

模拟系列之射频：5G时代，射频前端大放异彩

深度研究报告/电子

2021年08月19日

报告摘要：

● 5G时代，射频前端将迎来确定性增长机会

射频前端 (RFFE) 占手机价值量约 10%，其中 PA 与滤波器技术难度最大、价值量最高 (分别占 34%/54%)。5G 时代通过以下两种方法提速：(1) 解锁高频段资源，使得单载波带宽由 4G 的 20MHz 增加到 5G 的 100MHz；(2) 增加通路数量来提高频段使用效率，即 4G 频段实行 1T2R，5G 频段将实行 1T4R (NSA) /2T4R (SA)。因此，5G 手机除需向下兼容 2/3/4G/频段外，还需要增加相应的射频器件与 5G 新增频段匹配，该部分价值是射频前端的主要增量来源。我们预计 2024 年射频前端市场 273 亿美元空间，20-24 年 CAGR 16%，其中 5G 频段市场空间 113 亿美元。

● 集成度提升叠加技术升级，持续推动射频前端创新

通信迭代快速，RFFE 厂商需要不断技术革新来维持优势，从 3G 时代开始可以看到两条并行不悖的发展路径：(1) 覆盖频段数增加带来的集成化需求，推动 RFFE 厂商或通过并购/自研获得全产品线布局；(2) 高频段的解锁，推动 PA 从低频段的 Si-CMOS 技术走向高频的 GaAs-HBT 技术，滤波器由低频段的 SAW 走向高频的 BAW 技术。

● 四巨头瓜分80%市场，存在差异化产品布局、不同频段竞争

整体上四大海外巨头实力相当，市占率均在 20%-25%，但滤波器布局存在较大差异：SAW 滤波器 Murata 市占率超过 50%，BAW 滤波器 Avago 和 Qorvo 分别占领 56%/38% 市场，而 Skyworks 由于切入较晚、目前较弱，部分产品通过外包给 Taiyo Yuden。滤波器布局不同使 Skyworks/Murata 主要竞争低频段、Avago/Qorvo 竞争高频段集成化模组。

● 国产替代：道阻且长，行则将至

与海外厂商相比，目前国内射频厂商涌现，并正从单一产品向模组化产品演进中，但在产品布局上、性能上均存在提升空间，主要包括三类厂商：(1) PA 厂商：从 2/3G 频段切入，逐步向 5G 渗透，并在模组化上走在前列，推出 FEM/PAMiD/PAMiF 等模组，包括昂瑞微、唯捷创芯 (联发科收购)、飞驒科技、迪瑞科 (展讯收购) 等。(2) 滤波器厂商：包括麦捷科技 (出货国内手机一线厂商，与中电 26 所深度合作)、信维通信 (与中电 55 所在 SAW 上深度合作)、无锡好达、诺思等。(3) 其他器件：如射频龙头卓胜微，平台型公司韦尔股份、艾为电子，从 LNA/射频开关切入，并向其他器件、模组拓展。

● 投资建议

国产替代趋势不可逆，建议关注产品线布局较为全面、在滤波器/PA 上技术有突破的平台型公司，建议关注：卓胜微、韦尔股份、三安光电、艾为电子，麦捷科技、旷达科技、唯捷创芯 (拟科创板上市)、飞驒科技 (拟上市)、好达电子 (拟科创板上市)。

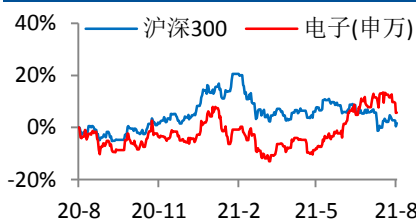
● 风险提示

国内厂商技术进步慢于预期，5G 手机出货量低于预期

推荐

维持评级

行业与沪深 300 走势比较



资料来源：Wind，民生证券研究院

分析师：王芳

执业证号：S0100519090004

电话：021-60876730

邮箱：wangfang@mszq.com

分析师：杨旭

执业证号：S0100521050001

电话：021-60876730

邮箱：yangxu_yj@mszq.com

研究助理：赵晗泥

执业证号：S0100120070021

电话：021-80508499

邮箱：zhaohanni@mszq.com

相关研究

- 1.【民生电子】半导体周跟踪：不惧非理性下跌，大陆企业国产化替代为主逻辑
- 2.【民生电子】半导体设备系列一：低自给率叠加广阔发展空间，本土设备商迎来快速发展机遇

盈利预测与财务指标

代码	重点公司	现价 8月18日	EPS			PE			评级
			2021E	2022E	2023E	2021E	2022E	2023E	
300782.SZ	卓胜微	403	3.22	6.36	8.70	125	63	46	推荐
603501.SH	韦尔股份	262	3.12	5.22	7.39	84	50	35	推荐
600703.SH	三安光电	37	0.23	0.50	0.80	164	74	47	推荐
688798.SH	艾为电子	248	0.61	1.50	2.90	404	165	85	NA
300319.SZ	麦捷科技	13	0.04	0.30	0.42	304	42	30	NA

资料来源：公司公告、民生证券研究院
 注：未覆盖公司采用 wind 一致预期数据。

目录

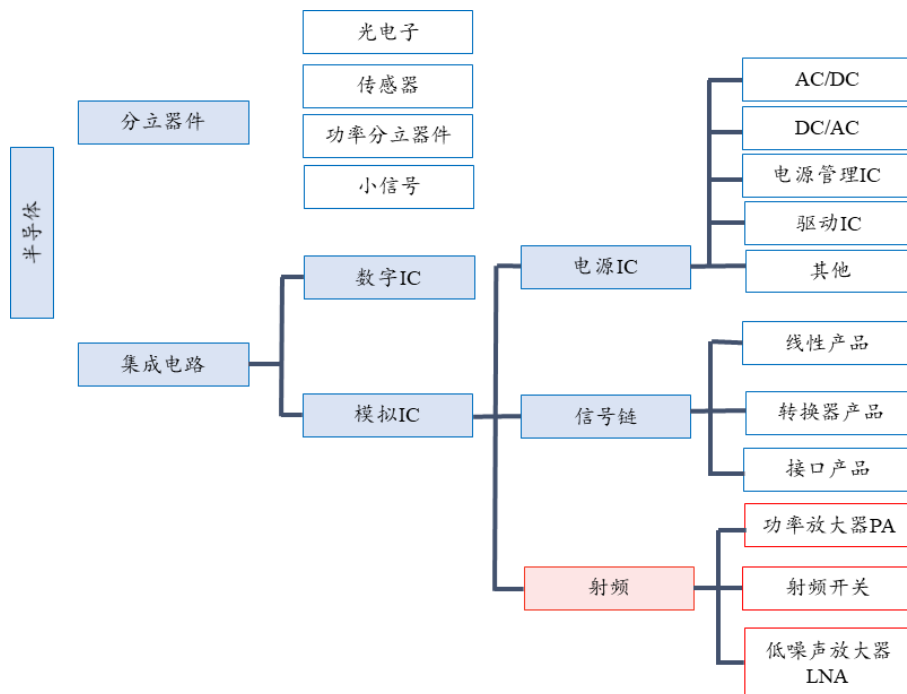
1	5G 时代，射频前端迎来确定性增长机会	4
1.1	射频前端为手机无线通信模块重要部分	4
1.2	通信代际更迭带来的新频段解锁，是射频前端增长的核心驱动力	7
1.2.1	5G 提速的两大方法：解锁高频资源以拓宽带宽、增加通路数量以提高传输效率	7
1.2.2	5G 新增频段，需要增加相应的射频前端器件与之配套	11
1.3	预计 2024 年射频前端 273 亿美元空间，20-24 年 CAGR 16%	16
2	集成度提升叠加技术升级，持续推动射频前端创新	21
2.1	趋势一：集成化需求推动全产品线布局	21
2.1.1	覆盖频段数持续增加下的必然需求：集成度提升	21
2.1.2	面对高度集中的客户群，射频前端厂商提供精简版、全网通两套集成化方案	25
2.1.3	从泾渭分明到并购融合：集成化催生的并购潮	28
2.2	趋势二：高频趋势势不可挡，新技术应运而生	29
2.2.1	PA：高频时代，GaAs/GaN 继续领跑	30
2.2.2	滤波器：5G 时代，BAW 滤波器表现更优	32
3	四巨头瓜分 80% 市场，存在差异化产品布局、不同频段竞争	37
3.1	四大巨头瓜分 80% 以上市场，各家产品线布局存在差异	37
3.1.1	巨头成长之路，殊途同归	37
3.1.2	整体实力相当，但产品布局存在差异	38
3.2	四大巨头收入分析	41
4	国产替代：道阻且长，行则将至	44
4.1	国内厂商涌现，从单一产品向模组化演进	44
4.2	国产替代，把握 PA、滤波器技术突破及模组化布局	45
4.2.1	卓胜微	45
4.2.2	韦尔股份	46
4.2.3	三安光电	46
4.2.4	艾为电子	47
4.2.5	麦捷科技	47
4.2.6	旷达科技	48
4.2.7	唯捷创芯（拟科创板上市）	48
4.2.8	飞驒科技（拟上市）	49
4.2.9	好达电子（拟科创板上市）	49
5	投资建议	50
6	风险提示	50
	插图目录	51
	表格目录	52

1 5G 时代，射频前端迎来确定性增长机会

1.1 射频前端为手机无线通信模块重要部分

射频是半导体集成电路中模拟 IC 的重要组成部分。半导体分为分立器件与集成电路。按处理信号的特点，集成电路分为模拟 IC 与数字 IC，数字 IC 用于处理数字信号（例如 CPU、逻辑电路），模拟 IC 用于收集现实世界中的信号（包括光、声音、温度、湿度、压力、电流、浓度等），并进行包括放大、过滤等处理，可按照处理信号的类型继续划分为电源 IC、信号链、射频等。而射频器件主要包括功率放大器、射频开关、低噪声放大器。此外，射频前端中的滤波器是无源器件（被动元器件），半导体属于有源器件。

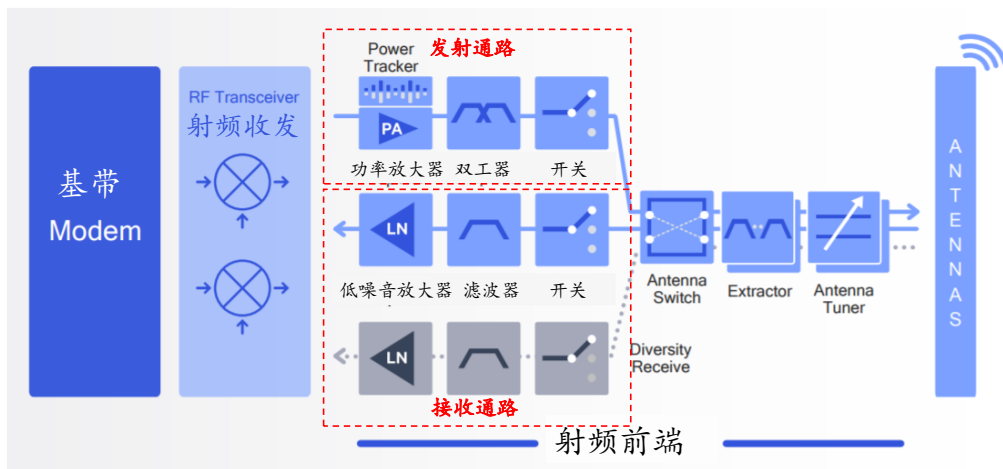
图 1、射频归属于半导体模拟 IC



资料来源：民生证券研究院整理

射频前端为手机无线通信模块重要部分。手机的无线通信模块包含四部分，即天线、射频前端(RFFE, Radio Frequency Front-end)、射频收发(RF Transceiver)、及基带(BB, Base Band)，共同组成接收通路/下行链路（即 Receive, Rx）和发射通路/上行链路（即 Transmit, Tx）。简单来说，基带信号是指需要的处理信号，如麦克风接收到的音频，但其频率较低，不适合距离传输（一是天线长度与波长成正比、二是低频段频谱资源有限），因此需要把低频的基带信号加载到更高频的电磁波上，即用射频电流作为载波。以上过程被称作基带的调制（反向过程为解调），而射频前端则是对射频信号进行过滤和放大。

图 2、无线通信模块主要模块：基带、射频收发、射频前端、天线



资料来源：Qualcomm，民生证券研究院

注：该图为 4G 主流的 1T2R 模式，即一路发射两路接收，其中接收通路包括主集接收（Primary Receive, PRx）、分集接收（Diversity Receive, DRx）。

射频前端通过 PA、滤波器进行信号的过滤与放大。射频前端主要器件包括：功率放大器（PA, Power Amplifier）、滤波器（Filter）、开关（Switch）、低噪音放大器（LNA, Low Noise Amplifier）、调谐器（Tuner）、双/多工器（Du/Multiplexer）。

(1) PA：一般位于上行链路，用于增大信号功率，为有源器件。由于无线传输过程存在链路衰减，因此发射端信号的功率要足够大才能保证远距离传输，而 PA 正是通过向电源获取能量、来放大信号的输出功率。其主要工艺技术包括低频段的 Si-CMOS 和高频段的 GaAs/GaN。

(2) 滤波器：对特定频率的以外的频率进行滤除，为无源器件。滤波器由电阻、电感和电容的组合，其中电感阻止高频信号、允许低频信号通过，电容恰恰相反。滤波器有四种模式，低通滤波器（滤除高频信号）、高通滤波器（滤除低频信号），或者两者结合形成的带通滤波器、带阻滤波器。其主要工艺技术包括 SAW, TC-SAW, BAW-FBAR, BAW-SMR。

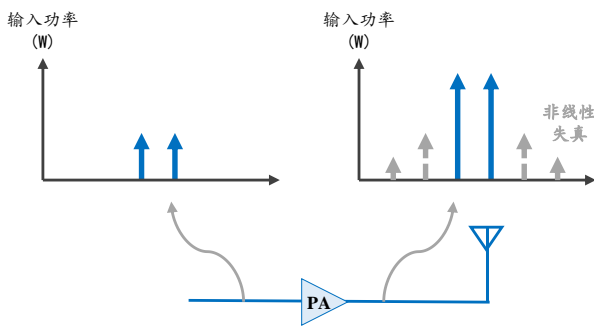
(3) 其他：开关用于实现射频收发通道的切换；LNA 位于接受通路上，抑制噪音并放大天线接收到的微弱信号；双工器由接收端滤波器和发射端滤波器组成，用于实现射频收发通道的隔离。

表 1、射频前端主要器件及对应功能、工艺技术

器件	功能	技术
功率放大器 (PA, Power Amplifier)	位于发射通路上, 将经过调制的功率较小的射频信号功率进行放大, 以便远距离传输	Si-CMOS, GaAs, GaN
低噪音放大器 (LNA, Low Noise Amplifier)	位于接受通路上, 抑制噪音并放大天线接收到的微弱信号	Si-CMOS, Si-SOI
滤波器 (Filter)	过滤特定频率的信号	SAW, TC-SAW, BAW-FBAR, BAW-SMR
开关 (Switch)	实现射频收发通道的切换	Si-CMOS, Si-SOI, GaAs, GaN
双/多工器 (Duplexer/Multiplexer)	由接收端滤波器和发射端滤波器组成, 实现射频收发通道的隔离	SAW, TC-SAW, BAW-FBAR, BAW-SMR

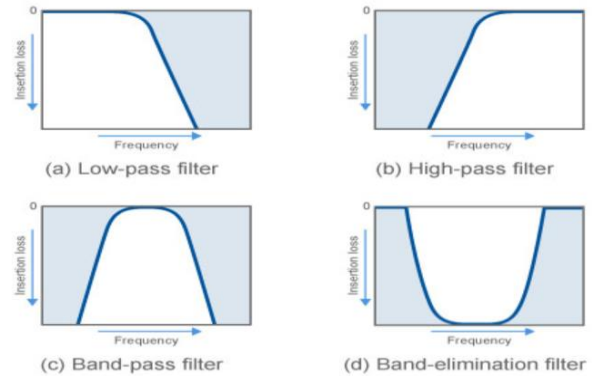
资料来源: 民生证券研究院

图 3、PA 功能示意图



资料来源: 民生证券研究院

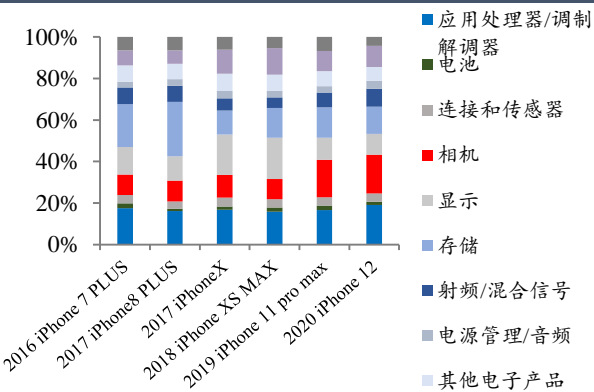
图 4、滤波器功能示意图



资料来源: Murata, 民生证券研究院

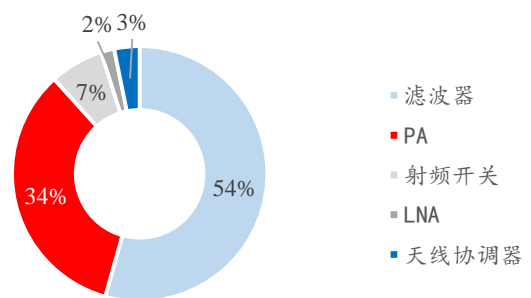
PA、滤波器价值量占比达 34%、54%。手机主要成本包括显示器 (约 20%)、相机 (约 10%)、及主板, 其中主板主要包括三大芯片, 即主芯片 (约 15%)、储存芯片 (约 10%)、射频前端 (约 8%)。射频前端中, PA 和滤波器为价值量最高的两大器件, 价值量占比分别为 34%、54%。

图 5、射频前端成本约占整机成本的 8%



资料来源: techinsights, 民生证券研究院

图 6、射频前端各器件价值占比: PA/滤波器达 34%/54%



资料来源: Yole, 民生证券研究院

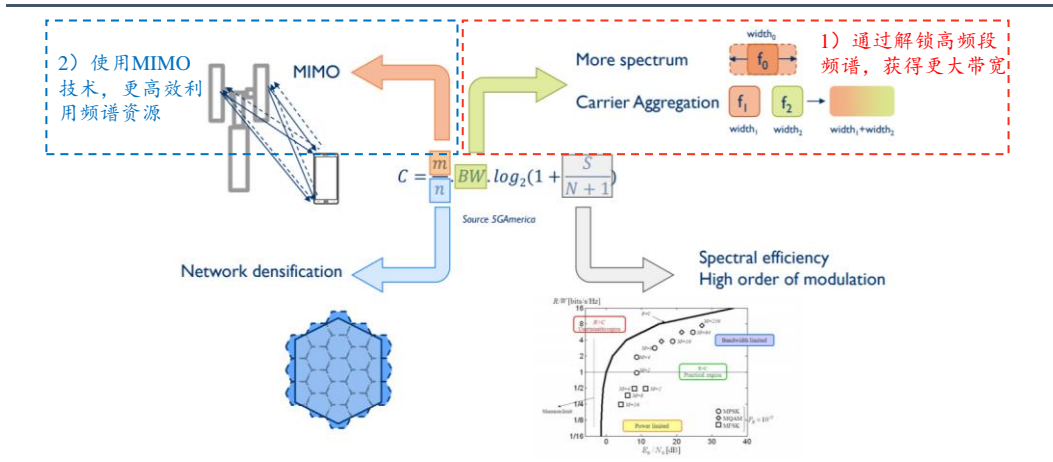
1.2 通信代际更迭带来的新频段解锁，是射频前端增长的核心驱动力

5G 通过拓宽带宽、增加通路数量提高数据传输速度，而新增频段需要配套的射频前端器件。从 2G 到 5G 的通信代际更迭最显著的变化在于数据传输速度的提升。而根据香农定律，提高数据传输速度的主要手段包括：(1) 提高带宽 BW (注：带宽指调制载波占据的频率范围，即频率上限与下限的差，以 Hz 为单位)；(2) 增加接收/发射通道的数目 m；(3) 提高信噪比 SNR (即 $S/(N+1)$ ，其中 S 为信号功率 (W)，N 为噪音功率 (W))。具体到 5G 时代则是：

(1) 方法一：通过解锁广阔的高频段资源 (即新增的 5G 频段)，使得最大带宽由 4G 的 20MHz 增加到 5G 的 100MHz；→对射频前端的影响：5G 手机除需向下兼容 2/3/4G/频段外，还需要增加相应的射频器件与 5G 新增频段匹配。

(2) 方法二：通过增加通道数量，以更高效地利用频谱资源→对射频前端的影响：相较于 4G 频段的 1T2R (少量 1T4R)，5G 频段将实行 (NSA 标准下) 1T4R/ (SA 标准下) 2T4R。

图 7、香农定理：可以通过提高带宽、增加天线数提高数据传输

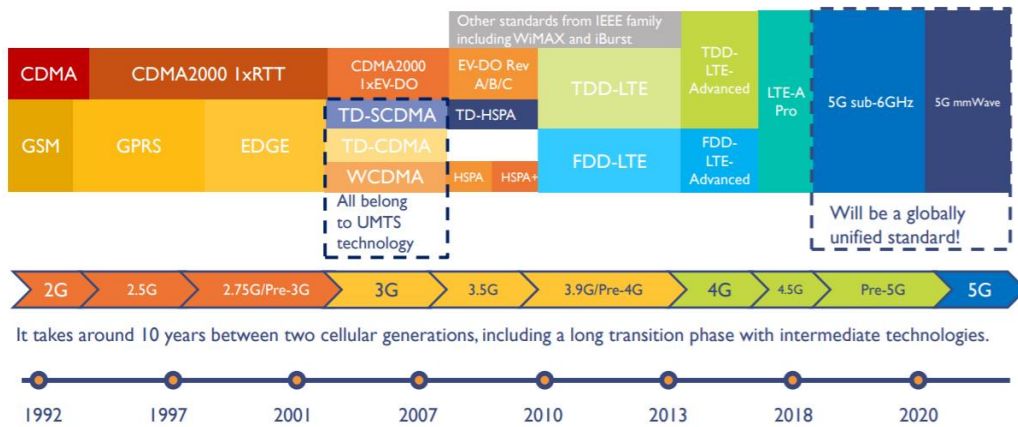


资料来源：Yole，民生证券研究院

1.2.1 5G 提速的两大方法：解锁高频资源以拓宽带宽、增加通路数量以提高传输效率

对更快传输速度的追求推动通讯时代更迭，2020 年正式解锁 5G。1G 诞生于 90 年代，以摩托罗拉推出的大哥大为标志。2G 始于 20 世纪初，以摩托罗拉和诺基亚为代表的功能机开始出现。3G 时代以 2008 年 iPhone 3G 的推出为开端，随后支持移动多媒体技术的智能手机席卷全球。4G 时代开始于 2013 年，更快的传输速度使得数字经济成为可能，移动互联网开始从消费领域向生产领域渗透 (如视频直播、移动购物等)。5G 于 2020 年开启，更高速度使得通信场景由移动互联网转向物联网。

