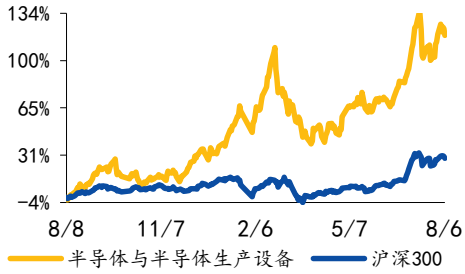
5G 创新大周期+供应链本土化，射频滤波器国产化机遇解析

推荐|维持

过去一年市场行情



资料来源：Wind

相关研究报告

报告作者
分析师 贺茂飞
执业证书编号 S0020520060001
电话 021-51097188
邮箱 hemaofei@gyzq.com.cn

报告要点：

- **5G 时代，新增大量高频频段，射频滤波器单机价值量大幅增加。**根据 Resnant 数据，2020 年全球射频前端市场超过 1500 亿元，其中滤波器市场超过 1000 亿元，是射频前端最大的细分产品方向。5G 手机终端新增 N77/N78/N79 等高频频段，滤波器用量大幅增加。根据 Skyworks 数据，4G 手机滤波器用量约为 40 个，5G 手机用量将增加至 70 个，单部手机的射频滤波器价值量有望从 4-7 美金提升至 10 美金以上。在芯片封装端，射频前端模块逐步从 CSP 封装形式转为 WLP 封装形式。
- **LTCC 及体声波滤波器用量增加。**另外从 4G 发展到 5G，传输最大带宽将从 60Mhz 提升至 100Mhz，宽频带的滤波应用兴起，给 LTCC 滤波器产业带来新的发展机遇。5G 时代，滤波器技术路径出现变革。体声波滤波器用量增加，根据 Qorvo 数据，到 2025 年，体声波滤波器产值占比有望从 2019 年的 24%上升至 54%，Saw 滤波器则出现下降。
- **射频模组化大势所趋，有望带来射频龙头厂商的 ASP 扩张及行业整合潮。**射频模组化能降低射频模块 PCB 面积占用，降低射频设计复杂度，缩短射频设计时间。射频包括 FEM（射频开关+滤波器）、FeMid（射频滤波器+开关+双工器）、DiFEM(射频开关+滤波器+LNA)、PaMid（FeMid+PA）等多种模组化产品形态。各大手机品牌厂商中，苹果射频模组化比例最高，其次为三星、华为、Oppo、Vivo、小米射频模组化比例相对较低。进入 5G 时代，设计复杂度的增加迫使射频模组化的比例快速提升。
- **射频滤波器产业被日本、美国企业寡头垄断，国产化势在必行。**由于技术和专利上的领先优势，当前滤波器市场主导权在美日厂商手中，Saw 滤波器主要供应商为 Murata、TDK、太阳诱电、Skyworks 等几家厂商，而体声波滤波器则为 Broadcom 以及 Qorvo 主导，两家厂商占据全球超过 95%以上份额。 射频滤波器国产化率仅仅为低个位数，国内企业成长空间广阔。

投资建议：

射频滤波器产业是千亿市场蓝海，从分立滤波器到滤波器模组为国内本土企业提供广阔的发展空间。中美贸易摩擦背景下，射频滤波器国产化率有望逐步提升。射频行业，推荐关注卓胜微（全面布局的射频平台企业）、经纬辉开（参股诺思为 Fbar 滤波器国内龙头企业）、天通股份（射频压电材料龙头）、信维通信（射频滤波器+天线）、麦捷科技（射频滤波器）、华天科技（射频封装）、通富微电（射频封装）。

风险提示：（1）全球经济下滑甚至衰退的风险；（2）疫情控制不当导致手机销售量不及预期风险；（3）5G 网络建设不及预期风险

附表：重点公司盈利预测

公司代码	公司名称	投资评级	昨收盘（元）	总市值（百万元）	EPS			PE		
					2019A	2020E	2021E	2019A	2020E	2021E
300782.SZ	卓胜微	买入	420.11	75619	2.76	4.60	6.20	151.48	90.91	67.45
300120.SZ	经纬辉开	增持	15.03	6985	0.30	0.19	0.35	49.02	75.69	41.05
600330.SH	天通股份	增持	10.64	10603	0.16	0.23	0.25	65.90	46.89	43.18
300136.SZ	信维通信	增持	60.19	57955	1.05	1.39	2.10	51.51	39.08	25.77
300319.SZ	麦捷科技	增持	11.35	7911	0.06	0.21	0.25	173.77	53.83	45.61
002156.SZ	通富微电	增持	26.40	30457	0.02	0.31	0.38	1590.60	84.46	68.84
002185.SZ	华天科技	增持	16.51	45237	0.10	0.19	0.28	153.44	83.33	57.23

资料来源：Wind，国元证券研究中心

目 录

1. 射频滤波器：射频前端中价值量最大的细分领域 9
1.1 射频滤波器的产品类别 9
1.2 射频滤波器是射频领域最大的子行业 10
2. 射频滤波器的主要技术路线 11
2.1 射频滤波器产品分为表声波、体声波两大技术方向 11
2.2 三类主流射频滤波器：Saw、Baw-SMR、Fbar 12
2.2.1 声表面波滤波器（Saw Filter） 12
2.2.2 体声波滤波器(Baw-SMR Filter) 13
2.2.3 薄膜腔体谐振滤波器(Fbar) 14
2.3 Baw 与 Saw 的比较 14
3. 产业趋势一：高频化带来的技术变革 16
3.1 Saw 滤波器经历了普通 Saw、TC-Saw、TF-Saw 三个技术世代 16
3.2 宽频带滤波应用以 LTCC 方案为主 17
3.3 5G 时代，Baw 滤波器渗透率不断攀升 18
3.4 市场占比：Baw 升高，Saw 下降 19
3.5 WIFI 与 LTE 共存的频段以 Baw 滤波器方案为主 19
3.6 高端滤波器逐渐使用 WLP 封装替代 CSP 封装形式 21
4. 产业趋势二：5G 时代，射频滤波器价值量大幅扩张 22
4.1 5G 各类新增应用放量时间节奏 22
4.2 香农定律指引无线通信技术演进方向 22
4.3 5G 频段大幅增加 24
4.4 单部手机射频价值量变化 25
4.5 手机的主要频段及滤波器 ASP 26
5. 产业趋势三：射频模组化 29
5.1 射频模组的主要集成方案 30
5.2 射频模组化有利于减小射频模块面积 31
5.3 从 Qorvo 看射频模组化趋势 32
5.4 主要手机厂商的射频模组化比例 35
5.5 射频模组市场格局 35
5.6 射频模组化趋势下，有望掀起新一轮并购整合潮 36
6. 射频滤波器产业的行业格局与壁垒 37
6.1 滤波器产值持续增长 37
6.2 全球主要手机品牌的射频供应链 39
6.3 滤波器的供应格局 41
6.4 Murata 占据 FeMid 市场龙头地位 44
6.5 IDM 为射频滤波器主要运营模式 45
6.6 滤波器市场被海外垄断的背后在于专利的集中 46
6.7 射频巨头通过并购扩展技术能力 48
6.8 国际射频巨头盈利能力如何 51
7. 射频滤波器为寡头垄断市场，关注国产替代机会 53

7.1 射频滤波器国产化率仅为低个位数，替代空间广阔 53
7.2 华为在射频的布局 57
8. 投资建议 58
8.1 卓胜微 58
8.2 经纬辉开 59
8.3 天通股份 60
8.4 信维通信 61
8.5 麦捷科技 62
8.6 华天科技 63
8.7 通富微电 65
9. 风险提示 65
附录： 66
桥本研也——Saw 滤波器学术泰斗 66
射频滤波器的基础材料 67
Saw 滤波器主要工艺过程 69
Baw 滤波器制备流程 78

图表目录

图 1: 智能手机通信系统结构示意图 9
图 2: 射频前端领域各子行业的市场规模 10
图 3: 2017 年射频市场占比 10
图 4: 2023 年射频市场占比 10
图 5: 2016 至 2025 年滤波器市场空间（亿美元） 11
图 6: 声学滤波器产品细分 11
图 7: 声学滤波器产品频谱覆盖情况 12
图 8: Saw 元件示意图 12
图 9: 基本 Saw 滤波器示意图 13
图 10: 基本 Baw 滤波器示意图 13
图 11: 硅反面刻蚀型结构图 14
图 12: 空气隙型结构图 14
图 13: Saw 和 Baw 的应用场景 16
图 14: 声学滤波器频段分布及市场分布 16
图 15: Saw 滤波器晶模成本变化 17
图 16: Saw、Baw、LTCC 滤波器的适用频率 17
图 17: 2015-2022 年各类型滤波器的市场渗透率 18
图 18: 移动通讯射频滤波器收入（亿美元） 18
图 19: 各类滤波器市场产值占比 19
图 20: 各地区滤波器频段要求 20
图 21: Baw 滤波器的投资产出比持续改善 20
图 22: Baw 滤波器发展路径 21
图 23: 晶圆级封装原理 21
图 24: 5G 的主要应用普及时间表 22
图 25: 香农公式因子拆解 23
图 26: 2023 年 5G 手机市场渗透率 23
图 27: 5G 新增频段 24
图 28: 全球 4G、5G 射频前端芯片年产值（亿美元） 25
图 29: 2G 到 5G 单部手机的射频前端价值量 25
图 30: 2G 到 5G 单部手机射频价值量 26
图 31: SIP 封装应用于智能手机 29
图 32: 2018-2025 年分立器件与模组市场规模（亿美元） 30
图 33: 5G 手机射频前端结构 30
图 34: 典型射频前端设计方案 30
图 35: PAMid 、FEMid 的物理结构及主要供应商 31
图 36: Saw/Baw 滤波器/双工器尺寸趋势 32
图 37: Saw/Baw 滤波器/双工器密度趋势 32
图 38: Qorvo 的 PAMiD 模块中的 Baw 滤波器 32
图 39: Qorvo 的 Phase 持续整合 33

图 40：Qorvo 射频前端产品发展趋势 33
图 41：双工器、三工器和多工器 34
图 42：Saw 双工器原理图 34
图 43：各主要手机品牌的射频模组渗透率快速提升 35
图 44：2018~2019 年各企业射频模组业务增速 36
图 45：2019 年射频模组市场格局 36
图 46：射频前端厂商合并趋势 37
图 47：2G 手机到 5G 手机的射频滤波器用量、单机 ASP 及市场规模 38
图 48：全球滤波器出货量（6 寸，万片） 38
图 49：中国 Saw 滤波器产量及需求量（亿颗） 39
图 50：射频前端供应链 39
图 51：知名手机品牌 2018~2019 年旗舰产品中的主要器件供应商 40
图 52：17 款低端至高端智能手机中射频器件供应商面积占比 40
图 53：17 款低端至高端智能手机中射频器件供应商成本占比 41
图 54：射频滤波器主要技术方向及代表厂商 42
图 55：滤波器主要厂商及份额 43
图 56：双工器主要厂商及份额 43
图 57：2019 年 Saw 滤波器市场份额 44
图 58：2019 年 Baw 滤波器市场份额 44
图 59：Saw 滤波器主要厂商 44
图 60：FEMiD 模组各大厂商市场占比 45
图 61：2019 年全球各地区集成电路企业运营模式占比 46
图 62：12 个声波滤波器专利申请人排名 47
图 63：历年滤波器专利申请情况 47
图 64：2017 年 Murata 代表性产品及全球份额 51
图 65：Skyworks 和 Qorvo 收入对比（百万美元） 52
图 66：Skyworks 和 Qorvo 毛利润对比（百万美元） 52
图 67：Skyworks 和 Qorvo 毛利率对比 52
图 68：Skyworks 和 Qorvo 净利率对比 52
图 69：Broadcom 公司近三年第一季度营业情况（亿美元） 53
图 70：中高频 LTE 频段双工器 RSFD1702C 56
图 71：中高频 LTE 频段双工器 RSFD2502C 56
图 72：开元通信 N41 滤波器介绍 56
图 73：卓胜微近年营收情况 59
图 74：卓胜微近年盈利能力 59
图 75：经纬辉开近年营收情况 60
图 76：经纬辉开近年盈利能力 60
图 77：天通股份近年营收情况 61
图 78：天通股份近年盈利能力 61
图 79：信维通信近年营收情况 61
图 80：信维通信近年盈利能力 61
图 81：麦捷科技近年营收情况 63

图 82：麦捷科技近年盈利能力 63
图 83：华天科技 eSiFO 扇出技术 64
图 84：华天科技近年营收情况 64
图 85：华天科技近年盈利能力 64
图 86：通富微电近年营收情况 65
图 87：通富微电近年盈利能力 65
图 88：Saw 设备基本结构 67
图 89：0.5 微米列宽的 IDT 示意图 67
图 90：六寸黑化铌酸锂晶片 68
图 91：四寸黑化钽酸锂晶片 68
图 92：铌酸锂晶体、晶片 69
图 93：钽酸锂晶体 69
图 94：射频滤波器生产工艺流程 70
图 95：Saw 滤波器工作原理 71
图 96：石英压电晶体 71
图 97：非压电立方晶体 71
图 98：Saw 滤波器串并联结构 72
图 99：Murata 生产的 FAJ15 模组中应用了 TC-Saw 技术 73
图 100：Saw 滤波器（空气桥状、指状组合型传感器截面） 74
图 101：用于制造声表面波传感器的蚀刻和剥离工艺的工艺图 75
图 102：RF Saw 滤波器封装流程 77
图 103：M 系列封装工艺 77
图 104：Baw 滤波器的设计流程 78
图 105：梯形 Baw 滤波器 79
图 106：网格形 Baw 滤波器 79
图 107：Baw-SMR 原理图 81
图 108：Baw-SMR 制备工艺流程图 82
图 109：薄膜型 Fbar 82
图 110：空气隙型 Fbar 82
图 111：Baw-Fbar 空气隙型原理图 83
图 112：iPhone 6s Plus 中搭载的 Avago Fbar-Baw 滤波器 84

表 1：Baw 和 Saw 滤波器技术比较 15
表 2：射频滤波器的主要技术路线及产品特点 15
表 3：2015-2020 年射频前端链路的变化 24
表 4：3G、4G 手机的射频滤波器价值量及构成（美元） 26
表 5：MT6177 芯片 Saw 用料列表 27
表 6：全球射频巨头的射频产品线组合情况 36
表 7：海外射频巨头厂商整合并购情况 37
表 8：全球主要滤波器厂商 43
表 9：滤波器学术领域被引频次较高文献集中在 2005 年之前论文 48
表 10：各厂商射频前端生产线发展历程 49

表 11：各厂商扩产原因及情况 50
表 12：国内厂商滤波器业务现状梳理 54
表 13：华为哈勃投资的企业概况 57
表 14：公司募集资金流向（万元） 58
表 15：高端射频滤波器芯片及模组研发和产业化项目（万元） 59
表 16：募集资金投资明细 63
表 17：桥本研也职务、获奖情况 67
表 18：Saw 压电基板材料在室温下的温度系数。* TK =温度系数 73
表 19：常见 IDT 材料的属性 74

1. 射频滤波器：射频前端中价值量最大的细分领域

1.1 射频滤波器的产品类别

手机终端的通信模块主要由天线、射频前端模块、射频收发模块、基带信号处理等组成。射频前端介于天线和射频收发模块之间，是移动智能终端产品的重要组成部分。射频前端器件主要包括滤波器(Filters)、低噪声放大器(LNA)、功率放大器(PA)、射频开关(RF Switch)、天线调谐开关(RF Antenna Switch)、双工器(duplexer)等。其中滤波器的功能是通过电容、电感、电阻等电学元件组合来将特定频率外的信号滤除，保留特定频段内的信号。

目前手机中常用的滤波器产品形态包括

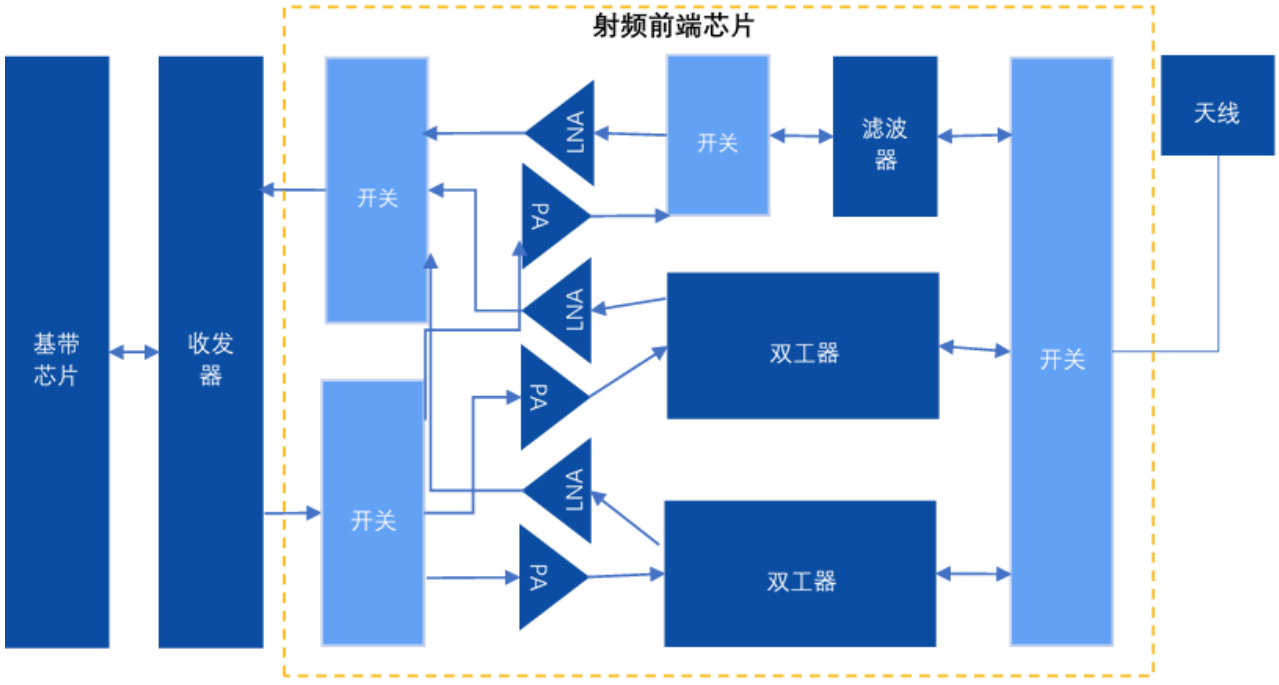
（1） 声表面波滤波器(Saw Filter，Surface Acoustic Wave Filter)

（2） 固贴式薄膜体声波滤波器(Baw Filter，SMR Bulk Acoustic Wave Filter)

（3） 薄膜腔体谐振滤波器(Fbar，Film Bulk Acoustic Resonator)

（4） 滤波器模组，如DiFEM(分集接受模组，集成射频开关和滤波器)、LFEM（集成射频开关、滤波器及LNA)、FeMid（集成开关、滤波器和双工器)、PaMid（集成多模式多频带PA和FeMid)

图1：智能手机通信系统结构示意图

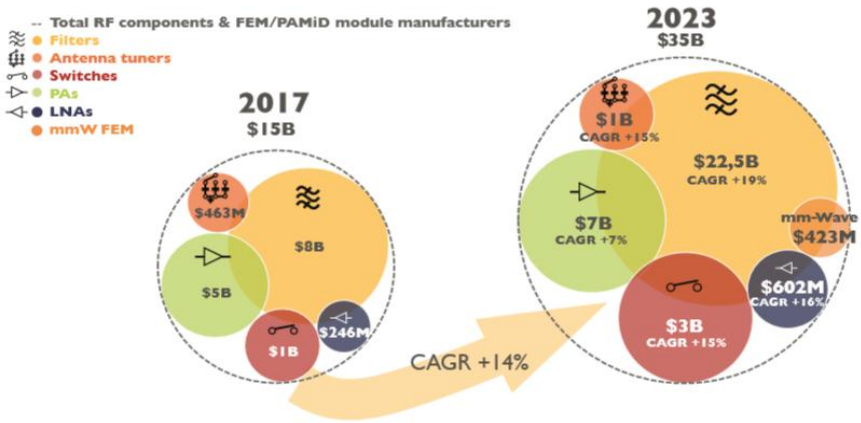


资料来源：Wind， 国元证券研究中心

5G驱动下，射频前端市场到2023年超过2400亿元。根据Yole数据，2017年全球射频前端市场规模约为150亿美金，预计到2023年射频前端产值将达到350亿美金（折合2434亿元)。其中，射频滤波器市场规模达225亿美金（折合1565亿元)，PA

市场规模达 70 亿美金，射频开关市场达 30 亿美金，射频 Tuner 市场达 10 亿美金，LNA 市场达 6 亿美金，毫米波射频模组市场达 4.2 亿美金。

图2：射频前端领域各子行业的市场规模

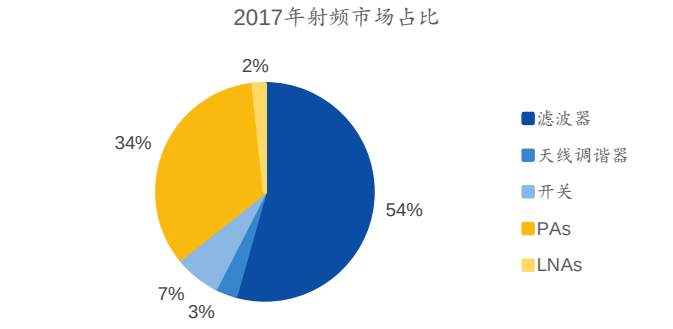


资料来源：Yole，国元证券研究中心

1.2 射频滤波器是射频领域最大的子行业

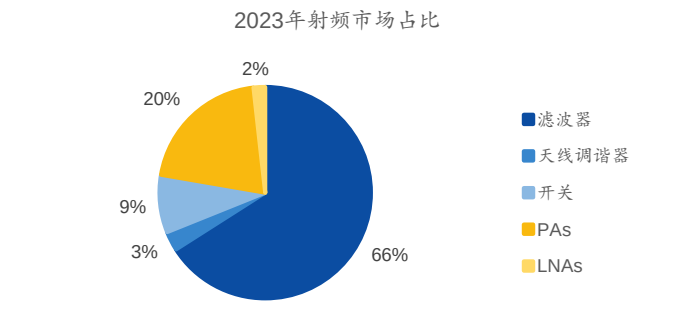
滤波器是射频前端各领域产值占比最高的产品，据 Resonant 数据，2020 年滤波器占射频前端市场份额将达 50%以上。从射频前端使用滤波器的价值量来看，伴随着频段的增多，滤波器在射频前端价值量占比在扩大。根据 Qorvo 的预测，滤波器在射频器件中的重要性越来越明显，滤波器的价值占比也从 3G 终端的 33%提升到全网通 LTE 终端的 57%。据中国产业信息网预测，到 5G 时代，滤波器的应用量将进一步增加（特别是体声波滤波器），单台手机的滤波器价值将达到 10 美元以上。滤波器已经超越 PA 成为整个射频前端模块市场中最重要的组成部分。

图3：2017 年射频市场占比



资料来源：Qorvo，国元证券研究中心

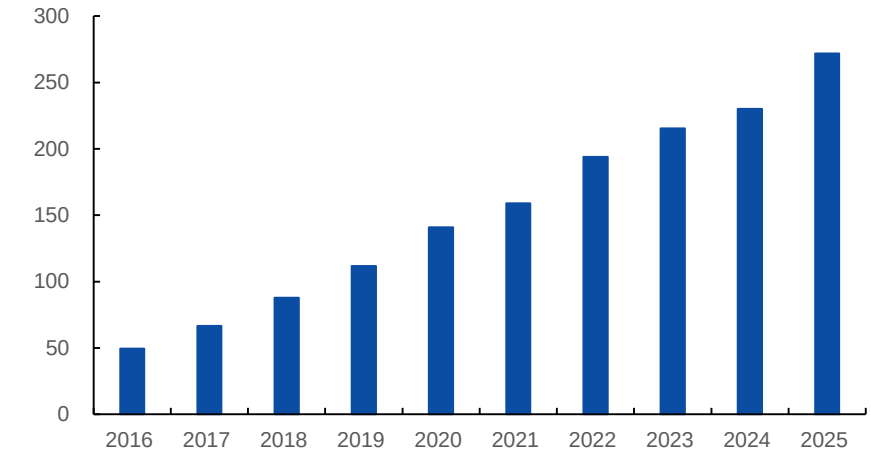
图4：2023 年射频市场占比



资料来源：Qorvo，国元证券研究中心

另据 Resonant 数据，射频前端 2020 年市场规模约为 220 亿美元（折合 1530 亿元），滤波器市场规模约为 150 亿美元（折合 1043 亿元）。到 2025 年，射频前端市场规模将达到 400 亿美元，滤波器市场规模将达到 280 亿美元。

图5：2016 至 2025 年滤波器市场空间（亿美元）



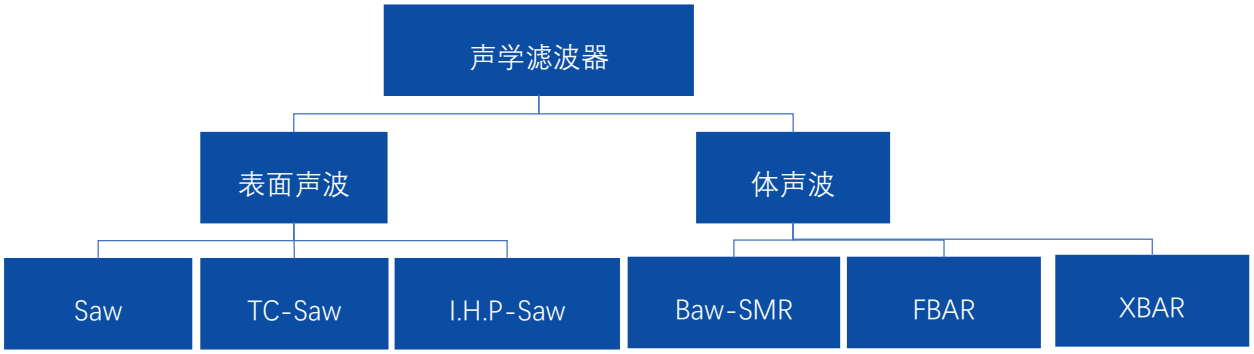
资料来源：Resonant， 国元证券研究中心

2. 射频滤波器的主要技术路线

2.1 射频滤波器产品分为表声波、体声波两大技术方向

射频滤波器可分为表声波滤波器和体声波滤波器，其中表声波滤波器细分为 Saw 滤波器、TC-Saw、I.H.P-Saw（Incredible High Performance Saw）等。体声波滤波器细分为 Baw、FBAR、XBAR 滤波器等。

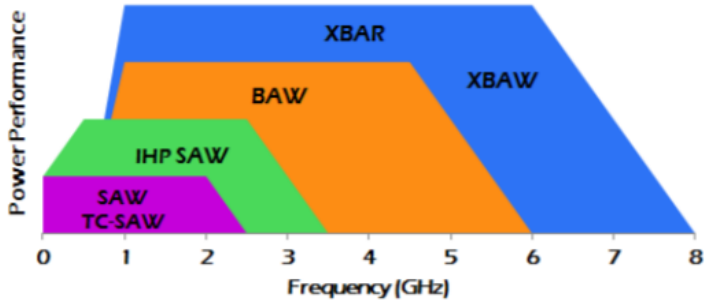
图6：声学滤波器产品细分



资料来源：滤波器， 国元证券研究中心

体声波滤波器适用频率显著高于表声波滤波器，其中，XBAR 产品最高适用频率可达 8GHz。而由 Murata 率先推出的 IHP-Saw 滤波器最高适用频率达 3.5GHz，可与常规 Baw 滤波器高频性能相当。

图7:声学滤波器产品频谱覆盖情况



资料来源：Akoustis，Yole，Oppenheimer & Co. Estimate，国元证券研究中心

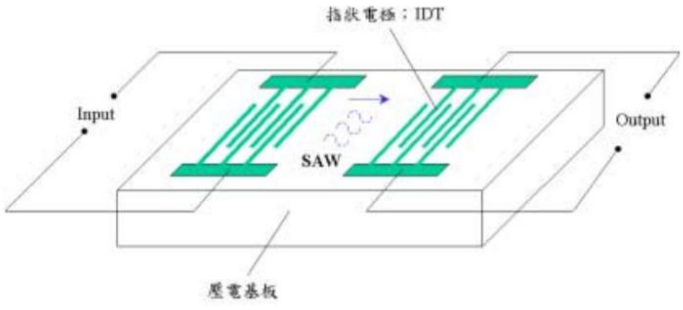
2.2 三类主流射频滤波器：Saw、Baw-SMR、Fbar

2.2.1 声表面波滤波器（Saw Filter）

Saw 是一种沿着固体表面传播的声波，一个基本的 Saw 滤波器是由压电材料和两个 IDT(interdigital transducer)组成。IDT 核心作用在能量转换，在输出端把接收的声波转变成电信号，在输入端把接收的电信号转变成声波。这种转变主要依赖中间的压电材料，压电材料的晶体受到外界压力时会发生形变，晶体内原子间距离发生变化，打破原来的正负电荷平衡，晶体表面产生电压，相反当晶体两端受到电压时，晶体也会发生形变。Saw 滤波器常用的压电材料有 $LiTaO_3$，$LiNbO_3$，SiO_2。

当 Saw 滤波器工作时，输入端 IDT 接收电压信号使压电材料产生机械压力并以声波形式沿着表面传播，而垂直方向上的声波幅度快速衰落，输出端 IDT 接收水平方向的声波，并转换为电信号。叉指换能器（IDT）由输入及输出埠的 IDT 电极组成。当在输出埠外加电压时，输入端的 IDT 电极会产生逆压电效应，将电压讯号转换为声能讯号，激发表面声波，并在压电基板上传播。当表面声波传至输出埠的 IDT 电极时，输出端的 IDT 电极会产生正压电效应，将接收之声波还原为电压信号。

图8:Saw 元件示意图



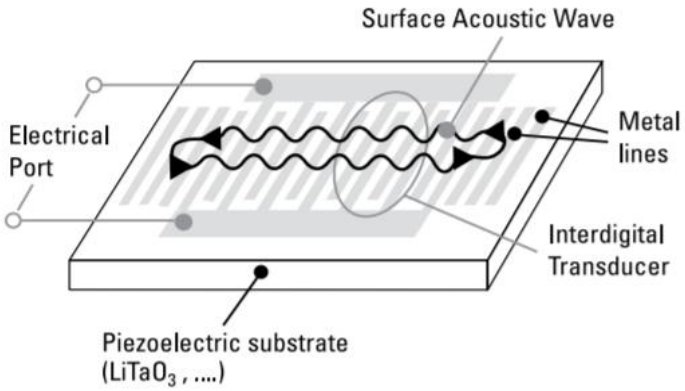
资料来源:《表面声波元件之设计及其在宽频振荡器之应用》，国元证券研究中心

Saw 的频率基本可以参考公式：F = V/λ，其中 V 是 Saw 的速率，大约为 3100m/s，λ 是 IDT 电极间距。从公式可以看出 Saw 滤波器的频率与 IDT 电极间距成反比，频率越高，IDT 电极间距越小。在 IDT 小间距下，电流密度太大会导致电子迁移和发热

问题，所以 Saw 滤波器不太适合 2.5GHz 以上的频率。Saw 滤波器对温度变化也敏感，性能随温度升高而变差，温度升高时，基片材料的刚度变小，声波速度变小。

温度补偿滤波器(TC-Saw Filter)就是为了改善滤波器的温度性能，在 IDT 上增加保护涂层改善其温度特性，使其在温度升高时，刚度增加，改善温度特性的同时也会使得滤波器成本上升。

图9：基本 Saw 滤波器示意图

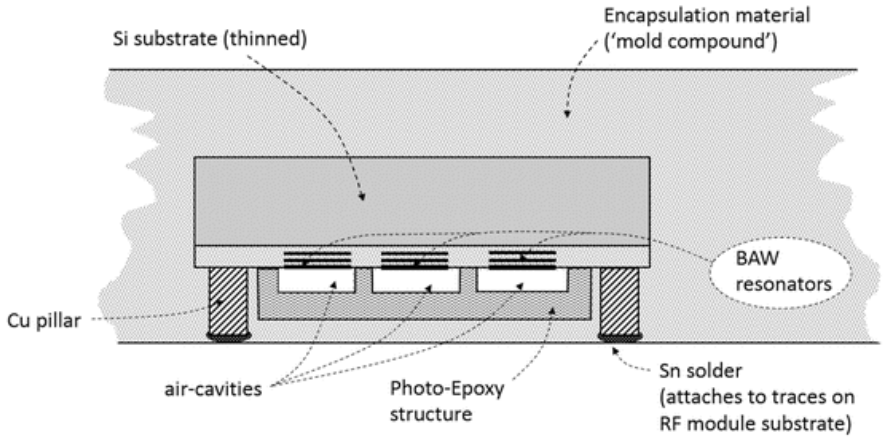


资料来源：Wind， 国元证券研究中心

2.2.2 体声波滤波器(Baw-SMR Filter)

与 Saw 滤波器不同，声波在 Baw 滤波器中是垂直传播的。Baw 滤波器采用石英晶体作为基板，基本结构是两个金属电极夹着压电薄膜，压电薄膜在 2GHz 下的厚度只有 2um，声波在压电层内震荡形成驻波，发生共振的频率由平板的厚度和电极的质量决定。为把声波留在压电层内震荡，震荡结构与外界环境必须有足够的隔离才能得到较小的插入损耗和较高的 Q 值。为防止声波进入基板层，在震荡结构下方增加布拉格反射层(Bragg reflector)，把声波反射到压电层里面，这就是 Baw-SMR(固体安装谐振器 Baw)。

