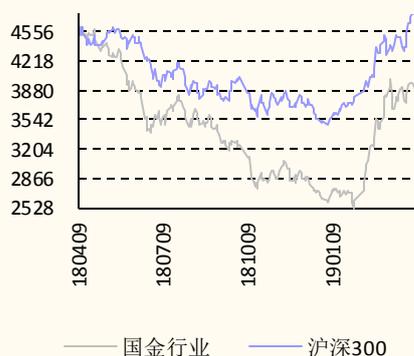


半导体行业研究 买入（维持评级）

射频功率放大器行业深度研究

市场数据(人民币)

市场优化平均市盈率	18.90
国金半导体指数	3867.42
沪深300指数	4057.23
上证指数	3244.81
深证成指	10351.87
中小板综指	10252.94



相关报告

1. 《中国智能手机芯片系列追踪报告（二）- 中国智能手机芯片系列追踪...》，2019.4.7
2. 《科创板半导体研究：深耕多媒体芯片的晶晨-科创板深度报告》，2019.4.3
3. 《科创板半导体研究：从行业竞争及估值看和舰-科创板半导体研究：...》，2019.4.1
4. 《隧道出口微光未现，降开支/减产出/求平衡-记忆体存储行业研究》，2019.3.11
5. 《硬核科技代表：半导体设备重装上阵-半导体行业深度报告》，2019.3.8

樊志远 分析师 SAC 执业编号: S1130518070003
(8621)61038318
fanzhiyuan@gjzq.com.cn

张纯 联系人
zhang_chun@gjzq.com.cn

鲁洋洋 联系人
luyangyang@gjzq.com.cn

5G 时代，射频功率放大器需求有望多点开花

投资建议

- **行业策略：**射频功率放大器（PA）作为射频前端发射通路的主要器件，通常用于实现发射通道的射频信号放大。5G 将带动智能移动终端、基站端及 IOT 设备射频 PA 稳健增长，智能移动终端射频 PA 市场规模将从 2017 年的 50 亿美元增长到 2023 年的 70 亿美元，复合年增长率为 7%，高端 LTE 功率放大器市场的增长，尤其是高频和超高频，将弥补 2G/3G 市场的萎缩。GaAs 器件是消费电子 3G/4G 应用的主力军，5G 时代仍将延续，此外，物联网将是其未来应用的蓝海。GaN 器件则以高性能特点目前广泛应用于基站、雷达、电子战等军工领域，在 5G 时代需求将迎来爆发式增长。5G 时代，射频功率放大器需求有望多点开花，建议买入行业龙头。
- **推荐组合：**我们认为，随着 5G 进程的加快，5G 基站、智能移动终端及 IOT 终端射频 PA 将迎来发展良机，使用量大幅增加，看好细分行业龙头，推荐：**CREE、Skyworks、德懋、三安光电、环旭电子**，建议关注：**海特高新（海威华芯）、旋极信息（拟收购安谱隆）**。

行业观点

- **5G 推动手机射频 PA 量价齐升：**4G 时代，智能手机一般采用 1 发射 2 接收架构，预测 5G 时代，智能手机将采用 2 发射 4 接收方案，未来有望演进为 8 接收方案。功率放大器（PA）是一部手机最关键的器件之一，它直接决定了手机无线通信的距离、信号质量，甚至待机时间，是整个射频系统中除基带外最重要的部分。手机里面 PA 的数量随着 2G、3G、4G、5G 逐渐增加。以 PA 模组为例，4G 多模多频手机所需的 PA 芯片为 5-7 颗，预测 5G 手机内的 PA 芯片将达到 16 颗之多，价值量超过 7.5 美元。5G 智能终端射频前端 SiP 将是顺势所趋，高通已发布 5G 第二代射频前端模组，MEMS 预测，到 2023 年，用于蜂窝和连接的射频前端 SiP 市场将分别占 SiP 市场总量的 82% 和 18%。按蜂窝通信标准，支持 5G（sub-6GHz 和毫米波）的前端模组将占到 2023 年 RF SiP 市场总量的 28%。高端智能手机将贡献射频前端模组 SiP 组装市场的 43%，其次是低端智能手机（35%）和奢华智能手机（13%）。
- **5G 基站，PA 数倍增长，GaN 大有可为：**4G 基站采用 4T4R 方案，按照三个扇区，对应的射频 PA 需求量为 12 个，5G 基站，预计 64T64R 将成为主流方案，对应的 PA 需求量高达 192 个，PA 数量将大幅增长。目前基站用功率放大器主要为 LDMOS 技术，但是 LDMOS 技术适用于低频段，在高频应用领域存在局限性。我们研判 5G 基站 GaN 射频 PA 将成为主流技术，逐渐侵占 LDMOS 的市场，GaAs 器件份额变化不大。GaN 能较好的适用于大规模 MIMO，预计 2022 年，4G/5G 基础设施用 RF 半导体的市场规模将达到 16 亿美元，其中，MIMO PA 年复合增长率将达到 135%，射频前端模块的年复合增长率将达到 119%。
- **5G 时代，窄带物联网设备射频前端迎来发展新机遇：**在手机市场追求更快的同时，有另外一个市场就是窄带物联网（Cat-M /NB-IoT），NB-IoT 虽然有要求和 LTE 相同的上行功率(power class3)，但是信号的峰均比较低。另外，NB-IoT 采用半双工方式工作，避免使用 FDD 双工器，PA 后端的插入损耗小。这些因素可以让 NB-IoT 的 PA 更加偏向于非线性的设计，同时采用更小的 Die 设计，从而达到节省成本和提高效率的目的。对于 NB-IoT PA 来讲，超宽带、低电压、极端温度和低成本是重点要考虑的方向。

风险提示

- 智能手机及基站射频 PA 被国际巨头垄断，技术难度较大，国内进展缓慢，合格率较低，成本居高不下，射频 PA 需要持续性投入。

内容目录

1、5G 智能移动终端，射频 PA 的大机遇	4
1.1 射频功率放大器（PA）-射频器件皇冠上的明珠	4
1.2 5G 推动手机射频 PA 量价齐升	5
1.3 GaAs 射频器件仍将主导手机市场	7
1.4 5G 设备射频前端模组化趋势明显，SIP 大有可为	8
2、5G 基站，PA 数倍增长，GaN 大有可为	10
2.1 5G 基站，射频 PA 需求大幅增长	11
2.2 GaN 射频 PA 有望成为 5G 基站主流技术	12
2.3 RF GaN 市场的发展方向	15
2.4 全球 GaN 射频器件产业链竞争格局	16
3、5G 时代，窄带物联网设备射频前端迎来发展新机遇	17
4、5G 渐行渐近，国际巨头纷纷布局射频产业	19
5、看好细分行业龙头	21
6、风险提示	21

图表目录

图表 1：手机射频前端架构及功能	4
图表 2：射频前端组件随终端复杂性的提升而增加	4
图表 3：2017~2023 年射频前端模组市场	5
图表 4：2017~2023 年射频前端 PA 市场规模	5
图表 5：5G 智能手机射频前端框图（2 发 4 接收）	5
图表 6：5G 给手持设备带来的挑战	6
图表 7：5G 手机单机使用 PA 数量预测（颗）	7
图表 8：5G 手机单机使用 PA 价值量预测（美元）	7
图表 9：全球 GaAs 射频器件产业链	7
图表 10：2016 年全球 GaAs 产业器件竞争格局	7
图表 11：2017 年全球 GaAs 代工市场竞争格局	8
图表 12：射频（RF）器件封装技术	8
图表 13：2018 年手机射频前端结构发展趋势	9
图表 14：高通第二代 5G 移动终端射频前端方案	10
图表 15：高通 5G 新空口自适应天线调谐解决方案	10
图表 16：高通 5G 包络追踪解决方案	10
图表 17：GaN 射频器件的加工工艺	11
图表 18：主要半导体材料的关键性能	12
图表 19：2015~2025 年基站主要趋势	13

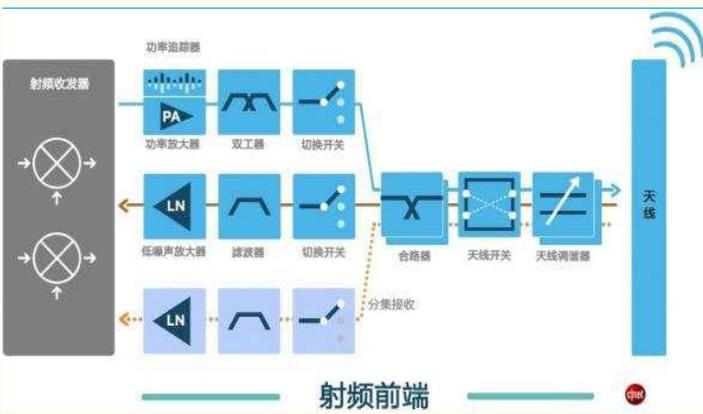
图表 20: 各材料体系的射频器件工作区间.....	13
图表 21: 不同技术路线的基站 PA 占比变化.....	13
图表 22: GaN 具有更小的尺寸优势.....	14
图表 23: 5G 毫米波基站 GaN 优势明显	14
图表 24: 2023 年基站 RF 半导体市场规模预测 (亿美元)	15
图表 25: 2023 年全球 GaN 市场规模预测 (亿美元)	15
图表 26: GaN 在通信领域占比不断提升.....	15
图表 27: 境外 GaN 射频器件产业链重点企业.....	16
图表 28: 大陆 GaN 射频器件产业链重点企业.....	17
图表 29: 5G 的使命和任务.....	17
图表 30: 各种通信标准和多应用场景	18
图表 31: Cat-M/NB/LoRa 技术特性比较.....	19
图表 32: 物联网设备射频前端的关键设计方向.....	19
图表 33: 全球射频器件和模组供应链.....	20
图表 34: 全球厂商纷纷布局 5G.....	21

1、5G 智能移动终端，射频 PA 的大机遇

1.1 射频功率放大器 (PA) - 射频器件皇冠上的明珠

- **射频功率放大器 (PA)** 作为射频前端发射通路的主要器件，主要是为了将调制振荡电路所产生的小功率的射频信号放大，获得足够大的射频输出功率，才能馈送到天线上辐射出去，通常用于实现发射通道的射频信号放大。
- **手机射频前端**：一旦连上移动网络，任何一台智能手机都能轻松刷朋友圈、看高清视频、下载图片、在线购物，这完全是射频前端进化的功劳，手机每一个网络制式 (2G/3G/4G/WiFi/GPS)，都需要自己的射频前端模块，充当手机与外界通话的桥梁—手机功能越多，它的价值越大。
- **射频前端模块是移动终端通信系统的核心组件**，对它的理解可以从两方面考虑：一是必要性，它是连接通信收发器 (transceiver) 和天线的必经之路；二是重要性，它的性能直接决定了移动终端可以支持的通信模式，以及接收信号强度、通话稳定性、发射功率等重要性能指标，直接影响终端用户体验。
- 射频前端芯片包括功率放大器 (PA)，天线开关 (Switch)、滤波器 (Filter)、双工器 (Duplexer 和 Diplexer) 和低噪声放大器 (LNA) 等，在多模 / 多频终端中发挥着核心作用。