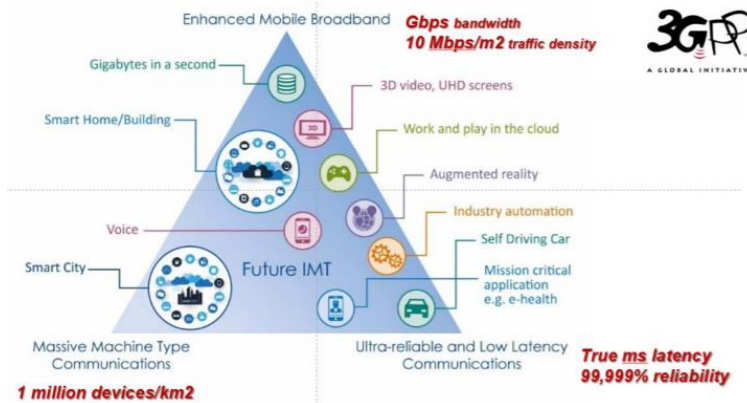
图 8、通信历代的更迭历程&各历代的网络制式



资料来源：Yole，民生证券研究院

5G 时代三大应用场景：eMBB、mMTC、uRLLC。 3GPP 对 5G 三大应用场景的定义为 eMBB（应用于 3D/超高清视频等的增强型移动宽带，即移动互联网场景）、mMTC（应用于智能家居、智慧城市的海量机器类通信，即物联网场景）和 uRLLC（应用于无人驾驶、移动医疗、工业自动化等的超高可靠低延时通信，即物联网场景）。

图 9、5G 时代的三大应用场景

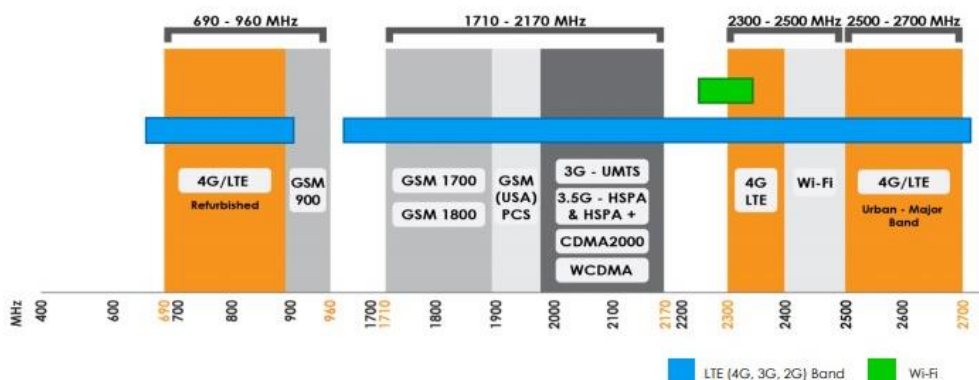


资料来源：IEEE，民生证券研究院

5G 时代提高传输速度的方法一：通过解锁广阔的高频段资源，获得更大带宽。

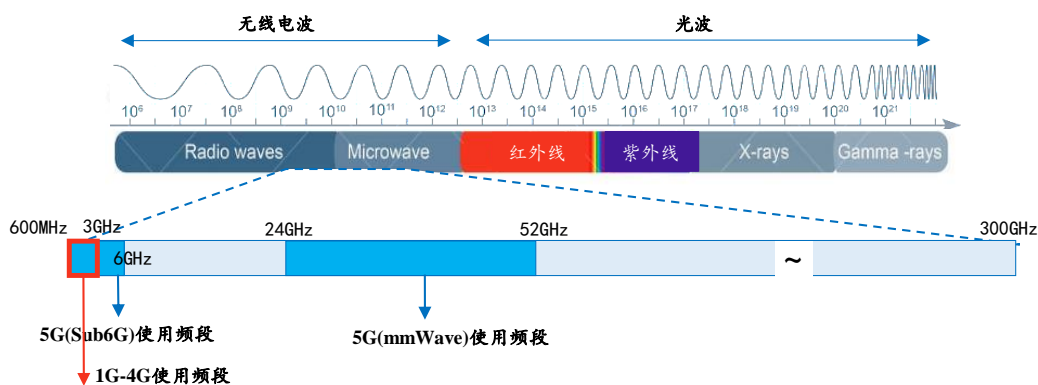
2G-4G 主要使用 600MHz-3GHz 频段，5G 拓展至 Sub-6GHz 和毫米波段。电磁波是由电场与磁场在空间中以波的形式移动的电磁场，在真空中以光速传播，按频率高低分为光波和无线电波（频率范围在 300KHz~300GHz）。其中，无线电波被广泛用于广播、移动通讯、气象、卫星通信、导航定位等无线通讯领域。为保证不同领域使用的频谱资源不相互干扰，国际电信联盟(ITU)颁布了国际无线电规则，对无线频段进行统一的规划。目前，低频段资源（600MHz-3GHz）大部分已被 1G-4G 占用。而 5G 通过技术进步，将频谱资源拓宽至 Sub 6GHz 频段(即 FR1 段)和毫米波段（即 FR2 段）。

图 10、2/3/4G 频谱使用情况



资料来源：Poynting，民生证券研究院

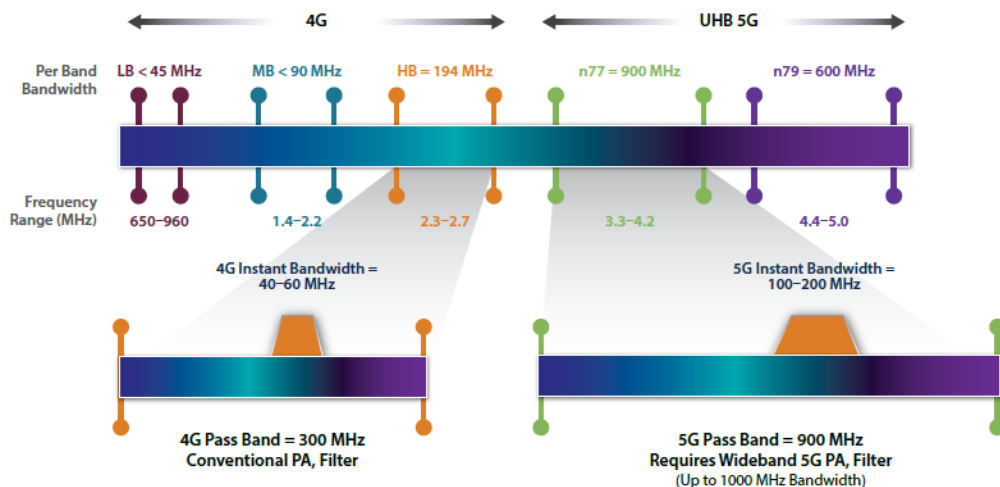
图 11、5G 通信时代拓宽了频谱使用范围



资料来源：民生证券研究院

高频段解锁后，最大带宽由 4G 的 20MHz 增加到 5G 的 100MHz。5G 解锁的两个频段中，FR1 频段共 6GHz 带宽可用（注：600MHz-3GHz 大部分已被 1G-4G 占用），FR2 频段共 249GHz 带宽可用（注：毫米波段频率范围 3-300GHz，剔除两个无法用于通讯领域的特殊频段，氧气吸收段 57-64GHz、水蒸气吸收段 164-200GHz）。而更广阔的频谱资源，意味着更大带宽，与 4G 单载波最大 20MHz 的带宽相比（通过载波聚合（CA，Carrier Aggregation）可达到 40/60MHz），5G 最大带宽提升至 100MHz。

图 12、更广阔的频谱资源，意味着更大带宽

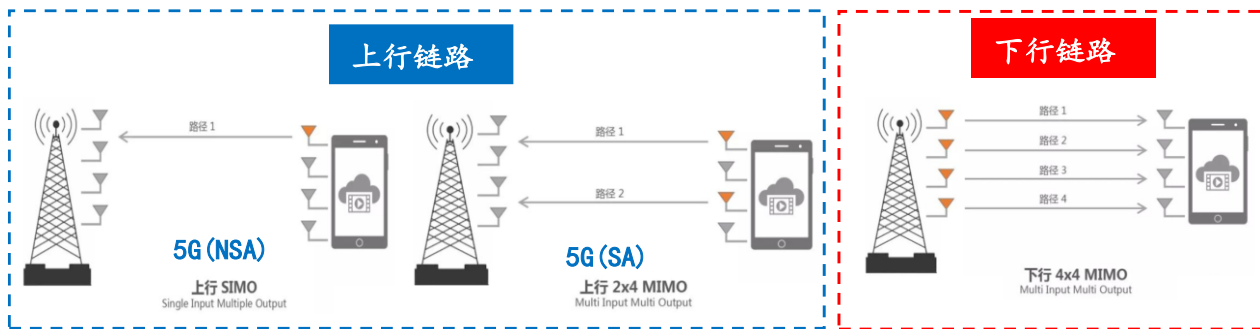


资料来源：Skyworks，民生证券研究院

5G 时代提高传输速度的方法二：通过增加通道数量，提高利用效率

终端设备在 5G 频段采用 1T4R (NSA 下) /2T4R (SA 下)，而 4G 频段仅为 1T2R。MIMO (Multi-input Multi-output) 技术，即发射端和接收端都有多个天线，各自独立发送/接收信号，其提高传输速率的方法有三种：(1) 空间复用 (spatial multiplexing)，不同天线发射不同信息，可以简单的理解为铺设高架桥，能够再不增加带宽的条件下，成倍地提升传输速率；(2) 空间多样 (spatial diversity)，不同天线发送同样的信息，因此即使一个通路的电磁波受到干扰，其他通路仍能够接收信息，从而减少了信号同时衰减的可能性、也就提高了信号质量，理论上 1T2R 最多可实现 3dB 增益；(3) 波束赋形 (beamforming)，借由多根天线产生一个具有指向性的波束，将能量集中在欲传输的方向，以增加信号质量。对于终端设备而言，5G 频段将不再采用 4G 频段默认的 1T2R (少量 1T4R)，而是实行 1T4R (NSA 标准下)、2T4R (SA 标准下)。(注：1T4R 指终端设别包含 1 路上行链路+4 路下行链路)。

图 13、终端设备在 5G 频段实行 1T4R (NSA 标准下) /2T4R (SA 标准下)



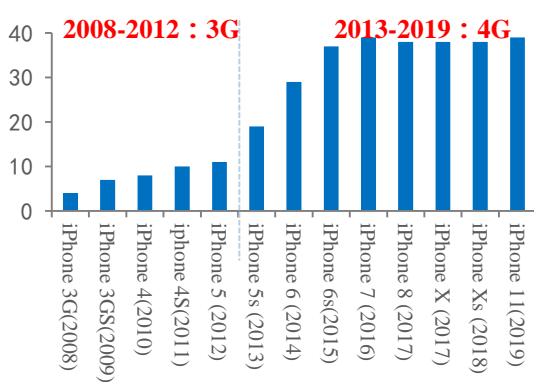
资料来源：民生证券研究院

1.2.2 5G 新增频段，需要增加相应的射频前端器件与之配套

因需要向下兼容旧频段，通信代更迭意味着覆盖频段数提升。简单来说，一台 5G 手机如要保证在全球范围内、各运营商网络下皆可使用，需要通过多模多频实现无线通讯频段的全面覆盖，包括（1）纵向维度：向下兼容 2/3/4G 频段，（2）横向维度：兼容全球各国运营商不同频段。我们以 iPhone 为例，可以看到当通讯时代由 3G 向 4G 演进时，手机支持频段数由 3G 时代约 10 个频段，大幅提升至 4G 时代约 40 个频段。

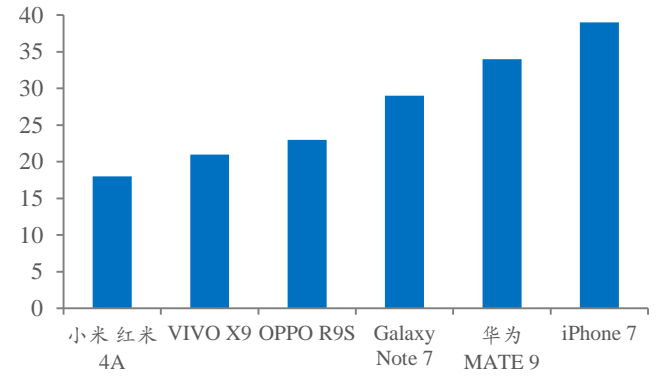
4G 时代高端机型覆盖频段数近 40 个，入门级手机覆盖频段数超过 10 个。一般中低端手机为区域性版本，支持频段数较少。我们以 2016 年下半年发售不同型号手机为例，小米红米 4A 支持频段数不到 20 个，远小于同期 iPhone7 的近 40 个。此外我们统计了 4G 时代常用的频段数，其中 4G 频段 25 个、3G 频段 10 个、2G 频段 4 个。

图 14、纵向对比：通讯时代更迭带来手机支持频段数提升



资料来源：FrequencyCheck，民生证券研究院
注：同款手机不同型号频段数略有差异

图 15、横向对比：同期发售的高端机支持频段数大于低端机



资料来源：FrequencyCheck，民生证券研究院
注：统计机型均为 2016/09-2016/11 发售的大陆版车型

表 2、2/3/4G 常用频段合计约 40 个，其中 2/3/4G 分别为 4/10/25 个

上行频段 (MHz)	下行频段 (MHz)	地区	6 模 13 频	7 模 7 频	OPPO R9S	小米 NOTE 2	华为 MATE 9	Galaxy Note 7	iPhone7
4G (共划分 50 个频段，其中常用频段约 25 个)									
B1	1920-1980	2110-2170	欧洲/亚洲		*	*	*	*	*
B2	1850-1910	1930-1990	美洲			*	*	*	*
B3	1710-1785	1805-1880	欧洲/亚洲	*	*	*	*	*	*
B4	1710-1755	2110-2155	美洲			*	*	*	*
B5	824-849	869-894	美洲			*	*	*	*
B7	2500-2570	2620-2690	欧洲/亚洲	*	*		*	*	*
B8	880-915	925-960	欧洲/亚洲			*	*	*	*
B9	1750-1785	1845-1880					*		
B11	1428-1448	1476-1496	日本						*
B12	699-716	729-746	美国			*	*	*	*
B13	777-787	746-756	美国			*		*	*
B17	704-716	734-746	美国			*	*		*

B18	815-830	860-875	日本				*	*	*	*
B19	830-845	875-890	日本				*	*	*	*
B20	832-862	791-821	欧洲/亚洲				*	*	*	*
B21	1448-1463	1496-1511	日本							*
B25	1850-1915	1930-1995	北美				*			*
B26	814-849	859-894	北美				*	*	*	*
B27	807-824	852-869								*
B28	703-748	758-803	美洲/亚洲				*	*	*	*
B29		717-728	北美				*	*		*
B30	2305-2315	2350-2360	北美				*			*
B38	2570-2620	2570-2620	欧洲/亚洲	*	*	*	*	*	*	*
B39	1880-1920	1880-1920	中国	*	*	*	*	*	*	*
B40	2300-2400	2300-2400	欧洲/亚洲	*	*	*	*	*	*	*
B41	2496-2690	2496-2690	美国/中国		*	*	*	*	*	*
4G 频段数				5	7	10	22	20	18	25
3G (共划分 51 个频段, 其中常用频段约 12 个)										
TD-SCDMA										
B34	2010-2025	2010-2025	中国	*	*		*	*	*	*
B39	1880-1920	1880-1920	中国	*	*	*	*	*	*	*
WCDMA										
B1	1920 - 1980	2110 - 2170	欧洲/亚洲	*	*	*	*	*	*	*
B2	1850 - 1910	1930 - 1990	美洲	*	*	*	*	*	*	*
B4	1710 - 1755	2110 - 2155	美洲			*	*	*		*
B5	824 - 849	869 - 894	美洲	*	*	*	*	*	*	*
B6	830-840	875 - 885						*		
B8	880 - 915	925 - 960	欧洲/亚洲		*	*	*	*	*	*
B19	830 - 845	875 - 890	日本					*		
CDMA 2000										
BC0	815 - 849	860 - 894	美国/中国			*	*	*	*	*
BC1	1850 - 1910	1930 - 1990	美国							*
BC6	1920 - 1980	2110 - 2170	中国							*
3G 频段数				5	6	7	8	10	7	10
2G (共划分 14 个频段, 其中常用频段 4 个)										
GSM										
GSM 850	824 - 849	869 - 894	美洲		*	*	*	*	*	*
E-GSM 900	880 - 915	925 - 960	欧洲/亚洲	*	*	*	*	*	*	*
DCS 1800	1710 - 1785	1805 - 1880	欧洲/亚洲	*	*	*	*	*	*	*
PCS 1900	1850 - 1910	1930 - 1990	美洲	*	*	*	*	*	*	*
2G 频段数				3	4	4	4	4	4	4

资料来源: FrequencyCheck, Wikipedia, 民生证券研究院

5G 时代开拓 FR1/FR2 资源, 目前 n77/n78 频段采用最为广泛。5G 的 FR1\FR2 段频谱资源分别在 WRC-15\WRC-19 (世界无线电通信大会 15 年/19 年) 上进行了划分。**(1) FR1 段资源:** 从 2016 年开始, 全球主要国家/区域纷纷开始划分 5G 频谱, 其中 600/700MHz 频段在欧美部分国家使用, 而 n77 (3.3-4.2GHz) /n78 (3.3-3.8GHz) 是目前 5G NR 应用最广泛的频谱, n79 (4.4-5-GHz) 主要由中日俄推行。**(2) FR2 段资源:** WRC-19 就 IMT-2020 (5G) 的毫米波

频谱划分达成一致，将在 24.25-27.5GHz、37-43.5GHz、45.5-47GHz、47.2-48.2 和 66-71GHz 频段进行划分。

图 16、5G 时代各国频谱资源分配

	Sub6G				mmWave		
	<1GHz	3GHz	4GHz	5GHz	24-28GHz	37-40GHz	64-71GHz
美国	600MHz (2x35MHz) 2.5GHz (LTE B41)	3.45-3.55GHz 3.55-3.7GHz 3.7-4.2GHz		5.9-7.1GHz	24.25-24.45GHz 24.75-25.25GHz 27.5-28.35GHz	37-37.6GHz 37.6-40GHz 47.2-48.2GHz	64-71GHz
加拿大	600MHz (2x35MHz)	3.55-3.7GHz			27.5-28.35GHz	37-37.6GHz 37.6-40GHz	64-71GHz
欧盟	700MHz (2x30MHz)	3.4-3.8GHz		5.9-6.4GHz	24.5-27.5GHz		
英国	700MHz (2x30MHz)	3.4-3.8GHz			26GHz		
德国	700MHz (2x30MHz)	3.4-3.8GHz			26GHz		
法国	700MHz (2x30MHz)	3.46-3.8GHz			26GHz		
意大利	700MHz (2x30MHz)	3.6-3.8GHz			26.5-27.5GHz		
中国		3.3-3.6GHz	4.8-5GHz		24.5-27.5GHz	37.5-42.5GHz	
韩国		3.4-3.7GHz			26.5-29.5GHz		
日本		3.6-4.2GHz	4.4-4.9GHz		26.5-28.5GHz		
澳大利亚		3.4-3.7GHz			24.25-27.5GHz	39GHz	

新5G频段 许可的 未经许可的/共享的 现有频段

资料来源：ITU，民生证券研究院

中国移动获得 n41/n79 频段，中国电信、中国联通使用 n78 频段。我国三大运营商频谱划分方案于 2018 年底正式落地，根据方案，中国移动获得 2.6GHz (n41) 与 4.9GHz (n79) 频段、共 260MHz 带宽，中国电信/中国电新获得 3.5GHz 频段 (n78)、分别 100MHz 带宽。中国其中 n78/n79 为新增频段，2575-2635MHz (属于 n41) 频段为中国移动对 TD-LTE (4G) 频段的重耕频段。

表 3、中国三大运营商 2G-5G 频段分配方案

运营商	通讯时代	制式	上行频率	下行频率	带宽	合计带宽
中国移动	2G	GSM900	885-892	930-937	7	22
	2G	GSM1800	1710-1725	1805-1820	15	
	3G	TD-SCDMA(TDD)	2010-2025		15	15
	4G	LTE-FDD	892-904	937-949	12	12
	4G	LTE-TDD	1880-1890 2320-2370		10 50	60
	5G	IMT-2020	2515-2675 (n41) 4800-4900 (n79)		160 100	260

中国联通	2G	GSM	1745-1755	1840-1850	10	10
	3G	WCDMA	1940-1955	2130-2145	15	15
	4G	LTE-FDD	904-915	949-960	11	21
	4G	LTE-FDD	1755-1765	1850-1850	10	
	4G	LTE-TDD		2300-2320	20	20
	5G	IMT-2020	3500-3600 (n78)		100	100
中国电信	2G/4G	CDMA/FDD	825-840	870-885	15	15
	3G	CDMA2000	1920-1935	2110-2125	15	15
	4G	LTE-FDD	827-838	872-877	5	5
	4G	LTE-FDD	1765-1780	1860-1875	15	15
	4G	LTE-TDD		2370-2390	20	20
		5G	IMT-2020	3400-3500 (n78)		100

资料来源：工信部，民生证券研究院

5G手机普遍支持5个以上5G频段，最多可支持17个5G频段。我们统计了目前主流的初代5G手机，发现除都支持n41/n78/n79三个频段外，n1/n3/n77也覆盖较多，OPPO高端机Find X2 pro甚至支持10个5G频段。此外，根据移动相关建议，5G手机至少需要新增n78/n79两个频段，推荐增加n1/n3/n41三个频段。而根据最新的3GPP第17版，在5G NR标准下FR1频段共计56个频段，目前全球范围内n78/n79使用最为广泛。

表4、目前主流5G手机支持频段数

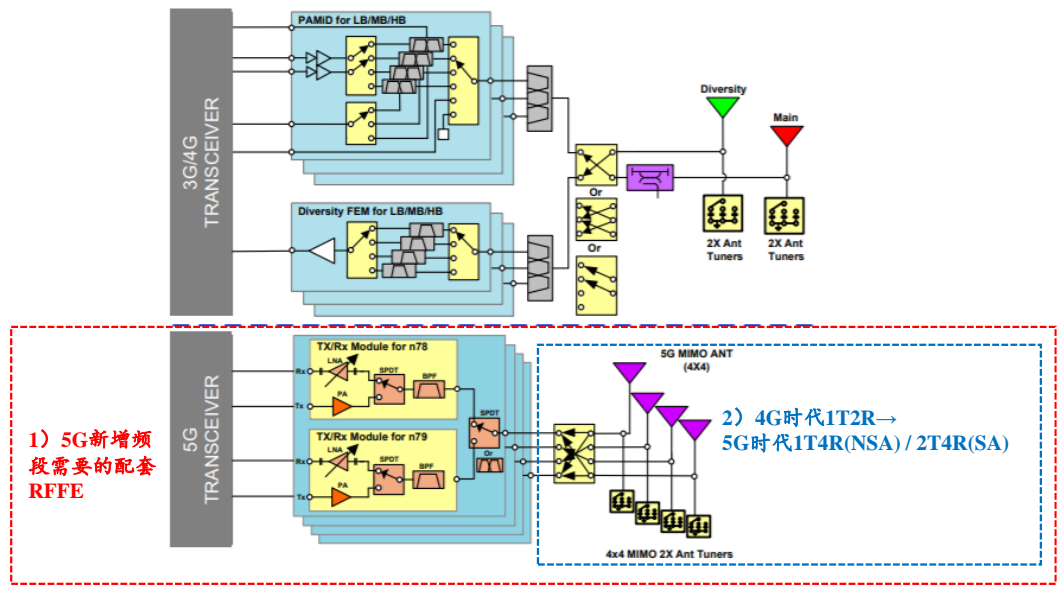
5G手机	2-4G 频段数(个)	5G 频段数 (个)	支持5G 频段号	总支持 频段数 (个)
Redmi Note10 5G	26	12	N1/N3/N7/N8/N20/N28/N38/N40/N41/N66/N77/N78	38
Redmi K40 5G standard	29	6	N1/N3/N28/N41/N77/N78	35
OPPO K7x	24	4	N1/N41/N77/N78	28
Oppo Realme GT	25	7	N1/N28/N40/N41/N77/N78/N79	32
OPPO Find X3	34	16	N1/N2/N3/N5/N7/N8/N12/N20/N28/N38/N40/N41/N66/N77/N78/ N79	50
vivo iQOO Neo5	33	6	N1/N3/N28/N41/N77/N78	39
vivo X50 pro	28	6	N1/N3/N41/N77/N78/N79	34
vivo X60 Pro+	30	8	N1/N3/N28/N38/N41/N77/N78/N79	38
一加9	34	6	N1/N3/N28/N41/N78/N79	40
iphone12 pro	39	17	N1/N2/N3/N5/N7/N8/N12/N20/N25/N28/N38/N40/N41/N66/N77/ N78/N79	56
华为 HUAWEI Mate 40	32	11	N1/N3/N28/N38/N40/N41/N77/N78/N79, 其中/N80、/N84 为 mate40 特有	43
华为 HUAWEI Mate 30 PRO	33	7	N79/N78/N77/N41/N28/N3/N1	40
Huawei P40 5G	33	8	N1/N3/N28/N38/N41/N77/N78/N79	41
三星 Galaxy S20 Ultra	25	3	N41/N78/N79	28
三星 Galaxy S21	29	5	N1/N28/N41/N78/N79	34
华为 Nova 8	29	10	N1/N3/N28/N38/N41/N77/N78/N79/N80/N83/N84	39
荣耀 V40 轻奢版 5G	25	5	N1/N28/N41/N77/N78	29
荣耀 Play5	25	5	N1/N28A/N41/N77/N78	30
小米 11	33	7	N1/N3/N28A/N41/N77/N78/N79	40

