



强于大市

5G 系列-终端天线专题

公司名称	股票代码	股价(人民币)	评级
立讯精密	002475.SZ	20.47	买入
信维通信	300136.SZ	28.5	买入

资料来源：万得，中银国际证券
以2019年02月25日当地货币收市价为标准

终端商用即将冲刺，开启天线新机遇

5G 标准正在积极推进，新的通信模式下手机数据传输速率和通信带宽都会大大提高。sub-6GHz 和毫米波频率的加入，以及 MIMO、载波聚合、波束赋形等技术的应用，会造成手机天线发生结构性的变化。而毫米波天线为了配合波束控制和高频衰减，集成度进一步提高，在此前提下我们关注的封装技术有 AiP 等技术。5G 频率带来的天线变化还将会给手机整体设计造成影响。

支撑评级的要点：

- 5G 通信技术的发展源自于人们对移动网络速度要求的提高。5G 技术将拥有更高的传输速度和更宽的带宽，以支持三类应用场景，即大规模 IoT、关键任务服务以及增强移动宽带服务。5G 的标准目前正在积极推进，3GPP 已经指定了 5G NR 支持的频段列表，分为低频 sub-6GHz 和高频毫米波两大频率范围。总体来看，5G 的主要通信技术有 Massive MIMO、载波聚合和波束赋形等，配合这些技术，终端天线也将发生一系列的变化。
- 手机天线是接收和发射信号的设备，频率越高天线尺寸越小，且对应于不同应用将会使用不同的天线。5G 手机中新频段的加入会引入新的天线。sub-6GHz 天线相比于 4G LTE 手机中的天线尺寸不会发生较大变化，但是 MIMO 的应用会增加天线数量，以苹果为代表的手机供应商开始使用 LCP 天线替代原有的 PI 天线。目前手机中的天线主要采用软板 FPC 制成，但是 FPC 基材对高频性能影响敏感，LCP、MPI 材料由于其低介电系数和高频性能将会在 5G 手机中加量。
- 毫米波天线在高频下传播损耗的问题严重，将会缩减天线和控制电路、射频电路之间的距离，因此会采用模组化的方式和射频电路封装在一起，例如已经发布的高通的 QTM052 5G 天线模组。模组化的天线给手机设计带来一系列的影响，手机的内部空间必须重新分配，同时电池、后壳、屏蔽罩等也会配合毫米波天线衰减问题带来变化。另外一个值得关注的问题是天线的封装，AiP 封装等适合于高频毫米波的技术。

评级面临的主要风险：

- 5G 推广不及预期风险；消费电子可能受到供需不足、价格下滑等宏观因素影响；5G 天线技术路径改变等风险。

相关产业链标的：

- 与本文研究相关产业链相关公司包括天线类的立讯精密、信维通信；电池模组类的欣旺达、德赛电池；FPC 软板类的鹏鼎控股、景旺电子、弘信电子等。

相关研究报告

《电子行业 2019 年年度策略》20181226
《电子行业 2018 年三季度报综述》20181105

中银国际证券股份有限公司
具备证券投资咨询业务资格

电子

赵琦

021-20328313

qi.zhao@bocichina.com

证券投资咨询业务证书编号：S1300518080001



目录

1 从技术发展、应用、技术以及芯片角度初看 5G	5
1.1 5G 简介及应用	5
1.2 5G 频谱分配以及进展	8
1.3 5G 的几个主要通信技术	11
1.4 5G 芯片研发：高通华为均已推出	13
2 终端天线：5G 带来天线行业新机遇	14
2.1 手机天线的发展	14
2.2 SUB-6GHZ 天线的设计关键	18
2.3 天线设计材料之 LCP	22
2.4 毫米波天线的设计考虑	25
2.5 毫米波天线封装带来机会	30
2.6 5G 天线带来的其他问题	34
3 与本文研究相关的 A 股产业链公司梳理	38
风险提示	39



