



CASA

第三代半导体产业技术创新战略联盟  
China advanced semiconductor industry  
innovation alliance

# 第三代半导体产业发展报告

2023

第三代半导体产业技术创新战略联盟

2024年4月

## 前言

伴随半导体产业逐渐复苏，以及电动汽车、新能源、消费类电子、5G 通信等应用市场的需求带动，2023 年第三代半导体产业保持高速增长态势。

2023 年，国际上以龙头企业为代表，不断开发领先技术、加快迭代新产品、持续扩张产能、强化供应链合作，并通过整合并购等策略，逐步建立起相对明朗的竞争格局。市场方面，2023 年全球碳化硅（SiC）、氮化镓（GaN）功率电子市场规模约 30.7 亿美元，电动和混合动力汽车（EV/HEV）市场占比约 70%，是核心市场驱动力。射频电子（GaN RF）市场规模约为 15 亿美元，其中电信基础设施是第一大应用市场，占比超过 50%。供给方面，SiC 功率电子投资热情持续，2023 年全球新增投资约 260 亿美元。射频电子因 5G 通信基础设施建设进程放缓，产能产线趋于稳定。LED 光电子领域仍以 Mini/Micro-LED 为主要投资和扩产方向。龙头企业通过供应链合作、整合并购，建立“SiC+GaN”双业务引擎。企业格局方面，SiC 衬底环节，Wolfspeed、Coherent 市场占比全球领先；功率电子器件环节 ST、Infineon、Onsemi、Wolfspeed、Rohm 等五大家，市场总占比达到 82%，行业头部格局确立。射频电子领域，Sumitomo、Qorvo、Macom（收购 Wolfspeed 射频业务）、NXP、RFHIC 等全球领先，五大家市场总占比达到 71%。技术进展方面，8 英寸 SiC 衬底、外延加快开发；液相法晶体生长技术、复合衬底技术、激光切割技术等促进成本降低；

除全 SiC 模块之外，SiC MOSFET 和 Si IGBT 的融合模块设计受到关注；基于 GaN 衬底的极性超结 GaN FET 耐压达到万伏；发布集成双 GaN 开关管的 AHB 半桥芯片；3D 堆叠技术为制备 12 英寸 GaN-on-Si 晶圆提供新路径。开发出基于 SiC 和蓝宝石衬底的 N-face 结构 W 波段的射频器件；推出基于 8 英寸技术的 GaN-on-Si 功率放大器。

国内来看，2023 年第三代半导体技术和产业化加快发展。市场方面，SiC 和 GaN 功率电子器件模块市场约 153.2 亿元，同比增长 45%，国产产品主要以光伏逆变、消费电子应用为主，电动汽车主逆变器市场开始逐步渗透。射频电子（GaN RF）器件模块市场约 102.9 亿元，同比增长 16.2%。LED 器件市场 782.2 亿元，同比微增 0.5%。供给方面，功率电子生产活跃，射频电子趋于稳定，LED 光电子领域除 Mini/Micro-LED 外，其他方向缓慢复苏。2023 年国内 SiC 衬底产量 75 万片、外延产量 65 万片、芯片器件产量 40 万片（以上均折合 6 英寸）；资本市场持续活跃，投融资热情仍然高涨，新增 SiC 投资增长 44%，金额超千亿，多家企业完成或正在 IPO。企业格局方面，功率电子领域，头部企业优势愈发凸显，竞争梯队逐步形成；射频电子领域格局相对稳定，产品国产化率超 30%；LED 行业进入成熟期，竞争格局确定。产业化技术方面，SiC 8 英寸衬底基本完成验证，开始小批量供货；国产 SiC MOSFET 新品同比翻倍增加，新能源汽车主驱开始验证应用；推出 4 引脚 TO-247-4L GaN 功率器件；推出开关频率 MHz1000w GaN 功率模块电源。开发出 Si 基 GaN 低压射频器件，拓展手机终端应用可能；推出 0.25 $\mu$ m 和 0.15 $\mu$ m GaN MMIC 代

工业务。LED 无荧光粉照明实现了整灯光效 100lm/W；Micro-LED 红光芯片效率达到 15%（20\*40 $\mu\text{m}$ @20 $\mu\text{A}$ ）；量产 UVC LED 芯片电光转化效率超过 5%。

总体来看，2023 年第三代半导体产业取得显著进步。国产 SiC 衬底、外延均进入国际供应链体系，行业投融资与扩产热情不减，头部企业加快与国际巨头的合作，产业格局在逐步形成中。另一方面，国际车企龙头暂缓电动车战略、国内 SiC 投资过热且分散、同质化产品价格过度竞争等现象，对行业健康、可持续发展提出挑战。展望 2024 年，随着国内宏观经济整体复苏预期增强，第三代半导体技术对新质生产力的支撑作用日益增强，产业发展动力持续强劲。

# 目 录

前 言.....	I
<b>一、形势与政策 .....</b>	<b>1</b>
(一) 相关产业发展态势 .....	1
(二) 半导体产业相关政策.....	1
<b>二、市场应用 .....</b>	<b>4</b>
(一) 功率电子 .....	4
1、总体市场规模 .....	4
2、重点细分应用 .....	6
(二) 射频电子 .....	11
1、总体市场规模 .....	11
2、重点细分应用 .....	11
(三) 光电子 .....	12
<b>三、生产供给 .....</b>	<b>14</b>
(一) 功率电子 .....	14
1、总体产值 .....	14
2、投融资与扩产 .....	17
3、整合并购 .....	21
(二) 射频电子 .....	24
1、总体产值 .....	24
2、投融资与扩产 .....	24
3、整合并购 .....	26
(三) 光电子 .....	26
1、总体产值 .....	26
2、投融资与扩产 .....	28

3、整合并购 .....	29
<b>四、企业格局 .....</b>	<b>32</b>
<b>(一) 功率电子 .....</b>	<b>32</b>
1、重点企业 .....	32
2、竞争格局 .....	35
<b>(二) 射频电子 .....</b>	<b>38</b>
1、重点企业 .....	38
2、竞争格局 .....	39
<b>(三) 光电子 .....</b>	<b>40</b>
1、重点企业 .....	40
2、竞争格局 .....	42
<b>五、技术进展 .....</b>	<b>44</b>
<b>(一) 功率电子 .....</b>	<b>44</b>
1、SiC 功率电子 .....	44
2、GaN 功率电子 .....	49
<b>(二) 射频电子 .....</b>	<b>52</b>
<b>(三) 光电子 .....</b>	<b>52</b>
<b>六、其他 .....</b>	<b>55</b>
<b>(一) 装备及原材料进展 .....</b>	<b>55</b>
<b>(二) 超宽禁带进展 .....</b>	<b>57</b>
<b>(三) 标准进展 .....</b>	<b>58</b>
<b>七、发展展望 .....</b>	<b>59</b>
<b>八、释义 .....</b>	<b>61</b>
<b>附件 2023 年第三代半导体产业大事记 ( Top 10 ) .....</b>	<b>62</b>

## 一、形势与政策

### （一）相关产业发展态势

全球半导体产业开始复苏。根据世界半导体贸易统计组织（WSTS）相关数据，在持续低迷一年后，2023年第4季度全球半导体元件销售额环比增长8.4%，同比增长11.6%，增强了2024年半导体行业发展的信心。先进制程技术方面，主流制造商已经开始大规模生产5nm芯片，3nm技术也在研发中。新材料与新设计的应用推动半导体技术持续革新。如在特定需求领域，硅基材料逐渐被更高效的宽禁带材料、锗硅合金、碳纳米管等所替代；新的设计方法，如三维堆叠技术正在被用来增加芯片密度和复杂性。伴随半导体行业整体进入上升周期，第三代半导体作为其重要组成部分，进入快速发展期。

新能源汽车与光储充等产业快速发展。据集邦咨询（TrendForce）数据，2023年全球新能源车销量为1303万辆，同比增长29.8%，但较2022年54.2%的增速有明显下滑。国际能源署《2023年可再生能源》报告显示，2023年全球可再生能源新增装机容量达510GW，太阳能光伏占其中四分之三（约383GW）。另据集邦新能源（EnergyTrend）数据2023年全球储能新增装机可达35GW-78GWh，同比增长70%-85%。应用产业的蓬勃发展带动第三代半导体产品加快渗透，并创造出广阔市场空间。

### （二）半导体产业相关政策

发达经济体持续强化本地产业链扶持政策。美国持续完善《芯片法案》的政策框架，明晰补贴细节和限制条款，并正式启动针对先进

制程和成熟节点半导体制造的补贴申请程序。《欧洲芯片法案》提出在 2030 年前汇集欧盟机构和各成员国 111.5 亿欧元公共投资，促进半导体关键技术产业化，带动私营企业投资，目标是到 2030 年将欧盟芯片产量全球份额由 10% 提高到 20%。韩国国会通过《K-Chip 法案》提高半导体企业税收减免率来刺激投资。此外，该计划还提出截至 2026 年将向包括芯片、电池、机器人、电动汽车和生物技术等领域投资 550 万亿韩元（约 2.97 万亿人民币），将首都圈打造成世界最大半导体制造基地。日本经产省在 2023 年也提出为进一步推动国产化、增加企业销售额，官方与民间在今后 10 年向半导体及相关部件材料领域追加 10 万亿日元规模投资（约 8059 亿元人民币）。各国政府对本土产业链建设的财政政策如能兑现，将有助于龙头企业进一步降低成本，巩固其市场优势。

**美日继续升级或扩大对华半导体出口管控。**2023 年 5 月，日本经产省公布了《外汇法》法令修正案，将先进芯片制造设备等 23 个品类追加列入出口管理的管制对象。2023 年 10 月，美国商务部工业和安全局（BIS）发布了针对芯片的出口禁令新规，进一步对先进算力涉及到的计算架构、关键 IP、先进封装、关键先进材料、新型存储器等领域进行管制，可能限制我国获取人工智能、新能源汽车等领域的先进芯片。美日半导体管制措施可能对我国半导体先进制程产生不利影响，但第三代半导体由于对先进制程要求较低，且国产化正在加速，短期内受影响较小。

**我国对镓、锗、石墨等物项实施出口管制。**2023 年，中国商务部



宣布分别从 8 月 1 日起和 12 月 1 日起对镓、锗等半导体关键原材料及特定石墨物项实施出口管制。此次出口管制，一方面体现了国内统筹发展和安全的管制理念，是对美日等出口管控政策的一种对等反制，有利于更好维护国家安全和利益。另一方面，由于上述物项出口占比较大，管制政策导致国内相关原材料出口受阻，GaN 衬底、外延企业营收受累，业绩表现较差，交货周期的增加迫使海外用户寻求替代方案，以减轻对华依赖。

## 二、市场应用

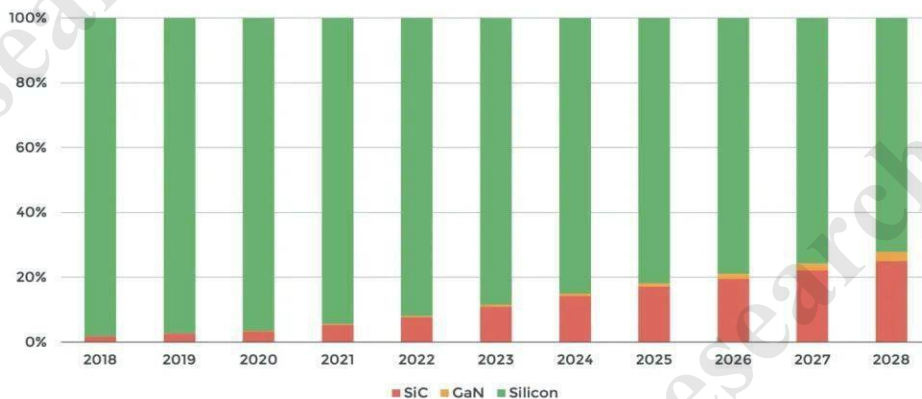
2023 年，受益于电动汽车、光储充、消费电源、5G 通信基础设施等应用市场的带动，国内第三代半导体功率电子器件模块市场达 153.2 亿元，以新能源汽车应用为主要驱动力，同比增长 45%；射频电子器件模块市场达 102.9 亿元，在通信基础设施建设带动下，较 2022 年同比增长 16.2%。LED 器件市场为 782.2 亿元，同比微增 0.5%。

### （一）功率电子

#### 1、总体市场规模

全球来看，综合 Yole、Trendforce 数据，2023 年全球 SiC、GaN 功率电子市场约 30.7 亿美元，其中，电动和混合动力汽车(EV/HEV) 市场占比约 70%，是核心市场驱动力。另据 Yole 测算，全球功率半导体器件市场将从 2023 年的约 230 亿美元快速增长到 2028 年的 333 亿美元，其中 SiC 和 GaN 功率电子总体市场占比有望达到 32%，规模约 109.5 亿美元。

图表 1、2018-2028 年 Si、SiC、GaN 功率电子市场

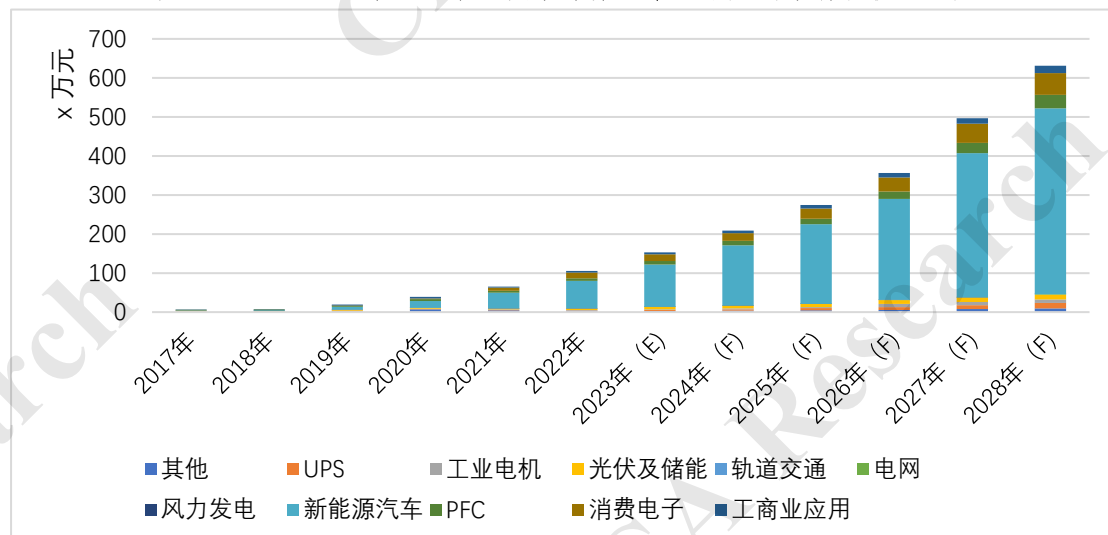


资料来源：Yole

国内方面，据 CASA Research 统计，2023 年国内 SiC、GaN 功

率器件模组市场规模约为 153.2 亿元，同比增长 45%。第三代半导体在功率电子领域渗透率超过 12%，开始进入高速增长阶段。

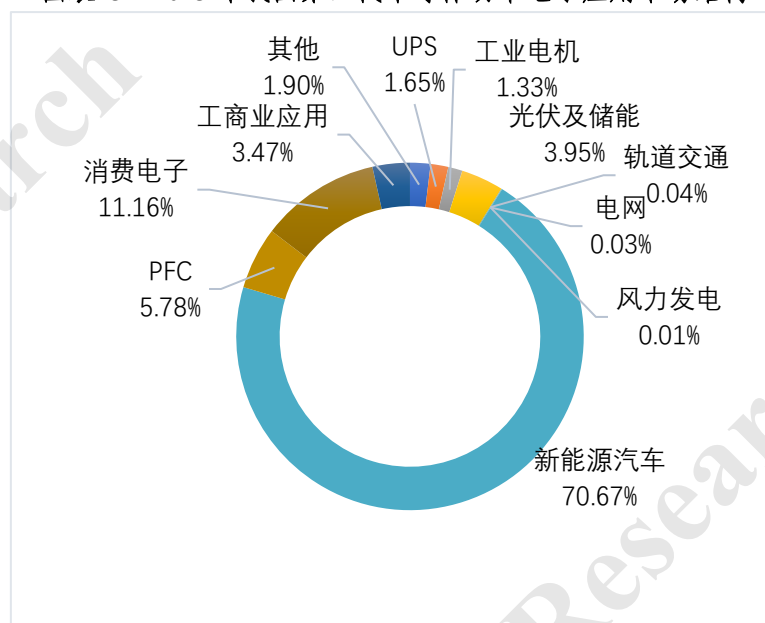
图表 2、2017-2027 年我国第三代半导体功率电子应用市场规模（亿元）



数据来源：CASA Research

国内市场中，新能源汽车（包括充电基础设施）是第三代半导体功率电子最大的应用领域，整体市场占比 70.67%。其次是消费类电源和 PFC，分别占比是 11.16%和 5.78%。

