

半导体

宽禁带半导体行业深度：SiC 与 GaN 的兴起与未来

评级：增持（维持）

分析师 刘翔

执业证书编号：S0740519090001

Email: liuxiang@r.qlzq.com.cn

分析师：刘尚

执业证书编号：S0740519090006

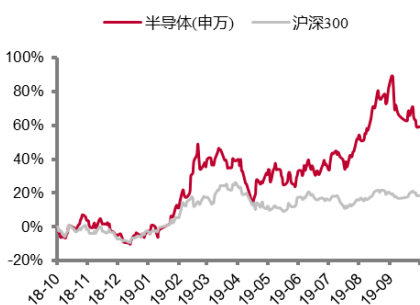
Email: liushang@r.qlzq.com.cn

基本状况

上市公司数

行业总市值(百万元)

行业流通市值(百万元)

行业-市场走势对比

相关报告
重点公司基本状况

简称	股价 (元)	EPS			PE			评级
		2018	2019E	2020E	2018	2019E	2020E	
三安光电	12.9	0.69	0.37	0.47	18.70	34.86	27.45	增持
扬杰科技	14.6	0.40	0.60	0.76	36.50	24.53	19.31	未评级
捷捷微电	19.9	0.93	0.68	0.81	21.45	29.34	24.63	买入

备注：扬杰科技采用 Wind 一致预期

投资要点

- 突破 Si 的瓶颈，SiC/GaN 具备性能上的优势。** Si 作为集成电路最基础的材料，构筑了整个信息产业的底层支撑。人类对 Si 性能的探索已经非常成熟，然而一些固有的缺点却无法逾越，如光学性能、高压高频性能等。与此同时所谓第三代半导体（宽禁带半导体）以其恰好弥补 Si 的不足而逐步受到半导体行业青睐，成为继 Si 之后最有前景的半导体材料。随着 5G、汽车等新市场出现，SiC/GaN 不可替代的优势使得相关产品的研发与应用加速；随着制备技术的进步，SiC 与 GaN 器件与模块在成本上已经可以纳入备选方案内，需求拉动叠加成本降低，SiC/GaN 的时代即将迎来。
- SiC：极限功率器件的理想材料。** SiC 器件相对于 Si 器件的优势主要来自三个方面：降低电能转换过程中的能量损耗、更容易实现小型化、更耐高温高压。SiC 最大的应用市场来自汽车，与传统解决方案相比，基于 SiC 的解决方案使系统效率更高、重量更轻及结构更加紧凑。目前 SiC 器件在 EV/HEV 上应用主要是功率控制单元（PCU）、逆变器、DC-DC 转换器、车载充电器等方面。全球 SiC 产业格局呈现美国、欧洲、日本三足鼎立态势。其中美国全球独大，占全球 SiC 产量的 70%~80%；欧洲拥有完整的 SiC 衬底、外延、器件以及应用产业链；日本是设备和模块开发方面的领先者。中国企业在衬底、外延和器件方面均有所布局，但是体量均较小。
- GaN：5G 应用的关键材料。** 相较于已经发展十多年的 SiC，GaN 功率器件是后进者，它拥有类似 SiC 性能优势的宽禁带材料，但拥有更大的成本控制潜力，在射频微波领域和电力电子领域都有广泛的应用。GaN 是射频器件的合适材料，特别是高频应用，这在 5G 时代非常重要。电力电子方面，GaN 功率器件因其高频高效率的特点而在消费电子充电器、新能源充电桩、数据中心等领域有着较大的应用潜力。目前 GaN 产业仍旧以海外企业为主，国内企业在衬底外延和设计制造领域都逐渐开始涉足，其中三安集成已经能提供成熟的 GaN RF/GaN Power 代工工艺。
- 投资建议。** 由于 SiC 与 GaN 产业链全球来看仍处于起步阶段，国内企业更是大部分处于早期研发阶段，远未成熟，行业体量较小，重点关注已经在 SiC 与 GaN 研发上投入大量资源并且取得一定成果的公司。映射到 A 股上市公司，建议关注三安光电、扬杰科技、捷捷微电。三安光电旗下三安集成业务是国内稀缺宽禁带半导体制造企业，布局基本对标 Cree，从 LED 芯片到 LED 应用，从 SiC 晶圆到 GaN 代工，三安光电的布局前瞻且具备可行性，有望在宽禁带领域延续其在 LED 产业的竞争力。扬杰科技与捷捷

微电均是国内功率半导体企业，在 SiC 功率器件研发上已经有所布局。

- **风险提示。** SiC 与 GaN 行业技术进步不及预期；下游需求电动汽车与 5G 推进不及预期；SiC 与 GaN 若成本下降不及预期；国内相关企业研发与销售受国外企业挤压而不及预期。

内容目录

硅的瓶颈与宽禁带半导体的兴起	- 6 -
Si 材料的历史与瓶颈	- 6 -
SiC/GaN: 稳定爬升的光明期	- 7 -
SiC: 极限功率器件的理想材料	- 8 -
SiC: 极限功率器件的理想材料	- 8 -
SiC 产业链: 欧美占据关键位置	- 10 -
SiC 市场: 汽车是最大驱动力	- 12 -
重要 SiC 企业梳理	- 14 -
GaN: 5G 应用的关键材料	- 19 -
GaN: 承上启下的宽禁带半导体材料	- 19 -
GaN 在电力电子领域与微波射频领域均有优势	- 21 -
GaN 产业链: 海外企业为主, 国内企业逐步涉足	- 22 -
GaN 市场: 射频是主战场, 5G 是重要机遇	- 24 -
重要 GaN 企业梳理	- 26 -
投资建议	- 29 -
风险提示	- 30 -

图 1: 硅材料面临诸多性能限制	- 6 -
图 2: 半导体材料特性对比.....	- 6 -
图 3: 半导体材料与器件发展史	- 6 -
图 4: SiC、GaN 与 Si 性能差异	- 7 -
图 5: SiC、GaN 与 Si 各有优势领域.....	- 7 -
图 6: SiC 与 GaN 处于稳步爬升的光明期.....	- 8 -
图 7: 三种不同的 SiC 结构.....	- 8 -
图 8: SiC 晶圆.....	- 8 -
图 9: SiC 功率器件的发展历史	- 9 -
图 10: SiC 能大大降低功率转换中的开关损耗	- 9 -
图 11: SiC 更容易实现模块的小型化、更耐高温.....	- 9 -
图 12: SiC 器件生产流程	- 10 -
图 13: SiC 产业链及主要工序	- 10 -
图 14: SiC 产业链各环节公司	- 11 -
图 15: SiC 产业以欧美日为主	- 12 -
图 16: SiC 器件应用领域广泛.....	- 12 -
图 17: 2022 年 SiC 在电动车市场规模达到 24 亿美金.....	- 12 -
图 18: SiC 器件在四个关键领域提升电动汽车的系统效率	- 13 -
图 19: 采用 SiC 的 PCU 尺寸大大减小	- 13 -
图 20: 罗姆的 SiC 赛车用逆变器明显降低重量及尺寸.....	- 13 -
图 21: 超过 20 家汽车制造商在车载充电器中采用 SiC.....	- 14 -
图 22: Cree 在 SiC 功率器件有近 30 年历史	- 15 -
图 23: 采用 SiC 的 PCU 尺寸大大减小	- 15 -
图 24: 罗姆的 SiC 赛车用逆变器明显降低重量及尺寸.....	- 15 -
图 25: Wolfspeed 推出 GaN-on-SiC 代工服务	- 16 -
图 26: Wolfspeed 营收大幅增长 (百万美元)	- 16 -
图 27: Wolfspeed 毛利率处于较高水平	- 16 -
图 28: Wolfspeed 预计到 2022 年收入翻两番达到 8.5 亿美元.....	- 17 -
图 29: Infineon 从 1992 年即开始 SiC 研发	- 17 -
图 30: Cold Split 技术流程.....	- 18 -
图 31: ROHM SiC 发展时间表	- 18 -
图 32: ROHM SiC 产品路线规划图.....	- 18 -
图 33: ROHM 向汽车和工业转型的趋势	- 19 -
图 34: ROHM SiC 车载应用营收份额	- 19 -
图 35: GaN 原子结构.....	- 19 -

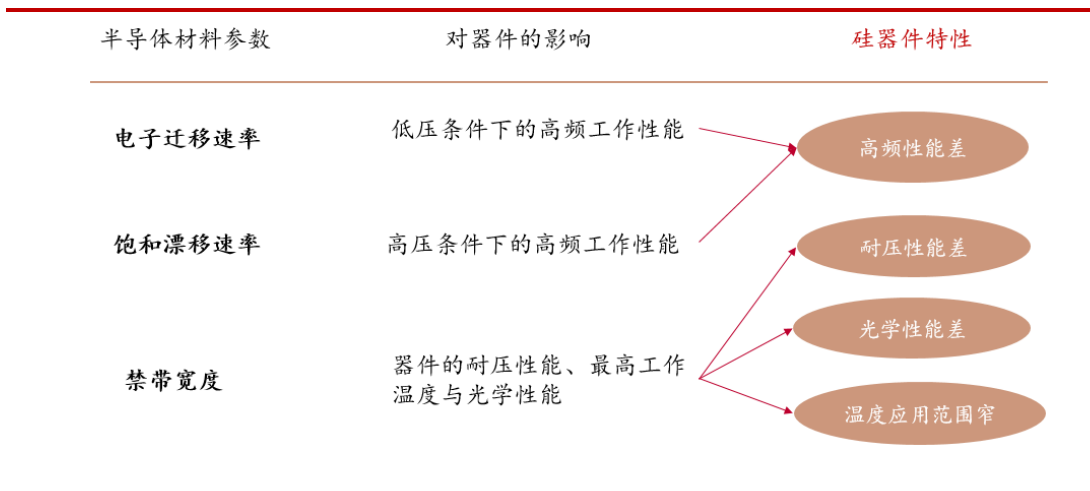
图 36: 典型 GaN HEMT 结构.....	- 19 -
图 37: GaN 器件逐步步入成熟阶段.....	- 20 -
图 38: GaN 器件可以适用于超过 68% 的功率器件市场	- 20 -
图 39: 不同功率器件所处的优势领域.....	- 20 -
图 40: GaN RF 市场规模于 2023 年达到 13 亿美金	- 21 -
图 41: Si 功率器件开关速度慢, 能量损耗大	- 21 -
图 42: GaN 开关速度快, 可大幅度提升效率	- 21 -
图 43: GaN 器件在电力电子领域与微波射频领域的优势.....	- 22 -
图 44: GaN RF 市场规模于 2023 年达到 13 亿美金	- 23 -
图 45: GaN 外延用不同衬底的对比.....	- 23 -
图 46: GaN 器件主要产品与工艺技术	- 24 -
图 47: 使用 GaN 前后的效率对比	- 24 -
图 48: 不同频率范围 RF 器件工艺技术对比	- 24 -
图 49: 多级 GaAs 功率放大器和等效 GaN 功率放大器的比较	- 25 -
图 50: GaN 优势在于带隙宽度与热导率	- 25 -
图 51: GaN 在 5G 时代应用广泛	- 25 -
图 52: GaN 以更高的功率密度实现小型化与系统集成	- 25 -
图 53: GaN 材料 5G 基站发展趋势.....	- 26 -
图 54: Navitas 45W 充电器与苹果 29W 充电器.....	- 26 -
图 55: 近年来 GaN 快速头逐渐成为潮流.....	- 26 -
图 56: Macom 产品线涵盖射频微波器件到光器件.....	- 27 -
图 57: Macom GaN 产品与其他材料器件性能对比.....	- 27 -
图 58: Macom GaN 产品应用领域与客户	- 27 -
图 59: Transphorm 发展历程.....	- 28 -
图 60: 三安集成工艺平台	- 29 -
图 61: 三安集成发展历程	- 29 -
图 62: A 股布局 SiC/GaN 企业	- 29 -