小米 10	22	4	N1 //N41 //N78 //N79	26
摩托罗拉 motorola edge s	31	11	N1/N3/N5/N7/N8/N28/N38/N41/N66/N77/N78	20
魅族 18	19	6	/N1/N3/N41/N77/N78/N79	25

资料来源：FrequencyCheck，各手机公司官网，民生证券研究院

5G 新增频段，需要增加射频前端器件与之配套。目前主流的 4G 射频前端架构，多采用 TRX（接收通路+发射通路）+DRX（分集接收）实现 1T2R 模式，且 TRX 和 DRX 通路都由集成模块实现。简单说就是按照频率高低，将各频段集成入六到八个模组中，即 GSM/LB/MB/HB PAMID 模组和 GSM/LB/MB/HB Diversity FEM 模组。而 5G 时代，则至少需要新增 n78/n79 两个频段对应的通路，在 NSA 标准下是 1T4R，在 SA 标准下是 2T4R。

图 17、新增频段部分需要增加配套射频前端器件（5G 射频前端方案）

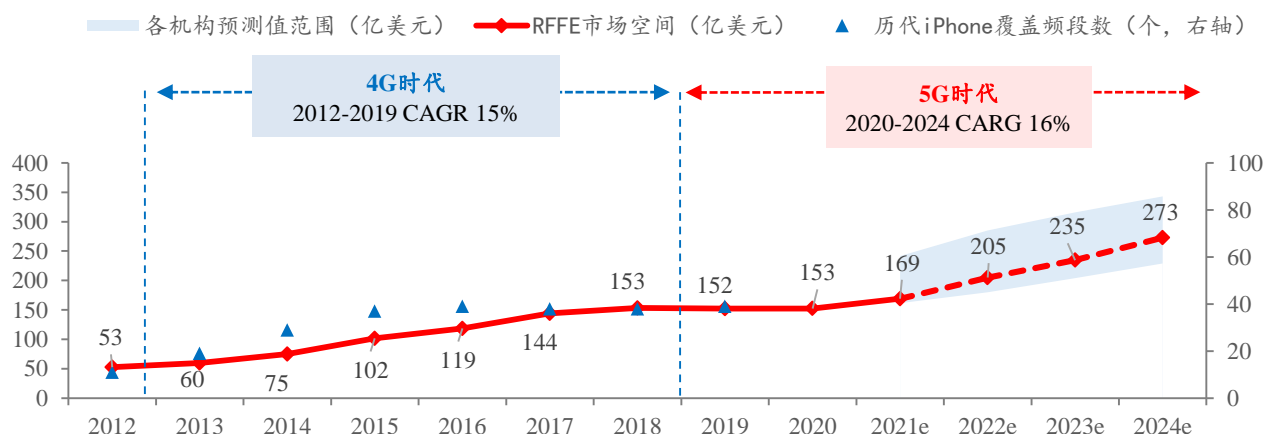


资料来源：Canaan Tak，民生证券研究院

1.3 预计 2024 年射频前端 273 亿美元空间，20-24 年 CAGR 16%

根据我们预测 2024 年射频前端市场空间达 273 亿美元，20-24 年 CAGR 达到 16%。上一轮射频前端市场起步起始于 4G 时代，全网通需求使得覆盖频段数大幅增加，常用频段数由 3G 时代约 10 个频段提升至 4G 时代约 40 个频段，大幅拉动射频前端增长，市场价值 2012-2019 年 CAGR 高达 15%。2020 年 5G 时代正式开启，我们预计 2024 年射频前端市场空间将达到 273 亿美元，2020-2024 年 CAGR 达 16%，其中增量主要来自 5G 新增频段，为 113 亿美元。

图 18、2024 年 RFFE 市场空间达 273 亿美元，2020-2024 CAGR 达 16%



资料来源：卓胜微公司公告，昂瑞微（汉天下），Yole, Resonant, Qorvo, Qualcomm, Markets and Market Research, frequency check, 民生证券研究院

表 5、RFFE 市场空间预测结果

	2020	2021e	2022e	2023e	2024e
单机 RFFE 价值					
2/3/4G 单频段 RFFE 价值 (美元/个)：核心假设 1	0.57	0.54	0.51	0.49	0.46
2G/3G/4G 单机频段数 (个)：核心假设 2					
其中：高端机	31	31	31	31	31
中端机	16	18	20	22	24
入门级	10	12	14	16	18
2/3/4G 频段单机 RFFE 价值 (美元)					
其中：高端机	18	17	16	15	14
中端机	9	10	10	11	11
入门级	6	6	7	8	8
5G 单频段 RFFE 价值 (美元/个)：核心假设 3					
5G 单机频段数 (个)：核心假设 4	1.40	1.33	1.26	1.20	1.14
其中：高端机	6	9	12	15	18
中端机	5	7	9	11	13
入门级	4	5	7	9	11
5G 频段对应单机 RFFE 价值 (美元)					
其中：高端机	8	12	15	18	21
中端机	7	9	11	13	15

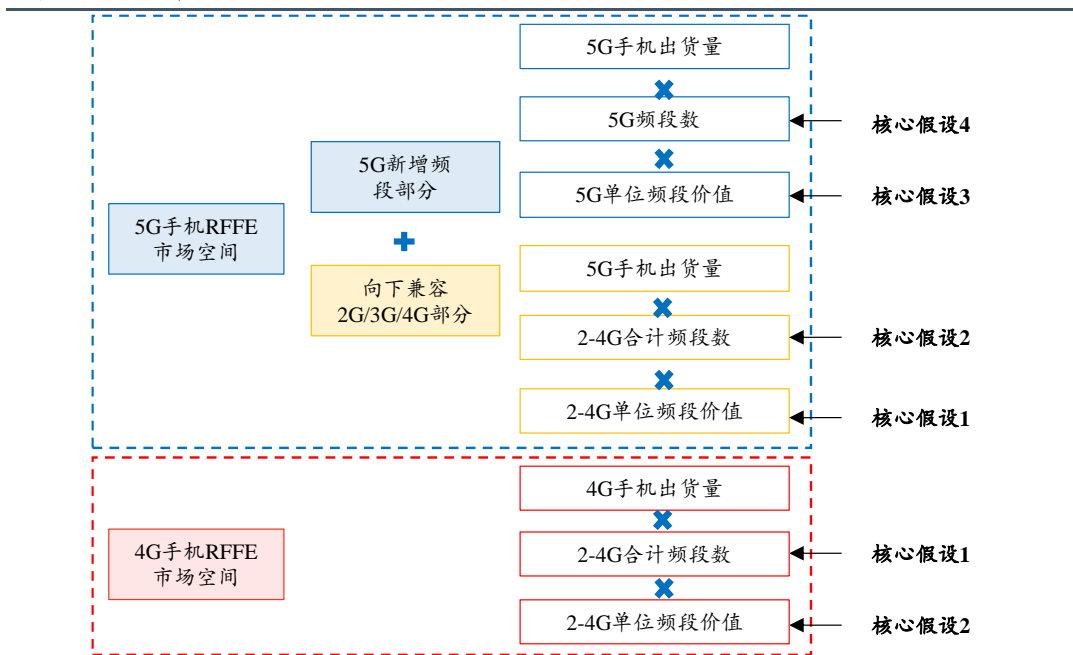
入门级	6	7	9	11	13
智能手机出货量					
智能手机出货量 (亿台)	12.5	12.1	12.1	12.5	13.5
其中: 5G	2.1	3.5	5.0	5.8	6.8
4G	10.0	8.6	7.0	6.6	6.7
3G	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
智能手机档位分布 (亿台)	12.5	12.1	12.1	12.5	13.5
其中: 高端机	3.1	2.9	3.0	3.0	3.1
中端机	3.3	3.4	3.5	3.6	3.8
入门级	6.0	5.8	5.6	5.9	6.6
智能手机档位分布 (%)					
其中: 高端机	25%	24%	25%	24%	23%
中端机	27%	28%	29%	29%	28%
入门级	48%	48%	46%	48%	49%
3/4G 智能手机档位分布 (亿台)	10.4	8.7	7.1	6.7	6.7
其中: 高端机	2.0	1.2	0.7	0.5	0.3
中端机	2.5	2.1	1.7	1.6	1.6
入门级	5.9	5.4	4.7	4.6	4.7
3/4G 智能手机档位分布 (%)					
其中: 高端机	19%	14%	10%	7%	5%
中端机	24%	24%	24%	24%	24%
入门级	57%	62%	66%	69%	71%
5G 智能手机档位分布 (亿台)	2.1	3.5	5.0	5.8	6.8
其中: 高端机	1.2	1.7	2.3	2.5	2.8
中端机	0.9	1.3	1.8	2.0	2.2
入门级	0.1	0.4	0.9	1.3	1.8
5G 智能手机档位分布 (%)					
其中: 高端机	55%	50%	46%	43%	41%
中端机	40%	38%	36%	34%	32%
入门级	5%	12%	18%	23%	27%
RFFE 市场空间: 5G 手机					
市场空间 (亿美元)	54	94	142	174	211
其中: 市场空间-2/3/4G 频段	38	58	79	88	98
其中: 市场空间-5G 频段	16	36	63	86	113
其中: 高端机	10	21	35	45	57
中端机	6	12	20	26	32
入门级	1	3	8	15	23
RFFE 市场空间: 4G 手机					
市场空间 (亿美元)	91	75	62	60	62
其中: 高端机	35	20	11	7	5
中端机	23	20	17	17	18
入门级	34	35	34	36	40
RFFE 市场空间: 合计值 (亿美元)	146	169	205	235	273

资料来源: IDC, 民生证券研究院

具体测算方法及核心假设如下：

核心方法：采取“RFFE 市场空间=单机 RFFE 价值×手机出货量”的方式进行预测。同时我们将手机按售价分为三档进行预测，高端机 (>400 美元，对应人民币 3000 元以上)、中端机 (200-399 美元，对应人民币 1500-3000 元)、低端机 (>200 美元，对应人民币 1500 元以上)。我们将 RFFE 市场价值分为 4G 手机和 5G 手机部分分别预测。其中，5G 手机 RFFE 市场价值拆解为两部分，既向下兼容的 2-4G 频段价值和新增 5G 频段 RFFE 价值。对于每部分的市场空间，我们采用“RFFE 市场空间=手机出货量×单机频段数×单位频段价值”进行计算。

图 19、RFFE 市场空间预测过程



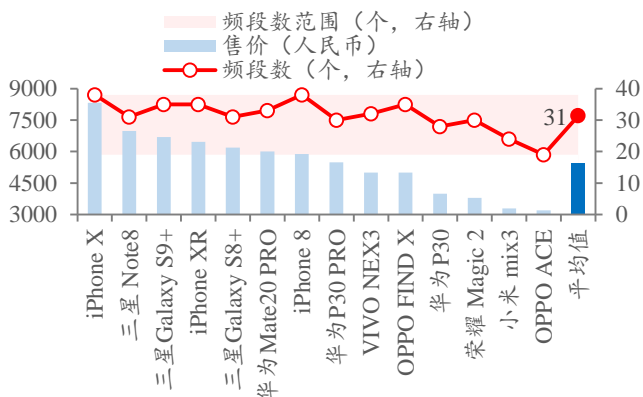
资料来源：民生证券研究院

单机 RFFE 价值假设：

核心假设 1：假设 2021 年 2-4G 单频段价值为 0.54 美元/个，且逐年递减。根据我们统计，目前高端机型单机 RFFE 在 20 美元/台以上，除三星 Galaxy S9 机型单频段价值较高外，其他几个机型单位频段 RFFE 价值均在 0.59-0.61 美元/个之间。（注：单位频段价值=单机 RFFE 价值/频段数目）。

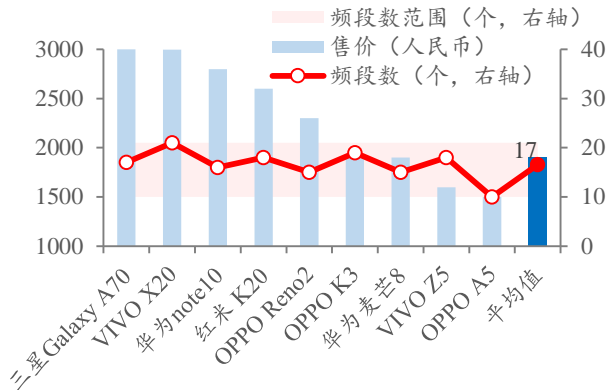
核心假设 2：假设 2021 年高端/中端/入门机型 2/3/4G 频段合计数目分别为 31/18/12 个。我们选取了 29 款 2020 年前后较为畅销的 4G 手机，其中高端/中端机型分别为 14 款、9 款。根据我们统计，高端机频段数目在 19-38 个之间（其中仅 3 款手机频段数低于 30 个），平均频段数为 31 个；中端机频段数目在 10-21 个之间，平均频段数为 16 个。此外我们假设入门级手机频段数为 12 个。

图 20、4G 高端手机起售价&频段数



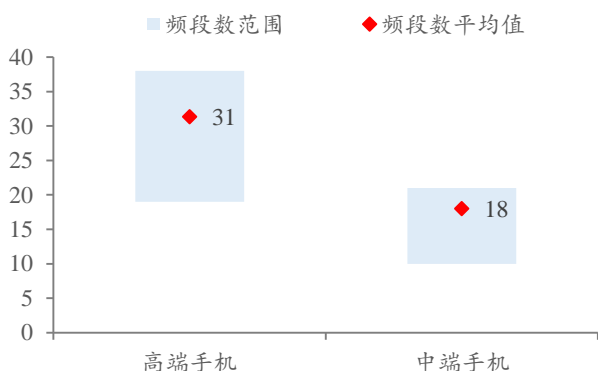
资料来源: Frequency check, 各手机厂商官网, 民生证券研究院

图 21、4G 中端手机起售价&频段数



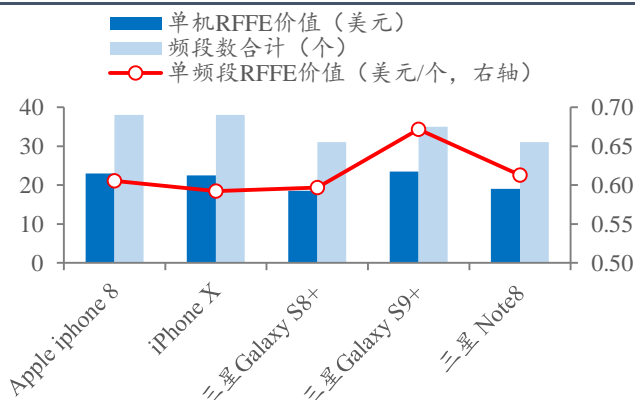
资料来源: Frequency check, 各手机厂商官网, 民生证券研究院

图 22、高端/中端 4G 手机频段数



资料来源: Frequency check, 各手机厂商官网, 民生证券研究院
注: 统计范围包括前 2 张图统计的中/高端共计 29 个机型

图 23、4G 手机单机 RF 价值&单频段 RF 价值

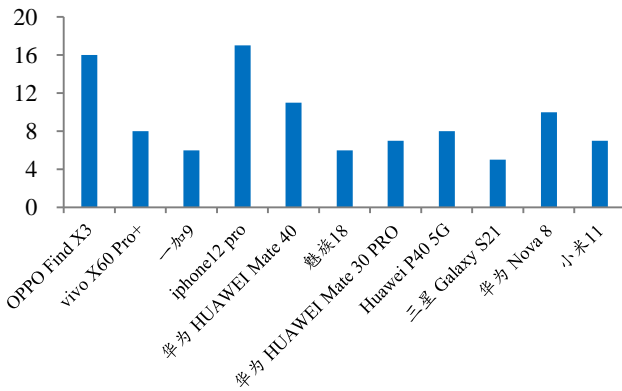


资料来源: Frequency check, 各手机厂商官网, Techinsights, 民生证券研究院

核心假设 3: 假设 2021 年 5G 单频段价值为 1.3 美元/个, 且逐年递减。我们这里以 iPhone12 为例, 其 RFFE 价值为 45 美元, 其中 2-4G 频段对应价值 23 美元, 5G 频段对应价值 21 美元, 频段数 17 个, 单位频段价值 1.33 美元/个。

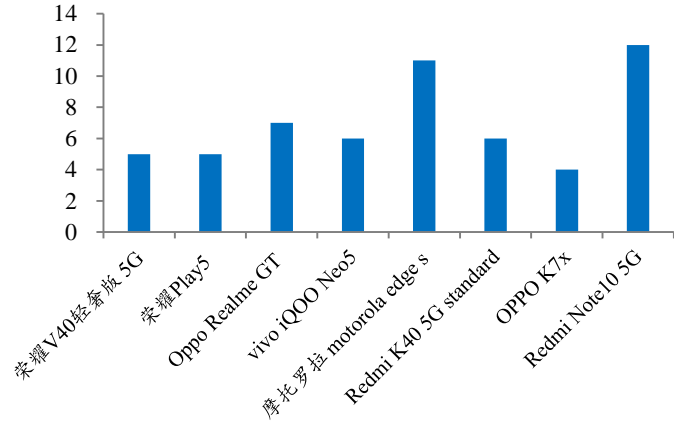
核心假设 4: 假设 2021 年高端/中端/入门机型 5G 频段数分别为 9/7/5, 且逐年递增。我们选取了 19 款近年较为畅销的 5G 手机, 其中高端/中端机型分别为 11 款、8 款。根据我们统计, 高端机频段数目在 5-17 个之间 (其中仅 3 款手机频段数高于 10 个), 平均频段数为 9 个; 中端机频段数目在 4-12 个之间, 平均频段数为 7 个; 此外我们假设入门级手机频段数为 5 个。另外, 我们预计未来频段数按照 2-3 个/年递增。

图 24、5G 高端手机 5G 频段数



资料来源：Frequency check, 各手机厂商官网, 民生证券研究院

图 25、4G 中端手机 5G 频段数



资料来源：Frequency check, 各手机厂商官网, 民生证券研究院

智能手机出货量及其档位分布假设：

根据 yole 数据，预计 2021 年全球智能机出货量 12.1 亿台，其中 5G 3.5 亿台，3/4G 8.7 亿台，到 2024 年 5G 手机出货量增长至 6.8 亿部，2020-2024 年 CAGR 为 34%。根据 IDC 数据，2020 年 Q1-Q3 的 5G 手机出货量中，高档/中档/低档出货量占比分别为 55%/45%/5%，4G 手机中高档/中档/低档出货量占比分别为 19%/24%/57%。在假设手机个档位占比变化是，我们假设未来 5G、3/4G 手机消费逐渐下沉，且智能机总的档位分布基本维持不变。

2 集成度提升叠加技术升级，持续推动射频前端创新

而回溯 2G 到 4G 的通信技术迭代史，我们可以清晰地看到射频前端厂商两条并行不悖的发展路径：一是覆盖频段数带来的集成化需求，推动了射频厂商或通过外延并购、或通过自行研发获得全产品线布局，二是通过技术革新、保证在新世代仍能提供高性能产品。

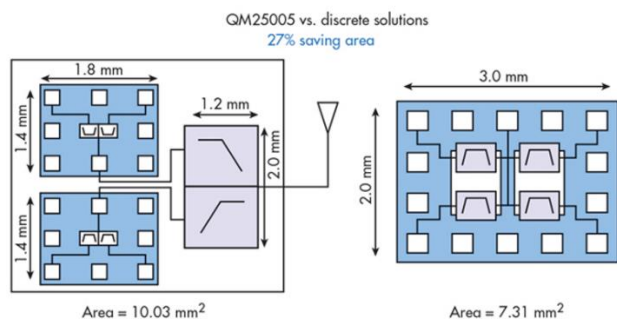
2.1 趋势一：集成化需求推动全产品线布局

从 3G 时代开始，出于节省 PCB 面积、降低手机厂商研发难度的考虑，射频前端逐渐由分立器件走向模组。该时期以日本厂商主导的无源器件集成化产品 FEMiD (Front-end Module with integrated Duplexers) 为主流（主要集成滤波器、开关），而欧美厂商继续钻研有源器件 PA 产品，两者泾渭分明。但 4G 时代的到来，OEMs 厂商产生了对 PA 和 FEMiD 进一步集成的需要，即 PAMiD (PA Module integrated Duplexer) 模组，推动了有源厂商与无源厂商的并购融合，拥有 PA、滤波器及开关全产品线的四大射频前端巨头 Qorvo、Skyworks、Broadcom(Avago)、Murata 也由此诞生。

2.1.1 覆盖频段数持续增加下的必然需求：集成度提升

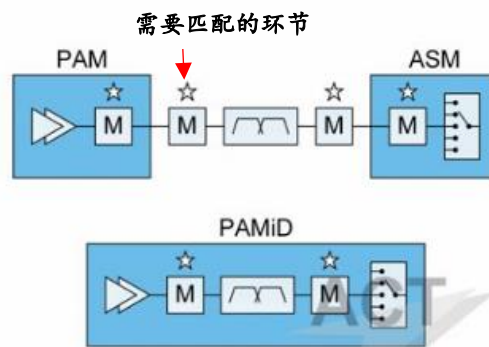
覆盖频段数不断增加，使得手机厂商产生集成化需求。我们认为，无线通讯技术演进过程中手机厂商需求的变化是 RFFE 从分立器件走向集成化的主要原因。(1) 频段数不断增长、但 PCB 空间有限：在支持频段较少、RFFE 器件较少时，PCB 预留给射频前端的空间足够，即使采用分立器件也绰绰有余。但从 3G 时代开始，手机厂商纷纷推出多频多模机型，因此有限 PCB 面积促使 RFFE 的设计走向集成化。(2) 降低手机厂商研发难度、以缩短新品开发周期：PA 作为有源器件，其热耗会对无源器件滤波器的工作效率/线性度产生影响，因此将 PA 与滤波器集合的难度较高。而集合化方案则将该技术环节从手机厂商转移到了 RFFE 供货商，降低了手机厂商研发过程中对 PA 进行输出匹配的难度，因此可缩短手机厂商新品开发周期。