图表 1：手机射频前端架构及功能



来源：射频百花潭、国金证券研究所

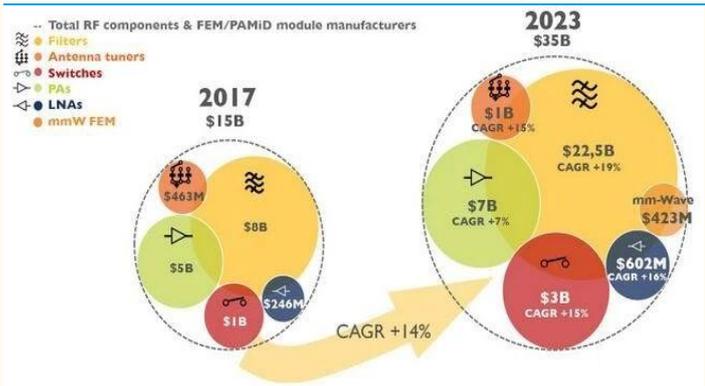
图表 2：射频前端组件随终端复杂性的提升而增加



来源：射频百花潭、国金证券研究所

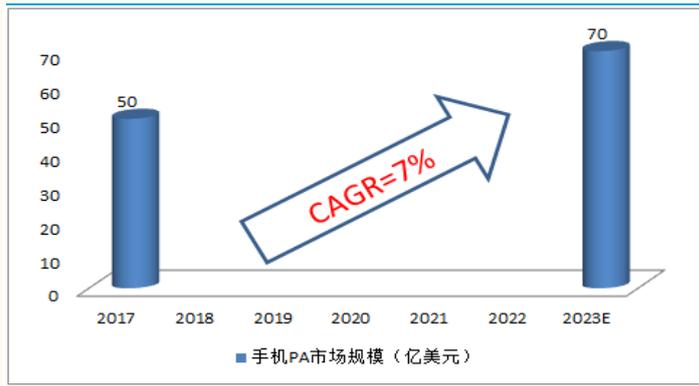
- 手机和 WiFi 连接的射频前端市场预计将在 2023 年达到 352 亿美元，复合年增长率为 14%。
- 射频前端产业中最大的市场为滤波器，将从 2017 年的 80 亿美元增长到 2023 年 225 亿美元，复合年增长率高达 19%。该增长主要来自于 BAW 滤波器的渗透率显著增加，典型应用如 5G NR 定义的超高频段和 WiFi 分集天线共享。
- 功率放大器市场增长相对稳健，复合年增长率为 7%，将从 2017 年的 50 亿美元增长到 2023 年的 70 亿美元。高端 LTE 功率放大器市场的增长，尤其是高频和超高频，将弥补 2G/3G 市场的萎缩。
- 砷化镓器件应用于消费电子射频功放，是 3G/4G 通讯应用的主力，物联网将是其未来应用的蓝海；氮化镓器件则以高性能特点目前广泛应用于基站、雷达、电子战等军工领域，利润率高且战略位置显著，由于更加适用于 5G，氮化镓有望在 5G 市场迎来爆发。

图表 3: 2017-2023 年射频前端模组市场



来源: MEMS、国金证券研究所

图表 4: 2017-2023 年射频前端 PA 市场规模

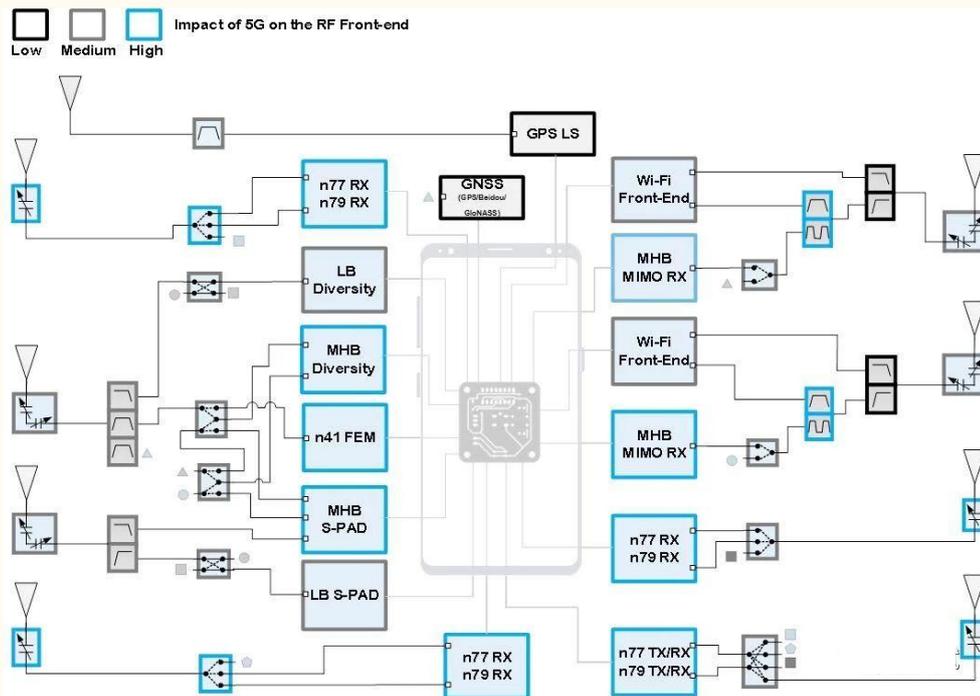


来源: MEMS、国金证券研究所

1.2 5G 推动手机射频 PA 量价齐升

- 射频前端与智能终端一同进化，4G 时代，智能手机一般采用 1 发射 2 接收架构。由于 5G 新增了频段 (n41 2.6GHz, n77 3.5GHz 和 n79 4.8GHz)，因此 5G 手机的射频前端将有新的变化，同时考虑到 5G 手机将继续兼容 4G、3G、2G 标准，因此 5G 手机射频前端将异常复杂。
- 预测 5G 时代，智能手机将采用 2 发射 4 接收方案。

图表 5: 5G 智能手机射频前端框图 (2 发 4 接收)

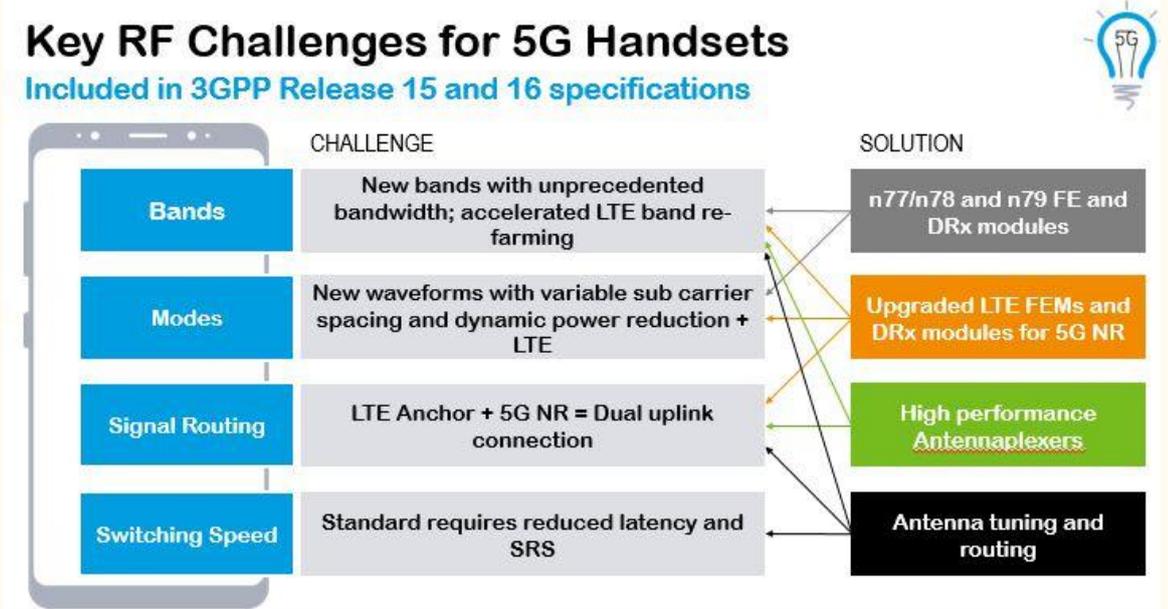


来源: 射频百花潭、国金证券研究所

- 无论是在基站端还是设备终端，5G 给供应商带来的挑战都首先体现在射频方面，因为这是设备“上”网的关键出入口，即将到来的 5G 手机将会面临多方面的挑战：
- 更多频段的支持：因为从大家熟悉的 b41 变成 n41、n77 和 n78，这就需要更多频段的支持；
- 不同的调制方向：因为 5G 专注于高速连接，所以在调制方面会有新的变化，对功耗方面也有更多的要求。比如在 4G 时代，大家比较关注 ACPR。但到了 5G 时代，则更需要专注于 EVM (一般小于 1.5%)；

- **信号路由的选择：**选择 4G anchor+5G 数据连接，还是直接走 5G，这会带来不同的挑战。
- **开关速度的变化：**这方面虽然没有太多的变化，但 SRS 也会带来新的挑战。
- 其他如 n77/n78/n79 等新频段的引入，也会对射频前端形态产生影响，推动前端模组改变，满足新频段和新调谐方式等的要求。

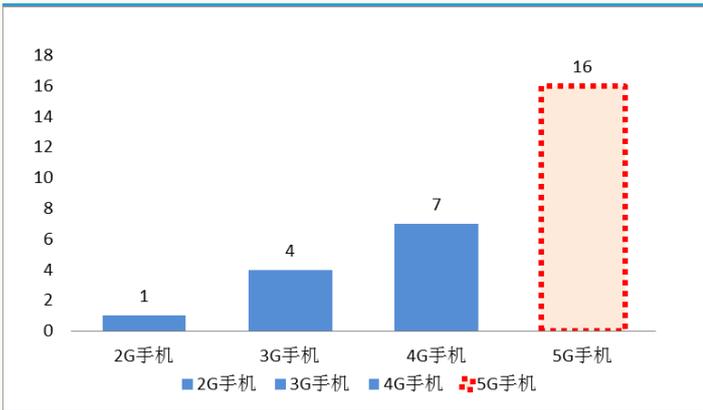
图表 6：5G 给手持设备带来的挑战



来源：Qorvo、国金证券研究所

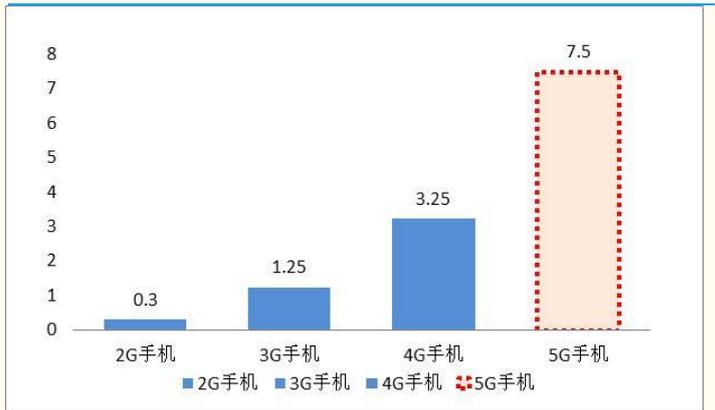
- **Qorvo 指出，5G 将给天线数量、射频前端模块价值量带来翻倍增长。**以 5G 手机为例，单部手机的射频半导体用量达到 25 美金，相比 4G 手机近乎翻倍增长。其中滤波器从 40 个增加至 70 个，频带从 15 个增加至 30 个，接收机发射机滤波器从 30 个增加至 75 个，射频开关从 10 个增加至 30 个，载波聚合从 5 个增加至 200 个。
- **5G 手机功率放大器（PA）用量翻倍增长：**PA 是一部手机最关键的器件之一，它直接决定了手机无线通信的距离、信号质量，甚至待机时间，是整个射频系统中除基带外最重要的部分。手机里面 PA 的数量随着 2G、3G、4G、5G 逐渐增加。以 PA 模组为例，4G 多模多频手机所需的 PA 芯片为 5-7 颗，预测 5G 手机内的 PA 芯片将达到 16 颗之多。
- **5G 手机功率放大器（PA）单机价值量有望达到 7.5 美元：**同时，PA 的单价也有显著提高，2G 手机用 PA 平均单价为 0.3 美金，3G 手机用 PA 上升到 1.25 美金，而全模 4G 手机 PA 的消耗则高达 3.25 美金，预计 5G 手机 PA 价值量达到 7.5 美元以上。
- **载波聚合与 Massive MIMO 对 PA 的要求大幅增加。**“一般情况下，2G 只需非常简单的发射模块，3G 需要有 3G 的功率放大器，4G 要求更多滤波器和双工器载波器，载波聚合则需要有与前端配合的多工器，上行载波器的功率放大器又必须重新设计来满足线性化的要求。
- **5G 无线通信前端将用到几十甚至上百个通道，**要求网络设备或者器件供应商能够提供全集成化的解决方案，这大大增加产品设计的复杂度，无论对器件解决方案还是设备解决方案提供商都提出了很大技术挑战。