硅的瓶颈与宽禁带半导体的兴起

Si 材料的历史与瓶颈

- 上世纪五十年代以来，以硅（Si）材料为代表的第一代半导体材料取代了笨重的电子管引发了集成电路（IC）为核心的微电子领域迅速发展。然而，由于硅材料的带隙较窄、电子迁移率和击穿电场较低，Si 在光电子领域和高频高功率器件方面的应用受到诸多限制，在高频下工作性能较差，不适用于高压应用场景，光学性能也得不到突破。

图 1：硅材料面临诸多性能限制



资料来源：公开资料，中泰证券研究所

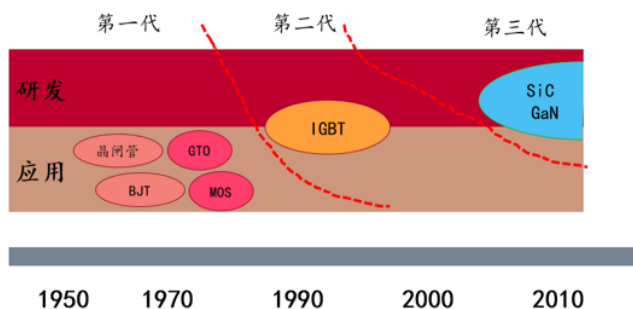
- 随着 Si 材料的瓶颈日益突出，以砷化镓（GaAs）为代表的第二代半导体材料开始崭露头角，使半导体材料的应用进入光电子领域，尤其是在红外激光器和高亮度的红光二极管等方面。第三代半导体材料的兴起，则是以氮化镓（GaN）材料 p 型掺杂的突破为起点，以高亮度蓝光发光二极管（LED）和蓝光激光器（LD）的研制成功为标志，包括 GaN、碳化硅（SiC）和氧化锌（ZnO）等宽禁带材料。

图 2：半导体材料特性对比

材质	Si	GaAs	GaN	SiC
禁带结构	间接带隙	直接带隙	间接带隙	直接带隙
禁带宽度 (eV)	1.1	1.4	3.4	3.3
电子迁移率 (cm ² /Vs)	1350	8500	2000	1000
介电常数	11.9	13.1	9	10.1
击穿场强 (kV/cm)	0.3	0.4	3.3	2.8
电子饱和和漂移速率(10 ⁷ cm/s)	1	1	2.7	2.2
热导率(W/cm K)	1.5	0.5	1.3	4.9
器件理论最高工作温度	175	350	800	600

资料来源：赛迪智库，中泰证券研究所

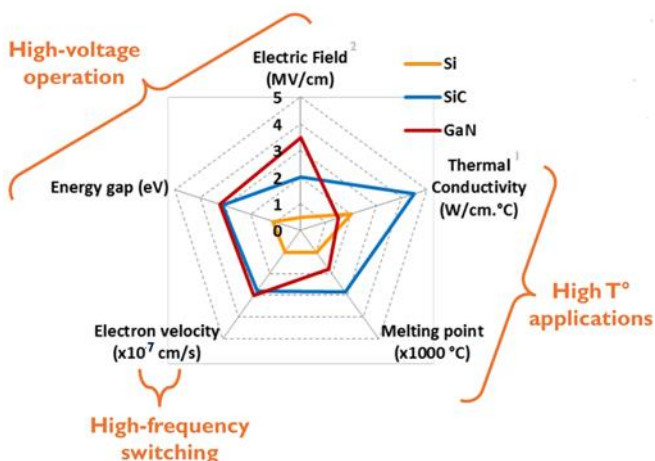
图 3：半导体材料与器件发展史



资料来源：自行绘制，中泰证券研究所

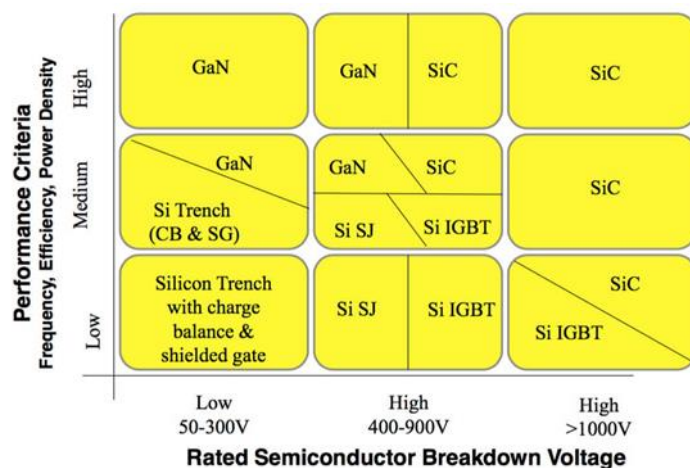
- 第三代半导体（本文以 SiC 和 GaN 为主）又称宽禁带半导体，禁带宽度在 2.2eV 以上，具有高击穿电场、高饱和电子速度、高热导率、高电子密度、高迁移率等特点，逐步受到重视。SiC 与 GaN 相比较，前者相对 GaN 发展更早一些，技术成熟度也更高一些；两者有一个很大的区别是热导率，这使得在高功率应用中，SiC 占据统治地位；同时由于 GaN 具有更高的电子迁移率，因而能够比 SiC 或 Si 具有更高的开关速度，在高频应用领域，GaN 具备优势。

图 4: SiC、GaN 与 Si 性能差异



资料来源: Yole, 中泰证券研究所

图 5: SiC、GaN 与 Si 各有优势领域

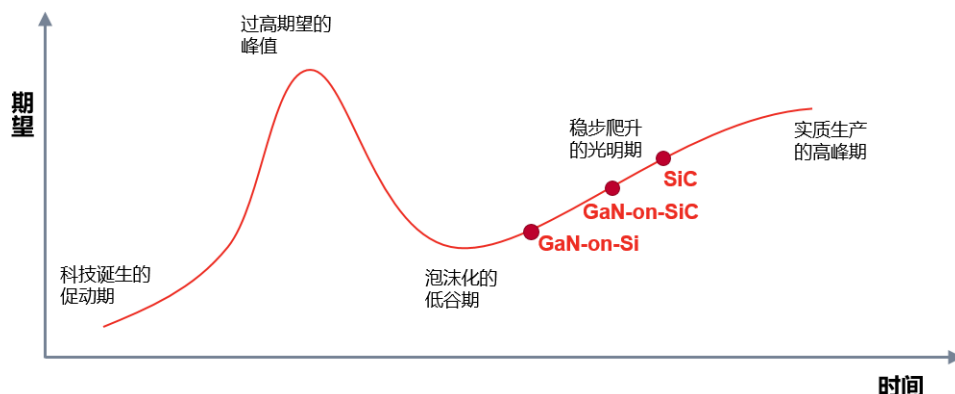


资料来源: On semi 官网, 中泰证券研究所

SiC/GaN: 稳定爬升的光明期

- 虽然学术界和产业界很早认识到 SiC 和 GaN 相对于传统 Si 材料的优点，但是由于制造设备、制造工艺与成本的劣势，多年来只是在小范围内得到应用，无法挑战 Si 基器件的统治地位，但是随着 5G、汽车等新市场出现，SiC/GaN 不可替代的优势使得相关产品的研发与应用加速；随着制备技术的进步，SiC 与 GaN 器件与模块在成本上已经可以纳入备选方案内，需求拉动叠加成本降低，SiC/GaN 的时代即将迎来。

图 6: SiC 与 GaN 处于稳步爬升的光明期



资料来源：自行绘制，中泰证券研究所

SiC: 极限功率器件的理想材料

SiC: 极限功率器件的理想材料

- SiC 是由硅和碳组成的化合物半导体材料，在热、化学、机械方面都非常稳定。C 原子和 Si 原子不同的结合方式使 SiC 拥有多种晶格结构，如 4H、6H、3C 等等。4H-SiC 因为其较高的载流子迁移率，能够提供较高的电流密度，常被用来做功率器件。

图 7: 三种不同的 SiC 结构

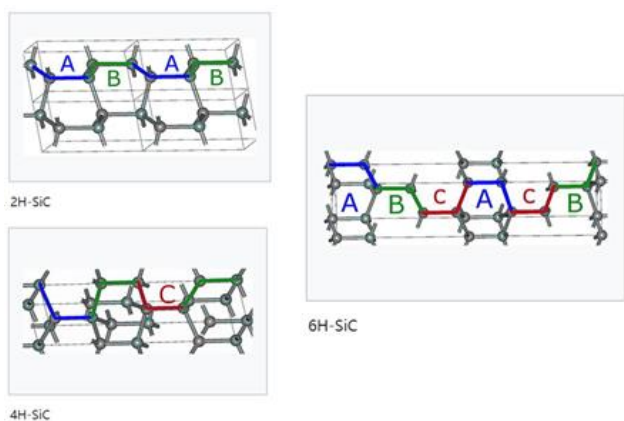
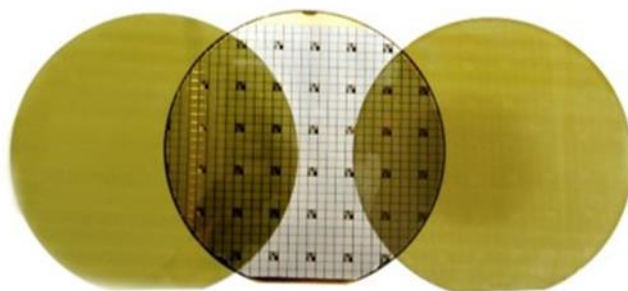


图 8: SiC 晶圆



资料来源：公开资料，中泰证券研究所

资料来源：公开资料，中泰证券研究所

- SiC 从上个世纪 70 年代开始研发，2001 年 SiC SBD 商用，2010 年 SiC MOSFET 商用，SiC IGBT 还在研发当中。随着 6 英寸 SiC 单晶衬底和外延晶片的缺陷降低和质量提高，使得 SiC 器件制备能够在目前现有 6 英寸 Si 基功率器件生长线上进行，这将进一步降低 SiC 材料和器件成本，推进 SiC 器件和模块的普及。

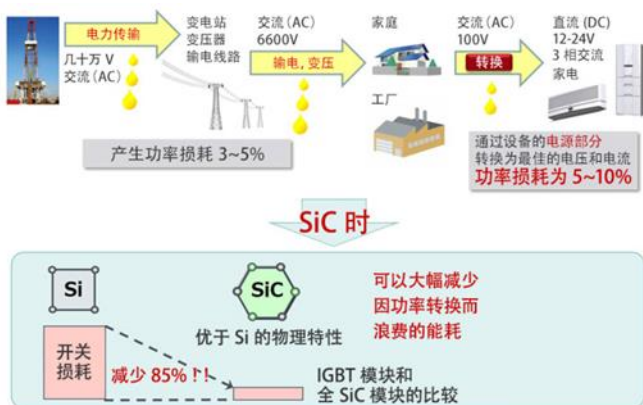
图 9: SiC 功率器件的发展历史



资料来源: CREE、Infineon、ROHM 官网, 中泰证券研究所

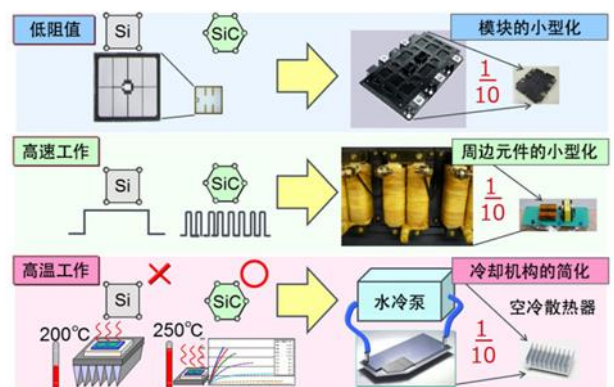
- SiC 器件相对于 Si 器件的优势主要来自三个方面: 降低电能转换过程中的能量损耗、更容易实现小型化、更耐高温高压。
 - **降低能量损耗。** SiC 材料开关损耗极低, 全 SiC 功率模块的开关损耗大大低于同等 IGBT 模块的开关损耗, 而且开关频率越高, 与 IGBT 模块之间的损耗差越大, 这就意味着对于 IGBT 模块不擅长的高速开关工作, 全 SiC 功率模块不仅可以大幅降低损耗还可以实现高速开关。
 - **低阻值使得更易实现小型化。** SiC 材料具备更低的通态电阻, 阻值相同的情况下可以缩小芯片的面积, SiC 功率模块的尺寸可达到仅为 Si 的 1/10 左右。
 - **更耐高温。** SiC 的禁带宽度 3.23eV, 相应的本征温度可高达 800 摄氏度, 承受的温度相对 Si 更高; SiC 材料拥有 3.7W/cm/K 的热导率, 而硅材料的热导率仅有 1.5W/cm/K, 更高的热导率可以带来功率密度的显著提升, 同时散热系统的设计更简单, 或者直接采用自然冷却。