图 26、集成器件有利于减小面积



资料来源：Qorvo，民生证券研究院

图 27、集成器件有利于减小输出匹配难度

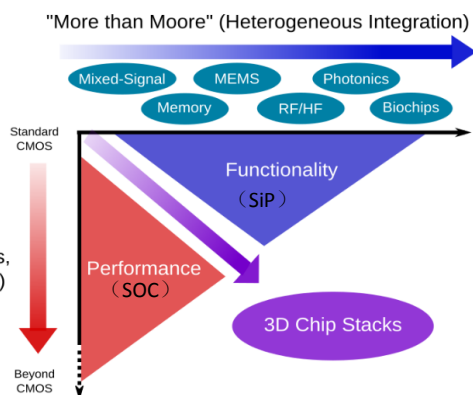


资料来源：Qorvo，民生证券研究院

因射频前端各器件采用异质材料，集成模组采取 SiP 形式。不同于多数半导体行业通过缩短制程来提高性能，射频前端器件性能的提高依赖于技术革新，例如 PA 在低频段使用第一代半导体 Si+CMOS 工艺，高频段使用第二代半导体 GaAs+HBT 工艺，而无源器件滤波器则包括 SAW、BAW 技术。因此射频前端发展的一个重要方向即是在单个芯片上集成进行异质集成

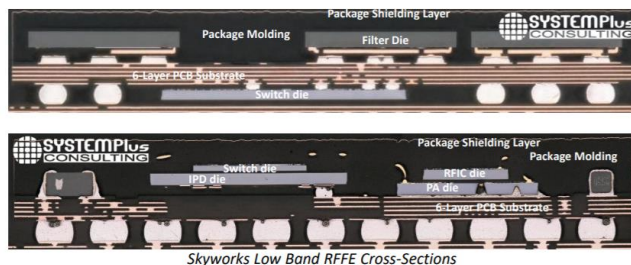
(heterogeneous integration), 即使用 SiP 封装技术, 在单个芯片上放入 PA、滤波器、开关等。

图 28、摩尔定律发展的两个方向



资料来源: Google 图片, 民生证券研究院

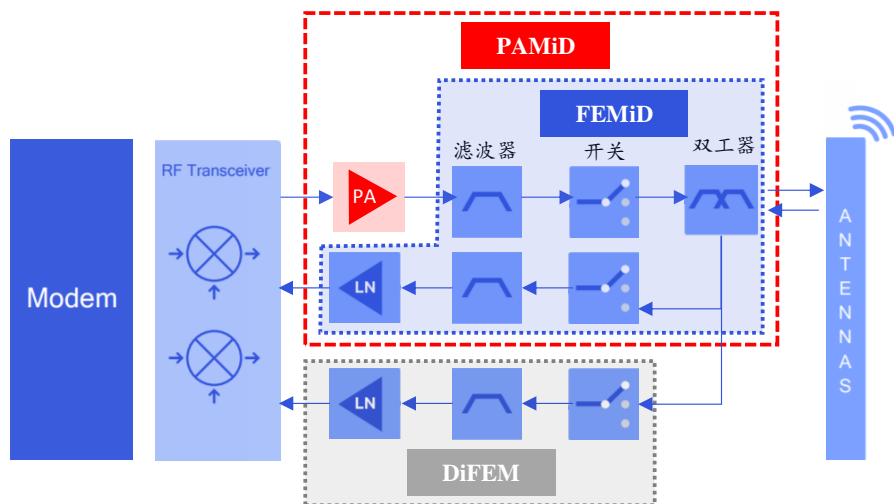
图 29、射频前端模组 SiP 示意图



资料来源: System Plus, 民生证券研究院

从 3G 时代的 FEMiD 模组, 到 4G 时代的 PAMiD 模组。(1) 3G 时代: 该时期手机厂商对集成化的需求还较低, 主流的 RFFE 常以 PA+FEMiD 的形式出现 (注: FEMiD 主要集合滤波器、开关)。由于日本厂商在滤波器领域深耕多年, 因此 FEMiD 的集成主要由日本厂商 Murata、TDK 等推动。(2) 4G 时代: 频段数的大幅增加使得集成化需求再度提升, 而 PA 与其他器件的输出匹配则是集成化的瓶颈。因此本轮的集成化以掌握 PA 核心技术的欧美厂商 Skyworks、Qorvo、Avago 等为主导, 他们将 MMB PA (即支持多模多频的单个 PA 器件) 与 FEMiD 集合同一块 PAMiD 模组中, 并按照频率高低划分为 GSM/LB/MB/HB PAMiD, 逐步定下了目前主流手机的集成化形式, 即仅用三四块 PAMiD 芯片即可覆盖全频段。

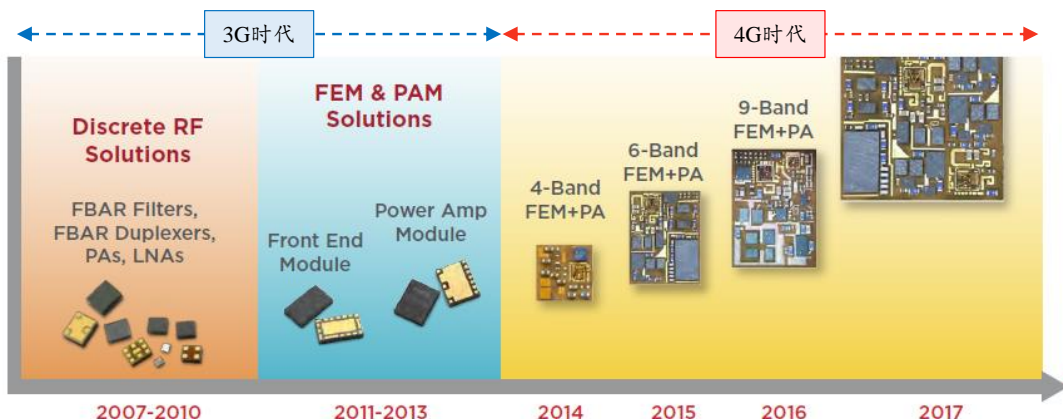
图 30、集成化模组示意图



资料来源: Qualcomm, 民生证券研究院

注: 该示意图为 4G 主流的 1T2R 形式, 因此除 PAMiD 模块外, 还有一路接收分集通过 DiFEM 模组实现。

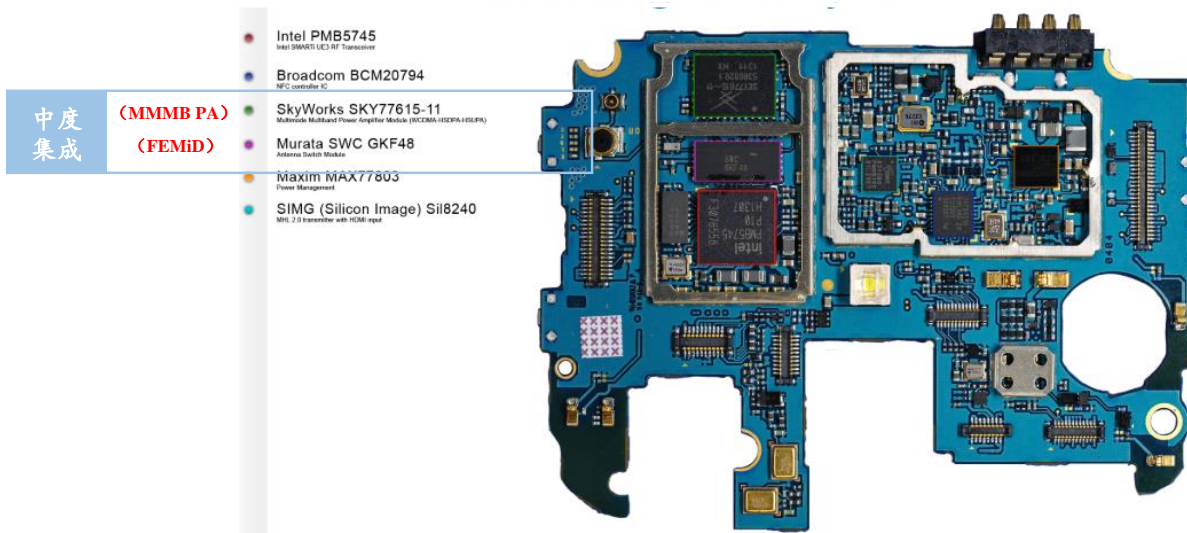
图 31、集成化历程：从 3G 时代的 FEMiD 模组，到 4G 时代的 PAMiD 模组



资料来源：Broadcom，民生证券研究院

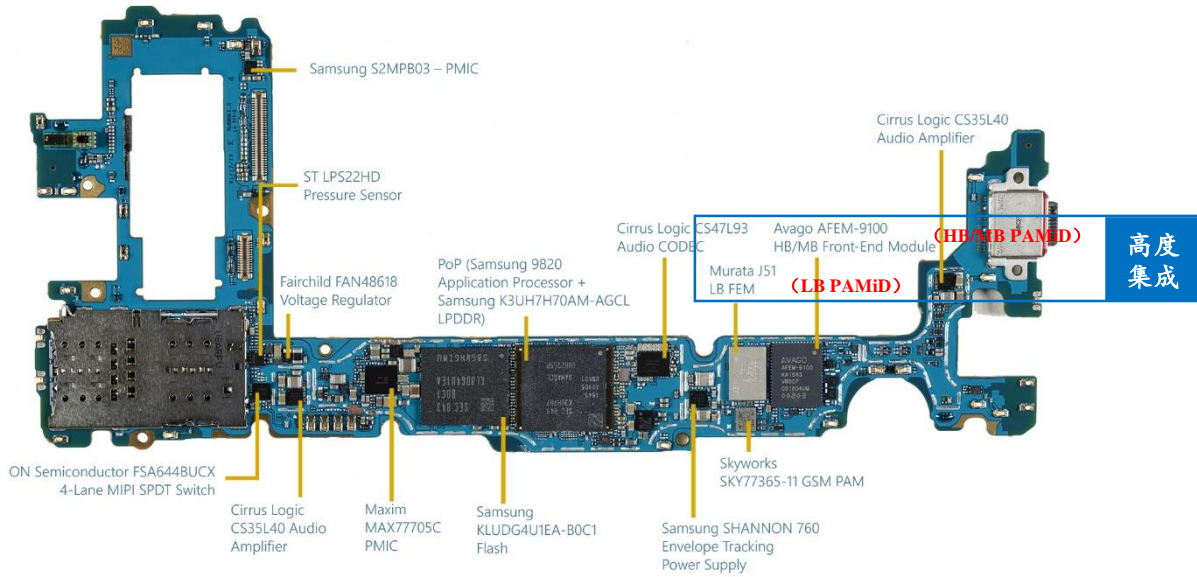
拆机比较：以三星 Galaxy 系列为例，看从 FEMiD 到 PAMiD 的变迁。以三星 Galaxy S4 与 Galaxy 10+ 为例：3G 时代的三星 Galaxy S4 包括一枚 Skyworks 提供的 MMMB PA 芯片以及 Murata 提供的 FEMiD。而同系列的 4G 产品 Galaxy 10+ 集成化程度则更高，由一块 Avago 提供的 MB/HB PAMiD 和一块 Murata 提供的 LB PAMiD 芯片构成。

图 32、三星 Galaxy S4 (2013, 3G) 拆机：由 MMMB PA+FEMiD 构成的中度集成模组



资料来源：TechInsights，民生证券研究院

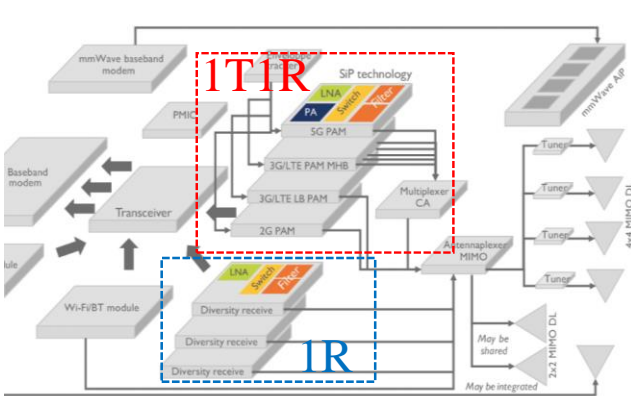
图 33、三星 Galaxy 10+ (2019, 4G) 拆机: LB/MB/HB PAMiD 构成高度集成模组



资料来源: TechInsights, 民生证券研究院

5G-sub6 时代, 或延续 4G 以来 GSM/LB/MB/HB/5G PAMiD 的集成模式。从目前已发售的 5G 手机看 (以小米 米 10、三星 galaxy S20 为例), 射频前端仍然延续了 4G 以来的集合方式, 即 2G-4G 频段根据频段高低划分为三四块 GSM/LB/MB/HB PAMiD, 而新增加的 5G 频段则单独用一到三块 PAMiD 解决。

图 34、高度集成化方式: LB/MB/HB/5G PAMiD



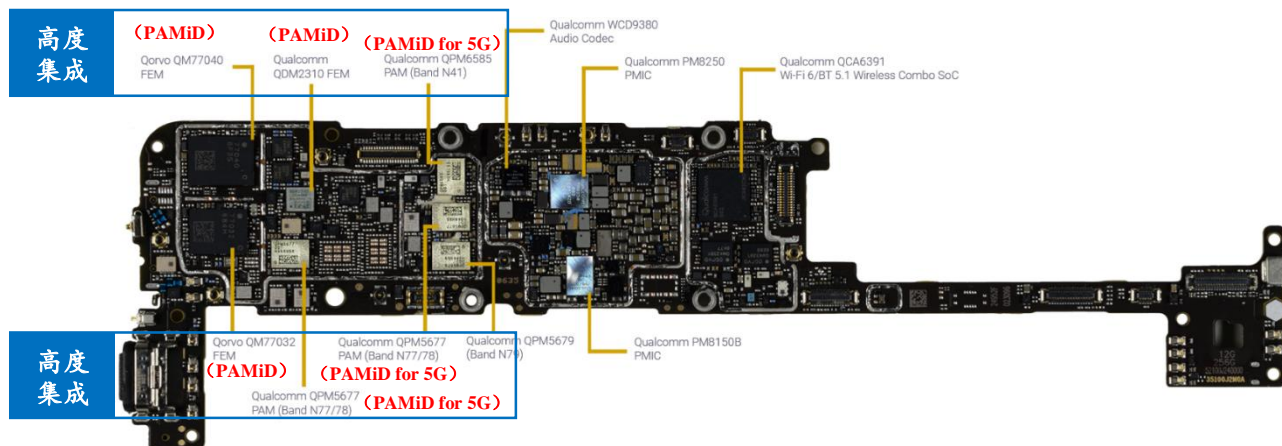
资料来源: Yole, 民生证券研究院

图 35、LB/MB/HB/UHB 频段划分



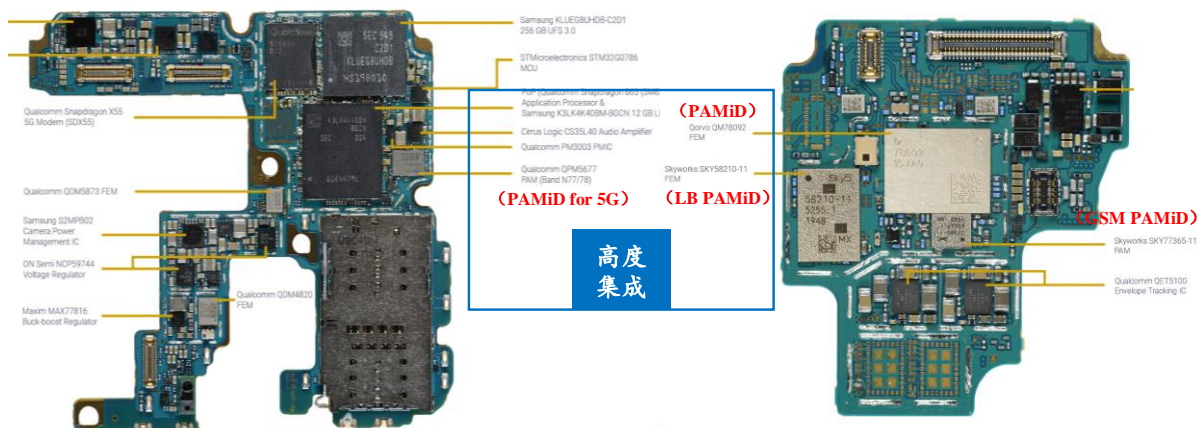
资料来源: Yole, 民生证券研究院

图 36、小米 米 10 拆机 (2020, 5G): LB/MB/HB/5G PAMiD 构成高度集成模组



资料来源: TechInsights, 民生证券研究院

图 37、三星 Galaxy S20 拆机 (2020, 5G): LB/MB/HB/5G PAMiD 构成高度集成模组

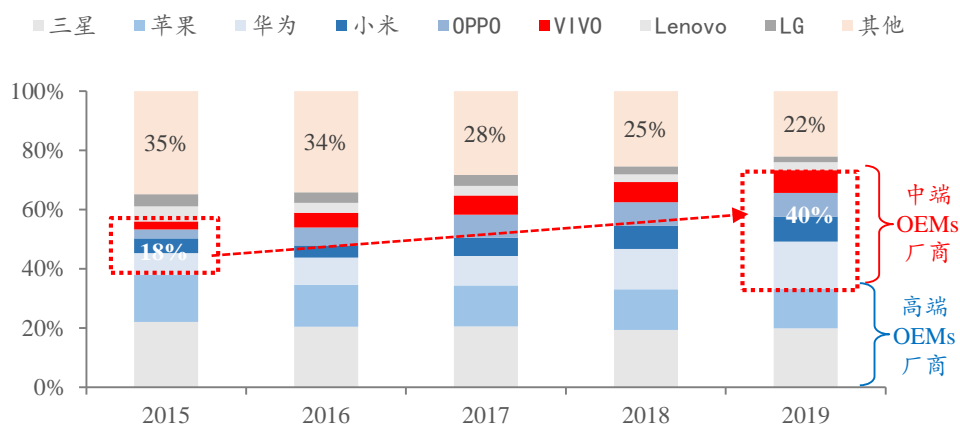


资料来源: TechInsights, 民生证券研究院

2.1.2 面对高度集中的客户群，射频前端厂商提供精简版、全网通两套集成化方案

4G 时代见证了中端手机厂商的崛起。每一代新技术都为后进者提供了超越的机会，4G 时代则见证了中国中端 OMEs 的崛起：华为+小米+OPPO+VIVO 的合计市占率由 2015 的 18% 提升至 40%，同时其他中小份额的厂商市占率则由 2015 的 35% 压缩至 2019 年的 22%。

图 38、下游用户（手机厂商）集中度提升



资料来源: counterpoint research, 民生证券研究院

面对高度集中的中端、高端客户群, RFFE 厂商推出两套针对性系列产品。当下游用户集中度提高后, 满足特定用户的定制化产品变得不再昂贵, 因此包括 Skyworks、Qorvo 在内的 RFFE 厂商都先后推出高端+中端两个并行的系列产品。如 Skyworks 推出 Sky5 LiTE 系列和 Sky5 Ultra 系列, 分别满足中端用户的低成本需求和高端用户的全网通需求; 相比高端线产品, 中端线产品覆盖频段数较少、主要是满足区域性的无线通信需求。以中端线产品 MB/HB PAMiD SKY5™-8095 为例, 其覆盖高频/中频共计 8 个频段; 而对应的高端线产品 MB/HB L-PAMiD SKY5™-8265 则覆盖 11 个频段。类似的, Qorvo 也推出了 RF Flex 和 RF Fusion 分别满足中端用户、高端用户需求。

表 6、Skyworks 系列产品

模组形式	适用范围	PA 支持频段数	滤波器支持频段数	PA 支持频段	滤波器支持频段	
Skyone LiTE (精简版/区域版): 针对中端 OEMs 厂商						
SkyLiTE™ 2.0	2016-04					
SKY77927-11	2 PAs for LB/MB/HB	OPPO	6	NA	GSM850/900, DSC1800/PCS1900, B34/B39	NA
SKY77928-11	2 PAs for LB/MB/HB	OPPO	6	NA	GSM850/900, DSC1800/PCS1900, B34/B39	NA
SKY77651-11	MMMA PA (MB/HB)	OPPO	12	NA	B5/8/12/13/14/17/20/26/27/28, BC0/10	NA
SKY77652-11	MMMA PA (LB)	OPPO	16	NA	B1/2/3/4/7/9/25/30/38/39/40/41, BC1/4/6/15	NA
Skyone LiTE	2018-02					
SKY78185-11/21	LB PAMiD	全球	4		B8/12/20/26	
SKY78187-11	MB/HB PAMiD	北美	7	6	B1/2/3/7/38/39/40/41	B1/2/3/7/41/66.
SKY78188-11	MB/HB PAMiD	欧洲/ 中国	7	6	B1/2/3/7/39/40/41.	B1/3/34/39/40/41.
Sky5 LiTE (5G 版)	2019-02					
SKY5™-8255	UHB LPAMiF / PAMiF	美洲/ 亚洲	6	6	B42/43/48 n77、n78、n79	同 PA
SKY5™-8254	HB LPAMiF / PAMiF	全球	1	1	n41	同 PA

SKY5™-8096	MB/HB PAMiD	中国/ 欧美	9	7	B1/2/3/7/32/34/39/40/41.	B1/3/32/34/39/40/41
SKY5™-8095	MB/HB PAMiD	中国/ 欧美	8	6	B1/2/3/7/34/39/40/41	B1/3/34/39/40/41
SKY5™-8091	LB PAMiD	中国/ 北美	10	4	B8/12/20/26 n5/n8/n12/n20/n28/n71	B8/12/20/26
SKY5™-3735	LB/MB/HB Diversity / MIMO	全球	NA	13	NA	B8/26/5/18/19/3/39/25 (2)/34/66(1/4)/41(38) 和 B7

SkyOne® Ultra (全网通版)：针对高端手机厂商

SkyOne® Ultra 2.5		2017-2					
SKY78113	LB PAMiD	中国	8	5	B26/8/12/17/13/20, BC0/BC10	B26/8/12/17/20	
SKY78114	MB PAMiD	中国	8	3	B1/2/3/4/25/34/39, BC1 and BC1	B1, 2, 3	
SKY78117	HB PAMiD	中国	5	5	B7, 30, 38, 40, 41	同 PA	
SKY77360	GSM PAMiD	中国	4	4	GSM850/900, DCS1800/PCS1900	同 PA	
SkyOne® Ultra 3.0		2H17					
SKY77365	GSM PAMiD	全球	4	4	GSM850/900, DCS1800/PCS1900	同 PA	
SKY78130	LB PAMiD	全球	11	11	B8/12/13/20/26/27/28A/28B/2 9, BC0/10	同 PA	
SKY78131	MB PAMiD	全球	10	7	B1/2/3/4/25/32/34/39/66, BC1	B1/2/3/66/32/34/39	
SKY78132	HB PAMiD	全球	4	4	B7/30/40/41	同 PA	
Sky5 Ultra		2019-02					
SKY5™-8255	UHB LPAMiF / PAMiF	北美/ 亚洲/ 欧洲	6	6	B42/43/48 n77、n78、n79	同 PA	
SKY5™-8254	HB LPAMiF / PAMiF	全球	1	1	n41	同 PA	
SKY5™-8265	MB/HB LPAMiD	全球	11	11	B1/3/66/40/40A/32/41/7/25/34 /39	同 PA	
SKY5™-8211	LB LPAMiD	全球	8	8	WCDMA / LTE B 8、12、 13、14、20、26、28、71	同 PA	
SKY5™-8212	LB LPAMiD	全球	12	1	B71A/B、B12/B17、 B13/14/29/20、B28A/B、 B26/8	B29	
SKY77365	LB/MB PAMiD	全球	4	4	GSM850/900, DCS1800/PCS1900	同 PA	
SKY5™-3728	UHB Diversity / MIMO	全球	NA	3	NA	n77、n78、n79	
SKY13726	MB/HB Diversity / MIMO	全球	NA	14	NA	B32、B21/11、B3、 B39、B25(2)、B34、 B66、B40、B30、 B41、B7、B42、 B48	