图表 7: 5G 手机单机使用 PA 数量预测 (颗)



来源: Strategy Analytics、国金证券研究所

图表 8: 5G 手机单机使用 PA 价值量预测 (美元)



来源: Strategy Analytics、国金证券研究所

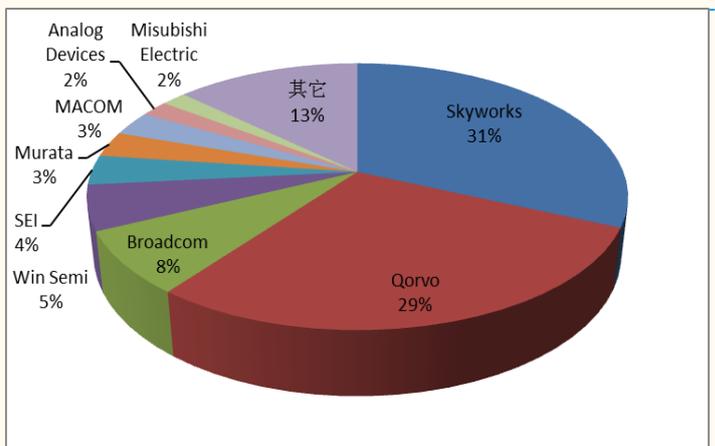
1.3 GaAs 射频器件仍将主导手机市场

- 5G 时代, GaAs 材料适用于移动终端。** GaAs 材料的电子迁移率是 Si 的 6 倍, 具有直接带隙, 故其器件相对 Si 器件具有高频、高速的性能, 被公认为是很合适的通信用半导体材料。在手机无线通信应用中, 目前射频功率放大器绝大部分采用 GaAs 材料。在 GSM 通信中, 国内的锐迪科和汉天下等芯片设计企业曾凭借 RF CMOS 制程的高集成度和低成本的优势, 打破了采用国际龙头厂商采用传统的 GaAs 制程完全主导射频功放的格局。但是到了 4G 时代, 由于 Si 材料存在高频损耗、噪声大和低输出功率密度等缺点, RF CMOS 已经不能满足要求, 手机射频功放重新回到 GaAs 制程完全主导的时代。与射频功放器件依赖于 GaAs 材料不同, 90%的射频开关已经从传统的 GaAs 工艺转向了 SOI (Silicon on insulator) 工艺, 射频收发机大多数也已采用 RF CMOS 制程, 从而满足不断集成的需求。
- 5G 时代, GaN 材料适用于基站端。** 在宏基站应用中, GaN 材料凭借高频、高输出功率的优势, 正在逐渐取代 Si LDMOS; 在微基站中, 未来一段时间内仍然以 GaAs PA 件为主, 因其目前具备经市场验证的可靠性和高性价比的优势, 但随着器件成本的降低和技术的提高, GaN PA 有望在微基站应用在分得一杯羹; 在移动终端中, 因高成本和高供电电压, GaN PA 短期内也无法撼动 GaAs PA 的统治地位。
- 全球 GaAs 射频器件被国际巨头垄断。** 全球 GaAs 射频器件市场以 IDM 模式为主, 主要厂商有美国 Skyworks、Qorvo、Broadcom, 日本村田等。据 Strategy Analytics 统计, 2016 年全球 GaAs 射频器件市场规模为 81.9 亿美元, 同比增长 0.9%。2016 年, Skyworks、Qorvo 和 Broadcom 在全球射频器件市场的占有率分别为 30.67%、27.97%和 7.39%, 三家合计占有全球 66%的份额, Skyworks 和 Qorvo 更是处于全球遥遥领先的位置。

图表 9: 全球 GaAs 射频器件产业链



图表 10: 2016 年全球 GaAs 产业器件竞争格局

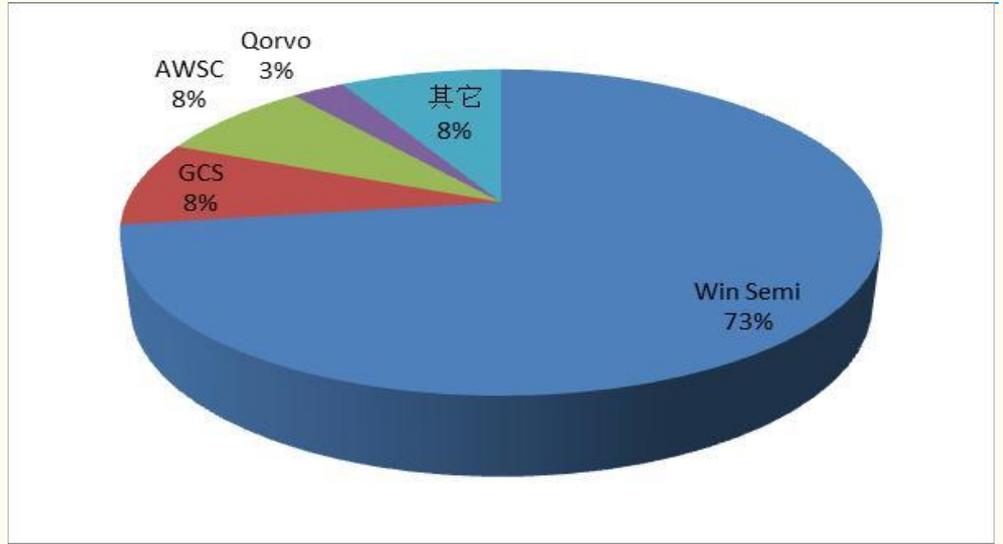


来源：材料深一度、国金证券研究所

来源：Strategy Analytics、国金证券研究所

- 2017 年 GaAs 晶圆代工市场，台湾稳懋 (Win Semi) 独占全球 72.7% 的市场份额，是全球第一大 GaAs 晶圆代工厂。

图表 11：2017 年全球 GaAs 代工市场竞争格局

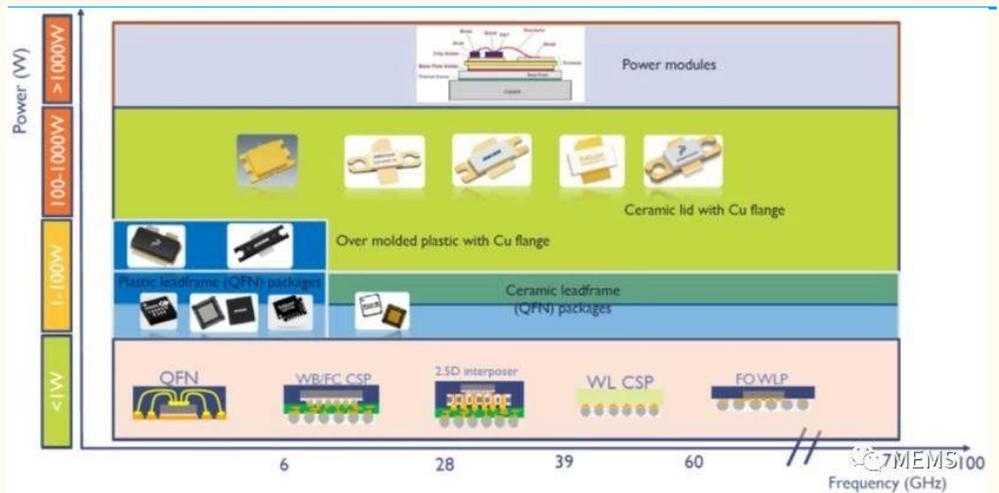


来源：STRATEGY ANALYRICS、国金证券研究所

1.4 5G 设备射频前端模组化趋势明显，SIP 大有可为

- 5G 将重新定义射频 (RF) 前端在网络和调制解调器之间的交互。新的 RF 频段 (如 3GPP 在 R15 中所定义的 sub-6 GHz 和毫米波 (mm-wave)) 给产业界带来了巨大挑战。
- LTE 的发展，尤其是载波聚合技术的应用，导致当今智能手机中的复杂架构。同时，RF 电路板和可用天线空间减少带来的密集化趋势，使越来越多的手持设备 OEM 厂商采用功率放大器模块并应用新技术，如 LTE 和 WiFi 之间的天线共享。

图表 12：射频 (RF) 器件封装技术

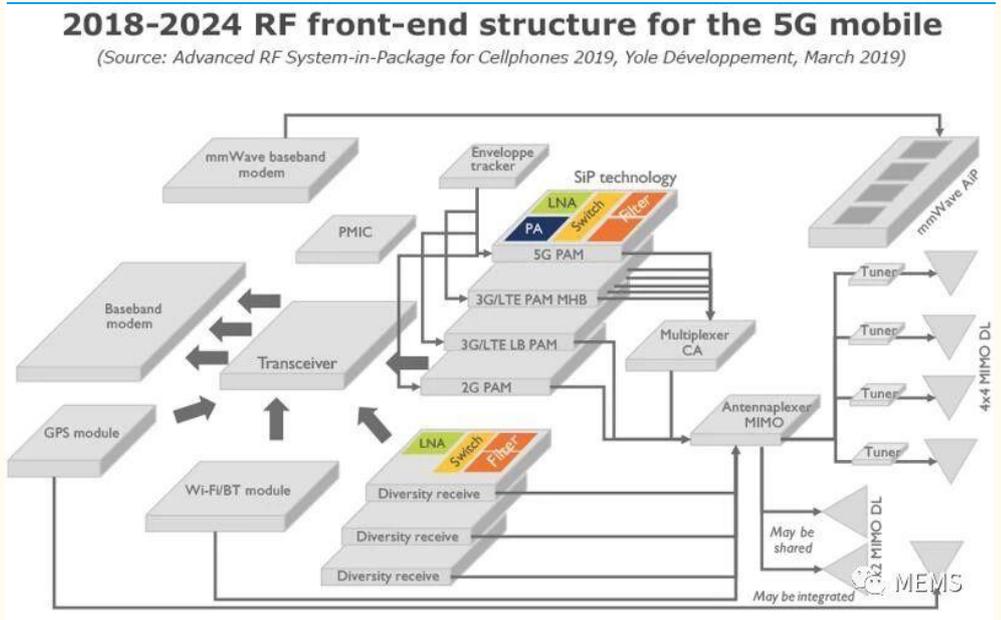


来源：MEMS、国金证券研究所

- 在低频频段，所包含的 600 MHz 频段将为低频段天线设计和天线调谐器带来新的挑战。随着新的超高频率 (N77、N78、N79) 无线电频段发布，5G 将带来更高的复杂性。具有双连接的频段重新分配 (早期频段包括 N41、N71、N28 和 N66，未来还有更多)，也将增加对前端的限制。毫米波频谱中的 5G NR 无法提供 5G 关键 USP 的多千兆位速度，因此需要在前端模组中具有更高密度，以实现新频段集成。

