动车电池电量增加，SiC 逆变器渗透率将逐步提升，但是仍处于供不应求的局面，未来几年电动车功率半导体行业仍将保持高景气度状态。

国外厂商中，Wolfspeed 公司的 SiC 晶片供应量位居世界第一，能够批量供应 4 英寸至 6 英寸导电型和半绝缘型 SiC 晶片，且已成功研发并投建 8 英寸产品生产线；II-VI 公司的 SiC 晶片供应量位居世界第二，能够提供 4 至 6 英寸导电型和半绝缘型晶片，并已成功研制 8 英寸导电型 SiC 晶片；德国 SiCrystal (2009 年被日本罗姆收购) 生产的 SiC 衬底主要用于罗姆公司生产各种 SiC 器件，主要生产 4-6 英寸导电 SiC 衬底。中国厂商中，天岳先进主要产品是 4 英寸半绝缘型碳化硅衬底，6 英寸半绝缘型和 6 英寸导电型衬底已形成小批量销售，是全球第三大半绝缘型衬底供应商，在导电型 SiC 衬底领域，公司 6 英寸产品已送样至多家国内外知名客户，并于 2019 年中标国家电网的采购计划；天科合达能批量供应 2-6 英寸各种类型的 SiC 衬底。

3、投资建议

3.1 投资观点

在全球“双碳”背景下，绿色能源的推广普及成为了时代大趋势。对于汽车行业来说，从传统燃油方式转变成电动方式出行已成为各个国家以及各大型车企的共识，汽车行业电动化趋势势不可挡，在这一趋势下，汽车电子行业孕育出新的变化、新的机会。在汽车电子行业中，我们认为功率半导体作为最受益的细分赛道，将充分享受行业变革带来的新机遇。

在从燃油车向电动车升级过程中，功率半导体价值量从 88 美元/辆增长至 459 美元/辆，增幅高达 421.6%，价值量大幅提升。其中 IGBT 作为逆变器等核心零部件，直接负责将动力电池

直流电转换成交流电供电机使用，是电动车能够正常行驶的重要保证，因此相关厂商将充分分享行业红利。

此外，为了提高电动车充电时间，动力电池平台将逐渐从 400V 向 800V 及以上升级，与此带来的是 SiC 的新机遇，作为第三代半导体的代表，SiC 由于在击穿场强、饱和电子漂移速率、热导率等性能指标上具有明显优势，在 800V 及以上电压情况下，比 IGBT 器件能量损耗低，封装尺寸小，能实现高频开关，并且耐高温、散热能力强，因此从性能上更适合 800V 及以上电压，但是由于 SiC 衬底生长速率慢、制备技术难度较大，导致大尺寸、高品质 SiC 衬底产量低、成本高，根据我们推算，6 英寸 SiC 衬底价值量为 1000 美元，随着技术升级，Wolfspeed、II-VI、ROHM (SiCrystal)、天岳先进、晶盛机电、露笑科技、三安光电等全球主要厂商陆续扩产，未来 SiC 成本将有望持续降低，SiC 渗透率将稳步提升。

功率半导体往往采用特色工艺制造，不追求先进制程，中国相对而言自主化程度较高，目前已涌现出斯达半导、时代电气、BYD 半导、天岳先进、三安光电等众多优秀功率半导体企业。中国作为电动车最大市场，本土厂商在成本、本地化服务等方面具有先天优势，随着国内功率半导体厂商技术升级、扩产产能逐步释放，未来有望加速导入车企并不断扩大市场份额。

3.2 建议关注

IGBT: 斯达半导;

SiC: 天岳先进, 三安光电。

3.2.1 斯达半导 (603290.SH)

公司主营业务是以 IGBT 为主的功率半导体芯片和模块的设计研发、生产及销售，2021 年上半年，IGBT 模块的销售收入占公司主营业务收入的 95% 以上，在 2020 年全球 IGBT 模组厂商排名第 6，占比 2.8%，是唯一进入前 10 的中国厂商，主要下游应用包括工业控制和电源行业、新能源、变频白色家电等行业。受益于公司产品在新能源汽车、光伏发电、风力发电、储能等行业持续快速放量，2021 年公司实现营收 17.1 亿元，YoY+77.2%；归母净利润 4.0 亿元，YoY+120.5%；毛利率 36.7%，净利率 23.4%。