资料来源：Skyworks，民生证券研究院

2.1.3 从泾渭分明到并购融合：集成化催生的并购潮

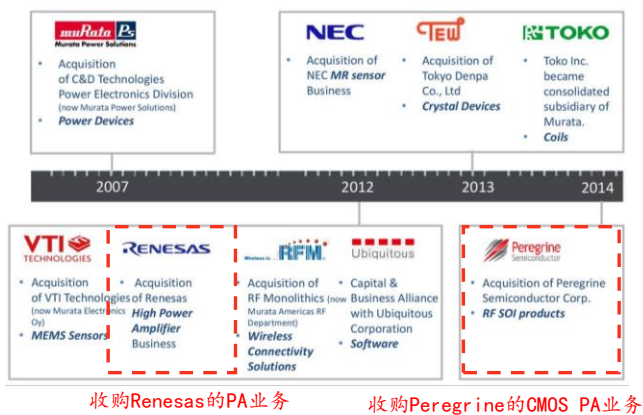
3G 时代的分立与 4G 时代的融合。3G 时代，日本厂商主导无源器件集成化产品 FEMiD，欧美厂商继续钻研有源器件 PA 产品，两者泾渭分明。但 4G 时代的到来，打破了有源厂商和无源厂商的分界线，PA 与 FEMiD 进一步集成的需求，推动了有源厂商与无源厂商的并购融合，拥有 PA、滤波器及开关全产品线的四大 RFFE 巨头也由此诞生：

新 Murata=旧 Murata（专注 SAW 滤波器）+ Renesas PA 业务+Peregrine 的 CMOS PA。

日本公司 Murata 凭借高 Q 值、低损耗的 SAW 滤波器成为无源器件领域的领头羊。而从 4G 时代开始，Murata 先后于 2012 年收购 Renesas 的 PA 业务、2014 年收购 Peregrine 的 CMOS PA 业务，由此蜕变为集滤波器、PA、开关于一身的全产业链射频厂商。

新 Skyworks=旧 Skyworks（PA 传统厂商）+与松下合资公司（SAW 滤波器）。在 3G 时代，Skyworks 相较于其他欧美厂商 Avago、RFMD 竞争力还较弱；但从 2012 年进入苹果供应商名单、并于 2013 年推出集成产品 Skyone 后，公司开始进入第一梯队。2014 年，公司与松下合资成立 Skyworks Filter Solution，并于 2016 年完成对其的收购，由此补上了欠缺的滤波器一环。

图 39、Murata 发展历史

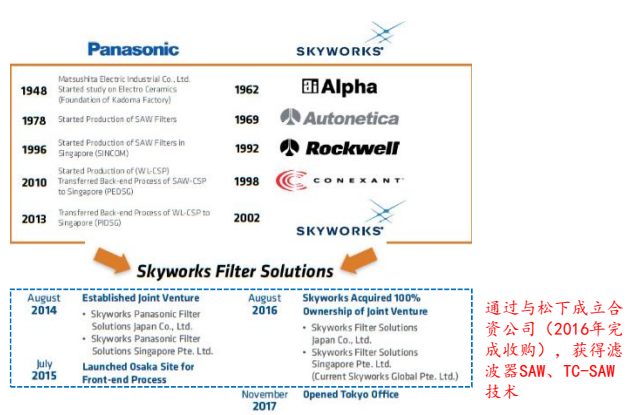


收购Renesas的PA业务

收购Peregrine的CMOS PA业务

资料来源：Murata，民生证券研究院

图 40、Skyworks 发展历史



通过与松下成立合资公司（2016年完成收购），获得滤波器SAW、TC-SAW技术

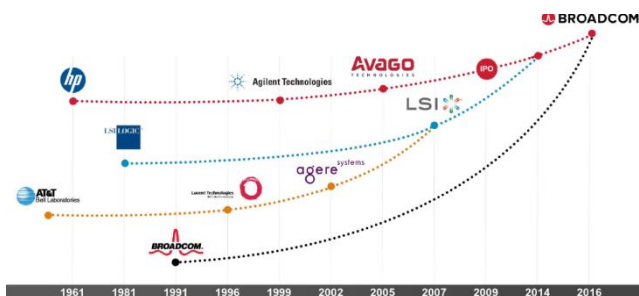
资料来源：Skyworks，民生证券研究院

新 Broadcom(Avago)=由 Avago 蜕变而来(掌握 PA，同时手握利器 BAW-FARB 滤波器)。

Avago 脱胎于原 HP 的半导体部门，1999 年 HP 公司分拆出安捷伦公司，2005 年安捷伦公司将其 I/O solutions 部门分拆出售，也即是现在 Avago。不过与其他全产链公司不同，Avago 目前的产品线 PA 及 BAW-FARB 均不是并购而来。

新 Qorvo=RFMD（专注 GaAs/GaN PA）+TriQuint（BAW-SMR 滤波器）。RFMD 专注于 GaAs PA 产品，同时具备 GaN 生产能力；其曾经与 Nokia 深度绑定，但随着 Nokia 的陨落痛失一大块市场。TriQuint 除拥有 GaAs/GaN 生产能力外，还拥有 BAW-SMR 滤波器技术。因此 2014 年两者互补融合产生的 Qorvo 在 4G 时代继续大放异彩。

图 41、Broadcom(Avago)发展历史



资料来源：Broadcom (Avago)，民生证券研究院

图 42、Qorvo 发展历史



资料来源：Qorvo，民生证券研究院

经过 4G 时代的整合，目前四大巨头均完成全产品线布局。通过 4G 时代的融合并购，目前四大巨头均拥有能够生产 PAMiD 芯片的主要器件生产线。比较而言，在滤波器领域，Murata、Skyworks 长于低频段适用的 SAW/TC-SAW 滤波器，而 Broadcom、Qorvo 则选择了 BAW 滤波器路线；在 PA 领域，目前主流厂商都已具备生产高频段适用的 GaAs PA。

表 7、国外射频四巨头产品布局

企业	PA			滤波器		LNA	射频开关	双工器	射频前端模组	说明
	2/3G	4G	5G	SAW	BAW					
Murata	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	2G-4G LB FEMid 5G FEM WiFi FEM	Murata 的 TC-SAW 滤波器具有强竞争力，无源器件与封装技术优秀
Skyworks	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	SK5 2G-5G LB/MB/HB FEM 2G-5G LB/MB/HB PAMid	Skyworks 的射频前端产品线齐全，SK5 是高度集成的前端模组，涵盖 LB/MB/HB
Qorvo	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	2G-5G LB/MB/HB FEM 2G-5G LB/MB/HB PAMid	Qorvo 的前端模组结合其 SME-BAW 滤波器专利，专攻 MB/HB 高频段
Broadcom (Avago)	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	2G-5G LB/MB/HB PAMiD	Broadcom 借助 FBAR 高频滤波器专利，生产的 MB/HB PAMiD 具有竞争力

资料来源：各公司官网，techinsights，民生证券研究院

注：5G 频段中 n5/n8/n12/n20/n28/n71/n81/n82/n83 为低频段，各公司开发有对应的产品

2.2 趋势二：高频趋势势不可挡，新技术应运而生

高频资源的不断解锁，需要 RFFE 不断推出新技术以保证性能。其中，我们重点关注射频前端的两大“兵家必争之地”，有源器件 PA 和无源器件滤波器：

技术一：PA 的性能提升主要通过新材料于新工艺的结合，而非缩短制程。存储芯片、处理器等数字芯片的发展规律大致遵从摩尔定律，即每 18 个月芯片的性能提高一倍（即更多的晶体管使其更快），但射频前端作为模拟芯片，其特征尺寸的缩小并不能带来性能的提升和成本的下降：（1）击穿电压随尺寸缩小降低，而对于 PA 而言，需要高工作电压才能提供高输出功率。（2）模拟电路的整体尺寸并不随着特征尺寸缩小而等比例缩小（如电感），因此先进制程下，单位芯片成本不降反升。观察过去几代通技术更迭，我们可以看到 PA 的主流发展路径为（1）终端：从 Si CMOS 到 GaAs HBT/GaAs HEMT；（2）基站：从 Si LDMOS 到 GaN HEMT。

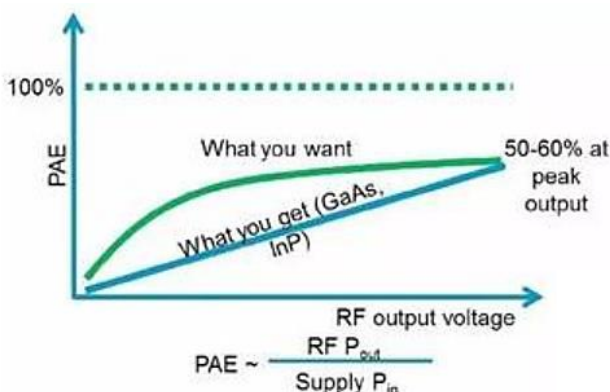
技术二：高频段下，滤波器由 SAW 技术迁移至 BAW 技术。与 PA 面临的挑战类似，滤波器也同样需要在高更频段、更大带宽下保持高性能。在 2G 时代，SAW 滤波器为主流技术，以 Murata 为业界标准；而从 3G 时代开始，日本厂商的不断钻研工艺的匠人精神，并未能在高频段取得良好的性能（包括低插入损耗、高 Q 值等），而以 Qorvo 和 Broadcom 为代表的欧美厂商则通过高频段仍能保持高性能的 BAW 滤波器一举登上舞台。

2.2.1 PA：高频时代，GaAs/GaN 继续领跑

PA 的主要设计难点：效率与线性的平衡。PA 通过电源获取能量来增加输出信号的功率，即在输出信号的波形与输入信号一致的情况下，增大输出信号的振幅。其主要技术指标包括：

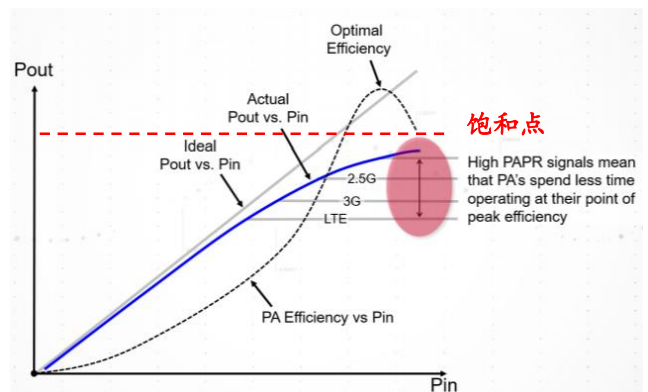
（1）输出功率，即需要达到多少输出功率，以保证传输距离；（2）效率，即输出功率与电源提供功率之比，用来衡量在同样的输出功率下耗电的多少；（3）线性度，即输出功率与输入功率之比，非线性失真会产生新的频率分量，对发射的信号造成干扰。而效率与线性度之间存在难以调和的矛盾，因此效率与线性度的平衡是 PA 设计时主要需要考虑的问题：（1）高效率需要高功率输出：效率与输出功率成正比，在最大输出功率时达到最高效率（50%-60%）；（2）高功率输出下无法保证线性度：输入功率在一定范围内时，功率放大器的输出功率与输入功率呈线性关系，但当输入功率升高到一定数值时，输出功率不再继续增加，即趋向于饱和输出功率。

图 43、PA 技术指标之：效率（PAE）



资料来源：民生证券研究院

图 44、PA 技术指标之：线性



资料来源：Keysight，民生证券研究院

高频段的解锁，推动饱和电子速度更高的 GaAs/GaN 登上舞台。通讯时代从 2G 向 5G 演进的过程中，PA 设计难度的增加主要来自于：在更高的工作频率下，如何保持高性能（主要指线性度、效率、输出功率等）。与目前半导体主流材料 Si 相比（占市场的 95%左右），(1) 第二、三代半导体材料 GaAs、GaN 更适用于高频率工作环境：半导体工作频率与其饱和电子迁移速度正相关，因此 GaAs、GaN 材料更适宜高频率工作环境。(2) GaN 与 GaAs 相比，更适宜高功率输出：GaN 作为宽禁带材料（即带隙高达 3.4eV），其击穿电压更高，因此更适宜作为高功率输出材料。

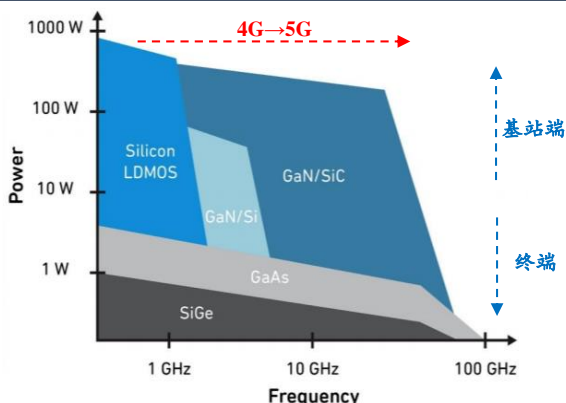
表 8、三代半导体材料特性对比

	第一代 Si	第二代 GaAs	第三代 GaN	对性能的影响
带隙 (eV)	1.1	1.4	3.4	工作电压→功率
击穿电场强度 (10 ⁶ V/cm)	0.3	0.4	3.3	工作电压→功率
电子迁移率 (cm ² /V s)	1350	8500	2000	工作频率
饱和电子速度 (10 ⁷ cm/s)	1	2	2.5	工作频率
热传导率 (W/cm K)	1.5	0.5	2.1	散热性

资料来源：IEEE，民生证券研究院

5G 时代 sub-6GHz 段：终端继续采用 GaAs，基站从 Si LDMOS 转向 GaN。材料的物理特性决定了其在不同工作环境下的性能表现。考虑输出功率和工作频率两个方面，我们可以看到 PA 的材料+技术呈现以下趋势：(1) 终端（手机端）：在 2G 时代，价格低廉的 Si CMOS 为主要工艺；而从 3G 开始，GaAs HBT 既已成为主流材料。与 GaN 相比，GaAs 的最高功率水平不超过 5W,因此更适合终端设备（手机端的功率范围约为为 27.5 至 28 dBm，即 0.4 至 0.5 W）。(2) 基站：从 4G 时代开始，GaN 逐步开始商用；而 5G 时代，GaN 将逐步取代 Si LDMOS 已成为业内共识。

图 45、不同半导体材料适用的工作频段/功率



资料来源：Qorvo，民生证券研究院

图 46、PA 三代技术路线特征总结

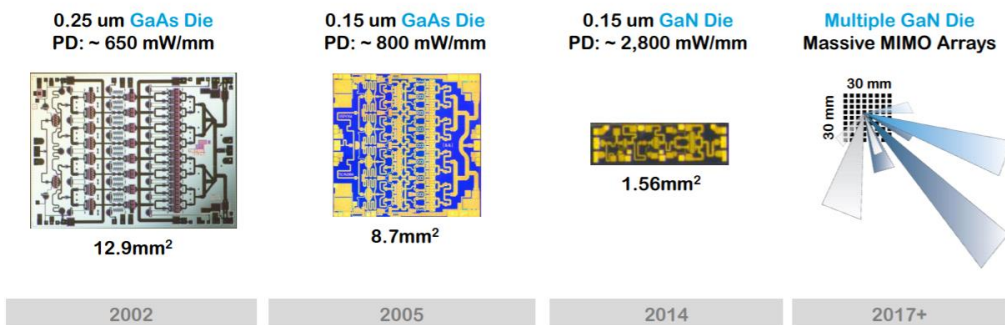
	Si CMOS	Si LDMOS	GaAs HBT /GaAs HEMT	GaN HEMT
功率	低	高	低	高
工作频率	低	低	高	高
成本	低	低	高	高
适用场景	2G 终端，部分 3G 终端	2G/3G 基站，部分 4G 基站	3G 终端主流，4G/5G sub-6 终端	部分 4G 基站，5G 基站

资料来源：民生证券研究院

5G 时代毫米波段：终端 GaAs、GaN、InP 多种方案并行。目前对于终端在毫米波段的选材业内仍存在争议，IDM 大厂存在 GaAs HEMT、InP HBT、GaN 几种并行研究方案。与 GaAs

相比，GaN 的具备更高的功率密度及更高的截止频率，可有效减少收发通道数及芯片尺寸，有望成为终端设别的解决方案。如 Qorvo 已推出集合了 PA\LNA\开关的 GaN 模组 QPF4006，适用于 39GHz 的 5G 基站和终端；其发送通道提供 23dB 的小信号增益和 2W 的饱和输出功率，4.5mm×4.0mm 的封装尺寸可以满足相位阵列应用的紧密点阵间距要求。

图 47、GaN 具备高功率密度特性，能够有效减少芯片尺寸



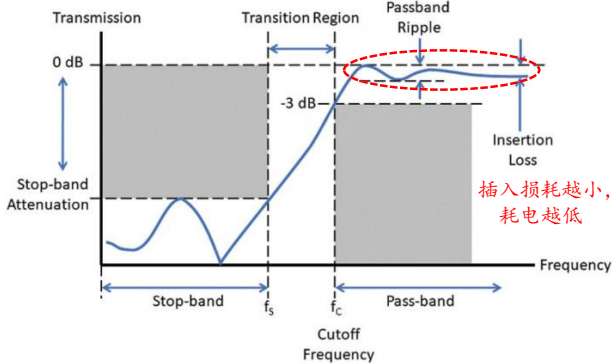
资料来源：Qorvo，民生证券研究院

出于成本的考虑，GaN 器件多以 SiC/Si 作为衬底。因以同质材料作为衬底的成本较高，因此 GaN 多使用异质衬底，包括：GaN-on-sapphire（为 LED 的主要技术）、GaN-on-SiC、GaN-on-silicon，其中后两者为射频前端备选方案。而 GaN-on-SiC 的导热系数是 GaN-on-Si 的三倍，从而使器件可以在更高的电压和更高的功率密度下运行，因此目前业界大多商用的 GaN 射频器件采用此工艺。

2.2.2 滤波器：5G 时代，BAW 滤波器表现更优

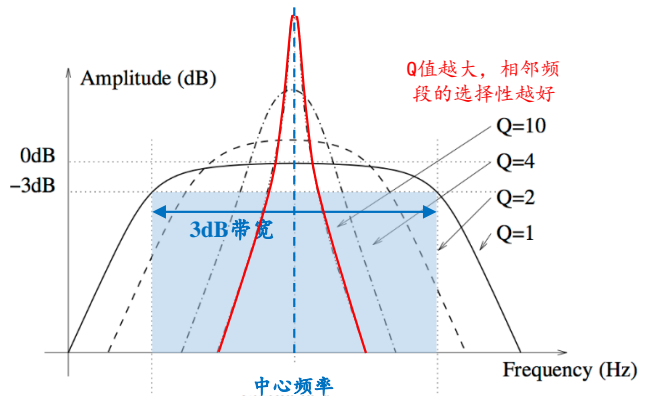
滤波器主要技术指标：品质因数 Q 值和插入损耗。滤波器通过电容、电感、电阻的组合，对频段进行特定筛选，其中信号没有显著衰减的频率范围成为通带 (passband)，信号显著衰减的区域为阻带 (stopband)，衰减 3dB 的位置（即功率衰减 50% 左右）对应的频率称为截至频率 (cutoff frequency)。用来衡量滤波器性能的主要指标有（1）插入损耗衡量信号衰减程度：插入损耗 (Insertion Loss) 指由于滤波器的引入对电路中原有信号带来的衰减，用 $10\lg(P_o/P_i)$ 计算（ P_o 为输出功率、 P_i 为输入功率），以 dB 为单位，因此插入损耗越低、耗电量越少。（2）Q 值衡量选择性：Q 值 (Quality factor, 品质因数) 为滤波器的中心频率与 -3dB 带宽的比值，用来描述滤波器对相邻频率的分辨能力，Q 值越低，滤波器的带宽越宽，Q 值越高，滤波器的带宽越窄、“选择性”越强。

图 48、滤波器主要技术指标



资料来源：民生证券研究院

图 49、不同 Q 值的滤波器比较

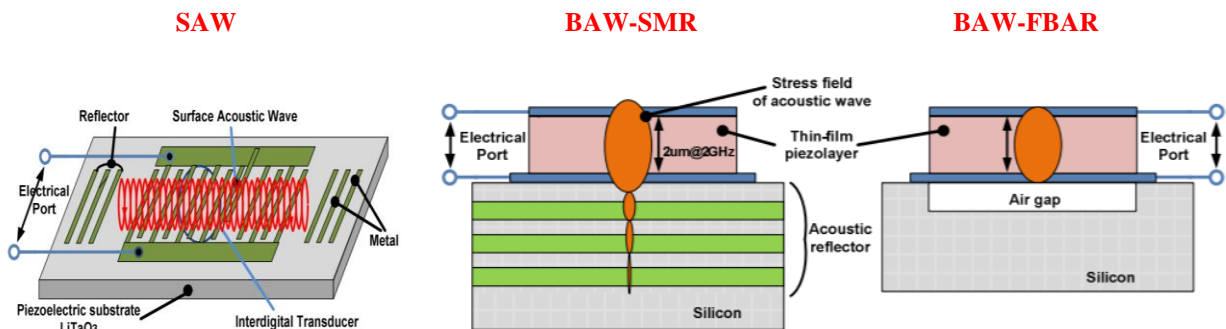


资料来源：Applied Acoustics Systems DVM Inc., 民生证券研究院

声学滤波器在“电→声→电”的转换过程中，对频率进行筛选。当对晶体施加一个电压时，晶体将发生机械形变，将电能转化成机械能；反之，当晶体受到机械压缩或拉伸时，晶体结构的反面形成电荷，使电流流入端子和/或在端子间形成电压。而声学滤波器，正是在电→声→电转换过程中，对频率进行筛选。而声波在固体中传播有两种途径，一是声体波（即以纵波或横波形式在固体内部传递），二是声表面波，分别对应 BAW（体声波滤波器）和 SAW（Surface acoustic wave，表面声波滤波器）。

目前主流声学滤波器包括 SAW 和 BAW。(1) SAW 滤波器：其由压电衬底（piezoelectric substrate）和两侧覆盖的叉指换能器（IDT）组成。前者主要以石英、钽酸锂（LiTaO₃）或铌酸锂（LiNbO₃）等为材料；后者为梳状金属层，用来以实现电到声、声到电的转换。当声波沿弹性材料表面传播时，其振幅随深入表面深度指数衰减。(2) BAW 滤波器：以石英晶体做成压电基板（piezolayer），上下均带有金属电极（Electric port）。石英顶部和底部的金属片会激发声波，该声波会在贴片和晶体之间来回反弹，声波在压电薄膜里震荡形成驻波（standing wave）。按照声能的捕获方式及散热方式的不同，BAW 滤波器又可分为 SMR（固体装配型体声波滤波器）和 FBAR（薄膜体声波滤波器）。