图10： 基本 Baw 滤波器示意图



资料来源：Robert Aigner， 国元证券研究中心

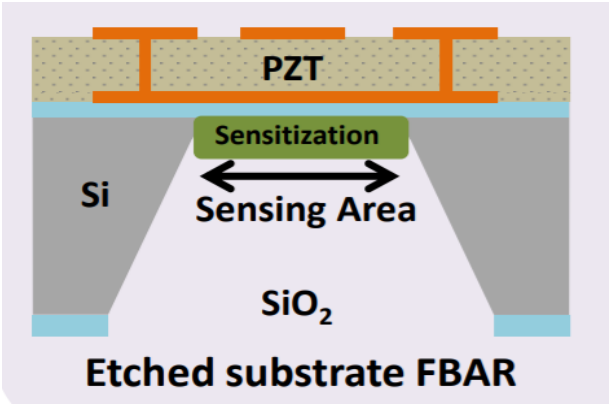
借助 Baw 技术，可以开发出异常陡峭过滤裙边的窄带滤波器。Baw 滤波器的尺寸也随着频率的增加而缩小，对温度变化也不敏感，非常适合在高频(频率大于 1.5GHz)下运用。Baw 滤波器可以处理高达 6GHz 的频率，并可用于 1.9GHz 以上的许多新的 LTE 频段。Baw 滤波器的工艺比 Saw/TC-Saw 复杂，价格也更昂贵。

2.2.3 薄膜腔体谐振滤波器(Fbar)

Fbar 与之前的滤波器不同，采用硅底板，借助 MEMS 技术和薄膜技术制造而来，包含硅反面刻蚀型(Membrane type)和空气隙型(Airgap type)。(1) 硅反面刻蚀型，这种 Fbar 是基于 MEMS 的体硅（Si）微加工技术，将 Si 片反面刻蚀，在压电震荡堆的下表面形成空气—金属交界面从而限制声波于压电震荡堆之内。此技术的缺点是由于大面积移除 Si 衬底，导致机械牢度降低。(2) 空气隙型，这种 Fbar 是基于 MEMS 的表面微加工技术，在硅片的上表面形成一个空气隙以限制声波于压电震荡堆之内。通过先填充牺牲材料最后再移除之的方法制备空气腔以形成空气—金属交界面。

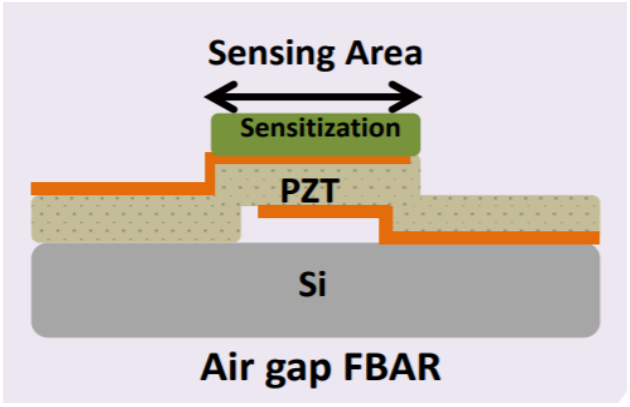
Fbar 滤波器与 Saw 滤波器相比，具备高 Q 值，工作频率可高达 10GHz，温度特性好，插入损耗小，高功率容量等优点。Fbar 是目前唯一可以与 RFIC 和 MMIC 集成的射频滤波器解决方案，且能以更低的价格提供更佳的性能，具有非常强的市场竞争力。

图11： 硅反面刻蚀型结构图



资料来源：Qorvo， 国元证券研究中心

图12： 空气隙型结构图



资料来源：Qorvo， 国元证券研究中心

2.3 Baw 与 Saw 的比较

目前滤波器技术包括 Saw 滤波器及 Baw 滤波器两大技术方向。其中 Saw 滤波器包括普通 Saw、TC-Saw、IHP Saw 滤波器；Baw 滤波器包括普通 Baw 滤波器、Fbar 滤波器、XBAR 滤波器。

Saw 滤波器是当前消费电子产品大规模使用的滤波器元件，其成本和复杂程度较低，主要适用于低频段通讯。而 Baw 滤波器价格稍高，主要应用于高频段通讯。

比起 Saw 滤波器，Baw 滤波器因其较高的工作频率和功率容量优势而得到广泛认可。其中，Saw 滤波器较多应用在 4G 领域。而在 5G 时代，单晶及多晶 Baw 滤波器受到广泛应用。Baw 滤波器的低功耗，高隔离度和 CMOS 兼容性使其成为射频通信领域的要

器件。

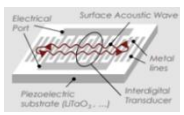
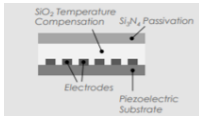
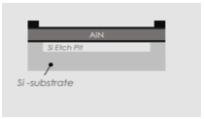
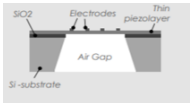
表1： Baw 和 Saw 滤波器技术比较

比较	Saw	Baw
原理	声波沿固体表面传播	声波在滤波器内垂直传播
特性	高稳定性，高 Q 值，抗干扰能力强	高稳定性，高 Q 值，耐高功率
适用频段	10MHz-2GHz	1.5GHz-6GHz，最高可 10GHz
成本	较高	高
插入损耗	较低	很低
温度敏感性	高	低
主要厂商	Murata、TDK、TaiyoYuden	Broadcom、Qorvo

资料来源：Qorvo、国元证券研究中心

总体而言，Baw 滤波器的成本高于 Saw 滤波器，而温度敏感性、插入损耗特性以及频段和宽带表现方面，Baw 滤波器性能则显著优于 Saw 滤波器。为解决温度漂移问题，TC-Saw 可实现以较低的成本达到较高的温度稳定性，也被广泛应用于 4G 设备中。在 5G 时代，收到频率因素影响，Baw 滤波器将更多地被应用于终端设备中。

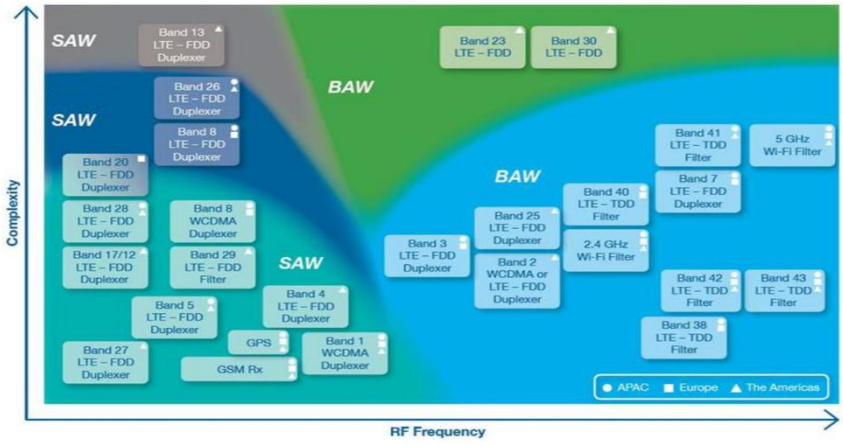
表2： 射频滤波器的主要技术路线及产品特点

	Saw	TC-Saw	Fbar	Baw
原理				
应用	3G&4G	4G	4G&5G	4G&5G
频率	1.5Ghz	2Ghz	2.5Ghz 以上	2.5Ghz 以上
成本	低	中	中高	高
复杂程度	低	中	高	中高
性能	要达到最高性能需要细致的控制流程	需严格控温	低损耗特性	在超宽带中表现最佳

资料来源：Resonant，国元证券研究中心

目前，**Saw 滤波器主要应用场景为低频率频段，Baw 滤波器则主要应用于高频率频段。**美国、欧洲目前对于高频率频段的应用更为频繁。

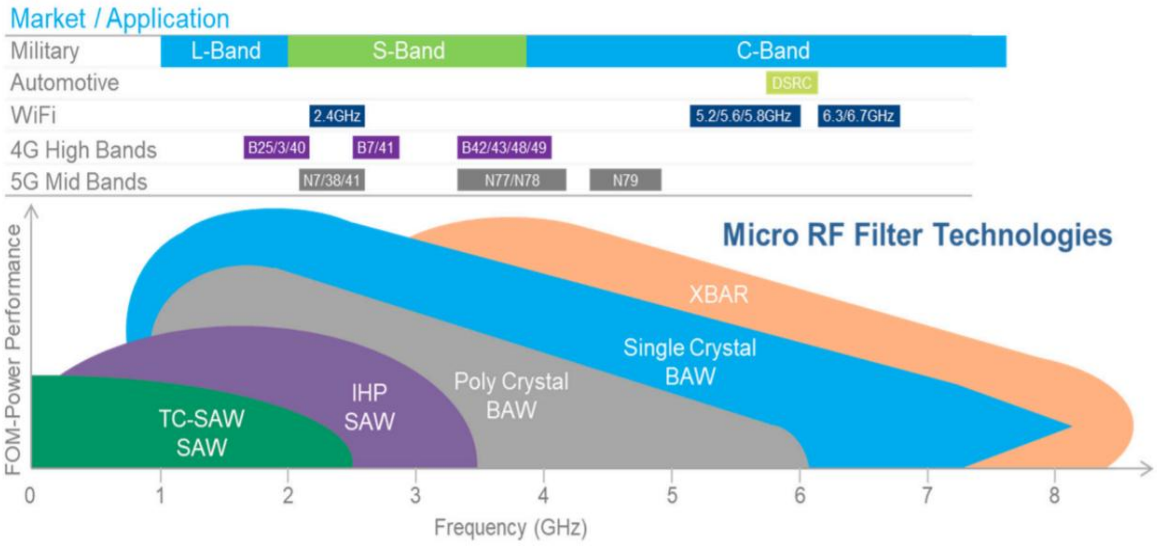
图13： Saw 和 Baw 的应用场景



资料来源：Qorvo， 国元证券研究中心

比起 Saw 滤波器，Baw 滤波器因其较高的工作频率和功率容量优势而得到广泛认可。各种滤波器技术可使用在军事、汽车等领域，其中，Saw 滤波器较多应用在 4G 领域。而在 5G 时代，单晶及多晶 Baw 滤波器受到广泛应用。Baw 滤波器的低功耗，高隔离度和 CMOS 兼容性使其成为 RF 通信领域的主要器件。

图14： 声学滤波器频段分布及市场分布



资料来源：*Materials, Design, and Characteristics of Bulk Acoustic Wave Resonator: A Review*， 国元证券研究中心

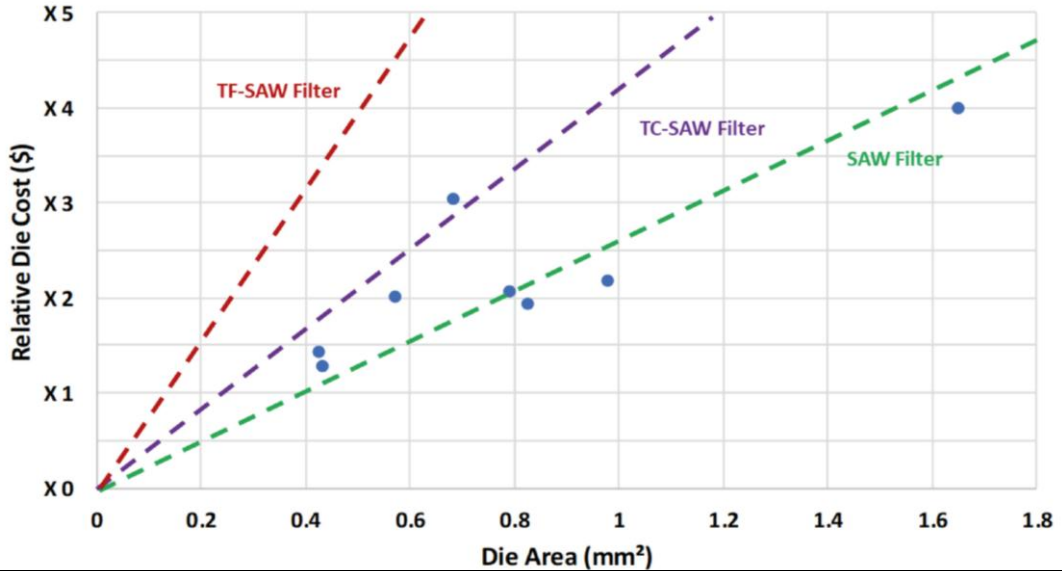
3. 产业趋势一：高频化带来的技术变革

3.1 Saw 滤波器经历了普通 Saw、TC-Saw、TF-Saw 三个技术世代

不同种类的 Saw 滤波器晶模面积有所不同。TF-Saw 滤波器晶模面积较低，TC-Saw 滤波器晶模面积中等，而 Saw 滤波器的晶模面积较高。而 TF-Saw 滤波器晶模成本较高，

TC-Saw 和 Saw 滤波器晶模成本更低。

图15： Saw 滤波器晶模成本变化

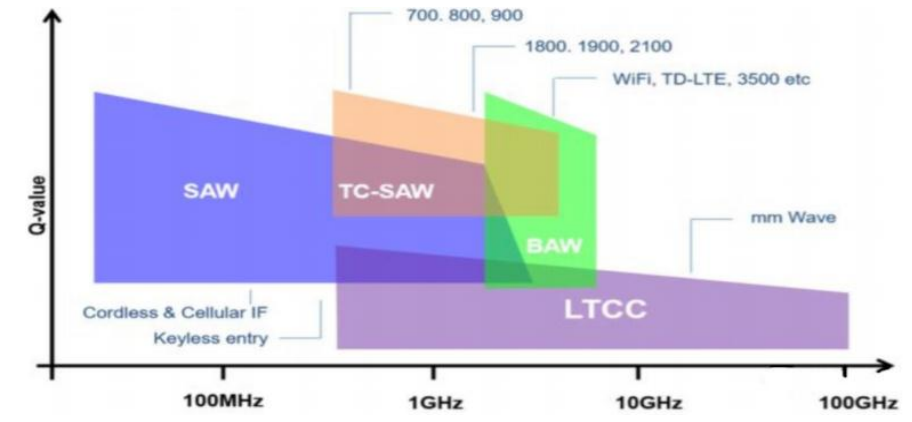


资料来源：Yole， 国元证券研究中心

3.2 宽频带滤波应用以 LTCC 方案为主

LTCC(低温共烧陶瓷)滤波器可以满足更高频率和更宽带宽的 5GNR 应用需求。LTCC 滤波器的显著优点是尺寸小、性能优良、可靠性高、成本低，缺点是 Q 值低，非常适合更宽带宽和更高频率的应用。5G 的发展伴随着更多更高的频段，同时也有更大带宽的需求，Saw 和 Baw 滤波器已不能很好的满足 5G 对高频高带宽的需求，恰好 LTCC 滤波器具备相当宽松的裙边特性，可满足 5G sub-6GHz 中的频段 n77、n78 对宽带宽要求。且与 Saw 滤波器相比，LTCC 具备更高的功率处理能力，正好满足 5G sub-6 标准中 HPUE 的要求。随着 5G 更大带宽的需求，在一定条件下需要使用适合大带宽的 LTCC 滤波器，5G 发展的同时为 LTCC 滤波器带来发展机遇。

图16： Saw、Baw、LTCC 滤波器的适用频率

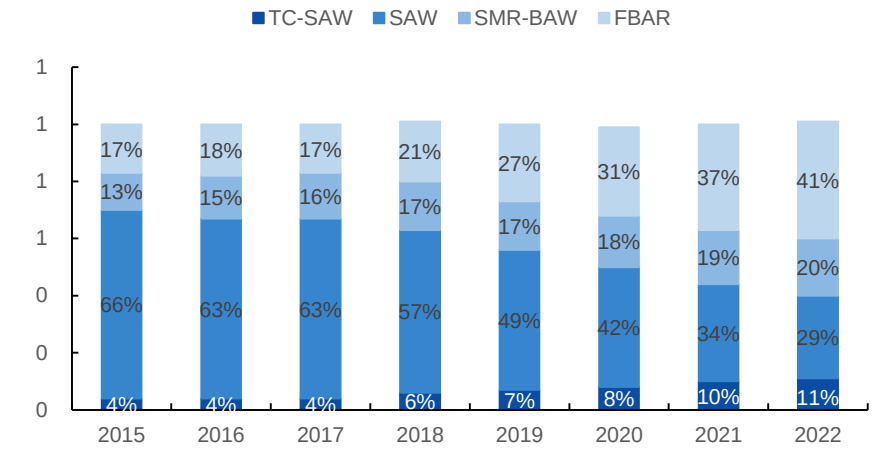


资料来源：Murata， 国元证券研究中心

3.3 5G 时代，Baw 滤波器渗透率不断攀升

Saw 滤波器适用于低频段，Baw 滤波器适用于高频段，2G/3G/4G 时代，Saw 滤波器凭借较低成本优势主导射频滤波器市场，占据射频滤波器市场大部分的市场份额。近些年来，通信技术的不断发展带动频带从低频向高频发展，在高频具有性能优势的 Baw 滤波器逐渐兴起，市场份额不断攀升。根据 Yole 预测数据显示，2015 年，Baw(包括 SMR 和 Fbar)滤波器的市场渗透率为 30%,2019 年 Baw 滤波器市场渗透率将达到 44%。**5G 时代来临，5G 手机出货量和市场渗透率的提升将带动 Baw 滤波器市场渗透率的继续上升**，Yole 预测到 2022 年，Baw 滤波器将占据射频滤波器市场 61%的市场份额，成为滤波器市场的主流。

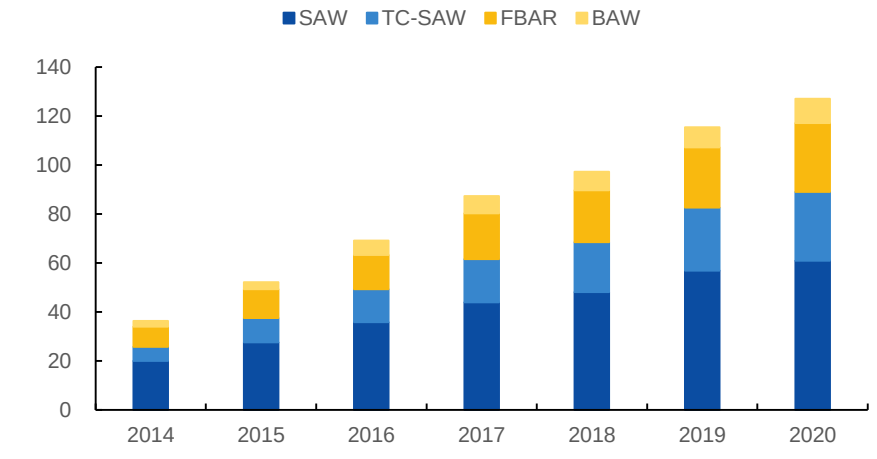
图17： 2015-2022 年各类型滤波器的市场渗透率



资料来源：未来智库， 国元证券研究中心

据 Akoustis 公司预测，2019 年到 2020 年 Fbar 收入将由 24.60 亿美元增长至 28.12 亿美元，而 Baw 滤波器收入将从 8.20 亿美元增长至 9.96 亿美元。

图18： 移动通讯射频滤波器收入（亿美元）



资料来源：Akoustis，国元证券研究中心

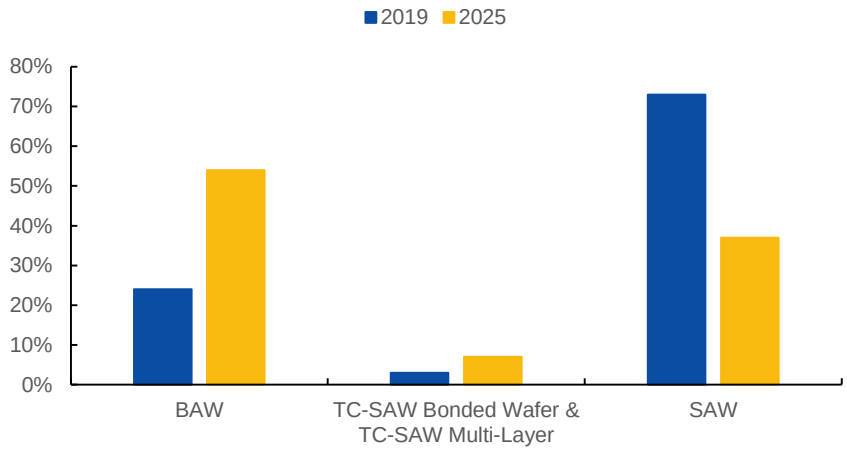
3.4 市场占比：Baw 升高，Saw 下降

5G 典型候选频段主要包括 6GHz、15GHz、18GHz、28GHz、38GHz、45GHz、60GHz 和 72GHz 等，频段越高，信道传播路损越大。**高频通信，意味着 Baw 滤波器需求量将快速提升。**

在高频通信领域，Baw 被更加多的厂商所接受。Baw 滤波器内部的由两个金属电极夹着压电薄膜形成，声波在压电薄膜中垂直传播，形成大于 2.5Ghz 的驻波。Baw 滤波器可实现高频段、低插入损耗和高 Q 值，是高性能射频系统的首选。目前某些手机中同时拥有 2G、3G、4G、WIFI、蓝牙等通信制式，则可为了降低整体成本部分选择 Saw 滤波器，但在高频通信，尤其是未来 5G 要求的 3Ghz 以上的频谱时，则必须采用 Baw 滤波器。

目前市场上 Saw 和 TC-Saw 的使用率还较高，其中，TC-Saw Bonded 在 2016 年开始广泛应用，而 TC-Saw Multi-Layer 则在 2017 年开始投入应用。据智研咨询预测，2020 年中国 Saw 滤波器产量仅为 8 亿元，而需求达到 162 亿元。产量不及需求量的 10%。

图19： 各类滤波器市场产值占比

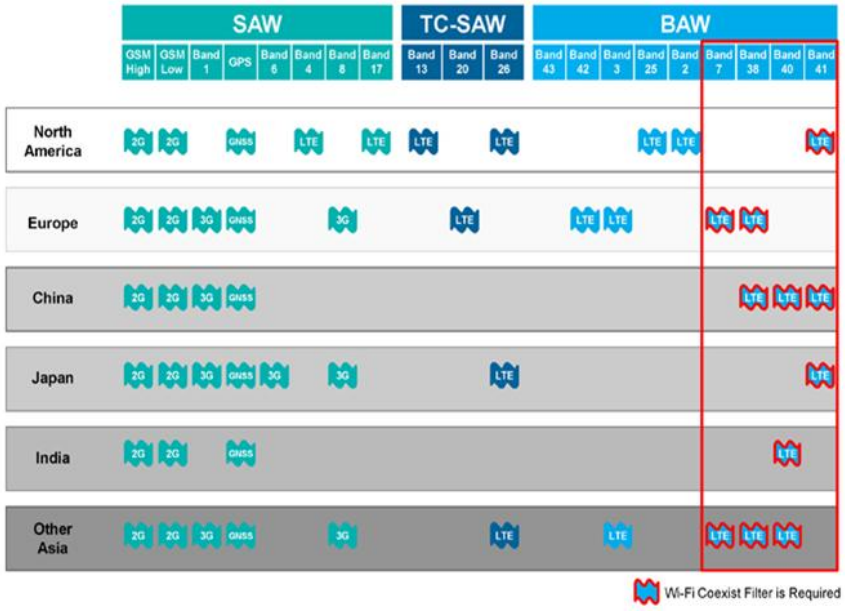


资料来源：Qorvo， 国元证券研究中心

3.5 WIFI 与 LTE 共存的频段以 Baw 滤波器方案为主

世界各地区对高频段滤波器的需求也不断上升，据 TriQuint 统计，北美、欧洲和日本市场对于 TC-Saw 和 Baw 滤波器的需求量均较大，需求频段多样。中国也在逐步提升其 Baw 滤波器频段的需求。其中，全球各市场均对 WIFI 与 LTE 共存滤波器有一定需求。例如 Band 7、Band 38、Band 40、Band 41 等频段中，WIFI 网络与 LTE 网络的频段相近，为了隔离两者之间的干扰，往往需要使用高性能 Baw 滤波器。

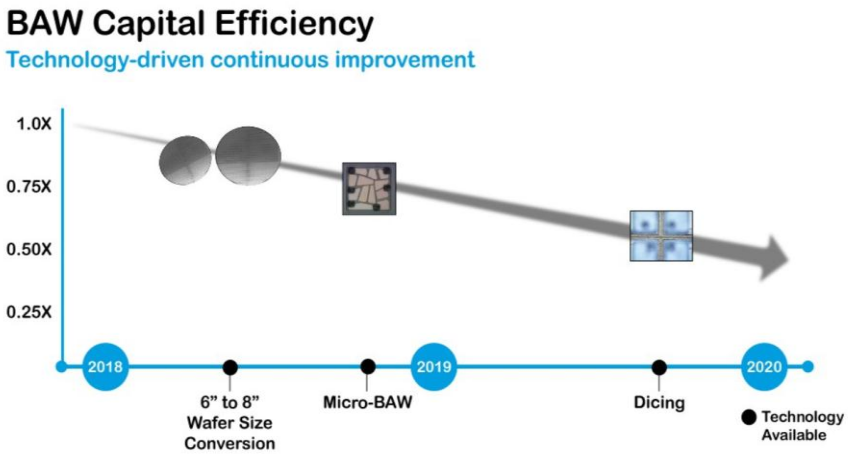
图20： 各地区滤波器频段要求



资料来源：TriQuint，国元证券研究中心

以 Qorvo 为例，Baw 滤波器的资本效益不断提升。随着技术革新，滤波器尺寸不断减小，预计资金投入与产出比将在 2020 年降至 50%左右。

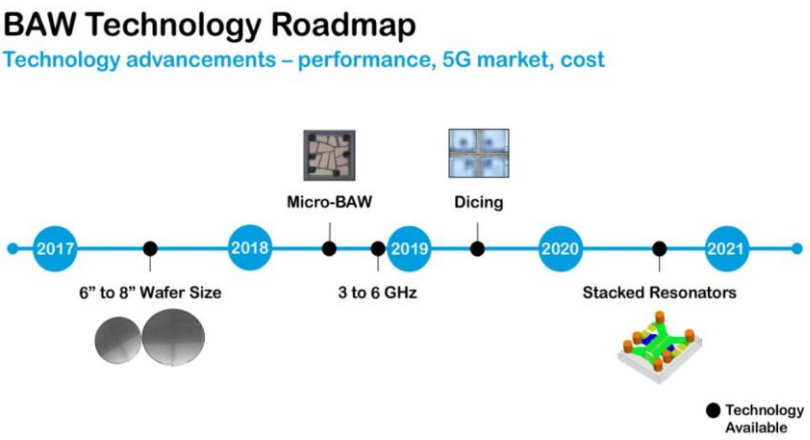
图21： Baw 滤波器的投资产出比持续改善



资料来源：Qorvo， 国元证券研究中心

Qorvo 预测，Baw 技术发展路径将以尺寸及频率为重点。**目前，Baw 已从 2017 年的 6 至 8 寸晶圆缩小至 Micro-Baw 级别，实现微小化和高频化的技术更新，未来还将推出栈式谐振器等技术。**

图22： Baw 滤波器发展路径



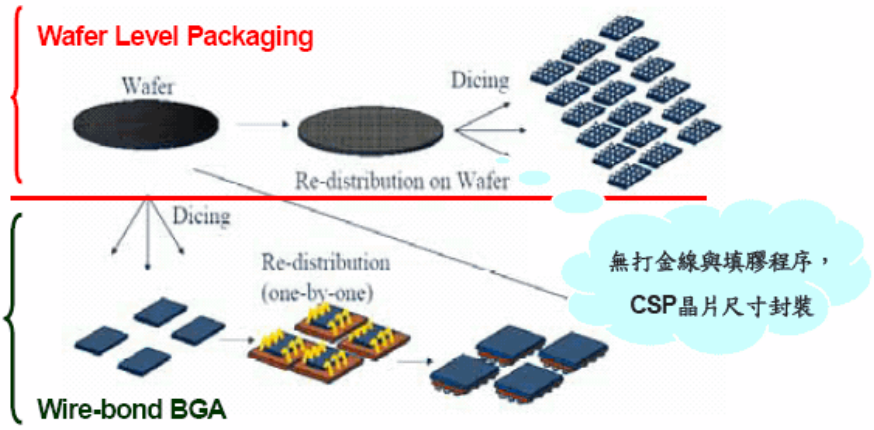
资料来源：Qorvo， 国元证券研究中心

3.6 高端滤波器逐渐使用 WLP 封装替代 CSP 封装形式

技术变化作为一个先行指标，能跟上技术变化的厂商有可能在下一轮新需求启动的时候率先抢占市场份额。

滤波器厂商目前已纷纷根据 EPCOS 的封装技术改进推出 CSP 封装技术，其体积小、重量轻，输出输入端口数增多，电性能也更好。但随着 Saw 器件向高频、小型化方向发展，尺寸更小的晶圆级封装技术（WLP）开始出现。采用 WLP 封装技术的 Saw 滤波器尺寸最小为 0.8×0.6×0.3 立方毫米，双工器尺寸最小为 1.8×1.2×0.3 立方毫米。单频器件 WLP 级封装面积为 CSP 级封装面积的 50%，双工器尺寸相同。WLP 封装工艺比 CSP 更为先进，采用 3D 光刻工艺，国外仅有日本 TDK-EPCOS 在 2011 年开始量产。

图23： 晶圆级封装原理



资料来源：Georgia Institute of Technology， 国元证券研究中心

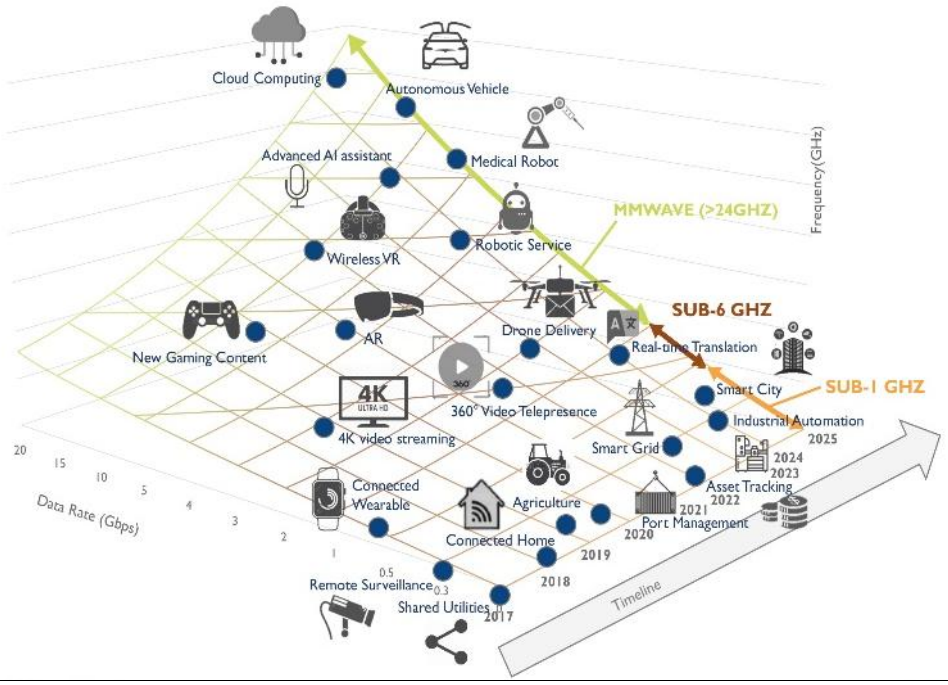
晶圆级封装直接在晶圆上进行大多数或是全部的封装测试程序，之后再进行切割(singulation)制成单颗组件，封装尺寸几乎与芯片相同，具备可靠性高、电磁兼容性好等优点。WLP 封装兼具较小封装尺寸与较佳电性表现的优势，目前多用于低脚数消费性 IC 的封装应用。

4. 产业趋势二：5G 时代，射频滤波器价值量大幅扩张

4.1 5G 各类新增应用放量时间节奏

5G 时代，射频前端技术的低频应用场景包括农业、实时翻译等，高频应用场景包括无人驾驶、云计算等，不同数据传输速度下，应用场景也有较大区别。在这样丰富的应用场景下，射频前端价值将大大增加。

图24： 5G 的主要应用普及时间表

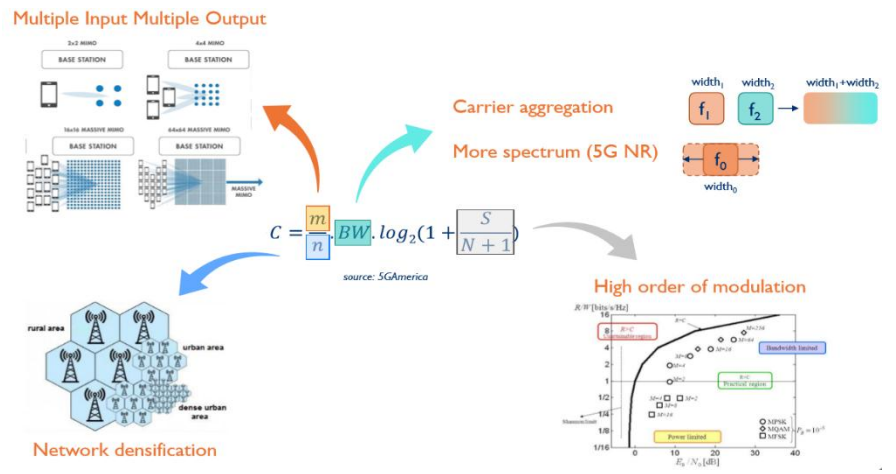


资料来源：Yole， 国元证券研究中心

4.2 香农定律指引无线通信技术演进方向

5G 技术实现信息传送速率的进一步加快。提到信息传送速率，自然离不开香农定理：$C = (M/N)*BW*\log_2(1+SINR)$。其中，C 为最大信息传送速率，BW 为带宽，SINR 为信噪比，M 为传输和接收的天线数量，1/N 为基站网络的密度。5G 的核心技术就是通过增加基站密度、采用 MIMO 和载波聚合技术、提高带宽、高阶调制以提高频率效率来提高 M/N、BW、SINR，进而提高最大信息传送速率。