图 10: SiC 能大大降低功率转换中的开关损耗



资料来源: TechWeb 官网, 中泰证券研究所

图 11: SiC 更容易实现模块的小型化、更耐高温

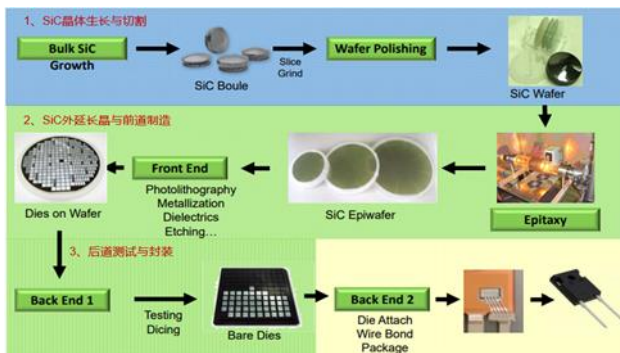


资料来源: TechWeb 官网, 中泰证券研究所

SiC 产业链：欧美占据关键位置

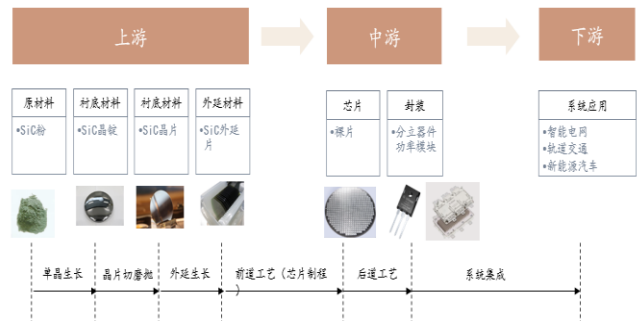
- SiC 生产过程分为 SiC 单晶生长、外延层生长及器件制造三大步骤，对应的是产业链衬底、外延、器件与模组三大环节。
 - **SiC 衬底**：SiC 晶体通常用 Lely 法制造，国际主流产品正从 4 英寸向 6 英寸过渡，且已经开发出 8 英寸导电型衬底产品，国内衬底以 4 英寸为主。由于现有的 6 英寸的硅晶圆产线可以升级改造用于生产 SiC 器件，所以 6 英寸 SiC 衬底的高市占率将维持较长时间。
 - **SiC 外延**：通常用化学气相沉积（CVD）方法制造，根据不同的掺杂类型，分为 n 型、p 型外延片。国内瀚天天成、东莞天域已能提供 4 寸/6 寸 SiC 外延片。
 - **SiC 器件**：国际上 600~1700V SiC SBD、MOSFET 已经实现产业化，主流产品耐压水平在 1200V 以下，封装形式以 TO 封装为主。价格方面，国际上的 SiC 产品价格是对应 Si 产品的 5~6 倍，正以每年 10% 的速度下降，随着上游材料器件纷纷扩产上线，未来 2~3 年后市场供应加大，价格将进一步下降，预计价格达到对应 Si 产品 2~3 倍时，由系统成本减少和性能提升带来的优势将推动 SiC 逐步占领 Si 器件的市场空间。

图 12：SiC 器件生产流程



资料来源：Global Power，中泰证券研究所

图 13：SiC 产业链及主要工序



资料来源：公开资料整理，中泰证券研究所

- 全球 SiC 产业格局呈现美国、欧洲、日本三足鼎立态势。其中美国全球独大，全球 SiC 产量的 70%~80% 来自美国公司，典型公司是 Cree、II-VI；欧洲拥有完整的 SiC 衬底、外延、器件以及应用产业链，典型公司是英飞凌、意法半导体等；日本是设备和模块开发方面的领先者，典型公司是罗姆半导体、三菱电机、富士电机等。

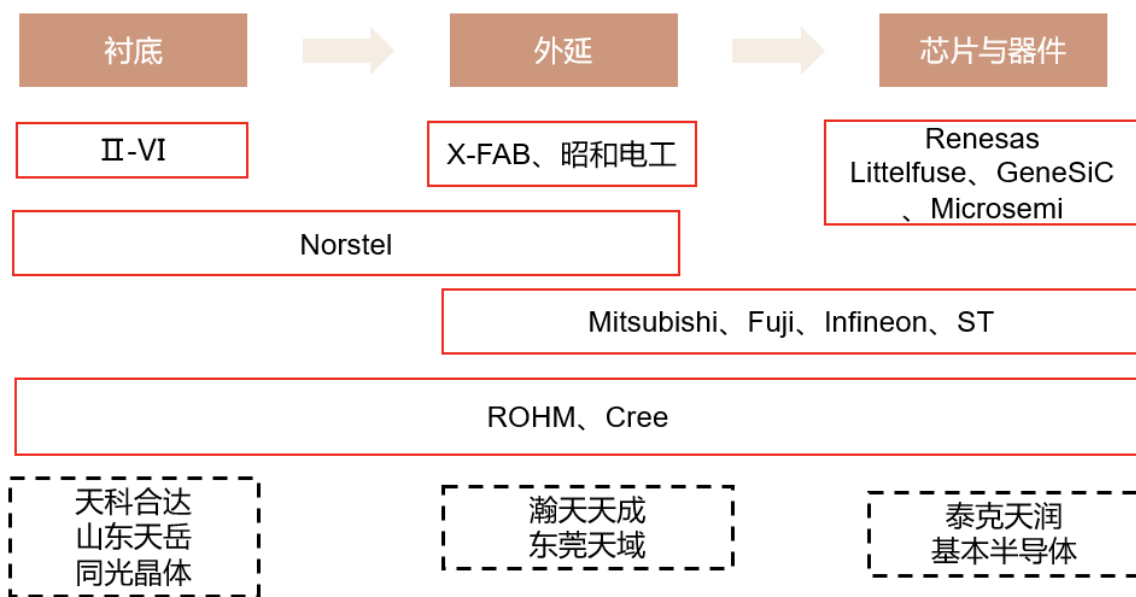
图 14: SiC 产业链各环节公司



资料来源：材料深一度，中泰证券研究所

- 国内企业在 SiC 方面也多有布局。**SiC 衬底**方面，天科合达、山东天岳、同光晶体等均能供应 3 英寸~6 英寸的单晶衬底。**SiC 外延片**方面，厦门瀚天天成与东莞天域生产 3 英寸~6 英寸 SiC 外延片。**SiC 器件 IDM** 方面，中电科 55 所是国内少数从 4-6 寸碳化硅外延生长、芯片设计与制造、模块封装领域实现全产业链的企业单位，其 6 英寸碳化硅中试线已投入运行，旗下的控股子公司扬州国扬电子为“宽禁带电力电子器件国家重点实验室”的重要实体单位，专业从事以碳化硅为代表的新型半导体功率模块的研制和批产，现有一条于 2017 年投产、产能 50 万只/年的模块工艺线。泰科天润已经量产 SiC SBD，产品涵盖 600V/5A~50A、1200V/5A~50A 和 1700V/10A 系列。深圳基本半导体拥有独创的 3D SiC 技术，推出的 1200V SiC MOSFET 性能达到业界领先水平。**SiC 器件 Fabless** 方面，上海瞻芯电子于 2018 年 5 月成功地在一条成熟量产的 6 英寸工艺生产线上完成 SiC MOSFET 的制造流程。**代工**方面，三安光电旗下的三安集成于 2018 年 12 月公布商业版本的 6 英寸碳 SiC 晶圆制造流程，并将其加入到代工组合当中。根据公司新闻稿，目前三安 SiC 工艺技术可以为 650V、1200V 和更高额定电压的肖特基势垒二极管 (SBD) 提供器件结构，公司预计在不久后会推出针对 900V、1200V 和更高额定电压的 SiC MOSFETs 产品。

图 15: SiC 产业以欧美日为主



资料来源：公开资料整理，中泰证券研究所

SiC 市场：汽车是最大驱动力

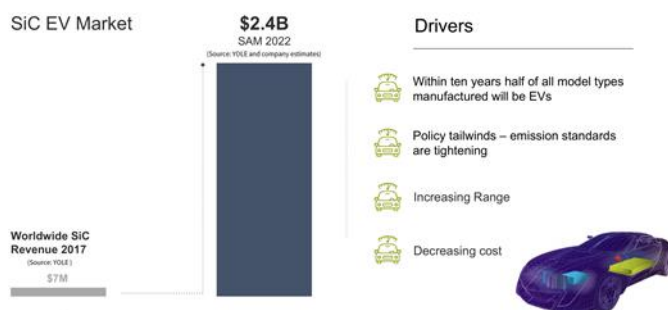
- SiC 器件正在广泛地被应用在电力电子领域中，典型市场包括轨交、功率因数校正电源(PFC)、风电(wind)、光伏(PV)、新能源汽车(EV/HEV)、充电桩、不间断电源(UPS)等。根据 Yole 的预测，2017~2023 年，SiC 功率器件市场将以每年 31% 的复合增长率增长，2023 年将超过 15 亿美元；而 SiC 行业龙头 Cree 则更为乐观，其预计短期到 2022 年，SiC 在电动车用市场空间将快速成长到 24 亿美元，是 2017 年车用 SiC 整体收入（700 万美元）的 342 倍。

图 16: SiC 器件应用领域广泛



资料来源：Yole，中泰证券研究所

图 17: 2022 年 SiC 在电动车市场规模达到 24 亿美金

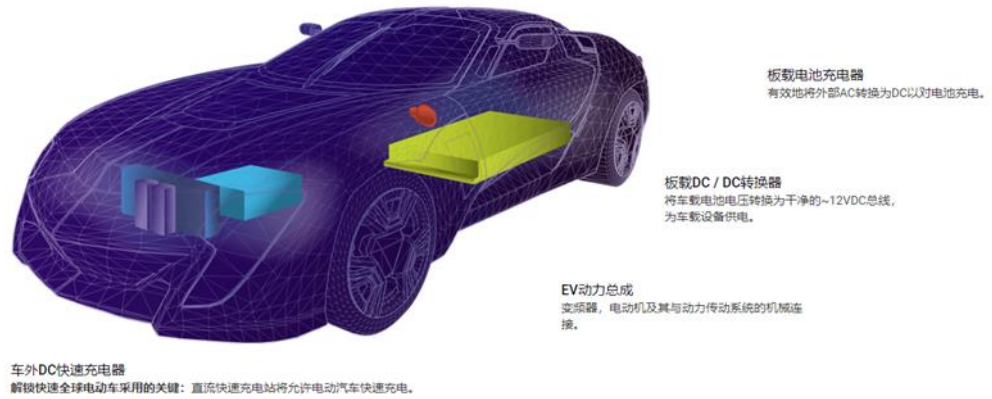


资料来源：Cree 官网，中泰证券研究所

- SiC 是制作高温、高频、大功率、高压器件的理想材料之一，技术也已经趋于成熟，令其成为实现新能源汽车最佳性能的理想选择。与传统解

决方案相比，基于 SiC 的解决方案使系统效率更高、重量更轻及结构更加紧凑。目前 SiC 器件在 EV/HEV 上应用主要是功率控制单元、逆变器、DC-DC 转换器、车载充电器等方面。