图表 3、2023 年我国第三代半导体功率电子应用市场结构



数据来源：CASA Research

## 2、重点细分应用

### (1) 车用第三代半导体功率器件市场约 104 亿元

根据中国汽车工业协会数据，2023 年，我国新能源汽车产销分别完成 958.7 万辆和 949.5 万辆，同比分别增长 35.8% 和 37.9%，市场占有率达到 31.6%。CASA Research 据此预测，2023 年，国内新能源汽车用 SiC、GaN 器件模组市场约 104.1 亿元。预计到 2027 年这一市场将达到 347.3 亿元。但随着奔驰、奥迪、宝马、福特等车企放缓电动汽车战略，该市场出现一定发展变数。

**800V 高压平台规模应用，加速 SiC 功率器件上车。**据 CASA Research 统计，2023 年全球近 35 家车企共推出了 50 多款支持 800V 高压平台的车型，主流价位在 20-30 万元/辆，且“800V+SiC”基本成为高端电动汽车标配。800V 高压平台下，采用 SiC 功率器件不仅可使综合效率提升 6%-8%，且可实现高速快充体验，如 1200V 和 1700V SiC 器件可实现在 7.5 分钟内充电 80%以上。除此之外，电压平台从 400V 提升到 800V 后，电动汽车核心三电系统以及 DC-DC、OBC 等部件都需要在 800V 甚至更高电压下正常工作，新装充电桩也需要同时适配 400V 和 800V。

图表 4、市场搭载 SiC 功率电子的重点车型统计

厂家	车型
特斯拉	已上市车型：Model 3、Model Y、Model X Plaid、Model S Plaid
蔚来	已上市车型：ES8、ES6、EC6、ET7、ET5、ES7、EC7、ET5T
理想	待上市车型：MEGA
小鹏	已上市车型：G9、G6
极氪	已上市车型：极氪 001、极氪 009、极氪 X、极氪 001 FR
	待上市车型：极氪 CS1E、极氪 007
华为	已上市车型：智界 S7、阿维塔 12

	待上市车型：问界 M9
小米	待上市车型：SU7
比亚迪	已上市车型：唐 EV、汉 EV、海豹、仰望 U8
	待上市车型：方程豹豹 5、仰望 U9
上汽	已上市车型：智己 LS6
现代	已上市车型：Genesis GV60、Genesis G8、IONIQ 5、Genesis GV70 EV、IONIQ 6
	待上市车型：IONIQ 7、Genesis X
起亚	已上市车型：起亚 EV6
	待上市车型：起亚 EV9
大众	已上市车型：保时捷 Taycan、奥迪 e-tron GT
	待上市车型：保时捷 Macan、奥迪 RS6（2025 年改版）
奔驰	已上市车型：smart 精灵#1
丰田	已上市车型：Prius、MIRAI、bZ4X、雷克萨斯 RZ
福特	已上市车型：野马 Mach-E
路特斯	已上市车型：ELETRE
	待上市车型：EMEYA

数据来源：新出行，盖世汽车网，CASA Research 整理

## （2）充电基础设施用第三代半导体功率器件市场超 4 亿元

根据中国充电联盟数据，2023 年，国内充电基础设施增量为 338.6 万台，同比上升 30.6%。其中公共充电桩增量为 92.9 万台，同比上升 42.7%，随车配建私人充电桩增量为 245.8 万台，同比上升 26.6%，桩车增量比为 1:2.8。据此测算，2023 年，国内用于充电基础设施的第三代功率电子市场约 4.2 亿元，预计到 2027 年将达 21.8 亿元。

高压直流快充为 SiC 功率电子创造市场机会。直流快充和交流慢充分别适用于公用充电站与家庭车位应用场景。尽管目前交流慢充仍然贡献充电桩市场大部分增量，但直流快充新增装机量复合年均增长率（CAGR）高于交流慢充桩。随着电动车对续航里程要求的不断提高，市场对补能速度提出更高的要求，直流快充占比日渐提升。在直流快充中，相较于大电流方案（需要配备成本更高液冷方案），热

损耗更小的高电压方案或成为主流选择。高压快充可以降低系统能耗，减少线束成本和重量，提升整车续航里程。随着高端电动车型从400V电压平台升级至800V电压平台，直流快充桩电压也需提升到800V-1000V，所用功率器件耐压则需提高到1200V，因此，SiC功率电子将获得更多市场机会。

图表 5、2023 国内部分 SiC 充电桩产品进展

企业	产品	详情
欧陆通	充电模块	采用 SiC 技术的 75KW 液冷超充电源模块，宽电压输出 200-1000V、宽电压输入 260V-530V，可实现半载 97%，满载 96.5% 的高效率。
优优绿能		已推出 40kW、60kW SiC 液冷充电模块产品，其中 40KW SiC 模块最高转换效率可达 97%。
盛弘股份		SiC MOS 的 50kW 充电模块，最高效率超过 97%，支持最大 133.3A 电流稳定输出，支持 50-1000V 超宽电压输出范围。
钛芯电子		应用 SiCtron™ 功率器件，可以将充电桩充电效率提高到 96%。
南方电网	充电桩	采用 SiC 技术，其充电桩充电峰值效率达 96%，充电场站能耗下降 11%，平均 20 个桩可节省 2.5 万度电/年。
巨湾技研		采用 SiC 充电桩技术，项目总体规划产能为 8Gwh/年，具备为 12 万辆新能源汽车实现配套的能力。项目预计 2023 年三季度试产，2025 年全面建成。
威胜		联手三安研发 SiC 充电桩，项目已完成试点。以 120kW 充电桩为例，普通充电桩充电效率为 93%，占地面积为 0.4m，该项目 SiC 充电桩充电效率可达 97%，占地面积减少至 0.3m。

数据来源：CASA Research 整理

### (3) 光伏与储能用第三代半导体功率器件市场超过 6 亿元

根据国家能源局数据，2023 年全国新增光伏装机 216.88GW，同比增长 148%；2023 年全国新型储能新增装机规模约 2260 万千瓦/4870 万千瓦时，较 2022 年底增长超过 260%。随着光伏、储能产业的迅速

扩张，光伏和储能逆变器市场也呈现高速发展态势。据此测算，2023年我国光伏逆变器全年出货量约 433GW，光伏和储能市场用第三代半导体功率电子市场约 6.05 亿元，预计到 2027 年，该领域将超过 10 亿元，年均增速约 16%。

大功率，组串式光伏逆变器，微型逆变器及新兴储能市场是 SiC 功率电子另一主要应用，但受光伏产品价格持续下跌影响，总体市场规模不大。“100kW（及以上）+组串式逆变器”已成为光伏平价上网的新引擎，整体出货量逐年增长。为适应 100kW 以上功率要求，光伏电站电压等级从 1000V 提升至 1500V 以上，耐高压的 SiC 功率电子将在此类大功率逆变器中大展身手。目前逆变器的 DC/DC 升压电路、DC/AC 逆变电路中主要有 Si IGBT+ SiC SBD 和 SiC MOSFET 两类解决方案，其中 Si IGBT+ SiC SBD 混合方案更具性价比。在 5kW 及以下住宅用微型逆变器市场，GaN 功率电子则更具竞争力，其不仅能显著改善整体转换效率，有效降低光电转换成本，还可建构体积更小、重量更轻、更可靠的逆变器。光储融合的趋势带动第三代功率电子在储能逆变器市场的应用。为提高风、光等可再生能源的消纳水平，进行削峰填谷，实现发电稳定、提高电网品质，储能技术和产业快速发展，由此带动储能逆变器需求增长，为第三代半导体功率电子带来市场机遇。

#### **（4）消费类电源用第三代半导体功率器件市场约 17.1 亿元**

根据相关数据统计，2023 年，国内主要消费类电子产品（包括智能手机、平板电脑、笔记本电脑、显示器和电动工具等）出货量超过

12 亿部/台，其中第三代半导体功率电子主要应用智能手机、平板电脑等快充电源。据此测算，2023 年，国内消费类电源用第三代半导体功率器件模组市场约为 17.1 亿元，预计到 2028 年将达到 55.5 亿元，年均复合增长率约 26.5%。

GaN 功率电子仍以中小功率的消费类快充和适配器为主要应用。随着消费电子电池容量密度逐渐接近极限，在电池容量不变，耗电速度加快情况下，快充成为越来越多人的选择。快充技术最早突破手机市场，逐步覆盖到了平板电脑、笔记本电脑、显示器、电动工具等领域。目前在 35-140W 主流功率段 GaN 已经逐步取代硅基 Cool MOS。当前，GaN 功率电子在这一市场的主流应用还是低压、小功率产品，以耐压 200V，功率 200W 及以下产品居多。

图表 6、2023 年国内相关消费类电源出货量

市场领域	出货量	数据来源
智能手机	11.46 亿	国家统计局
平板电脑	0.28 亿	洛图科技
笔记本电脑	0.59 亿	Canalys
显示器	0.25 亿	洛图科技
电动工具	1.66 亿	国家统计局

数据来源：CASA Research 整理

伴随 GaN 功率电子耐压水平提升至 650V 以上，更高功率的应用市场将被开启。数据中心和 5G 基站电源管理、新能源汽车中的 DC-DC 低压电源管理和车载电源（OBC）以及微型逆变器都是 GaN 功率电子旨在争取的应用领域。



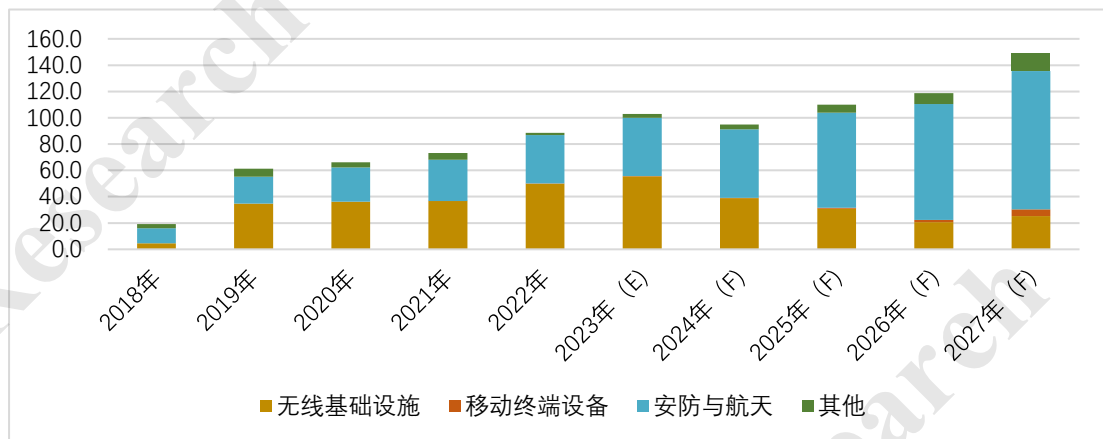
## （二）射频电子

### 1、总体市场规模

全球来看，根据 Yole 数据，2023 年全球 GaN 射频电子（GaN RF）市场规模约为 15 亿美元，较 2022 年同比增长 8.4%。其中，电信基础设施是第一大应用市场，占比超过 50%，其次是国防应用，正在迅速发展的卫星通信也为 GaN 射频电子的应用提供了新动力。

国内市场方面，根据工信部数据，截至 2023 年底，我国 5G 基站总数达 337.7 万个，较 2022 年增加 106 万个。据此测算，2023 年国内 GaN 射频器件模组市场规模为 102.9 亿元，较 2022 年同比增长 16.2%。其中，无线基础设施是带动 GaN 射频电子市场增长的主要驱动力，市场规模约为 59 亿元，整体市场占比达 57.3%；非民用的国防与航天应用 2023 年整体市场占比约 42.7%，其他为射频能量、卫星通信等市场。

图表 7、2018-2027 年我国 GaN 射频器件应用市场规模（亿元）



数据来源：CASA Research

### 2、重点细分应用

#### （1）无线基础设施市场规模约为 59 亿元

5G mMIMO 建设是 GaN RF 应用的第一驱动力。随着 5G 基站

建设正在从 2×2 MIMO 模型向 64×64 大规模 MIMO (mMIMO) 过渡，并用有源天线系统 (AAS) 取代远程无线电头 (RRH)，需要增加更多的功率放大器 (PA) 数量，同时 PA 还需处理不断增加的数据流量，降低功耗，为此 SiC 基的 GaN RF 在 sub6GHz 乃至 7GHz 频段赢得了 80% 以上的市场机会。由于 5G 毫米波和 6G 要求更高频率和更低功耗，在这一应用方向上，Si 基 GaN RF 会有应用机会，但也面临 SiGe 和 InP 等其他材料的激烈竞争。

### (2) 国防和航空航天市场占比约为 43%

雷达、机载和船载等应用带动国防市场中 GaN RF 的发展。由于具有优越的功率和频率特性，GaN RF 在国防市场中被广泛采用。特别是在机载雷达系统等高功率场景中，GaN RF 可有效解决散热问题。国防市场中，雷达和机载系统设备数量较多，将继续主导该市场，预计未来几年随着船载系统的增加也将带动 GaN RF 应用的增长。

### (3) 卫星通信、射频能量等市场有望增长

卫星通信应用正在成为 GaN RF 新的市场增长动能。在 SpaceX 公司“星链计划”带动下，卫星通信技术和应用快速发展。GaN RF 因为更高的频率、效率以及更大的功率，可为卫星通信提供从 L/C/X 频段到 Ku/Ka 频段更高的数据传输速率，从而实现更流畅的卫星信息交互，这一应用市场有望为 GaN RF 提供新增长动能。其次，微波炉、射频脉冲肿瘤消融/热疗、汽车点火等射频能量市场也在稳步发展中。

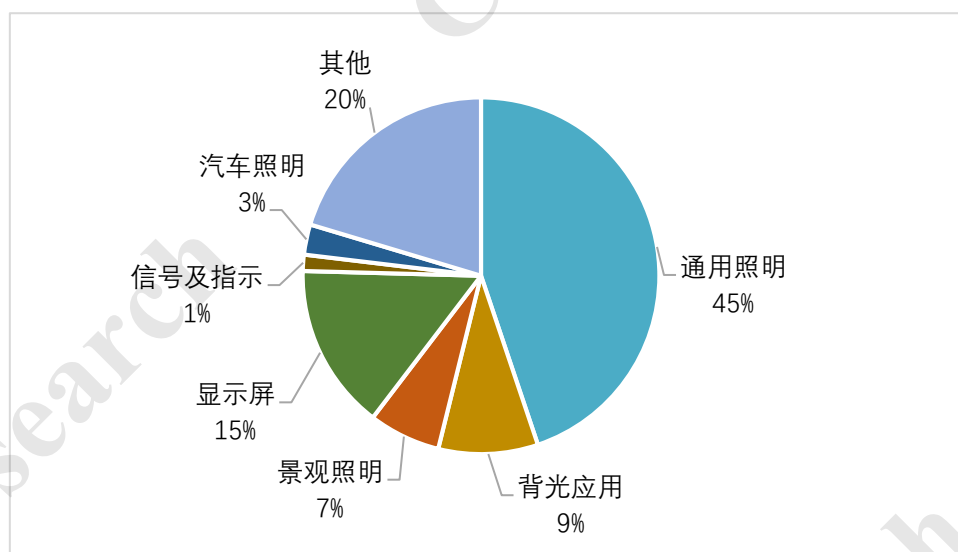
### (三) 光电子

目前，第三代半导体光电子领域最为成熟的应用是 LED，本报告

重点介绍国内 LED 市场进展。

第三代半导体光电子领域最为成熟的应用是 LED，由于应用端需求复苏缓慢，LED 器件市场 782.2 亿元，同比微增 0.5%。从细分市场来看，通用照明仍是最大的市场，整体市场占比 45%，其中高光品质器件占比不断提升；LED 显示市场上半年持续下行，到了下半年内需及出口市场均有所回暖，全年呈现微增态势，市场占比 15%；受 Mini-LED 背光产品渗透率提升的带动，背光市场小幅增长，占比 9%；车用 LED 市场是增长亮点，国产化 LED 器件及车灯替代率迅速提升，Mini/Micro-LED 在自适应大灯、贯穿式尾灯、氛围灯开始导入，多款搭载 Mini-LED 车载显示的国产新能源汽车已经上市。