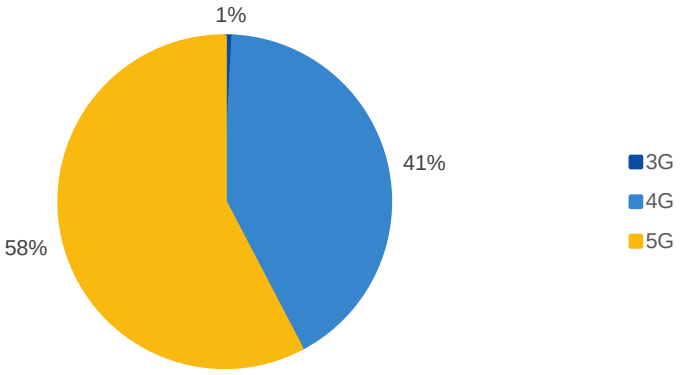
图25： 香农公式因子拆解



资料来源：Yole， 国元证券研究中心

受益于 5G 手机换机潮，射频滤波器需求量即将迎来新一轮增长。近年来，全球智能手机总出货量趋于平稳，但出货结构有所变化。2010 年 4G 商用开始，2011 至 2014 年，4G 手机出货量 CAGR 达 200%。2020 年 5G 商用开始，预计 5G 手机出货量迎来高速增长。Air Standard 预测，到 2025 年 5G Sub-6GHz 手机出货量将达 5.42 亿部，年复合增长率达 69%，mmWave 5G 手机出货量将达 7900 万部，年复合增长率达 64%，5G 手机的市场渗透率不断攀升，到 2025 年，5G 手机市场渗透率达 28.99%。5G 智能手机的单机所需射频滤波器的数量高于非 5G 手机，5G 手机市场渗透率的不断攀升将加速射频滤波器市场需求的增长。

图26： 2023 年 5G 手机市场渗透率

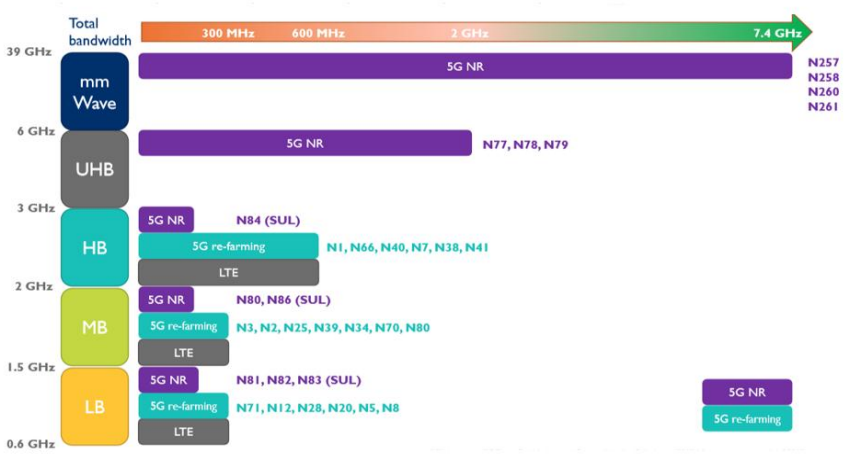


资料来源：Yole， 国元证券研究中心

4.3 5G 频段大幅增加

5G 通信技术发展带来频段增加。5G 网络的部署采用的频段有两种：FR1 和 FR2。FR1 是低频段 Sub-6GHz，频率范围是 450MHz-6GHz，特征是传输距离远、覆盖面积大；FR2 是高频段，也就是毫米波，频率范围是 24.25GHz-52.60GHz，特点是传输速度快，容量大，但覆盖面积有限。5GNR 除了覆盖部分 LTE 频段外，同时还新增了 N77、N78、N79、N257、N258、N260、N261 频段。

图27： 5G 新增频段



资料来源：Yole，国元证券研究中心

Qorvo 预测，在 2020 年，随着 5G 发展，射频 PCB 尺寸将大幅减小 35%，RF 通路数量上升至 300 以上，带通滤波器需求数量也较 4G、LTE 时代大大增长。与此同时，传输信号最大带宽将达 100MHz。

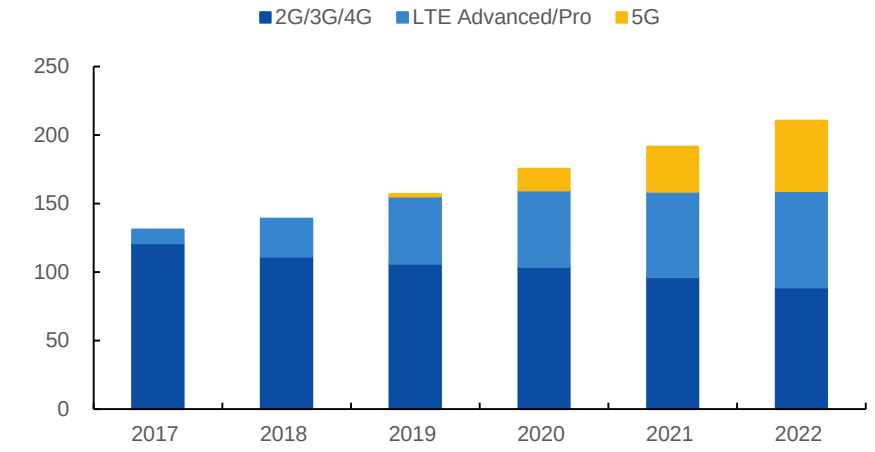
表3： 2015-2020 年射频前端链路的变化

			LTE Advanced	5G
特点	2015	2017	2019	2020
RF 通路数量	14	22	>100	>300
带通滤波器数量	7	12	18	>25
一个节点上能搭载的用于载波聚合的滤波器最大数量	2	6	8	15
标准要求的临界隔离规范	2	36	51	74
传输信号最大带宽	20MHz	40MHz	60MHz	100MHz
二级功率（3dB 以上高功率）	No	No	Yes	Yes
LNA 集成	No	No	Yes	Yes
ET 或 APT	APT	ET	ET	ET&APT
递增 RF PCB 尺寸变化	Baseline	25%	50%	-35%

资料来源：Qorvo，国元证券研究中心

据 Yole 预测，在 2022 年，应用于 5G 产品的射频前端器件价值将达 51.4 亿美元，而应用于 2G、3G、4G 以及 LTE 的射频前端器件价值保持原有水平，射频前端整体价值稳步上涨。

图28： 全球 4G、5G 射频前端芯片年产值（亿美元）

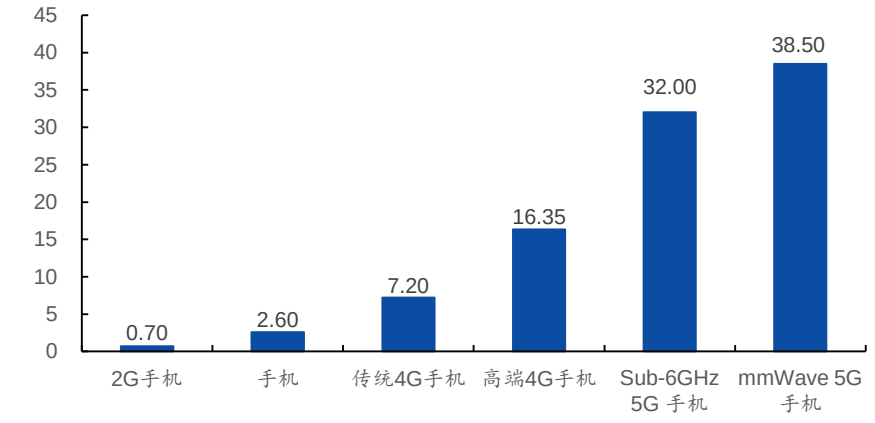


资料来源：Yole， 国元证券研究中心

4.4 单部手机射频价值量变化

随着 5G 的到来，更多频段和技术带来了相应射频前端单机价值量增长迅速，作为射频前端最大业务板块，未来滤波器价值量迅速扩张。据 Yole 预测，2020 年单台高端 4G 手机的射频前端芯片价值量高达 16.35 美金，而 Sub-6Ghz 5G 手机和 mmWave 5G 手机价值则为 32 美元和 38.5 美金。

图29： 2G 到 5G 单部手机的射频前端价值量（美金）



资料来源：Yole， 国元证券研究中心

5G 智能手机单机射频前端价值量相比非 5G 手机高得多。5G 时代的到来，智能手机需要接收更多频段的射频信号，为保证手机的性能，单机射频前端价值量也不断上升。

据 Yole 预测，5G 低频段智能手机射频芯片价值量达 32 美元，毫米波手机单机射频芯片价值达 38.5 美元，而高端 4G 智能手机单机射频芯片价值量才 16.35 美元，5G 模式下射频前端芯片的价值量相对于 5G 模式下的射频前端芯片增长了大约一倍。而 Skyworks 则预测，5G 手机射频前端价值量为 25 美元，远高于 18 美元的 4G 手机射频前端价值量。其中，5G 手机滤波器数量将从 4G 手机中的 40 颗上升至 70 颗。

图30： 2G 到 5G 单部手机射频价值量



资料来源：Skyworks， 国元证券研究中心

3G、4G 手机射频价值量构成中，滤波器也占到了较大比重。在全国漫游 LTE 设备中，总滤波器价值量达 7.15 美元，高于 PA、开关价值量，也比典型 3G 手机中射频滤波器总价值量高出数倍。

表4： 3G、4G 手机的射频滤波器价值量及构成（美元）

	典型 3G 设备	区域性 LTE 设备	全国漫游 LTE 设备
Saw 滤波器	1.25	2	2.25
TC-Saw 滤波器	0	0.5	1.5
Baw 滤波器	0	1.5	3.5
总滤波器含量	1.25	4	7.25
PA、开关	2.5	3.5	5.5

资料来源：苏州捷研芯纳米科技有限公司，国元证券研究中心

4.5 手机的主要频段及滤波器 ASP

随着从 4G 到 5G 的发展和技术的进步，射频元件在手机中占用的比重越来越高，Saw 滤波器的在手机产品上的应用的市场前景一片光明。目前国内手机产品主要采用 Saw 滤波器，1814 双工器，1411-1109 的单滤波器，1814-1511 的二合一滤波器都是市场

上主流的封装。其中双工器主要朝 1612 封装尺寸发展，主流的单滤波器的尺寸是 1411-1109。以 MTK 手机为例，单个手机中射频前端芯片 MT6177 中的滤波器用量大约为 30 至 40 只。未来 5G 要实现全球通需支持 90 多个频段，意味着需要用到的滤波器多达上百个。

单个芯片用料及其价值如下表所示，预估以 MTK 手机射频前端芯片 MT6177 的价值约在 5.7 美元至 12.8 美元不等。未来，5G 进步要求滤波器更小型化，以便单台手机中搭载更多滤波器，滤波器单机价值也将显著提升。

表5： MT6177 芯片 Saw 用料列表

制式	使用频段	用途	频段	尺寸	用量	单价
Saw 双工器	FDD 3M8B	FDD_LTE:B1/3/5/7/8/17/20 WCDMA:B1/2/5/8 GSM:B2/3/5/8	FDD/WCDMA	B1	1814	1	0.1~0.3 美元
				B2		1	
				B3		1	
				B5		1	
				B7		1	
				B8		1	
				B17		1	
				B20		1	
	TDD 4M10B	TDD_LTE:B38/39/40/41 WCDMA:B1/2/5 GSM:B2/3/5/8 TDS:B34/B39	WCDMA	B1	1814	1	0.1~0.3 美元
				B2		1	
				B5		1	
	5M12B	FDD_LTE:B1/3/7/17 TDD_LTE:B38/39/40/41 WCDMA:B1/2/5 TDS:B34/B39 GSM:B2/3/5/8	FDD/WCDMA	B1	1814	1	0.1~0.3 美元
				B2		1	
				B3		1	
				B5		1	
				B7		1	
				B17		1	
	6M21B	FDD_LTE:B1/3/4/8/7/17/20 TDD_LTE:B38/39/40/41 WCDMA:B1/2/5/8 GSM:B2/3/5/8 TDS:B34/B39 CDMA:BC0	FDD/WCDMA/CDMA	B1	1814	1	0.1~0.3 美元
				B2		1	
				B3		1	
				B4		1	
				B5/BC0		1	
				B7		1	
				B8		1	
				B17		1	
				B20		1	
Single Saw	FDD 3M8B	FDD_LTE:B1/3/5/7/8/17/20 WCDMA:B1/2/5/8 GSM:B2/3/5/8	DRx	B1	1109	1	0.04~0.06 美元
				B2		1	
				B3		1	
				B5		1	

			B7		1	
			B8		1	
			B17		1	
			B20		1	
			B39		1	
		DRx	B40	1109	1	0.04~0.06 美元
			B41/B38		1	
TDD 3M9B CSFB	TDD_LTE:B38/39/40/41 GSM:B2/3/5/8 TDS:B34/B39		B38		1	
		TRx	B40	1411	1	0.1 美元
			B41	2020	1	0.1~0.3 美元
		TDS	B34/B39	1511	1	0.1~0.3 美元
			B39		1	
		DRx	B40	1109	1	0.04~0.06 美元
			B41/B38		1	
			B38		1	
FDD 3M98	TDD_LTE:B38/39/40/41 GSM:B2/3/5/8 TDS:B34/B39	TRx	B40	1411	1	0.1 美元
		TRx	B41	2020	1	0.1~0.3 美元
		TDS (Tx)	B34	1411	1	0.1 美元
			B39		1	
		TDS (Rx)	B34/B39	1511	1	0.1~0.3 美元
			B1		1	
			B2		1	
		DRx	B5	1109	1	0.04~0.06 美元
			B39		1	
			B41/B38		1	
TDD 4M10B	TDD_LTE:B38/39/40/41 WCDMA:B1/2/5 GSM:B2/3/5/8 TDS:B34/B39		B38		1	
		TRx	B40	1411	1	0.1 美元
		TRx	B41	2020	1	0.1~0.3 美元
		TDS (Tx)	B34	1411	1	0.1 美元
			B39		1	
		TDS (Rx)	B34/B39	1511	1	0.1~0.3 美元
			B1		1	
			B2		1	
			B3		1	
			B4		1	
	FDD_LTE:B1/3/4/7/8/17/20		B5/BC0		1	
		DRx		1109		0.04~0.06 美元
6M21B	TDD_LTE:B38/39/40/41 WCDMA:B1/2/5/8		B7		1	
	GSM:B2/3/5/8 TDS:B34/B39 CDMA:BC0		B8		1	
			B17		1	
			B20		1	
			B40/B41		1	
		TRx	B38	1411	1	0.1 美元

	B40		1	
TRx	B41	2020	1	0.1~0.3 美元
TDS	34	1411	1	0.1 美元
	39		1	
TDS	34/39	1511	1	0.1~0.3 美元

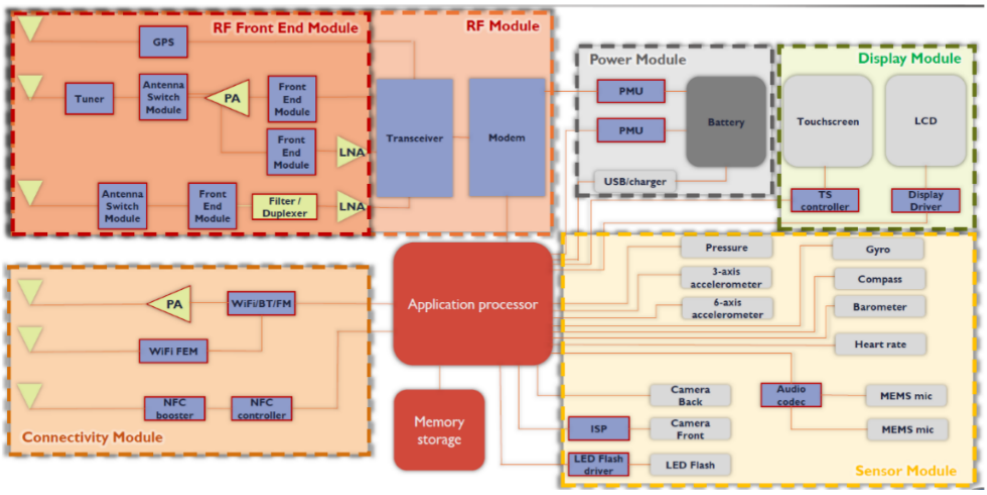
资料来源：麦捷微电子，国元证券研究中心

5. 产业趋势三：射频模组化

射频前端正朝着集成化、模组化方向发展。受 5G 核心技术特征影响，手机内部射频器件数量不断提升，频段的增加和载波聚合的应用，分离式射频器件已经无法满足要求，为满足智能移动终端的消费需求，射频器件模组化发展已成趋势。射频模组化可以带来一下优势：(1)解决多频段带来的射频复杂性挑战；(2)缩小射频元件的体积；（3）提供全球载波聚合模块化平台等。

SIP（系统级封装）广泛应用于手机射频前端集成模组化发展。SIP 是将多种功能的芯片集中封装到一个系统内，得出具备一定功能得单个封装标准件。SIP 技术可以将 10~15 个射频器件（开关、滤波器、PA、LNA 等）封装在一起。

图31： SIP 封装应用于智能手机

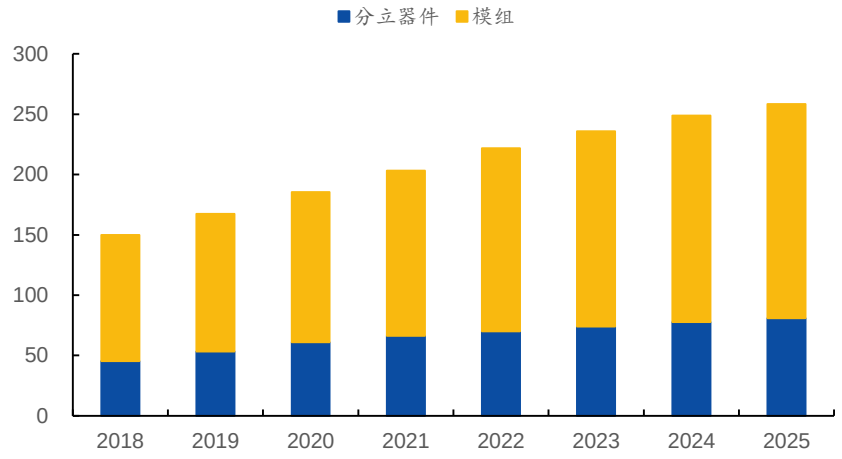


资料来源：Yole， 国元证券研究中心

射频模组化方向发展已成趋势，未来射频模组市场规模稳步上升。根据 Yole 统计与预测，2018 年射频模组市场规模达 105 亿美元，约占射频前端市场总量的 70%，到 2025 年，射频模组市场的规模将达 177 亿美元，年复合增长率为 8%。2018 年分立器

件市场规模为 45 亿美元，占射频前端市场容量的 30%，预计到 2025 年分立器件市场规模将达 81 亿美元。

图32： 2018-2025 年分立器件与模组市场规模（亿美元）

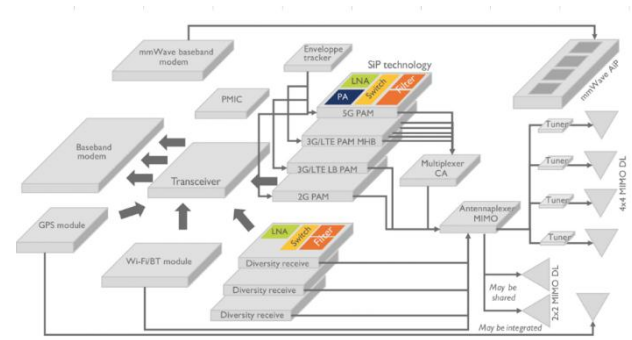


资料来源：Yole， 国元证券研究中心

5.1 射频模组的主要集成方案

5G 推动射频前端模组得集成度越来越高，未来 AIP（封装天线）有望成为主流形式。4G 通讯模组分为天线、射频前端、收发器和数据机等四个主要的 SIP 模组。5G Sub-6GHz 预计继续延用 4G 时代结构模组，射频模组也将走向高度整合，射频前端模块将由分立器件，转向更高度整合模组型的 FEMID 和 PAMID 形式。5G 毫米波的短波长的特性，使得天线面积形状得以大幅缩小，加上要处理高频讯号损失、讯号干扰屏蔽不连续性、应力、散热、电磁干扰、小型化、模组化等问题，如何缩短天线信号接收至晶片信号处理间路径成为关键，因此，将射频处理晶片、天线、与各射频元件以先进封装方式整合到同一载板上成为解决方案。AIP 封装形式将成为 5G 射频模组的重要发展趋势。

图33： 5G 手机射频前端结构



资料来源：Yole， 国元证券研究中心

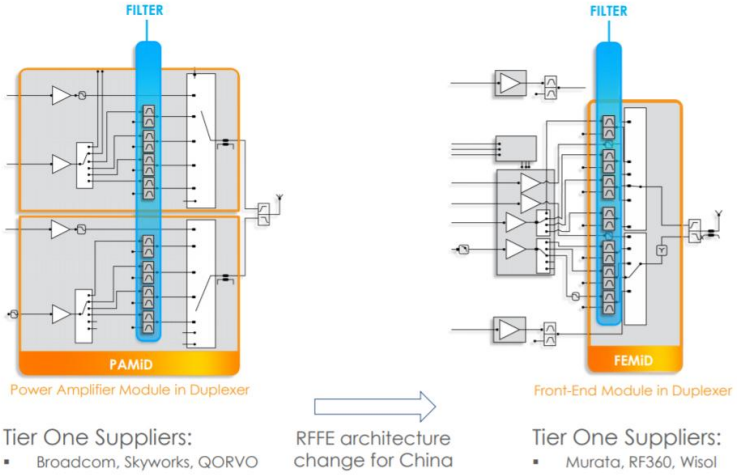
图34： 典型射频前端设计方案

模组	集成器件	集成度
ASM	射频开关+天线	低
FEM	射频开关+滤波器	低
Div FEM	集成FEM	中
FEMiD	射频开关+滤波器+双工器	中
PAiD	PA+双工器	中
SMMB PA	支持但模式多频带PA	中
MMMB PA	支持多模式多频带PA	中
TX Module	PA+开关	中
PAMiD	FEMID+MMMD PA	高
LNA Div FEM	Div FEM+LNA	高

资料来源：Yole， 国元证券研究中心

下图展示了中国射频模组化的两种类别。左图为 PAMiD 模组示意图，即双工器中的功率放大器模组，主要供应商包括 Broadcom、Skyworks 以及 Qorvo。右图为射频前端模组 FEMiD，主要供应商包括 Murata、RF360 以及 Wisol。PAMiD 属于高集成度产品，主要集成了多模多频的 PA、RF 开关以及滤波器等，FEMiD 属于中度集成产品，主要集成了开关和滤波器等。

图35： PAMid 、FEMid 的物理结构及主要供应商



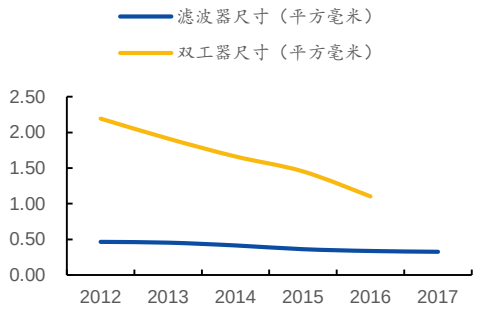
资料来源：Resonant， 国元证券研究中心

5.2 射频模组化有利于减小射频模块面积

当前支持多模式多波段(MMMB)的 LTE 智能手机有包含收发器和天线的非常复杂的前端。对于智能手机公司来说，在小型的智能手机里分散地生产和安装许多滤波器、双工器、开关、PAs、匹配电路等都相当困难。一些供应商都开始生产了前端模块(FEMs)。目前，<1 毫米厚的多芯片模组（MCM） FEMs 包括：前端模组(开关+双工/滤波器)、内置 PA 模组(开关+PAs+双工/滤波器)、分集模组(开关+LNAs+滤波器)、WIFI/BT/FM 模组(部分内置晶体)、GPS 模组(部分内置 LNA、滤波器、TCXO)。

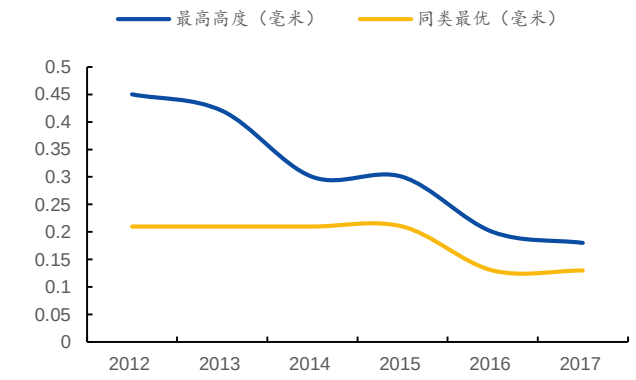
为了支持这些模组的变化，Saw/Baw 滤波器/双工器封装也向到芯片级封装(CSP)、晶片级芯片级封装(WLCSP)和晶片级封装(WLP)发展了。

图36： Saw/Baw 滤波器/双工器尺寸趋势



资料来源：C.S. Lam， 国元证券研究中心

图37： Saw/Baw 滤波器/双工器密度趋势

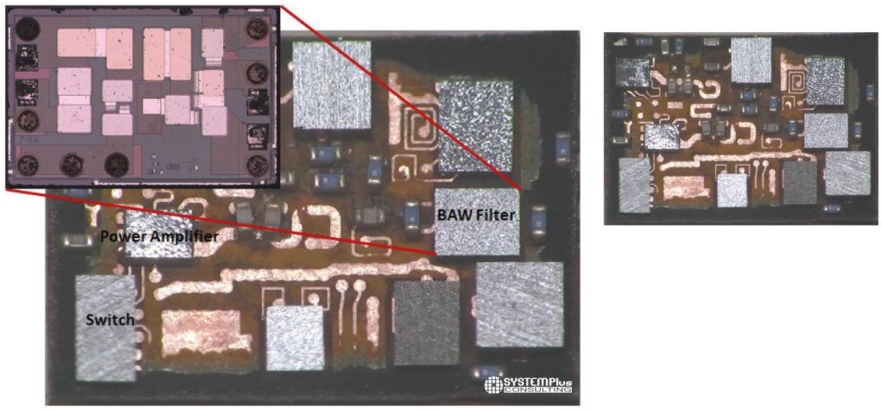


资料来源：C.S. Lam， 国元证券研究中心

5.3 从 Qorvo 看射频模组化趋势

Qorvo 公司今年积极推进射频产品模组化。下图为 Qorvo 的 PAMiD 模块中配备的 Baw 滤波器。IPhone X 中也采用了 Qorvo 的 PAMiD，主要集成了多模多频的 PA、RF 开关以及滤波器等。

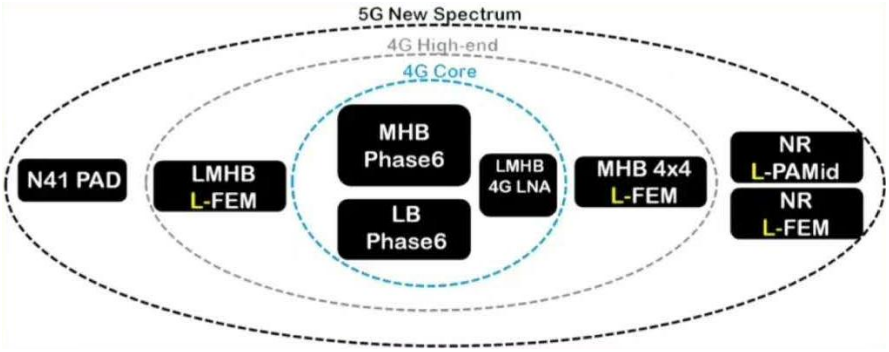
图38： Qorvo 的 PAMiD 模块中的 Baw 滤波器



资料来源：Yole， 国元证券研究中心

Qorvo 公司的 Phase 2/5/6/7 趋势处于持续整合之中，不仅覆盖高、中、低频率，更增加了 Div&MIMO 吞吐率以及 5G sub-6GHz 频段的射频前端部件。

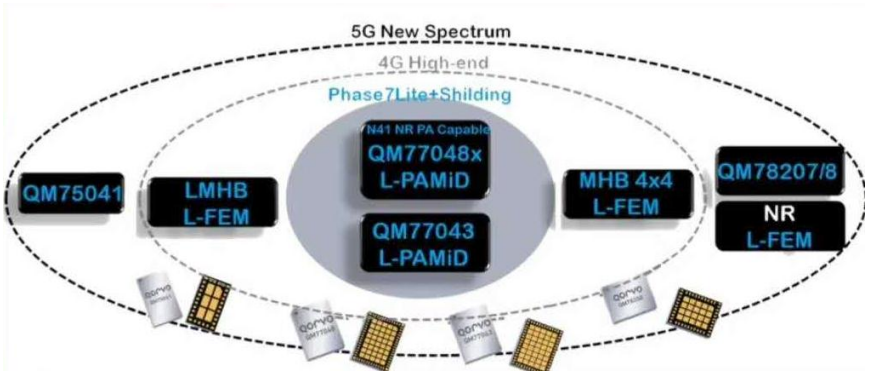
图39： Qorvo 的 Phase 持续整合



资料来源：Qorvo， 国元证券研究中心

同时，Qorvo 在 5G 射频前端中的自屏蔽模组也不断加大了高中低频率覆盖，增加了 Div&MIMO 吞吐率和 5G sub-6GHz 频段。外置机械屏蔽罩可能导致灵敏度下降，Qorvo 在搭载于 Vivo NEX 手机中的射频前端中加大了屏蔽罩的开口以提高灵敏度/可靠性。仿真结果表明，屏蔽罩中产生的表面电流可以将射频耦合入 L-PAMiD 的敏感 LNA 部分。

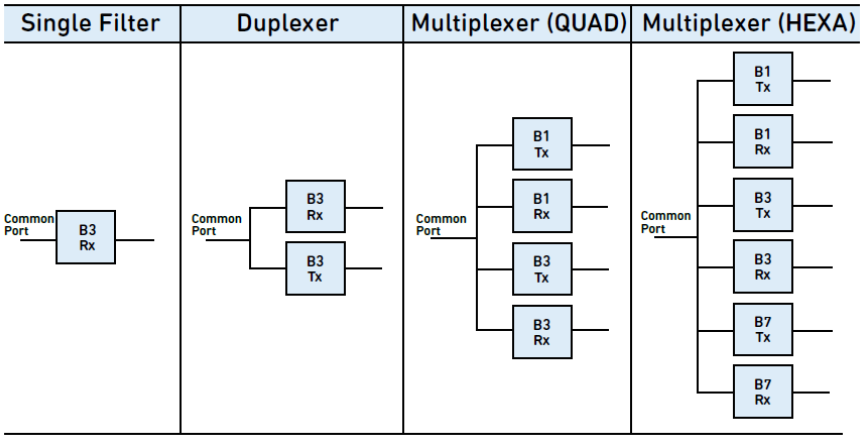
图40： Qorvo 射频前端产品发展趋势



资料来源：Qorvo， 国元证券研究中心

滤波器在射频前端应用时还能够整合为双工器、三工器、四工器，甚至是六工器，这类设备统称为多路复用器。多路复用器能够在满足性能要求的同时节省空间、简化设计，同时还能避免频段间的相互干扰。

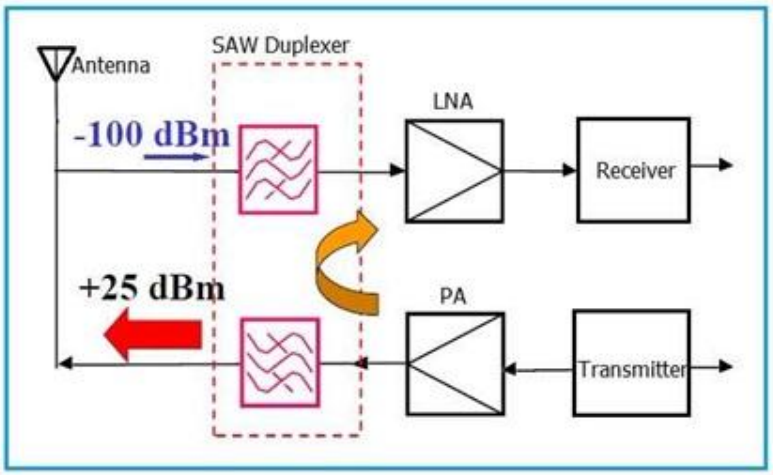
图41： 双工器、三工器和多工器



资料来源：电子发烧友，国元证券研究中心

射频前端中双工器的主要作用是将发射和接收信号隔离，保证接收和发射都能同时正常工作。一般双工器由六个阻带滤波器（陷波器）组成，各谐振于发射和接收频率。六个滤波器分为两组不同频率的阻带滤波器，避免本机发射信号传输到接收机。接收端滤波器谐振于发射频率，并防止发射功率串入接收机，发射端滤波器谐振于接收频率。类似的，三工器由三台滤波器组成，共用一个节点，其通带加载和隔离目标与双工器相同。