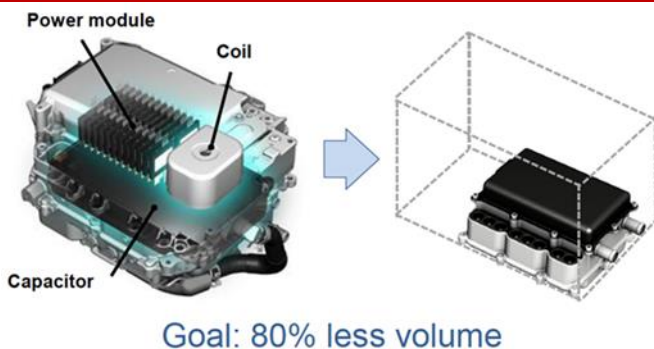
图 18: SiC 器件在四个关键领域提升电动汽车的系统效率



资料来源: Cree 官网, 中泰证券研究所

- **新能源车的功率控制单元 (PCU)**。PCU 是汽车电驱系统的中枢神经，管理电池中的电能与电机之间的流向、传递速度。传统 PCU 使用硅基材料半导体制成，强电流与高压电穿过硅制晶体管 and 二极管的时的电能损耗是混合动力车最主要的电能损耗来源。而使用 SiC 则大大降低了这一过程中能量损失，将传统 PCU 配备的 Si 二极管替换成 SiC 二极管，Si IGBT 替换成 SiC MOSFET，就可以降低 10% 的总能量损耗，同时也可以大幅降低器件尺寸，使得车辆更为紧凑。丰田中央研发实验室 (CRDL) 和电装公司从 1980 年代就开始合作开发 SiC 半导体材料，2014 年双方正式发布了基于 SiC 半导体器件的新能源汽车 PCU，是这一领域的典型代表。

图 19: 采用 SiC 的 PCU 尺寸大大减小



资料来源: Geekcar 官网, 中泰证券研究所

图 20: 罗姆的 SiC 赛车用逆变器明显降低重量及尺寸



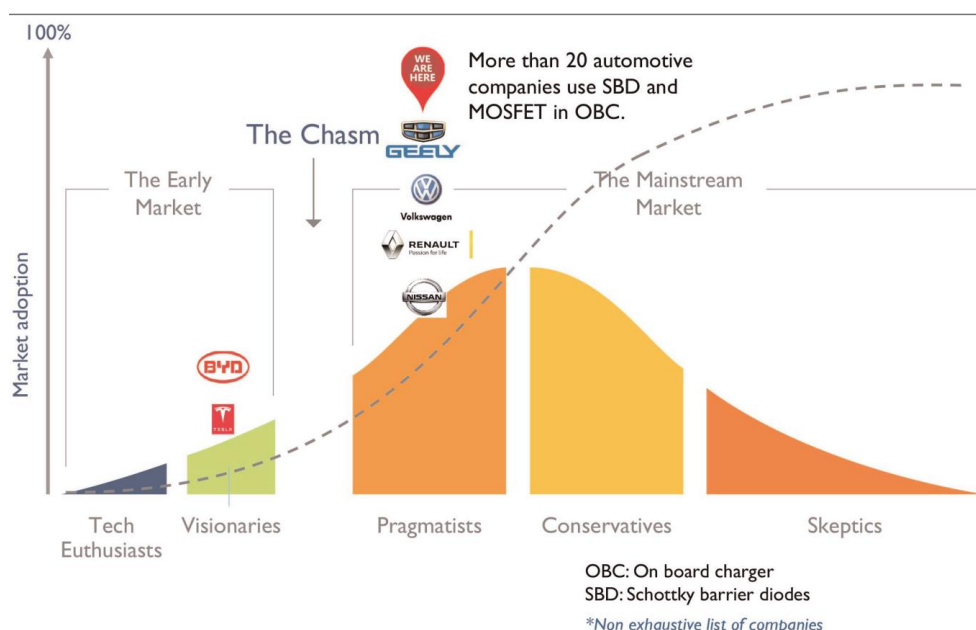
资料来源: Rohm 官网, 中泰证券研究所

- **车用逆变器**。SiC 用在车用逆变器上，能够大幅度降低逆变器尺寸及重量，做到轻量化与节能。在相同功率等级下，全 SiC 模块的封装尺寸显著小于 Si 模块，同时也可以使开关损耗降低 75% (芯片温度为 150° C)；

在相同封装下，全 SiC 模块具备更高电流输出能力，支持逆变器达到更高功率。特斯拉 Model 3 采用了意法半导体（后来增加了英飞凌）生产的 SiC 逆变器，是第一家在主逆变器中集成全 SiC 功率模块的车企。2017 年 12 月 2 日，ROHM 为 VENTURI 车队在电动汽车全球顶级赛事“FIA Formula E”锦标赛第四赛季中提供了采用全 SiC 功率模块制造的逆变器，使得相对于第二赛季的逆变器尺寸下降 43%，重量轻了 6kg。

- **车载充电器。** SiC 功率器件正在加速其在车载充电器领域的应用趋势，在今年的功率器件展 PCIM Europe 2018（2018 年 6 月 5~7 日在德国纽伦堡举行）上，多家厂商推出了面向 HEV/EV 等电动汽车充电器的 SiC 功率器件产品。据 Yole 统计，截至 2018 年有超过 20 家汽车厂商在自家车载充电器中采用 SiC SBD 或 SiC MOSFET 器件，且这一市场在 2023 年之前保持 44% 的增长。

图 21：超过 20 家汽车制造商在车载充电器中采用 SiC



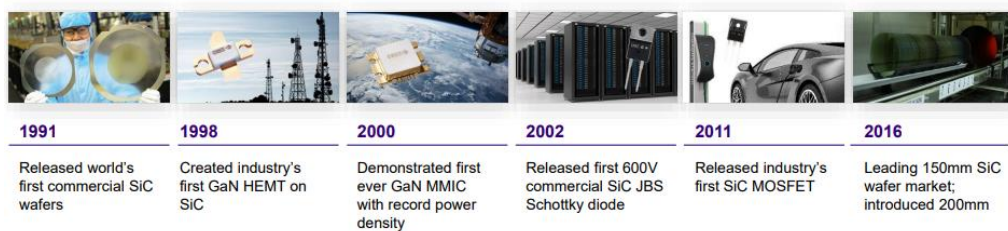
资料来源：Yole（2018），中泰证券研究所

重要 SiC 企业梳理

1、Cree

- Cree 旗下的 Wolfspeed 是生产 SiC 肖特基二极管、SiC MOSFET 元件以及模块，以及 GaN 器件的先驱公司，在 SiC/GaN 材料方面具有 30 年经验，在 SiC 功率市场与 GaN 射频器件市场具有领导地位。

图 22: Cree 在 SiC 功率器件有近 30 年历史



资料来源: Cree 官网, 中泰证券研究所

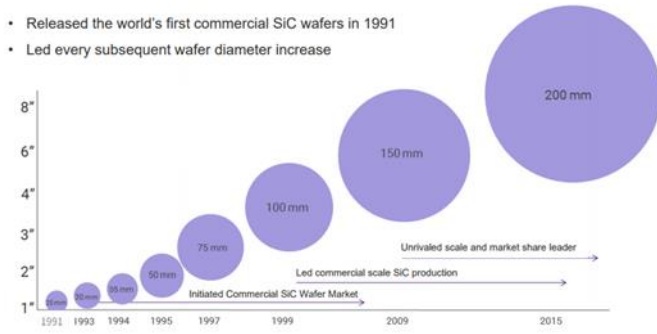
- 在 SiC 功率器件市场, Wolfspeed 占据市场最大的份额, 是行业第一家商用 SiC MOSFET 的企业, 服务上千家客户; 在 GaN 射频器件市场, Wolfspeed 市场份额位居第二, 具备十年以上的 GaN HEMT 生产经验, 出货量超过 1500 万只; 在 SiC 材料市场, Wolfspeed 是第一家提供商业化 SiC 晶圆产品的企业 (1991 年), 且在其后的 30 年发展中引领了 SiC 晶圆尺寸的有小变大 (目前为 8 寸), 是名副其实的市场引领者。

图 23: 采用 SiC 的 PCU 尺寸大大减小



资料来源: Cree 官网, 中泰证券研究所

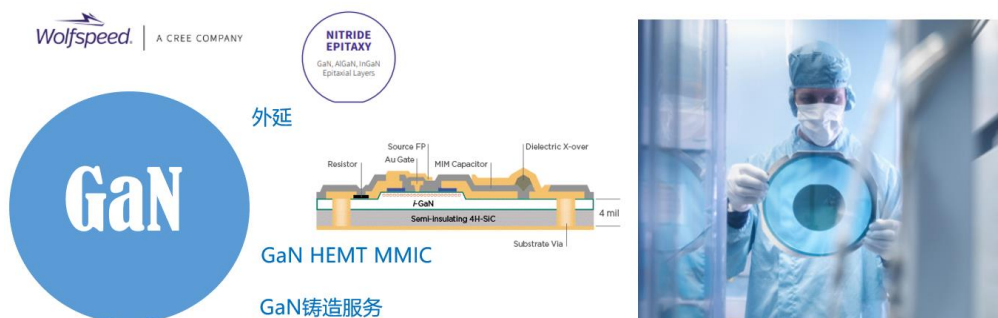
图 24: 罗姆的 SiC 赛车用逆变器明显降低重量及尺寸



资料来源: Cree 官网, 中泰证券研究所

- Wolfspeed 同时提供 GaN-on-SiC 代工服务, 改变了行业传统的 IDM 业态。作为 GaN-on-SiC MMIC 技术的领导者, 公司运用世界上最大的宽禁带半导体生产线为客户提供从设计协助到制造、测试服务, 缩短下游客户产品推出周期。国内三安集成的 GaN 代工服务与之类似。

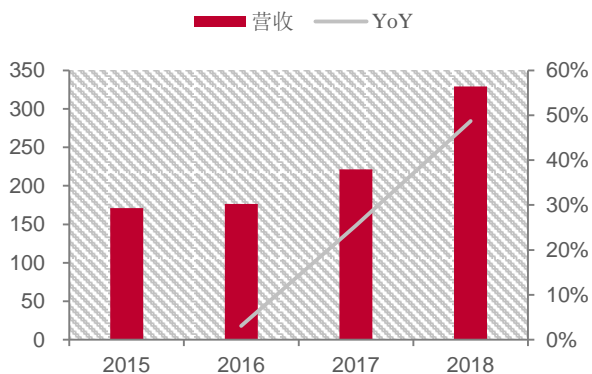
图 25: Wolfspeed 推出 GaN-on-SiC 代工服务



资料来源: Cree 官网, 中泰证券研究所

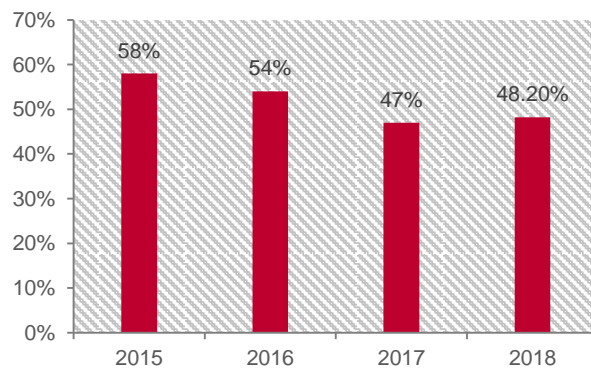
- Wolfspeed 虽然目前是 Cree 三大部门 (LED、LED 照明应用、Wolfspeed) 中体量最小的, 但已经是公司最核心的业务部门。Wolfspeed 2018 年实现营收 3.29 亿美元, 同比增长 25.47%; 毛利率高达 47%。根据公开业绩说明会, Wolfspeed 的目标是在 2022 年收入番两番, 达到 8.5 亿美元, 届时将成为 Cree 最大的收入来源。在 Wolfspeed 看来, 到 2022 年只要有 25% 的目标市场转换为 SiC 和 GaN, 就将是 20 亿美元的市场, 是现今市场的 8 倍, 公司为极具潜力的 SiC 和 GaN 已经做好了准备。

图 26: Wolfspeed 营收大幅增长 (百万美元)