- 5G 手机需要 4X4 MIMO 应用，这将在手机中增加大量 RF 流。结合载波聚合要求，将导致更复杂的天线调谐器和多路复用器。

图表 13：2018 年手机射频前端结构发展趋势

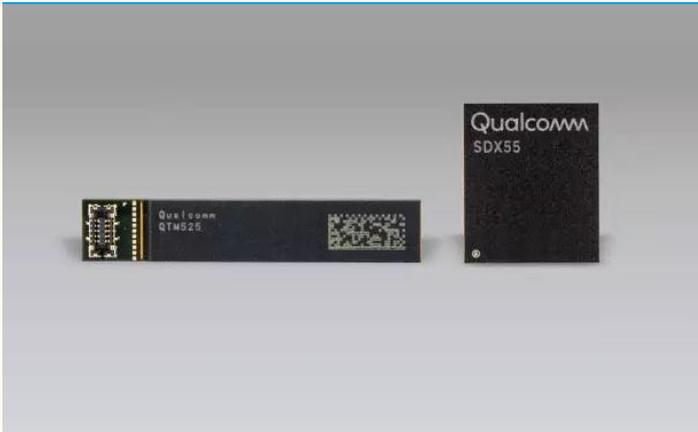


来源：MEMS、国金证券研究所

- **RF 系统级封装 (SiP) 市场可分为一级和二级 SiP 封装：**各种 RF 器件的一级封装，如芯片/晶圆级滤波器、开关和放大器 (包括 RDL、RSV 和/或凸点步骤)；在表面贴装 (SMT) 阶段进行的二级 SiP 封装，其中各种器件与无源器件一起组装在 SiP 基板上。2018 年，射频前端模组 SiP 市场 (包括一级和二级封装) 总规模为 33 亿美元，预计 2018~2023 年期间的复合年均增长率 (CAGR) 将达到 11.3%，市场规模到 2023 年将增长至 53 亿美元。
- **预测 2023 年，PAMiD SiP 组装预计将占 RF SiP 市场总营收的 39%。**2018 年，晶圆级封装大约占 RF SiP 组装市场总量的 9%。移动领域各种射频前端模组的 SiP 市场，包括：PAMiD (带集成双工器的功率放大器模块)、PAM (功率放大器模块)、Rx DM (接收分集模块)、ASM (开关复用器、天线开关模块)、天线耦合器 (多路复用器)、LMM (低噪声放大器-多路复用器模块)、MMMB PA (多模、多频带功率放大器) 和毫米波前端模组。
- **MEMS 预测，到 2023 年，用于蜂窝和连接的射频前端 SiP 市场将分别占 SiP 市场总量的 82%和 18%。**按蜂窝通信标准，支持 5G (sub-6GHz 和毫米波) 的前端模组将占到 2023 年 RF SiP 市场总量的 28%。高端智能手机将贡献射频前端模组 SiP 组装市场的 43%，其次是低端智能手机 (35%) 和奢华智能手机 (13%)。
- **高通发布 5G 手机射频前端模组化方案。**
- **2019 年 2 月，高通宣布推出面向 5G 多模移动终端的第二代射频前端 (RFFE) 解决方案。**全新推出的产品是一套完整的，可与全新 Qualcomm® 骁龙™ X55 5G 调制解调器搭配使用的射频解决方案，为支持 6GHz 以下频段和毫米波频段的高性能 5G 移动终端提供从调制解调器到天线的完整系统。支持更纤薄、更高效的 5G 多模移动终端。高通同时还发布了全球首款宣布的 5G 100MHz 包络追踪解决方案 QET6100、集成式 5G/4G 功率放大器 (PA) 和分集模组系列，以及 QAT3555 5G 自适应天线调谐解决方案。高通 QET6100 将包络追踪技术扩展到 5G NR 上行所需的 100MHz 带宽和 256-QAM 调制，这在之前被认为是无法实现的。该解决方案与其他平均功率追踪技术相比，可将功效提升一倍，以更长的电池

续航时间支持传输数据更快的终端，还可显著改善网络运营商非常关注的网络覆盖与网络容量。

图表 14：高通第二代 5G 移动终端射频前端方案



来源：Qualcomm 中国、国金证券研究所

图表 15：高通 5G 新空口自适应天线调谐解决方案

全球首款宣布的

5G新空口自适应天线调谐解决方案
Qualcomm® QAT3555

- 更好的室内覆盖*
- 更长的电池续航时间*
- 更快更一致的数据速率*
- 更快的OEM厂商认证和产品开发

Qualcomm® Signal Boost
5G自适应天线调谐解决方案

支持数量不断增加的5G天线
支持600MHz - 6GHz天线频率
封装高度降低25%，支持纤薄型终端*

来源：Qualcomm 中国、国金证券研究所

- **Qualcomm 的全新先进射频前端功率放大器和分集模组包括：**
- **功率放大器模组**，搭配 QET6100 支持 100MHz 5G 包络追踪。QPM6585、QPM5677 和 QPM5679 分别支持 n41、n77/78 和 n79 频段。
- **中/高频段 5G/4G 功率放大器模组 QPM5670**，包括集成式低噪声放大器（LNA）、射频开关、滤波器和 5G 六工器。
- **低频段 5G/4G 功率放大器模组 QPM5621**，包括集成式低噪声放大器、切换开关和滤波器，支持低频段/低频段载波聚合和双连接。
- **分集模组系列 QDM58xx**，包括集成式 5G/4G 低噪声放大器、射频开关和滤波器，支持 6GHz 以下频段接收分集和多输入多输出（MIMO）。
- 为帮助 OEM 厂商应对日益增多的天线和频段给移动终端设计带来的挑战，Qualcomm 还推出了 QAT3555 Signal Boost 自适应天线调谐器，将自适应天线调谐技术扩展到 6GHz 以下的 5G 频段；与上一代产品相比，其封装高度降低了 25%，插入损耗显著减少。

图表 16：高通 5G 包络追踪解决方案

全球首款宣布的

5G包络追踪解决方案

QET 6100
Qualcomm® QET6100
5G新空口包络追踪器

包络追踪支持100 MHz上行链路大带宽和 256-QAM调制
支持HPUE Power Class 2
支持上行链路MIMO

终端性能
功效提升1倍，支持更长的电池续航时间*
更快的速率*

网络性能
更好的室内覆盖*
更高的256-QAM覆盖率和网络利用率*

5G调制解调器

全新5G功率放大器模组
Qualcomm® QPM6585
Qualcomm® QPM5677
Qualcomm® QPM5679

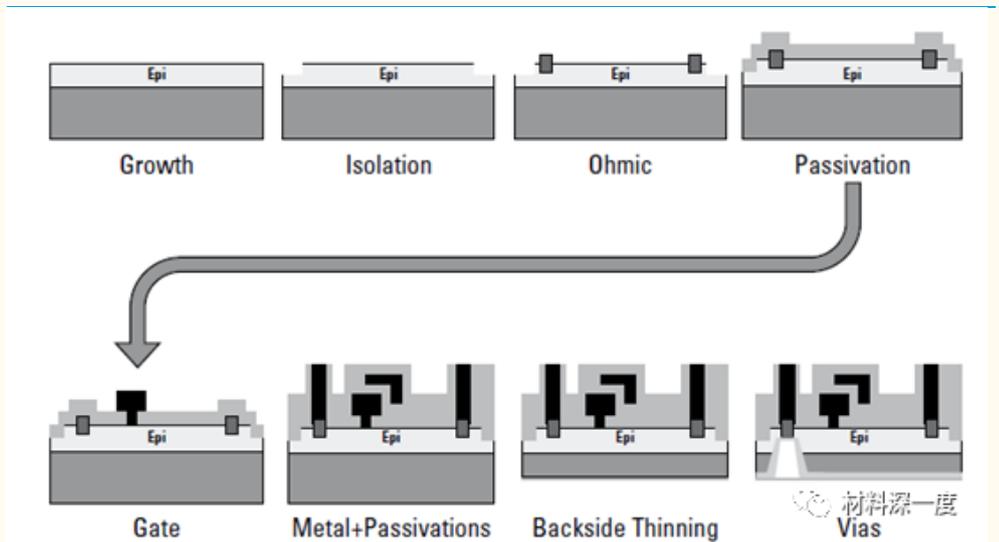
来源：Qualcomm 中国、国金证券研究所

2、5G 基站，PA 数倍增长，GaN 大有可为

2.1 5G 基站，射频 PA 需求大幅增长

- **5G 基站 PA 数量有望增长 16 倍。**4G 基站采用 4T4R 方案，按照三个扇区，对应的 PA 需求量为 12 个，5G 基站，预计 64T64R 将成为主流方案，对应的 PA 需求量高达 192 个，PA 数量将大幅增长。
- **5G 基站射频 PA 有望量价齐升。**目前基站用功率放大器主要为基于硅的横向扩散金属氧化物半导体 LDMOS 技术，不过 LDMOS 技术仅适用于低频段，在高频应用领域存在局限性。对于 5G 基站 PA 的一些要求可能包括 3~6GHz 和 24GHz~40GHz 的运行频率，RF 功率在 0.2W~30W 之间，我们研判 5G 基站 GaN 射频 PA 将逐渐成为主导技术，而 GaN 价格高于 LDMOS 和 GaAs。
- **GaN 具有优异的高功率密度和高频特性。**提高功率放大器 RF 功率的最简单的方式就是增加电压，这让氮化镓晶体管技术极具吸引力。如果我们对比不同半导体工艺技术，就会发现功率通常会如何随着高工作电压 IC 技术而提高。硅锗(SiGe)技术采用相对较低的工作电压 (2 V 至 3 V)，但其集成优势非常有吸引力。GaAs 拥有微波频率和 5 V 至 7 V 的工作电压，多年来一直广泛应用于功率放大器。硅基 LDMOS 技术的工作电压为 28V，已经在电信领域使用了许多年，但其主要在 4 GHz 以下频率发挥作用，因此在宽带应用中的使用并不广泛。新兴 GaN 技术的工作电压为 28 V 至 50 V，优势在于更高功率密度及更高截止频率(Cutoff Frequency，输出讯号功率超出或低于传导频率时输出讯号功率的频率)，拥有低损耗、高热传导基板，开启了一系列全新的可能应用，尤其在 5G 多输入输出(Massive MIMO)应用中，可实现高整合性解决方案。
- **典型的 GaN 射频器件的加工工艺，**主要包括如下环节：外延生长-器件隔离-欧姆接触（制作源极、漏极）-氮化物钝化-栅极制作-场板制作-衬底减薄-衬底通孔等环节。