图42： Saw 双工器原理图

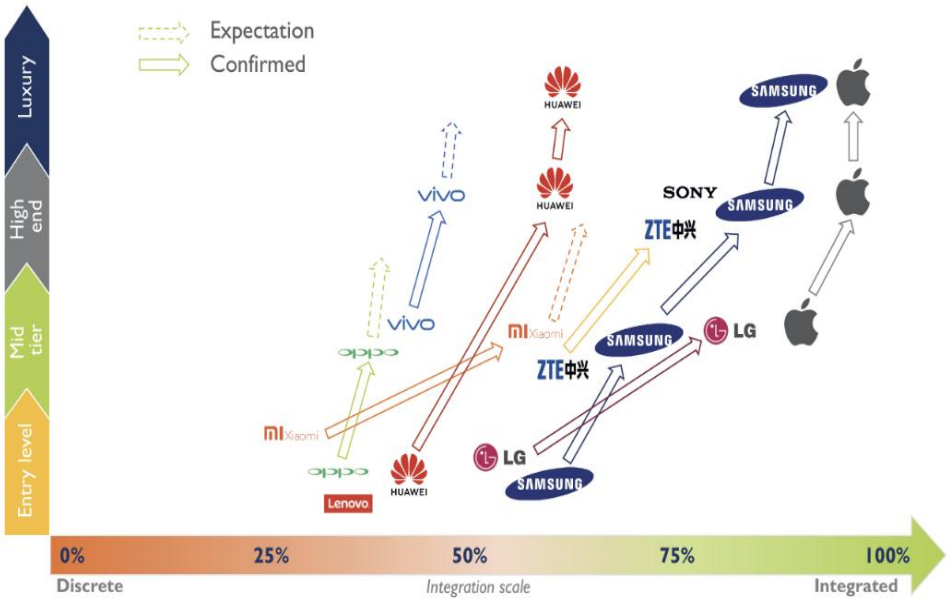


资料来源：RF Wireless World，国元证券研究中心

5.4 主要手机厂商的射频模组化比例

国外手机厂商射频模组化进程领先于国内手机厂商。以主要终端设备制造商划分，目前苹果公司在器件集成领域独占鳌头，其产品主要为高端及豪华产品。三星在器件集成方面位居世界第二，其产品分布涵盖入门级、中端、高端及奢华产品。LG、小米和索尼在器件集成方面进步速度飞快，主要集中于中低端产品，而华为目前在器件集成上只能达到 50%的集成级别，VIVO 及其他国产机型集成度更低。

图43： 各主要手机品牌的射频模组渗透率快速提升



资料来源：Yole， 国元证券研究中心

5.5 射频模组市场格局

目前，国外手机厂商在射频模组化市场中占据较大先发优势，各大厂商已为 5G 订立模组化方案及布局产品线。Broadcom 已提前为 5G 做好充分准备，融合中高频段，并借助 Fbar 滤波器技术构建高频和超高频主要关键模块。Skyworks 新发布的 Sky5TM 平台定位 5G 超高频段市场，并已构建模组。Qorvo 在并购中吸收了 TriQuint 的滤波器优势，率先推出超高频段覆盖的前端模块的播放器，同时集成了内部测试能力和包装能力，可以缩短反应时间并持续改进。Murata 则涵盖低频段，发展多样性模块市场。高通带来了调制解调器到天线的端到端解决方案。上述厂商不仅供应元器件还具有模组整合能力，将在集中度很高的市场中进一步确立优势。

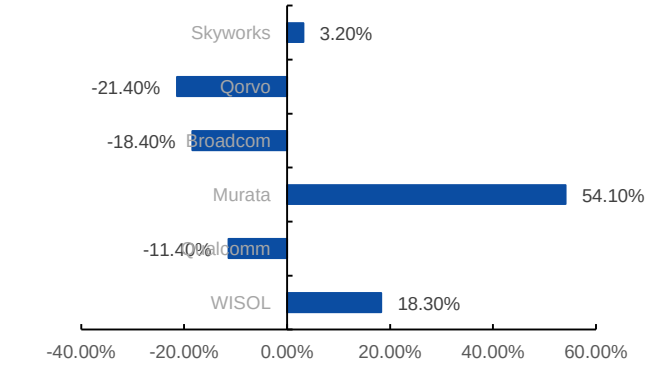
表6： 全球射频巨头的射频产品线组合情况

	产品线	模组	滤波器	PA	LNA	开关	调谐	包络芯片	基带
高通	Fabless	√	√	√	√	√	√	√	√
博通	IDM	√	√	√	√	√	√	√	
Qorvo	IDM	√	√	√	√	√	√	√	
Skyworks	IDM	√	√	√	√	√	√		
Murata	IDM	√	√	√	√	√			
TDK	Fabless	√	√	√	√	√			
Taiyo Yuden	Fabless	√	√						
MTK	Fabless			√	√	√			√
Microsemi	Fabless	√	√	√	√		√		

资料来源：国元证券研究中心

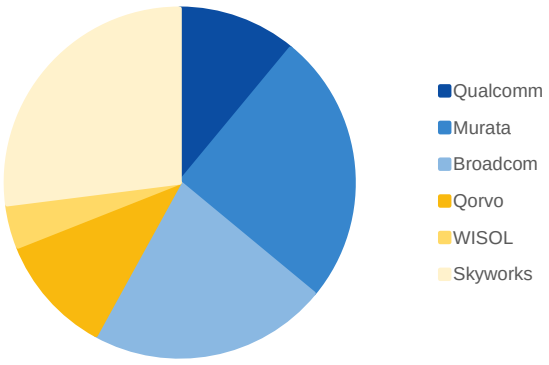
国际从业者一直致力于射频前端的集成化和模块化，如高通 RF360 方案；Murata 将滤波器、RF 开关、匹配电路等一体化的模块；Qorvo RF Fusion 解决方案等。据 Resonant 预测，2018~2019 年，全球各大厂商中，Murata 在模组业务上增长最强劲，增长率高达 54.10%。而 Qorvo 模组业务则下降 21.40%。2019 年，Skyworks 和 Murata 牢牢占据射频模组龙头，市场占比分别为 27%和 25%，Broadcom 占比达到 22%。目前国产 Saw 滤波器芯片还难以纳入集成模块，跟不上射频前端集成模组化的发展趋势。

图44： 2018~2019 年各企业射频模组业务增速



资料来源：Resonant， 国元证券研究中心

图45： 2019 年射频模组市场格局



资料来源：Resonant， 国元证券研究中心

5.6 射频模组化趋势下，有望掀起新一轮并购整合潮

射频模组化发展促使射频厂商提高产业链集中度，行业内横向并购成为趋势。过去十年，半导体产业的整体发展趋势是并购以谋求产业链整合、优化，以及利用规模优势获取更多的市场话语权、更低的制造成本。经历了数次收购和兼并之后，市场上已存在四家具备完整前端模块生产能力的厂家，那就是博通、高通、Skyworks 和 Qorvo。

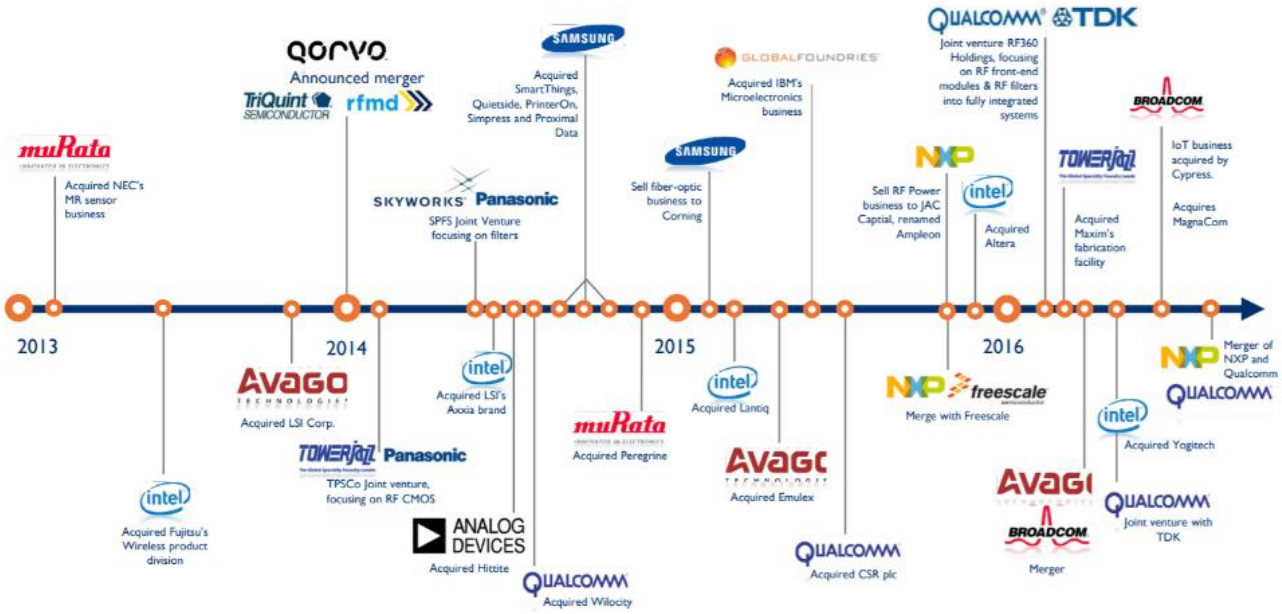
表7： 海外射频巨头厂商整合并购情况

厂商	整合并购情况
Broadcom	2015 年，Avago 以 370 亿美元收购博通，进一步巩固合并后公司在无线接入领域的统治地位，新公司名为 Broadcom
Qualcom	2014 年，高通并购 PA 厂商 Black sand ，2016 年，高通与 TDK 通过创立合资企业 RF360（30 亿美元），布局滤波器市场
Skyworks	Skyworks 与松下于 2014 年成立合资公司， 2016 年 Skyworks 完全收购该合资企业，完成对松下滤波器部门的收购，补全在 Saw 方面的技术， Skyworks 通过收购 Panasonic 子公司及韩国 MEMS solution 获得 TC-Saw 及 Fbar 技术，完善射频前端产品布局
Qorvo	2014 年，TriQuint 与 RFMD 合并为 Qorvo。Qorvo 继承了 TriQuint 的 Baw-SMR 滤波器研发生产能力，以及 RFMD 的 Saw 研发生产能力，同时二者的结合使得 Qorvo 具备了更完善的前端模块生产能力

资料来源：wind、国元证券研究中心

为占领市场份额和取得先进技术，Qorvo、Broadcom 等企业经历了频繁的兼并。Qorvo 前身为注重 Baw-SMR 滤波器研发的 TriQuint 和专长 Saw 滤波器研发的 RFMD，Skyworks 则收购了松下滤波器部门，Broadcom 于 2015 年被 Avago 收购，成立新 Broadcom 公司。

图46： 射频前端厂商合并趋势



资料来源：Yole， 国元证券研究中心

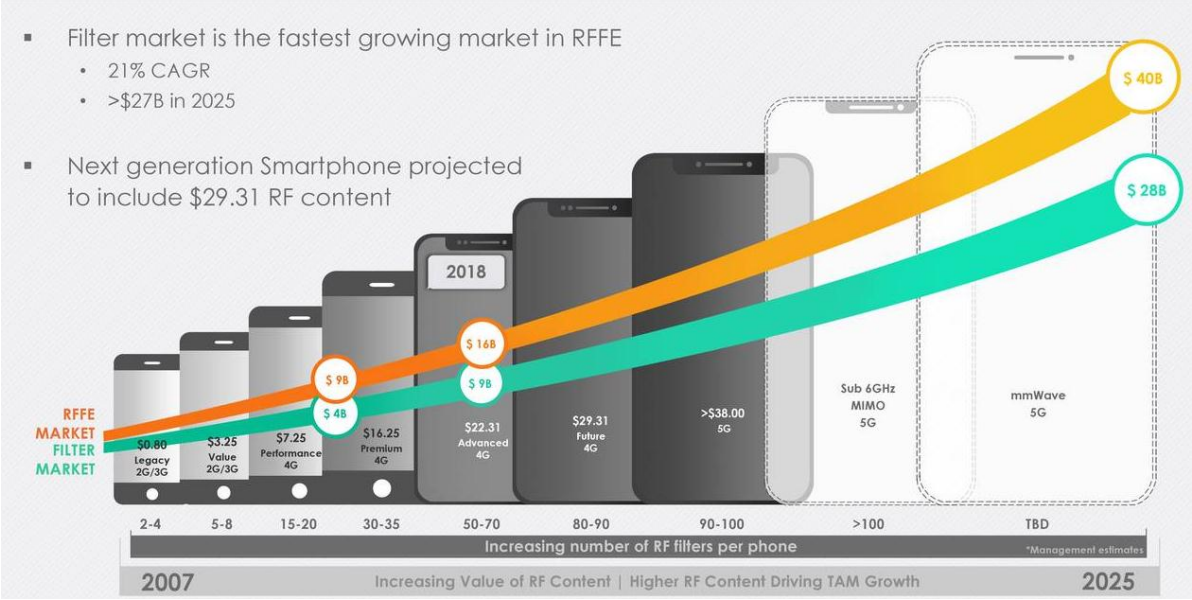
6. 射频滤波器产业的行业格局与壁垒

6.1 滤波器产值持续增长

从 2G 手机到 5G 手机，射频滤波器用量由个位数增至 100 颗以上，产量与价值齐升。

Resonant 预测，随着射频前端市场由 4G 时代的 160 亿美元增至 2025 年的 400 亿美元，射频滤波器市场总价值也将于 2025 年达到 280 亿美元。滤波器市场是射频前端市场中发展最快的市场，其年复合增长率达到 21%。

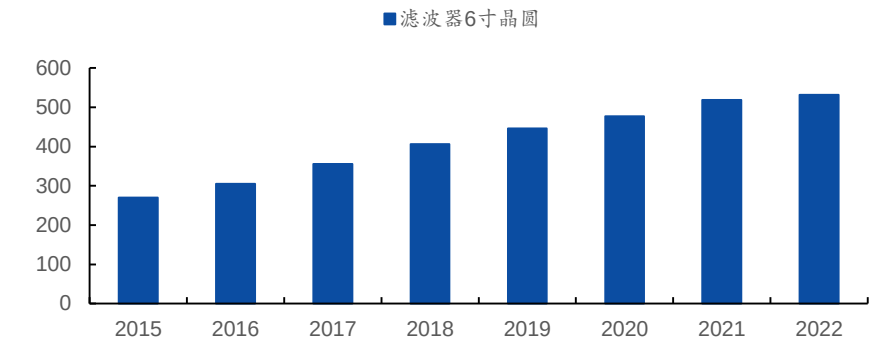
图47： 2G 手机到 5G 手机的射频滤波器用量、单机 ASP 及市场规模



资料来源：Resnont， 国元证券研究中心

据 Yole 预测，到 2021 年，滤波器 6 寸晶圆出货量将达到约 518 万片，而到 2022 年，滤波器 6 寸晶圆出货量将小幅上升至约 532 万片。

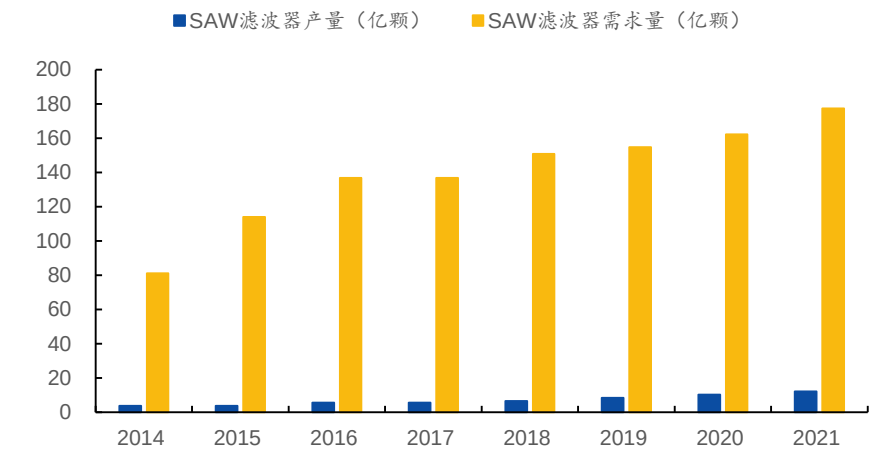
图48： 全球滤波器出货量（6 寸，万片）



资料来源：QY Research， 国元证券研究中心

5G 智能手机兴起带动智能手机单机所需射频滤波器数量上升。为实现 5G 在 EMBB(增强移动宽带)、URLLC(低时延高可靠)、MMTC(海量大连接)三大场景的应用，射频前端器件的需求量也要相应提高，频段增加和载波聚合技术的应用使得传统的多模多频模组已经无法满足要求，射频模组 PAMID 逐渐成为主流，天线数量的增加同时带来对滤波器的需求增加。根据 Skyworks 分析估计，单部手机滤波器数量将从 4G 时代的 40 个上升到 5G 时代的 70 个。

图49： 中国 Saw 滤波器产量及需求量（亿颗）



资料来源：Skyworks Estimation，国元证券研究中心

6.2 全球主要手机品牌的射频供应链

全球主流手机终端中，射频部件供应商比较统一。目前，Qorvo、Skyworks 和 Murata 等厂商占据了手机 PA 模组、接收模组及各分立部件中的巨大市场份额。华为、三星、苹果及小米都在其射频前端中采用上述企业供应的产品。在其他类型手机终端中，MicroWave、RDA 等国外厂商以及汉天下、国民技术等中国厂商也占据小部分市场份额。但国内厂商尚不具备模组化产品供应能力，主要提供分立部件，分立部件从业厂商众多，市场竞争激烈。

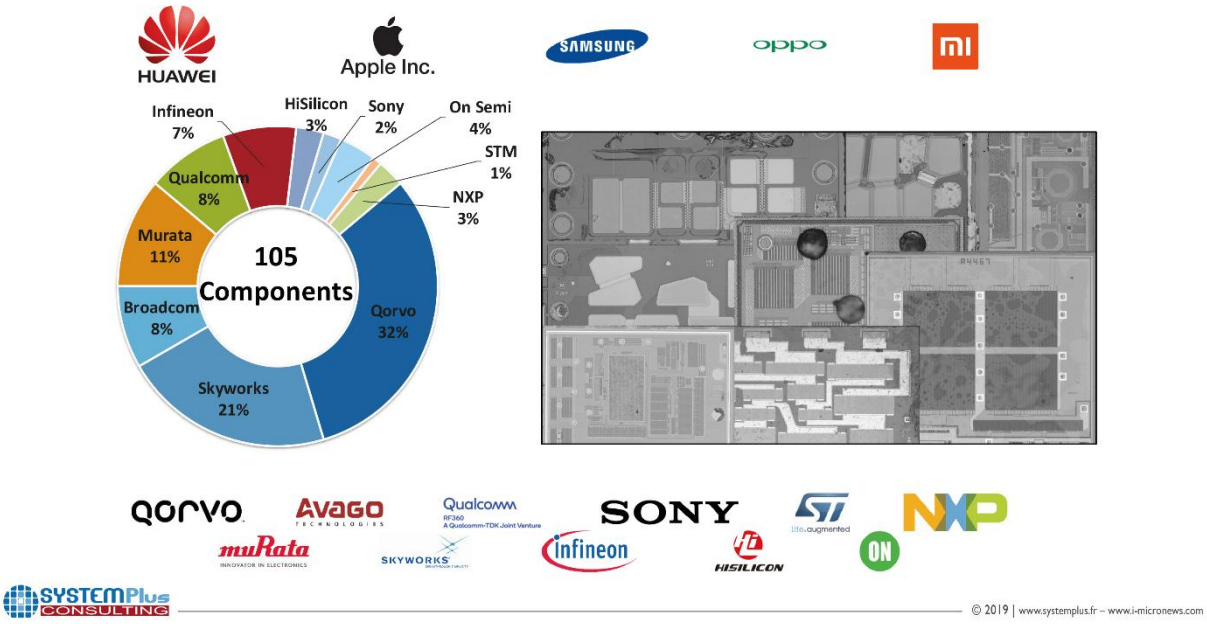
图50： 射频前端供应链



资料来源：Yole， 国元证券研究中心

国际知名厂商优势显著。苹果、华为、三星、OPPO 以及小米旗舰产品中主要器件的供应商为 Qorvo 和 Skyworks，分别占比 32%和 21%。

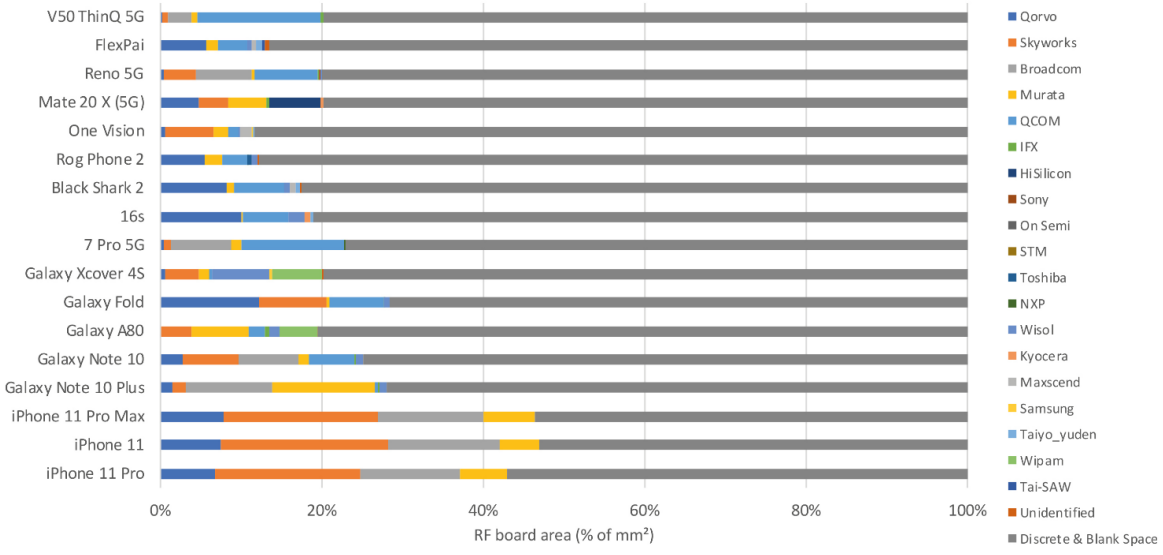
图51： 知名手机品牌 2018~2019 年旗舰产品中的主要器件供应商



资料来源：Yole， 国元证券研究中心

在 Yole 总结的 17 款低端至高端智能手机中，高通、Qorvo、Skyworks 以及 Murata 等厂商占比较高。在低端机型中，高通较有竞争力，其产品在手机终端中所占面积比例较高。在高端机型，尤其是苹果机型中 Skyworks 和 Maxscend 提供的射频器件占比较高。

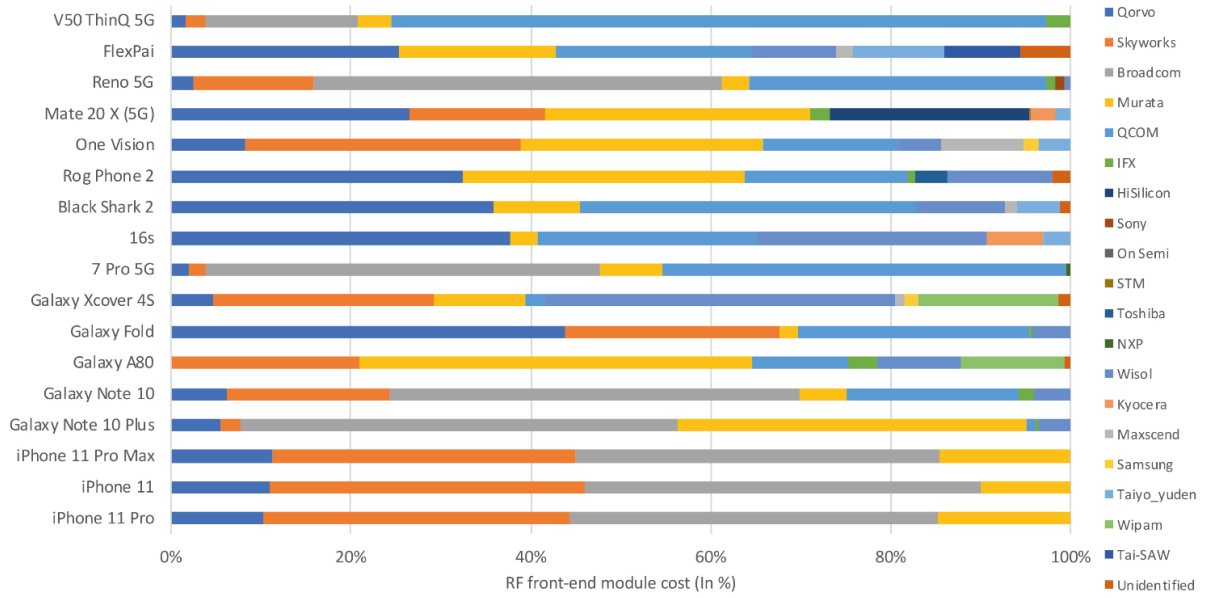
图52： 17 款低端至高端智能手机中射频器件供应商面积占比



资料来源：Yole， 国元证券研究中心

从供应商成本角度来看，Qorvo、高通、Skyworks、Maxscend 等知名厂商占了射频器件成本的较高比例。其中，高通仍为低端机型中配置较多的射频器件供应商，而 Qorvo 的产品分布在所有机型中。高端机型中，Skyworks、Maxscend 以及 Samsung 的器件更受青睐。

图53： 17 款低端至高端智能手机中射频器件供应商成本占比



资料来源：Yole， 国元证券研究中心

6.3 滤波器的供应格局

根据 Resonant 数据，在 2020 年，射频前端芯片市场规模估计为 150 亿美元。**射频前端市场的领导者之一是 Murata 公司，占据四分之一的市场份额，主要依靠其滤波器占领龙头地位。**在滤波器市场中，2020 年 60%以上的滤波器都是基于 Saw 技术，包括 Saw 滤波器、TC-Saw 滤波器和 TF-Saw 滤波器。对于普通的 Saw 滤波器而言，有数家亚洲公司参与该市场，比如 WISOL 和 Kyocera。对于 TC-Saw 来说，市场主要由四家公司占领。其中两个是 Skyworks 和 Qorvo。另外两家公司已经将 TF-Saw 技术引入他们的投产品组合，分别是 Murata 公司在 2019 年引入和高通公司在 2020 年引入。

压电滤波器技术由部分龙头垄断，Saw 及 TC-Saw 滤波器领域，高通、Qorvo、Murata、Skyworks 等企业竞争激烈。而在 Baw 滤波器领域，各企业尚未形成完全的产品分布。Murata 在 Baw-Xbar 技术上布局较多。

图54： 射频滤波器主要技术方向及代表厂商

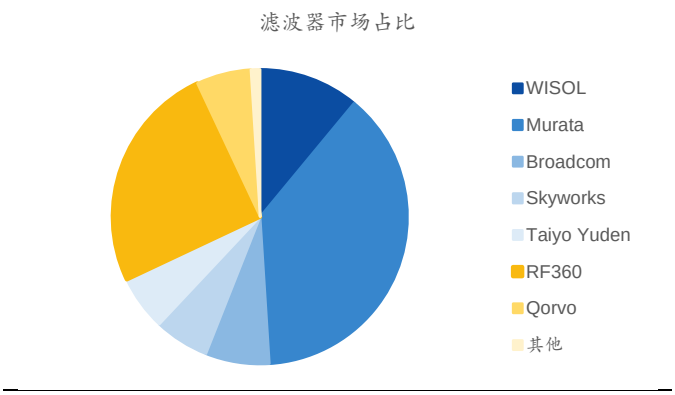


资料来源：Yole， 国元证券研究中心

但是滤波器市场格局相对集中。根据 Yole 数据， 2018 年全球 Saw 滤波器市场份额前五位的厂商分别为 Murata(47%)、 TDK(21%)、 Taiyo Yuden(14%)、Skyworks(9%)、Qorvo(4%)，合计占比达 95%。Baw/Fbar 市场基本被 Broadcom、Qorvo 垄断。其中 Broadcom 的 Baw 滤波器主要为 Fbar，而 Qorvo 的 Baw 滤波器主要为 SMR。2016 年，Broadcom 的 Fbar 产品出货 突破 5 亿颗。Murata、TDK 和太阳诱电等日本厂商主要为 Saw 滤波器供应商。而 Avago、Qorvo 等美国厂商则集中在 Baw 滤波器，据 Murata 统计数据称，Murata 占据了 2015 年全球 Saw 滤波器市场规模的 47%。而 Baw 滤波器市场中前二大厂商占据几乎全球超过 95%以上的份额。出现这样的格局主要由于滤波器市场具有较高的进入门槛，阻挡了小厂商的发展壮大。

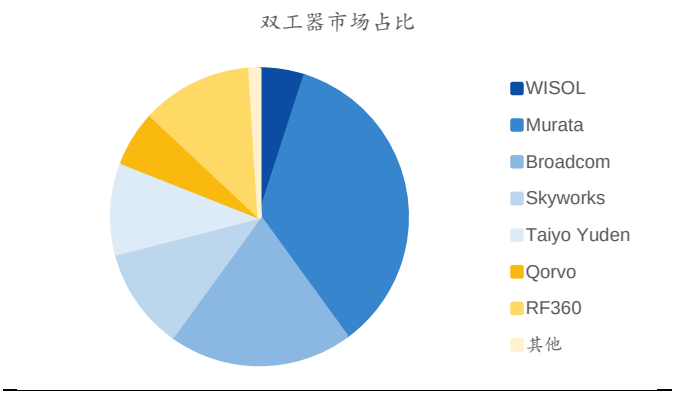
在滤波器市场中，射频前端龙头企业 Murata 占较大市场份额，市场占比达 38%；RF360 占全球滤波器市场的 25%，WISOL 占市场份额的 11%，Qorvo、博通、Skyworks 以及太阳诱电等企业则占市场份额的 6%或 7%。从双工器市场来看，Murata 仍占最大市场份额，市场占比达 35%。博通市场占比达 20%，而 RF360 的市场份额达 12%。

图55： 滤波器主要厂商及份额



资料来源：Resonant， 国元证券研究中心

图56： 双工器主要厂商及份额



资料来源：Resonant， 国元证券研究中心

回顾滤波器行业，过去十年竞争格局十分稳固。全球主要滤波器厂商集聚日本与美国，Saw 滤波器供应商主要为 Murata、TDK、太阳诱电、Skyworks 等几家厂商。而体声波滤波器则为 Broadcom（Avago 收购 Broadcom，改名为新 Broadcom）以及 Qorvo 主导，两家厂商占据全球超过 95%以上份额，其中 Broadcom 的体声波滤波器主要为 Fbar，而 Qorvo 的体声波滤波器主要为 Baw。

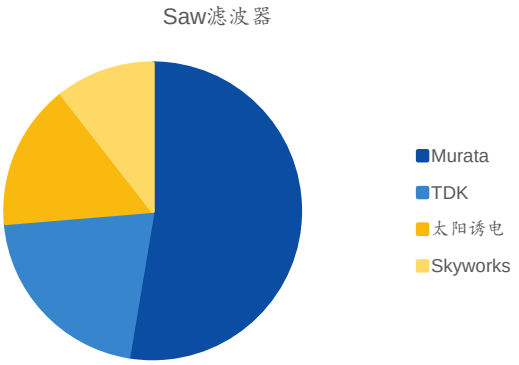
表8： 全球主要滤波器厂商

厂商	详情
Murata	村田，总部位于日本，在 Saw 滤波器市场上占据领先地位，全球市场占有率 47%左右
TDK	总部日本，早期为东京电气化学株式会社，后为 TDK 株式会社，2008 年收购欧洲公司 EPCOS 进入声学滤波器产业，Saw 滤波器全球市场占有率 21%左右
Taiyo Yuden	太阳诱电，总部位于日本，具备 Saw/Baw 生产工艺，少量出货 Baw 产品，Saw 滤波器全球市场占有率 14%左右
Skyworks	思佳讯，总部位于美国，2016 年收购日本松下滤波器部门进而具备 Saw 生产工艺，同时在射频前端模块具备较大优势，全球 Saw 滤波器市场占有率 10%左右
Broadcom	Avago 收购 Broadcom 后，更名为 Broadcom，总部位于美国和新加坡，在 Baw 工艺上占据领先地位，具备生产射频前端模块的能力，体声波滤波器全球市场占有率 87%左右
Qorvo	总部美国，于 2014 年由 TriQuint 与 RFMD 合并而成，兼具 Saw/Baw 工艺，并具备生产射频前端模块能力，Baw 滤波器全球市场占有率 8%左右