图表 8、2023 年我国 LED 细分市场占比



数据来源：CASA Research

激光器是第三代半导体光电子领域发展热点之一。随着相关技术进步，在第三代半导体激光器在高速通信、智能驾驶、激光显示等领域的应用逐步增加。据 CASA Research 粗略估算，2023 年我国 GaN 激光器的市场规模约为 2 亿元，预计到 2028 年将增长到 4.6 亿元。

### 三、生产供给

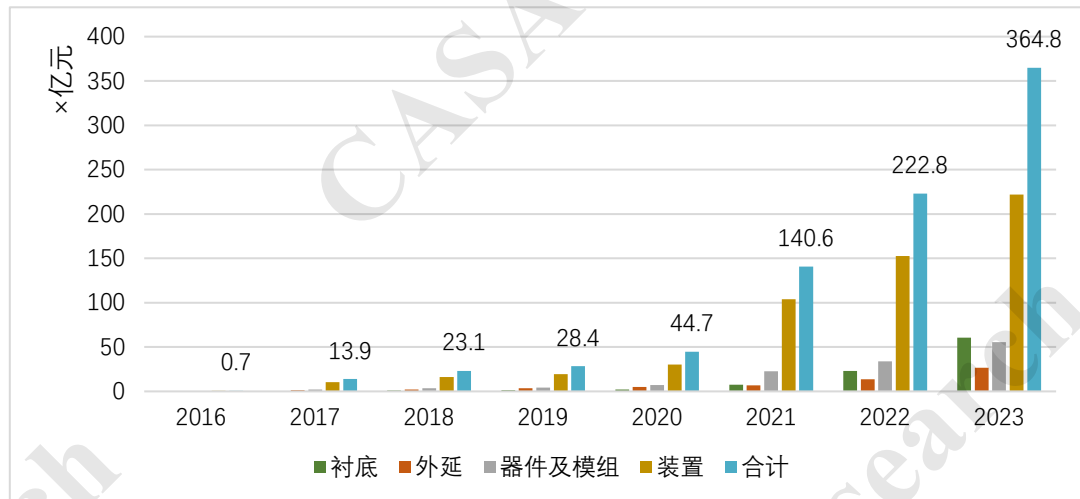
2023 年国内 SiC 和 GaN 功率电子总产值达到 364.8 亿元；GaN 射频电子产值为 71.8 亿元；LED 光电子产值为 6578 亿元。功率电子方面，领先的 SiC 衬底和外延企业已经进入国际大厂供应链，产品品质和供货能力得到进一步认可；GaN IDM 大厂出货量和营收全球领先。另一方面，行业投资扩产热情也持续高涨，特别是 SiC 功率电子的受关注度最高，进入企业日益增加，新增项目投资超过千亿元，全球占比达 58%，引起过度投资担心。伴随前期产能释放，2023 年 SiC 衬底和二极管价格大幅下降，行业出现过度竞争现象。射频电子方向，由于受到国际贸易纷争影响，国产产品获得应用机会，市场占有率超过 30%。光电子 LED 方向，中国已经是全球最大的 LED 生产、出口国，2023 年我国 LED 照明产品出口额为 433 亿美元，以 LED 为主营业务的上市公司超过 50 家。

#### （一）功率电子

##### 1、总体产值

2023 年，国内 SiC 与 GaN 功率电子总产值达 364.8 亿元，同比增长 63.7%。其中，衬底约 60.5 亿元，外延约 26.7 亿元，器件及模组约 55.5 亿元，装置约 222 亿元。随着市场高速增长，前几年部署的产能开始逐步释放，衬底增速最快，超过 163.7%，外延增速 96.9%，器件及模组增速 63.9%。

图表 9、2016-2023 年我国 SiC、GaN 电力电子产值规模（亿元）



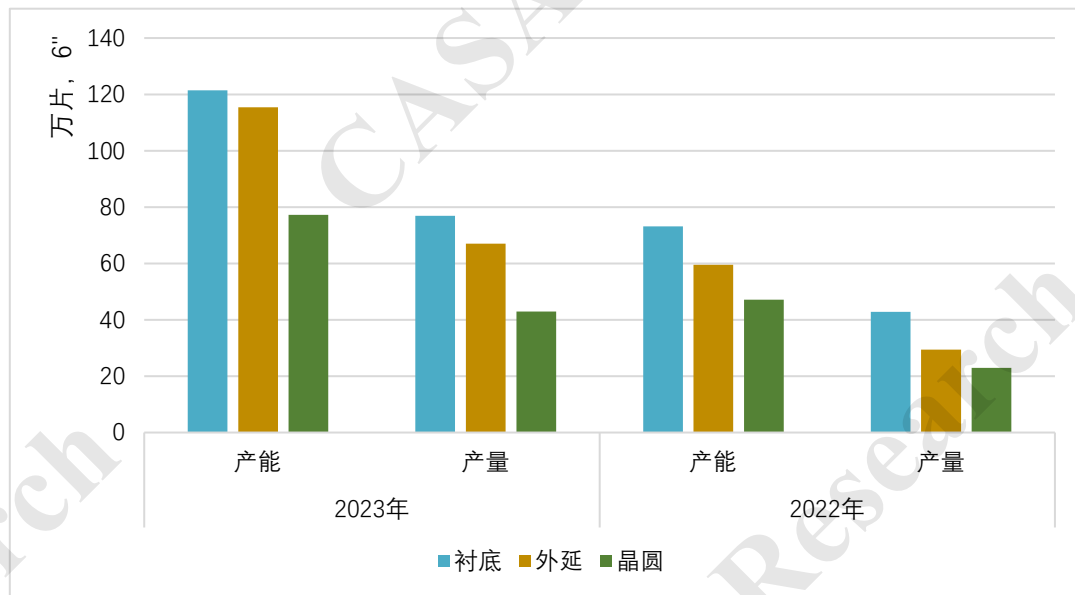
资料来源：CASA Research<sup>1</sup>

国内 SiC 规划产能较多，产品价格开始下跌。据 CASA Research 统计，2023 年国内 SiC 衬底产量 75 万片、外延产量 65 万片、芯片器件产量 40 万片（以上均折合 6 英寸），规划产能（折合 6 英寸）约 300 万片，与 2022 年相比，衬底、外延、芯片器件制造各环节规划产能分别较上年增长了 66%、93%和 63%。但目前由于达产率、良率等问题，有效和稳定产能供给仍显不足。未来几年，伴随有效产能释放，国内用于功率电子的 SiC 产量将大幅提升，或导致产品价格下跌，2023 年 SiC 衬底已经出现 20%-30%的较大幅度下降，SiC 二极管价格更是有低于成本价格进行销售的现象，对尚在快速发展中的行业可能造成不良影响。

1. 由于增加了统计机构数量，并根据 2022 年企业财报，将 2022 年我国第三代半导体功率电子产值向上修正为 222.8 亿元。

2. 由于对 5G 部署情况估计相对乐观，2023 年实际进展不及预期，将 2022 年我国第三代半导体射频电子产值向下修正为 61 亿元。

图表 10、2023 年国内 SiC 产业各环节产能及产量



资料来源：CASA Research

国内 SiC 材料竞争力增强，晶圆制造能力有待提升。随着材料龙头产能相继释放，进入国际供应链，以及持续扩产，我国在 SiC 材料端的竞争力将不断加强。但在晶圆制造环节，我国尚处于追赶阶段。目前国内器件产品仍以二极管为主，SiC MOSFET 产品在产品代际、产品良率、品质管控、量产能力等方面与国际先进水平仍有差距。国产 SiC 功率电子产品目前主要应用于光伏储能、充电基础设施等领域，电动汽车主驱应用开始量产。

**GaN 功率电子产能保持增长态势。** GaN 功率电子除了在快充市场突飞猛进外，在新能源汽车、光伏、数据中心等市场逐步开始渗透，应用前景看好。为此，过去的一年国内生产产线仍保持扩张态势，其中外延产能达到 66 万片/年（折合 6 英寸），用于功率电子的外延约为 38.7 万片/年，芯片器件产品为 34.9 万片/年，分别较 2022 年增长 40%和 38%。

## 2、投融资与扩产

### (1) SiC 投资热情持续，8 英寸是扩产重点

基于对 SiC 功率电子市场前景的乐观预期，行业投资扩产热情持续高涨。据 CASA Research 不完全统计，2023 年全球公开披露的 SiC 相关扩产项目 121 起，披露的总投资金额高达 260 亿美元。其中，国内扩产项目 97 起。

图表 11、重点 SiC 衬底企业产能规划



资料来源：CASA Research 整理

**8 英寸仍是龙头扩产重点，但产业化不及预期。** SiC 功率电子大规模应用的关键是具有竞争力的成本和稳定的供应量，为此业界将 8 英寸作为主要实现手段。2023 年国内外有超过 11 家企业宣布了 8 英寸 SiC 材料扩产计划。从 Yole 数据来看，2023 年，SiC 衬底出货量中 8 英寸仅占 2%，规模量产仍在缓慢推进中。从现状看，SiC 从 6 英寸向 8 英寸过渡，工艺上仍面临扩径生长问题、温场控制问题、晶体切磨抛，以及晶圆加工的一致性、稳定性、良率等挑战。目前，行业生产仍以 6 英寸主，8 英寸产能释放有限，但随着上述的问题的突破，8 英寸规模量产将助力 SiC 功率电子器件成本快速降低，对应用市场拓展形成有力推动。

## **(2) 国内 SiC 投资增长 44%，金额超千亿**

**SiC 投资热情持续，金额超千亿元。** 据 CASA Research 不完全统计，国内 97 起 SiC 功率电子扩产项目中，新建项目 64 起，45 个项目披露的投资总额达 1047.6 亿元，较 2022 年增长约 44%。值得关注的是，天岳先进将上海临港工厂 6 英寸 SiC 衬底生产规模扩大至每年 96 万片；三安光电与 ST 合资，在重庆投资 32 亿美元（约 220 亿元）建设 8 英寸 SiC 外延与芯片代工厂。同时，三安光电还将单独投资 70 亿元在重庆建设 8 英寸 SiC 衬底工厂。根据 CASA Research 预测，到 2027 年，国内宣布的衬底产能将占全球产能 40% 以上，行业出现 SiC 过度投资，重复投资的担心。



图表 12、2023 年国内部分重点 SiC 功率电子扩产项目

序号	企业	项目	地区	环节	金额 (亿元)
1	天岳先进	SiC 半导体材料项目	上海	衬底	25
2	晶盛机电	SiC 衬底片项目	绍兴	衬底	21.2
3	世纪金光	年产 70 万片 6-8 英寸碳化硅单晶衬底项目	包头	衬底	34.57
4	三安光电	8 英寸 SiC 衬底制造厂项目	重庆	衬底	70
5	高金富恒集团	SiC 半导体产业基地项目	广州	衬底	25
6	海纳半导体	SiC 单晶生产基地项目（一期）	太原	衬底	25
7	湖南迪佩斯	年产 36 万片碳化硅衬底项目	焦作	衬底	20
8	三安光电、ST	8 英寸 SiC 合资制造厂项目	重庆	外延/芯片	228.2
9	深圳嘉力丰正	特色工艺晶圆制造项目	丽水	芯片	51
10	杰平方半导体	第三代半导体厂房项目	香港	器件/模块	64.4
11	株洲中车时代电气	中低压功率器件产业化（宜兴）一期建设项目	宜兴	器件/模块	58.26
12	株洲中车时代电气	中低压功率器件产业化（株洲）建设项目	株洲	器件/模块	52.93
13	清研半导体	SiC 单晶材料及装备项目	苏州	材料	50
14	盛吉盛	武汉碳化硅项目	武汉	材料	20
15	安世半导体	安世半导体封测厂扩建项目	东莞	封测	30

资料来源：CASA Research 整理

### （3）GaN 市场拓展缓慢，新增投资不超百亿

GaN 功率电子市场拓展较慢，企业扩产动力不足，2023 年新增投资不足百亿元。据 CASA Research 不完全统计，2023 年公开披露的 GaN 功率电子扩产项目 22 起，其中，国内拟新建项目 11 起，披露投资金额为 53.8 亿元。新增项目中，器件模块项目占比较多，金额占比达到 58.7%。

图表 13、2023 年国内重点 GaN 功率电子相关扩产项目

序号	企业	项目	地区	环节	金额 (亿元)
1	上海格晶半导体	8 英寸 GaN 功率器件产线项目	上饶	器件/模块	25
2	镓谷半导体	GaN 外延片项目	福州	外延	10
3	立国芯微电子	GaN/SiC 项目	济宁	芯片	7

4	天狼芯半导体	天狼芯一功率三代半封装测试基地	台州	器件/模块	6
5	江西中科半导体	江西中科半导体硅基氮化镓项目	吉安	外延	2
6	精发半导体	新一代半导体材料氮化镓外衬底及晶圆再生项目	抚州	外延	2
7	纳安半导体	氮化镓单晶衬底项目	江苏	衬底	1.2
8	华研伟福科技（珠海横琴）	福建 SiC/GaN 项目	福建	器件/模块	0.6
9	珠海方唯成半导体	GaN 自支撑衬底项目	珠海	衬底	—
10	西安电子科技大学、新加坡 ICCT	氮化镓器件和集成电路先进封装技术研究中心项目	广东	器件/模块	—
11	芯干线	碳化硅和氮化镓高功率器件项目	南京	器件/模块	—

资料来源：CASA Research 整理

#### （4）资本市场活跃，国内多家企业筹备 IPO

国内企业融资频发，多个企业成功或正在 IPO。由于国际上第三代半导体龙头企业多数已是上市公司，因此 IPO 案例较少。国内第三代半导体功率和射频产业处于快速成长期，随着应用需求日益旺盛，投资扩产需求增加、行业资金充裕，多个企业成功或正在启动 IPO。据 CASA Research 统计，2023 年全球第三代半导体功率电子领域融资事件 89 起，披露的总金额约 640 亿元，其中国内 78 起，数量占比达到 87.6%，披露金额占比达 68.7%，约 440 亿元，相较于 2022 年披露的 63.2 亿元大幅增长。相关融资企业中，有 71% 的企业已经度过 A 轮及前期融资，部分企业已完成上市或者正在筹备 IPO。此外，2023 年还有多个大笔融资案例，如积塔半导体融资 135 亿元、士兰微融资 49.6 亿元、长飞先进融资超 38 亿元，三安光电获股东增资 100 亿元。投资商除各大金融机构外，国家大基金和地方产业基金也积极参与其

中，下游整机厂也纷纷加入，特别是新能源汽车企业热情高涨。国内第三代功率半导体企业整体融资情况乐观。

图表 14、2023 年国内以第三代功率电子为主营业务的公司 IPO 情况

产业链环节	企业	IPO 进程
衬底	天岳先进	已上市
	天科合达	已问询
	同光股份	IPO 辅导
外延	瀚天天成	已问询
	天域半导体	已问询
IDM	瑞能半导体	IPO 辅导
装备	纳设智能	IPO 辅导
	优晶科技	IPO 辅导
	芯三代	IPO 辅导
配套材料	志橙半导体	已问询

资料来源：CASA Research 整理

### 3、整合并购

据 CASA Research 不完全统计，第三代半导体功率电子领域相关并购事件 13 起，已披露金额超过 30 亿美元，较 2022 年的 9.18 亿美元大幅增加。其中，国内仅有 2 起。

#### (1) 国际龙头建立“SiC+GaN”双业务引擎

为抢占市场先机，同时保障供应链安全，国际上多家头部企业通过整合并购建立“SiC+GaN”的双业务发展模式。功率电子领域，ST 并购 Exagan, Infineon 收购 GaN Systems, Navitas 并购 Genesic, Qorvo 并购 UnitedSiC。通过建立双业务模式，龙头企业拓展了第三代功率半导体产品组合，实现了从电压等级几十伏到几千伏，功率等级几十万瓦到兆瓦级应用场景的全覆盖，增强了市场竞争能力。