图表 17: GaN 射频器件的加工工艺



来源：材料深一度、国金证券研究所

- **外延生长：**采用金属氧化物化学气相沉积（MOCVD）或分子束外延（MBE）方式在 SiC 或 Si 衬底上外延 GaN 材料。
- **器件隔离：**采用离子注入或者制作台阶（去除掉沟道层）的方式来实现器件隔离。射频器件之间的隔离是制作射频电路的基本要求。
- **欧姆接触：**形成欧姆接触是指制作源极和漏极的电极。对 GaN 材料而言，制造欧姆接触需要在很高的温度下完成。
- **氮化物钝化：**在源极和漏极制作完成后，GaN 半导体材料需要经过钝化过程来消除悬挂键等界面态。GaN 的钝化过程通常采用 SiN（氮化硅）来实现。

- **栅极制作：**在 SiN 钝化层上开口，然后沉积栅极金属。至此，基本的场效应晶体管的结构就成型了。
- **场板制作：**栅极制作完成后，继续沉积额外的几层金属和氮化物，来制作场板、互连和电容，此外，也可以保护器件免受外部环境的影响。
- **衬底减薄：**衬底厚度减薄至 100 μm 左右，然后对减薄后的衬底背部进行金属化。
- **衬底通孔：**通孔是指在衬底上表面和下表面之间刻蚀出的短通道，用于降低器件和接地(底部金属化层)之间的电感。
- **GaN 材料已成为基站 PA 的有力候选技术。** GaN 是极稳定的化合物，具有强的原子键、高的热导率、在 III-V 族化合物中电离度是最高的、化学稳定性好，使得 GaN 器件比 Si 和 GaAs 有更强抗辐照能力，同时 GaN 又是高熔点材料，热传导率高，GaN 功率器件通常采用热传导率更优的 SiC 做衬底，因此 GaN 功率器件具有较高的结温，能在高温环境下工作。GaN 高电子迁移率晶体管 (HEMT) 凭借其固有的高击穿电压、高功率密度、大带宽和高效率，已成为基站 PA 的有力候选技术。

图表 18：主要半导体材料的关键性能

参数	Si	GaAs	GaN
禁带宽度 (eV)	1.1	1.4	3.4
介电常数	11.8	12.8	9.0
击穿场强 (10 ⁶ V/cm)	0.6	0.7	3.5
热传导率 (W/cm.K)	1.3	0.5	1.3
电子迁移率 (cm ² /V.s)	1450	8500	900
饱和电子速率 (10 ⁷ cm/s)	1.0	2.0	2.

来源：材料深一度、国金证券研究所

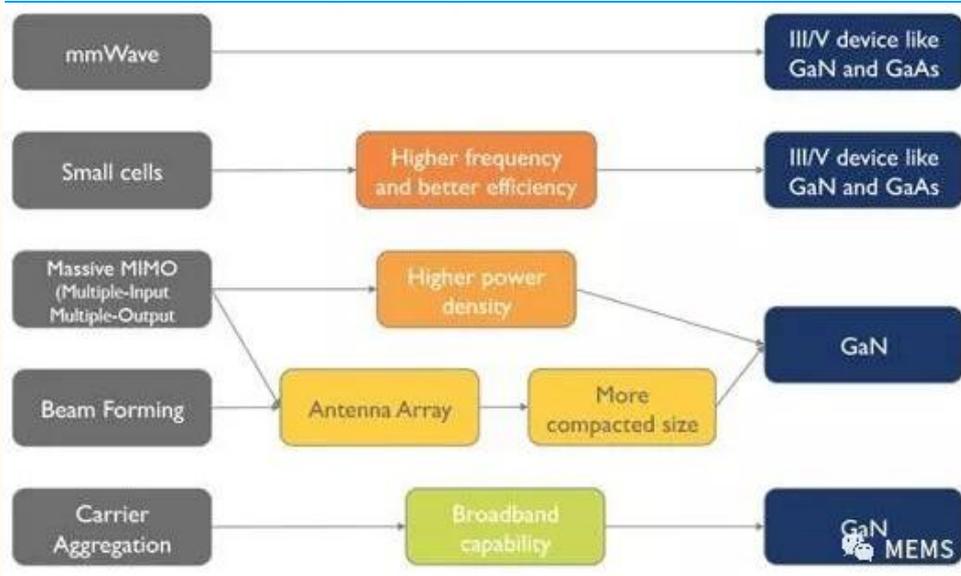
- **GaN 射频器件更能有效满足 5G 的高功率、高通信频段和高效率等要求。** 相较于基于 Si 的横向扩散金属氧化物半导体 (Si LDMOS, Lateral Double-diffused Metal-oxide Semiconductor) 和 GaAs, 在基站端 GaN 射频器件更能有效满足 5G 的高功率、高通信频段和高效率等要求。目前针对 3G 和 LTE 基站市场的功率放大器主要有 Si LDMOS 和 GaAs 两种，但 LDMOS 功率放大器的带宽会随着频率的增加而大幅减少，仅在不超过约 3.5GHz 的频率范围内有效，而 GaAs 功率放大器虽然能满足高频通信的需求，但其输出功率比 GaN 器件逊色很多。在 5G 高集成的 Massive MIMO 应用中，它可实现高集成化的解决方案，如模块化射频前端器件。在毫米波应用上，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。实现性能成本的最优化组合。随着 5G 时代的到来，小基站及 Massive MIMO 的飞速发展，会对集成度要求越来越高，GaN 自有的先天优势会加速功率器件集成化的进程。5G 会带动 GaN 这一产业的飞速发展。然而，在移动终端领域 GaN 射频器件尚未开始规模应用，原因在于较高的生产成本和供电电压。GaN 将在高功率，高频率射频市场发挥重要作用。

2.2 GaN 射频 PA 有望成为 5G 基站主流技术

- **预测未来大部分 6GHz 以下宏网络单元应用都将采用 GaN 器件，小基站 GaAs 优势更明显。** 就电信市场而言，得益于 5G 网络应用的日益临近，将从 2019 年开始为 GaN 器件带来巨大的市场机遇。相比现有的硅 LDMOS (横向双扩散金属氧化物半导体技术) 和 GaAs (砷化镓) 解决方案，GaN 器件能够提供下一代高频电信网络所需要的功率和效能。而且，GaN 的宽带性能也是实现多频带载波聚合等重要新技术的关键因素之一。GaN HEMT (高电子迁移率场效应晶体管) 已经成为未来宏基站功率放大器的候选技术。由于 LDMOS 无法再支持更高

的频率，GaAs也不再是高功率应用的最优方案，预计未来大部分6GHz以下宏网络单元应用都将采用GaN器件。5G网络采用的频段更高，穿透力与覆盖范围将比4G更差，因此小基站（small cell）将在5G网络建设中扮演很重要的角色。不过，由于小基站不需要如此高的功率，GaAs等现有技术仍有其优势。与此同时，由于更高的频率降低了每个基站的覆盖率，因此需要应用更多的晶体管，预计市场出货量增长速度将加快。

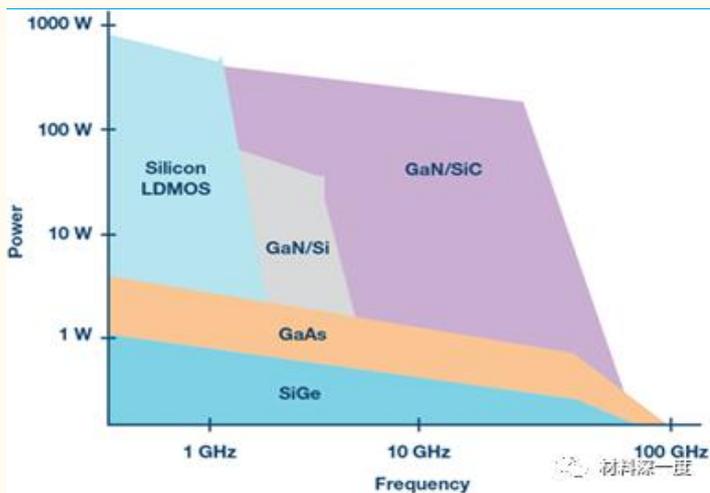
图表 19: 2015~2025 年基站主要趋势



来源：MEMS、国金证券研究所

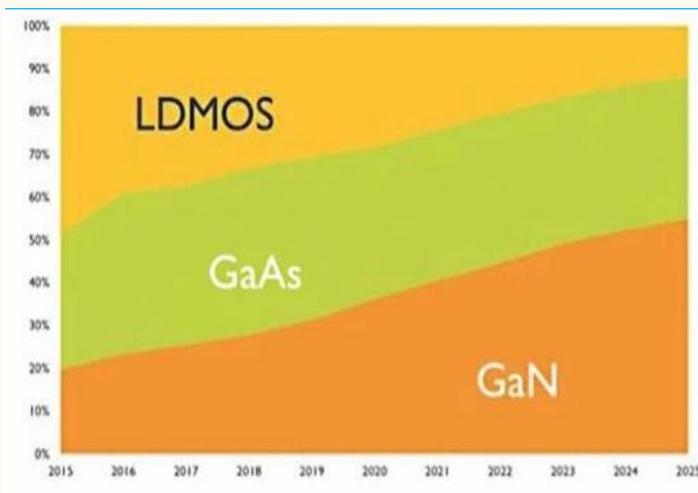
- 预计到 2025 年 GaN 将主导 RF 功率器件市场，抢占基于硅 LDMOS 技术的基站 PA 市场。根据 yole 的数据，2014 年基站 RF 功率器件市场规模为 11 亿美元，其中 GaN 占比 11%，而横向双扩散金属氧化物半导体技术（LDMOS）占比 88%。2017 年，GaN 市场份额预估增长到了 25%，并且预计将继续保持增长。预计到 2025 年 GaN 将主导 RF 功率器件市场，抢占基于硅 LDMOS 技术的基站 PA 市场。