资料来源：Wind、国元证券研究中心

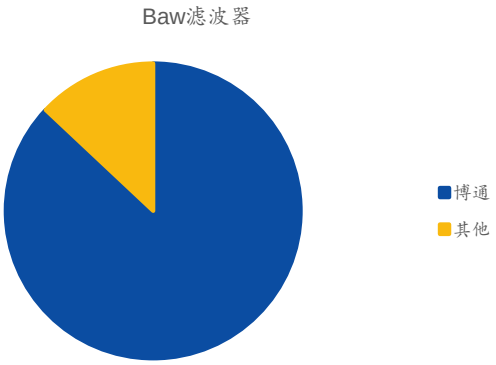
Saw 滤波器市场份额主要由日本厂商占领，其中 Murata 连续近 10 年占领近半数市场份额。与 Avago 合并的 Broadcom 牢牢把握体声波滤波器市场，在 2019 年占到市场总额的 87%。2006 至 2014 年，Avago 稳稳占据体声波滤波器收入市场份额的 50%以上，太阳诱电等日本企业也通过自主创新等方式提升体声波滤波器的技术能力。

图57： 2019 年 Saw 滤波器市场份额



资料来源：Murata， 国元证券研究中心

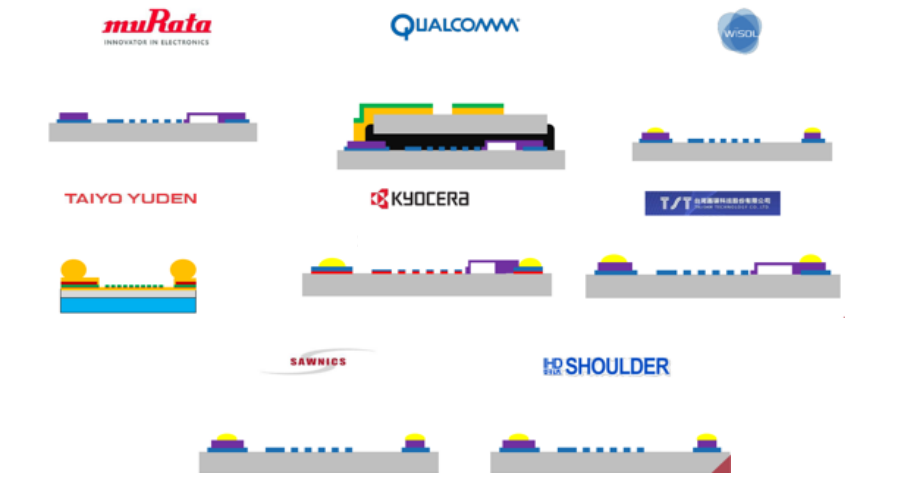
图58： 2019 年 Baw 滤波器市场份额



资料来源：Murata， 国元证券研究中心

据 Murata 数据，2011 年至 2019 年，Murata、Broadcom、Qorvo（TriQuint 和 RFMD）等企业稳固占据领先地位。上述企业牢牢把握技术领先优势，站在行业技术前端，在小型化、高频化和模组化方面都领先于其他企业，如 Murata 率先在 2019 年推出了世界上最小的 Saw 双工器。

图59： Saw 滤波器主要厂商

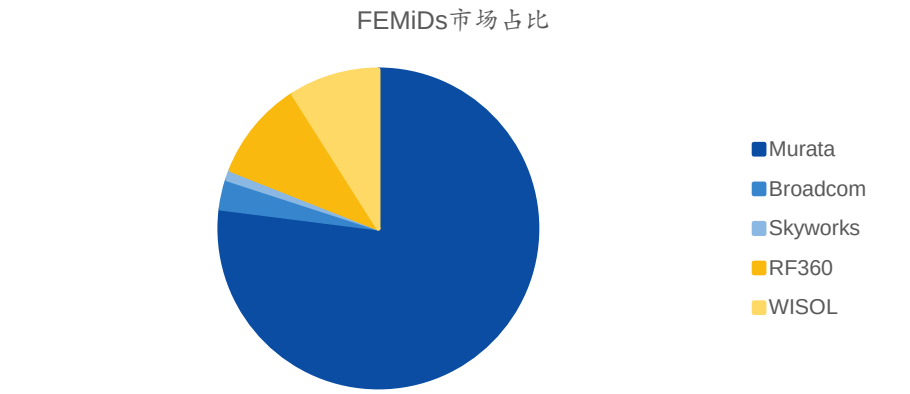


资料来源：Yole， 国元证券研究中心

6.4 Murata 占据 FeMid 市场龙头地位

从 FEMiD 市场来看，Murata 仍然独占鳌头，市场占比达 77%。RF360 和 WISOL 在 FEMiD 产品上则分别占 9%和 10%。

图60： FEMiD 模组各大厂商市场占比



资料来源：Resonant， 国元证券研究中心

6.5 IDM 为射频滤波器主要运营模式

半导体行业有三种主要的商业模式，即 IDM 模式、Fabless 模式、Fablite 模式。IDM 企业包括设计和制造两个环节；Fabless 企业只专注于集成电路设计；Fablite 则指企业的一部分业务采用 IDM 模式，另一部分不具备规模经济效应的产品线采用 Fabless 模式。

IDM 模式集芯片设计、芯片制造、封装测试等多个环节于一身，能够充分协同设计和制造等多个环节，且对于企业的实验和推进技术很有帮助。但由于这种模式需要的管理成本和运营费用较高，极少有企业能够维持这种模式。

IDM 成为当前射频滤波器行业主导模式。射频厂商生产模式可以分为 IDM、Fabless、Foundry、OSAT 四种。射频前端非常注重制造工艺和材料，所以，射频厂商需要通过优化产线上的工艺来保障产品的性能稳定和控制成本，目前 Skyworks、Broadcom、Qorvo、Qualcomm 这四大巨头均为 IDM 厂商。

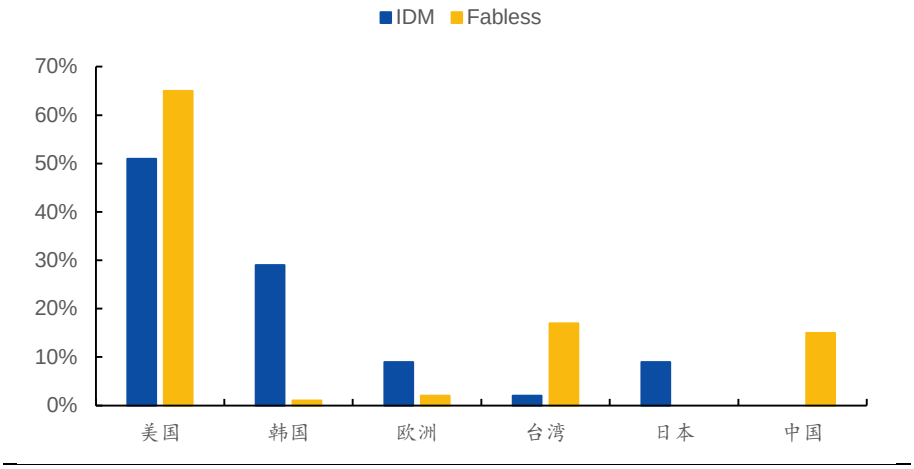
表 ：射频滤波器企业供应链及运营模式

企业	类型	模式	设计	制造	封测	模组
博通	Saw 滤波器	外包	Qorvo	Qorvo	Qorvo	×
			其他	其他	其他	×
Skyworks	Baw 滤波器	IDM	博通	博通	博通	√
	Saw 滤波器	IDM	Skyworks	Skyworks	Skyworks	√
	Baw 滤波器	外包	太阳诱电	太阳诱电	太阳诱电	×
Qorvo	Saw 滤波器	IDM	Qorvo	Qorvo	Qorvo	√
		外包	TDK	TDK	TDK	√
	Baw 滤波器	IDM	Qorvo	Qorvo	Qorvo	√
			太阳诱电	太阳诱电	太阳诱电	√
Murata	Saw 滤波器	IDM	Murata	Murata	Murata	√

	Baw 滤波器	外包	博通	博通	博通	×
			Qorvo	Qorvo	Qorvo	×
高通	Saw 滤波器	IDM	RF360	RF360	RF360	√
	Baw 滤波器	IDM	RF360	RF360	RF360	×
诺思微	Baw 滤波器	IDM	诺思微	诺思微	诺思微	√

资料来源：未来智库，国元证券研究中心

图61： 2019 年全球各地区集成电路企业运营模式占比



资料来源：IC Insight，国元证券研究中心

6.6 滤波器市场被海外垄断的背后在于专利的集中

射频滤波器市场格局高度集中的背后原因在于专利的壁垒。如今 Murata（村田）和 Taiyo Yuden（太阳诱电）等日本厂商在 Saw 专利申请数量方面处于领先地位，而 Qorvo、Qualcomm（高通）和 Broadcom（博通）等美国厂商则在体声波滤波器专利领域处于领先地位。某领域专利的数量标志在该领域技术掌握程度，村田和太阳诱电在 Saw 滤波器专利申请数量的领先奠定了其在 Saw 市场的垄断地位，同样 Qorvo 和 Broadcom 在体声波滤波器专利数量上遥遥领先。

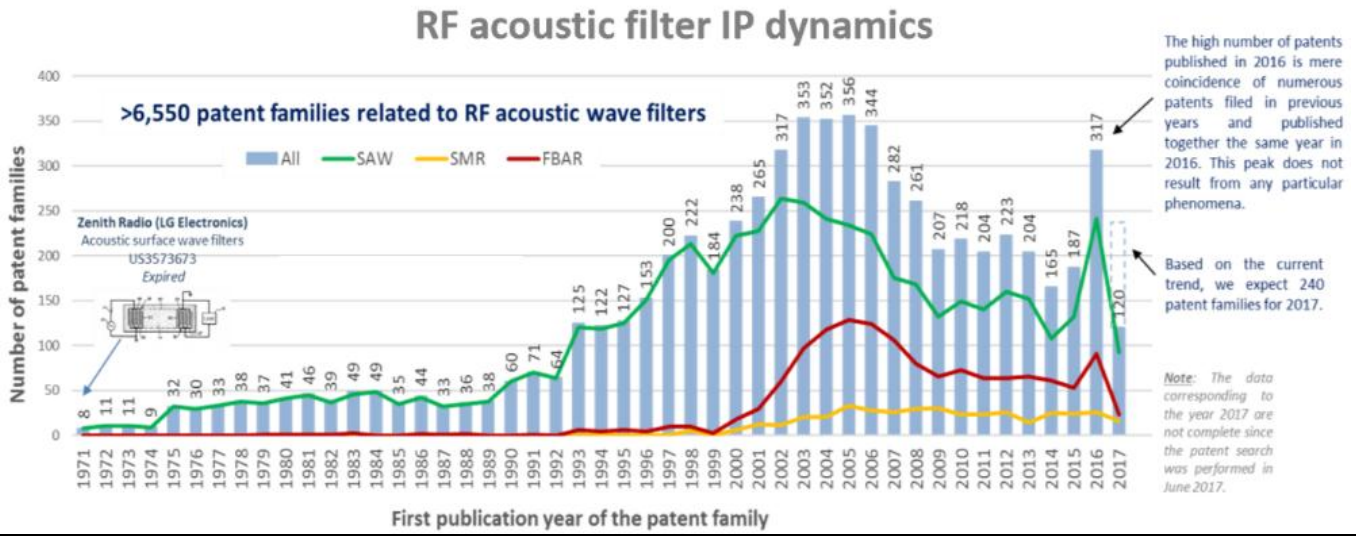
图62： 12 个声波滤波器专利申请人排名



资料来源：KnowMade， 国元证券研究中心

截至 2017 年 7 月，全球 630 多位专利申请人共申请了 6550 多项射频声波滤波器发明专利。KnowMade 预测 2017 年单年专利数将达 240 项。在全球射频专利中，Saw 滤波器相关专利数量最多。而体声波滤波器中，Fbar 滤波器的专利数明显高于 Baw-SMR 滤波器专利数。相关专利的申请始于上世纪 70 年代的日本，当时兴起的声表面波滤波器主要用于中频电视。2000 年左右，随着智能手机的兴起，体声波滤波器开始应用于 3G 手机通信，跟体声波相关的专利申请数量迅速上升。

图63： 历年滤波器专利申请情况



资料来源：KnowMade， 国元证券研究中心

科技行业不同于传统行业，技术起着关键作用。在传统制造业，供需是最核心的因素，供需的变化及优势往往决定了行业的前景。而科技行业，创新是永恒的旋律，跟得上

创新节奏的公司能够获得跨越式发展。

射频滤波器创新曲线在 2010 年后趋于平缓。Web of Science 网站中，以“射频前端”为关键词检索的相关论文，被引用量排行前十的主要为 2005 年以前的文章。2005 年以后射频前端领域高引用论文数量较少。一定程度上体现了近十年来射频前端领域创新的变缓。

表9： 滤波器学术领域被引频次较高文献集中在 2005 年之前论文

标题	发表年份	被引频次
SIMPSON: A general simulation program for solid-state NMR spectroscopy	2000	1290
Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios	2004	1209
A tutorial on microwave photonic filters	2006	677
MEMS technology for timing and frequency control	2007	518
Zee: Zero-Effort Crowdsourcing for Indoor Localization	2012	502
RFID tag and RF structures on a paper substrate using inkjet-printing technology	2007	414
RF MEMS from a device perspective	2000	399
DOUBLE-QUANTUM HOMONUCLEAR ROTARY RESONANCE - EFFICIENT DIPOLAR RECOVERY IN MAGIC-ANGLE-SPINNING NUCLEAR-MAGNETIC-RESONANCE	1994	356
Hippocampus as comparator: Role of the two input and two output systems of the hippocampus in selection and registration of information	2001	351
Recycling ambient microwave energy with broad-band rectenna arrays	2004	350

资料来源：Web of Science，国元证券研究中心

6.7 射频巨头通过并购扩展技术能力

滤波器生产线投资金额一般较大。以国内厂商卓胜微为例，其高端射频滤波器芯片及模组研发和产业化项目的总投资金额为 22.74 亿元。

而国外各厂商在滤波器领域积累深厚，生产线更完善，产能也更高。以 Qorvo 为例，Qorvo 及其前身——TriQuint 和 RFMD 公司均以并购方式提升滤波器产能。TriQuint 在 2001 年 Sawtek 合并，而 2004 年收购了擅长于 Baw 技术的 TFR Technologies 公司，通过连续并购 Qorvo 强化其射频滤波器技术能力。高通斥资 30 亿美元与 TDK 合资挺进滤波器市场。而 Broadcom 也从收购了英飞凌的体声波业务，扩大体声波滤波器市场份额。

表10： 各厂商射频前端生产线发展历程

年份	Qorvo	工艺	年份	Broadcom	工艺	年份	Murata	工艺
1991	Gazelle Microcircuits，Gigabit Logic 和 TriQuint 都以 TriQuint 的名称合并		1990 年代	成立半导体产品事业部（SPG）		2006	以 1.35 亿美元收购美国德州的 SyChip 公司	高 Q 无源器件和晶体管用于芯片级模块
2001	TriQuint 和 Sawtek Inc. 宣布两家公司将合并，将 Saw 滤波器产品整合入 TriQuint 产品中	掌握 Saw 滤波器	2003	发售 2000 万个 Fbar 双工器	Fbar 双工器	2007	制造出 1.5GHz PDC 用射频 Saw 滤波器，其插入损耗仅 1.2dB	Saw 滤波器
2002	收购英飞凌的 GaAs 半导体业务	GaAs 技术	2004	Fbar 双工器和发射滤波器获得设计大奖	Fbar 双工器、滤波器	2011	首创集 Saw 滤波器、功率放大器和稳定器的手机发射模块	射频前端模块
2004	收购 TFR Technologies，引入 Baw 产品	Baw 滤波器工艺	2007	交付了超过 5 亿个基于 Fbar 的模块	Fbar 模块	2012	以每股 1.78 美元的价格收购 RFMonolithics	短程无线电元件、RF 模块等
2014	RFMD 推出了 RF Fusion™——一款针对全球 4G 手机和平板电脑的完整射频前端解决方案，集成了从收发器到天线的主要发射和接收射频功能。	4G 射频前端解决方案	2008	从 Infineon Technologies AG 收购 Baw 业务	Baw 滤波器	2014	以每股 12.50 美元现金收购非名下的所有 Peregrine 已发行股票	射频 SOI 技术
2014	TriQuint 和 RFMD 宣布达成合并协议，并以 Qorvo 的新名称进行运营。	集合两公司在滤波器、GaN 和 GaAs 技术上的成果	2010	宣布推出全球首款用于手机和数据终端的 4G / LTE Band 7 双工器	4G 双工器	2017	并购意大利的无线射频技术新创企业 ID-Solutions	无线射频技术
2015	Qorvo 推出了射频 Flex™，集成了前端解决方案，以提高 4G LTE 智能手机的性能并简化其设计。	4G LTE 射频前端解决方案	2015	推出业界首个用于 SDARS 汽车无线电系统的 LNA 滤波器模块	LNA 滤波器模块	2018	开发新型 IHP Saw 滤波器	高性能 Saw 滤波器，性能比肩 Baw
2015	公司将氮化硅(SiC)微晶圆的生产规模从 4 英寸扩大到 6 英寸，使公司氮化硅的生产能力翻倍	GaN 技术				2019	开发并开始批量生产世界上最小的 Saw 双工器-SAYAV 系列，SAYARV 系列和 SAYAP 系列；和	Saw 滤波器微型化

		Saw 滤波器-SAFFW 系列
2017	Qorvo 宣布与全球芯片组供应商密切合作开发的 5G 射频前端 QM19000 取得突破性进展。	5G 射频前端解决方案
2019	收购 Cavendish Kinetics、Active-Semi	RF MEMS 技术及电源解决方案
2020	收购 Decawave、Custom MMIC	超宽带技术、MMICS、mmWave

资料来源：公司官网，国元证券研究中心

行业领先厂商不仅在 Saw、Baw 及 Fbar 滤波器领域具有较强的技术积累的核心的工艺和专利，也对射频前端各个环节积极布局。例如 Qorvo、Broadcom 和 Murata 均布局了射频模组产品。Qorvo 由于拥有自己的工厂，在生产和封装方面具有丰富经验，开发出了创新的封装技术，集性能稳定、外观小巧、性价比高、极低功耗等优势于一身。

全球各厂商先后多次在滤波器领域提高产能，扩产的驱动原因主要是移动通信的技术迭代和消费电子的兴起。如日本企业 Murata、太阳诱电等纷纷在 2014 年前后扩充滤波器产能，以适应快速兴起的 4G、LTE 以及增长的 4G 手机零部件需求。而从 2017 年起至今，5G 和 IoT 进展飞快，Qorvo、高通等国际知名厂商均通过收购、建厂等方式扩充滤波器产能，试图在 5G 时代中抢占先机。

表11： 各厂商扩产原因及情况

时间	扩产原因	扩产情况
2012~2015 年	3G 向 4G 及 LTE 过渡	Murata 使位于日本石川县白山市和仙台市的主力工厂的 AWw 滤波器产能同比增强 5% 日本太阳诱电公司从日立制作所收购东京青梅市半导体工厂，2014 年度投入运行以加强 Saw 滤波器的供给。 博通与 Avagao 并购整合占据了全球体声波滤波器 87%的市场份额
2016~2020 年	5G、IoT 迅速发展	Qorvo 收购 Decawave 等公司，进一步扩大产能 高通 30 亿美元与 TDK 合资挺进滤波器等市场 Qorvo 德州工厂投产，与北京工厂预计可以覆盖 Qorvo 在全球 80%的产能。 Murata 扩建岛根县、泰国工厂以应对 5G 带来的零部件增长需求

资料来源：网络公开信息，国元证券研究中心

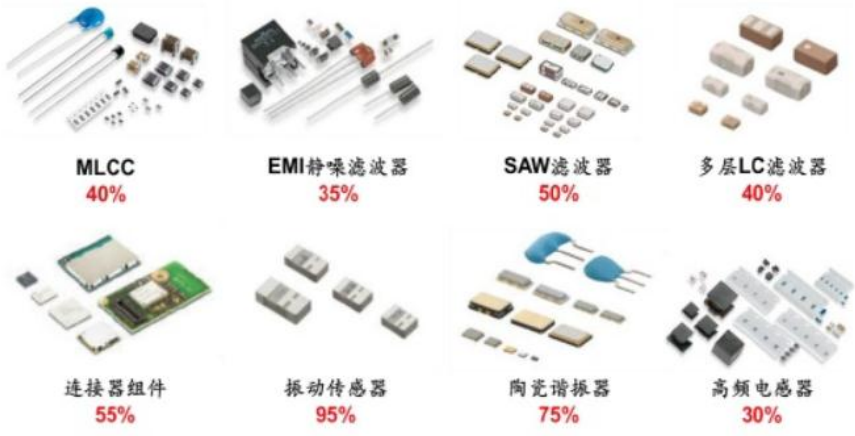
6.8 国际射频巨头盈利能力如何

射频前端行业现有格局呈现出 Broadcom、Skyworks、Qorvo、Murata、RF360 五强垄断的特征。

在智能手机射频前端滤波器领域，尤其是体声波滤波器领域， Broadcom 是市场领导者。据 Yole 分析，滤波器成为助推 MEMS 市场的最强劲引擎，如果不包括射频器件，MEMS 市场在 2011-2023 年间增长率仅为 9%；若再加上 RF MEMS，则整个 MEMS 市场的年复合成长率达到 17.5%。2017 年，由于在体声波滤波器领域的优异表现，Broadcom 成为全球 MEMS 领域最大的供应商。2015 年，Avago 与 Broadcom 合并，奠定了行业领先的滤波器技术基础，在收购英飞凌体声波业务后体声波滤波器市场份额扩大至 65%以上。据金智创新数据显示，2016 年，Broadcom 的 Fbar 滤波器出货量突破 5 亿颗。2019 年中旬，苹果与 Broadcom 签订两年的射频前端订单，以应对 5G 手机需求。受到疫情影响，博通 2020 年第一季度业绩略逊于预期。

Murata 是全球 Saw 滤波器龙头，在 2012 年~2016 年间，受益于苹果供应链、智能手机通信模块增长、压电器件需求景气等影响，Murata 营收增长明显。从 2003~2018 年，Murata 营业收入年复合增长率达到 8.66%。Murata 在 2019 财年业绩相对下滑，公司营业利润率同比下降 5.1%，主要是由于客户与代理商存在库存调整，产品用途广泛性降低，整体出现萎缩。在通讯设备领域，5G 智能手机和基站推动 MLCC 和射频滤波器及模块需求增长，Murata 仍保持增长态势，2019 年营收同比上升 4.1%。2020 年初，由于疫情缘故，Murata 于菲律宾、马来西亚的代工厂以及日本的福井雄、出云和福山代工厂均经历停产，目前虽已大部分恢复生产，但仍将对 2020 财年营收造成影响。

图64： 2017 年 Murata 代表性产品及全球份额



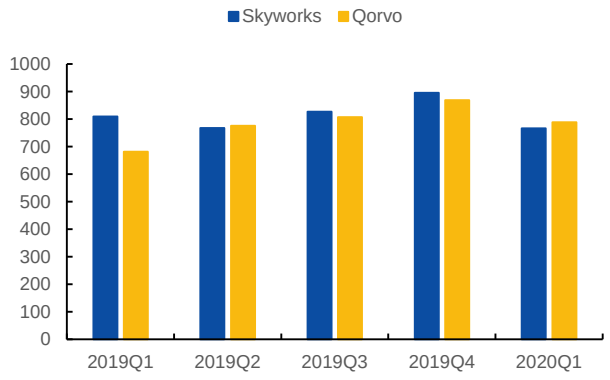
资料来源：Murata， 国元证券研究中心

Baw 和 SOI 等核心技术搭配公司差异化的解决方案，扩大了 Qorvo 的收入，其基于 Baw 推出的天线接收器和分集接收模块等产品都带来了广阔的增长机会。Qorvo 在 2020 第一季度的销售额也超越了竞争对手 Skyworks，销售额的增长主要依靠 5G 增量在基站和手机对于射频器件需求不断增长。Qorvo 在 2019 年收购了 4 家公司以扩

充其产品线。

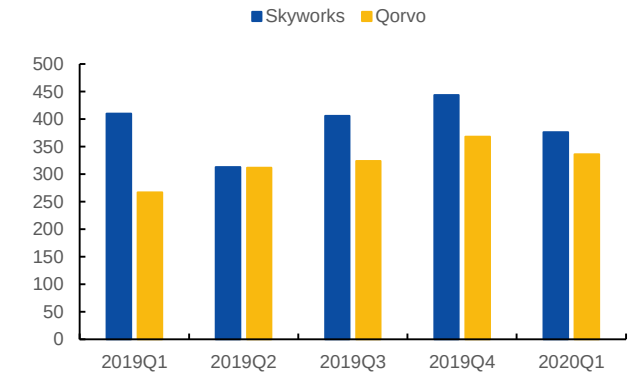
Skyworks 作为行业内的龙头企业，销售额同比 2019Q1 下降了 5.4%，主要原因是新冠疫情导致中国市场需求下降。在各细项指标上，Skyworks 依然延续了稳健高效的运营风格，毛利率依然保持在高位 49.0%，净利率达到了 23.6%。Skyworks 的销售额增长大多依靠公司产品线的高效运营和内生增长而非并购。

图65： Skyworks 和 Qorvo 收入对比（百万美元）



资料来源：Yahoo Finance， 国元证券研究中心

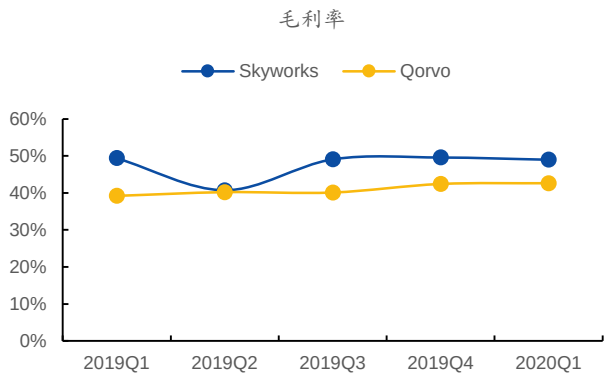
图66： Skyworks 和 Qorvo 毛利润对比（百万美元）



资料来源：Yahoo Finance， 国元证券研究中心

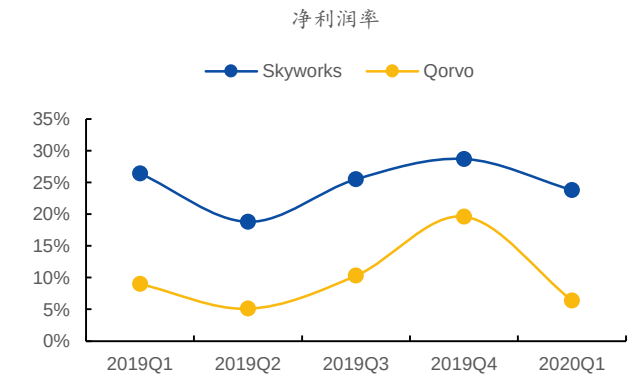
2020 年第一季度 Skyworks 与 Qorvo 净利率均出现一定程度下滑，推测由于疫情导致复工进度减缓。毛利率上，两公司差别较小，而净利率上，Skyworks 的净利率远高于 Qorvo。

图67： Skyworks 和 Qorvo 毛利率对比



资料来源：Yahoo Finance， 国元证券研究中心

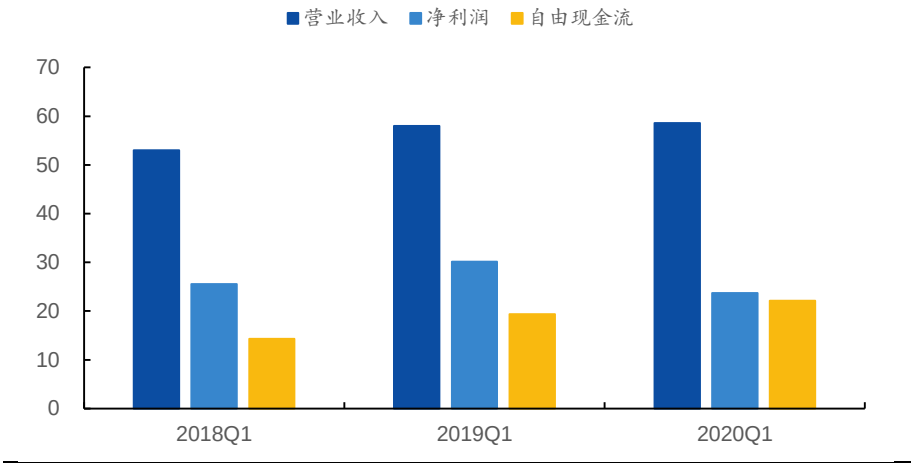
图68： Skyworks 和 Qorvo 净利率对比



资料来源：Yahoo Finance， 国元证券研究中心

Broadcom 是射频方面的领导企业，在收购英飞凌体声波业务后扩大了 Baw 滤波器市场份额。

图69： Broadcom 公司近三年第一季度营业情况（亿美元）



资料来源：Yahoo Finance， 国元证券研究中心

7. 射频滤波器为寡头垄断市场，关注国产替代机会

7.1 射频滤波器国产化率仅为低个位数，替代空间广阔

我国国内滤波器市场严重供小于求，国产量与需求量相差甚远。我国是全球最大的 Saw 滤波器市场，据智研咨询数据统计，2018 年 Saw 滤波器市场规模达到了 154.8 亿元，同比增长 4.97%，消费量为 151.2 亿只，而产量只有 5.04 亿只，国产 Saw 的产量长期以来都不及需求量的 10%。

国产替代趋势下，国内射频滤波器厂商迎来发展机遇。及时抓住需求变化契机、率先匹配需求的厂商往往能够获得早期参与优势，在市场上脱颖而出，快速崛起。国内一批厂商也在迅速崛起，占领国内滤波器市场。由于中美贸易摩擦的影响，国内射频芯片去美效应凸显。与国际领先企业相比，国内厂商在自主研发能力、技术水平、完整的产业链等核心竞争力方面明显落后，目前本土厂商提供的产品主要集中于分立器件，并逐步向中高端模组渗透。

在射频前端模块中，射频滤波器起着至关重要的作用，国际射频巨头早期通过收购夯实滤波器技术基础。国际巨头 Qorvo 由 RFMD 和 TriQuint 合并而来，其中合并的重要原因就是 TriQuint 具备滤波器技术，且合并后 Qorvo 仍在着力发展滤波器技术。射频芯片龙头高通与日本滤波器大厂 TDK 也于 2016 年年初成立合资公司 RF360，以布局射频滤波器市场。目前 Murata 也积极投入 Baw 和 Fbar 滤波器的研发中。国际龙头将主力精力集中在高频段 Baw 滤波器市场，而中低频 Saw 技术进展比较缓慢，也就成为了国产替代的重点领域。

表12： 国内厂商滤波器业务现状梳理

厂商	发展情况
无锡好达	成立于 1999 年，公司主要产品包括声表面波滤波器、双工器、谐振器，应用于手机、通信基站. LTE 模块，物联网，车联网，智能家居，航天航空、及其它射频通讯领域。公司拥有能生产 0.25um 微线条芯片生产线. 有能生产 CSP 倒装产品封装的生产线. 可生产产品尺寸为 1 .8*1.4 的双工器、1.1*0.9 的滤波器。主要客户包括小米、中兴、三星、联想等。
德清华莹	最早创建于 1978 年，公司是国内早期自主研发声表面波器件的企业之一，公司年产各类声表谐振器，声表滤波器 8000 万只. 主营业务已经扩展到声表面波器件、压电材料和射频模块，主要生产 3-8 英寸铌酸锂钽酸锂晶片、声表面波滤波器、声表面波传感器、环行器和隔离器等系列产品，是行业内唯一具有材料、器件、模块全产业链竞争优势的企业。
华芯无线科技(深圳)有限公司	自主研发了适用于 5G 手机的 Full B41 Baw 滤波器，目前已经流片成功，即将进入量产阶端。公司预计将在 2020 年底研发出 B77、B78、B79 等多个适用于 5G 频段的滤波器芯片样品。
天通股份	首先，公司的压电晶体材料是制造 Saw 滤波器的核心材料， 其次，公司参股子公司瑞宏科技自主研发的第一批声表面波（Saw）滤波器样品成功下线. 并通过了客户的测试认证，准备小批量投产试用，这是瑞宏科技进军智能手机芯片领域的重要一步。
麦捷科技	与中电 26 所合资，量产 Saw 滤波，2016 年增发募资用于 LTCC 基板的 Saw 生产项目，项目建成后预计年产 Saw 滤波器 9.4 亿只。
天津诺思	是中国首家 Fbar 生产企业，是专注于 Fbar 滤波器的 IDM 模式的厂商，拥有亚洲首座具有完全知识产权的 Fbar 晶圆厂。推出了 2.6G 194MHz 带宽的滤波器 RSFP2602D(适用于 5G NR n41 频段)和 3.5G 200MHz 带宽的滤波器 RSFP3500D(适用于 5G NR n78 频段)。诺思的 Fbar 技术水平已经处于国际领先地位，已推出包括 N41 在内的多款滤波器产品。2020 年 5 月，诺思发布了基于 Fbar 工艺的两款中高频 LTE 频段双工器，RSFD1702C 及 RSFD2502C。
中电 26 所	26 所从事压电与声光晶体的研发、生产四十多年，主要产品有锭酸捏、钽酸锂、镓镧系列 、氧化碲等，在产品端， 26 所研制生产的 Saw 滤波器通常分为低损耗滤波器、窄带低损耗滤波器、宽带低损耗滤波器和常规损耗滤波器，当前主要应用在雷达装备及通信系统，前端及中频系统中。
北京航天微电科技有限公司	公司有四大专业：微波无源（包括 Saw 滤波器等）、射频微波、EMC 产品及服务及传感器。公司产品广泛应用于雷达、飞船、运载火箭、卫星、遥感遥测、电子对抗、通信等设备，是多家军工集团合格供应商。