公司此前定增 35 亿元已经成功募资发行，其中高压特色工艺功率芯片研发及产业化项目将形成年产 30 万片 6 英寸高压特色工艺功率芯片生产能力；SiC 芯片研发及产业化项目将形成年产 6 万片 6 英寸 SiC 芯片生产能力；功率半导体模块生产线自动化改造项目将形成新增年产 400 万片的功率半导体模块的生产能力。我们认为，公司此次定增，意义不仅在于扩产和新产品研发，从 Fabless 向 IDM 模式转换也使得公司能够在行业缺芯背景下实现产能自主可控，更有利于公司产品技术迭代升级以及技术 know-how 的积累，增强公司核心竞争力，从而在新能源车、光伏等行业大发展背景下实现高成长。

3.2.2 天岳先进 (688234.SH)

公司主要产品为公司主要产品是 4 英寸半绝缘型碳化硅衬底，6 英寸半绝缘型和 6 英寸导电型衬底已形成小批量销售，不具备 8 英寸衬底的量产能力。2021H1 半绝缘型衬底收入占比 77.6%，导电型衬底收入占比 0.25%，是全球第三大半绝缘型衬底供应商。在导电型 SiC 衬底领域，公司 6 英寸产品已送样至多家国内外知名客户，并于 2019 年中标国家电网的采购计划。2021 年公司实现营收 4.9 亿元，YoY+16.3%；归母净利润 0.9 亿元，同比增加 7.3 亿元；毛利率 28.4%，净利率 18.2%。

公司 IPO 的碳化硅半导体材料项目，计划募资 20 亿元，总投资 25 亿元，用于 SiC 衬底扩产，将形成年产导电型 SiC 晶锭 2.6 万块，对应衬底产品 30 万片的生产能力，预计 2026 年 100% 达产，目前厂房封顶，产品主要用于新能源汽车，轨道交通以及大功率输电变电等领域。我们认为，公司 IPO 扩产导电型 SiC 衬底，将有望充分受益新能源车、轨交等领域的快速发展，在 SiC 供不应求的背景下，公司发展有望驶入快车道。

3.2.3 三安光电 (600703.SH)

公司主要从事化合物半导体材料与器件的研发与应用，以砷化物、氮化物、磷化物及碳化硅等化合物半导体新材料所涉及的外延片、芯片为核心主业，下游客户主要为 LED 封装企业及化合物半导体集成电路设计公司。2021 年公司实现营收 125.7 亿元，YoY+48.7%；归母净利润 13.1 亿元，YoY+29.2%；毛利率 22.2%，净利率 10.4%。

LED 产业正处于结构性调整阶段，Mini/Micro LED 作为新一代核心显示技术，有望成为下一轮 LED 技术发展的重要趋势。Mini LED 相比于传统 LCD 具有更高的显示亮度、均匀性和动态范围，显示效果提升明显；相比于 OLED 具有更低的成本、更长的使用寿命，并且能够有效避免烧屏风险，未来主要面向 Mini LED 背光以及较高清晰度的 Mini LED 显示。Micro LED 具备自发光、高效率、低功耗、高集成、高稳定性、全天候工作等优良特性，有望成为下一代革命性显示技术。公司于 9 月 30 日发布定增公告，目前已审核通过，计划募集资金总额不超过 79 亿元，重点用于湖北三安光电有限公司 Mini/Micro 显示产业化项目，项目达产后，将建设形成 Mini/Micro LED GaN 芯片、Mini/Micro LED GaAs 芯片、4K 显示屏用封装三大产品系列的研发生产基地；项目达产后，新增 GaN Mini/Micro LED 芯片 161 万片/年、GaAs Mini/Micro LED 芯片 75 万片/年（均以 4 寸为当量片）和 4K 显示屏用封装产品 8.4 万台/年的生产能力。

第三代半导体方面，截止 2021 年底，碳化硅 MOSFET 工业级产品已送样客户验证，车规级产品正配合多家车企做流片设计及测试；碳化硅 MOSFET 车规级与新能源汽车重点客户的合作已经取得重大突破。湖南三安长沙项目已于 6 月 23 日点火，业务涵盖衬底材料、外延生长、晶圆制造及封装测试等环节，打造了国内第一条、全球第三条 SiC 垂直整合产业链，项目总投资高达 160 亿元，产能 3 万片/月 6 英寸 SiC 晶圆。