国内产业处于成长期，尚未进入大规模整合并购阶段。相较近两

年国际巨头将整合并购作为企业发展的重要战略举措，国内第三代半导体功率电子产业尚处于成长期，企业规模整体较小，尚未进入整合并购阶段。2023 年主要并购项目是扬杰科技增加对楚微半导体股权的收购，最终持有楚微半导体 70% 股权，扩大发展其 SiC 业务。

## (2) 战略合作强化，保障供应链安全

下游用户与上游器件厂商建立长期供货协议。基于对功率电子市场高速增长的信心，以及对前期半导体芯片普遍短缺的担心，各大用户企业纷纷通过战略合作绑定产能供给，确保供应链安全。除研发合作外，企业之间基于产能的合作更加频繁，其中大部分是下游用户与器件厂商的供货协议，Infineon 因尚未整合衬底厂，主要是与全球主流材料供应商达成 SiC 衬底和外延产能合作。

图表 15、2023 年各主流厂商产能合作情况

序号	企业 1	企业 2	详情
1	ST	ZF Grou	签署多年 SiC 器件供应协议
		BorgWarner	供应第三代 750V SiC 功率 MOSFET 芯片
2	Infineon	Resonac	多年供应和合作协议
		天科合达	签订了 SiC 衬底和晶锭长期协议
		天岳先进	签订了 SiC 衬底和晶锭长期协议
		SolarEdge	供应 SiC/GaN 太阳能产品
3	Wolfspeed	Mercedes-benz	供应 SiC 器件
		Mersen	签署长期供货协议
		SGL Carbon	签署长期供货协议
		Renesas Electronics	签署 10 年 SiC 晶圆供应协议
4	Onsemi	Volkswagen	SiC 产品用于大众牵引逆变器解决方案
		Ampt	在光伏储能领域达成 SiC 合作
		极氪	签署 SiC 功率器件长期供应协议
		BorgWarner	签订 10 亿美元 SiC 合同
		Vitesco Technologies	达成 SiC 长期供应协议
		Magna International	达成一项长期供应协议
5	Rohm	BMW	签署长期供货协议
		Vitesco Technologies	达成 10 亿美元 SiC 产品长期供应协议

6	Hitachi	吉利汽车	提供 RoadPak™功率模块
7	DENSO、Mitsubishi Electric	Coherent	各出资 5 亿美元投入 Coherent SiC 子公司，该公司向 DENSO、Mitsubishi Electric 提供 SiC 衬底、外延
8	Infineon	Stellantis	签订超 10 亿欧元合同

资料来源：CASA Research 整理

车企纷纷布局第三代功率电子业务。2020 年以来，越来越多的整车企业开始布局第三代半导体功率电子业务。国际上整车企业与半导体供应商还是以战略合作为主，国内车企则结合各家芯片研发需求及战略需求，分别采取车企自研、建立合资公司或联合研发，以及战略投资功率半导体企业的三种模式，布局第三代半导体功率电子。车企自研可确保供货，验证及时，但也存在重资金投入，且需要面对功率半导体高技术壁垒的难题，因此采取此种模式的企业较少。多数车企采取与芯片厂建立合资公司或开展联合研发的方式，该模式下双方可实现优势互补，从而取得最高的效率和产品质量，同时对车企来说整体风险相对较小，已成为目前多数车企的选择。车企战略投资功率半导体企业也是当前一种主要模式，既可减少车企的投资风险，又可充分发挥半导体企业的自由度，及时布局领先产品。

图表 16、国内车企布局第三代功率电子业务的主要模式

模式	企业	布局	领域
自研	比亚迪	子公司比亚迪半导体	SiC 外延、SiC 器件/模块
	蔚来	SiC 功率模块工艺实验线	SiC 器件/模块
合资	上汽集团	与英飞凌合资成立上汽英飞凌	IGBT 模块、SiC 器件/模块
		与上海微技术工业研究院成立上海汽车芯片工程中心	车规级芯片
	吉利汽车	与芯聚能等合资成立芯粤能	SiC 芯片
	东风汽车	与中车时代合资成立智新半导体	IGBT 模块
	一汽集团	一汽基金领投与亿马先锋合资组建亿马半导体	IGBT 和 SiC 模块
	理想汽车	与三安半导体设立合资公司	SiC 芯片、SiC 模块
投资	广汽集团	与中车时代合资成立广州青蓝半导体有限公司	IGBT 模块
		瀚薪科技、瞻芯电子	SiC 芯片

上汽集团	积塔半导体、瞻芯电子、瀚薪科技、比亚迪半导体、天岳先进	SiC 衬底、SiC 器件/模块、IGBT
长城汽车	同光股份	SiC 衬底
小鹏汽车	天岳先进、瞻芯电子	SiC 衬底、SiC 器件/模块
华为	瀚天天成、东微半导体、特思迪、天岳先进、北京天科合达	SiC 衬底、SiC 外延、SiC 器件/模块

资料来源：CASA Research 整理

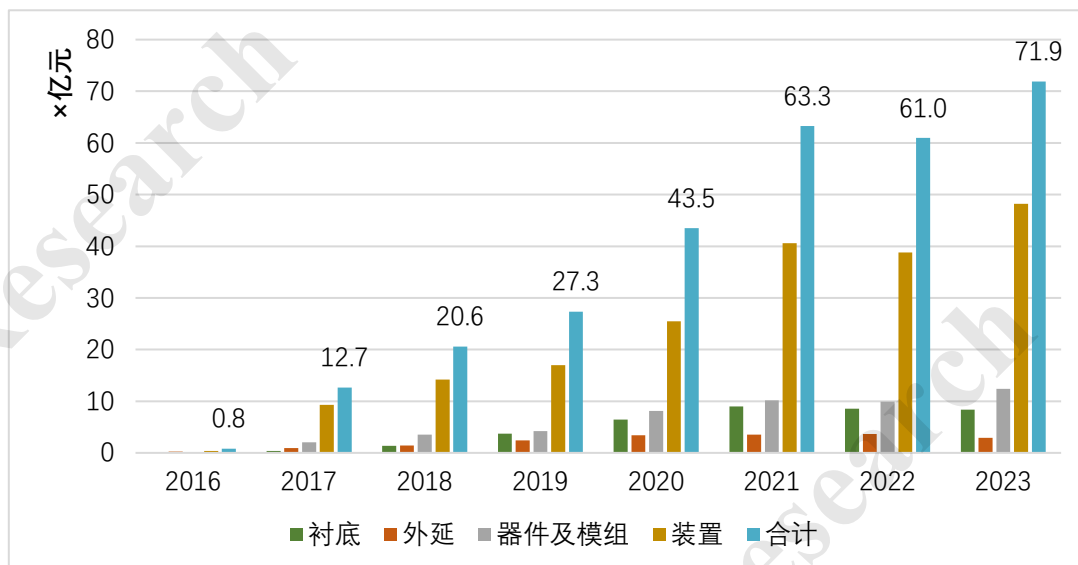
## （二）射频电子

### 1、总体产值

2023 年，国内 GaN 射频电子总产值达到 71.8 亿元，较上年增长 17%。其中，衬底约 8.35 亿元，外延 2.9 亿元，器件及模组 12.4 亿元，装置约 48.2 亿元。

国内从事 GaN 射频电子生产的主要是中电科 13 所，中电科 55 所，以及三安集成、海威华芯、苏州能讯等企业。由于国际贸易纷争，华为、中兴等基站供应商开始选择国产替代产品，目前 GaN 射频电子的国产化率已经超过 30%。

图表 17、2016-2023 年我国 GaN 射频电子产值规模（亿元）



资料来源：CASA Research

### 2、投融资与扩产

2023 年，GaN 射频电子相关扩产项目共 13 起。其中，国内相关

扩产项目共 8 起，已披露金额约 41.2 亿元，相较于 2022 年增加 177%。国际上主要扩产企业有三星电子、RFHIC 等。国内扩产项目主要以中电科集团下属公司为引领，扩产方向主要是 GaN 射频电子器件、模組的研发与生产。

图表 18、2023 年 GaN 射频电子相关扩产项目

序号	公司名称	项目	地区	产品	金额 (亿元)
1	中瓷电子	GaN 微波产品精密制造生产线	聊城	器件/模块	25
2	国博电子	射频集成产业化（二期）项目	南京	器件/模块	14
3	国博电子	射频集成产业化（一期）项目	南京	器件/模块	
4	广东汉瑞通信	第三代半导体 5G 光通信 GaN RF 功率器件芯片及新能源功率器件 IGBT 模块生产项目	襄阳	器件/模块	2.2
5	夕心科技（上海）	第三代半导体最新材料非极性 GaN 项目	内蒙古	—	—
6	泰新半导体	第三代半导体射频芯片产业项目	贵阳	器件/模块	—
7	优镓科技	GaN 射频功放芯片项目	成都	器件/模块	—
8	晶能光电	硅衬底 Micro LED 及氮化镓 HEMT 射频器件研发项目	南昌	器件/模块	—

资料来源：CASA Research 整理

2023 年，涉及 GaN 射频电子的融资事件共 7 起，已披露的融资金额约 40.9 亿元。其中，国内 5 起，披露交易金额的 4 起，涉及交易金额 3.1 亿元。融资数量与金额相较于去年有所减少。目前国内 GaN 射频电子市场产能供给较为稳定，且由于 5G 基站建设趋缓，新兴卫星通信等市场尚未完全启动，企业融资案例较少。

图表 19、2023 年 GaN 射频电子相关企业融资情况

序号	企业名称	融资阶段	金额	投资方
1	浙江星曜半导体	战略融资	数亿元	浙江省金融控股有限公司、方正和生等
2	陕西宇腾电子	Pre-A 轮融资	数千万	铜川高新科技成果转化创业投资基金独家投资
3	深圳市时代速信	战略融资	—	成都华西金智银创股权投资基金合伙企业（有限合伙）、北京瑞合股权投资基金（有限合伙）、青岛善金驰瑞私募股权投资基金合伙企业（有限合伙）、海南晟缘企业管理咨询中心合伙企业（有限合伙）

4	芯百特微电子 (无锡)	战略融资	近亿元	扬州启正、无锡惠开、惠之成等
5	深圳市时代速信	战略融资	数亿元	金融街资本领投，老股东国投创业和善金资本追投，华西证券和深投控等资本跟投

资料来源：CASA Research 整理

### 3、整合并购

2023 年，国际上 GaN 射频电子领域的并购案主要为 MACOM 先后并购了法国 OMMIC 与 Wolfspeed 的射频业务，同时 Wolfspeed 还将为 MACOM 提供半绝缘型 SiC 衬底和外延产品。通过上述并购，MACOM 同时拥有了 GaN-on-Si 和 GaN-on-SiC 射频技术，这一战略举措将促使其进一步巩固在国防、航空航天和电信市场的地位。2023 年，国内 GaN 射频电子领域没有披露的整合并购事件。

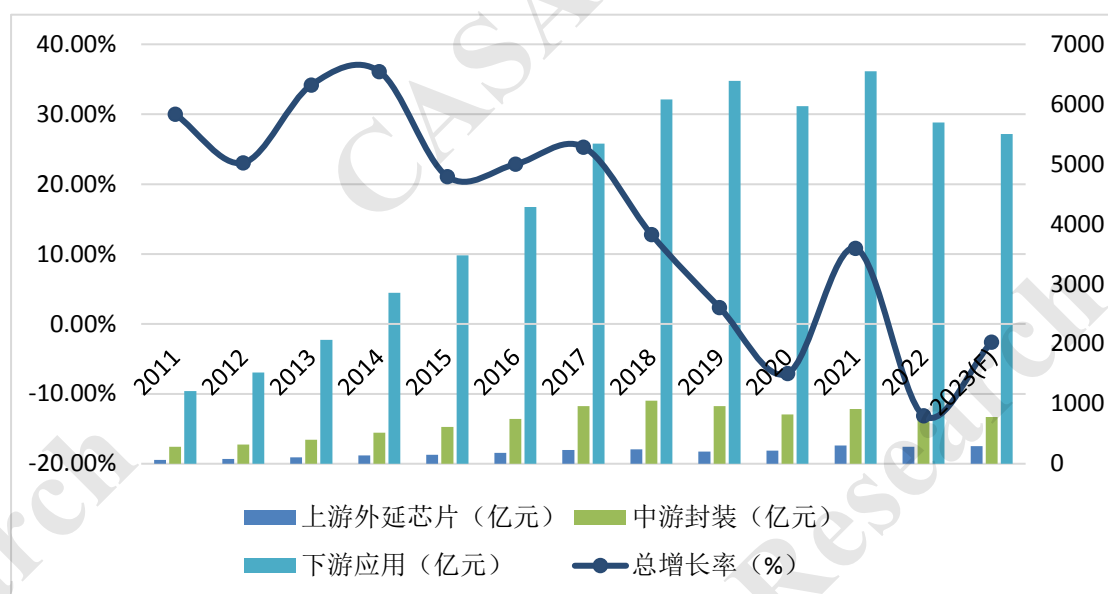
#### (三) 光电子

##### 1、总体产值

2023 年，我国 LED 照明行业整体需求仍然疲软，库存高位、产能利用率不足，行业整体规模呈现下滑态势。预计全年总体产值约 6578 亿元，较去年下滑 2.6%。



图表 20、2011-2023 年我国半导体照明产业各环节产业规模及增长率



数据来源：CSA Research

2023 年上半年，LED 行业一方面要应对外需疲软的严峻挑战，另一方面要面对由于供过于求导致的国内市场白热化竞争。下半年，随着出口市场逐渐回温的同时，内需市场稳步复苏。从产业环节看，上半年芯片企业营收下滑幅度较大，下半年产品价格有所回升，产能利用率也明显提升。芯片环节企业虽然全年营收实现了微增，但盈利空间受到明显挤压。封装环节企业整体营收较 2022 年有所好转，但上半年价格成本倒挂导致企业利润空间持续显著下滑，下半年虽有所回暖，但全年盈利能力仍出现较大幅度下滑。下游应用环节，国内外市场需求疲软，复苏不及预期，其中通用照明市场下滑最为明显，随着全球 LED 通用照明进入存量时期，叠加产业链外溢等因素，出口市场明显下滑。不过，LED 新兴细分市场仍保持了较高的景气程度，Mini-LED 背光、直显渗透加速，车用 LED 国产替代大幅提升，体育场馆、工业、渔业等专业照明领域发展势头良好。总体而言，LED 企业在通用照明市场上，着力于开发更符合市场需求的全光谱产品、智

能化产品；在显示市场上，则着力发展 Mini-LED 背光、Mini-LED 直显、Micro-LED 显示；企业还重点开发高附加值的利基市场，如车用 LED、农业光照、紫外 LED 固化与消杀等产品。

## 2、投融资与扩产

光电子 LED 行业以 Mini/Micro-LED 投资扩产为主。据 CSA Research 不完全统计，2023 年国内新立项 Mini/Micro-LED 项目 18 个，披露的投资额超过 150 亿元，此外还有 20 个项目开工建设，12 个项目进入封顶、完工、投产阶段。相较于 2022、2021 年 Mini/Micro-LED 项目投资热情不减，且伴随多个项目进入开工、建设后期或投产阶段，无疑将加速 Mini/Micro-LED 产能进一步扩充，行业内竞争也将愈加激烈。

图表 21、2023 年国内主要新立项 Mini/Micro LED 项目

产业环节	投资主体	项目	金额 (亿元)
芯片	京东方华灿	京东方华灿南方总部、国际人才中心和 Micro-LED/GaN 芯片研发项目	—
	聚灿光电	Mini/Micro-LED 芯片研发及制造扩建项目	15.5
	乾照光电	海信乾照江西半导体基地项目	10
器件/ 模组	木林森	高端 RGB 小间距 Mini-LED、Micro-LED 显示产品项目	20
	兆驰股份	1100 条 COB 封装线项目	—
	海容高科	Mini/Micro-LED 模组封装项目	1.5
	长方集团	330 条生产线搬迁，分两期进行紫外 LED、红外 LED 全光谱 LED 和 Mini-LED 封装	20
	辰显光电	Micro-LED 产线项目	30
	东方集团	Mini/Micro-LED 项目	10
	艾斯普光电	Mini-LED 芯片封装项目	—
显示屏	艾比森	艾比森东江智造中心项目	10
	大族元亨光电	大族元亨光电新型显示总部制造基地项目	4
	雷曼光电	雷曼光电 COB 超高清显示改扩建项目	5.4
	美亚迪光电	户外全彩屏及 Mini-LED 显示项目	10
	上海显耀	显耀合肥工厂项目	15