图表 20: 各材料体系的射频器件工作区间



来源：材料深一度、国金证券研究所

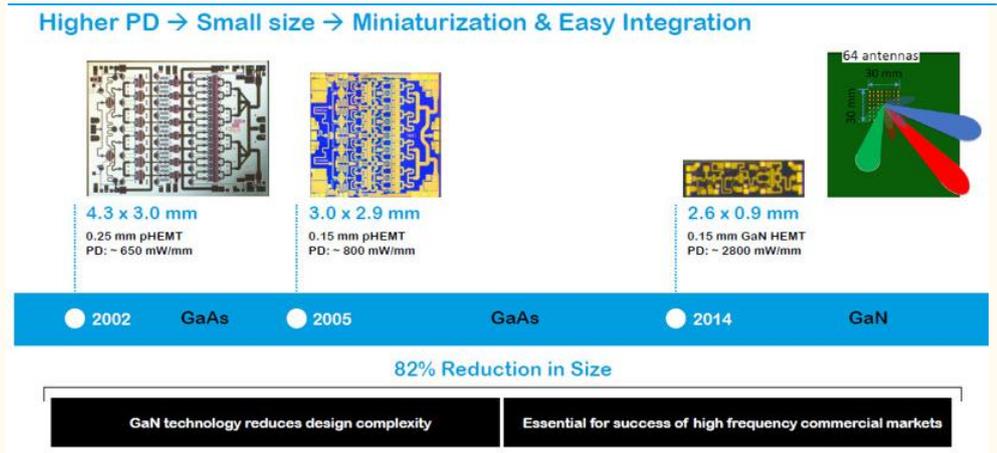
图表 21: 不同技术路线的基站 PA 占比变化



来源：Yole、国金证券研究所

- 对于既定功率水平，GaN 具有体积小优势。有了更小的器件，则可以减小器件电容，从而使得较高带宽系统的设计变得更加轻松。

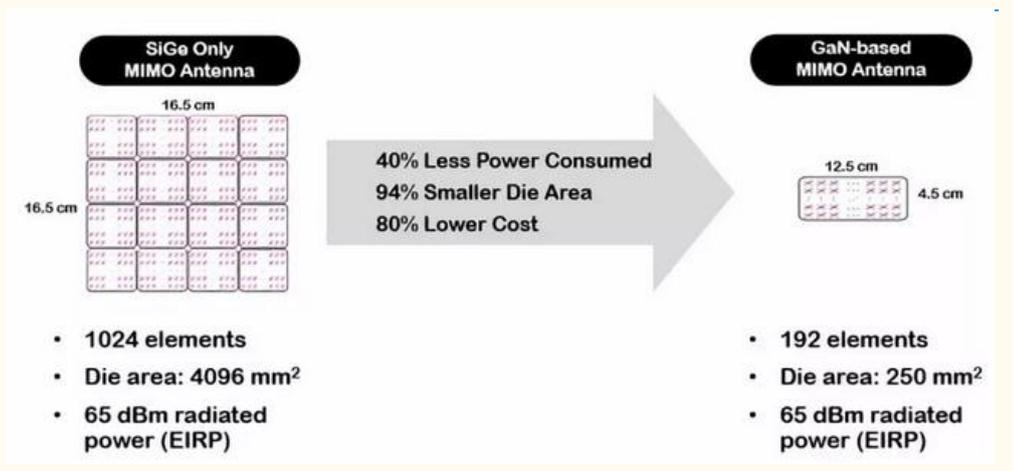
图表 22: GaN 具有更小的尺寸优势



来源: Qorvo、国金证券研究所

- 氮化镓基 MIMO 天线功耗可降低 40%。下图展示的是锗化硅和氮化镓的毫米波 5G 基站 MIMO 天线方案，左侧展示的是锗化硅基 MIMO 天线，它有 1024 个元件，裸片面积是 4096 平方毫米，辐射功率是 65dbm，与之形成鲜明对比的，是右侧氮化镓基 MIMO 天线，尽管价格较高，但功耗降低了 40%，裸片面积减少 94%。

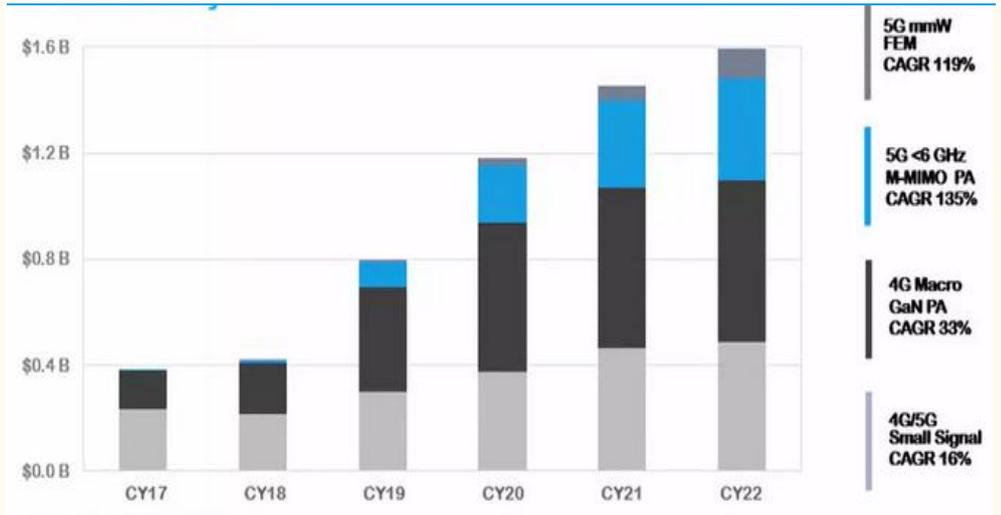
图表 23: 5G 毫米波基站 GaN 优势明显



来源: 半导体行业观察、国金证券研究所

- GaN 适用于大规模 MIMO
- GaN 芯片每年在功率密度和封装方面都会取得飞跃，能比较好的适用于大规模 MIMO 技术。当前的基站技术涉及具有多达 8 个天线的 MIMO 配置，以通过简单的波束形成算法来控制信号，但是大规模 MIMO 可能需要利用数百个天线来实现 5G 所需要的数据速率和频谱效率。大规模 MIMO 中使用的耗电量大的有源电子扫描阵列 (AESA)，需要单独的 PA 来驱动每个天线元件，这将带来显著的尺寸、重量、功率密度和成本 (SWaP-C) 挑战。这将始终涉及能够满足 64 个元件和超出 MIMO 阵列的功率、线性、热管理和尺寸要求，且在每个发射/接收 (T/R) 模块上偏差最小的射频 PA。
- MIMO PA 年复合增长率将达到 135%。预计 2022 年，4G/5G 基础设施用 RF 半导体的市场规模将达到 16 亿美元，其中，MIMO PA 年复合增长率将达到 135%，射频前端模块的年复合增长率将达到 119%。

图表 24：2023 年基站 RF 半导体市场规模预测（亿美元）



来源：ABI Research、国金证券研究所

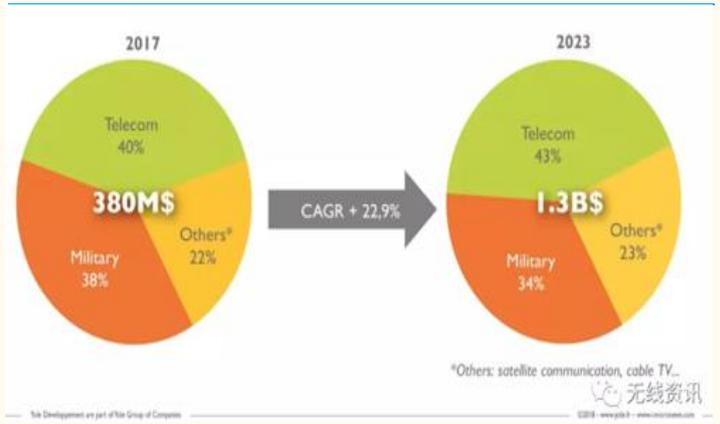
- 预计未来 5~10 年，GaN 将成为 3W 及以上 RF 功率应用的主流技术。根据 Yole 预测，2017 年，全球 GaN 射频市场规模约为 3.84 亿美元，在 3W 以上（不含手机 PA）的 RF 射频市场的渗透率超过 20%。GaN 在基站、雷达和航空应用中，正逐步取代 LDMOS。随着数据通讯、更高运行频率和带宽的要求日益增长，GaN 在基站和无线回程中的应用持续攀升。在未来的网络设计中，针对载波聚合和大规模输入输出（MIMO）等新技术，GaN 将凭借其高效率和高宽带性能，相比现有的 LDMOS 处于更有利的位置。未来 5~10 年内，预计 GaN 将逐步取代 LDMOS，并逐渐成为 3W 及以上 RF 功率应用的主流技术。而 GaAs 将凭借其得到市场验证的可靠性和性价比，将确保其稳定的市场份额。LDMOS 的市场份额则会逐步下降，预测期内将降至整体市场规模的 15% 左右。
- 到 2023 年，GaN RF 器件市场规模达到 13 亿美元，约占 3W 以上的 RF 功率市场的 45%。截止 2018 年底，整个 RF GaN 市场规模接近 4.85 亿美元。未来大多数低于 6GHz 的宏网络单元实施将使用 GaN 器件，无线基础设施应用占比将进一步提高至近 43%。

图表 25：2023 年全球 GaN 市场规模预测（亿美元）



来源：yole、国金证券研究所

图表 26：GaN 在通信领域占比不断提升



来源：yole、国金证券研究所

2.3 RF GaN 市场的发展方向

- GaN 技术主要以 IDM 为主。经过数十年的发展，GaN 技术在全球各大洲已经普及。市场领先的厂商主要包括 Sumitomo Electric、Wolfspeed (Cree 科锐旗下)、Qorvo，以及美国、欧洲和亚洲的许多其它厂商。化合物半导体市场和传统的硅基半导体产业不同。相比传统硅工艺，GaN 技术的外延工艺要重要的多，会影响其作用区域的品质，对器件的可靠性产

生巨大影响。这也是为什么目前市场领先的厂商都具备很强的外延工艺能力，并且为了维护技术秘密，都倾向于将这些工艺放在自己内部生产。

- **GaN-on-SiC 更具有优势。** 尽管如此，Fabless 设计厂商通过和代工合作伙伴的合作，发展速度也很快。凭借与代工厂紧密的合作关系以及销售渠道，NXP 和 Ampleon 等领先厂商或将改变市场竞争格局。同时，目前市场上还存在两种技术的竞争：GaN-on-SiC（碳化硅上氮化镓）和 GaN-on-silicon（硅上氮化镓）。它们采用了不同材料的衬底，但是具有相似的特性。理论上，GaN-on-SiC 具有更好的性能，而且目前大多数厂商都采用了该技术方案。不过，M/A-COM 等厂商则在极力推动 GaN-on-Silicon 技术的广泛应用。未来谁将主导还言之过早，目前来看，GaN-on-silicon 仍是 GaN-on-SiC 解决方案的有力挑战者。

2.4 全球 GaN 射频器件产业链竞争格局

■ 境外 GaN 射频器件产业链重点公司及产品进展

- **GaN 微波射频器件产品推出速度明显加快。** 目前微波射频领域虽然备受关注，但是由于技术水平较高，专利壁垒过大，因此这个领域的公司相比较电力电子领域和光电子领域并不算很多，但多数都具有较强的科研实力和市场运作能力。GaN 微波射频器件的商业化供应发展迅速。据材料深一度对 Mouser 数据统计分析显示，截至 2018 年 4 月，共有 4 家厂商推出了 150 个品类的 GaN HEMT，占整个射频晶体管供应品类的 9.9%，较 1 月增长了 0.6%。
- **Qorvo 产品工作频率范围最大，Skyworks 产品工作频率较小。** Qorvo、CREE、MACOM 73% 的产品输出功率集中在 10W~100W 之间，最大功率达到 1500W（工作频率在 1.0-1.1GHz，由 Qorvo 生产），采用的技术主要是 GaN/SiC GaN 路线。此外，部分企业提供 GaN 射频模组产品，目前有 4 家企业对外提供 GaN 射频放大器的销售，其中 Qorvo 产品工作频率范围最大，最大工作频率可达到 31GHz。Skyworks 产品工作频率较小，主要集中在 0.05-1.218GHz 之间。
- **Qorvo 射频放大器的产品类别最多。** 在我国工信部公布的 2 个 5G 工作频段（3.3-3.6GHz、4.8-5GHz，）内，Qorvo 公司推出的射频放大器的产品类别最多，最高功率分别高达 100W 和 80W（1 月份 Qorvo 在 4.8-5GHz 的产品最大功率为 60W），ADI 在 4.8-5GHz 的产品最大功率提高到 50W（之前产品的最大功率不到 40W），其他产品的功率大部分在 50W 以下。