4、风险提示

- 1、新能源车等下游需求不及预期；
- 2、IGBT 行业竞争加剧、车规级产品导入不及预期；
- 3、SiC 扩产、技术研发进度不及预期。

分析师声明

作者在中国证券业协会登记为证券投资咨询(分析师),以勤勉的职业态度,独立、客观地出具本报告。作者保证:(i)本报告所采用的数据均来自合规渠道;(ii)本报告分析逻辑基于作者的职业理解,并清晰准确地反映了作者的研究观点;(iii)本报告结论不受任何第三方的授意或影响;(iv)不存在任何利益冲突;(v)英文版翻译若与中文版有所歧义,以中文版报告为准;特此声明。

投资评级说明

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;香港市场以恒生指数为基准;美国市场以纳斯达克综合指数或标普500指数为基准。	股票评级	买入	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报在20%及以上;
		增持	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报介于5%~20%之间;
		持有	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报介于-10%~5%之间;
		卖出	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报在-10%及以下;
		无评级	预期对于个股未来6个月市场表现与基准指数相比无明确观点。
	行业评级	看好	预期行业整体回报高于基准指数整体水平10%以上;
		中性	预期行业整体回报介于基准指数整体水平-10%~10%之间;
		看淡	预期行业整体回报低于基准指数整体水平-10%以下。

一般声明

五矿证券有限公司(以下简称“本公司”)具有中国证监会批复的证券投资咨询业务资格。本公司不会因接收人收到本报告即视其为客户,本报告仅在相关法律许可的情况下发放,并仅为提供信息而发放,概不构成任何广告。本报告的版权仅为本公司所有,未经本公司书面许可,任何机构和个人不得以任何形式对本研究报告的任何部分以任何方式制作任何形式的翻版、复制或再次分发给任何其他人。如引用须联络五矿证券研究所获得许可后,再注明出处为五矿证券研究所,且不得对本报告进行有悖原意的删节和修改。在刊载或者转发本证券研究报告或者摘要的同时,也应注明本报告的发布人和发布日期及提示使用证券研究报告的风险。若未经授权刊载或者转发本报告的,本公司将保留向其追究法律责任的权利。若本公司以外的其他机构(以下简称“该机构”)发送本报告,则由该机构独自为此发送行为负责。

本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断,本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入或将产生波动;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;本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时,本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改,投资者应当自行关注相应的更新或修改。

本报告的作者是基于独立、客观、公正和审慎的原则制作本研究报告。本报告的信息均来源于公开资料,本公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证,也不保证所包含信息和建议不发生任何变更。本公司已力求报告内容的客观、公正,但文中的观点、结论和建议仅供参考,不包含作者对证券价格涨跌或市场走势的确定性判断。在任何情况下,报告中的信息或意见不构成对任何人的投资建议,投资者据此做出的任何投资决策与本公司和作者无关。在任何情况下,本公司、本公司员工或者关联机构不承诺投资者一定获利,不与投资者分享投资收益,也不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。本公司及作者在自身所知范围内,与本报告中所评价或推荐的证券不存在法律法规要求披露或采取限制、静默措施的利益冲突。

五矿证券版权所有。保留一切权利。

特别声明

在法律许可的情况下,五矿证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易,也可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。因此,投资者应当考虑到五矿证券及其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突,投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一参考依据。

联系我们

上海	深圳	北京
地址:上海市浦东新区东方路69号裕景国际商务广场A座2208室 邮编:200120	地址:深圳市南山区滨海大道3165号五矿金融大厦23层 邮编:518035	地址:北京市海淀区首体南路9号4楼603室 邮编:100037

Analyst Certification

The research analyst is primarily responsible for the content of this report, in whole or in part. The analyst has the Securities Investment Advisory Certification granted by the Securities Association of China. Besides, the analyst independently and objectively issues this report holding a diligent attitude. We hereby declare that (1) all the data used herein is gathered from legitimate sources; (2) the research is based on analyst's professional understanding, and accurately reflects his/her views; (3) the analyst has not been placed under any undue influence or intervention from a third party in compiling this report; (4) there is no conflict of interest; (5) in case of ambiguity due to the translation of the report, the original version in Chinese shall prevail.