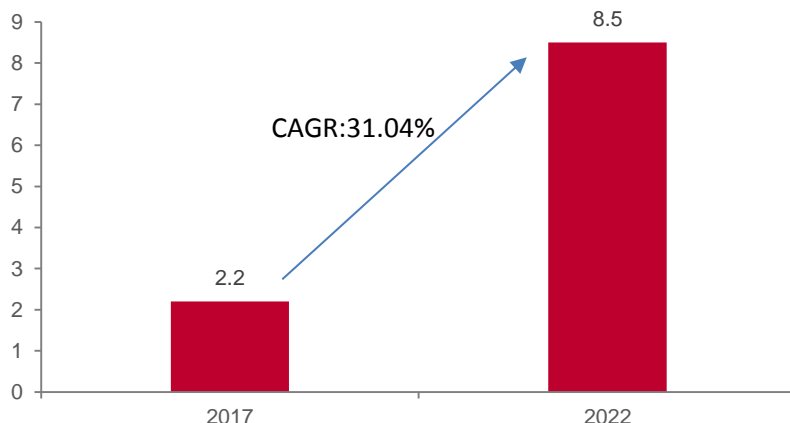
资料来源: Cree 年报, 中泰证券研究所

图 27: Wolfspeed 毛利率处于较高水平



资料来源: Cree 年报, 中泰证券研究所

图 28: Wolfspeed 预计到 2022 年收入翻两番达到 8.5 亿美元

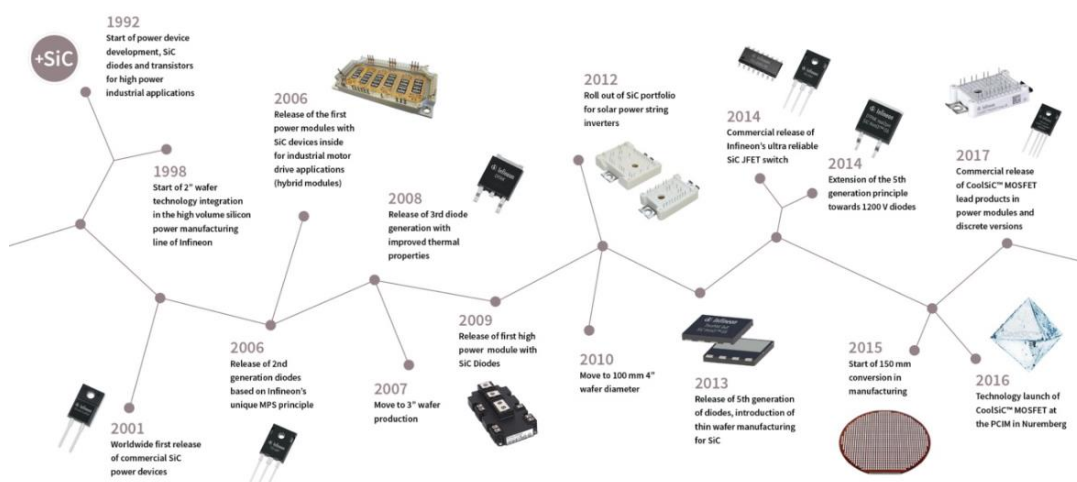


资料来源: Cree 年报, 中泰证券研究所

2、英飞凌

- Infineon 是市场上唯一一家提供涵盖 Si、SiC 和 GaN 等材料的全系列功率产品的公司,开发的 CoolSiC 技术具备非常大的潜力。Infineon 于 1992 年开始 SiC 领域研发,2001 全球首次 SiC 二极管推出商业市场,于 2006 年推出全球首个采用 SiC 组件的商用电源模块,目前已经已经发展至第五代。公司近年在奥地利投入三千五百万欧元对 SiC 设备和相关工艺的研发。

图 29: Infineon 从 1992 年即开始 SiC 研发



资料来源: Infineon 官网, 中泰证券研究所

- 2018 年 2 月 Infineon 与 Cree 宣布签订了战略性长期供货协议,负责向后者提供 SiC 晶圆; 11 月收购 Siltrectra 获得 Cold Split 技术,相比传统研磨 90% 的材料浪费,该技术将耗材成本降低 50%,并将整体切片成本降低 30%。

图 30: Cold Split 技术流程



资料来源: Siltrectra 官网, 中泰证券研究所

3、ROHM (罗姆半导体)

- ROHM 是日本首家、全球第四家具备 SiC 器件量产能力的半导体厂商，其优势在于实现从衬底到模块的垂直整合。根据 Yole 的统计，Infineon 和 Cree 两家公司占据了整个 SiC 市场份额 68%，其后便是 ROHM。为了把握 SiC 材料快速增长的机遇，根据公开业绩说明会，公司计划分批投入共计 600 亿日元，至 2025 年时将 SiC 的产能提升至 2017 年的 16 倍。力争到 2025 年，ROHM 能在全球 SiC 市场的份额达到 30%。

图 31: ROHM SiC 发展时间表



资料来源: ROHM 官网, 中泰证券研究所

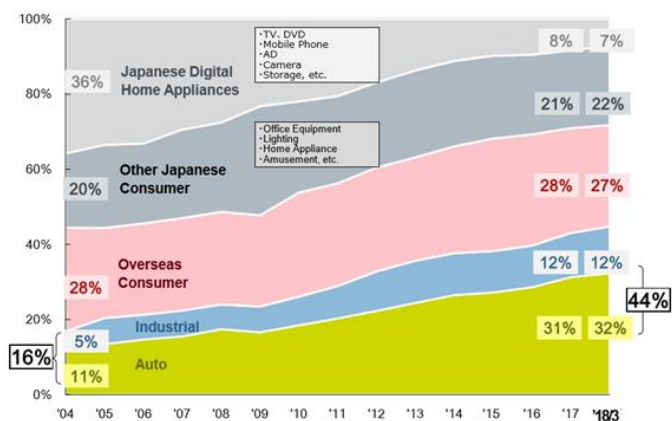
图 32: ROHM SiC 产品路线规划图



资料来源: ROHM 业绩说明会, 中泰证券研究所

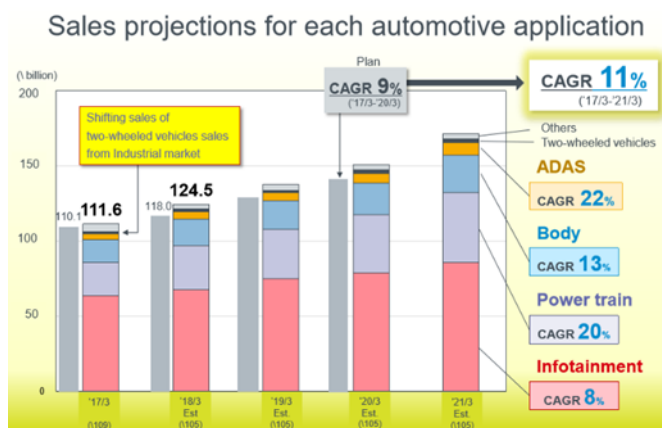
- ROHM 专注于汽车和工业市场。截至 2017 财年，汽车和工业的销售已经占到总销售额的 44%，根据公司业绩说明会，预计 2020 年更将达到 50%，其中汽车占 35%，工业占 15%。公司预计汽车、工业方面将分别实现年均增长 11%、13%(2017 年 3 月—2021 年 3 月)。

图 33: ROHM 向汽车和工业转型的趋势



资料来源: ROHM 业绩说明会, 中泰证券研究所

图 34: ROHM SiC 车载应用营收份额



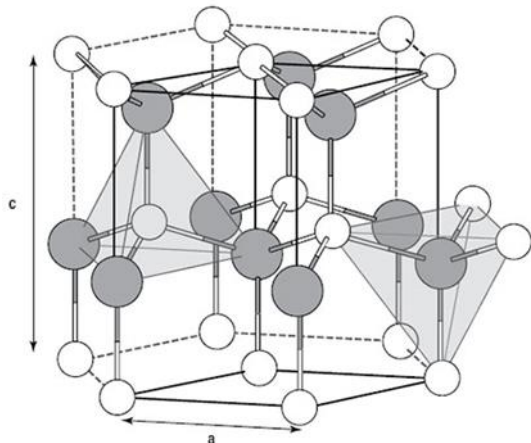
资料来源: ROHM 业绩说明会, 中泰证券研究所

GaN: 5G 应用的关键材料

GaN: 承上启下的宽禁带半导体材料

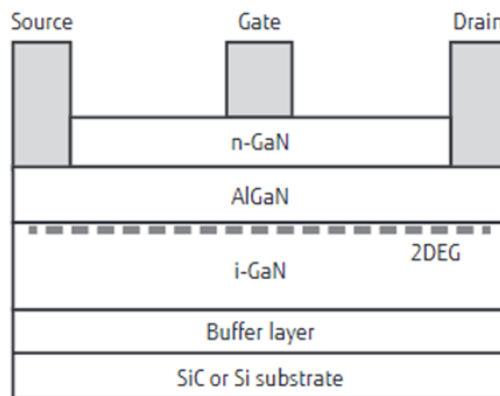
- **GaN 材料与 Si/SiC 相比有独特优势。** GaN 与 SiC 同属于第三代宽禁带半导体材料, 相较于已经发展十多年的 SiC, GaN 功率器件是后进者, 它拥有类似 SiC 性能优势的宽禁带材料, 但拥有更大的成本控制潜力。与传统 Si 材料相比, 基于 GaN 材料制备的功率器件拥有更高的功率密度输出, 以及更高的能量转换效率, 并可以使系统小型化、轻量化, 有效降低电力电子装置的体积和重量, 从而极大降低系统制作及生产成本。
- **GaN 是极稳定的化合物, 又是坚硬的高熔点材料, 熔点约为 1700°C, GaN 具有高的电离度, 在 III-V 族化合物中是最高的 (0.5 或 0.43)。在大气压力下, GaN 晶体一般是六方纤锌矿结构。**

图 35: GaN 原子结构



资料来源: IEEE, 中泰证券研究所

图 36: 典型 GaN HEMT 结构

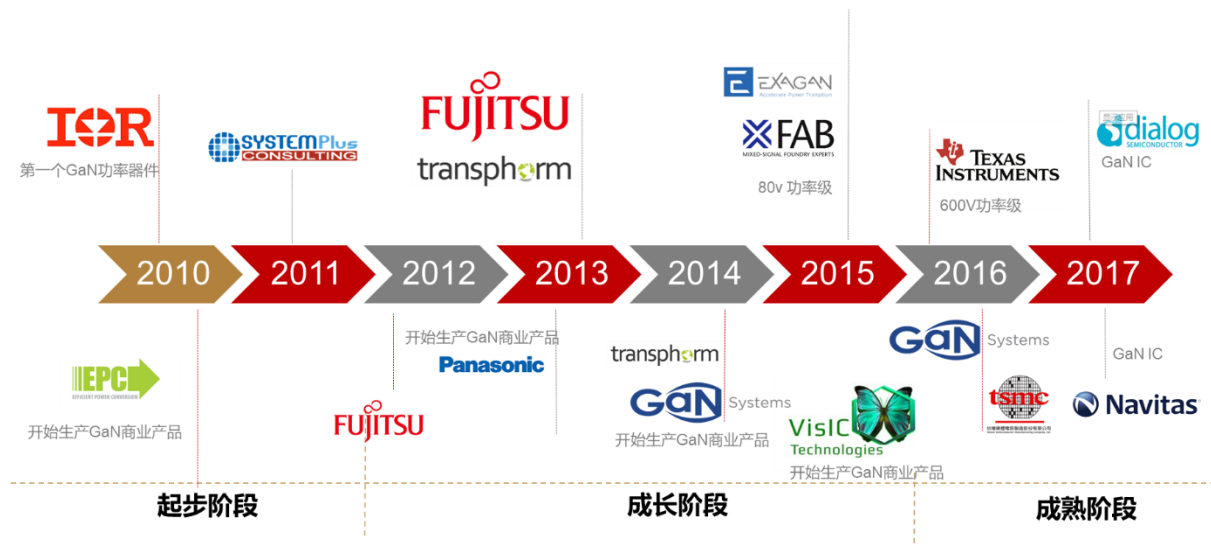


资料来源: FUJITSU 官网, 中泰证券研究所

- **GaN 器件逐步步入成熟阶段。** 基于 GaN 的 LED 自上世纪 90 年代开始

大放异彩，目前已是 LED 的主流，自 20 世纪初以来，GaN 功率器件已经逐步商业化。2010 年，第一个 GaN 功率器件由 IR 投入市场，2014 年以后，600V GaN HEMT 已经成为 GaN 器件主流。2014 年，行业首次在 8 英寸 SiC 上生长 GaN 器件。