图表 27：境外 GaN 射频器件产业链重点企业

GaN衬底	外延	设计	制造	封测	应用
Sumitomo Mitsubishi Furukawa Kyma Oromis	Sumitomo Chem IQE Allos Siltronic	Marfinisar Qualcomm GaN System Oromis	Win GCS OMMIC II-VI NXP Filtronic ST III-V Lab Diamond microwave	ASE	Raytheon Northrop Grumman
SiC衬底					
Cree II-VI Dow Corning Rohm Nippon Steel					
Si衬底			IDM Qorvo Wolfspeed Hittite Infineon ADI MACOM RFHIC UMS		
Shin-Etsu Global Wafer Siltronic					

来源：材料深一度、国金证券研究所

- **大陆 GaN 射频器件产业链重点公司及产品进展：** 欧美国家出于对我国技术发展速度的担忧及遏制我国新材料技术的发展想法，在第三代半导体材料方面，对我国进行几乎全面技术封锁和材料封锁。在此情况下，我国科研机构和企业单位立足自主创新，目前在 GaN 微波射频领域已取得显著成效，在军事国防领域和民用通信领域两个领域进行突破，打造了中电科 13 所、中电科 55 所、中兴通信、大唐移动等重点企业以及中国移动、中国联通等大客户。

- 苏州能讯推出了频率高达 6GHz、工作电压 48V、设计功率从 10W-320W 的射频功率晶体管。在移动通信方面，苏州能讯已经可以提供适合 LTE、4G、5G 等移动通信应用的高效率和高增益的射频功放管，工作频率涵盖 1.8-3.8GHz，工作电压 48V，设计功率从 130W-390W，平均功率为 16W-55W。

图表 28：大陆 GaN 射频器件产业链重点企业

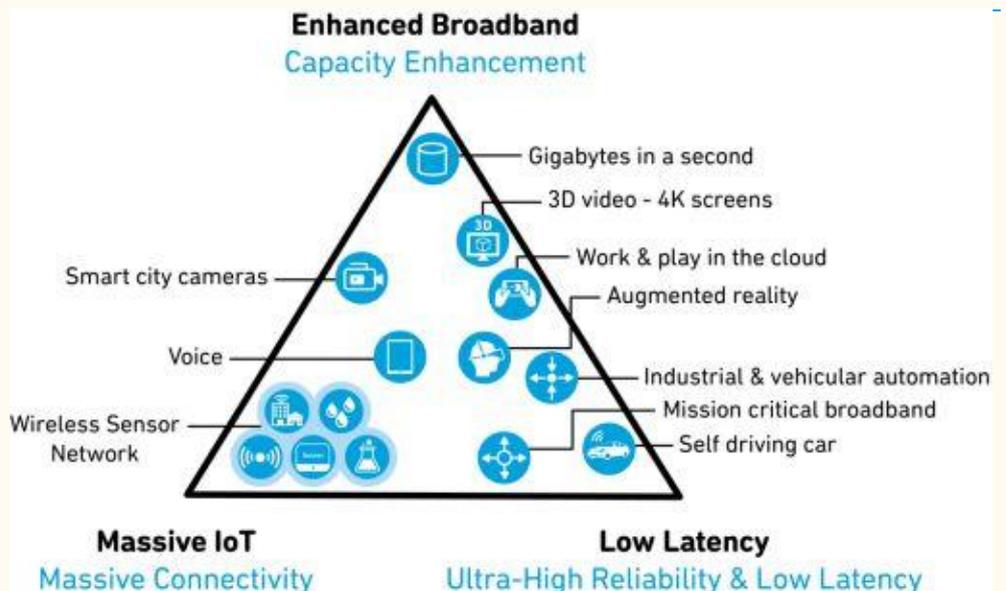
GaN衬底	外延	设计	制造	封测	应用
苏州纳维 东莞中镓	苏州晶湛 苏州能讯	安谱隆 海思半导体 中兴微电子	三安集成 海威华芯 益丰电子	长电科技 华天科技	中兴 中移动 大唐 中国联通 军工等
SiC衬底	IDM 中电科13所 中电科55所 中科院微电子所 苏州能讯 益本电子 凝慧电子				
山东天岳 天科合达					
Si衬底					
重庆超硅 宁夏银和 天津中环					

来源：材料深一度、国金证券研究所

3、5G 时代，窄带物联网设备射频前端迎来发展新机遇

- 伴随着 5G 大幕拉开，特别是对于智能手机来说，新的应用和新需求，刺激着射频前端市场涌现出很多新名词，比如，MIMO，HPUE，NSA，SA，PAMiD 等等。射频前端需要更高整合度，从而支持更加复杂的频段和通信标准。
- IOT 设备射频前端要求更低功耗，更长待机时间和更低的成本。在手机市场追求更快更强的同时，有另外一个市场就是窄带物联网 (Cat-M /NB-IoT)，它在另外一个维度满足市场需求，比如更低功耗，更长待机时间和更低的成本。新的 Cat-M 和 NB-IoT 网络中，对于终端的要求在发生变化，应用于该设备的射频前端器件也有新的发展要求。新的射频前端需要在支持超宽带工作，并且保证低成本的情况下，满足更大范围的工作电压和工作温度，同时达到 3GPP 规定的射频性能标准。

图表 29：5G 的使命和任务



来源：射频百花潭、国金证券研究所

- NB-IoT 主要应用场景：

- 智能安全；
- 智能基础设施：智能路灯，智能井盖，智能充电，智能停车；
- 智能表计；
- 智能监控。
- 在有些领域，出现了迅速的增长：
- 电动自行车监控和管理
- 智能烟雾传感器
- 智能表计（水表 / 气表 / 电表）
- 另外，目前有一些基于 NB-IoT 的新的应用，也引起市场极大的兴趣。
- 智能停车服务：集成了云服务大数据平台，现场交通和停车位信息搜集，通过手机的电子支付，能实现方便的无人值守停车。
- 智能穿戴市场：得益于低功耗，NB-IoT 终端能够实现超长待机。通过运营商的广域网连接，定位数据和健康数据能自动上传到企业云的个人帐号中，摆脱了传统局域网或者需要连接手机同步数据的束缚。这一点非常适合给老人和小孩的无人看护或者出门定位服务。管理员通过划定电子安全区域，智能穿戴设备出了安全区后，报警信息会自动传到云端和管理员。
- **NB-IoT PA 需要低成本和低功耗**
- 基于蜂窝网的万物互联是一项有前景的新技术，从射频前端供应商的角度，我们看到了一些新的市场需求。新的垂直市场。在已有的蜂窝网需求的基础上，新的低成本和低功耗的解决方案，将会用到新的市场应用当中。
- 多种连接标准会同时共存。产品形态会表现为从简单的低功耗和单频段无线单元，一直到复杂的 LTE 和 5G New Radio 的全球蜂窝网解决方案。多样的应用场景和需求。复杂多样的最终用户市场还有应用，会带来需求和产品的多样化，其中包括室内的应用和户外的一些极端温度和高可靠性要求的场景。

图表 30：各种通信标准和多应用场景



来源：Qorvo、国金证券研究所

- **NB-IoT 的 PA 要求低成本和高效。** NB-IoT 虽然有要求和 LTE 相同的上行功率(power class3)，但是信号的峰均比较低。另外，NB-IoT 采用半双工方式工作，避免使用 FDD 双工器，PA 后端的插入损耗小。这些因素可以让 NB-IoT 的 PA 更加偏向于非线性的设计，同时采用更小的 Die 设计，从而达到节省成本和提高效率的目的。

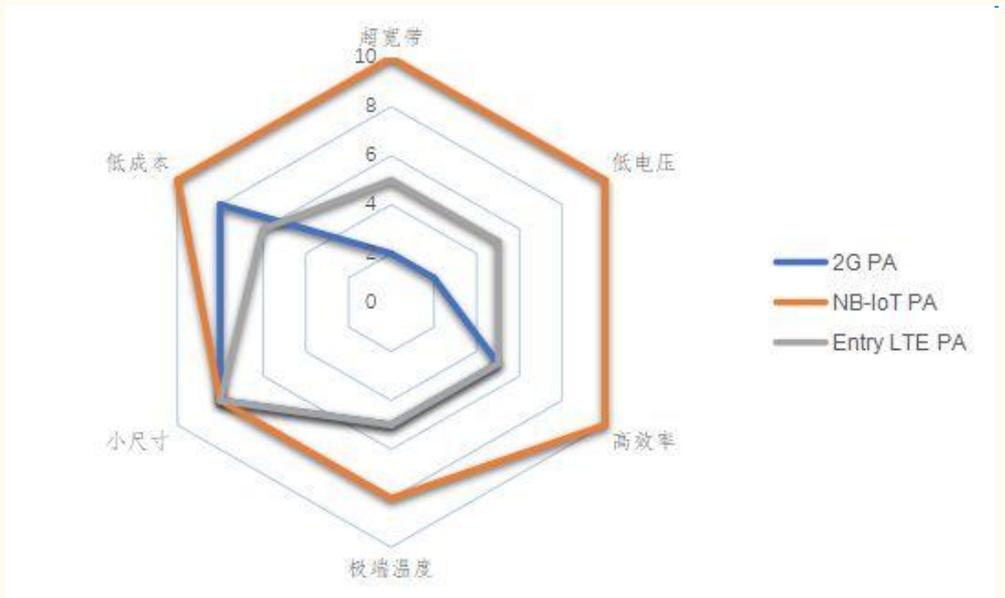
图表 31: Cat-M/NB/LoRa 技术特性比较

	eMTC	NB-IoT	LoRa
适用频谱	3GPP 授权频谱	3GPP 授权频谱	ISM 免授权频谱, 存在干扰问题
部署方式	基于 LTE 升级	基于 LTE FDD 或 GSM 升级, 新建	新建
系统带宽	1.4MHz (与 LTE 共享频谱, 影响 LTE 性能)	200kHz (对 LTE 性能无影响)	7.8kHz~500kHz
发射功率	下行 43dBm (典型), 上行 20dBm	下行 43dBm (典型), 上行 23dBm	下行 27dBm, 上行 14dBm
调制技术	下行 OFDMA, 上行 SC-FDMA	下行 OFDMA, 上行 SC-FDMA	Semtech LoRa 线性扩频调制
上行速率	0.25kbps~1Mbps	0.25kbps~288kbps	0.018kbps~37.5kbps, 典型<10kbps
链路预算	MCL: 156dB	MCL: 164dB	MCL: 156dB
覆盖距离	< 15km (室外)	< 25km (室外)	< 11km (室外)
电池寿命	5~10 年	10 年	10 年

来源: 射频百花潭、国金证券研究所

- 对于 NB-IoT PA 来讲, 超宽带、低电压、极端温度和低成本是重点要考虑的方向。
- **超宽带:** 以低频为例, NB-IoT PA 需要工作在 663MHz~915MHz, 可用带宽是 252MHz。
- **低电压:** 需要支持 1.8V 到 4.3V 工作电压, 以便满足不同的电池环境需求。
- **高效率:** 具备不同的功率模式, 从而优化不同功率和电压下面的效率。同时在 headroom 设计方面, 考虑到 Cat-M/NB 的最高输出功率需求。
- **极端温度:** 满足 -30/-40~+85 degree C 工作温度范围。
- **小尺寸:** 典型的 NB 模块大小为 26.5mm x 22.5mm x 2.3mm。这个大约相当于一张名片的七分之一。射频前端的尺寸会是很重要的考虑因素。
- **低成本:** NB 模块会逐步取代市场上的 2G 模块, 销售价格日趋向 2G 模块靠拢。射频前端的价格竞争和成本考量无法避免。