Investment Rating Definitions

The rating criteria of investment recommendations		Ratings	Definitions
The ratings contained herein are classified into company ratings and sector ratings (unless otherwise stated). The rating criteria is the relative market performance between 6 and 12 months after the report's date of issue, i.e. based on the range of rise and fall of the company's stock price (or industry index) compared to the benchmark index. Specifically, the CSI 300 Index is the benchmark index of the A-share market. The Hang Seng Index is the benchmark index of the HK market. The NASDAQ Composite Index or the S&P 500 Index is the benchmark index of the U.S. market.	Company Ratings	BUY	Stock return is expected to outperform the benchmark index by more than 20%;
		ACCUMULATE	Stock relative performance is expected to range between 5% and 20%;
		HOLD	Stock relative performance is expected to range between -10% and 5%;
		SELL	Stock return is expected to underperform the benchmark index by more than 10%;
		NOT RATED	No clear view of the stock relative performance over the next 6 months.
	Sector Ratings	POSITIVE	Overall sector return is expected to outperform the benchmark index by more than 10%;
		NEUTRAL	Overall sector expected relative performance ranges between -10% and 10%;
CAUTIOUS		Overall sector return is expected to underperform the benchmark index by more than 10%.	

General Disclaimer

Minmetals Securities Co., Ltd. (or "the company") is licensed to carry on securities investment advisory business by the China Securities Regulatory Commission. The Company will not deem any person as its client notwithstanding his/her receipt of this report. The report is issued only under permit of relevant laws and regulations, solely for the purpose of providing information. The report should not be used or considered as an offer or the solicitation of an offer to sell, buy or subscribe for securities or other financial instruments. The information presented in the report is under the copyright of the company. Without the written permission of the company, none of the institutions or individuals shall duplicate, copy, or redistribute any part of this report, in any form, to any other institutions or individuals. The party who quotes the report should contact the company directly to request permission, specify the source as Equity Research Department of Minmetals Securities, and should not make any change to the information in a manner contrary to the original intention. The party who re-publishes or forwards the research report or part of the report shall indicate the issuer, the date of issue, and the risk of using the report. Otherwise, the company will reserve its right to taking legal action. If any other institution (or "this institution") redistributes this report, this institution will be solely responsible for its redistribution. The information, opinions, and inferences herein only reflect the judgment of the company on the date of issue. Prices, values as well as the returns of securities or the underlying assets herein may fluctuate. At different periods, the company may issue reports with inconsistent information, opinions, and inferences, and does not guarantee the information contained herein is kept up to date. Meanwhile, the information contained herein is subject to change without any prior notice. Investors should pay attention to the updates or modifications. The analyst wrote the report based on principles of independence, objectivity, fairness, and prudence. Information contained herein was obtained from publicly available sources. However, the company makes no warranty of accuracy or completeness of information, and does not guarantee the information and recommendations contained do not change. The company strives to be objective and fair in the report's content. However, opinions, conclusions, and recommendations herein are only for reference, and do not contain any certain judgments about the changes in the stock price or the market. Under no circumstance shall the information contained or opinions expressed herein form investment recommendations to anyone. The company or analysts have no responsibility for any investment decision based on this report. Neither the company, nor its employees, or affiliates shall guarantee any certain return, share any profits with investors, and be liable to any investors for any losses caused by use of the content herein. The company and its analysts, to the extent of their awareness, have no conflict of interest which is required to be disclosed, or taken restrictive or silent measures by the laws with the stock evaluated or recommended in this report.

Minmetals Securities Co. Ltd. 2019. All rights reserved.

Special Disclaimer

Permitted by laws, Minmetals Securities Co., Ltd. may hold and trade the securities of companies mentioned herein, and may provide or seek to provide investment banking, financial consulting, financial products, and other financial services for these companies. Therefore, investors should be aware that Minmetals Securities Co., Ltd. or other related parties may have potential conflicts of interest which may affect the objectivity of the report. Investors should not make investment decisions solely based on this report.

Contact us

Shanghai

Address: Room 2208, 22F, Block A, Eton Place, No.69 Dongfang Road, Pudong New District, Shanghai
 Postcode: 200120

Shenzhen

Address: 23F, Minmetals Financial Center, 3165 Binhai Avenue, Nanshan District, Shenzhen
 Postcode: 518035

Beijing

Address: Room 603, 4F, No.9 Shoutinan Road, Haidian District, Beijing
 Postcode: 100037