中讯四方	公司是一家具有自主研发能力，专业从事声表器件、微波组件/模块、微波系统集成的国家高新技术企业。产品广泛应用于移动通信、雷达、北斗导航、电力、物联网及消费类电子等领域。
中科飞鸿	公司专注于声表面波产品，拥有国内领先水平声的表器件生产线 1 条，达到月产 20000 只器件的规模（特殊应用领域，所以量不大）。
汉天下电子	率先全面掌握 Baw 滤波器量产技术的公司，于 2019 年推出了包括全频段 N41 滤波器（适配 5G 技术）在内的多款滤波器产品。

资料来源：中国电子元件行业协会，国元证券研究中心

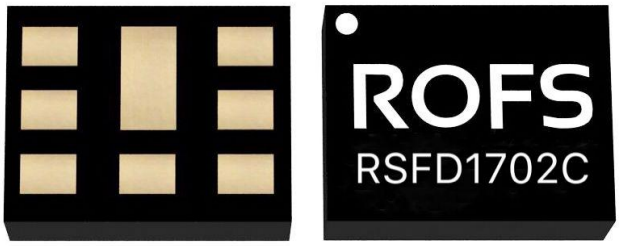
在国内的射频前端领域中，深耕滤波器产业多年的企业包括好达电子、中电 26 所、德清华莹、中电 55 所等。 目前卓胜微、信维通信和麦捷科技在 saw 滤波器领域的进展相对较快，其中麦捷科技与中电 26 所展开合作，信维通信与德清华莹展开合作。在体声波滤波器领域，天津诺思、汉天下、开元通信等国内厂商进展较快。诺思的高功率容量体声波滤波器应用于基站领域，汉天下则已推出全频段 N41 滤波器在内的多款滤波器产品。

麦捷科技在滤波器方面的技术有着坚实的积累，也率先抢占了市场，在上市前就对 Saw 器件等产品相关技术进行了研究。在麦捷科技 IPO 募投实施研发中心建设项目中，建立了 Saw 器件的设计与工艺制作研发部。目前麦捷科技已掌握了终端射频 Saw 滤波器产品技术和生产工艺，部分产品已实现导入客户并开始量产交付，而 Fbar 和 Baw 类滤波器也在研发试制阶段。目前公司基于 LTCC 基板的终端射频声表滤波器（Saw）封装工艺开发与生产项目正逐步放量出货，2019 年实现营业收入 3,332.62 万元。

国内目前在 Baw/Fbar 滤波器领域已有部分领军企业成功突围射频前端领域的国外巨头的技术封锁，研制出具有自主知识产权的滤波器芯片产品。例如诺思(天津)微系统、开元通信、华芯、以及中科汉天下等厂商。

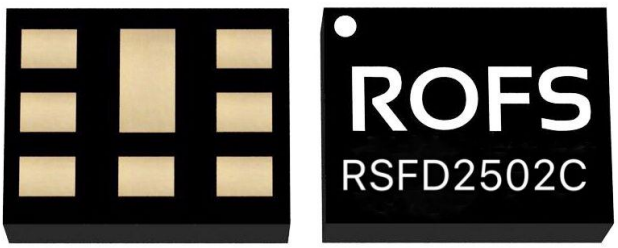
诺思微系统是中国首家体声波生产企业，是专注于 Fbar 滤波器的 IDM 模式的厂商，拥有亚洲首座具有完全知识产权的 Fbar 晶圆厂。2020 年 5 月，诺思发布了基于 Fbar 工艺的两款中高频 LTE 频段双工器，RSFD1702C 及 RSFD2502C。

图70： 中高频 LTE 频段双工器 RSFD1702C



资料来源：搜狐新闻， 国元证券研究中心

图71： 中高频 LTE 频段双工器 RSFD2502C



资料来源：搜狐新闻， 国元证券研究中心

开元通信基于自主掌握的相关领域核心技术，已发布 8 英寸 BAW 滤波器系列产品。其中，应用于 4G+/5G 的全频段 B41 BAW 滤波器为国产芯片性能最优、可靠性最高，目前已通过行业内全面验证并量产出货。

开元通信通过在工艺、封装、设计等领域的自主创新，形成了具有高度竞争力和独特差异化的全套自主知识产权。基于自身的 fablite 经营模式，可提供技术覆盖全面、产品形态多样、产能充沛、高性能的射频前端滤波器及模组产品，为产业提供全面且可靠的滤波解决方案。2019 年 8 月，开元通信推出了“矽力豹”品牌系列 5G n41 BAW 滤波器芯片产品，是目前国内唯一量产的 8 英寸 BAW 产品。2020 年 3 月，发布了“蜂鸟”射频前端子品牌——高集成度、小型化、性能可靠、价格实惠的本土第一款使用先进封装工艺并量产的 DiFEM 接收模组产品。2020 年 8 月，开元推出了国内首个量产的 FEMiD 射频发射模组产品，以满足 5G 客户对发射模组的各类需求。

图72： 开元通信 N41 滤波器介绍



资料来源：开元通信，国元证券研究中心

中科汉天下是国内率先全面掌握 Baw 滤波器量产技术的公司，拥有关于 Baw 滤波器、谐振器的多项核心技术。2019 年推出了适配 5G 技术的一些滤波器产品，包括全频段 N41 滤波器在内的多款产品。

7.2 华为在射频的布局

华为积极布局射频，加速国产射频滤波器替代。华为除了自主研发射频 PA、开关等射频产品以外，在滤波器领域通过股权投资方式积极拓展资源。2019 年 4 月，华为成立哈勃科技投资有限公司，陆续投资了山东天岳等 10 家企业。2020 年 1 月，哈勃投资入股好达电子。好达电子是滤波器出货量行业领先的本土射频厂商，其主要产品包括中频声表滤波器（Saw）、声表谐振器、双工器及其它射频滤波器等。

表13： 华为哈勃投资的企业概况

公司名称	主营产品	类型	供货关系	简介
思瑞浦	模拟芯片	新三篇定增	直接供应商	公司聚焦高性能模拟芯片设计，历经多年的发展与积累，在信号链模拟芯片和电源管理模拟芯片领域，积累了大量技术储备，并持续开发、升级，实现模拟芯片产品大规模量产。
山东天岳	碳化硅材料	Pre-A 轮		公司主要研发第三代半导体材料，碳化硅产品主要有 4H-导电型碳化硅衬底材料，其规格有 2 英寸、3 英寸、4 英寸以及 6 英寸。
杰华特微电子	功率芯片	战略投资	直接供应商	杰华特致力于功率管理芯片，为电力、通信、电动汽车等行业用户提供系统的解决方案与产品服务。目前，杰华特拥有电池管理、LED 照明、DC/DC 转换器等产品。
深思考	人工智能芯片	战略投资	直接供应商	公司专注于类脑人工智能与深度学习核心科技，最突出的技术是“多模态深度语义理解引擎（iDeepwise.ai）与人机交互技术”。
裕太车通	车载通讯芯片	战略投资		裕太车通是一家车载核心通讯芯片研发商，致力于有线通讯 PHY 芯片的设计、研发和销售。
鲲游光电	晶圆级光芯片	战略投资	直接供应商	公司由国际国内光电子领域顶级学者、多年光电产业经验的行业资深人员组成，专注于晶圆级光芯片的研发与应用，致力于探索通过半导体工艺与光学工艺的融合，以半导体晶圆思路设计、制成纳米级、低成本的光学芯片。
好达电子	射频滤波器	战略投资	直接供应商	公司生产声表面波器件，主要产品包括声表面波滤波器、双工器、谐振器，应用于手机、通信基站，LTE 模块，物联网，车联网，智能家居，及其它射频通讯领域。
庆虹电子	连接器	战略投资	直接供应商	公司经营范围包括生产各类仪用接插件、各类精冲模、精密型腔模、模具标准件及五金件，销售公司自产产品，从事各类电子元器件的批发及进出口业务等。

新港海岸	高速接口芯片	战略投资	直接供应商	无晶圆厂半导体公司，为高清显示和企业网络应用提供高性能高速接口 IC 产品和系统解决方案。目前公司拥有超高清显示及光通信两条产品线。
纵慧芯光	VCSEL 芯片	战略投资	直接供应商	公司是一家创新型的光电半导体企业，致力于为全球客户提供高功率以及高频率 VCSEL 解决方案，主要研发生产 VCSEL 芯片、器件及模组等产品。

资料来源：天眼查，国元证券研究中心

8. 投资建议

射频滤波器产业是千亿市场蓝海，从分立滤波器到滤波器模组为国内本土企业提供广阔的发展空间。中美贸易摩擦背景下，射频滤波器国产化率有望逐步提升，国内射频去美效应凸显。及时抓住需求变化契机、率先匹配需求的厂商往往能够获得早期参与优势，在市场上脱颖而出，快速崛起。国内一批厂商也在迅速崛起，占领国内滤波器市场。

8.1 卓胜微

卓胜微是国内射频前端平台企业，全面布局射频开关、滤波器、PA、射频模组等产品。公司成立于 2012 年，以射频开关、LNA 芯片起家，已实现全球主流智能手机品牌如华为、三星、小米、OPPO 等重点客户覆盖。公司不断开发创新，部分创新产品已达国际先进水平，公司于 2019 年成功推出适用于 5G 通信标准 Sub-6GHz 的射频器件，并基本达成 Sub-6GHz 频段开关的全覆盖，且射频模组高技术含量产品 DIFEM、LFEM、LNA bank 研发成功，并将逐步量产。公司在原有产品基础上，积极布局射频滤波器细分领域，并推出多款 Saw 滤波器产品，包括应用于卫星定位系统的 GPS 滤波器、适用于无线通信的滤波器、WIFI 滤波器等，且以上滤波器产品均已量产或出货。且公司的毛利率水平持续保持在高位，盈利能力稳健。

2020 年 6 月 1 号，公司第一届董事会第十四次会议决议通过《关于公司符合非公开发行 A 股股票条件的议案》，公司拟募集资金总额不超过 30.06 亿元，主要用于高端射频滤波器芯片及模组产业化项目、5G 通信基站射频器件研发及产业化项目并补充流动资金。

表14： 公司募集资金流向（万元）

名称	总投资金额	募集资金投入金额
高端射频滤波器芯片及模组研发和产业化项目	227430.12	141760.77
5G 通信基站射频器件研发及产业化项目	163801.33	83793
补充流动资金	75000	75000
投资总额	466231.45	300553.77

资料来源：卓胜微公司招股说明书，国元证券研究中心

在本次募集资金过程中，过半数募得资金将投入高频射频滤波器芯片及模组研发和

产业化项目。公司本次高端射频滤波器芯片项目是在原有 Saw 滤波器技术基础上，进一步研发高性能、复杂应用的高端滤波器，以满足客户对定制化、高性能和搞复杂度射频器件的需求。

表15： 高端射频滤波器芯片及模组研发和产业化项目（万元）

名称	总投资金额	募集资金投入金额
硬件设备费	141760.77	141760.77
研发支出	47114.13	-
基本预备费	3777.5	-
铺底流动资金	34777.72	-
投资总额	227430.12	141760.77

资料来源：卓胜微公司招股说明书，国元证券研究中心

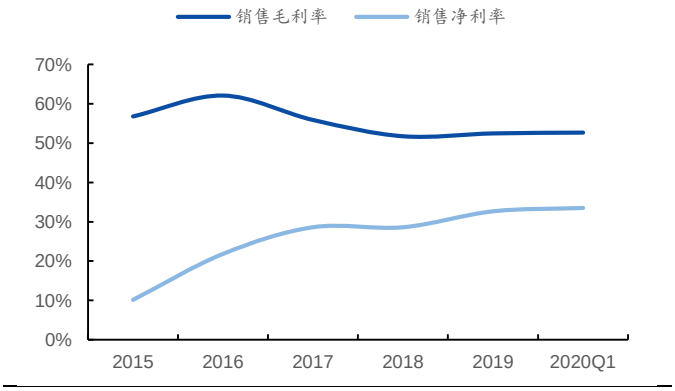
我们看好公司的高端技术和大客户的优势，身处射频芯片优质赛道，未来公司业绩将充分受益于 5G 需求和国产替代的双轮驱动。

图73： 卓胜微近年营收情况



资料来源：Wind， 国元证券研究中心

图74： 卓胜微近年盈利能力



资料来源：Wind， 国元证券研究中心

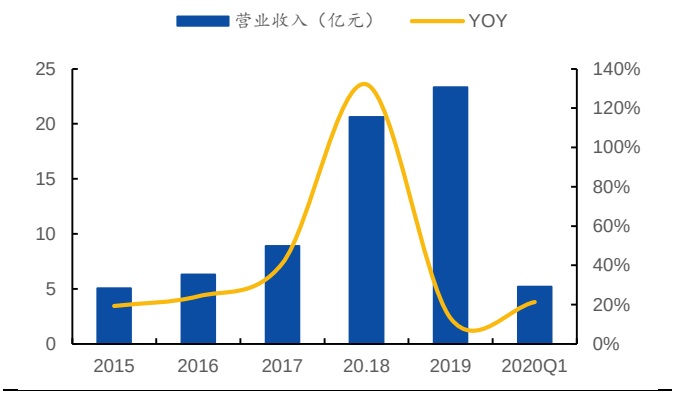
2019 年 9 月，卓胜微表示其已根据募投项目建设周期及规划推进了滤波器产品和产业化建设，卓胜微滤波器生产的包括卫星定位系统的 GPS 滤波器、用于无线互联前端的 WIFI 滤波器、适用于移动通信的滤波器等，上述产品均已量产或出货。据卓胜微公告称，公司滤波器的产能能够满足客户的需求。

8.2 经纬辉开

经纬辉开通过收购诺思布局体声波滤波器芯片领域。天津经纬辉开光电股份有限公司前身成立于 1999 年，于 2010 年在深圳证券交易所创业板挂牌上市。公司以研发生产销售各类型电磁线、电抗器业务起步。公司在电子信息板块主要产品包括各种类型的液晶显示模组、触控显示模组、3D 防护屏、电子车牌等产品的研发、生产及销售；电力板块，公司主要产品包括不限于各类电抗器、电磁线等。

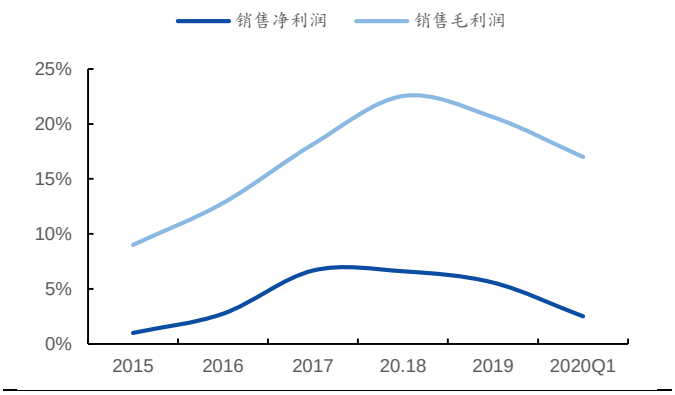
公司坚持自主技术创新，在高端显示屏、车联网终端产品和电力电磁线方面具有全球领先的技术。仅 2019 年就获得电磁线领域授权国家专利 7 项，申请国家专利 6 项，电抗器领域授权国家专利 6 项，申请国家专利 17 项。公司是国家电网、南方电网供应商，在马来西亚新建生产基地突破产能瓶颈，具有较强的战略优势和市场优势。

图75： 经纬辉开近年营收情况



资料来源：Wind， 国元证券研究中心

图76： 经纬辉开近年盈利能力



资料来源：Wind， 国元证券研究中心

2020 年 7 月，据《关于公司对外投资的公告》称，经纬辉开拟 1.27 亿元收购诺思 10.1%股权，布局射频前端薄膜体声波滤波芯片领域。公司认为滤波器在无线通信、蓝牙、GNSS 及 Wi-Fi 领域都有广泛的应用，将成为公司在电力与电子信息基础上的有益增长动力。

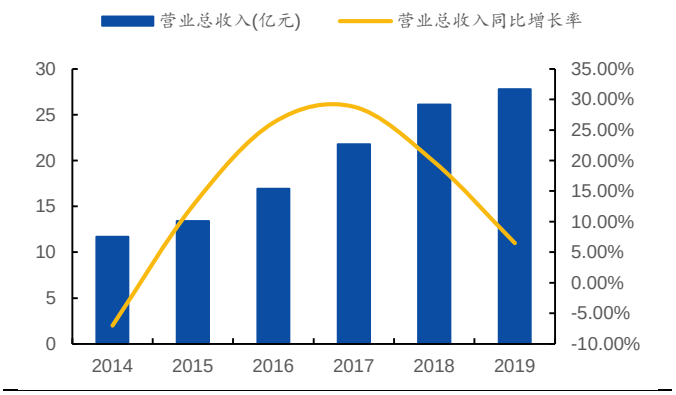
诺思是中国首家技术水平世界领先的射频体声波滤波芯片生产企业，也是国内极少数的专注 Fbar 滤波器的 IDM 模式厂商，于 2017 年在天津建设了亚洲首座具有完全知识产权的 Fbar 晶圆厂。它填补了国内射频前端薄膜体声波射频芯片领域的空白，具有广阔的市场前景。2018 年，诺思天津工厂交付能力达到 3 亿颗.2019 年南昌工厂产能达 12 亿颗。2018 年，公司拟投资 128 亿元人民币在绵阳建设一条年产 110 亿颗的 8 英寸 Fbar 芯片生产线，建成后年产能将达到 125 亿颗。

8.3 天通股份

天通股份为国产压电晶体材料龙头厂商。天通股份成立于 1984 年，是国内首家由自然人控股的上市公司。目前公司主营业务分为电子材料和高端专用装备，包括磁性材料、蓝宝石晶体、压电晶体研发、生产、销售以及高端专用设备的研发、制造和销售。公司持续扩大电子材料产能，已成功投产一条用于磁性材料生产的自动化产线，扩增 2 条 SMT 生产线、9 条 5G 自动化测试线、1 条 DIP 波峰线。公司设备产业也是盈利增长重点之一，在半导体行业，公司研发生产的 8 英寸单晶生长设备已交付客户使用，硅片研磨机和晶圆减薄机等产品也陆续获得客户订单。

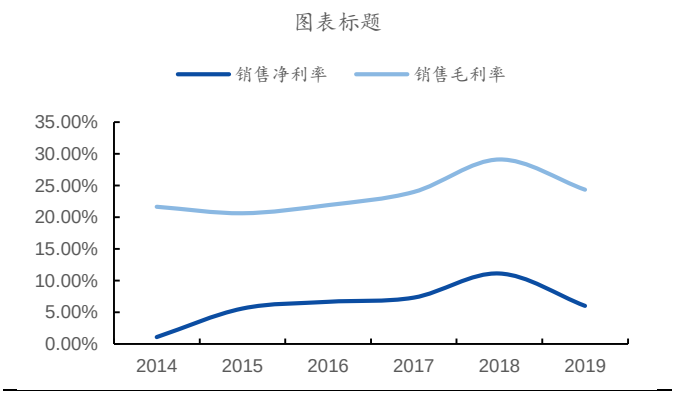
压电晶体材料是 Saw 滤波器及 Baw 滤波器的重要材料，国产化缺口明显，也获得了政策支持。国家“十三五”纲要中已明确将压电材料列入重点支持产业。面对 5G 时代带来的 Saw 滤波器需求井喷，天通股份积极布局压电晶体材料的研发以及专用设备制造。目前，公司 4 英寸、6 英寸 LT、LN 各种轴向晶片已实现量产，4-6 英寸双抛片应用方面已处于行业领先地位。公司已取得压电晶体材料发明专利 4 项，打破了国外垄断，实现了技术的自主可控。天通压电晶体材料占据了国内滤波器材料市场的重要份额，主要销售客户为无锡好达电子、重庆中电 26 所等。

图77： 天通股份近年营收情况



资料来源：Wind， 国元证券研究中心

图78： 天通股份近年盈利能力



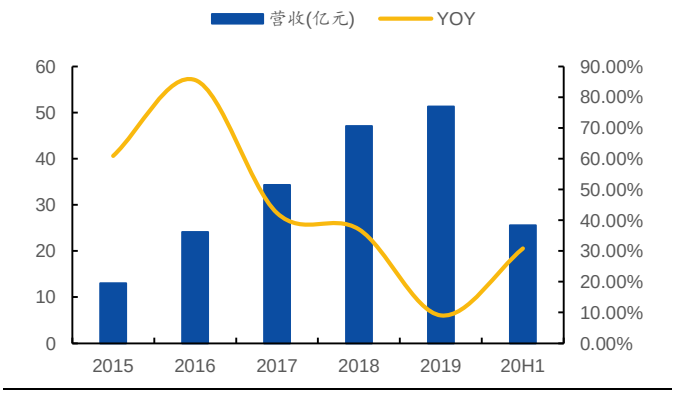
资料来源：Wind， 国元证券研究中心

受益于射频器件国产化的需求拉动，压电晶体的需求和产能规模迅速增加，天通股份压电晶体逐步达产。2016 年，天通股份投资约 2 亿元建设年产 60 万片新型压电晶片项目，2018 年实现量产。公司压电晶体材料在晶片还原和抛光上具有核心技术，产品性能达到国际同行水准，技术研发能力和产品质量水平均处于行业领先水平，是实现国产替代的潜在力量，更走出国门，面向日韩市场推广。

8.4 信维通信

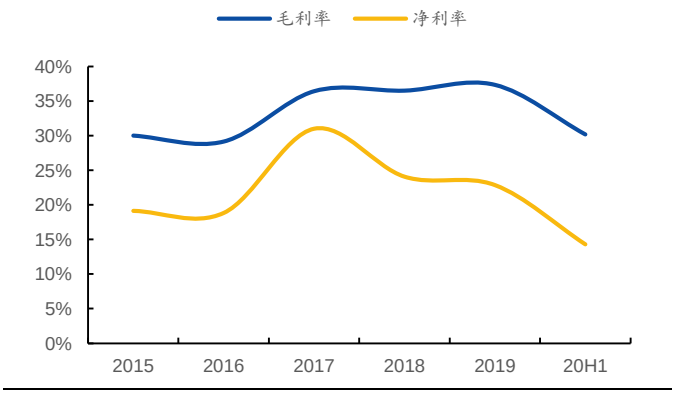
信维通信是国内先进的天线+射频企业，公司在天线业务上不断扩展，目前已成为国内领先的泛射频企业：公司 2006 年开始进军天线领域，并以此业务为根基扩展了射频连接线和元件之间的屏蔽件;从射频连接线出发,公司扩展了 BTB 连接器、lighting 闪电头和其他工业连接器；基于材料和工艺的理解，在信号传输的基础上扩展了能量传输，即无线充电领域。公司已经形成了以射频技术为中心，从研发设计、前端材料到后道工艺的产业链布局，射频领域产品将覆盖信号段（天线）、信号传输（射频连接线、LCP）、信号处理（滤波器、PA 等）。公司现有的客户已经覆盖苹果、谷歌、微软、华为、OPPO、vivo 等主流厂商。在 5G 技术、物联网发展等背景下，公司有望从产品线和客户线两个维度实现长足的发展。

图79： 信维通信近年营收情况



资料来源：Wind， 国元证券研究中心

图80： 信维通信近年盈利能力



资料来源：Wind， 国元证券研究中心

- **公司采用一站式生命模式，**从研发设计到产品制造，从材料到工艺、再到产品，全方位为客户提供解决方案。公司从材料段布局，无线充电、粉末冶金、LDS 天线、LCP、EMI/EMC 产品均具有自主生产材料的能力。**一站式的布局，可提高公司在市场中的竞争力，提高盈利能力。**
- **5G 通信进一步巩固信维天线龙头地位。**作为射频天线的龙头企业，公司一直重视对于 5G 天线的研发投入。信维目前拥有从材料到模组的前中后道能力。LDS 天线方面，公司是国内厂商华为、OPPO、vivo 的主要供应商，也是高通 5G 毫米波方案 LCP 传输线独家合作伙伴，同时，公司的 LCP 传输线也已经实现少量供货。
- **无线充电市场的不断放量以及公司无线充电市场客户的不断导入。**信维通信 2018 年导入华为、三星，2019 年进军北美市场，2020 年切入国内 OPPO、vivo。无线充电领域，信维基本已经实现全球前几大手机厂商的覆盖，随着无线充电在手机终端的渗透率不断提高，信维有望进一步提高市场份额。同时，在车载和智能家居无线充电领域，公司目前在与客户进行积极的项目合作，已经开始逐步放量，未来将会是公司又一业务增长点 。
- **BTB 连接器已经开始批量供货，出货量有望不断增长。**电子连接器是系统或整机电路单元之间电气连接或信号传输必不可少的关键元器件，广泛应用于办公设备、电信网络、3C 智能电子产品、智能家居、医疗设备等众多科技领域。目前市场主要由日系厂商 JAE、MOLEX、HRS、松下等垄断。公司目前已经成为国内唯一一家 0.35Pitch 制造商，随着公司国内终端厂商的拓展，预计信维将会不断扩大国内 BTB 连接器的份额。
- **在射频前端领域，**公司从 16 年开始布局射频前端，参股滤波器公司德清华莹，控股高端 PA 代理商瑞强通信，以滤波器为突破口，持续整合开关、滤波器、PA 器件等业务。如今拟增发 30 亿投资射频前端器件、5G 及天线组件、无线充电模组项目，进一步以 10 亿重金加码射频前端，将有助于公司进一步扩充产能，并结合公司现有的全球大客户平台优势，不断完善公司在射频前端的产业布局，加速提升公司射频前端产品的市场占有率，巩固自身在射频前端卡位优势，迎接 5G 射频前端市场的爆发。

8.5 麦捷科技

麦捷科技是国内被动器件龙头厂商， 积极布局 Saw 滤波器。公司在电子元器件产业深耕多年，是我国片式电感、片式 LTCC 射频元器件、滤波器等细分行业的领导企业。公司具有领先的技术创新和工艺创新优势，截至 2019 年，公司已获授权的专利共 158 项，且公司“高世代声表面材料与滤波器产业化技术”项目获得了 2018 年国家科学技术进步二等奖。公司早期参与射频滤波器产业，客户包括国际知名手机品牌厂商，如华为、小米、中兴等，多次被授予“优秀供应商”和“商业合作伙伴”等荣誉称号。

麦捷科技在 2016 年底募集了 8.5 亿元左右的募集资金，用于发展“基于 LTCC 基板的终端射频声表滤波器（Saw）封装工艺开发与生产项目”和“MPIM 小尺寸系列电感生产项目”。在 5G 换机潮下，公司一方面推动 Saw 滤波器量产出货，另一方面正在努

力推进面向 5G 的 LTCC、TC-Saw 和 Fbar 滤波器的研发和产业化，并计划于 2020 年推向市场。公司对叠层电感小型化和高频化的创新也进行了战略布局，并开发了整合滤波器、PA 以及电感器等射频前端期间的 PAMiD 模块。

表16： 募集资金投资明细

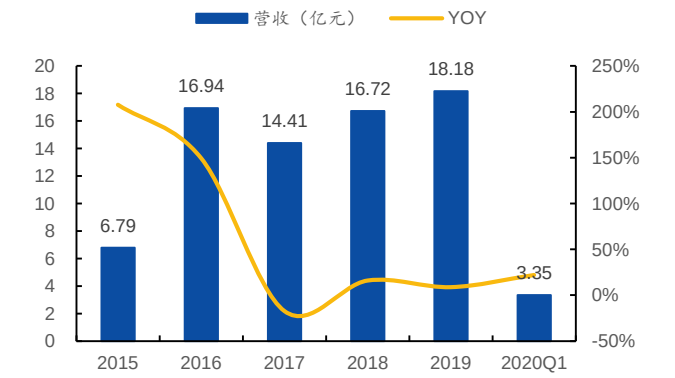
项目	投资总额	拟使用募集资金（万元）	建设周期	产品名称	年产量（万只/年）
基于 LTCC 基板的终端射频声表滤波器（Saw）封装工艺开发与生产项目	45225.59	37200	建设期 2 年，2018 年达产 50%，2019 年达产 100%	2016 双工器	34000
				1411 声表滤波器	30000
				1109 声表滤波器	30000

资料来源：国元证券研究中心

目前公司 Saw 滤波器已实现量产出货，且于 2018 年开始贡献利润，未来随着设备的到位和技术的进步，产能将进一步扩张，当前公司具备 5000 万只/月的 Saw 滤波器产能，2020 年有望扩张至 1 亿只/月。

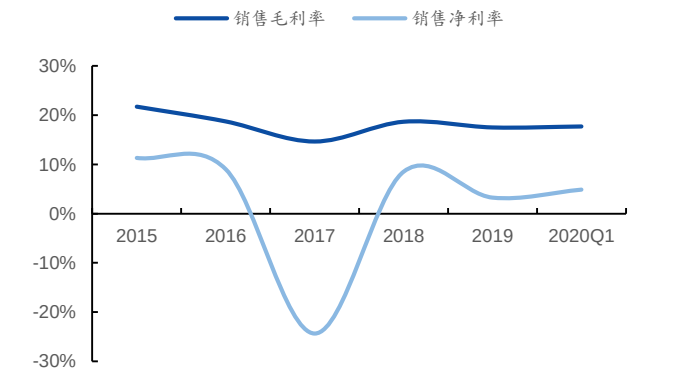
我们看好公司在射频器件产业链滤波器封装环节卡位和未来 Saw 滤波器的国产替代。在 5G 快速发展带动射频器件需求上升和巨大国产替代空间的背景下，Saw 滤波器产品将有望给公司带来很好的业绩增长。

图81： 麦捷科技近年营收情况



资料来源：Wind， 国元证券研究中心

图82： 麦捷科技近年盈利能力



资料来源：Wind， 国元证券研究中心

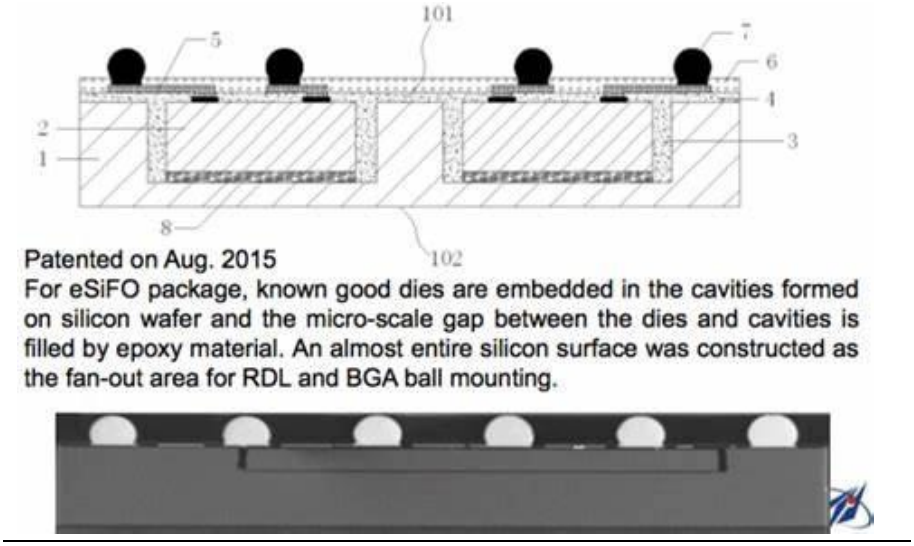
8.6 华天科技

华天科技为国产封测技术领导者，不断提升产能。华天科技成立于 2003 年，是半导体封测龙头企业，为客户提供封装设计、物流配送、引线框封装、封装仿真、晶圆级封装、基板封装、晶圆测试及功能测试等一站式服务。华天科技不断扩展版图，于 2018 年收购 Unisem，并投资 80 亿元在南京建设封测基地。为布局车用晶圆级先进封装业务，华天科技再次投资 20 亿元于舟山建设生产线。2019 年，华天科技在西安新增投入约 8 亿元设备以缓解封装产品产能紧张的局势。2019 年，公司共完成集成电路封装量 331.88 亿只，同比上升 24.19%，晶圆级集成电路封装量 85.15 万片，同比增长 50.98%。公司是国内少有的封测技术龙头，2019 年度共获得发明专利 17 项，公司客户包括国际知名滤波器厂商 Skyworks 以及 Sony 等，且在 2019 年继续发挥销

售龙头作用，本年新开发客户 146 家，台湾地区前十大 IC 企业已有 8 家公司成为华天科技的客户。

华天科技领先行业的核心技术为扇出型封装技术，其扇出技术被称为 eSiFO。在 eSiFO 技术中，需要先把晶圆蚀刻出一个缝隙，然后利用抓取一放置系统将裸片放置在这一缝隙中，最后密封。

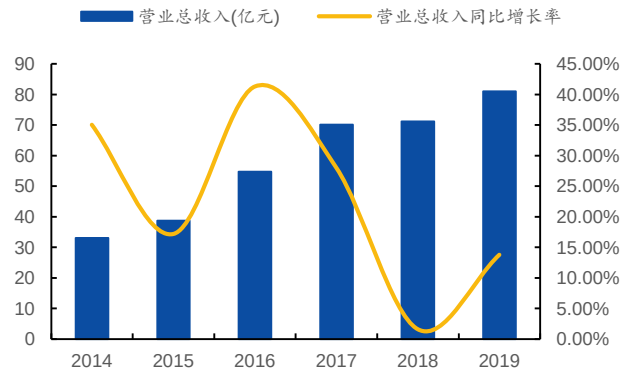
图83： 华天科技 eSiFO 扇出技术



资料来源：Semiengineering， 国元证券研究中心

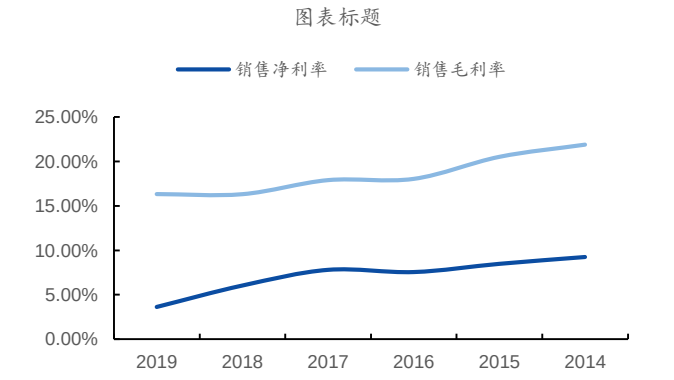
华天科技今年营业收入及销售毛利率、净利率均稳步增长。盈利能力的增长与其产能扩充息息相关。从 2015 年开始，华天科技就耗资近 20 亿元，分别在天水、西安以及昆山进行投资布局，扩大生产规模。华天科技收购的马来西亚封测企业 Unisem 也将为其带来产能增长。