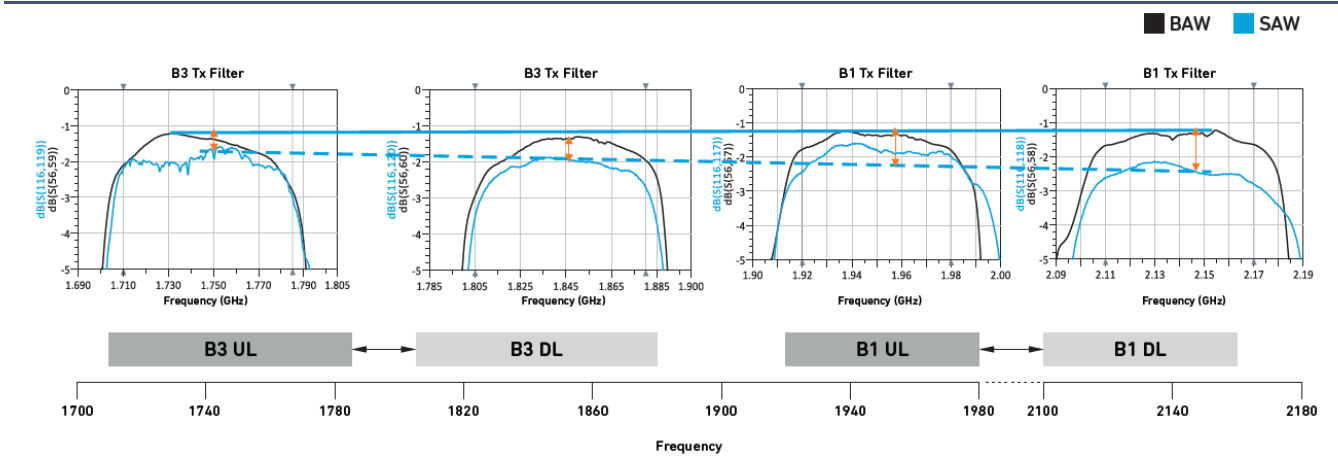
图 50、滤波器两种主流技术手段：SAW 和 BAW（包括 SMR 和 FBAR）



资料来源：Skyworks, 民生证券研究院

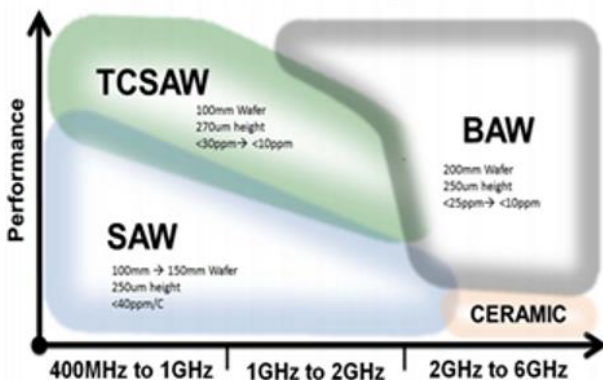
1GHz 以下频段 SAW 具备成本优势，1 到 6GHz 频段 BAW 性能更优。(1) SAW 滤波器具备成本优势，但高频性能不佳、对温度变化敏感：由于 SAW 滤波器在晶圆上组装，因此可以低成本大批量生产。但其工作原理决定了频率越高、IDT 间距越小，这使得其在 1GHz 以上频段表现不佳，最高仅能支持 2.5GHz 频段。此外 SAW 滤波器性能还会随着温度升高变差，对此 Murata 在 IDT 上增加了保护涂层了（即 TC(temperature compensated)-SAW 滤波器），其性能和价格均介于 BAW 和 SAW 之间。(2) BAW 高频性能更加，对温度变化不敏感：BAW 滤波器造价更高，但由于其声能密度都非常高，且更能有效地捕获声波，因此其具有更低的插入损耗、在高频段表现更为出色；此外其还具有尺寸更小、对温度较不敏感的优势。目前体声波最高可以处理的频率高达 6 GHz。

图 51、1.5GHz 以上，BAW 滤波器插入损耗更低



资料来源：Qorvo，民生证券研究院

图 52、低频段 SAW 具备成本优势，高频段 BAW 性能更佳



资料来源：Qorvo，民生证券研究院

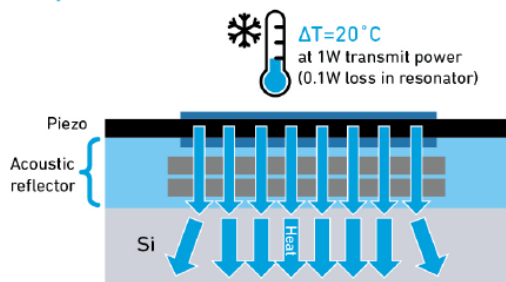
两款 BAW 滤波器相比，SMR 散热性优于 FBAR，适宜高频段所需的大功率输出。随着工作频率的升高，信号衰减也将增大，因此滤波器需要支持大功率射频信号以保证远距离传输，

所以散热性在高频段极为重要。而 FARB 与 SMR 的基本差别之一就在于其导热通路：SMR 中有一条导热通路通向衬底，并通过衬底散热；而在 FARB 中，由于其每面都有气隙，因此导热通路较弱。因此每瓦发射功率下，SMR 升高 20℃，而 FBAR 升高 70℃。

图 53、BAW-SMR 滤波器：纵向散热

Vertical heat flux in BAW Solidly Mounted Resonator

At high frequency, thinner reflector layers = improved heat extraction

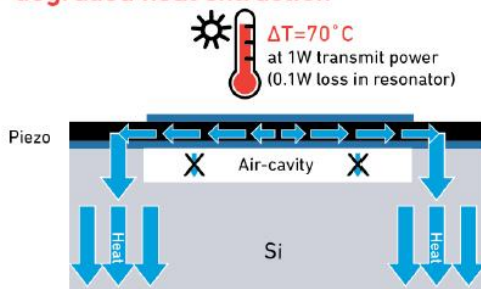


资料来源：Qorvo，民生证券研究院

图 54、不同 Q 值的滤波器比较

Lateral heat flux in Film Bulk Acoustic Resonator

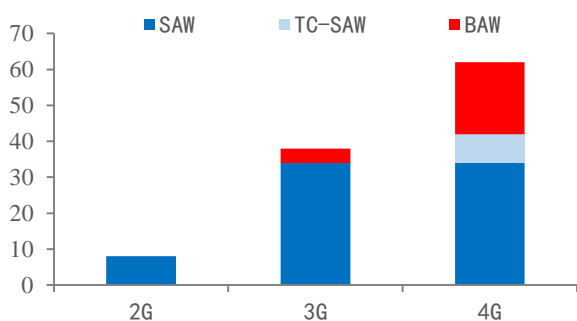
At high frequency, thinner membranes = degraded heat extraction



资料来源：Qorvo，民生证券研究院

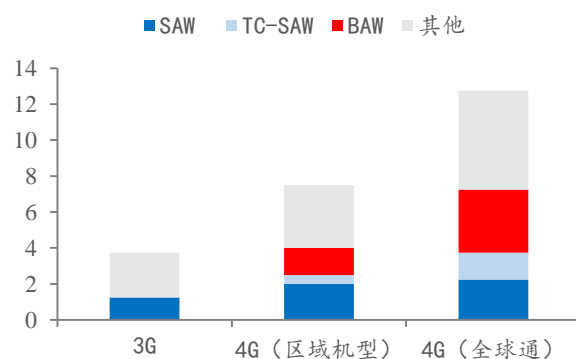
4G 时代，滤波器中 BAW 价值量占比达 40%-50%。据统计，平均每部 4G 手机的 SAW、TC-SAW、BAW 滤波器数量分别约为 30+/10/20 个。整体上 BAW 滤波器用量较少，但由于其价格较高，因此在 4G 手机中 BAW 的价值量占近一半；以一部区域型和全网通手机为例，其单机滤波器价值分别为 4/7.25 美元，其中 BAW 滤波器价值量占比达 40%-50%。

图 55、单机滤波器数量（个/台）



资料来源：Qorvo (TriQuint)，民生证券研究院

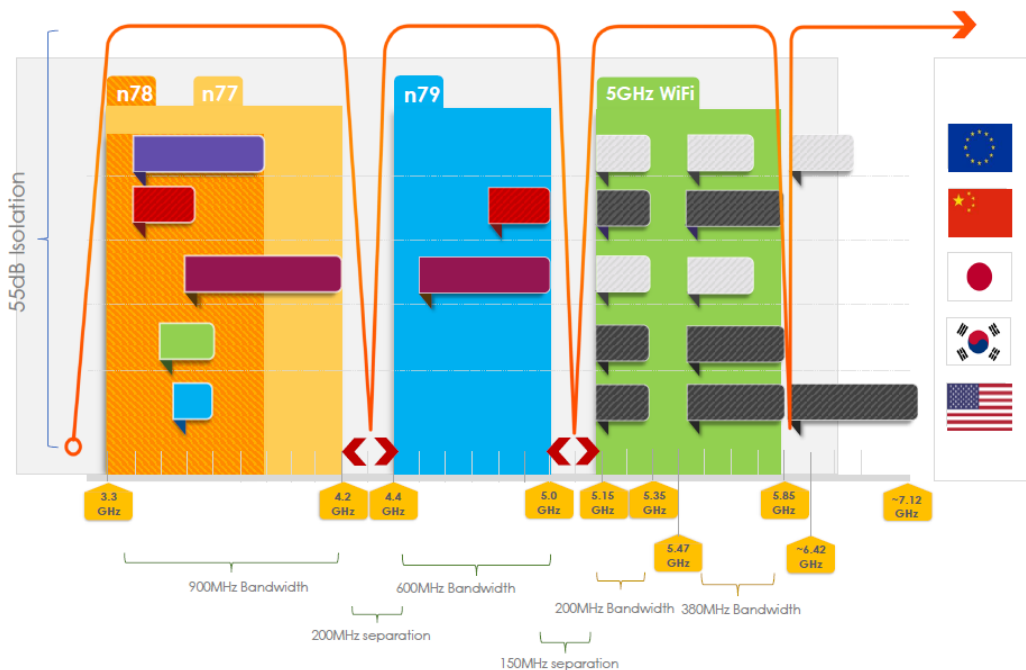
图 56、单机滤波器价值（美元/台）



资料来源：Qorvo (TriQuint)，民生证券研究院

5G Sub6 的高频滤、大带宽对性能提出更高挑战，BAW 滤波器仍为首选。5G 的 sub-6 频段与 4G 频段相比，拥有更大的带宽、更高的频率，同时 n79 频段与 5GHz 的 WIFI 段紧邻，中间只相隔 150MHz，因此滤波器需要在高带宽与高邻带抑制间做出平衡，而目前 5G sub6 频段首选仍然是 BAW 滤波器仍是的首选。

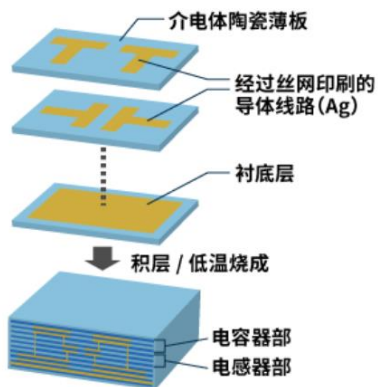
图 57、5G 带来的高频率、高带宽、WIFI 共存性挑战



资料来源：Resonant，民生证券研究院

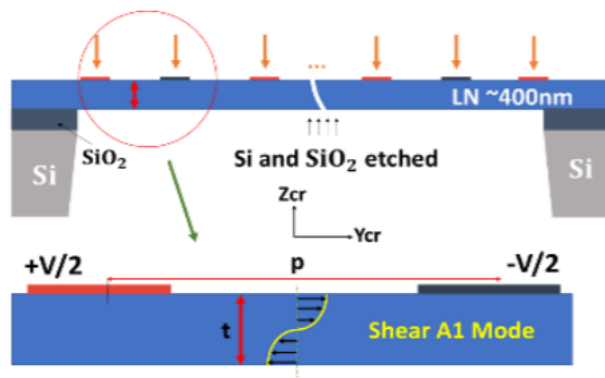
5G 毫米波段技术路线暂无定论，包括 LTCC、XBAR 等技术仍在研发中。FBAR 和 SMR 技术目前适用的范围主要仍是 6GHz 以下，毫米波段因更高频滤（24GHz-52GHz）、更大带宽（可达 1GHz 以上 vs 5G sub6 的 100MHz），对滤波器的性能提出了更高要求，目前暂无确定性技术路线。目前潜在的毫米波技术包括（1）TDK 公司于 2019/11 首次推出的可用于 28 GHz 频段的 LTCC 滤波器产品，（2）Resonant 公司于 2018 年 10 月首次推出 XBAR 滤波器，根据 ISN 仿真表明，其在 28 GHz 上存在商用潜力，2019 年 10 月 Murata 公司已与 Resonant 签署了 XBAR 技术的多年商业协议。

图 58、LTCC 滤波器



资料来源：TDK，民生证券研究院

图 59、XBAR 滤波器



资料来源：Resonant，民生证券研究院

3 四巨头瓜分 80% 市场，存在差异化产品布局、不同频段竞争

3.1 四大巨头瓜分 80% 以上市场，各家产品线布局存在差异

3.1.1 巨头成长之路，殊途同归

4G 时代产生的集成化需求使得目前主流厂商都进行了全产品线布局，但四大巨头的发展路径并不相同，可谓殊途同归：

Murata：典型日企，匠心工艺打造 SAW 滤波器的业界标杆。Murata 靠无源器件滤波器和电感起家，2005 年之后通过多起收购拓展其产品线，并于 2012/2014 年分别收购 Renesas 和 Peregrine 的 PA 产品线，不过目前公司核心盈利产品仍是其无源器件。与其他三家巨头不同的是，Murata 为典型的日企，依靠匠心工艺与同业的先进技术竞争。如在宽频带、高频段时代，Avago/Qorvo 另辟蹊径推出 BAW 滤波器，但 Murata 仍选择攻研 SAW 滤波器，因此在 SAW 滤波器领域，Murata 仍凭借高工艺、低成本使得无人与其匹敌。

Skyworks：PA 技术积累深厚，3G 时代通过与苹果合作一举登上一线舞台。Skyworks 于 2002 年由专做二极管的 Alpha 与 Conexant 的无线通信部门合并而成，而 Conexant 则拆分自加州靠军工产品（主要是航天飞机）起家的 Rockwell 公司的半导体部门，因此其 PA 技术实则是继承了 Rockwell 在军工领域的深厚积累。不过在 3G 时代以前，Skyworks 主要靠低价供货给份额较小的手机厂商存活，不温不火；而从 3G 时代开始，因打入苹果供应链才开始崭露头角，一举成为一线射频厂商。时至今日，Skyworks 仍是对苹果依赖度最高的射频厂商，2019 财年苹果对公司营业收入贡献占比 Skyworks 51% > Qorvo 32% > Avago 20%。

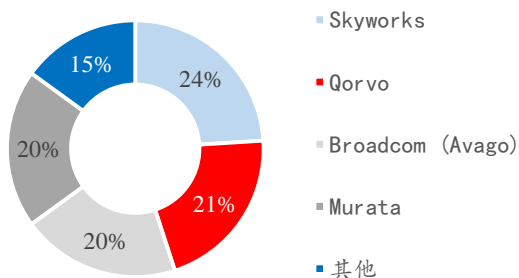
Qorvo：RFMD 与 TriQuint 强强联手实现互补，抓住 4G 时代集成化需求。Qorvo 由当时射频前端市场排名第二的 RFMD 与第三的 TriQuint 平等合并而成，由于两家公司产品侧重不同，通过合并 Qorvo 实现了产品的互补。(1) RFMD 的 GaAs 为传统强项：RFMD 成立之初便专注于无线通信市场，靠与 Nokia 深度合作曾荣登 GaAs 器件市场第一。虽然在 3G 时代随着 Nokia 的陨落，其在 GaAs 器件的市场份额由迅速由 2008 年的 20% 下降到 2011 年的 12.4%，不过其在 4G 时代通过于 TriQuint 的互补联合稳住了第一梯队的位置。(2) TriQuint 拥有 BAW-SMR 技术：TriQuint 除拥有三五族化合物生产能力外，其还在 2005 年通过收购 TFR Technologies 获得了 BAW 滤波器技术，这使得 Qorvo 成为目前 BAW 滤波器领域的双雄之一。

Broadcom (Avago)：十年磨一剑，FBAR 技术成为其独门绝技。Avago 脱胎于原 HP 的半导体部门，1999 年 HP 公司分拆出安捷伦公司，2005 年安捷伦公司将其 I/O solutions 部门分拆出售，也即是现在 Avago。而其独家的 FBAR 技术起源于安捷伦时期，公司经过 10 年研究成功于 1999 年研发出应用于美国 PCS1900MHz 频段 FBAR 滤波器，并于 2001 年开始量产，此后市占率一直在 50% 以上。

3.1.2 整体实力相当，但产品布局存在差异

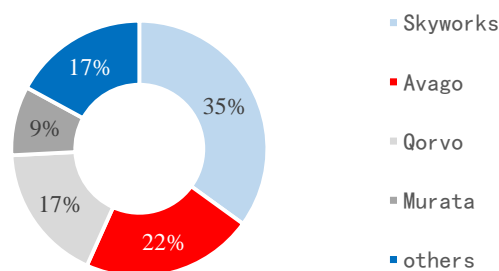
四大巨头整体实力相当，但滤波器布局差异使得模组定位有所不同。(1) 整体上，四大巨头实力相当，市占率均在 20%-24%；剩下市场由主打滤波器的日本厂商 TDK、Taiyo Yuden，以及从基带端切入的新晋者 Qualcomm 瓜分。(2) 从产品线看，4G 时代定下的 PAMiD 路线，使得四大厂商纷纷布局各类产品线，但在滤波器技术路线上存在较大差异：老牌滤波器厂商 Murata 在 SAW 滤波器仍具备绝对优势，市占率在 50% 以上。新切入滤波器市场的 Avago 和 Qorvo 分别通过 FARB/SMR 新技术在 BAW 滤波器领域取得领先优势，市占率分别达到 56%/38%。而 Skyworks 由于滤波器的布局晚于 Qorvo/broadcom 十年以上，因此在滤波器上稍显不足。目前虽然已具备 SAW/TC-SAW 滤波器具备自主生产能力，但部分产品仍是外包给 Taiyo Yuden 生产。此外，LNA 和开关市场中 Qorvo 与 Skyworks 具有较大优势，市占率分别为 35%/23%，而国内厂商卓胜微 LNA 与开关市占率也达到 8%。

图 60、射频前端市场整体格局：四大巨头实力相当



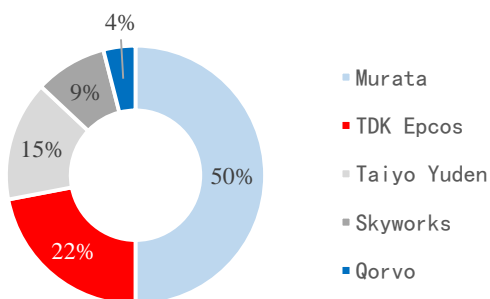
资料来源：昂瑞微（汉天下），Yole，民生证券研究院

图 61、PA 市场格局



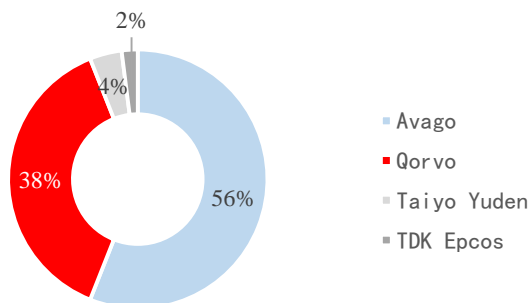
资料来源：昂瑞微（汉天下），民生证券研究院

图 62、SAW 滤波器市场格局：Murata 独占鳌头



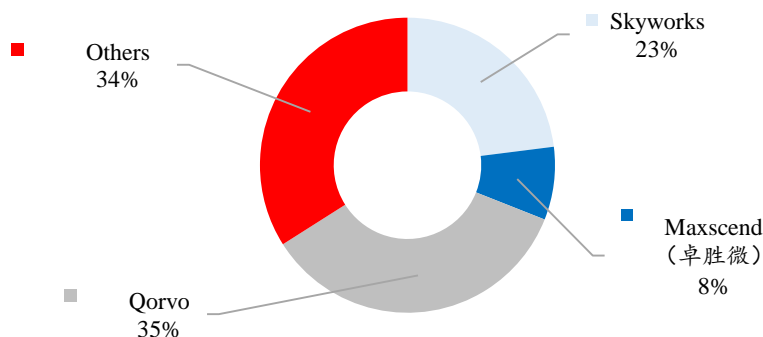
资料来源：昂瑞微（汉天下），民生证券研究院

图 63、BAW 滤波器市场格局：Qorvo+Avago 超 90% 份额



资料来源：昂瑞微（汉天下），民生证券研究院

图 64、LNA 和开关市场格局：Qorvo 与 Skyworks 龙头，卓胜微已有一席之地



资料来源：Morgan Stanley，民生证券研究院

因产品布局存在差异，Skyworks/Murata 主要竞争低频段、Avago/Qorvo 竞争高频段产品。我们统计了历代 iPhone 和 Galaxy S 系列产品，可以看到 Murata/Skyworks 主要提供 GSM/LB PAMiD，Qorvo/Avago 主要提供 MB/HB PAMiD。而所竞争频段的不同，归根还是各家产品布局存在差异：(1) 低频段：Murata 主攻 SAW 滤波器，Skyworks 通过收购与松下合资成立的子公司获得 SAW/TC-SAW 技术、并将 BAW 需求外包，因此这两家厂商主攻技术要求较低、成本管控要求较高的低频段 GSM/LB 赛道。(2) 中高频段：Qorvo/Avago 因在滤波器领域突破性地开发了 BAW 滤波器，因此在 MB/HB 优势显著。

表 9、历代 iPhone 射频前端器件

	厂商	型号	类型
iPhone6	TriQuint (Qorvo)	TQF6405	HB PAMiD
	Avago	AFEM-8030	MB PAMiD
	Skyworks	SKY77812	LB PAMiD
	Skyworks	SKY77357	GSM PAMiD
iPhone7	Avago	AFEM-8060	HB PAMiD
	Avago	AFEM-8050	MB PAMiD
	Qorvo	RF6110	LB PAMiD
	Skyworks	SKY77359	GSM PAMiD
	TDK-EPC	D5313	Filter Banks
	TDK-EPC	D5325	Filter Banks
iPhone 8	Avago	8066LC125	HB PAMiD
	Avago	8056LE003	MB PAMiD
	Qorvo	QM76041	LB PAMiD
iPhone X	Avago	AFEM-8065	MB/HB PAMiD
	Avago	AFEM-8066	MB/HB PAMiD
	Qorvo	QM76041	LB PAMiD
	Skyworks	SKY77367	GSM PAMiD
iPhone XS	Avago	AFEM 8092	MB/HB PAMiD
	Skyworks	SKY17021	
	Skyworks	SKY20615	

iphone 11 pro max	Avago	AFEM-8100	MB/HB PAMiD
	Skyworks	SKY 78223-17	PAM
	Skyworks	SKY 78221-17	LB PAMiD
	Skyworks	SKY13797-19	PAM
			4G+5G MB/HB PAMiD
iphone 12 pro	Avago	AFEM-8200	(注: 5G 频段为 4G 重耕 频段)
	Skyworks	Sky5	包括 5G FEM