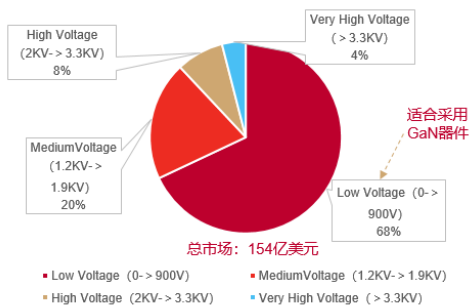
图 37: GaN 器件逐步步入成熟阶段



资料来源: 各公司官网, 中泰证券研究所

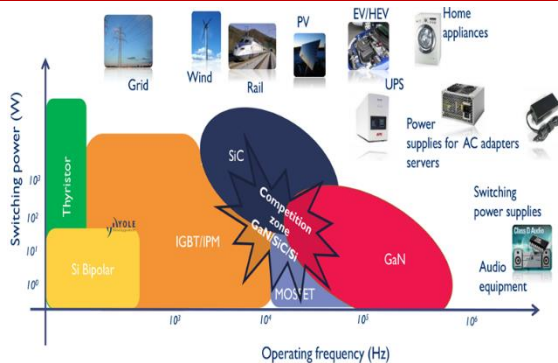
- 随着成本降低，GaN 市场空间持续放大。GaN 与 SiC、Si 材料各有其优势领域，但是也有重叠的地方。GaN 材料电子饱和和漂移速率最高，适合高频率应用场景，但是在高压高功率场景不如 SiC；随着成本的下降，GaN 有望在中低功率领域替代二极管、IGBT、MOSFET 等硅基功率器件。以电压来分，0~300V 是 Si 材料占据优势，600V 以上是 SiC 占据优势，300V~600V 之间则是 GaN 材料的优势领域。根据 Yole 估计，在 0~900V 的低压市场，GaN 都有较大的应用潜力，这一块占据整个功率市场约 68% 的比重，按照整体市场 154 亿美元来看，GaN 潜在市场超过 100 亿美元。

图 38: GaN 器件可以适用于超过 68% 的功率器件市场



资料来源: Yole, 中泰证券研究所

图 39: 不同功率器件所处的优势领域

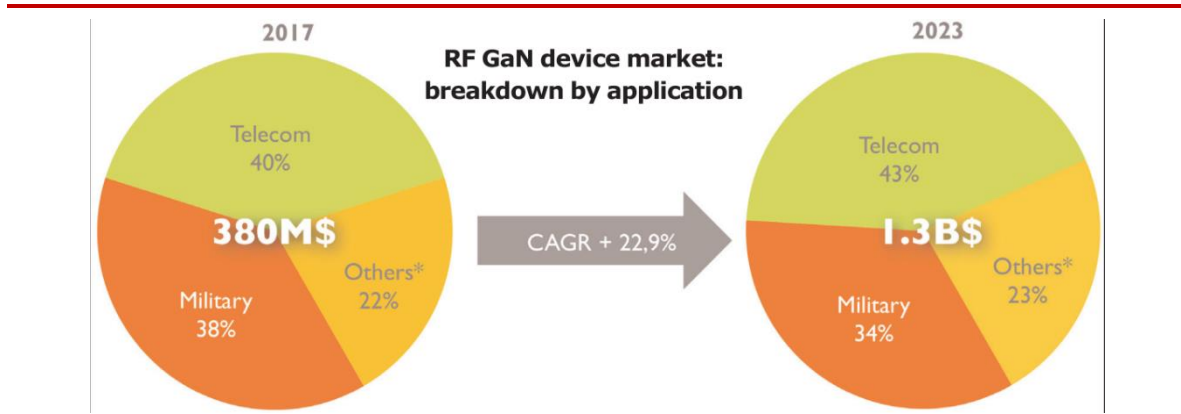


资料来源: Yole, 中泰证券研究所

- GaN RF 市场即将大放异彩。根据 Yole 估计，大多数低于 6GHz 的宏网络单元实施将使用 GaN 器件，到 2023 年，GaN RF 器件市场规模达到

13 亿美元。

图 40: GaN RF 市场规模于 2023 年达到 13 亿美金

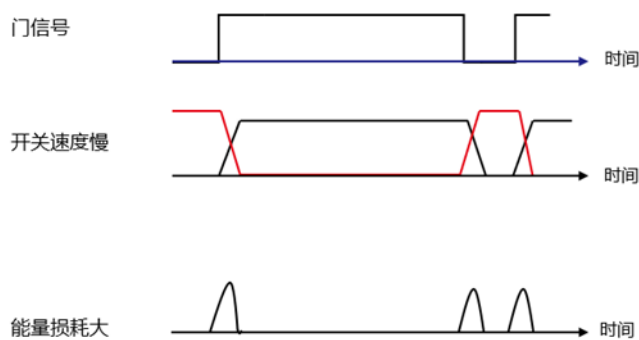


资料来源: Yole, 中泰证券研究所

GaN 在电力电子领域与微波射频领域均有优势

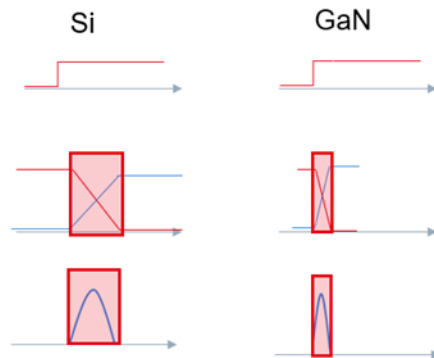
- GaN 在电力电子领域主要优势在于高效率、低损耗与高频率。GaN 材料的这一特性使得其在消费电子充电器、新能源充电桩、数据中心等领域具有很大的应用前景。
 - **高转换效率:** GaN 的禁带宽度是 Si 的 3 倍, 击穿电场是 Si 的 10 倍。因此, 同样额定电压的 GaN 开关功率器件的导通电阻比 Si 器件低 3 个数量级, 大大降低了开关的导通损耗。
 - **低导通损耗:** GaN 的禁带宽度是 Si 的 3 倍, 击穿电场是 Si 的 10 倍。因此, 同样额定电压的 GaN 开关功率器件的导通电阻比 Si 器件低 3 个数量级, 大大降低了开关的导通损耗。
 - **高工作频率:** GaN 开关器件寄生电容小, 工作效率可以比 Si 器件提升至少 20 倍, 大大减小了电路中储能原件如电容、电感的体积, 从而成倍地减少设备体积, 减少铜等贵重原材料的消耗。

图 41: Si 功率器件开关速度慢, 能量损耗大



资料来源: 华功半导体官网, 中泰证券研究所

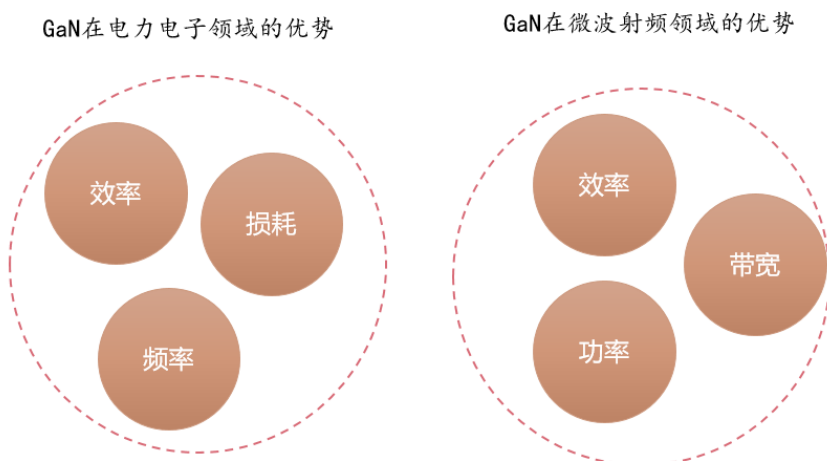
图 42: GaN 开关速度快, 可大幅度提升效率



资料来源: 华功半导体官网, 中泰证券研究所

- GaN 在微波射频领域主要优势在于高效率、大带宽与高功率。为射频元件材料，GaN 在电信基础设施和国防军工方面应用已经逐步铺展开来。
 - **更高效率**：降低功耗，节省电能，降低散热成本，降低总运行成本。
 - **更大的带宽**：提高信息携带量，用更少的器件实现多频率覆盖，降低客户产品成本。也适用于扩频通信、电子对抗等领域。
 - **更高的功率**：在 4GHz 以上频段，可以输出比 GaAs 高得多的频率，特别适合雷达、卫星通信、中继通信等领域。

图 43：GaN 器件在电力电子领域与微波射频领域的优势

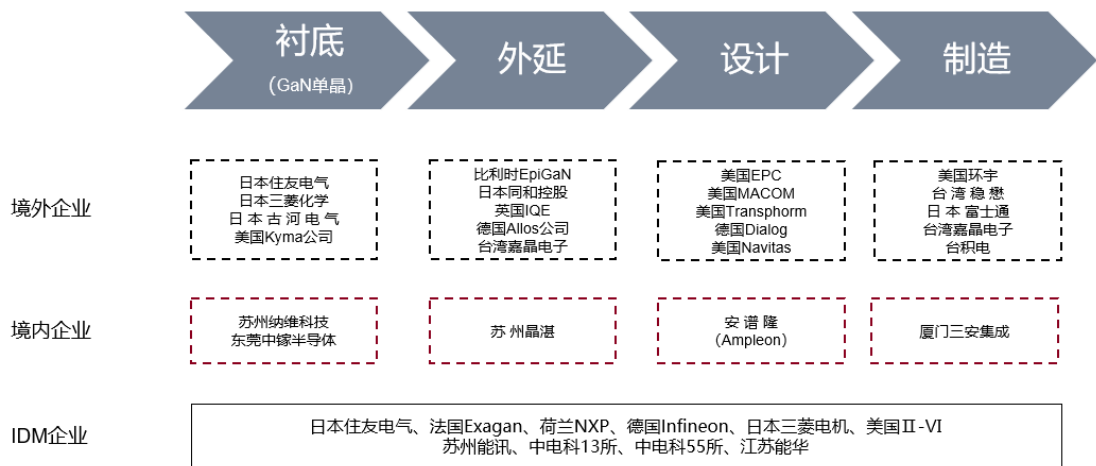


资料来源：自行绘制，中泰证券研究所

GaN 产业链：海外企业为主，国内企业逐步涉足

- GaN 与 SiC 产业链类似，GaN 器件产业链各环节依次为：GaN 单晶衬底（或 SiC、蓝宝石、Si）→ GaN 材料外延 → 器件设计 → 器件制造。目前产业以 IDM 企业为主，但是设计与制造环节已经开始出现分工，如传统硅晶圆代工厂台积电开始提供 GaN 制程代工服务，国内的三安集成也有成熟的 GaN 制程代工服务。各环节相关企业来看，基本以欧美企业为主，中国企业已经有所涉足。