图表 32: 物联网设备射频前端的关键设计方向



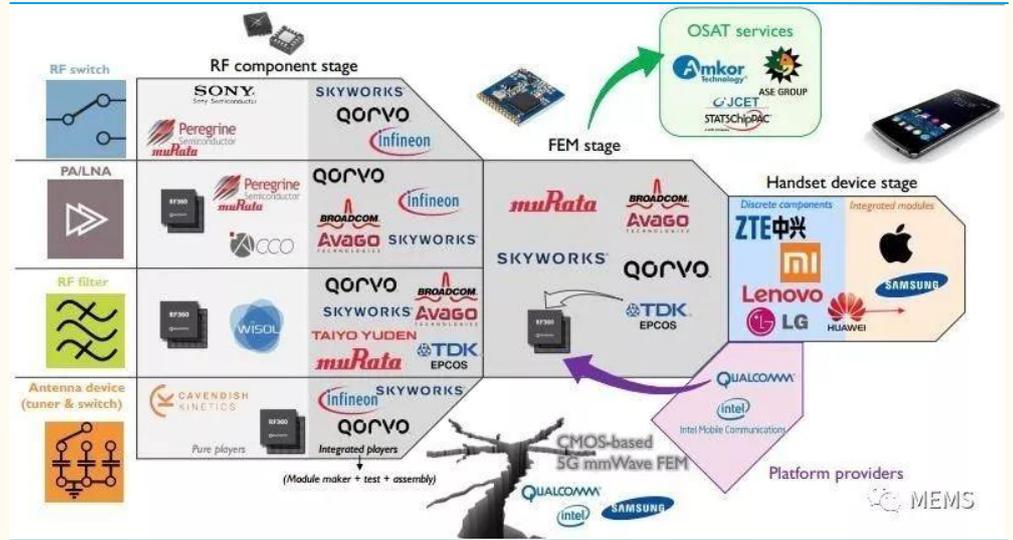
来源: 射频百花潭、国金证券研究所

4、5G 渐行渐近, 国际巨头纷纷布局射频产业

- 当前射频前端市场产业链已经非常成熟, 欧美 IDM 大厂技术领先, 规模优势明显。例如其中在 SAW 滤波器中, 全球 80% 的市场份额被 Murata、TDK、TAIYO YUDEN 所瓜分, 而在 4G、5G 中应用的 BAW 滤波器则被

Avago (Broadcomm) 和 Qorvo 占据 95% 的市场空间, PA 全球 93% 的市场集中在 Skyworks、Qorvo 和 Avago (Broadcomm) 手中。

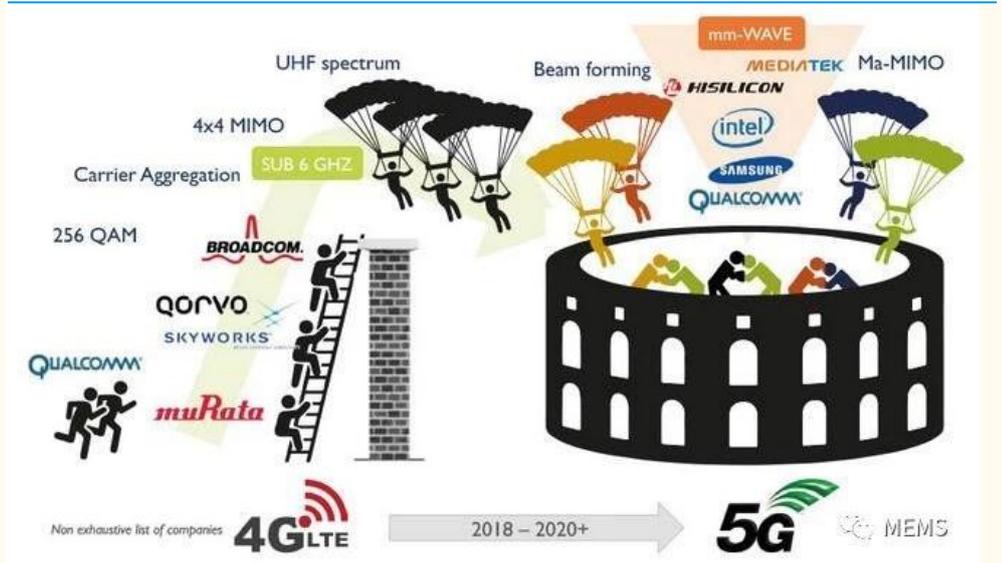
图表 33: 全球射频器件和模组供应链



来源: MEMS、国金证券研究所

- **高通领先布局 5G, 竞争者纷纷跟进。**随着 5G 手机和无线基础设施技术的成熟, 相关应用将会出现。这需要一定的时间, 许多厂商已经在为自己的“市场蛋糕”做好了准备。新的商业模式将会浮现: 例如一些电信运营商正在部署 pre-5G 网络(自己的标准), 作为光纤替代品应用于住宅宽带。高通 (Qualcomm) 在 5G 布局快人一步, 已推出多款 5G 产品, 其它厂商也都在探索之中。此外, 英特尔 (Intel)、三星 (Samsung), 以及领先的 RF CMOS/SOI 代工厂 (GLOBALFOUNDRIES、TOWERJAZZ、台联电、台积电等) 都在布局 5G 射频产业。
- **博通 (Broadcom)、Skyworks 在高频优势明显。**在 6 GHz 以下频段方面, 目前的射频前端领导者, 如博通 (Broadcom)、Qorvo、Skyworks、村田 (Murata), 已经开始适应这些变化。Broadcom 通过将中高频融合在一起, 为 5G 超高频段的到来做好了准备。凭借其 FBAR 体声波 (BAW) 滤波器技术, Broadcom 还掌握了高频和超高频的主要关键模块。Skyworks 定位于 5G 超高频市场, 新推出了 Sky5 平台。这些先进的无线引擎包括高度集成的高性能发送/接收前端方案, 以及分集接收 (DRx) 模块。此外, 凭借其 SkyOne LiTE 平台, Skyworks 已在高端市场获得了一些设计大奖; 在低端市场方面, 赢得中国 OEM 厂商 (华为、OPPO、vivo、小米) 的青睐。
- **Qorvo 组合拳产品多元化。**采用类似的方法, 分别通过 RF Fusion 和 RF Flex 平台提供涵盖高端和低端市场的广泛产品组合。Qorvo 的另一个优势在于其内部测试和封装能力, 可以缩短响应时间并持续改进。值得注意的是, Qorvo 是第一家推出用于超高频段覆盖的射频前端模组厂商。Murata 主要涉足低频段, 但非常适合不断增长的多样化射频模组市场。高通 (Qualcomm) 是新进入者, 带来了从调制解调器到天线的端到端解决方案。此外, 对 TDK Epcos 滤波技术的战略投资已经初见成效。
- **毫米波有机会破坏竞争格局。**5G 将重新定义射频前端如何在网络和调制解调器之间“交互”。实际上, 新的射频频段, 6 GHz 以下频段 (Sub-6 GHz) 和毫米波, 对该行业产生了巨大挑战, 并有机会破坏市场竞争格局。除了 6 GHz 以下频段之外, 毫米波频段将完全“破坏”射频前端产业, 代表一种完全不同的技术思维, 可以为高速传输数据创造新的途径。虽然 Qualcomm 是明确的毫米波技术新进入者, 但还有英特尔 (Intel)、三星 (Samsung)、海思 (HiSilicon)、联发科 (Mediatek) 等企业也在探索这一新商机!

图表 34：全球厂商纷纷布局 5G



来源：MEMS、国金证券研究所

5、看好细分行业龙头

- 产业链重点受益公司：
- 基站射频 PA：Qorvo、CREE、稳懋、旋极信息（拟收购安谱隆）、三安光电、海特高新（海威华芯）；
- 移动终端及 IOT 射频 PA：Skyworks、Qorvo、高通、台湾稳懋、三安光电、环旭电子、卓胜微电子、信维通信。
 - 我们认为，随着 5G 进程的加快，5G 基站、智能移动终端及 IOT 终端射频 PA 将迎来发展良机，使用量大幅增加，看好细分行业龙头，推荐：CREE、Skyworks、稳懋、三安光电、环旭电子，建议关注：海特高新（海威华芯）、旋极信息（拟收购安谱隆）。

6、风险提示

- 智能手机及基站射频 PA 被国际巨头垄断，技术难度较大，国内进展缓慢，合格率较低，成本居高不下，射频 PA 需要持续性投入。

公司投资评级的说明：

买入：预期未来 6—12 个月内上涨幅度在 15% 以上；
增持：预期未来 6—12 个月内上涨幅度在 5%—15%；
中性：预期未来 6—12 个月内变动幅度在 -5%—5%；
减持：预期未来 6—12 个月内下跌幅度在 5% 以上。

行业投资评级的说明：

买入：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 15% 以上；
增持：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 5%—15%；
中性：预期未来 3—6 个月内该行业变动幅度相对大盘在 -5%—5%；
减持：预期未来 3—6 个月内该行业下跌幅度超过大盘在 5% 以上。

特别声明:

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

本报告版权归“国金证券股份有限公司”（以下简称“国金证券”）所有，未经事先书面授权，任何机构和个人均不得以任何方式对本报告的任何部分制作任何形式的复制、转发、转载、引用、修改、仿制、刊发，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。经过书面授权的引用、刊发，需注明出处为“国金证券股份有限公司”，且不得对本报告进行任何有悖原意的删节和修改。

本报告的产生基于国金证券及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，但国金证券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，对由于该等问题产生的一切责任，国金证券不作出任何担保。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，在不作事先通知的情况下，可能会随时调整。

本报告中的信息、意见等均仅供参考，不作为或被视为出售及购买证券或其他投资标的邀请或要约。客户应当考虑到国金证券存在可能影响本报告客观性的利益冲突，而不应视本报告为作出投资决策的唯一因素。证券研究报告是用于服务具备专业知识的投资者和投资顾问的专业产品，使用时必须经专业人士进行解读。国金证券建议获取报告人员应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。报告本身、报告中的信息或所表达意见也不构成投资、法律、会计或税务的最终操作建议，国金证券不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。

在法律允许的情况下，国金证券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多种金融服务。

本报告反映编写分析员的不同设想、见解及分析方法，故本报告所载观点可能与其他类似研究报告的观点及市场实际情况不一致，且收件人亦不会因为收到本报告而成为国金证券的客户。

根据《证券期货投资者适当性管理办法》，本报告仅供国金证券股份有限公司客户中风险评级高于 C3 级(含 C3 级)的投资者使用；非国金证券 C3 级以上(含 C3 级)的投资者擅自使用国金证券研究报告进行投资，遭受任何损失，国金证券不承担相关法律责任。

此报告仅限于中国大陆使用。

上海	北京	深圳
电话: 021-60753903	电话: 010-66216979	电话: 0755-83831378
传真: 021-61038200	传真: 010-66216793	传真: 0755-83830558
邮箱: researchsh@gjzq.com.cn	邮箱: researchbj@gjzq.com.cn	邮箱: researchsz@gjzq.com.cn
邮编: 201204	邮编: 100053	邮编: 518000
地址: 上海浦东新区芳甸路 1088 号 紫竹国际大厦 7 楼	地址: 中国北京西城区长椿街 3 号 4 层	地址: 中国深圳福田区深南大道 4001 号 时代金融中心 7GH