资料来源: techinsights, ifixit, 民生证券研究院

表 10、历代三星 Galaxy S 系列射频前端器件

	厂商	型号	类型
Galaxy S5	Avago	ACPM-7617	MMMB PA
	Avago	AFEM7007	B7 PAMiD
	Murata	KM4220004	Wi-Fi module
Galaxy S6	Avago	AFEM-9020	MB PAMiD
	Avago	ACPM-7007	MMMB PA
	Skyworks	SKY78042	LB PAMiD
Galaxy S7	Qorvo	QM78064	HB PAMiD
	Avago	AFEM-9040	MB PAMiD
	Murata	FAJ15	
	Qorvo	TQF6260	
	Murata	KM5D18098	Wi-Fi module
Galaxy S8	Avago	AFEM-9053	HB/MB PAMiD
	Avago	AFEM-9066	HB/MB PAMiD
	Skyworks	SKY78160	LB PAMiD
	Skyworks	SKY77365	GSM PAMiD
Galaxy S9	Avago	AFEM-9090	HB/MB PAMiD
	Murata	FL05B	
	Skyworks	SKY77365	GSM PAMiD
Galaxy S10 5G	Qorvo	QM78077	HB/MB PAMiD
	Avago	AFEM-9100	HB/MB PAMiD
	Murata	J51	LB PAMiD
	Skyworks	SKY77365-11	GSM PAMiD
Galaxy S20	Qualcomm	QPM5677	n77/78 PAMiD (5G)
	Qorvo	QM78092	HB/MB PAMiD
	Skyworks	SKY58210-11	LB PAMiD
	Skyworks	SKY77365-11	GSM PAMiD
Galaxy S21 ultra	Qualcomm	QDM5872	n41 HB/MB FEM (5G)
	Skyworks	SKY77368-11	PAM
	Avago	AFEM-9146	FEM
	Qualcomm	QDM4820	LB FEM

资料来源: techinsights, ifixit, 民生证券研究院

3.2 四大巨头收入分析

Broadcom/Qorvo/Skyworks 射频器件的年收入均超过 20 亿美元。我们对三家欧美射频厂商近年的收入进行了统计，其手机端的射频器件的营业收入均在 20 亿美元以上。其中，Skyworks 和 Qorvo 以手机的射频前端器件为主业，收入占比在 70% 以上，其他收入主要是 IoT 相关的射频器件。而品类广泛的半导体厂商 Broadcom 的射频器件业务仅为其中一个部门，因此占比较少，2019 占收入的 9.7%。

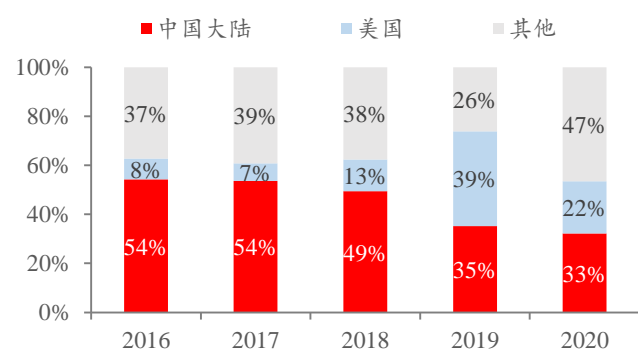
图 65、Broadcom(Avago)营业收入（十亿美元）



资料来源：Broadcom 公司公告，民生证券研究院

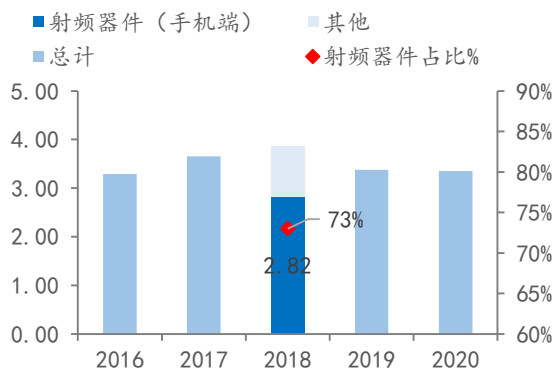
注：Broadcom 财年为上一年 11 月初至当年 11 月初（2020 年截止 2020/11/01）

图 66、Broadcom(Avago)营业收入-按地区



资料来源：Broadcom 公司公告，民生证券研究院

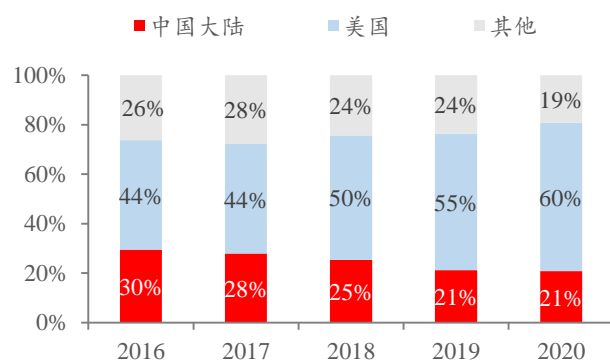
图 67、Skyworks 营业收入（十亿美元）



资料来源：Skyworks 公司公告，民生证券研究院

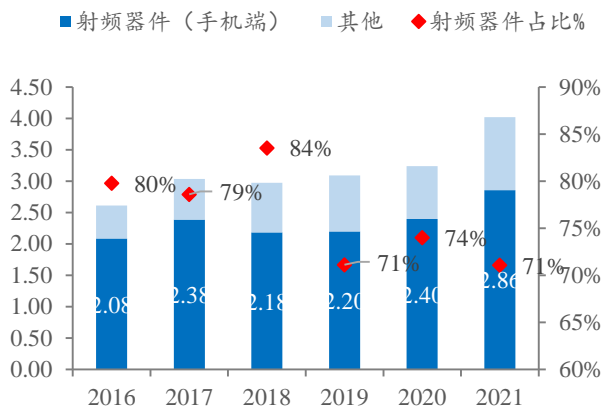
注：Skyworks 财年为上一年 10 月初至当年 10 月初（2020 年截止 2020/10/02）

图 68、Skyworks 营业收入-按地区



资料来源：Skyworks 公司公告，民生证券研究院

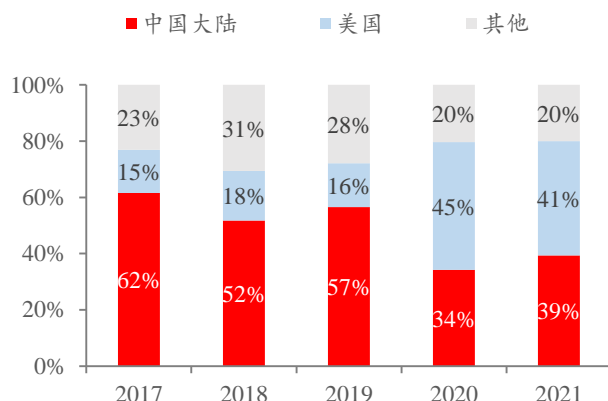
图 69、Qorvo 营业收入（十亿美元）



资料来源：Qorvo 公司公告，民生证券研究院

注：Qorvo 财年为上一年 3 月底至当年 3 月底(2021 年截止 2021/04/03)

图 70、Qorvo 营业收入-按地区

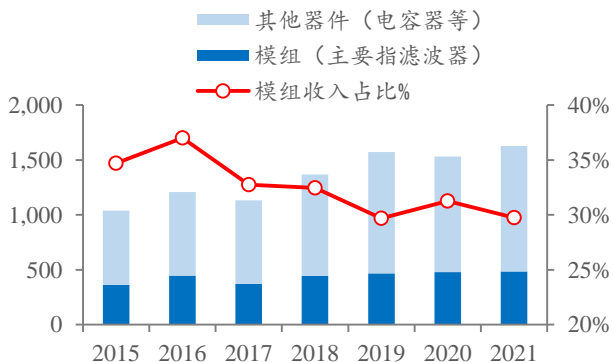


资料来源：Qorvo 公司公告，民生证券研究院

Murata 与 Taiyo Yuden 收入结构相似，均涉及通讯领域，包含滤波器、电容器等产品。

从产品类型看，Murata 和 Taiyo Yuden 均以模组化产品（主要是滤波器）和其他器件（主要是电容）为主业，Murata 2021 财年模组化产品收入 4841 亿日元（约合 44 亿美元），占总收入的 30%，其他器件收入 11435 亿日元（约合 104 亿美元），占总收入的 70%。从产品应用领域看，Murata 总收入中约 50% 来自通讯领域，2021 财年收入约 8049 亿日元（约合 73 亿美元）。

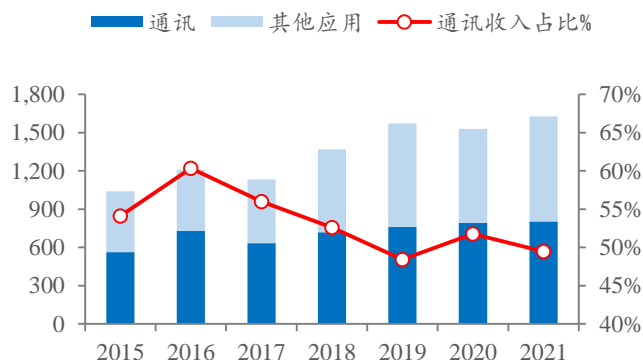
图 71、Murata 营业收入-按器件（十亿日元）



资料来源：Murata 公司公告，民生证券研究院

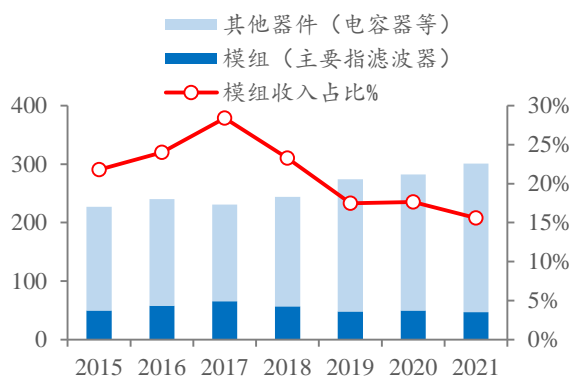
注：Murata 财年为上一年 3 月底至当年 3 月底（2021 年截止 2021/03/31）

图 72、Murata 营业收入-按应用（十亿日元）



资料来源：Murata 公司公告，民生证券研究院

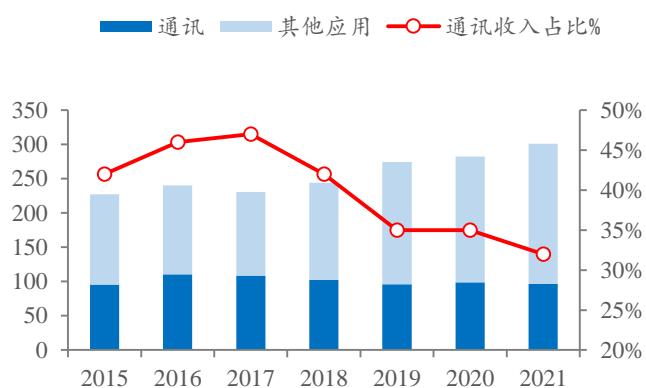
图 73、Taiyo Yuden 营业收入-按器件 (十亿日元)



资料来源: Taiyo Yuden 公司公告, 民生证券研究院

注: Taiyo Yuden 财年为上一年 3 月底至当年 3 月底 (2021 年截止 2021/03/31)

图 74、Taiyo Yuden 营业收入-按应用 (十亿日元)



资料来源: Taiyo Yuden 公司公告, 民生证券研究院

4 国产替代：道阻且长，行则将至

4.1 国内厂商涌现，从单一产品向模组化演进

国内厂商从单一产品向模组化产品演进，在布局、性能上仍存在提升空间。从海外厂商的发展路径看，主流厂商一般是先在单一器件（PA 或滤波器）做到行业龙头水平，然后通过并购顺势完成从分立器件向模组化产品的转型。而从发展路径看，国内厂商也是从单一产品逐步向模组化产品演进，主要包括三类厂商。（1）PA 厂商：从 2/3G 频段切入，逐步向 5G 渗透，包括昂瑞微、唯捷创芯（联发科收购）、飞驒科技、迪瑞科（展讯收购）等，其中昂瑞微在 2G/3G 上全球市占率分别达 75%/65%。此外，我们看到 PA 厂商已在模组化上走在前列，推出 FEM/PAMiD/PAMiF 等模组，但射频模组产品仍较为初级，以昂瑞微为例，公司推出的 5G PAMiD 使用的频段为 4G 重耕频段，并没有涉及高频段的 5G PAMiD 技术。（2）滤波器厂商：包括与麦捷科技（出货国内手机一线厂商，与中电 26 所深度合作）、信维通信（与中电 55 所在 SAW 上深度合作）、无锡好达、诺思等。（3）其他器件：如射频龙头卓胜微，平台型公司韦尔股份、艾为电子，从 LNA\射频开关切入，并向其他器件、模组拓展。

表 11、国内射频厂商布局

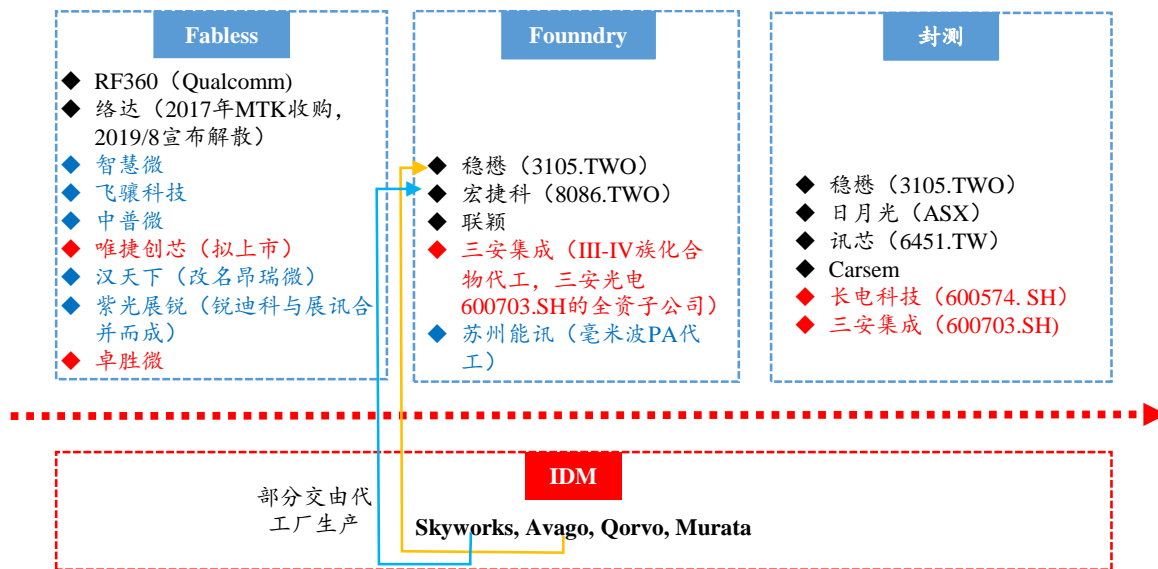
企业	PA			滤波器		双工器	LNA	射频开关	射频前端模组	说明
	2/3G	4G	5G	SAW	BAW					
卓胜微				✓		✓	✓	✓	WiFi FEM	专注射频开关，计划由 WiFi FEM 进入射频 PA 模组领域
艾为电子	✓						✓	✓		
韦尔股份							✓	✓		射频产品运用其特有的 CIS 技术
无锡好达				✓		✓				
诺思					✓	✓				FBAR 技术生产 BAW 滤波器，自主知识产权
麦捷科技				✓		✓				主营 LTCC 滤波器，可用于 5G 终端
信维通信				✓		✓		✓		
飞驒科技	✓	✓	✓	✓				✓	5G L-PAMiF 5G LFEM 5G PAMiF	专注于 PA，5G PA 被三星手机采用
唯捷创芯	✓	✓	✓	✓				✓	3G、4G TxM 4G MMB PA 5G L-PAMiF	4G PA 出货量为中国企业最高，5G L-PAMiD 使用频段为 4G 重耕频段
昂瑞微	✓	✓	✓					✓	GSM/GPRS FEM 3G PAM 3G 4G TxM 4G MMB PA 5G PAMiD TxM	5G PA 与 5G PAMiD 使用频段为 4G 重耕频段
海思半导体	✓	✓	✓				✓		FEM MB/HB PAM	PA 自主设计，搭配自研 5G 基带芯片，有较为完善的射频解决方案
三安光电	✓	✓	✓	✓						三安光电为 PA、滤波器厂提供代工服务

资料来源：各公司官网，techinsights，民生证券研究院

注 1：PAMiF（PA Module integrated filter），TxM（PA+Switch）。

注 2：昂瑞微模组中使用苏州汉天下滤波器（注：昂瑞微前身为北京中科汉天下，与苏州汉天下同为贵州汉天下的子公司；飞驒科技与唯捷创芯使用自研 SAW 滤波器，其中飞驒科技产品由三安光电代工；韦尔股份的射频产品由其子公司无锡中普微研发设计。

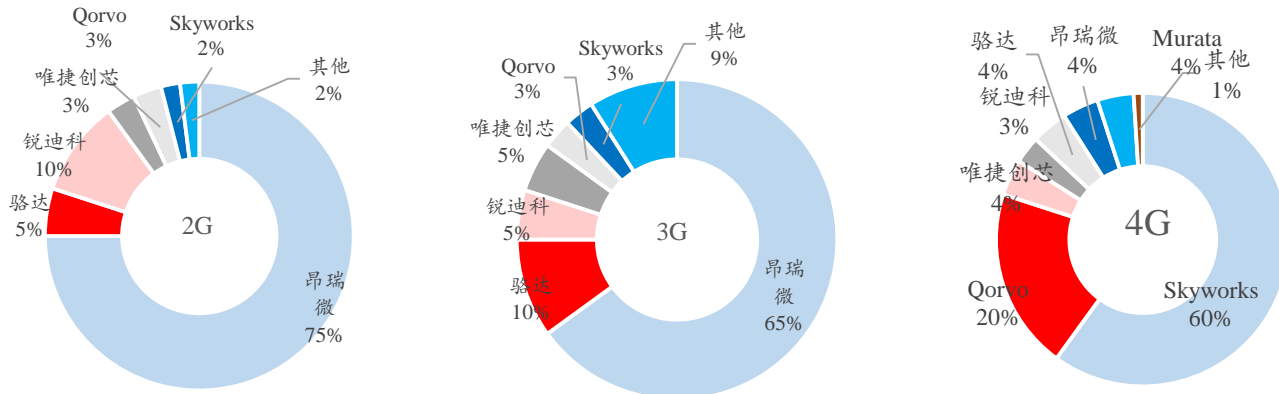
图 75、PA 厂商：国外主流厂商为 IDM 模式，国内 PA 厂商大多为 Fabless 模式



资料来源：民生证券研究院

注：大陆未上市公司用蓝色表示，大陆上市公司用红色表示

图 76、2/3/4G 频段 PA 市占率：国内厂商在 2/3G 具备成本优势，4G 被国外厂商垄断



资料来源：昂瑞微，民生证券研究院

4.2 国产替代，把握 PA、滤波器技术突破及模组化布局

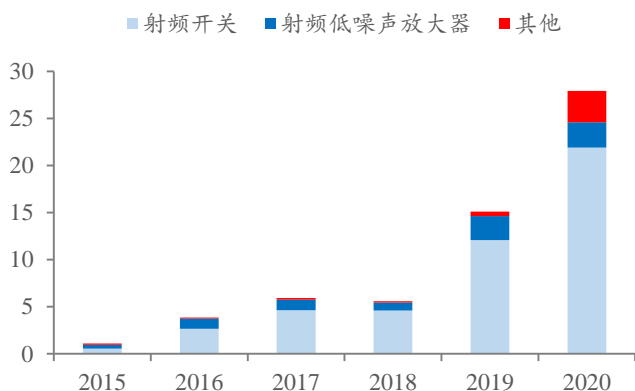
我们认为，国产替代机会需要重点关射频厂商在 PA、滤波器上的突破情况，以及产品线布局是否全面、能否想模组化演进，建议关注以下领先公司：

4.2.1 卓胜微

国内射频开关/LNA 龙头，向集成化模组拓展。公司主要生产基于 12 寸 65nm RF SOI 工艺的射频开关和基于 SiGe、CMOS 工艺的 LNA，2020 年分别实现营业收入 21.91/2.7 亿元、实现毛利 10.56/1.44 亿元。目前，公司生产的射频开关及 LNA 均可满足 5G 中的 sub-6GHz 频

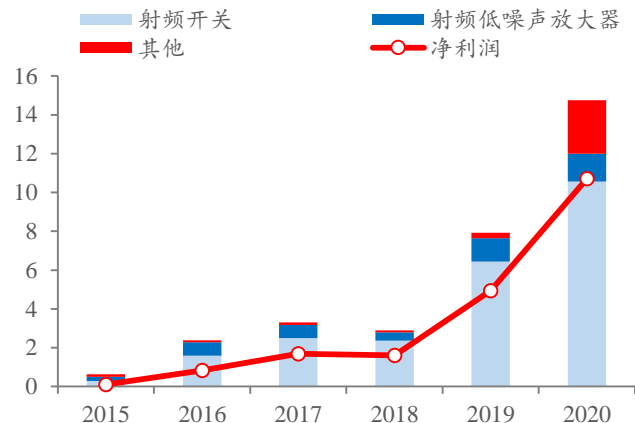
段应用需求,已实现安卓阵营 TOP 公司全覆盖。同时公司还与高通达成合作意向,射频开关已通过高通的小批量试产验证,正式进入量产。此外,为顺应集成化趋势,公司开始推出相关模组成品,包括 DiFEM (分集接收模组产品)、LFEM (LNA/滤波器集成模组)、LNA bank (多频多模 LNA 集成模组)。

图 77、卓胜微营业收入构成 (亿元)



资料来源:卓胜微公司公告,民生证券研究院

图 78、卓胜微毛利结构、净利润 (亿元)

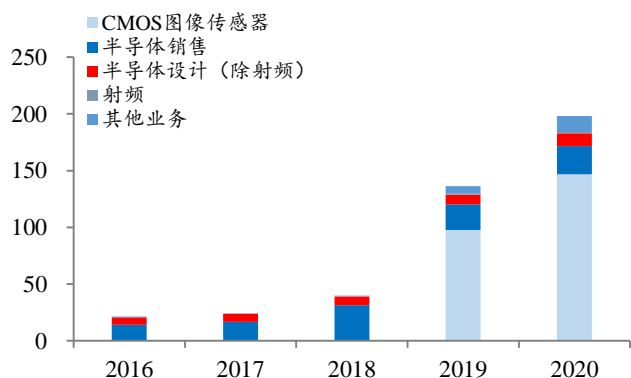


资料来源:卓胜微公司公告,民生证券研究院

4.2.2 韦尔股份

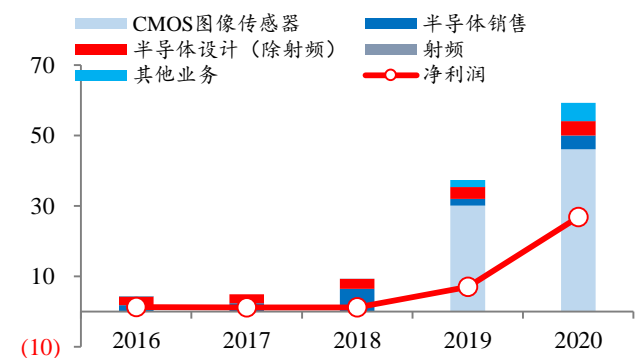
平台型公司,从开关、LNA 切入。公司以主营业务 CIS 为核心,同时致力于 TDDI、模拟、射频等,致力于打造平台型企业。近年来,公司不断投资丰富公司自研产品类型,通过投资无锡中普微及上海韦功,公司加大了在射频领域的产品研发投入,在 RFSwitch、Tuner、LTELNA、GPSLNA 产品领域研发出了具有市场竞争优势的成果。

图 79、韦尔股份营业收入构成 (亿元)



资料来源:韦尔股份公司公告,民生证券研究院

图 80、韦尔股份毛利结构、净利润 (亿元)