图 44: GaN RF 市场规模于 2023 年达到 13 亿美金



资料来源：自行绘制，中泰证券研究所

- **GaN 衬底**: 主流产品以 2~3 英寸为主, 4 英寸也已经实现商用。GaN 衬底主要由日本公司主导, 日本住友电工的市场份额达到 90%以上。我国目前已实现产业化的企业包括苏州纳米所的苏州纳维科技公司和北京大学的东莞市中镓半导体科技公司。
- **GaN 外延片**: 根据衬底的不同主要分为 GaN-on-Si、GaN-on-SiC、GaN-on-sapphire、GaN-on-GaN 四种。**GaN-on-Si**: 目前行业生产良率较低, 但是在降低成本方面有着可观的潜力: 因为 Si 是最成熟、无缺陷、成本最低的衬底材料; 同时 Si 可以扩展到 8 寸晶圆厂, 降低单位生产成本, 使其晶圆成本与 SiC 基相比只有其百分之一; Si 的生长速度是于 SiC 晶体材料的 200 至 300 倍, 还有相应的晶圆厂设备折旧以及能耗成本上的差别等。GaN-on-Si 外延片主要用于制造电力电子器件, 其技术趋势是优化大尺寸外延技术。**GaN-on-SiC**: 结合了 SiC 优异的导热性和的 GaN 高功率密度和低损耗的能力, 是 RF 的合适材料。受限于 SiC 的衬底, 目前尺寸仍然限制在 4 寸与 6 寸, 8 寸还没有推广。**GaN-on-SiC** 外延片主要用于制造微波射频器件。**GaN-on-sapphire**: 主要应用在 LED 市场, 主流尺寸为 4 英寸, 蓝宝石衬底 GaN LED 芯片市场占有率达到 90%以上。**GaN-on-GaN**: 采用同质衬底的 GaN 主要应用市场是蓝/绿光激光器, 应用于激光显示、激光存储、激光照明等领域。

图 45: GaN 外延用不同衬底的对比

衬底材料	已可量产的最大尺寸	成本	热导率 (W/cmK)	外延材料质量
Sapphire	4 英寸	20 美元	0.5	好
Si	8 英寸	20 美元	1.49	一般
SiC	6 英寸	1000 美元	4.9	很好
GaN	2 英寸	2500 美元	1.3	非常好

资料来源：赛迪智库，中泰证券研究所

- **GaN 器件设计与制造**: GaN 器件分为射频器件和电力电子器件, 射频器件产品包括 PA、LNA、开关器、MMIC 等, 面向基站卫星、雷达等市

场；电力电子器件产品包括 SBD、常关型 FET、常开型 FET、级联（Cascode）FET 等产品，面向无线充电、电源开关、包络跟踪、逆变器、变流器等市场。按工艺分，则分为 HEMT、HBT 射频工艺和 SBD、Power FET 电力电子器件工艺两大类。

图 46: GaN 器件主要产品与工艺技术

器件类型	器件产品	应用领域	制造工艺	外延片	工艺制程
射频器件	PA、LNA、开关器、MMIC 等	基站、卫星、雷达等	HEMT、HBT	GaN-on-SiC、 GaN-on-Si	0.5μm-0.25μm 向 0.15μm-0.1μm 过渡
电力电子器件	SBD、常关型 FET、常开型 FET、 Cascode FET 等	无线充电、电源开关、包 络跟踪、逆变器、换流器 等	SBD、Power FET	GaN-on-Si	0.5μm-0.25μm

资料来源：赛迪智库，中泰证券研究所

GaN 市场：射频是主战场，5G 是重要机遇

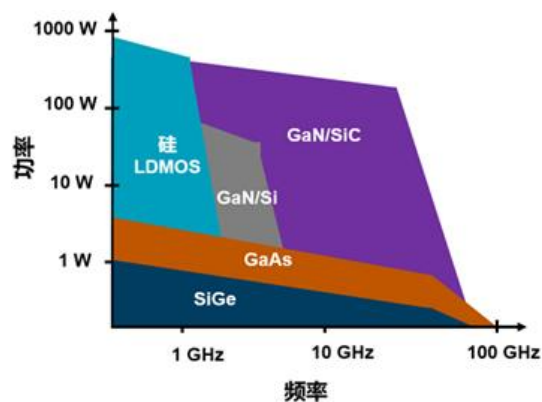
- **GaN 是射频器件的合适材料。**目前射频市场主要有三种工艺：GaAs 工艺，基于 Si 的 LDMOS（横向扩散金属氧化物半导体）工艺，以及 GaN 工艺。GaAs 器件的缺点是器件功率较低，低于 50W。LDMOS 器件的缺点是工作频率存在极限，最高有效频率在 3GHz 以下。GaN 弥补了 GaAs 和 Si 基 LDMOS 两种老式技术之间的缺陷，在体现 GaAs 高频性能的同时，结合了 Si 基 LDMOS 的功率处理能力。
- 在射频 PA 市场，LDMOS PA 带宽会随着频率的增加而大幅减少，仅在不超过约 3.5GHz 的频率范围内有效，采用 0.25 微米工艺的 GaN 器件频率可以高达其 4 倍，带宽可增加 20%，功率密度可达 6~8 W/mm（LDMOS 为 1~2W/mm），且无故障工作时间可达 100 万小时，更耐用，综合性能优势明显。

图 47: 使用 GaN 前后的效率对比



资料来源：MACOM，中泰证券研究所

图 48: 不同频率范围 RF 器件工艺技术对比



资料来源：MACOM，中泰证券研究所

- 在更高的频段（以及低功率范围），GaAs PA 是目前市场主流，出货占比占 9 成以上。GaAs RF 器件相比，GaN 优势主要在于带隙宽度与热导率。带隙宽度方面，GaN 的带隙电压高于 GaAs (3.4 eV VS 1.42 eV)，

GaN 器件具有更高的击穿电压，能满足更高的功率需求。热导率方面，GaN-on-SiC 的热导率远高于 GaAs，这意味着器件中的功耗可以更容易地转移到周围环境中，散热性更好。

图 49: 多级 GaAs 功率放大器和等效 GaN 功率放大器的比较

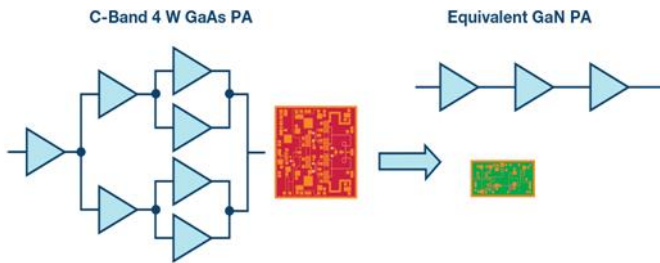
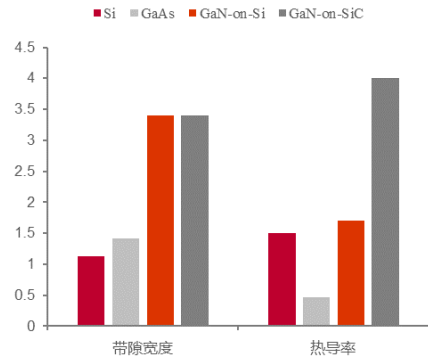


图 50: GaN 优势在于带隙宽度与热导率

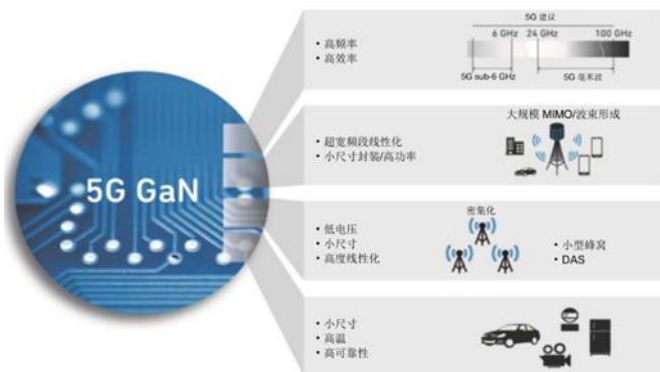


资料来源: MACOM 官网, 中泰证券研究所

资料来源: 赛迪智库, 中泰证券研究所

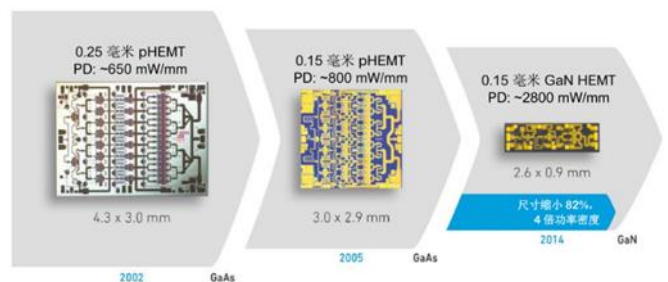
- **GaN 是 5G 应用的关键技术。**5G 将带来半导体材料革命性的变化，随着通讯频段向高频迁移，基站和通信设备需要支持高频性能的射频器件，GaN 的优势将逐步凸显，这正是前一节讨论的地方。正是这一优势，使得 GaN 成为 5G 的关键技术。
- 在 **Massive MIMO** 应用中，基站收发信机上使用大数量（如 32/64 等）的阵列天线来实现了更大的无线数据流量和连接可靠性，这种架构需要相应的射频收发单元阵列配套，因此射频器件的数量将大为增加，使得器件的尺寸大小很关键，利用 GaN 的尺寸小、效率高和功率密度大的特点可实现高集成的解决方案，如模块化射频前端器件。除了基站射频收发单元阵列中所需的射频器件数量大为增加，基站密度和基站数量也会大为增加，因此相比 3G、4G 时代，5G 时代的射频器件将会以几十倍、甚至上百倍的数量增加。在 **5G 毫米波应用**上，GaN 的高功率密度特性在实现相同覆盖条件及用户追踪功能下，可有效减少收发通道数及整体方案的尺寸。

图 51: GaN 在 5G 时代应用广泛



资料来源: Qorvo 官网, 中泰证券研究所

图 52: GaN 以更高的功率密度实现小型化与系统集成



资料来源: Qorvo 官网, 中泰证券研究所

图 53: GaN 材料 5G 基站发展趋势



资料来源: Yole, 中泰证券研究所

- **GaN 在电力电子器件领域多用于电源设备。**由于结构中包含可以实现高速性能的异质结二维电子气, GaN 器件相比于 SiC 器件拥有更高的工作频率, 加之可承受电压要低于 SiC 器件, 所以 GaN 电力电子器件更适合高频率、小体积、成本敏感、功率要求低的电源领域, 如轻量化的消费电子电源适配器、无人机用超轻电源、无线充电设备等。
- **GaN 电力电子器件增速最快的是快充市场。**2018 年, 世界第一家 GaN IC 厂商 Navitas 和 Exagan 推出了带有集成 GaN 解决方案(GaNFast™)的 45W 快速充电电源适配器, 此 45W 充电器与 Apple USB-C 充电器相比, 两者功率相差不大, 但是体积上完全是不同的级别, 内置 GaN 充电器比苹果充电器体积减少 40%。目前来看, 采用 GaN 材料的快速充电器已成星火燎原之势, 有望成为行业主流。

图 54: Navitas 45W 充电器与苹果 29W 充电器



资料来源: Navitas 官网, 中泰证券研究所

图 55: 近年来 GaN 快速头逐渐成为潮流

公司	时间	功率
OPPO	2019 年 10 月	极限 65W
倍思	2019 年 10 月	65W
ELIXAGE	2019 年 1 月	30W
AUKEY	2019 年 1 月	27W、30W
RAVPower	2018 年 12 月	45W, 5~20V 输出
英飞凌	2018 年 11 月	65W, 输出支持 5-20V
ANKER	2018 年 10 月	27W, 5~20V 输出
台达	2018 年 6 月	60W, 5~20V 输出
Navitas	2017 年 9 月	65W (手提电脑电源适配器)