配套材料	昇印光电	Mini-LED 柔性载板产线项目	—
	普加福光电	面向 Micro-LED 和 OLED 器件开发量子点色转化	—

数据来源：CSA Research

### 3、整合并购

#### (1) LED 产业格局成熟，并购方向分散

LED 产业基本成熟，产业竞争格局确定，2023 年行业并购案相对较少，涉案金额也较小，并购方向多元化。根据 CSA Research 不完全统计，2023 年国内 LED 行业共发生了 9 起企业收购、披露金额总计约 5 亿元。LED 企业并购业务更聚焦细分市场，除海洋照明、文旅照明、消费级照明外，企业积极拓展业务边界，如物联网、光通信、检测等非照明领域。

图表 22、2023 年国内主要 LED 并购项目

序号	收购方	出售方	拓展领域
1	阳光照明	智易物联	智能技术、物联网应用
2	汤石照明	大峡谷	全面整合资源
3	洲明科技	适刻创新	消费级照明
4	佛山照明	上海亮舟	海洋照明
5	罗曼股份	PREDAPTIVE	数字文旅、AR/VR 等
6	小崧股份	佛山普希	热泵产品
7	晶丰明源	凌鸥创芯	鸥创芯 38.87% 股权，运动控制芯片
8	兆驰股份	瑞谷光网	光通信
9	中微公司	睿励科学仪器（6.7575% 股权）	检测设备

数据来源：CSA Research

#### (2) 跨界合作频繁，微显示是重点方向

据 CSA Research 不完全统计，2023 年国内 LED 行业内共达成 25 项企业合作，涉及 Mini/Micro-LED、智能照明、车载显示、AR/VR、健康照明、特种照明、智慧照明等多个方向。其中，关于 Mini/Micro-

LED 显示的企业间合作达 17 项，上下游企业深度捆绑，优势互补，以突破 Mini/Micro-LED 发展瓶颈。如天马与三安半导体围绕车载 LED 芯片技术进行共同开发；芯瑞达与海信视像、首尔半导体共建联合实验室，推动包括 Mini-LED 等在内的先进显示与光学技术进步。

图表 23、2023 年国内主要 LED 相关合作项目

序号	合作方 1	合作方 2	合作内容
1	惠特	雷杰科技	强化 Micro LED 技术布局
2	长虹电子	国家新型显示技术创新中心	高亮度 MicroLED 投影显示关键技术研究
3	蔚华科	南方科技	打造 Micro LED 缺陷检测系统
4	芯瑞达	海信、海尔半导体	共建显示与光学技术联合实验室
5	诺瓦星云	兆驰晶显	推动 Mini/Micro LED 显示的普及应用
6	希达电子	冠捷科技	研发 COB 显示技术产品及行业解决方案
7	K&S	台表科	推动 Mini/Micro LED 背光和直显显示屏的大批量应用
8	华映科技	兆元光电	合资成立 Mini/Micro LED 公司
9	利亚德	沙特投资部、工程控股集团	合资成立 LED 显示企业
10	鸿利智汇	九洲光电	LED 半导体产品制造、市场开拓、技术创新等
11	希达电子	富晟集团	推动车用 Mini/Micro LED 显示、照明技术落地
12	华为	长安机车	成立智能汽车业务企业
13	天马	三安半导体	车载 LED 芯片技术研发
14	奇景光电	晶合集成	扩大供应车用显示器驱动 IC
15	京东方	雷神科技	电竞显示联合创新实验室
16	海目星	华南师范大学	新型显示与光制造科研合作
17	洲明科技	九转棱镜	XR 虚拟拍摄合作
18	洲明科技	索贝数码	XR 虚拟拍摄合作
19	华为云	欧普照明	在云计算、智能物联、AI 等方面的领先技术和自身数字化转型
20	佛照智城科技	华中科技大学中欧清洁与可再生能源学院、湖北汉江零碳科技有限公司	推进“热管理”“能源管理系统”“高光效高显指量子点照明技术”等科研成果
21	洲明科技	中煤科工集团常州研究院	推动 LED 在煤矿行业的进一步发展
22	鸿利智汇	Yeelight 易来达	围绕智能照明领域建立多主体供给、多渠道保障、产融协作等合作
23	茂硕电源	华普永明	立联合共创工作组

24	立达信	华为	鸿蒙系统合作
25	雅生活	铭灏天	停车场照明的智能控制、能源管理和安全监测

数据来源：CSA Research

## 四、企业格局

国际上，第三代半导体产业成熟度相对较高，以龙头企业为代表，2023年主要战略举措一是加快产线建设和投产步伐，扩充产能供给。二是强化战略合作。一方面下游用户与上游半导体供应商建立战略合作，以确保产能供应；另一方面上游半导体供应商与下游用户建立战略合作，抢占市场。三是开展整合并购。头部企业通过整合并购强化行业领导地位，产业竞争格局进一步明朗。

国内方面，第三代半导体技术成熟度和产业化进展相较国际先进水平仍有一定差距，处于产业成长期，头部企业优势进一步凸现，行业竞争格局尚未明确。2023年，国内企业的重要战略举措主要有三个方面，一是加快产能扩充，不断投资新项目，以期在即将爆发的市场中占领一席之地。二是融资和IPO热情高涨，资本市场相对活跃。三是推动国际战略合作。一方面是材料企业进入国际供应链；另一方面是以三安光电为代表，与国际龙头ST合作在华建厂，对未来国内第三代半导体功率电子竞争格局形成具有重要影响。

### （一）功率电子

#### 1、重点企业

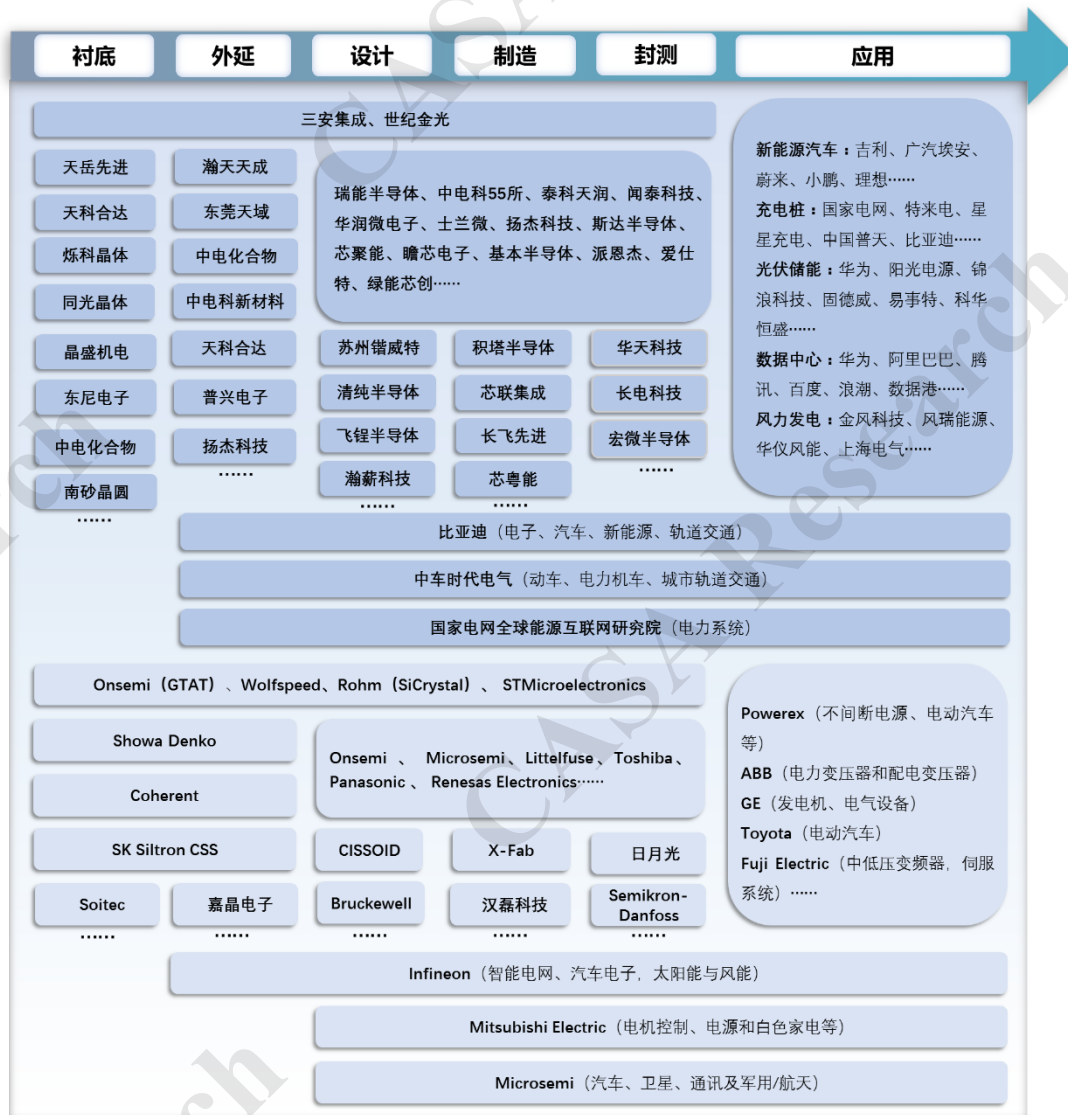
全球有近150余家企业活跃在第三代功率半导体领域。龙头企业基本都采用IDM生产模式，同时代工和Fabless并存发展。

SiC功率电子领域，衬底企业主要有Wolfspeed、Coherent、SiCrystal、Senic、SK Siltron、Norstel等，外延企业主要是Resonac、嘉晶电子等。近两年国际上多家下游器件、模块企业不断向上游材料

端延伸，建立覆盖全产业链的 IDM 生产模式。如 ST 收购 Norstel，Onsemi 收购 GTAT，DENSO 和 Mitsubishi Electric 投资 Coherent SiC 子公司，Bosch 收购 TSI，加上此前 Rohm 收购 Sicrystal，国际几大龙头均建立了贯穿材料、器件、封测的全链条 IDM 生产模式。与此同时，X-Fab、汉磊、YPT、Clas-SiC 等代工厂也有一定发展空间；采取 Fabless 模式的主要是 Littelfuse、Vishay、GeneSiC 等。

国内有超过 50 家公司从事 SiC 功率半导体业务，其中衬底企业主要有天科合达、天岳先进、烁科晶体、同光股份、东尼电子、南砂晶圆等；外延企业主要有瀚天天成、东莞天域、中电化合物、普兴电子等；采取 IDM 模式的主要有三安集成、比亚迪半导体、时代电气、士兰微、华润微、泰科天润、瞻芯电子、基本半导体等；代工企业有芯联集成、积塔半导体、芯粤能、长飞先进等；设计公司主要有清纯半导体、派恩杰、瀚薪科技和臻驱科技等。

图表 24、SiC 功率电子重点企业



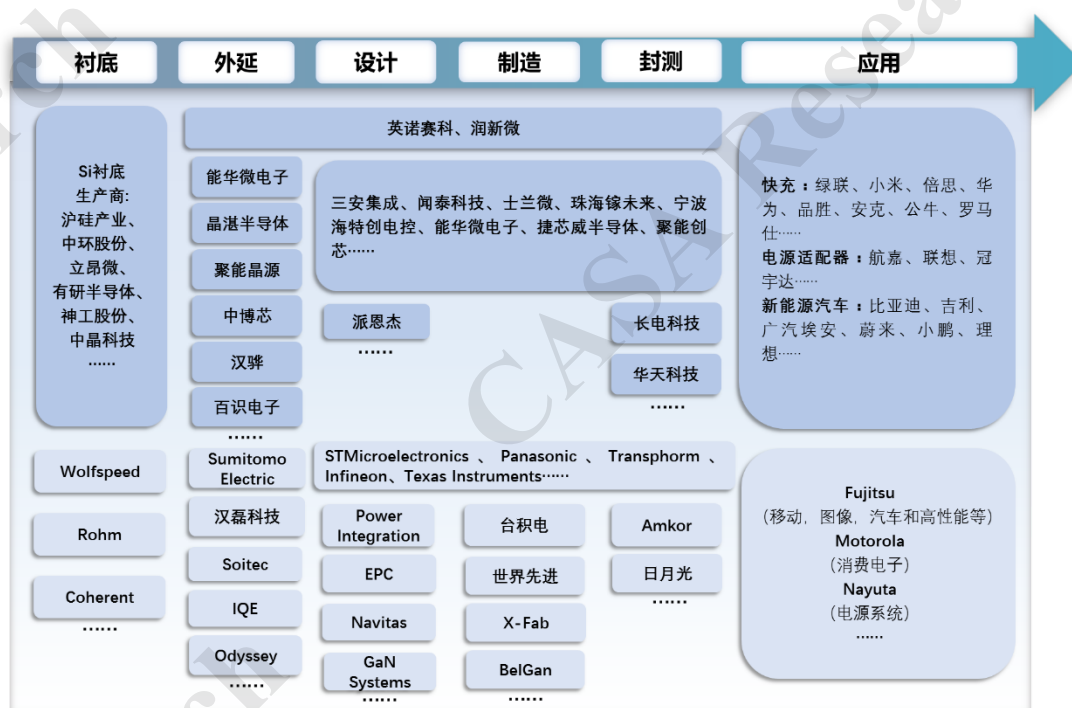
数据来源: CASA Research 整理

GaN 功率电子领域, 在 GaN-on-Si 技术方向, 国际上 IDM 企业主要有 ST、Infineon、TI、Transphom 等; 外延代表企业有 IQE、Soitec、汉磊科技等; 代工企业有 X-Fab、BelGan、Fujitsu、台积电、汉磊、世界先进等; 主要的设计公司有 Navitas、GaN Systems、EPC、Renesas、GaNPower、Ganext、CGD 等。在 GaN-on-Sapphire 技术方向, X-Fab 为代工模式, 设计公司主要是 Power Integration (PI)、Gpower 以及 GaNrich。



国内有近 20 家公司从事 GaN 功率电子业务，主要采取 GaN-on-Si 技术路线，其中英诺赛科、安世半导体、润新微、能华微、镓未来、士兰微、聚能芯创等是 IDM 生产模式；外延企业主要是晶湛半导体、中博芯、中镓集团、国盛电子、聚能晶源等；设计公司主要有氮矽科技等。

图表 25、GaN 功率电子重点企业



数据来源：CASA Research 整理

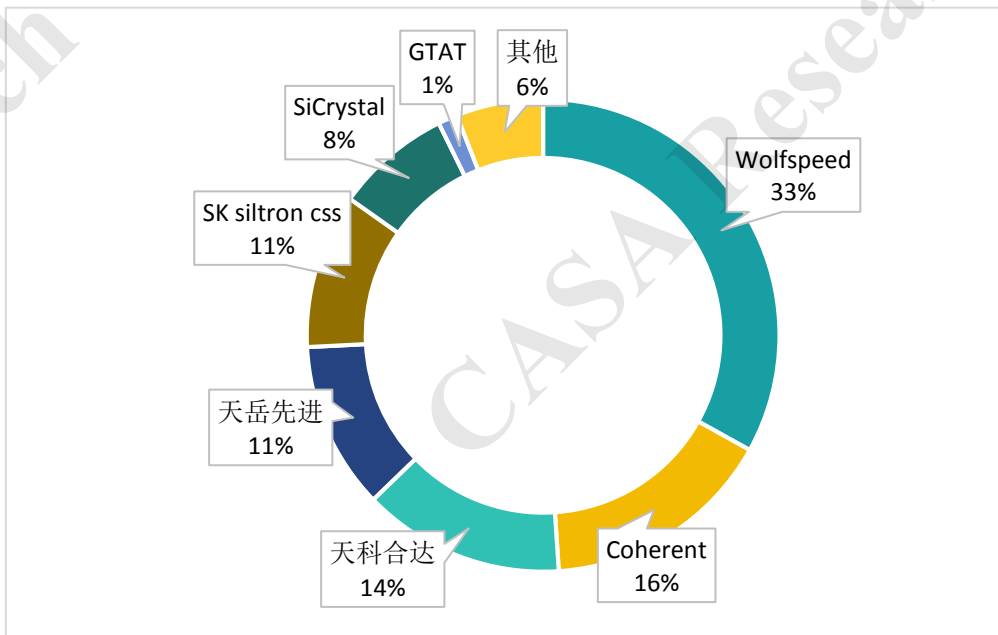
## 2、竞争格局

### (1) 国内 SiC 衬底企业跻身全球前五

SiC 功率电子领域，衬底市场上 Wolfspeed 是最大的供应商，Coherent 紧随其后，SiCrystal 由于产能问题，其 2023 年业务营收预计将被天科合达超越。特别是，随着天岳先进、天科合达进入 Infineon 供应链，国内衬底企业产能供给将进一步扩张。GTAT、Resonac、Nostel 等企业主要以内部供应为主。