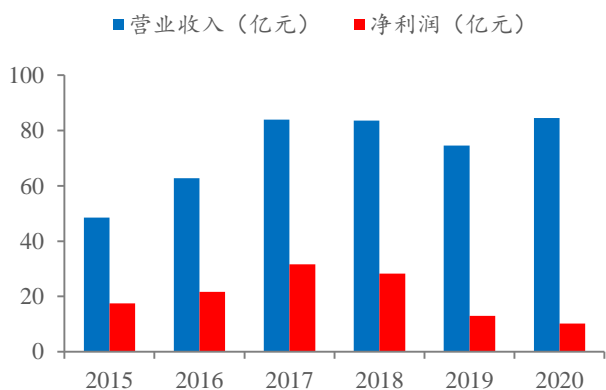
资料来源:韦尔股份公司公告,民生证券研究院

4.2.3 三安光电

发力第三代半导体,为 PA、滤波器厂商提供代工。三安光电为 LED 外延片及芯片生产龙头,其 LED 业务全球市占率 20%、国内市占率 29%。2020 年实现营业收入 85 亿元,净利

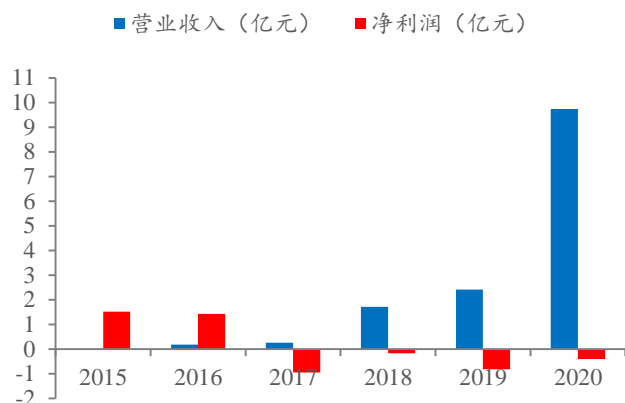
润 10 亿元。其全资子公司三安集成立于 2014 年，主要提供化合物半导体晶圆代工服务，工艺能力涵盖微波射频、电力电子、光通讯和滤波器四个领域的产品，目前已取得了国内重要客户的合格供应商认证，2020 全年实现销售收入 9.74 亿元，同比增长 305%；其中 GaN 射频产品重要客户已实现批量生产，产能正逐步爬坡；此外，其滤波器产品生产线正在持续扩充及备货中，2020 年实现出货。

图 81、三安光电营业收入、净利润



资料来源：三安光电公司公告，民生证券研究院

图 82、三安集成营业收入、净利润

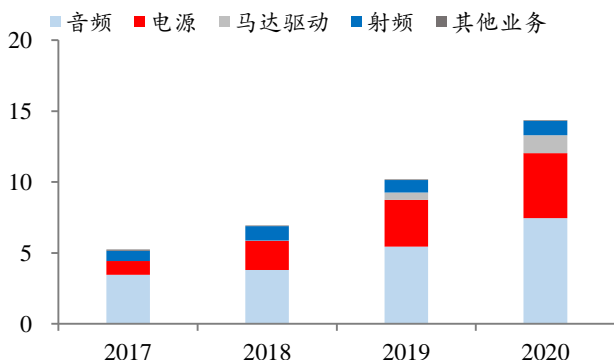


资料来源：三安光电公司公告，民生证券研究院

4.2.4 艾为电子

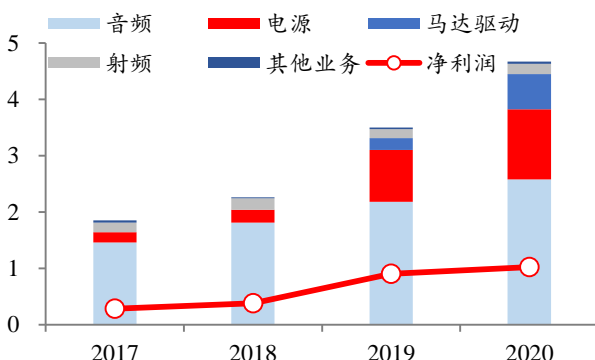
深耕音频功放、电源管理芯片，拓展开发射频前端芯片。公司在数模混合信号、模拟和射频芯片领域深耕多年，从音频功放芯片和电源管理芯片产品出发，陆续拓展开发射频前端芯片和马达驱动芯片等产品。2020 年，公司实现收入 14.3 亿元，毛利 4.6 亿元；其中射频前端 1.01 亿元，毛利 0.18 亿元。

图 83、艾为电子营业收入构成 (亿元)



资料来源：艾为电子公司公告，民生证券研究院

图 84、艾为电子毛利结构、净利润 (亿元)



资料来源：艾为电子公司公告，民生证券研究院

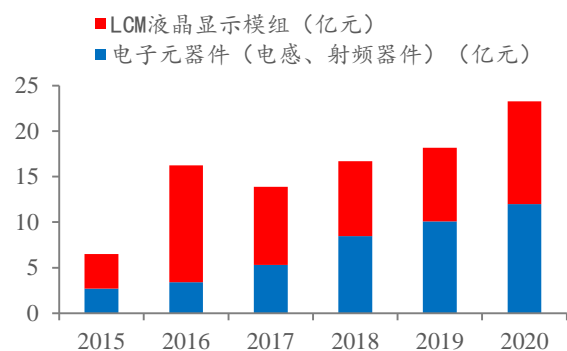
4.2.5 麦捷科技

滤波器进入国内一线厂商，定增 13 亿扩产射频。公司已于 2019 年全面推动 SAW 滤波器

的量产出货、贡献利润，同时也已开发了面向 5G 的 LTCC、TC-SAW 和 FBAR 的高性能滤波器，产品进入国内手机 TOP 厂商。2020 年，公司电子元器件（电感、射频器件）营业收入分别为 11.97/11.30 亿元，毛利 3.44/0.89 亿元，实现净利润 0.46 亿元。2021/3/14 公告，拟募资 13.4 亿元，其中 4.8 亿元用于滤波器扩产，达产后产能 LTCC 射频元器件 11 亿只、SAW 滤波器 14 亿只，年产值 6.6 亿元。

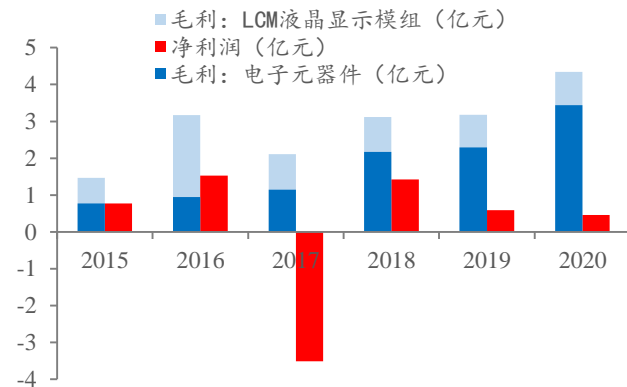
通过与中电 26 所深度合作，产品已导入基站龙头及一线手机厂商。公司于 2015 年起与中电 26 所通过交叉持股方式在 SAW 滤波器上展开合作，并于 2018 年 5 月参股 26 所生产晶圆的子公司胜普（持股 35%），同时 26 所也参股了麦捷的研发公司麦高锐。同时还达成协议将合作领域由 SAW 拓展至 BAW 滤波器，并将公司的晶圆制造交由胜普公司完成。

图 85、麦捷科技营业收入构成



资料来源：麦捷科技公司公告，民生证券研究院

图 86、麦捷科技毛利结构、净利润



资料来源：麦捷科技公司公告，民生证券研究院

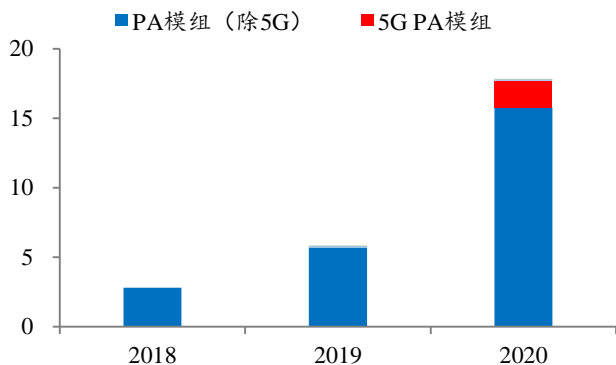
4.2.6 旷达科技

收购日本滤波器企业 NSD，掌握高端滤波器生产技术。公司主营业务为汽车内饰和光伏发电，通过收购 NSD 进入射频前端领域。NSD 公司是一家日本滤波器生产企业，是世界上少数几家掌握着 WLP 技术的公司，凭借该技术 NSD 领先目前其他国产滤波器厂商；除 WLP 技术之外还具有双工器及温补 TC-SAW 技术。目前旷达科技持有 NSD51% 的股权，并且正在推进第二批 NSD 股权的交割，完成后将持有 NSD75% 的股权。目前 NSD 公司已经与中国射频客户合作开发模组。

4.2.7 唯捷创芯（拟科创板上市）

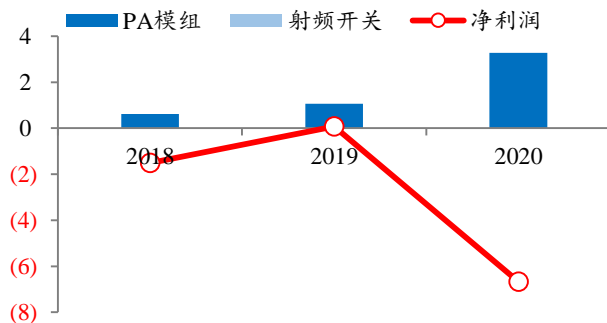
4G 射频功率放大器出货量排名前列，上市申请已获受理。公司主要产品为 4G 射频功率放大器模组，出货量位居全国第一；此外还包括部分射频开关芯片及 Wi-Fi 射频前端模组产品。2020 年公司实行 3 次股权激励，受此影响，2020 年净利润为 -6.67 亿元。此外，唯捷创芯科创板 IPO 已于 2021 年 6 月 21 日获上交所受理。

图 87、唯捷创芯营业收入构成（亿元）



资料来源：唯捷创芯公司公告，民生证券研究院

图 88、唯捷创芯毛利结构、净利润（亿元）



资料来源：唯捷创芯公司公告，民生证券研究院

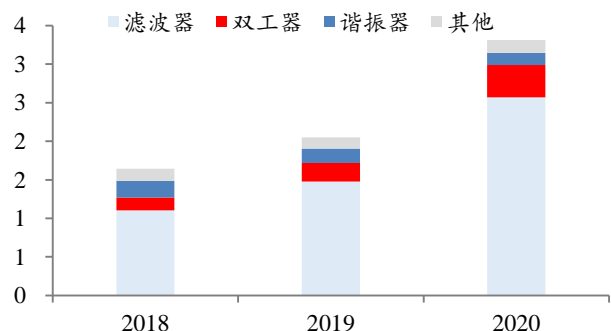
4.2.8 飞骧科技（拟上市）

公司专注射频前端，开发出完整 5G 射频前端。公司专注 PA 等射频领域，为第一个推出 4G PA 的国内公司，并自主开发出 5G 产品。作为首批中国移动 5G 终端先行者计划参与厂商，公司于 2020 年 6 月正式发布 5G 射频前端方案，是第一套完整支持所有 5G 频段的国产射频前端解决方案。此外，公司于 2021 年 6 月 11 日在深圳证监局进行了辅导备案，并宣布完成 Pre-IPO 融资。

4.2.9 好达电子（拟科创板上市）

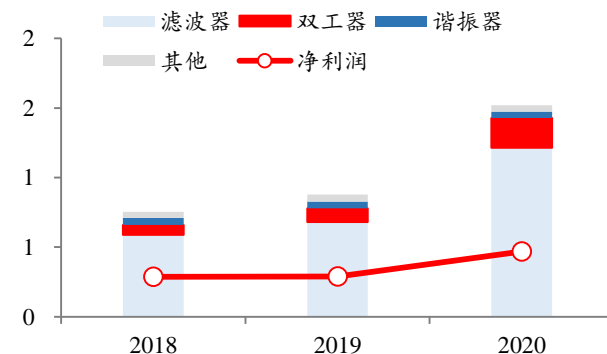
公司专注滤波器，SAW 产品接近世界领先厂商。公司声表面波滤波器、双工器已通过小米、OPPO、华为、华勤、龙旗、中兴、广和通等知名手机终端及 ODM 厂商、通讯设备厂商和无线通信模组厂商的验证并实现量产销售。公司在常用频段声表面波滤波器、双工器的部分关键性能指标的表现上已达到国外领先厂商的产品参数水平。

图 89、好达电子营业收入构成（亿元）



资料来源：好达电子公司公告，民生证券研究院

图 90、好达电子毛利结构、净利润（亿元）



资料来源：好达电子公司公告，民生证券研究院

5 投资建议

国产替代趋势不可逆，建议关注产品线布局较为全面、在滤波器/PA 上技术有突破的平台型公司，建议关注：卓胜微、韦尔股份、三安光电、艾为电子，麦捷科技、旷达科技、唯捷创芯（拟科创板上市）、飞骧科技（拟上市）、好达电子（拟科创板上市）。

6 风险提示

（1）5G 手机出货量低于预期：我们预计 3/4G 频段对应的市场空间维持在 140 亿美元上下，而 5G 频段对应的市场空间在 2024 年将增长至百亿以上。若受疫情、缺芯影响，5G 手机出货量或低于预期。

（2）国内厂商技术进步慢于预期：射频前端集成化是大趋势下，而国内厂商多从 LNA、开关等环节切入，若要实现模组出货，仍需在滤波器、PA 产品上实现突破。

插图目录

图 1、射频归属于半导体模拟 IC.....	4
图 2、无线通信模块主要模块：基带、射频收发、射频前端、天线.....	5
图 3、PA 功能示意图.....	6
图 4、滤波器功能示意图.....	6
图 5、射频前端成本约占整机成本的 8%.....	6
图 6、射频前端各器件价值占比：PA/滤波器达 34%/54%.....	6
图 7、香农定理：可以通过提高带宽、增加天线数提高数据传输.....	7
图 8、通信历代的更迭历程&各历代的网络制式.....	8
图 9、5G 时代的三大应用场景.....	8
图 10、2/3/4G 频谱使用情况.....	9
图 11、5G 通信时代拓宽了频谱使用范围.....	9
图 12、更广阔的频谱资源，意味着更大带宽.....	10
图 13、终端设备在 5G 频段实行 1T4R（NSA 标准下）/2T4R（SA 标准下）.....	10
图 14、纵向对比：通讯时代更迭带来手机支持频段数提升.....	11
图 15、横向对比：同期发售的高端机支持频段数大于低端机.....	11
图 16、5G 时代各国频谱资源分配.....	13
图 17、新增频段部分需要增加配套射频前端器件（5G 射频前端方案）.....	15
图 18、2024 年 RFFE 市场空间达 273 亿美元，2020-2024 CAGR 达 16%.....	16
图 19、RFFE 市场空间预测过程.....	18
图 20、4G 高端手机起售价&频段数.....	19
图 21、4G 中端手机起售价&频段数.....	19
图 22、高端/中端 4G 手机频段数.....	19
图 23、4G 手机单机 RF 价值&单频段 RF 价值.....	19
图 24、5G 高端手机 5G 频段数.....	20
图 25、4G 中端手机 5G 频段数.....	20
图 26、集成器件有利于减小面积.....	21
图 27、集成器件有利于减小输出匹配难度.....	21
图 28、摩尔定律发展的两个方向.....	22
图 29、射频前端模组 SiP 示意图.....	22
图 30、集成化模组示意图.....	22
图 31、集成化历程：从 3G 时代的 FEMiD 模组，到 4G 时代的 PAMiD 模组.....	23
图 32、三星 Galaxy S4（2013，3G）拆机：由 MMB PA+FEMiD 构成的中度集成模组.....	23
图 33、三星 Galaxy 10+（2019，4G）拆机：LB/MB/HB PAMiD 构成高度集成模组.....	24
图 34、高度集成化方式：LB/MB/HB/5G PAMiD.....	24
图 35、LB/MB/HB/UHB 频段划分.....	24
图 36、小米 米 10 拆机（2020，5G）：LB/MB/HB/5G PAMiD 构成高度集成模组.....	25
图 37、三星 Galaxy S20 拆机（2020，5G）：LB/MB/HB/5G PAMiD 构成高度集成模组.....	25
图 38、下游用户（手机厂商）集中度提升.....	26
图 39、Murata 发展历史.....	28
图 40、Skyworks 发展历史.....	28
图 41、Broadcom(Avago)发展历史.....	29
图 42、Qorvo 发展历史.....	29
图 43、PA 技术指标之：效率（PAE）.....	30
图 44、PA 技术指标之：线性.....	30
图 45、不同半导体材料适用的工作频段/功率.....	31
图 46、PA 三代技术路线特征总结.....	31

图 47、GaN 具备高功率密度特性，能够有效减少芯片尺寸.....	32
图 48、滤波器主要技术指标.....	33
图 49、不同 Q 值的滤波器比较.....	33
图 50、滤波器两种主流技术手段：SAW 和 BAW（包括 SMR 和 FBAR）.....	33
图 51、1.5GHz 以上，BAW 滤波器插入损耗更低.....	34
图 52、低频段 SAW 具备成本优势，高频段 BAW 性能更佳.....	34
图 53、BAW-SMR 滤波器：纵向散热.....	35
图 54、不同 Q 值的滤波器比较.....	35
图 55、单机滤波器数量（个/台）.....	35
图 56、单机滤波器价值（美元/台）.....	35
图 57、5G 带来的高频率、高带宽、WIFI 共存性挑战.....	36
图 58、LTCC 滤波器.....	36
图 59、XBAR 滤波器.....	36
图 60、射频前端市场整体格局：四大巨头实力相当.....	38
图 61、PA 市场格局.....	38
图 62、SAW 滤波器市场格局：Murata 独占鳌头.....	38
图 63、BAW 滤波器市场格局：Qovro+Avago 超 90% 份额.....	38
图 64、LNA 和开关市场格局：Qorvo 与 Skyworks 龙头，卓胜微已有一席之地.....	39
图 65、Broadcom(Avago)营业收入（十亿美元）.....	41
图 66、Broadcom(Avago)营业收入-按地区.....	41
图 67、Skyworks 营业收入（十亿美元）.....	41
图 68、Skyworks 营业收入-按地区.....	41
图 69、Qorvo 营业收入（十亿美元）.....	42
图 70、Qorvo 营业收入-按地区.....	42
图 71、Murata 营业收入-按器件（十亿日元）.....	42
图 72、Murata 营业收入-按应用（十亿日元）.....	42
图 73、Taiyo Yuden 营业收入-按器件（十亿日元）.....	43
图 74、Taiyo Yuden 营业收入-按应用（十亿日元）.....	43
图 75、PA 厂商：国外主流厂商为 IDM 模式，国内 PA 厂商大多为 Fabless 模式.....	45
图 76、2/3/4G 频段 PA 市占率：国内厂商在 2/3G 具备成本优势，4G 被国外厂商垄断.....	45
图 77、卓胜微营业收入构成（亿元）.....	46
图 78、卓胜微毛利结构、净利润（亿元）.....	46
图 79、韦尔股份营业收入构成（亿元）.....	46
图 80、韦尔股份毛利结构、净利润（亿元）.....	46
图 81、三安光电营业收入、净利润.....	47
图 82、三安集成营业收入、净利润.....	47
图 83、艾为电子营业收入构成（亿元）.....	47
图 84、艾为电子毛利结构、净利润（亿元）.....	47
图 85、麦捷科技营业收入构成.....	48
图 86、麦捷科技毛利结构、净利润.....	48
图 87、唯捷创芯营业收入构成（亿元）.....	49
图 88、唯捷创芯毛利结构、净利润（亿元）.....	49
图 89、好达电子营业收入构成（亿元）.....	49
图 90、好达电子毛利结构、净利润（亿元）.....	49

表格目录

表 1、射频前端主要器件及对应功能、工艺技术.....	6
表 2、2/3/4G 常用频段合计约 40 个，其中 2/3/4G 分别为 4/10/25 个.....	11
表 3、中国三大运营商 2G-5G 频段分配方案.....	13
表 4、目前主流 5G 手机支持频段数.....	14
表 5、RFFE 市场空间预测结果.....	16
表 6、Skyworks 系列产品.....	26
表 8、三代半导体材料特性对比.....	31
表 9、历代 iPhone 射频前端器件.....	39
表 10、历代三星 Galaxy S 系列射频前端器件.....	40
表 11、国内射频厂商布局.....	44

分析师与研究助理简介

王芳，电子行业首席，曾供职于东方证券股份有限公司、一级市场私募股权投资有限公司，获得中国科学技术大学理学学士，上海交通大学上海高级金融学院硕士。

杨旭，电子行业分析师，曾供职于东方证券股份有限公司，复旦大学理学博士。

赵晗泥，电子行业研究助理，2020年加入民生电子，曾就职于外资行业研究，爱丁堡大学经济学硕士，复旦大学经济学学士。

分析师承诺

作者具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，保证报告所采用的数据均来自合规渠道，分析逻辑基于作者的职业理解，通过合理判断并得出结论，力求客观、公正，结论不受任何第三方的授意、影响，特此声明。

评级说明

公司评级标准	投资评级	说明
以报告发布日后的 12 个月内公司股价的涨跌幅为基准。	推荐	分析师预测未来股价涨幅 15% 以上
	谨慎推荐	分析师预测未来股价涨幅 5%~15% 之间
	中性	分析师预测未来股价涨幅-5%~5% 之间
	回避	分析师预测未来股价跌幅 5% 以上
行业评级标准		
以报告发布日后的 12 个月内行业指数的涨跌幅为基准。	推荐	分析师预测未来行业指数涨幅 5% 以上
	中性	分析师预测未来行业指数涨幅-5%~5% 之间
	回避	分析师预测未来行业指数跌幅 5% 以上

民生证券研究院：

北京：北京市东城区建国门内大街28号民生金融中心A座17层； 100005

上海：上海市浦东新区世纪大道1239号世纪大都会1201A-C单元； 200122

深圳：广东省深圳市深南东路 5016 号京基一百大厦 A 座 6701-01 单元； 518001

免责声明

“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。

本报告是基于本公司认为可靠的已公开信息,但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的资料、意见及预测仅反映本公司于发布本报告当日的判断,且预测方法及结果存在一定程度局限性。在不同时期,本公司可发出与本报告所刊载的意见、预测不一致的报告,但本公司没有义务和责任及时更新本报告所涉及的内容并通知客户。

本报告所载的全部内容只提供给客户做参考之用,并不构成对客户的投资建议,并非作为买卖、认购证券或其它金融工具的邀请或保证。客户不应单纯依靠本报告所载的内容而取代个人的独立判断。本公司也不对因客户使用本报告而导致的任何可能的损失负任何责任。

本公司未确保本报告充分考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需要。本公司建议客户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。

本公司在法律允许的情况下可参与、投资或持有本报告涉及的证券或参与本报告所提及的公司的金融交易,亦可向有关公司提供或获取服务。本公司的一位或多位董事、高级职员或/和员工可能担任本报告所提及的公司的董事。

本公司及公司员工在当地法律允许的条件下可以向本报告涉及的公司提供或争取提供包括投资银行业务以及顾问、咨询业务在内的服务或业务支持。本公司可能与本报告涉及的公司之间存在业务关系,并无需事先或在获得业务关系后通知客户。

若本公司以外的金融机构发送本报告,则由该金融机构独自为此发送行为负责。该机构的客户应联系该机构以交易本报告提及的证券或要求获悉更详细的信息。

未经本公司事先书面授权许可,任何机构或个人不得更改或以其他方式发送、传播本报告。本公司版权所有并保留一切权利。所有在本报告中使用的商标、服务标识及标记,除非另有说明,均为本公司的商标、服务标识及标记。