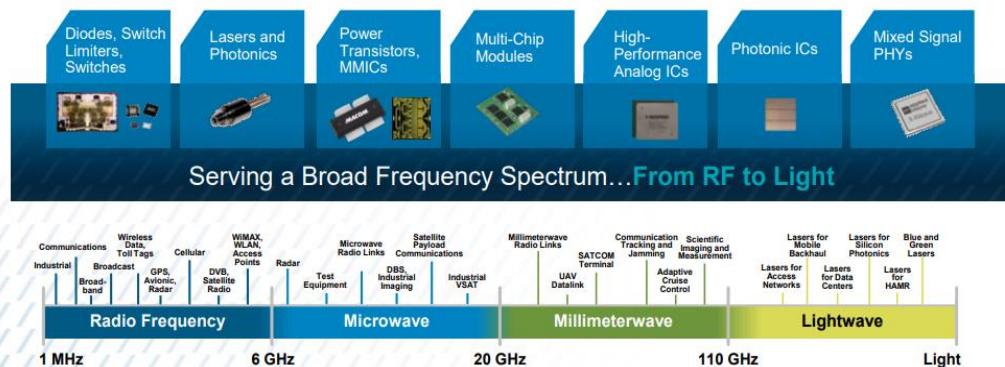
资料来源: 公开资料整理, 中泰证券研究所

重要 GaN 企业梳理

1、Macom

- Macom 是硅基 GaN 的引领者，公司在北美、欧洲和亚洲拥有多个研发中心，具备超过 65 年的射频微波器件生产历史。公司产品线广泛，从射频到光器件都有所涉及，下游客户主要包括数据中心，电信以及工业和国防等。Macom 的硅基 GaN 器件主要用于基站，目标是替代 LDMOS 以及 SiC 基 GaN。

图 56: Macom 产品线涵盖射频微波器件到光器件



资料来源: MACOM 官网, 中泰证券研究所

图 57: Macom GaN 产品与其他材料器件性能对比

	LDMOS	MACOM GaN	GaN on SiC
Power Amp Efficiency ">2GHz"		>10% Improvement	>10% Improvement
Higher Frequency Bands	1.8 GHz	Up to >3.8 GHz	Up to >3.8 GHz
Wider Bandwidths	100 MHz	200 MHz	200 MHz
Power Density	1-1.5 W/mm	4-6 W/mm	4-8 W/mm
Linearity	DPD Friendly	DPD Friendly	Charge Trapping
Supply Chain	8"	Up to 8"	4"→ 6"
Cost	Silicon	Silicon	SiC

资料来源: MACOM 业绩说明会, 中泰证券研究所

图 58: Macom GaN 产品应用领域与客户



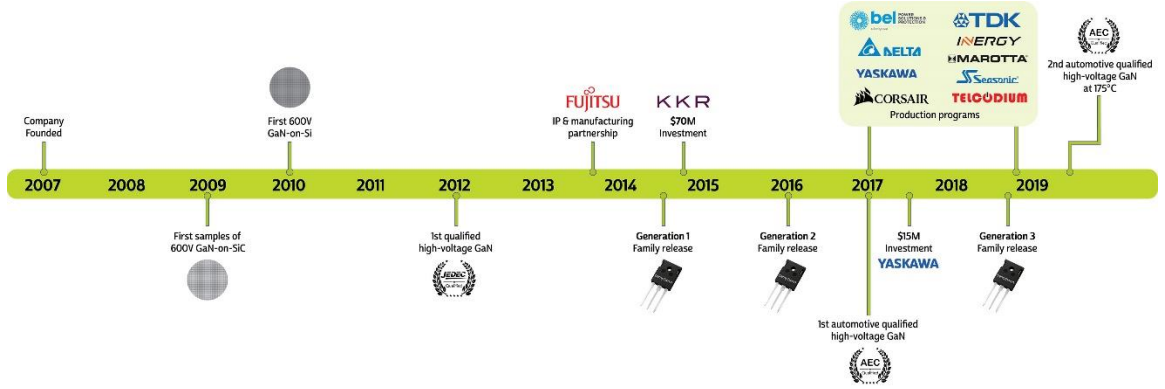
资料来源: MACOM 业绩说明会, 中泰证券研究所

2、Transphorm

- Transphorm 创立于 2007 年，覆盖 GaN 完整产业链，从 EPI 到设计、

制造,是业内领先的 GaN 器件供应商。公司能生产业内唯一符合 JEDEC 认证、AEC-Q101 认证的 GaN 产品,能够满足汽车行业的高标准要求。从 2014 年发布第一代产品开始,至今已经到第三代,产品线逐步完善。公司于 2015 年获得 KKR 7000 万美元投资,于 2017 年获得 1500 万美元投资。

图 59: Transphorm 发展历程



资料来源: Transphorm 官网, 中泰证券研究所

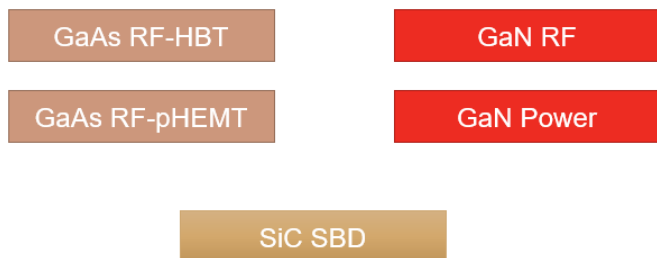
3、苏州能讯

- 苏州能讯创立于 2007 年,是国内一家 GaN 电子器件生产企业,主要聚焦于 GaN 在微波射频与电力电子领域。公司采用 IDM 模式,自主开发了氮化镓材料生长、芯片设计、晶圆工艺、封装测试、可靠性与应用电路技术。2009 年公司生产出第一个 2000V 高压开关功率器件产品,并在 2010 年完成了中国第一个通讯基站用 120W 氮化镓功放芯片的开发,2014 年全球发布业界领先的量产氮化镓射频微波器件。
- 苏州能讯在江苏昆山国家高新区建成了中国第一家氮化镓 (GaN) 电子器件工厂,厂区占地 55 亩,累计投资 10 亿元。首期产能为 3 寸 GaN 晶圆 6000 片,2018 年生产线通过升级改造达到年处理 4 寸氮化镓 5 万片的能力。

4、三安集成

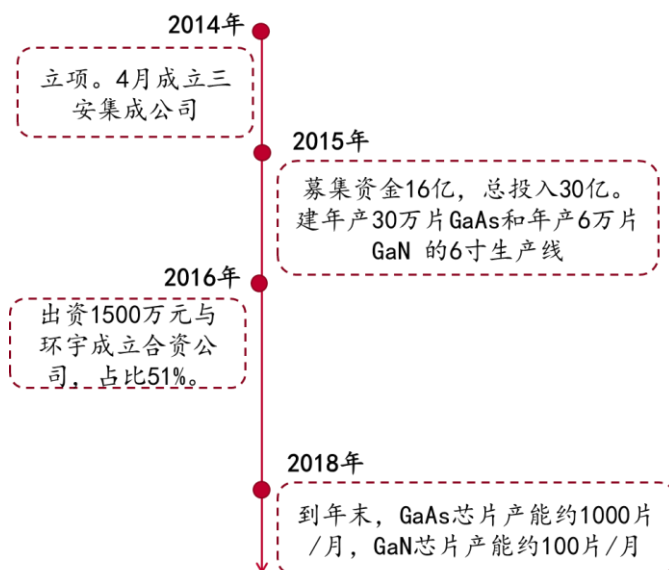
- 三安光电是 LED 芯片龙头,在 2014 年进入三五族化合物半导体领域,目前已经搭建成涵盖微波射频、高功率电力电子、光通讯等领域的化合物半导体制造平台,具备衬底材料、外延生长、以及芯片制造的产业整合能力,拥有大规模、先进制程能力的 MOCVD 外延生长制造线。在微波射频领域,当前已推出具有国际竞争力的 GaAs HBT、pHEMT 以及 GaN、SiC 等面向射频应用的先进制程工艺,已建成专业化、规模化的 4 寸、6 寸化合物晶圆制造产线,来满足射频无线通信及毫米波客户的代工需求,是国内稀缺的 5G 射频器件代工商。

图 60：三安集成工艺平台



资料来源：三安集成官网，中泰证券研究所

图 61：三安集成发展历程



资料来源：上市公司公告，中泰证券研究所

投资建议

- 由于 SiC 与 GaN 产业链全球来看仍处于起步阶段，国内企业更是大部分处于早期研发阶段，远未成熟，行业体量较小，重点关注已经在 SiC 与 GaN 研发上投入大量资源并且取得一定成果的公司。
- 映射到 A 股上市公司，建议关注**三安光电**、**扬杰科技**、**捷捷微电**。三安光电旗下三安集成业务是国内稀缺宽禁带半导体制造企业，布局基本对标 Cree，从 LED 芯片到 LED 应用，从 SiC 晶圆到 GaN 代工，三安光电的布局前瞻且科学，有望在宽禁带领域延续其在 LED 产业的竞争力。扬杰科技与捷捷微电均是国内功率半导体企业，在 SiC 功率器件研发上已经有所布局。

图 62：A 股布局 SiC/GaN 企业

代码	简称	总市值(亿)	EPS			PE			股价
			2018	2019E	2020E	2018	2019E	2020E	
600703.SH	三安光电	526.12	0.69	0.37	0.47	18.70	34.86	27.45	12.90
300373.SZ	扬杰科技	68.93	0.40	0.60	0.76	36.50	24.53	19.31	14.60
300623.SZ	捷捷微电	53.78	0.93	0.68	0.81	21.45	29.34	24.63	19.95

资料来源：Wind，中泰证券研究所。注：扬杰科技采用 Wind 一致预期；股价为 2019 年 10 月 21 日收盘价。

风险提示

- SiC 与 GaN 行业仍处于生命周期早期阶段，技术仍不成熟，行业成长有可能不及预期，存在期望泡沫破灭的可能性。SiC 最大的应用是电动汽车、GaN 的最大驱动因素来自 5G，若电动汽车与 5G 行业发展不及预期，有可能使 SiC 与 GaN 应用推迟。
- SiC 与 GaN 性能上优于现有半导体材料，但是若成本下降不及预期，有可能得不到大规模应用。
- SiC 与 GaN 大部分关键技术仍掌握在国外企业手中，国内企业材料和器件制备技术上差距较远，国内企业的发展有可能受到国外企业的挤压。

投资评级说明:

	评级	说明
股票评级	买入	预期未来 6~12 个月内相对同期基准指数涨幅在 15%以上
	增持	预期未来 6~12 个月内相对同期基准指数涨幅在 5%~15%之间
	持有	预期未来 6~12 个月内相对同期基准指数涨幅在-10%~+5%之间
	减持	预期未来 6~12 个月内相对同期基准指数跌幅在 10%以上
行业评级	增持	预期未来 6~12 个月内对同期基准指数涨幅在 10%以上
	中性	预期未来 6~12 个月内对同期基准指数涨幅在-10%~+10%之间
	减持	预期未来 6~12 个月内对同期基准指数跌幅在 10%以上

备注: 评级标准为报告发布日后的 6~12 个月内公司股价 (或行业指数) 相对同期基准指数的相对市场表现。其中 A 股市场以沪深 300 指数为基准; 新三板市场以三板成指 (针对协议转让标的) 或三板做市指数 (针对做市转让标的) 为基准; 香港市场以摩根士丹利中国指数为基准, 美股市场以标普 500 指数或纳斯达克综合指数为基准 (另有说明的除外)。

重要声明:

中泰证券股份有限公司 (以下简称“本公司”) 具有中国证券监督管理委员会许可的证券投资咨询业务资格。本报告仅供本公司的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。

本报告基于本公司及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料, 反映了作者的研究观点, 力求独立、客观和公正, 结论不受任何第三方的授意或影响。但本公司及其研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证, 且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断, 可能会随时调整。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。本报告所载的资料、工具、意见、信息及推测只提供给客户作参考之用, 不构成任何投资、法律、会计或税务的最终操作建议, 本公司不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保。本报告中所指的投资及服务可能不适合个别客户, 不构成客户私人咨询建议。

市场有风险, 投资需谨慎。在任何情况下, 本公司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。

投资者应注意, 在法律允许的情况下, 本公司及其本公司的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易, 并可能为这些公司正在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。本公司及其本公司的关联机构或个人可能在本报告公开发布之前已经使用或了解其中的信息。

本报告版权归“中泰证券股份有限公司”所有。未经事先本公司书面授权, 任何人不得对本报告进行任何形式的发布、复制。如引用、刊发, 需注明出处为“中泰证券研究所”, 且不得对本报告进行有悖原意的删节或修改。