国内 SiC 衬底厂商天科合达、天岳先进、烁科晶体、同光股份、三安集成、南砂晶圆、东尼电子、晶盛机电等产能稳步释放；合盛新材、乾晶半导体等新进入者也在积极跟进。SiC 外延环节，瀚天天成产能布局全球领先，超过 Resonac。同时，中电化合物、普兴电子、南京百识等也在稳步扩产。

图表 26、2023 年主要 SiC 衬底企业市场占比



数据来源：CASA Research 整理

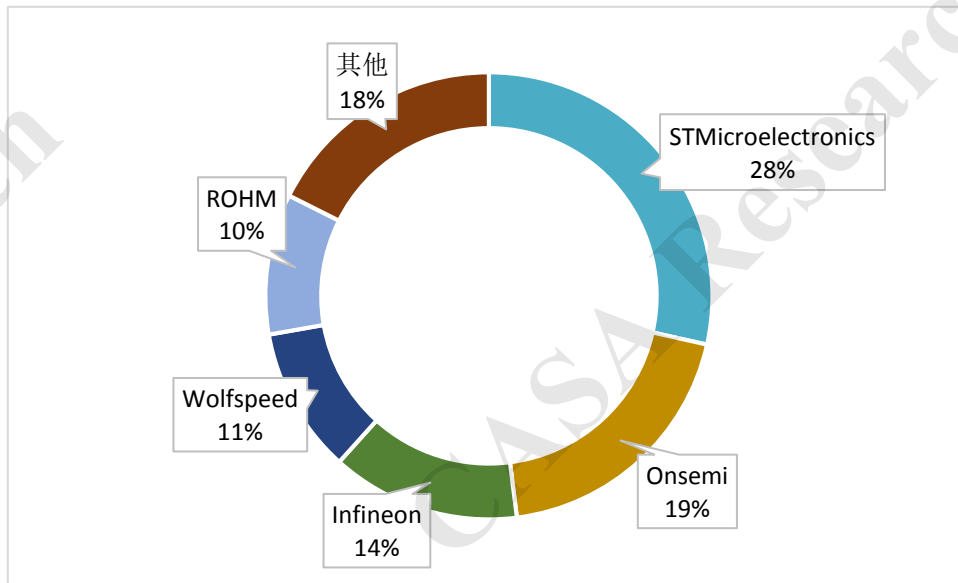
根据 CASA Research 对各企业财报数据跟踪，2023 年国际重点 SiC 衬底企业营收较 2022 年均实现较大增长，其中 Coherent 营收增幅翻番。国内方面，有至少有 3 家 SiC 材料企业营收突破 10 亿元，业绩实现大幅长，分别是天科合达 15 亿元，增长 138.58%；天岳先进 12.51 亿，增长 198.28%；瀚天天成预计 10 亿元。

## (2) 五大器件供应商市场占比高达 82%

芯片和器件制造环节，龙头企业业绩均实现高速增长，ST、Infineon、Wolfspeed、Onsemi、Rohm 等的 SiC 器件业绩较上年同期

分别增长了 50%以上。5 家企业保持高速扩张，设定的业绩目标均为在 2030 年实现 SiC 功率电子市占率 30-40%。根据 2023 年企业财报测算，5 大龙头的总体市占率（CR5）达到 82%，产业环节呈现高集中寡占状态。

图表 27、2023 年主要 SiC 功率器件企业市场占比



数据来源：CASA Research 整理

ST 处于行业第一领导地位，且未来预期仍将主导市场；Onsemi 和 Infineon 2023 年 SiC 器件营收紧随其后；Wolfspeed 由于激进的投资扩产，以及 8 英寸晶圆产业化不及预期的影响，2023 年营收下降至行业第四；Rohm 因产能有限暂列行业第五。

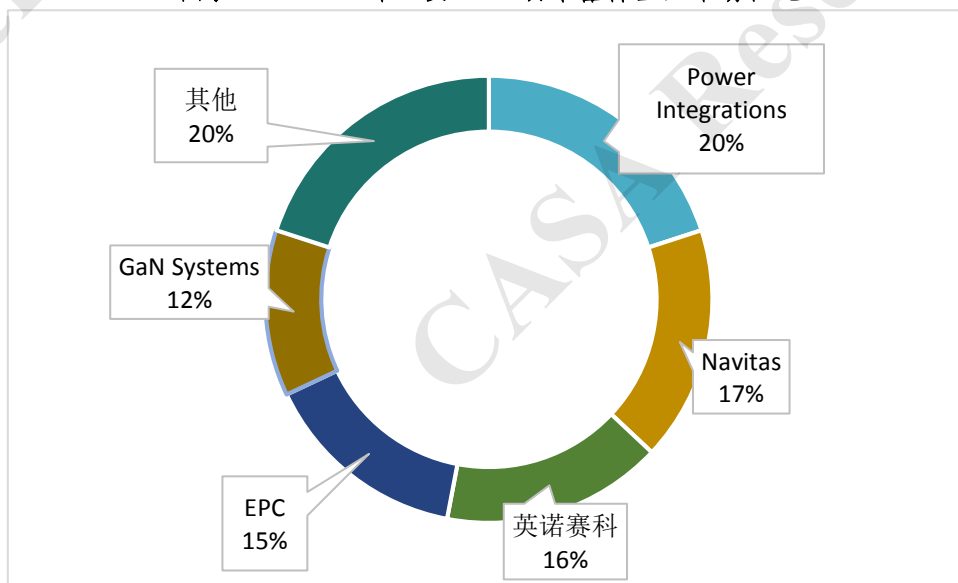
国内方面，目前芯片器件企业营收仍以 SiC 二极管为主，与国际龙头存在量级差别。主导企业有三安集成、比亚迪半导体、芯联集成、积塔半导体、长飞先进、中电科 55 所、时代电气、泰科天润、华润微、士兰微等。随着市场的开启，IDM 巨头或传统功率电子企业凭借丰富的制造经验、成熟的渠道，有望加入竞争，并取得市场主导。

GaN 功率电子领域，GaN-on-Si 外延最大的供应商是 IQE，国内

主要是晶湛半导体；芯片器件环节，PI 市场份额最大，位于行业领先地位；其次是 Navitas、EPC、Gansystems、Transporm 等。

国内 GaN 功率电子 IDM 头部企业为英诺赛科，其拥有全球最大的 8 英寸 GaN-on-Si 晶圆制造产能，截止 2023 年 8 月 GaN 芯片累计出货量突破 3 亿颗，营收仅次于 PI 和 Navitas。江苏能华、润芯微、镓未来、安世半导体等企业营收也都在千万级别。

图表 28、2023 年主要 GaN 功率器件企业市场占比



数据来源：CASA Research 整理

## （二）射频电子

### 1、重点企业

全球有超过 70 家公司涉及 GaN 射频业务，生产模式以 IDM 为主，代工模式并存发展。国际上，GaN-on-SiC 技术方向，衬底供应商主要有 Wolfspeed、Coherent；外延企业主要有 IQE、SCIOCS、EpiGaN、Soitec 等；IDM 企业主要有 Sumitomo Electric、Qorvo、NXP、MACOM、Mitsubishi Electric、Toshiba 等；代工企业主要有稳懋；设计公司主要有 Apleon、Analog、Microchip 等。GaN-on-SiC 技术方向，主要有 MACOM

(并购 OMMIC 和 Wolfspeed 射频业务)、ST、Infineon、GlobalFoundries、台积电等。

国内相关企业和机构约 30 家。其中半绝缘 SiC 衬底供应商主要有天岳先进、烁科晶体、同光股份等；IDM 企业主要有中国电科相关研究所、苏州能讯、四川益丰等；代工企业主要有三安集成、海威华芯等；设计企业主要有芯谷微电、华光瑞芯等。

图表 29、GaN 射频电子重点企业



数据来源：CASA Research 整理

## 2、竞争格局

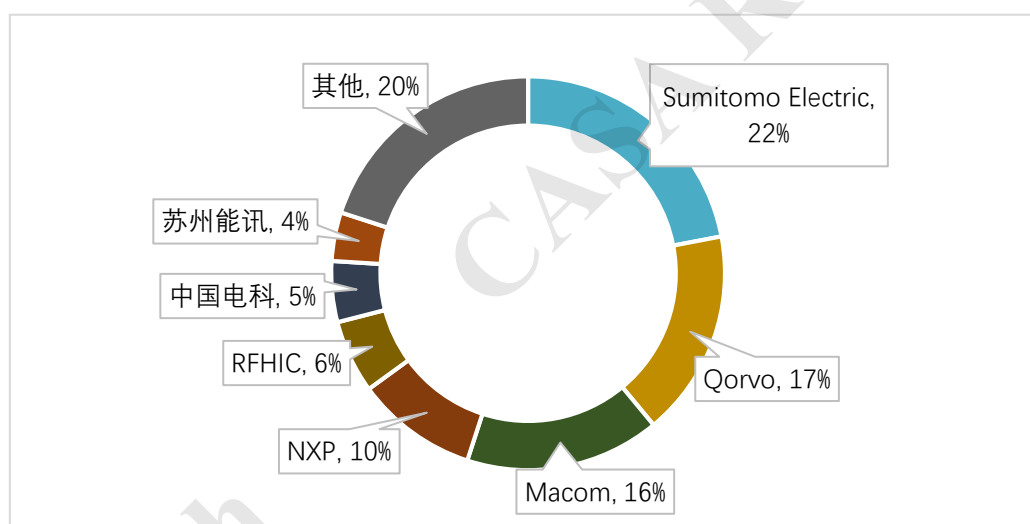
### (1) 半绝缘 SiC 衬底供应高度集中

半绝缘 SiC 衬底供应高度集中，Wolfspeed、Coherent、天岳先进三家企业市场占比高达 85%。由于 SiC 功率电子市场需求强劲，Coherent 和天岳先进、烁科晶体正在将产品生产重点从半绝缘转向导电型。

## (2) 五大器件供应商市场占比 71%

GaN RF 器件供应商 TOP5 市场占比达到 71%，该产业环节市场集中度较高。根据 CASA Research 对相关企业财务报告的测算，Sumitomo Electric 市场份额达 22%，处于 GaN RF 第一供应商地位；Qorvo 紧随其后，其次是给 Macom(收购 Wolfspeed 射频业务)、NXP 和 RFHIC。国内供应商中电科 13 所、55 所、苏州能讯等也居于全球前十行列。

图表 30、2023 年主要 GaN RF 企业市场占比



数据来源：CASA Research 整理

## (三) 光电子

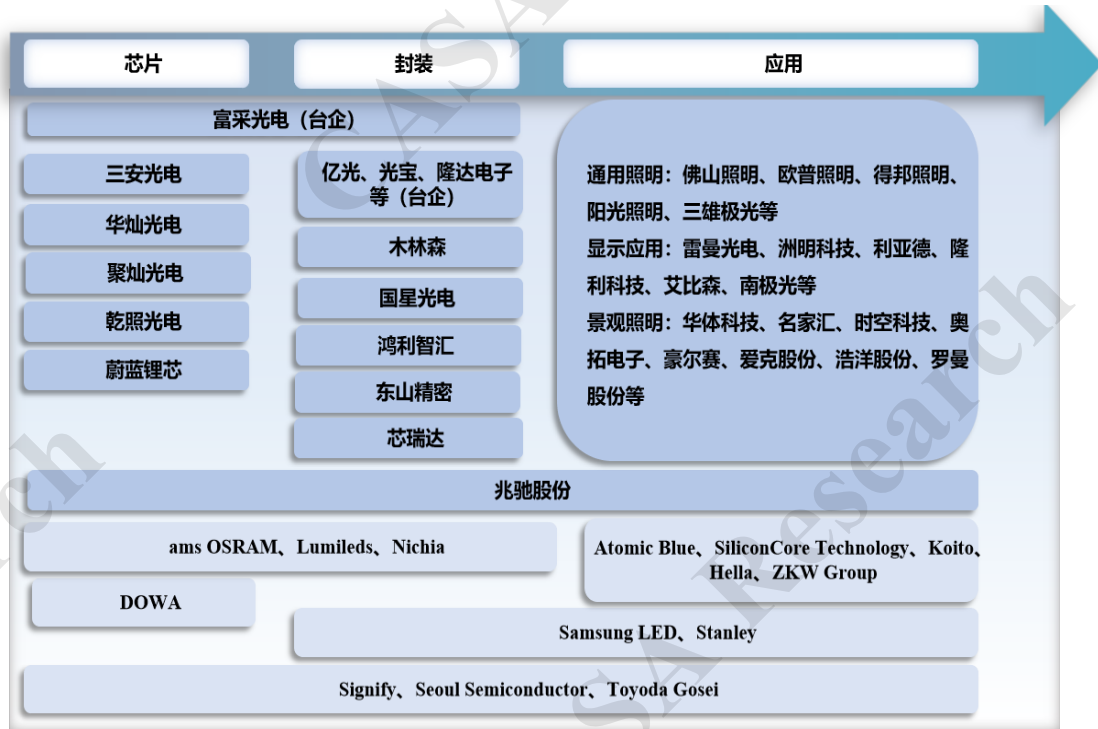
### 1、重点企业

LED 行业发展基本成熟，竞争格局趋于稳定。随着 LED 照明行业步入成熟期，国际龙头厂商相继退出量大面广的照明业务。如 Philips (现为 Signify)、GE、Cree (现为 Wolfspeed)、OSRAM、LG Innotek 等均不同程度剥离了照明业务：Philip 出售 Signify 股权，重心转向医疗健康领域；Cree 剥离照明业务，更名 Wolfspeed 深耕 SiC 业务；AMS 收购 OSRAM 后，相继出售建筑照明、数字照明系统(欧

洲、亚洲业务)等业务,发展重心转向半导体、汽车和特种照明等领域。总体来说,日本、北美、欧洲厂商凭借技术、专利和供应链等优势,深耕大功率、高附加值产品,在车用 LED 及大功率 LED 芯片及器件市场具有竞争优势;韩国凭借大企业战略,在显示、紫外 LED 等市场占据优势;我国台湾地区重点发展背光源、LED 显示及车用 LED 等应用,发力 Mini/Micro LED。

中国大陆在 LED 照明及 LED 显示领域形成了明显的规模优势,产业化能力走在世界前列,已成为全球最大的 LED 生产基地。截止 2023 年底,以 LED 为主营业务的上市公司达 52 家,上中下游、核心材料装备均形成了龙头企业,其中包括三安光电、京东方华灿、兆驰股份、乾照光电、聚灿光电、木林森、鸿利智汇、国星光电、瑞丰光电、聚飞光电、晶能光电、佛山照明、欧普照明、洲明科技、利亚德、南大光电、中微公司等。

图表 31、LED 产业重点企业



数据来源：CASA Research 整理

GaN 激光器领域，衬底国际供应主要有 Sumitomo、Mitsubishi、Furukawa Electric、Kyma，大功率 GaN 激光器的主要厂商为日本 Nichia、Sony，中小功率 GaN 激光器主要厂商有日本 Sharp 和德国 Osram 等。国内方面，中国科学院半导体研究所、中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所、北京大学、厦门大学等科研机构 and 高校开展了非常扎实的研究工作。产业链初具雏形，GaN 衬底厂商主要是苏州纳维、上海镓特、东莞中镓等；外延、芯片和器件企业有三安光电、格恩半导体、广西颀芯等。长光华芯 2023 对外合作成立镓芯光，GaN 激光器有望在 24 年量产；在应用方面，海信、长虹、光峰、极米等企业已经开始出货。