图84： 华天科技近年营收情况



资料来源：Wind， 国元证券研究中心

图85： 华天科技近年盈利能力



资料来源：Wind， 国元证券研究中心

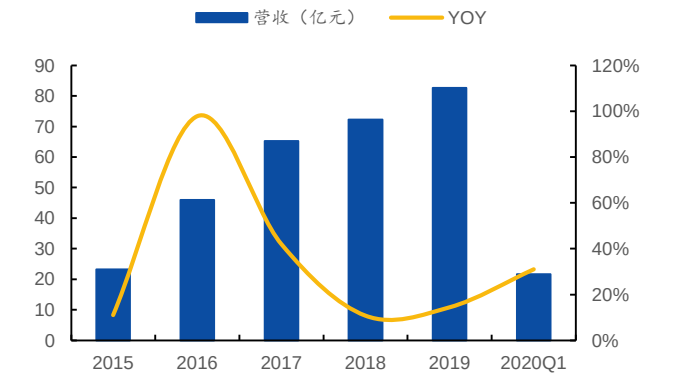
8.7 通富微电

通富微电为国产封测企业领军企业，先进技术驱动业绩增长。通富微电子股份有限公司成立于 1997 年 10 月，专业从事集成电路封装测试，是中国前三大集成电路封测企业之一。2017 年，公司在全球封测企业中排名第 6 位。公司在国内封测企业中技术领先，率先实现 12 英寸 28 纳米手机处理器芯片后工序全制程大规模生产，包括 Bumping、FC、CP、SLT、FT 等，截至 2019 年 12 约，公司累计申请专利 875 件。公司同样拥有 Bumping、FC、WLCSP、SiP、BGA 等先进封测技术、传统封测技术以及汽车电子产品、MEMS 等封测技术，目前公司现金封测技术已全部实现产业化。公司的产品和技术能够广泛地应用于存储器、高端处理器芯片（CPU 、GPU)、物联网、信息终端、功率模块、汽车电子等各个领域，这使得公司能够成为国产 CPU、GPU 等产品的国产化替代之一。

通富微电拥有位于江苏南通崇川的总部工厂、南通通富、合肥通富、TF-AMD 苏州、马来西亚槟城以及在建的厦门通富六大生产基地。公司先后在南通、合肥、厦门多地布局，以新建或参股的方式建成工厂，并收购了 AMD 苏州及 AMD 槟城各 85%的股权。公司生产基地多点开花，产能成倍扩大，对于先进封装方面的规模优势提升巨大。

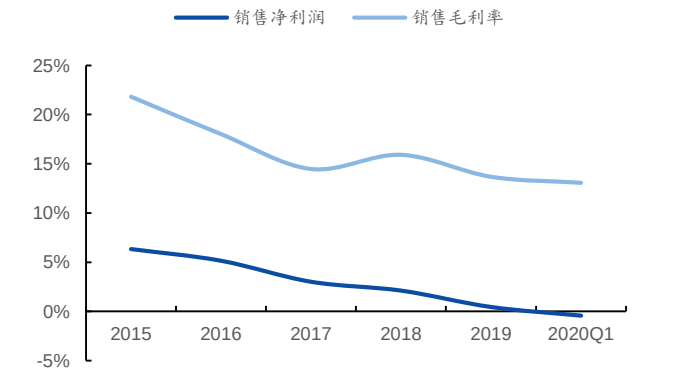
通富微电于 2019 年积极拓展 AMD 7 纳米封测服务，带来苏州、槟城生产基地订单的大幅增长。因而 2019 年，公司实现 82.67 亿元总收入，同比增长 14.45%。

图86： 通富微电近年营收情况



资料来源：Wind， 国元证券研究中心

图87： 通富微电近年盈利能力



资料来源：Wind， 国元证券研究中心

在全球半导体行业经历低谷后，随着 5G 进步，终端应用以及封装测试市场需求旺盛。受到政策福利和技术进步的影响，通富微电在封测领域的订单规模将持续提升，也将继续拓展生产线。2020 年，通富微电将启动新一轮 40 亿元的扩产募资项目，于南通苏通工厂布局面向 5G 的高端封装市场。

9. 风险提示

（1）全球经济下滑甚至衰退的风险；（2）疫情控制不当导致手机销售量不及预期风险；（3）5G 网络建设不及预期风险

附录：

桥本研也——Saw 滤波器学术泰斗

桥本研也，日本千叶大学教授，IEEE Fellow，日本学术振兴会弹性波元件技术第 150 委员会委员长。桥本教授分别于 1978 年 3 月和 1980 年 3 月获得日本千叶大学学士和硕士学位，1989 年 5 月获得东京理工大学博士学位；1980 年 4 月至 1989 年 3 月在日本千叶大学任助教，1989 年 4 月至 2005 年 3 月在日本千叶大学任副教授，2005 年 4 月至今在日本千叶大学任教授。桥本教授长期从事射频声表面波器件研究，取得了一系列杰出成果。

桥本研也于 1956 年 3 月 2 日出生于日本福岛。他分别于 1978 年和 1980 年在日本千叶大学取得电子工程的理学学士和理学硕士学位，并于 1989 年毕业于日本东京工业大学。他于 1980 年加入千叶大学，任副教授，现为教授。2013 到 2015 年间，他担任千叶大学前沿科学中心主任。1998 年，任芬兰赫尔辛基理工大学客座教授。在 1998/1999 年的冬天，他是法国 CNRS 的实验室的访问科学家。1999 年和 2001 年，他是奥地利林茨的约翰内斯开普勒大学的客座教授。2005/2006 年，中国科学院声学研究所客座科学家。2009-2012 年，他在中国成都电子科技大学担任客座教授。自 2015 年以来，他一直是上海交通大学的客座教授。

2001 年，他担任 IEEE Transactions on MTT 特刊《无线通讯用微波声波装置》的客座编辑，并担任 2002 年及 2015 年 IEEE 国际超声波研讨会的宣传联席主席。他被任命为 IEEE MTT 协会演讲局的成员。从 2005 年到 2006 年，他还担任国际著名协会 IEEE UFFC 的讲师。2007 年到 2009 年以及从 2014 年到 2016 年，他担任 IEEE UFFC 协会管理委员会（ADCOM）的成员。从 2007 年到 2009 年，他担任 IEEE ED 学会讲师。2011 年，他担任 IEEE ED 学会合作主席。2018 年，他也担任了 IEEE 国际超声学座谈会的合作主席。2015 年，他获得了新技术发展基金会颁发的“市村工业奖”，以表彰他为射频表面声波设备开发的最佳基片 42-LT。作为 IEC TC49/WG10 的核心研发专家，他研究了长达 7 年时间。作为项目负责人，他对压电锯齿和 Baw 滤波器的三个国际标准的制定做出了重要贡献。2018 年，他的“高性能射频 Saw 设备研究”获得了文部科学大臣对科学技术的表彰。在 2019 年，他出色的研究、服务、责任感和领导力获得 IEEE 2019 UFFC 杰出服务奖，他还在 UFFC-学会担任多个职务，包括两届 IEEE 国际超声学研讨会的主席、国际知名讲师、AdCom 会员等。

他目前的研究兴趣包括各种高性能表面和体声波器件的仿真和设计、声波传感器和执行器、压电材料和射频电路及系统设计。桥本博士是 IEEE 的会员，同时也是日本电子、信息和通信工程师学会、日本电气工程师学会和日本声学学会的成员。

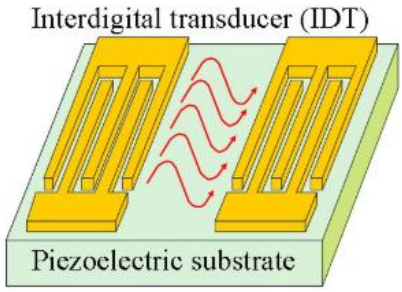
表17： 桥本研也职务、获奖情况

年份	职务/奖项
2001 年	被 IEEE Transactions on MTT 邀请担任 gust co-editor；
2002 至 2015 年	担任 IEEE International Ultrasonics Symposia 的宣传联席主席；
2005 至 2006 年	国际著名协会 IEEE UFFC 的讲师
2007 至 2009 年	担任 IEEE ED 学会讲师
2007 至 2009 年、2014 至 2016 年	担任 IEEE UFFC 协会管理委员会（ADCOM）的成员
2011 至 2018 年	担任 IEEE International Ultrasonics Symposia 的大会联席主席；
2015 年	获得「市村産業賞」，以表彰他为基于 42 度钽酸锂基片射频声表面波器件方面的杰出贡献；
2018 年	获得「科学技術分野の文部科学大臣表彰」。
2019 年	获得 IEEE 2019 UFFC 杰出服务奖

资料来源：千叶大学、国元证券研究中心

桥本研也研究了广泛应用于移动通信设备的频率范围内的高性能声波器件。作为一名 Saw 滤波器设备的专家，他的各种研究项目正在与世界各地的院校和行业进行强有力的合作。

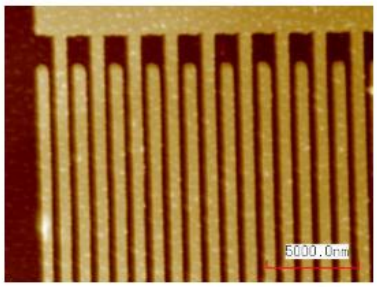
图88： Saw 设备基本结构



Fundamental topology of
Surface Acoustic Wave Devices

资料来源：千叶大学， 国元证券研究中心

图89： 0.5 微米列宽的 IDT 示意图



Fabricated IDT with line widths of
0.5micro-meter

资料来源：千叶大学， 国元证券研究中心

射频滤波器的基础材料

钽酸锂（$LiTaO_3$，简称 LT）和铌酸锂（$LiNbO_3$，简称 LN）晶体是十分重要的多功能晶体材料，可以作为压电晶片材料，具有优异的热电、压电、光电等性能，广泛用于制造 Saw 滤波器和 Baw 滤波器。铌酸锂晶体是一种多功能晶体，能够实现非临界相位匹配，具有良好的非线性光学性质，其非线性光学系数较大。铌酸锂晶体作为压电晶体，可以应用于制作中低频 Saw 滤波器，大功率耐高温的超声换能器等。它也是一种电光晶体，也是重要的光波导材料。

钽酸锂晶体也是一种具有很高应用价值的多功能材料。$LiTaO_3$晶体居里点高于 600℃，化学性能稳定高（不溶与水），不易出现退极化现象，探测率优值高，介电损耗低，是热释电红外探测器应用材料的最佳选择。过抛光的 LT 晶片具有良好的机电耦合、温度系数等综合性能，被广泛用于滤波器、谐振器、换能器等电子通讯器件的制造，也可以用于制造高频声表面波器件，并应用在对讲机、手机、航空航天、卫星通讯等许多高端通讯领域。

图90： 六寸黑化铌酸锂晶片



资料来源：中电科技德清华莹电子有限公司， 国元证券研究中心

图91： 四寸黑化钽酸锂晶片



资料来源：中电科技德清华莹电子有限公司， 国元证券研究中心

近几年，LT 和 LN 衬底材料的市场需求量以每年 50%的速度在增长，而目前的供应商基本都集中在日本等国外。

生产规模较大的企业包括住友金属矿山，且住友进行了大举扩产，公司 2014 年 12 月 18 日宣布将增产使用于智能手机 Saw 滤波器芯片的 LT/LN 基板。但 LT/LN 基板需求持续扩大，Saw 滤波器厂商仍纷纷提出要该公司进行增产的要求。当时住友金属矿山计划投下约 40 亿日元，除将进一步扩增旗下子公司“住矿国富电子”的 LT/LN 基板产能之外，也将在上述新设 LT/LN 基板生产设备，将 LT/LN 基板月产能规划中的 21 万片扩增至 30 万片的规模。增产工程于 2015 年 4 月动工、并在 2016 年 10 月完工。

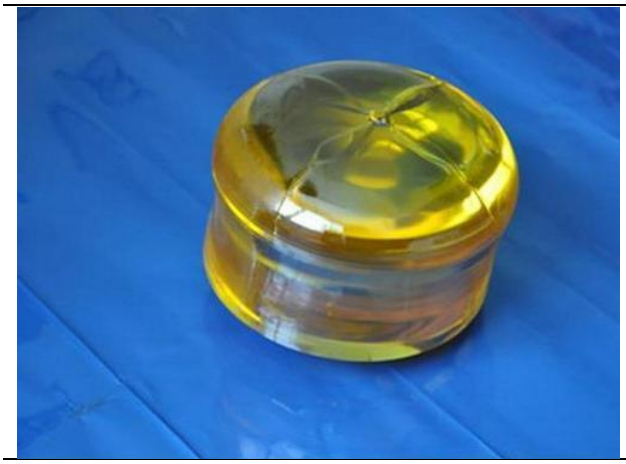
台湾生产 LT/LN 基板的厂商有兆远。国内从事钽酸锂和铌酸锂的公司有中电 26 所、天通股份等。

图92： 铌酸锂晶体、晶片



资料来源：滤波器， 国元证券研究中心

图93： 钽酸锂晶体

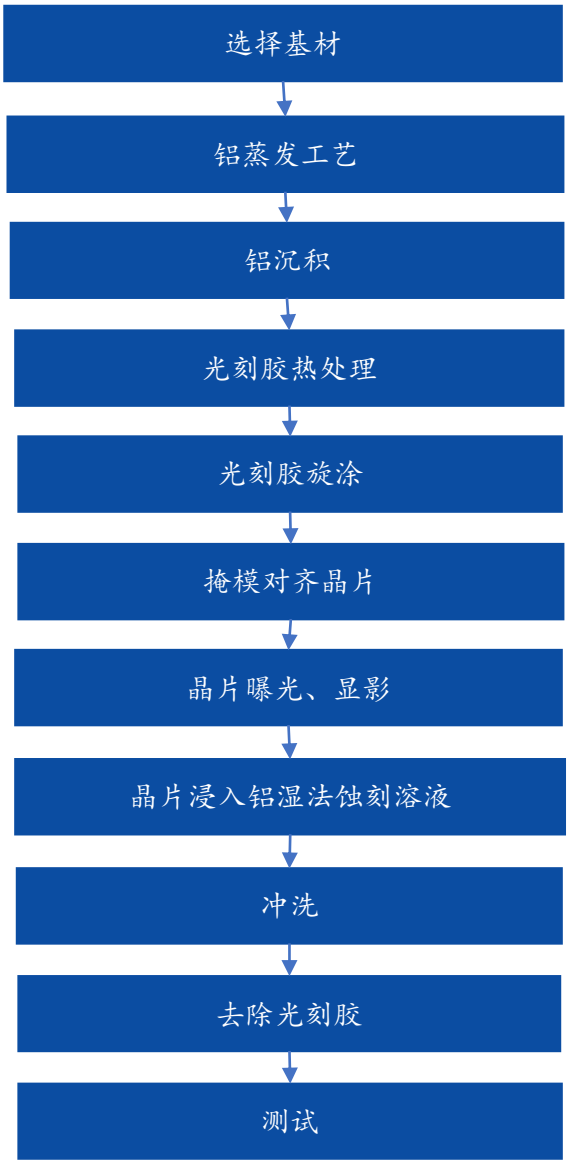


资料来源：滤波器， 国元证券研究中心

Saw 滤波器主要工艺过程

制造 Saw 滤波器首先要选择的是使用哪种基材。对于基材，首先要对晶体进行取向和切割。传播方向确保了声波表面的传播完全限制在垂直于晶片平面的表面上。同时，可以通过使用金属或通过蚀刻到晶片中来实现用于形成 IDT 和镜面结构。接下来，利用铝金属化工艺进行铝沉积。与其他金属相比，铝相对容易蚀刻，价格便宜，并且加工工具校准得很好。在 CVC 蒸发器中可以完成铝蒸发工艺，该工具将衬底抽真空至约 0.4μTorr 的高真空水平，并使用了钨篮。为了准确预测金属厚度对器件操作的影响，金属的目标厚度应小于 IDT 间距的 1%。因此，铝层的目标厚度为 1500 Å。铝沉积在晶片的背面，以便为后续处理期间积累的任何电荷提供接地路径，而溅射技术等其他沉积技术倾向于将衬底加热到高温，这可能会使晶片破碎。在铝沉积之后，需要光刻步骤以掩蔽晶片以进行蚀刻。这一步首先要将光刻胶进行热处理，随后利用 CEE 旋涂机进行旋涂。为了使晶片曝光以产生期望的图案，将掩模对准晶片是至关重要的，因此必须对晶片平面进行对准。随后，对晶片进行曝光和显影。下一步是将晶片浸入铝湿法蚀刻溶液中。每个 IDT 都有很多指对，一处短路会导致设备工作不正常。因此，确保蚀刻完成至关重要。随后将晶片进行去离子中水级联冲洗 5 分钟。检查确认从晶片上去除了光刻胶后，便可以测试设备。

图94： 射频滤波器生产工艺流程



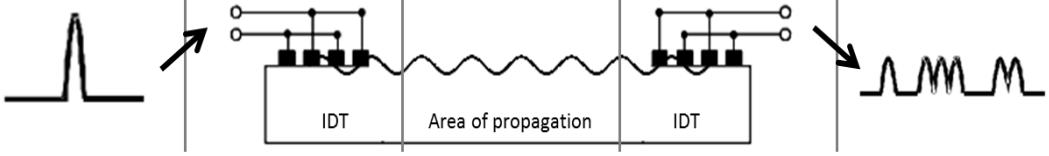
资料来源：Sean Dunphy， 国元证券研究中心

（1）原理

Saw 滤波器的基本结构包括具有压电特性的基片材料抛光面以及两个声电换能器——叉指换能器(IDT)。Saw 滤波器的制备通常采用半导体集成电路的平面工艺，在压电基片表面蒸镀一定厚度的铝膜，再利用光刻方法把设计两个 IDT 的掩膜图案沉积在基片表面，分别用作输入换能器和输出换能器。由此，输入换能器将电信号变成声信号，沿晶体表面传播，输出换能器再将接收到的声信号变成电信号输出。

图95： Saw 滤波器工作原理

	I Excitation	II Input transduction	III Acoustic propagation	IV Output transduction	V Response
Signal type	Impulse	Impulse	↔	Impulse response	Impulse response
Signal energy	Electromagnetic	↔	Mechanical	↔	Electromagnetic
Medium	Wired or wireless	Sensor surface IDT	Surface area of propagation	Sensor surface IDT	Wired or wireless



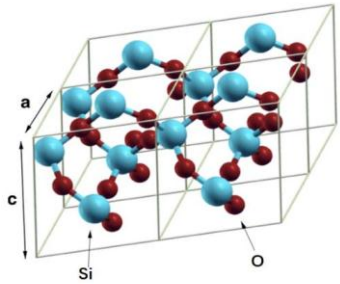
资料来源：滤波器， 国元证券研究中心

Saw 滤波器的工艺和主流技术方面有很高的要求，滤波器生产中的主流工艺流程包括清洗、镀膜、光刻、腐蚀和封装工艺等。目前日本企业，如富士通、三洋电器等少数几家掌握压电基片生产技术的制造商垄断了 Saw 滤波器市场。Saw 滤波器微型化、高可靠、低成本和集成化是大势所趋，跨越工艺技术门槛是中国企业实现国产替代化的关键所在。

（2）压电基板材料

压电（piezoelectricity or piezoelectric effect）一词来源于希腊语 piezein，表示施加压力，这种效应在 1880 年由两位法国物理学家 Pierre 和 Paul-Jacques Curie 发现。压电效应是指，某些晶体受到外部压力时会产生电压，而如果某些晶体两面存在电压，晶体形状会轻微变形。普通晶体的原子或分子在三维空间内排列得很有规律，而且隔一段距离重复着基本组成单元。大部分晶体的基本组成单元原子排列是对称的，不管有没有外部压力，基本单元里的净电偶极子始终是零。而压电晶体则相反，原子排列是不对称的。

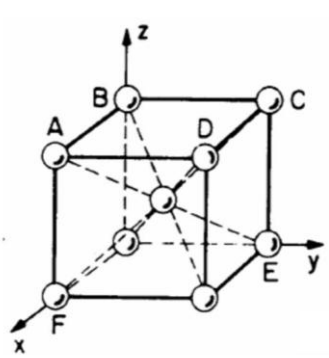
图96： 石英压电晶体



(a)Quartz(lacks a center of symmetry) -- piezoelectric

资料来源：滤波器， 国元证券研究中心

图97： 非压电立方晶体



(b) Cubic crystal (center of symmetry) -- not piezoelectric

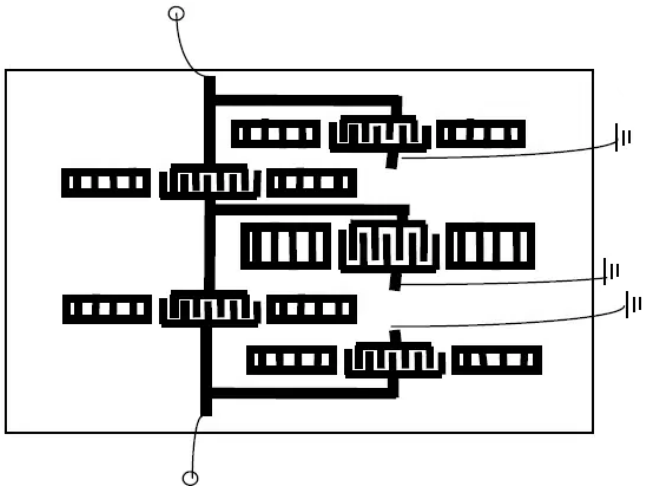
资料来源：滤波器， 国元证券研究中心

压电晶体原子排列虽然不对称，但正电荷会和附近负电荷相互抵消，所以整体的晶体不带电。当晶体受到压力时外形会变化，一些原子间距离会变化，打乱了原来保持的平衡，出现净电荷，晶体表面出现正电荷或负电荷。这种现象称为压电效应。相反地，晶体两端加电压时原子受到电压影响，为了保持电荷的平衡，原子来回震动使压电晶体形状轻微变形。这种现象称为反压电效应（reverse-piezoelectric effect）。

Saw 滤波器应用的压电衬底是各向异性的晶体结构，其中衬底内部的每个单个晶体都具有自己的极性。在多晶材料中，各个微晶的不同极性可能会相互抵消，但是通过应用铁电极化过程，即在将材料暴露于强电场的同时加热材料，可以使材料的单个极性对齐，并且材料整体将显示压电效应，就像其单个微晶一样。

Saw 滤波器常用的压电材料包括 $LiTaO_3$、SiO_2、$LiNbO_3$ 等。在输入 IDT 交叉排列的电极之间，交流电压经过压电材料产生压力，并以表面声波的形式沿着表面传播，而在垂直方向上 Saw 幅度快速衰落。右边的 IDT 接收表面声波，输出电信号。中间部分的屏障可影响输入端和输出端之间的耦合。Saw 滤波器也可以呈现串并联组合。

图98： Saw 滤波器串并联结构



资料来源：滤波器， 国元证券研究中心

虽然所有的 Saw 传感器都需要压电晶体材料，不同传感器的应用场景需要不同的压电晶体材料。如果该设备对温度要求高，则需要具有高温度系数的材料来增加对温度变化的敏感性。一般用于手机终端中的 Saw 滤波器希望使用具有低温度系数的材料，以最大程度地减少由于温度变化引起的不良影响。基板的温度系数不仅取决于所使用的材料，还取决于材料的晶体取向或切割。切割和材料也会影响机械形式和电磁形式之间能量转换效率的基板耦合系数。

表18： Saw 压电基板材料在室温下的温度系数。* TK =温度系数

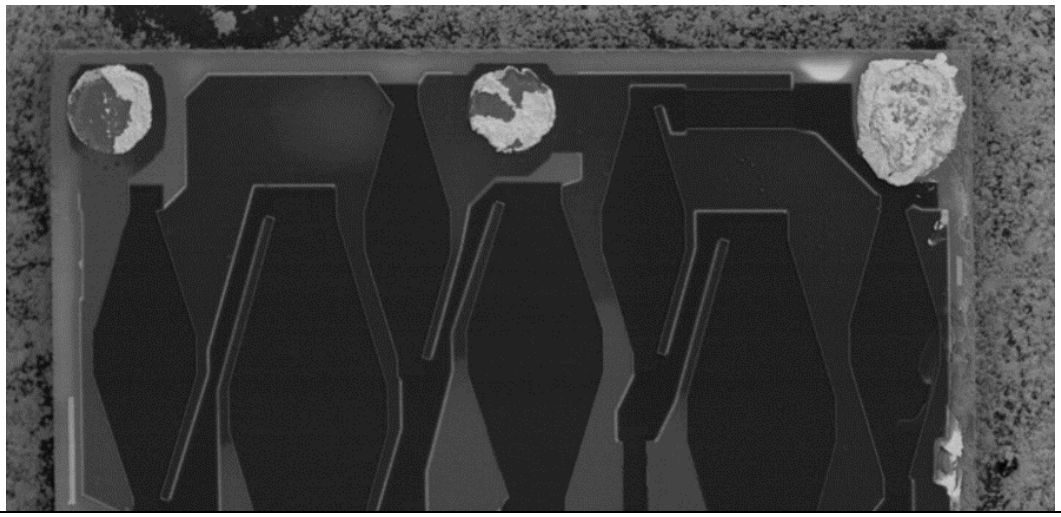
基材材质	水晶切工	线性 TK *
铌酸锂 $LiNbO_3$	旋转 128 Y / X 切割	72 ppm ** /千
	Y / Z 标准切割	92 ppm / K
钽酸锂 $LiTaO_3$	X / 112Y	18 ppm / K
	36 Y / X 旋转切割	30 ppm / K
石英 SiO_2	ST-X 切	0 ppm / K

资料来源：滤波器、国元证券研究中心

Saw 滤波器的性能通常随着温度升高变差。如今室内滤波器所承受的平均温度为 25 摄氏度，而各种终端设备中的滤波器所承受的平均温度可达 60 摄氏度或更高，鲨鱼鳍或车顶中嵌入的滤波器所承受的温度甚至更高。滤波器的温度越高，就越难过滤掉特定频率，信号因而就越有可能“漂移”至相邻频段。5G 时代，新分配的很多频段与现有频段十分接近，管理温度漂移便显得尤为重要。TC(temperature compensated)-Saw 滤波器能够有效改善温度性能，它在 IDT 上增加了保护涂层。普通的 Saw 滤波器频率温度系数大约在-45ppm/oC 左右，而 TC-Saw 大约-15 到-25ppm/oC。增加涂层的工艺比较复杂，成本也有所增加。

TC-Saw 滤波器广泛应用在手机终端中。三星的美国版 Galaxy S7 集成了 Murata 公司生产的 RF 前端模组 FAJ15，该模组主要针对 LTE 低频段，由几颗滤波器芯片组装在陶瓷基底上。其组装的 Saw 滤波器包括 STD-Saw（标准 Saw）和 TC-Saw（热补偿 Saw）两种。TC-Saw 技术主要应用在 Band 8 LTE 双工器上，因为其频段要求非常低的热漂移。

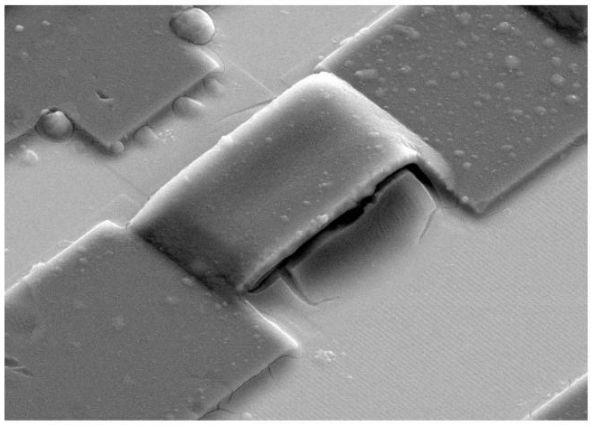
图99： Murata 生产的 FAJ15 模组中应用了 TC-Saw 技术



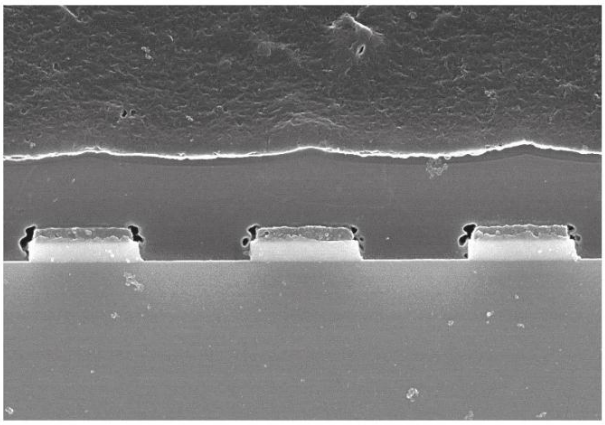
资料来源：Murata， 国元证券研究中心

从形态上划分，Saw 滤波器也有较多种类，包括空气桥状、指状组合型等。

图100： Saw 滤波器（空气桥状、指状组合型传感器截面）



Air Bridge implementation



InterDigital transducer cross-section

资料来源：Yole， 国元证券研究中心

（3）叉指换能器材料

用于 IDT 的金属的选择也趋于特定于应用，尽管通常需要低电阻，因为这通常会使转导过程更有效。金属与金属的粘合强度以及金属的沸点（决定可用沉积工艺的类型）也是重要的因素，而成本也是如此。下表比较了常见 IDT 材料的这些特性：

表19： 常见 IDT 材料的属性

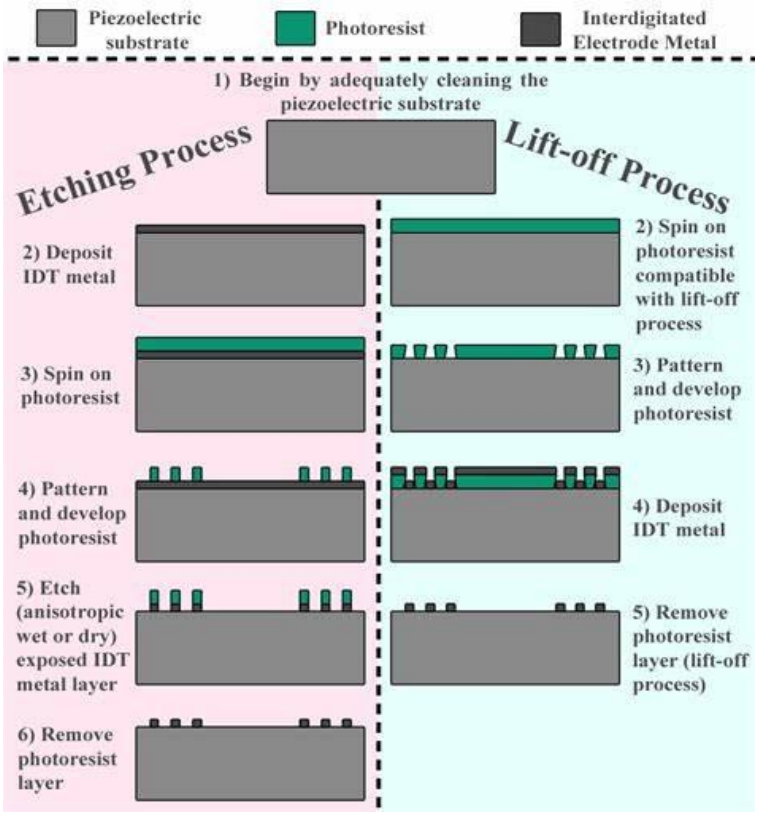
金属	基材附着力	电阻率（μΩ-cm）	沸点（K）	成本
铜	好	1.7	3200	低
铝	好	2.65	2792	低
金	较差的	2.2	3129	高
钨丝	平均	5	5828	中
钛	好	50	3560	中

资料来源：滤波器、国元证券研究中心

（4）制造过程

Saw 滤波器通常在石英、铌酸锂或钽钛酸铅等晶体基片基础上，使用半导体工艺完成制造。这样的生产方式决定了 Saw 滤波器具有很高的生产难度。下图显示了 Saw 滤波器的两种制备过程，分别为蚀刻工艺和剥离工艺。生产过程中通常使用光刻胶掩模来辅助这两个过程。根据滤波器的应用和配置，可能需要其他处理。

图101： 用于制造声表面波传感器的蚀刻和剥离工艺的工艺图



资料来源：Wiki， 国元证券研究中心

蚀刻工艺是在清洗干净的压电基板上沉积 IDT 金属层，然后旋涂上光刻胶剂，并进行前烘。利用光刻掩膜法进行曝光，随后进行显影、漂洗和后烘，并利用电子束蚀刻暴露的 IDT 金属层。蚀刻方法为各向异性干法或湿法蚀刻。最后，将光刻胶去除即可。