## 2、竞争格局

从 LED 产业链角度看，呈现“金字塔”型产业结构。其中，LED



上游芯片供应高度集中，中游封装中度集中，下游呈竞争状态。国外巨头虽然缩减或剥离照明业务，但在上中游及高附加值市场，其品牌影响力仍在，营收规模仍居全球前列。目前国际及我国台湾地区 LED 龙头企业主要有富采光电（芯片/器件）、Nichia（芯片/器件）、OSARM（器件）、Seoul（器件）、Lumileds（器件）、亿光（器件）、Signify（照明产品）、Samsung（显示）、LG（显示）。

国内 LED 芯片环节供应商高度集中，三安光电、京东方华灿、兆驰股份、乾照光电、聚灿光电、蔚蓝锂芯六家企业产能占全国的近 90%。LED 封装环节呈现中度集中态势，近年来 LED 封装行业经历了产能扩张、价格下滑，使部分中小企业退出市场，行业完成新一轮洗牌，木林森、鸿利智汇、国星光电、兆驰股份、聚飞光电、芯瑞达等封装龙头企业市占率逐步提升。LED 下游应用领域进入门槛较低，市场竞争激烈，涵盖通用照明、背光显示、景观照明、车用照明、植物照明等多个领域，市场集中度较低。其中通用照明仍为 LED 应用最广泛的领域，主要代表企业佛山照明、欧普照明、得邦照明、阳光照明、立达信、三雄极光等；显示领域主要代表企业有洲明科技、利亚德等。

## 五、技术进展

为满足低成本、低损耗，高功率密度发展需求，第三代半导体功率电子技术发展的主要趋势是：衬底向更大尺寸、更低缺陷进步。2023年8英寸衬底研发和产业化都在加快；SiC功率芯片向精细化、低电容、高可控方向发展，元胞尺寸、沟道尺寸，比导通电阻指标进一步改进；SiC功率器件结构沿精细、沟槽、超级结方向发展，沟槽栅SiC MOSFET产品增加。GaN功率器件则是向更高耐压、更大功率、更高集成度方向进步，更多企业推出1200V及以上器件；通过3D堆叠技术实现12英寸Si基CMOS与GaN器件的单片集成。GaN射频电子方面，GaN-on-SiC是主流技术路线，产线正从4英寸向6英寸过渡。工艺节点方面，器件厂商正在开发适用于Ku/K/Ka波段的工艺平台，并致力于将工艺节点推至0.1 $\mu\text{m}$ 以下。2023年基于8英寸技术的GaN-on-Si PA开始小量出货。LED技术领域，照明方向主要围绕开发全光谱、健康照明产品；显示方向Mini/Micro-LED在红光芯片效率、亮度、全彩技术、巨量转移技术等方面都取得进展；非视觉照明方向，量产深紫外LED芯片电光转化效率提高到5%以上。

### （一）功率电子

#### 1、SiC功率电子

##### （1）8英寸衬底外延加快研发与量产

国内外加快8英寸SiC衬底研发与量产。SiC功率器件价格目前是同规格Si功率器件价格的4倍左右，且器件成本中衬底占总成本约40%左右。因此，8英寸成为降低器件单位成本、增加产能供应

的关键。在产业需求和资本助力下，国内外 SiC 衬底厂商均加速推进 8 英寸衬底研发与量产。国际上除 Wolfspeed 已实现 8 英寸 SiC 衬底量产外，Coherent、Rohm (SiCrystal)、Soitec、ST (Norstel)、Onsemi (GTAT) 等 8 英寸 SiC 衬底基本通过验证，并将量产节点定在 2025 年前后。

国内方面，相较于 2022 年以研发为主，2023 年国内主流厂商的 8 英寸 SiC 衬底基本完成送样，预期量产时间与国际同步。生长方法上，中科院物理所、天岳先进均采用液相法制备出高质量 SiC 单晶。其中，山东天岳开发出厚度为 60mm 的低缺陷 8 英寸 SiC 晶体，并通过热场、溶液设计和工艺创新突破了 SiC 单晶界面控制和缺陷控制难题。衬底位错缺陷控制方面，山东大学和南砂晶圆报道了利用 PVT 制备低位错密度 8 英寸导电型碳化硅单晶衬底的结果，其中螺位错 (TSD) 密度为  $0.55 \text{ cm}^{-2}$ ，基平面位错 (BPD) 密度为  $202 \text{ cm}^{-2}$ 。国产 8 英寸 SiC 单晶衬底位错缺陷控制已经达到国际先进水平。

图表 32、2023 年部分国内企业 SiC 衬底技术进展

厂商	产品	技术指标	进程
三安集成	8 英寸 SiC 衬底	将持续提升良率，加快设备调试与工艺优化，推进湖南与重庆工厂量产进程。	小批量生产及送样
天岳先进	液相法制备 8 英寸 SiC 单晶	采用液相法制备出厚度为 60mm 的低缺陷 8 英寸 SiC 晶体	研发成功
同光股份	8 英寸 SiC 衬底	将持续提升良率、优化工艺，推进量产	小批量
合盛硅业	8 英寸 SiC 衬底	6 英寸晶体良率达到 90%	小批量
科友半导体	8 英寸 SiC 衬底	晶体直径超过 210mm，厚度目前稳定在 15mm 以上；平均长晶良率已突破 50%；微管密度 $< 0.1 \text{ 个/cm}^2$ ，位错缺陷密度 $< 5000 \text{ 个/cm}^2$	小批量中试线生产
南砂晶圆及山东大学	8 英寸 SiC 衬底	TSD 为 $0.55 \text{ cm}^{-2}$ ，BPD 为 $202 \text{ cm}^{-2}$ ，几乎“零螺位错 (TSD)”密度和低基平面位错 (BPD) 密度	小批量

浙江大学科 创中心-乾晶 半导体联合 实验室	8 英寸 SiC 衬底	加工获得了 8 英寸 SiC 衬底	研发成功
山东粤海金	8 英寸 SiC 衬底	晶体表面光滑无缺陷，厚度超过 20 mm	研发成功
中科院物理 所	液相法生长 3C- SiC 单晶	质量方面，3C-SiC 晶体 (111) 面半峰全宽 (FWHM) 为 28.8 至 32.4 弧秒，平均为 30.0 弧秒。从 3C-SiC 的切片上看，典型的三角形凹坑大小约为 5 $\mu$ m，可能来自螺旋位错 (TSDs) 和螺旋边缘位错 (TEDs) 的密度分别约为 4.3 $\times 10^4$ /cm <sup>2</sup> 和 13.9 $\times 10^4$ /cm <sup>2</sup> ，并且没有观察到在 3C-SiC 中常见的双定位边界 (DPBs)。	研发成功

数据来源：CASA Research 整理

复合衬底及切磨抛工艺改良能有效降低成本。Soitec 公司通过在低电阻多晶 SiC 支撑基板上薄层层压高质量的 SiC 单晶，实现 SiC 单晶重复使用，并使整个衬底实现低电阻和高强度，兼顾了性能和成本。采用类似工艺的还有 Sumitomo Metal Mining (住友金属矿业) 并购的 SICOXS 公司。切磨抛技术方面，美国 Hardinge 采用“单步双面补偿 (SSDC)”技术改良晶锭加工设备，相较现有方法可将总成本降低 70%。

**8 英寸外延相继推出。**2023 年，ST (Norstel) 宣布实现 8 英寸 SiC 外延片生长，且外延表面缺陷密度、厚度以及掺杂均匀性均通过了验证，与 6 英寸外延片相当。Resonac 公司也宣布其 2025 年量产 8 英寸 SiC 外延。

国内方面，目前仍以 6 英寸 SiC 外延为主，8 英寸处在小批量应用阶段。瀚天天成 8 英寸 SiC 外延，厚度为 12 $\mu$ m，厚度不均匀性为 2.3%；掺杂浓度为 8.4 $\times 10^{15}$ cm<sup>-3</sup>，掺杂浓度不均匀性 < 7.5%；表面缺

陷（Carrot、Triangle、Downfall、Scratch）密度  $< 0.5\text{cm}^{-2}$ 。质量达到国际先进水平，并签署多项长期供货合约。

## （2）沟槽栅 SiC MOSFET 开发增加

SiC MOSFET 器件性能指标持续提升，元胞尺寸缩小，沟道密度提升，比导通电阻进一步降低。平面型 SiC MOSFET 的元胞尺寸降低至  $4.5\mu\text{m}$ ，沟道尺寸缩小至  $0.25\mu\text{m}$ ，比导通电阻可降至  $2\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ ；沟槽型 SiC MOSFET 元胞尺寸降低到约  $2.5\mu\text{m}$ ，比导通电阻降低至  $1.4\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ ，电流密度达  $800\text{A}/\text{cm}^2$ 。

尽管目前平面栅 SiC MOSFET 器件是量产主流产品，但越来越多的企业开始布局或开发沟槽栅 SiC MOSFET。2022 年以来，全球 SiC 沟槽 MOSFET 的专利申请数量是过去的 10 倍。目前量产沟槽型 SiC MOSFET 的国际厂商除了 Infineon、Rohm，还包括 Fuji Electric、Mitsubishi Electric、Denso 等，更多厂商如 ST、Onsemi、BOSCH 等都开始布局相关产品，如 ST 计划在 2025 年推出其首款沟槽型 SiC MOSFET。国内方面，三安集成、中车时代，积塔、华为、华润微、士兰微等都规划开发沟槽栅 SiC MOSFET，多个企业已获得相关专利。三安集成沟槽栅 SiC MOSFET 产品预计 2024 年初开发出样品；中车时代最新沟槽栅 SiC MOSFET 结构将采用“多级沟槽 P+电场掩蔽技术”，预计推出节点是 2027 年。

图表 33、国内布局平面型和沟槽型的国际主要厂家

企业	平面型MOSFET	沟槽型MOSFET
三安集成	★	☆
株洲中车	★	☆
比亚迪半导体	★	☆
华润微电子	★	☆
杨杰科技	★	☆
瀚薪科技	★	☆
飞镭半导体	★	☆
瑞能半导体	★	
锆威特	★	☆
基本半导体	★	☆
泰科天润	★	☆
瞻芯电子	★	
派恩杰	★	
清纯半导体	★	

★商业化产品 ☆ 研发阶段

资料来源：CASA Research 整理

### (3) 封装结构和材料持续优化

低杂散电感封装、高温封装、多功能集成封装等是实现 SiC 器件高效、高功率的关键。低杂散电感封装主要是通过单管翻转贴片封装、DBC+PCB 混合封装、芯片正面平面互连封装、双面散热封装、三维封装等设计，减少高频开关电流回路面积。高温封装主要是通过应用新型封装材料或工艺，如铜线键合、银烧结工艺、AlN 基板以及 Cu 基合金、AlSiC 等材料等实现 SiC 高温可靠工作的根本。集成化封装方面，有将驱动芯片及相关保护电路集成到 SiC 模块中，还有在 SiC

模块封装中集成 EMI 滤波器，集成温度、电流传感器以及集成微通道散热等设计。

**三种主要设计解决 SiC 功率器件散热难题。**当前，SiC 功率器件散热设计主要有三种：一种是将微通道直接做芯片的衬底上；第二种是将微通道集成在芯片下层的厚金属层中；第三种则通过金属镀层和热介质材料将芯片直接连接到硅基微通道结构上。这种直接作用于芯片的散热技术消除了模块多层结构的限制，可以极大提高芯片的散热效率。相变散热技术如热管、喷雾等方式相比于单相气冷、水冷等具有更高的热导率，非常高效，为 SiC 器件的散热提供了一种解决思路。

**SiC 模块封装目前分为灌胶模块、塑封膜块两个大类。**当前主流封装以灌胶模块出货量较大，工艺分为传统焊料贴片和铝线键合工艺。对高可靠性要求模块，采用压银烧结工艺贴片及 DTS 工艺，典型封装为英飞凌的 HPD 封装。塑封模块主要以电动汽车主驱应用为主，采用压银烧结贴片及 DTS 工艺，提高模块可靠性的同时，有效减少模块内部寄生电感。典型封装为丹弗斯的 DCM1000X 封装，该类封装预计会成为未来 SiC 模块主流封装。

## 2、GaN 功率电子

### (1) 开发出 GaN 新型复合衬底技术

国际上，Shin-Etsu Chemical 与 Qromis 合作，向市场推出 QST（Qromis 基板技术），用于生长 GaN 功率器件，QST 衬底设计具有与 GaN 相同的热膨胀系数，可以抑制 GaN 外延层的翘曲和开裂，从而可以实现大直径、高质量的厚外延生长。Shin-Etsu Chemical 还与

Oki Electric Industry 合作开发了一种复合衬底技术，该技术使用 Oki 的晶体薄膜键合技术从 Shin-Etsu Chemical 的 QST 基板上剥离出 GaN 功能层，并将其粘合到不同材料衬底上，该技术实现了 GaN 的垂直导电，有望将 GaN 衬底成本降低至传统制造成本的 10%，为可控制大电流垂直 GaN 功率器件制造和商业化作出贡献。Disco 针对 2 英寸、5mm GaN 晶锭开发出激光切割解决系统 KABRA，相较于线切割技术，切割时间缩短 88%，出片数量增加 37.5%。

国内方面，4 英寸单晶衬底已经开始销售，6 英寸正在开发中。

### **(2) 增强型和耗尽型两种器件结构并行发展**

GaN 功率器件分为增强型 (E-Mode) 和耗尽型 (D-Mode) 两种，增强型是常关器件，耗尽型是常开器件。目前 E-Mode 栅极有稳定性和漏电流问题，而驱动双芯片常关 (或者说共源共栅配置) 的 D-Mode 器件则更简单并稳健，对于高达 1MHz 开关频率的需求，共源共栅 GaNFET 最为适合。目前，Infineon (包括 GaN Systems)、EPC、GaN Power、Navitas、Panasonic、英诺赛科及成都氮矽等产品主要采用 E-Mode 设计；Transphorm、PI、TI、Nexperia、镓未来及润芯微等采用的是 D-Mode 设计。由于当前 GaN 功率电子主要用于快充市场，因此 E-Mode 设计较多，随着高压、高频、高可靠应用需求的增加，D-Mode 产品或将增加。

### **(3) 高压、高集成和抗辐照是产品发展趋势**

GaN 功率器件开发呈现以下趋势：一是向中高压突破。商用化 GaN 功率器件耐压水平已覆盖 150V-1500V，应用领域仍以消费电子



特别是快充市场为主，逐渐向数据中心、光伏等中高压工业应用拓展，且开始小量渗透到 OBC 和 DC-DC 等车用市场。如 TG 推出耐压万伏的 GaN FET 功率晶体管；PI 推出单管耐压 1250V 的 GaN 电源 IC；Transphorm 推出效率为 99%，耐压 1200V 的 GaN HEMT；TG 推出击穿电压 $\geq 1500V$  的 GaN 功率器件。国内方面，英诺赛科联合伯尔尼应用科学大学开发了采用 ANPC 拓扑结构设计的 850V DC 应用电路；并推出开关频率 MHz1000w GaN 功率模块电源；广东致能科技发布了 1200V D-Mode 高可靠性 GaN 器件。

二是 GaN 集成电路技术获得发展。如东科发布业界首个 AHB 集成双 GaN 芯片。Intel 公司通过单片三维堆叠技术，将标准的 12 英寸硅 CMOS 驱动器与 GaN 电源开关集成，该技术可以在同一晶圆上集成两种不同的半导体技术，并提供最佳性能、更高的密度和更强大的功能。国内英诺赛科推出采用磁集成技术的 2KW 400V-48V DC/DC 方案，以及 65W PD 车充产品和 150W Buck-Boost 车充方案；镓未来率先推出 4 引脚 TO-247-4L GaN 功率器件；氮矽发布了采用 TO247-4 封装的高集成驱动 GaN 器件。

三是发挥 GaN 功率器件抗辐照特性，2023 年企业推出多款针对太空应用产品。如 EPC 7020G 和 7030G 两款产品均是脉冲抗辐射 GaN 功率晶体管。