剥离工艺则是在清洗干净的压电基板上沉积 IDT 金属层，然后旋涂上剥离工艺特用的光刻胶剂，利用光刻掩膜法进行曝光，随后进行显影、漂洗和后烘，再沉积 IDT 金属层。最后，将光刻胶去除即可。

压电层沉积是滤波器制造的关键工序。压电层要求晶粒 C 轴方向完全一致，否则会严重降低压电耦合因子和品质因子，而高品质的压电层均匀一致淀积工艺的实现难度较大。在这个过程之中，晶体生长环节难以控制。晶体生长主要使用提拉法，即在被加热的坩埚中盛着熔融的料，籽晶杆带着籽晶由上而下插入坩埚。由于固液界面附近的熔体维持一定的过冷度，熔体沿籽晶结晶，并随籽晶的逐渐上升而生长成棒状单晶。在生产过程中，需要控制固液界面的温度梯度、生长速率、晶转速率以及熔体的流体效应，否则容易出现晶体生长不均匀、晶格排列混乱等现象。我国企业在工艺层面相比海外企业有明显差距。因此产品的可靠性较低。

最佳切割方向难以确定。基片切割的方向会影响压电晶体在机械能和电能之间的转化效率，进而影响滤波器的工作效果，所以晶体切割还需要考虑最佳切割方向。只有当切割方向与表面波传输速率最快的方向一致时，才可以得到能量转化效率最高的晶片。所以在对晶体进行切割之前，还需要计算基片各方向的表面波传输速率，以确定速率最高的传输方向。

研磨时容易出现亚表面损伤。铌酸锂晶体是典型的软脆材料，在研磨时极易出现亚表面损伤和磨粒嵌入等缺陷，进而影响表面波的传输。在具体研磨过程中，对研磨方式、磨粒粒径、研磨压力等方面均提出了很高的要求。这需要厂商在具体生产过程中积累经验，不断改进研磨方式。

需要使用高精密抛光工艺。由于基片表面的粗糙度会影响表面波的传输，所以基片表面的粗糙度需要达到亚纳米级别，同时基片表面不能有任何缺陷，这对抛光工艺提出了严峻的挑战。为了实现高精密的抛光，需要使用特殊配方的抛光液，并不断在生产中改进抛光工艺，以找到最高效的抛光方法。

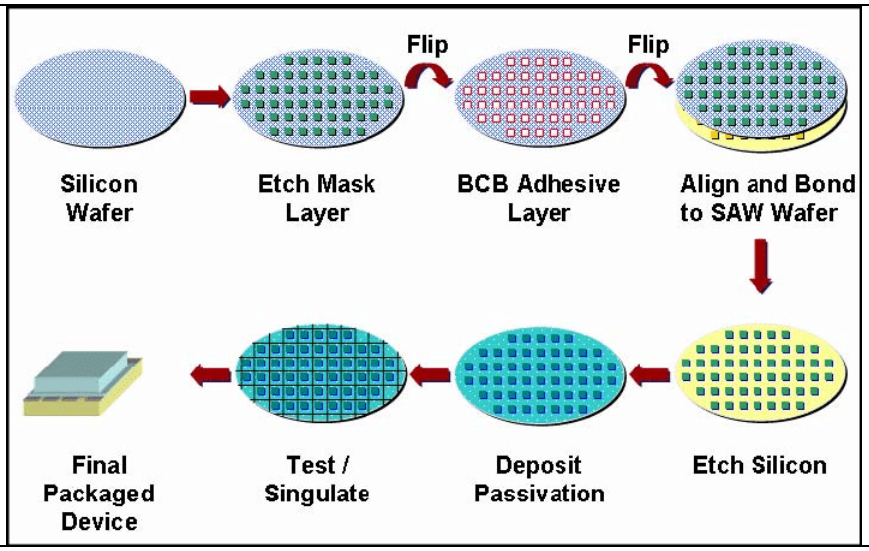
Saw 滤波器器件采用压电晶体基片，其表面清洁度将影响后续工艺。若蒸发金属膜黏附性差，则容易起皱或产生亮点、针孔，则容易导致后续工序发生断条、连条和底膜去不干净。清洗工艺则能在晶片切磨抛工艺中将引入蜡、油、有机溶剂等清洗剂，去除有机物杂质、金属离子、粒子性污垢、水溶性杂质等，使晶体表面光洁平滑，减小粗糙度。由于压电基片的物理化学性质与半导体材料不同，其清洗工艺目前仍采用半导体材料的清洗工艺，未进行适应性改变。

蒸发铝膜工艺是滤波器生产的关键工艺之一，铝膜厚度直接影响器件的频率精度，可能会影响器件的频率精度，对插入损耗和反谐振损耗有较大影响。常见的镀膜方法包括磁控溅射沉积、真空镀膜、离子束辅助沉积等方法。目前镀膜工艺的蒸发工艺均匀性、厚度检测工艺等工艺均有进步空间。

在完成基片的生产后，需要在基片上利用半导体工艺完成电极的刻蚀，大致流程包括金属膜沉积、上胶及前烘、曝光、显影、刻蚀、光刻胶去除等步骤。后段过程中的曝光设备、光刻精度、工艺参数等变化都会极大影响滤波器的性能。光刻即电子束蚀刻、X 射线蚀刻，其中以应用紫外光源的光刻最为普遍。目前，集成电路的集成度不断提高，且图形精细化要求提高，要求电子束蚀刻和 X 射线蚀刻所用的光源波长更短。未来，5G 的推进增加了器件向高频领域发展的速度，因而光刻工艺要求也在不断提高。

Saw 滤波器的晶片级封装过程包括使用可光刻的粘合剂将切割后的滤波器晶片粘接到配套的晶片上。一般选择硅作为配套晶圆片，因为它的机械强度满足要求，能通过标准半导体技术进行低成本加工。压电基板固有的压电特性和陶瓷特性要求对焊接过程中施加的压力和温度进行严格控制，以确保稳定的机械焊接而不会造成断裂或空洞。在这一步骤，必须保证能够蚀刻硅片，又不会破坏 Saw 滤波器上形成的金属式样。可光刻的粘合剂将两片晶圆贴合，这样与 Saw 滤波器表面相对应的材料部分就可以移除，从而无需在贴合的晶圆片上蚀刻空腔。可以选用 b 级苯并环丁烯(BCB)粘接树脂，该树脂吸湿率低，离子含量低，对晶片粘接具有良好的附着力。

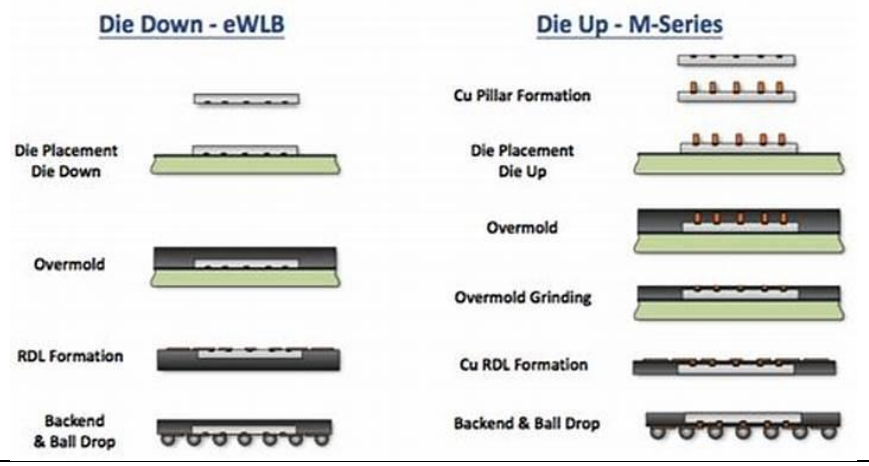
图102： RF Saw 滤波器封装流程



资料来源：Martin P, Goetz， 国元证券研究中心

射频滤波器技术在过去的数年中得到了长足的进步，各射频模块逐步被集成到标准 CMOS 集成电路中，但包含滤波器的集成比较困难。因而，封装尺寸也在不断向小型化发展。同时，声表面波滤波器为了集成至模块，也必须净收高压强。因此，封装技术必须支持封装中的芯片表面上方形成一个空腔。滤波器的性能和可靠性大大依赖于封装技术。目前受到各大厂商喜爱的封装技术主要是扇出型封装（Fan-out WLP），扇出型封装有三种形式，第一种使用先放芯片 / 正面超下的工艺流程制造，另外两种分别是先放芯片 / 正面朝上和后放芯片类型，有时也被称为先放 RDL。扇出封装存在一些挑战。在处理过程中，重组晶圆容易发生翘曲。当芯片嵌入到重组晶圆中时容易移动，从而造成芯片移位，影响产量和良率。目前，ASE 与 Deca 合作推出的 M 系列技术能够有效解决部分上述问题。

图103： M 系列封装工艺



资料来源：Semiengineering， 国元证券研究中心

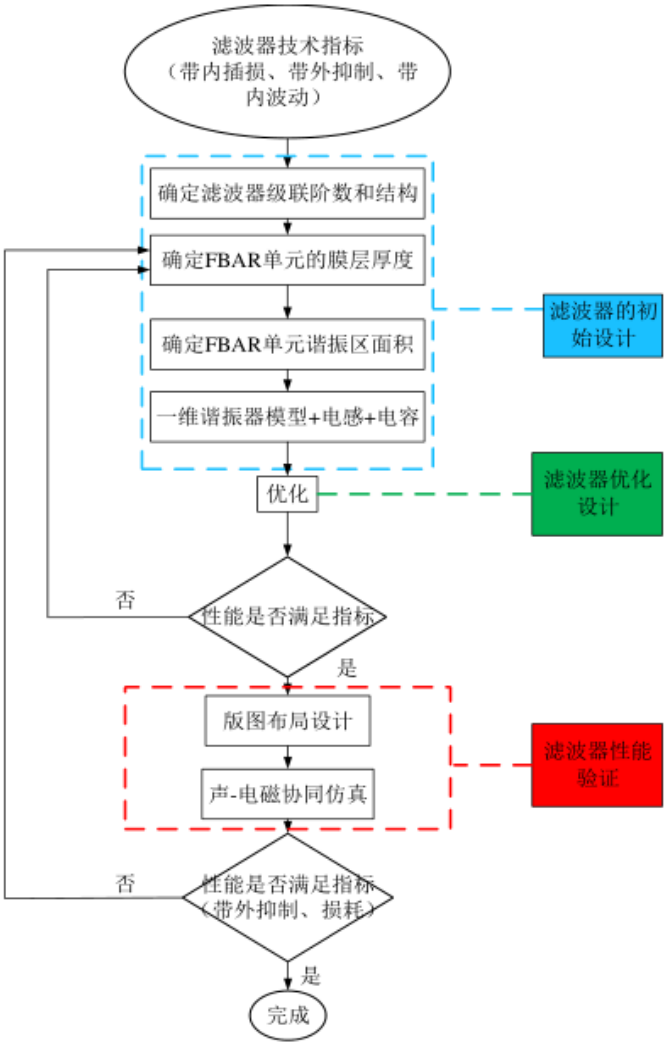
Baw 滤波器制备流程

（1）设计流程

Saw 和 Baw 滤波器不同频段的滤波器设计难度不同，提供全频段的设计能力公司寥寥无几。Baw 滤波器的设计流程可总结为下图。

首先可以根据滤波器带外抑制的指标，确定滤波器的初始阶数和结构。然后根据中心频率、带宽的指标要求，确定滤波器中 Fbar 的各膜层厚度和有源区的面积，完成滤波器的初始设计。完成初始设计后需要对 Baw 滤波器进行优化设计，主要优化串、并联 Fbar 的面积比。根据优化结果可以微调 Fbar 膜层厚度来满足带内纹波的指标要求。优化设计结果满足指标后对滤波器版图进行设计，并采用声-电磁联合仿真方法对滤波器性能进行验证。如果仿真结果不满足设计指标要求，则要根据所述的设计方法，改变滤波器的拓扑结构，再次对滤波器的各项结构参数进行设计优化，直到满足指标为止。若出现寄生耦合现象，则要对滤波器的版图进行调整。

图104： Baw 滤波器的设计流程



资料来源：《Baw 滤波器设计方法研究》，国元证券研究中心

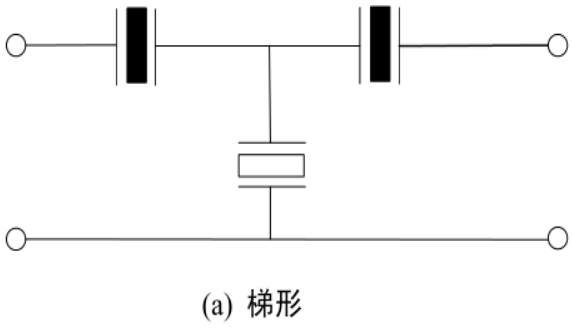
①确定滤波器阶数

在 Fbar 声学激励范围之外足够远的频率点处，电路模型的电容性分压器特性会影响一阶梯形滤波器的阻带抑制。要提高带外抑制，必须增加滤波器的阶数或增大并联 Fbar 和串联 Fbar 的电容比，但这样会导致带内插损的增大。故要综合考虑阶数 和并、串联 Fbar 电容比对滤波器带外抑制性能的影响。

②确定滤波器结构

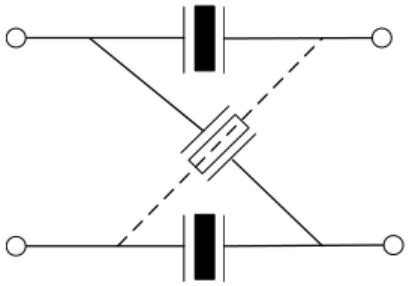
Baw 滤波器基本上可以划分为梯形和网格形两种结构。梯形 Baw 滤波器包括串联和并联的谐振器，一个串联的谐振器加一个并联的谐振器称为一个段（stage），整个梯形 Baw 滤波器可能由好几个段组成。网格形 Baw 滤波器与梯形滤波器在工作原理上很相似，但网格形 Baw 滤波器不具有传输零点，且滚降较慢，矩形系数差，设计时往往需要与梯形滤波器结合以满足高性能要求，且设计时必须考虑使用平衡-不平衡变换器才能实现其差分特性。而梯形 Baw 滤波器具有较好的矩阵系数，在邻近通带外的抑制效果明显。故通常采用梯形结构来设计 Baw 滤波器。在设计滤波器时，还需将并、串联 Fbar 的面积比控制在一定范围，通过增加阶数来提高滤波器的阻带抑制和通带性能。

图105： 梯形 Baw 滤波器



资料来源：《Baw 滤波器设计方法研究》，国元证券研究中心

图106： 网格形 Baw 滤波器



资料来源：《Baw 滤波器设计方法研究》，国元证券研究中心

③确定 Fbar 各膜层厚度和面积

可以根据 Fbar 的工作原理来调整 Fbar 膜层厚度，以此改变其谐振频率，一般根据中心频率与带宽来调节并确定各 Fbar 的叠层结构与膜层厚度。但通常不会减小压电薄膜的厚度来增加 Fbar 的谐振频率，这是由于压电薄膜厚度越薄，压电性能就越差。而压电薄膜的平面宽与厚度比越大，产生的寄生谐振也会越小。在通过调谐串联 Fbar 电极厚度来满足中心频率等指标时，因为工艺因素，一般串、并联 Fbar 的底电极厚度要相同但不能太薄，底电极太薄会增加 Fbar 的欧姆损耗而降低 Fbar 的品质因数。此外，Fbar 的面积也会影响滤波器的通带性能。

④Fbar 单元各膜层材料及参数

Fbar 各膜层的材料也需要选定。选择压电薄膜的材料一般需要综合考虑：机电耦合系数、纵波声速、介质损耗、介电常数及频率温度系数等。选取电极材料通常需要考

虑：低电阻率和高声速、低密度、高声阻抗等。支撑层是底电极和衬底之间添加的一层低应力材料，能够增强 Fbar 器件的机械强度。

根据滤波器指标的中心频率，在确定了滤波器中串联、并联 Fbar 的初始结构参数，包括串联、并联 Fbar 的膜层厚度及串联、并联谐振器结构参数等参数之后，即组成初始电路模型。

⑤确定 Fbar 有源区面积

Fbar 的有源区面积不会影响 Fbar 的谐振频率，然而会影响其阻抗特性中的串、并联处的阻抗值。故在设计滤波器时，需要根据压电层厚度和滤波器的中心频率点，确定 Fbar 的有源区面积。

⑥Baw 的优化设计

确定了 Baw 滤波器的初始结构后，需要进行优化设计。面积参数，即串联 Fbar 的有源区面积和串联、并联 Fbar 有源区面积之比通常被设置为优化变量。优化目标则为滤波器所需的回波损耗、带内插损及带外抑制等，优化目标通常设置的较为严格以保证优化更易达到指标要求。

对串联、并联 Fbar 面积比优化后，若滤波器的性能还未能较好的满足指标，可以继续把串联、并联 Fbar 的顶电极和底电极的厚度添加为优化变量。考虑到工艺，设计时一般所有 Fbar 的底电极厚度相同，所有串、并联 Fbar 的顶电极厚度相同。但要注意的是，调节顶、底电极的厚度会改变滤波器的中心频率，所以变量只需要对厚度进行微调即可，尽量减小滤波器的带内纹波，避免滤波器通带内出处“中间高、两边低”的现象，达到使通带更加平坦的目的。

（2）制造材料

Saw 器件只能应用钽酸锂或铌酸锂这样特殊的单晶作为基底。 Baw 器件利用可选的任意基底，比如硅就是很好的基底材料，Baw 制备可以直接利用主流 IC 制造厂现有的工艺、设备和基底结构。石英作为常见的压电材料，在高电压和高压力的情况下表现出线性反应，但还没有合适的方法把石英做成薄膜沉积在 Si 衬底上。合适的 Baw 压电材料需要高机电耦合系数、低机电损失、热稳定性高，还要符合 IC 工艺技术。目前最常用的 Baw 压电材料有 PZT（lead zirconate titanate） 、AlN（aluminum nitride）和 ZnO（zinc oxide）。

（3）制造工艺

Baw 滤波器的最基本结构是两个金属电极夹着压电薄膜（石英基板在 2GHz 下厚度为 2um），声波在压电薄膜里震荡形成驻波。为了把声波留在压电薄膜里震荡，震荡结构和外部环境之间必须有足够的隔离才能得到最小损耗和最大 Q 值。

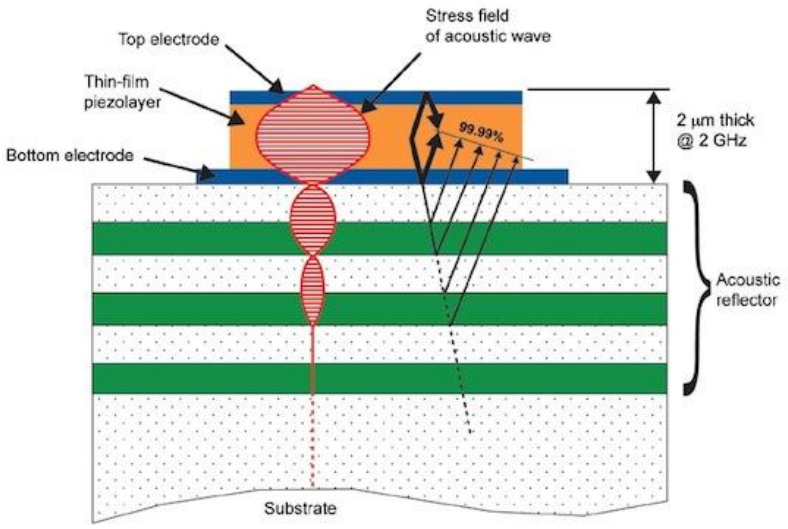
制作 Baw 所需的大多数工序可以直接在标准 IC 生产设备上完成，而不需要任何改变。光刻要求则是 0.8 微米的特征尺寸即可。Baw 器件所需的光刻步骤在 5 个到 10 个之间。其中，缺陷密度也影响不大，因为大颗粒也不会导致谐振器失效。Baw 滤波器最

关键的工序是高品质的压电层淀积。压电层虽然是多晶的，但所有晶粒的 C 轴方向必须完全一致。方向不一致的晶粒会严重降低品质因子和压电耦合因子。

Baw 滤波器的压电层厚度必须在几微米级，其工艺包括薄膜沉积、微机械加工技术实现谐振器结构。Baw 滤波器的工艺和器件设计需要协同优化。

工艺实现中可考虑的一种技术是 Baw-SMR（Solidly Mounted Resonator），在震荡结构下方形成布拉格反射器，把声波反射到压电层里面。该反射器由好几层高低交替阻抗层组成，每层阻抗层的声波阻抗大小相间，且每层的厚度是声波的λ/4，从而能够反射大部分波，和原来的波叠加。这种结构整体效果相当于和空气接触，大部分声波被反射回来。

图107： Baw-SMR 原理图



资料来源：EDN，国元证券研究中心

以下为 Baw-SMR 滤波器的一种制备方法，由多层材料用于多个谐振器部分的圣波反射，每个谐振器部分至少包括夹在顶部电极和底部电极之间的压电层，该方法包括以下步骤：

（a）用作声波反射的材料层选择介电材料，为其他层选择金属材料；

（b）沉积一层金属层，通过蚀刻工艺将金属层上蚀刻出凹槽，去除要放置谐振器位置处的金属层，从而在两个谐振器下面的金属层之间蚀刻出隔离区域；

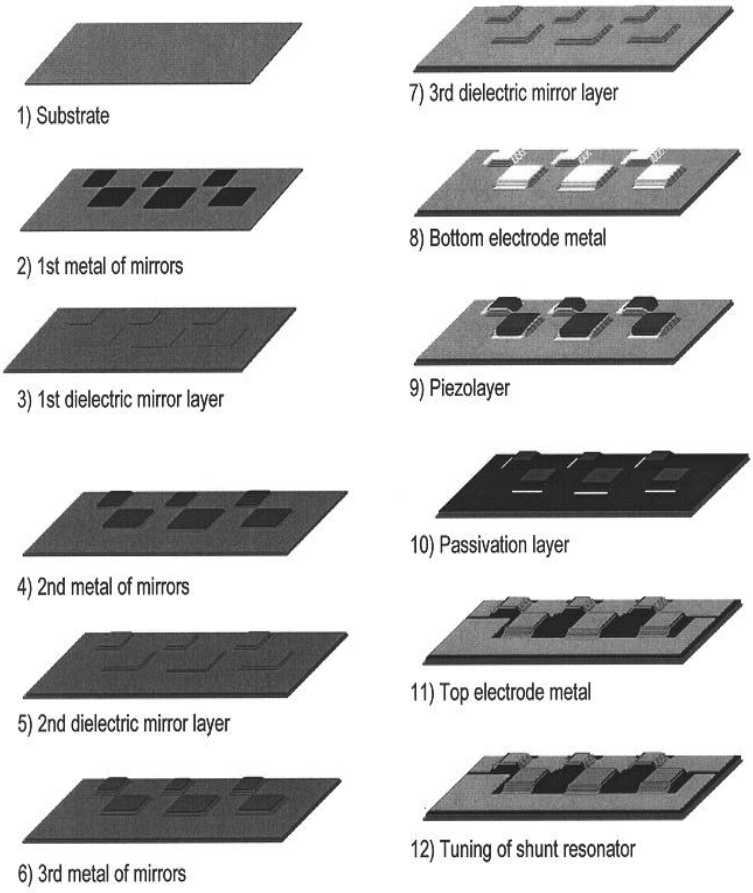
其中步骤（b）包括以下步骤：

（i）依次沉积声波反射层，从金属层开始，一直延伸到最接近谐振器的层，使介电层与金属层交替；

（ii）蚀刻金属层，以在基板上留下至少一个金属层的药盒型结构；

（iii）沉积介电材料作为填充剂填充入蚀刻去除部分，沉积深度足以允许将填充剂抛光至最后沉积的金属层图案的顶部；

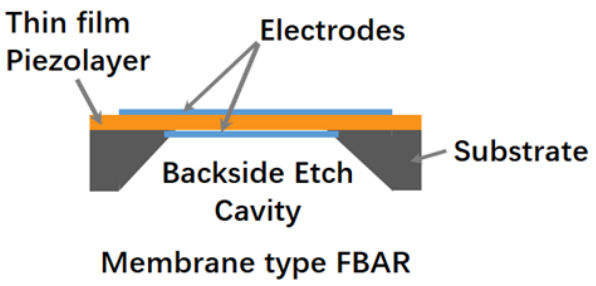
图108： Baw-SMR 制备工艺流程图



资料来源：Google Pattern，国元证券研究中心

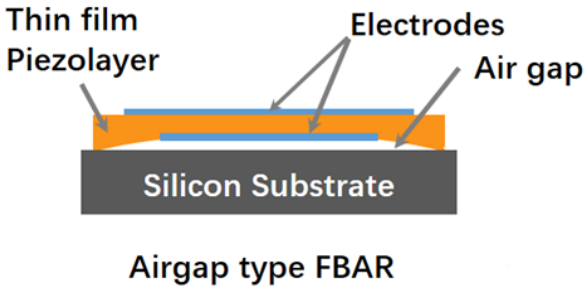
另一种主流 Baw 滤波器技术 Fbar 需要高精度蚀刻有源区下方区域，形成实现悬浮膜所需的空腔。由于压电材料的声波阻抗和其他衬底类似，无法实现声波到驻波的反射过程，因此压电层不能直接沉积在衬底上。Fbar 技术包括薄膜型和空气隙型。

图109： 薄膜型 Fbar



资料来源：电路说，国元证券研究中心

图110： 空气隙型 Fbar

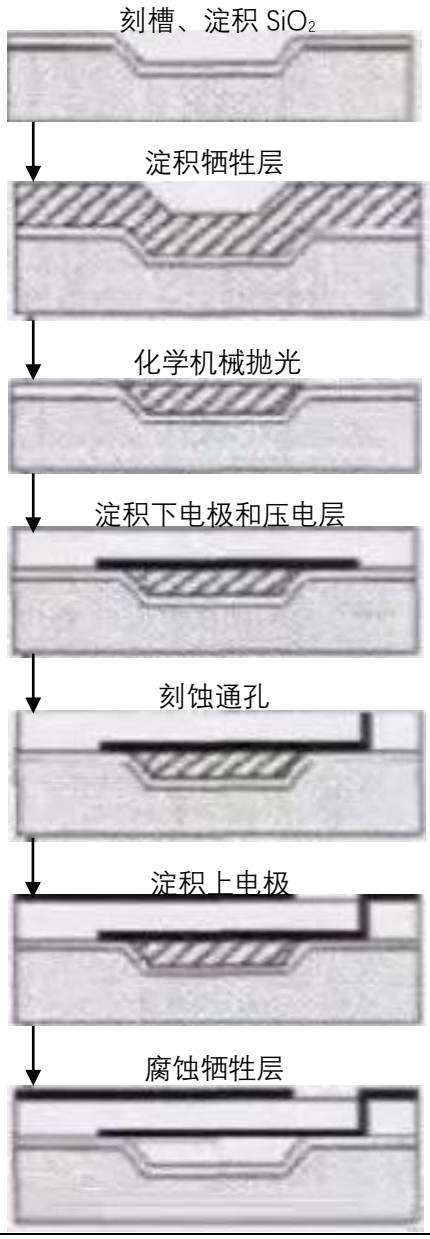


资料来源：电路说，国元证券研究中心

薄膜型是从基片后面蚀刻到表面（也就是下电极面），形成悬浮的薄膜和腔体。薄膜型 Fbar 是 Baw 谐振器的主流模型，两面都是声波阻抗远低于压电层声波阻抗的空气，因此大部分声波都会反射回来。不过薄膜结构需要足够坚固以至于在后续工艺中不受影响。相比 Baw-SMR，薄膜型 Fbar 跟底部的基片接触较小，不好散热。

空隙型 Fbar 在制作压电层之前需要沉积一个辅助层，最后再把辅助层去掉，在震荡结构下方形成空气间隙。此方法可以传统的硅艺兼容。因为只是边缘部分跟底下的基片接触，这种结构在受到压力时相对脆弱，而且跟薄膜型 Fbar 有类似的散热问题。

图111： Baw-Fbar 空气隙型原理图



资料来源：滤波器，国元证券研究中心

空隙型 Fbar 器件的制备流程：

①在准备好的硅片上表面蚀刻一凹槽（空气隙），然后再沉积一层薄的 SiO_2 缓冲层，用来保护硅衬底；

②填充牺牲层，如 Ti 和磷石英玻璃 PSG 等；

③利用化学机械抛光表面，去掉多余牺牲层；

④淀积下电极，光刻成所需图形，然后用反应射频磁控溅射淀积高 C 轴取向的压电薄膜 AlN；

⑤使用 RIE 刻蚀技术刻蚀压电薄膜，形成将底电极引出的通孔；

⑥淀积上电极，光刻形成所需图形；

⑦腐蚀去除牺牲层，形成空气隙。

iPhone 6s Plus 的射频前端系统中包含几个 Fbar-Baw 滤波器芯片，其中包括 Avago AFEM8030 滤波器芯片。Avago AFEM8030 中的滤波器采用 Avago 的 Microcap 晶圆键合 CSP 技术进行密封的晶圆级封装，使得前端模块中的所有芯片组装在一起的面积小于 35mm。此外，还采用了特殊的研磨工艺来控制氮化铝(AlN)厚度，以硅通孔(TSV)来导通电气信号。

图112： iPhone 6s Plus 中搭载的 Avago Fbar-Baw 滤波器



资料来源：SYSTEMPlus，国元证券研究中心

Baw 滤波器市场中，美国占据绝对技术优势，尤其是在 4G/5G 的高频段 Baw 滤波器，美国博通和 Qorvo 等公司独占鳌头。

Baw 滤波器厂商需要有自己的 Fab 以完成定制化的工艺来生产滤波器，则意味着需要很高的资本投入。在 Baw/Fbar 滤波器领域，国内仅有汉天下、天津诺思、信维通信、麦捷科技等数家企业参与。

国内的芯片设计企业主要采取 Fabless 的商业模式，无需承担巨大的风险和费用，然而相比国外的 IDM 设计模式更为弱势，因而工艺环节不够细致。据润欣科技相关人员描述，Baw/Fbar 滤波器由于长期被美国企业垄断，价格最高甚至能达到 Saw 滤波器的 10 倍。就目前的行业现状来看，国外的数家龙头企业凭借垄断优势正赚取高额

利润，它们在射频前端市场的毛利率均高于 40%。而国内由于技术上的欠缺，企业在射频器件采购方面议价能力不足，这既给产业发展带来了风险，也不利于整个行业的生态建设。

投资评级说明

（1）公司评级定义		（2）行业评级定义	
买入	预计未来 6 个月内，股价涨跌幅优于上证指数 20%以上	推荐	预计未来 6 个月内，行业指数表现优于市场指数 10%以上
增持	预计未来 6 个月内，股价涨跌幅优于上证指数 5-20%之间	中性	预计未来 6 个月内，行业指数表现介于市场指数±10%之间
持有	预计未来 6 个月内，股价涨跌幅介于上证指数±5%之间	回避	预计未来 6 个月内，行业指数表现劣于市场指数 10%以上
卖出	预计未来 6 个月内，股价涨跌幅劣于上证指数 5%以上		

分析师声明

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，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告。本人承诺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操守和专业能力，本报告清晰准确地反映了本人的研究观点并通过合理判断得出结论，结论不受任何第三方的授意、影响。

证券投资咨询业务的说明

根据中国证监会颁发的《经营证券业务许可证》（Z23834000),国元证券股份有限公司具备中国证监会核准的证券投资咨询业务资格。证券投资咨询业务是指取得监管部门颁发的相关资格的机构及其咨询人员为证券投资者或客户提供证券投资的相关信息、分析、预测或建议，并直接或间接收取服务费用的活动。证券研究报告是证券投资咨询业务的一种基本形式，指证券公司、证券投资咨询机构对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析，形成证券估值、投资评级等投资分析意见，制作证券研究报告，并向客户发布的行为。

一般性声明

本报告仅供国元证券股份有限公司（以下简称“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。若国元证券以外的金融机构或任何第三方机构发送本报告，则由该金融机构或第三方机构独自为此发送行为负责。 本报告不构成国元证券向发送本报告的金融机构或第三方机构之客户提供的投资建议，国元证券及其员工亦不为上述金融机构或第三方机构之客户因使用本报告或报告载述的内容引起的直接或连带损失承担任何责任。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。本报告所载的信息、资料、 分析工具、意见及推测只提供给客户作参考之用，并非作为或被视为出售或购买证券或其他投资标的的投资建议或要约邀请。本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。本公司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。在法律许可的情况下，本公司及其所属关联机构可能会持有本报告中所提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取投资银行业务服务或其他服务。

免责条款

本报告是为特定客户和其他专业人士提供的参考资料。文中所有内容均代表个人观点。本公司力求报告内容的准确可靠，但并不对报告内容及所引用资料的准确性和完整性作出任何承诺和保证。本公司不会承担因使用本报告而产生的法律责任。本报告版权归国元证券所有，未经授权不得复印、转发或向特定读者群以外的人士传阅，如需引用或转载本报告，务必与本公司研究中心联系。网址: www.gyzq.com.cn

国元证券研究中心

合肥	上海
地址：安徽省合肥市梅山路 18 号安徽国际金融中心 A 座国元证券	地址：上海市浦东新区民生路 1199 号证大五道口广场 16 楼国元证券
邮编：230000	邮编：200135
传真：（0551）62207952	传真：（021）68869125
	电话：（021）51097188