## （二）射频电子

### （1）国际上展示新型结构和高效率 W 波段射频

UCSB 开发了基于 SiC 和蓝宝石衬底的 N-face 结构在 W 波段的射频器件，结果表明 N-face 相比传统 Ga-face 器件在 W 波段射频性能可大幅提高。HRL 通过预匹配设计的 AlGaIn/Graded-AlGaIn/GaN 渐变沟道结构，在 W 波段实现了业界最高的器件效率。产业化技术方面，Infineon 推出了采用 8 英寸技术的 GaN-on-Si PA，预计 ST、UMC 和 GlobalFoundries 等其他厂商可能会在未来几年跟进。

### （2）国内开发出高功率和低压器件，并开始提供 MMIC 代工

中国电科产业基础研究院研制出高功率密度的 L 波段 GaN 射频器件，工作电压在 100V 时功率密度达到 20W/mm。中电科 55 所研制的 Si 基 GaN 低压器件，在  $V_d=5V$ 、测试频率 5 GHz 下，实现饱和功率 1.5W/mm，PAE 大于 60%，拓展了 GaN 在手机 PA 的应用可能性。苏州能讯在微波能量领域实现快速拓展，发布的 600W 功放管产品在 2.45GHz 实现漏极效率 72.5%，增益 14.3dB，并凭借优异的可靠性，成功应用于工业加热等领域。在 MMIC 代工领域，苏州能讯和厦门三安集成在 0.25 $\mu$ m 和 0.15 $\mu$ m GaN 工艺取得突破并向市场推出了代工业务及成套工艺组合（PDK），为射频芯片产业发展提供有效助力。

## （三）光电子

### （1）国内硅基 LED 技术研发持续领先

蓝光 LED 芯片、Si 基黄光及 Si 基绿光 LED 芯片发光效率保持

国际领先，Si 基黄光 LED 发光效率达到 29.1%，LED 无荧光粉照明实现了整灯光效 100lm/W；570nm 黄光 LED 辅助治疗带状疱疹、脱发等皮肤疾病开展临床试验；Si 基 GaN 在 Micro-LED 技术中具有衬底无损去除、易大尺寸、低成本、低翘曲、CMOS 兼容性高等优势，南昌实验室已开发出 Si 基 GaN 的 Micro-LED 单色 AR 显示器，为制备高性能 AR 产品奠定基础。

## **(2) Micro-LED 研发和产业化快速发展**

Micro-LED 红光亮度、微显示器分辨率、巨量转移等技术方面均取得进展。12 英寸硅衬底 InGaN 基红、绿、蓝全系列三基色 Micro-LED 外延发布；Micro-LED 红光芯片效率达到 15% (20\*40 $\mu$ m @20uA)，亮度突破 100 万 nits，R/G/B 显示颜色升级为 1677 万色全真彩；P0.9 间距 Micro LED 电影屏（长 3.8 米，高 2 米）正式通过 DCI 认证；

“Micro LED 晶圆级光致发光巨量检测系统”，能够实现无损、非接触式、高稳定性、快速巨量检测；全球首条 23.5 英寸 Micro-LED 巨量转移工艺示范线建成。在产业化方面，2023 年，高 PPI 领域，Micro LED AR 眼镜数量逐渐增加，据不完全统计，2023 年超过 9 款 Micro LED AR 眼镜发布或上市；在低 PPI 领域，三星、TCL、利亚德、辰显光电、兆驰晶显等均推出了 Micro LED 超高清巨幕产品。

## **(3) 深紫外 LED 芯片量产效率超过 5%**

深紫外 LED 芯片技术方面，国内 UVC LED 实验室电光转换效率最高达 9.56%，量产 UVC LED 芯片电光转化效率普遍达到 5% 以上，部分企业公布量产效率超 7%。303.6nm 波段的 UVB LED 电光转

换效率达到 3.27%。紫外 LED 封装方面，通过采用氮化铝陶瓷支架、高透石英玻璃、灌封胶水、多芯片封装等新封装材料和工艺，改进了散热和光提取效率。

#### **(4) GaN 基蓝光激光器开始量产**

GaN 衬底方面，4 英寸单晶衬底已经开始销售，6 英寸正在开发中；GaN 激光器方面，蓝光激光器量产产品功率达到 5W 以上，室温电光转换效率超过 40%；GaN 绿光激光器量产产品功率达到 1.5W 以上，室温电光转换效率超过 15%；GaN 紫外激光器方面，紫外激光器室温连续输出功率进一步提高到 4.6W，激射波长 386.8nm，紫外激光器研发取得了重要进展。

## 六、其他

### （一）装备及原材料进展

“一代材料、一代器件、一代装备”，近年来，持续升温的第三代半导体产线建设热潮，带动了相关装备产业的快速发展。同时第三代半导体器件性能提升和成本降低的需求，也需要装备行业不断进行技术优化和整机革新。目前，SiC衬底设备国产化率超过80%，外延设备国产化接近50%；芯片设备国产化40%左右，部分关键设备仍依赖进口；封装测试设备国产化较为迅速，但迭代水平与国际厂商仍有一定差距。

**晶体生长和外延装备出货量增加。**国内SiC衬底和外延产能的快速扩张，带动国产SiC长晶和外延装备出货量大幅增长。除衬底企业自搭设备外，国产SiC长晶炉成为新增产线的主要选择。国内SiC长晶炉专业供应商主要有：北方华创、晶盛机电、中电科二所、晶升装备、科友半导体、宁波恒普、优晶光电等。其中，北方华创在SiC领域累计出货量超过4000台，居于国内前列，其2023年SiC长晶炉出货超1000台，外延炉出货超100台。为适应SiC衬底从6英寸向8英寸过渡需求，北方华创、晶盛机电、中电科二所、科友半导体、优晶光电均推出8英寸长晶炉。SiC衬底加工设备方面，德龙激光、中电科二所、中电科电子、高测股份、特思迪等激光剥离设备、切片划片设备、减薄等均已开始量产应用。

国内SiC外延炉供应商主要有北方华创、中电科48所、晶盛机电、纳设智能、粤升半导体、季华恒一、芯三代等。除北方华创外，

晶盛机电、纳设智能、芯三代出货量居国内前列。晶盛机电在 2023 年推出了 6 英寸双片式和兼容 6、8 英寸的单片式外延炉；芯三代已批量出货垂直式、6/8 英寸兼容机台；中电科 48 所 6 英寸机型已接到订单超过 130 台，8 英寸机型通过首轮工艺验证；粤升半导体在 2023 年也开发出 4、6 英寸兼容的外延设备。

GaN 装备方面，中微公司 LED 照明所需 MOCVD 全球市占率达到 80%以上；深紫外 LED 外延所需的高温 MOCVD, 19 片机已出货；适用 Micro-LED 显示的 MOCVD 在开发中；GaN 功率器件用 MOCVD 正在验证。

**芯片器件制造专用高温装备国产化加速。**由于 SiC 高硬度、高密度等特性，涉及多种超高温和高能量芯片和器件工艺，如高温离子注入、高温激活退火、高温栅氧、沟槽刻蚀、碳膜沉积、去碳膜刻蚀等，因此需要开发专用高温设备。目前，中国电科 48 所（烁科中科信）推出的高温离子注入装备逐步进入国内新增生产线采购单；北方华创 2023 年芯片前道设备出货超 100 台；中电科 48 所 SiC 外延设备 6 英寸机型已经通过量产稳定性验证，订单近 20 台套，8 英寸机型已完成调试，2023 年内上线，高温氧化炉 2023 销售订单达 16 台。

**封测装备检测装备与配套材料获得快速发展。**半导体封装设备主要包括贴片机、固晶机、引线键合机、分选机等，目前多个封装设备国产品牌正在蕴育，如中电科 45 所产品涉及到减薄、划切、倒装、引线键合等；苏州艾科瑞思则专注于高性能装片机；江苏京创主要开发半导体切磨设备；深圳翠涛自动化从事固晶机、焊线机、点胶机的

研制，还有大连佳峰自动化产品定位于装片机。国内检测企业主要有中科飞测、上海精测、华峰测控、佛山联动、陕西开尔文、中电科风华等。中科飞测目前产品覆盖无图形晶圆缺陷检测设备、图形晶圆缺陷检测设备、三维形貌量测设备、薄膜膜厚量测设备；华峰测控开发出 SiC 功率模块在线测试系统；陕西开尔文开发了 SiC 器件测试仪；佛山联动产品覆盖 SiC 功率器件和模块测试；中电科风华 2023 年推出 SiC 缺陷检测设备。配套材料方面，志橙半导体 SiC 涂层石墨零部件产品和服务以进入全球领先供应商行列。

## （二）超宽禁带半导体进展

近年来，随着 SiC、GaN 宽禁带半导体研发和应用的快速发展，禁带宽度更大的半导体材料氧化镓（ $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ）、氮化铝（AlN）、金刚石等获得广泛关注。整体来看，国内  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  相关产品仅有衬底和外延片，大电流和高压器件、模块正在开发中。工业级金刚石制备较为成熟，电子级金刚石尚处于基础研究阶段。

**2023 年，国内在  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  单晶衬底、外延片和晶体管制备方面获得突破。**2023 年 2 月，中国电科 46 所成功制备出 6 英寸  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  单晶，可用于 6 英寸  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  单晶衬底片的研制。浙江大学杭州国际科创中心成功制备出半绝缘型氧化镓单晶衬底。西安邮电大学成功在 8 英寸硅片上制备出了高质量的  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  外延片。中国科学技术大学微电子学院联合中科院苏州纳米所加工平台，首次研制出了氧化镓垂直槽栅场效应晶体管。

### （三）标准进展

JEDEC 制定功率器件评估指南。2023 年，JEDEC 发布 6 项 SiC/GaN 功率器件标准，涉及阈值电压测试、栅开关不稳定评估、栅氧可靠性和鲁棒性评估、反向压降可靠性评估、双极退化评估等内容。

图表 34、JEDEC 制定的 SiC/GaN 相关标准

序号	标准号	发布时间	标准名称
1	JEP197	2023 年 11 月	Guideline for Evaluating Bipolar Degradation of Silicon Carbide Power Devices
2	JEP198	2023 年 11 月	Guideline for Reverse Bias Reliability Evaluation Procedures for Gallium Nitride Power Conversion Devices
3	JEP194	2023 年 2 月	Guideline for Gate Oxide Reliability and Robustness Evaluation Procedures for Silicon Carbide Power MOSFETs
4	JEP195	2023 年 2 月	Guideline for Evaluating Gate Switching Instability of Silicon Carbide Metal-Oxide-Semiconductor Devices for Power Electronic Conversion
5	JEP183A	2023 年 1 月	Guidelines for Measuring the Threshold Voltage (VT) of SiC MOSFETs
6	JEP192	2023 年 1 月	Guidelines for Gate Charge (QG) Test Method for SiC MOSFET

数据来源：CASA Research 整理

CASA 规划布局功率器件标准制定。2023 年 11 月，第三代半导体产业技术创新战略联盟（CASA）发布《第三代半导体功率器件产业及标准化蓝皮书》，报告指出，半导体分立器件多为通用技术规范类产品标准，对产业指导性偏宏观。同时，SiC、GaN 功率器件性能及可靠性评估有一定的差异，为发挥标准的引领性作用，建议集中力量构建适用于我国产业的标准体系。2023 年，CASA 发布 8 项技术标准、1 项技术报告，其中 5 项 GaN HEMT 射频、3 项 SiC 衬底标准，可登录联盟标委会网站了解。2024 年，CASA 将会组织体系性标准的制定工作，以期更好支撑产业创新发展。



## 七、发展展望

2024 年，经济回稳预期增强，半导体产业增速提升。经济合作与发展组织（OECD）最新发布的全球经济展望报告，将 2024 年全球经济增长预期上调至 2.9%，比去年 11 月的预测上调 0.2 个百分点。同时，国内两会政府工作报告将 2024 年经济增长预期目标为 5% 左右，全球和国内经济回稳预期增强。此外，根据 Gartner、IDC、WSTS 等数据，2024 年全球半导体产业增速也将超过两位数，平均预测增速在 13%-15% 左右，规模超过 6000 亿美元。宏观经济和半导体产业景气度的提升，将为第三代半导体产业发展创造良好环境。

第三代半导体功率电子市场仍将持续增长。根据 Canalys 预计，2024 年全球新能源汽车市场将增长 27%，达 1750 万辆。中国汽车工业协会也预测，2024 年我国新能源汽车销量将达到 1500 万辆。全球光伏储能装机量尽管增速放缓，但在未来几年内仍旧保持增长。此外，随着消费电子市场恢复增长，Canalys 预测 2024 年智能手机市场将增长 4%；PC 出货量在 2024 年至 2028 年期间的复合年增长率将达到 44%。应用市场的持续增长将带动第三代半导体快速发展。

国际龙头的竞争优势进一步凸现，国内在衬底品质、晶圆制造能力上需迎头赶上。随着 6 英寸产能全面释放，8 英寸供给逐步提升，以及“SiC+GaN”双业务模式的并行发展，国际龙头的技术研发、生产制造、市场拓展等竞争优势将进一步凸现。国内方面，尽管 SiC 衬底企业已经进入国际供应链，但产品品质仍待提升；SiC MOSFET 产业化进程需要加快，晶圆制造良率、稳定性、量产供货能力都需提高；

GaN 功率电子除在中低压市场开拓外，需要开发更多数据中心、工业电机、新能源汽车等中高压市场；射频电子领域，随着 5G 电信基础设施建设恢复，主要是提升在 Sub-6G 市场上的国产替代率；光电子 LED 除了维持照明市场外，要着重开拓 Mini/Micro-LED 显示、车用 LED、紫外消杀、健康照明等市场。

**机遇与风险并存，要防止过度投资、无序竞争和资本过热。**当前，第三代半导体产业处于市场爆发前夜，全球范围内发展热情高涨，但产业发展仍面临多个挑战：一是功率电子国产化率较低。目前国产第三代功率电子产品主要应用于光伏储能、消费电子等市场，在新能源汽车主驱领域，国产芯片刚刚开始应用，本土供需缺口需快速弥补。在装备领域，单台套设备可实现国产替代，但整线设备开发能力还有待提升。二是要防止出现过度和重复投资。地方政府要根据区域禀赋，筛选优质项目，谨防盲目无序发展，防止低水平、重复投资。三是防止无序竞争。随着前期产能相继释放，产品价格必然降低，特别是海外产品可能对国内市场形成冲击。国内企业更需要注重关键技术突破和产品质量提升，防止在中低端产品市场上无序竞争。

总体而言，2024 年第三代半导体产业特别是功率电子将持续高速增长态势，同时行业竞争也进一步加剧，需要从全国层面做好顶层设计，引导地方优化产业布局，通过全产业链通力合作，实现技术、产品良率、制造成本等的全面突破，迎接更大的挑战。

## 八、释义

**行业产值：**指本年内（2023年）中国大陆地区产业链各环节（报告中包含指衬底、外延、器件及模组、装置）的主体（包含企业、非企业主体）的生产产值总计。

**第三代半导体功率电子市场规模：**指本年内（2023年）各主体对第三代半导体功率器件及模组产品（包括分立器件及模组）的需求金额。

**第三代半导体射频电子市场规模：**指本年内（2023年）各主体对第三代半导体射频器件及模组产品（包括分立器件及模组）的需求金额。

**产能：**产能是指在计划期内，企业参与生产的全部固定资产，在既定的组织技术条件下，所能生产的产品数量，或者能够处理的原材料数量。本报告指企业现有设备规模在理想生产状况下最大产出量。

**产量：**产量是指单位时间内生产出的产品或完成的工作量。本文是指在自然年内（2023）企业实际的产出量，受扩产情况、达产率、稼动率、良率等因素影响。

**装置：**装置是指具有独立功能的零部件，如充电电源、逆变器等。

## 附件 2023 年第三代半导体产业大事记 (Top 10)

- ✚ 中国对镓、锗相关物项实施出口管制
- ✚ 三安和 ST 半导体在中国合资建 SiC 晶圆厂
- ✚ 天科合达、天岳先进打入 Infineon 供应链
- ✚ 天岳先进采用液相法开发出低缺陷 8 英寸 SiC 晶体
- ✚ 英诺赛科全球研发中心启用
- ✚ Tesla 宣布减少 75% SiC 用量
- ✚ Infineon 收购 GaN Systems
- ✚ Bosch 收购 TSI
- ✚ Wolfspeed 出售射频业务给 MACOM
- ✚ Intel 通过 3D 堆叠技术实现 12 英寸 Si 基 CMOS 与 GaN 器件的单片集成