图表目录

图表 1.	5G 网络接入示意图.....	5
图表 2.	5G 与 4G 通信主要参数对比.....	5
图表 3.	5G 技术概况.....	6
图表 4.	IoT 无线连接市场分类.....	6
图表 5.	5G 应用场景.....	7
图表 6.	增强移动宽带技术对授权和非授权频谱的需求.....	7
图表 7.	5G NR 频谱范围.....	8
图表 8.	5G NR 频谱范围的高频段和低频段.....	8
图表 9.	5G NR 分量载波间隔.....	8
图表 10.	全球厘米波和毫米波波段部署.....	9
图表 11.	北美 5G 频谱分配.....	9
图表 12.	欧洲 5G 频谱分配.....	9
图表 13.	中国大陆运营商 5G 系统中的低频试验频率.....	10
图表 14.	5G R15 标准分为三个步骤向外界提供.....	10
图表 15.	5G R15 标准分为三个步骤向外界提供.....	11
图表 16.	单用户和多用户 MIMO 技术.....	11
图表 17.	载波聚合技术示意图.....	12
图表 18.	天线波束赋形技术示意图.....	12
图表 19.	高通骁龙 5G 平台.....	13
图表 20.	天线接收和发射信号.....	14
图表 21.	套筒式偶极天线.....	14
图表 22.	2G 手机的外置天线 诺基亚 1011 和摩托罗拉 m300.....	15
图表 23.	诺基亚 3210 手机内置天线.....	15
图表 24.	诺基亚 6630 和内置天线.....	15
图表 25.	手机天线发展时间线.....	16
图表 26.	图表 26. 天线性能指标参数汇总.....	16
图表 27.	手机中的不同应用所使用的天线.....	17
图表 28.	三星 S9 手机中的天线分布.....	17
图表 29.	Iphone XS MAX 中的柔性天线馈线.....	18
图表 30.	FPC 软板应用示意图.....	18
图表 31.	便携设备中使用的 FPC 天线.....	19
图表 32.	FPC 结构剖面图.....	19
图表 33.	不同种类的 FPC 软板.....	20

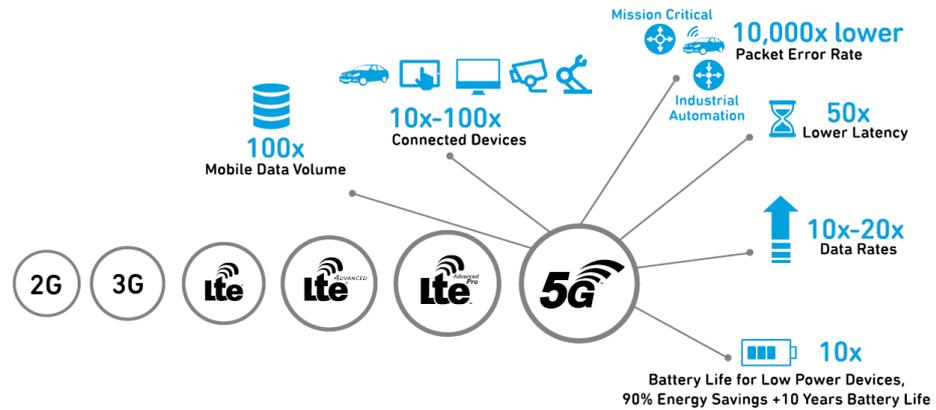


图表 34.	软板的主要构成	20
图表 35.	I 型 LCP 与高性能 PI 工程塑料性能比较	21
图表 36.	LCP 天线阵列	21
图表 37.	iPhone XS 手机天线	22
图表 38.	FCP 刚性和柔性单体单元和分子	22
图表 39.	LCP 与其他材料在高频时介电常数对比	23
图表 40.	LCP 可折叠天线	23
图表 41.	具有 LCP 基板的贴片式微带天线	24
图表 42.	主各种基材材料性能对比	24
图表 43.	毫米波在不同场景中路径损耗比较	25
图表 44.	5G 手机中的多用户 MIMO 技术	26
图表 45.	高通 QTM052 天线模组	26
图表 46.	高通 QTM052 天线模组在手机中的集成	27
图表 47.	高通 QTM052 天线模组在手机中的集成	27
图表 48.	天线方向图示意图	28
图表 49.	5G 手机背部的 MIMO 结构示意图	29
图表 50.	常见的手机手持模式	29
图表 51.	5G UE 无线系统原理结构图	30
图表 52.	背面金属支撑共波导面 (CB-CPW) 传输线衰减图	30
图表 53.	AiP 封装结构天线结构示意图	31
图表 54.	Google 推出的 Project Soli 芯片	31
图表 55.	Project Soli 芯片 eWLB 封装以及电磁仿真设置	32
图表 56.	Ewlb 封装示意图	32
图表 57.	传统封装流程工艺与 WLP 封装工艺比较	33
图表 58.	扇入扇出型 WLP 封装中的 RDL 走线对比	33
图表 59.	FO-WLP 封装厂商	34
图表 60.	INFO 封装原理图	34
图表 61.	电池性能和无线容量发展对比	35
图表 62.	电池性能和手机所需电量发展对比	35
图表 63.	智能手机中的主逻辑板 (MLB)	36
图表 64.	智能手机中的上层和下层排布	37
图表 65.	手机中的金属屏蔽罩	37
附录图表 66.	报告中提及上市公司估值表	40

1 从技术发展、应用、技术以及芯片角度初看 5G

随着智能手机和其他便携设备的普及度提高，人们对数据流量的要求也越来越高。根据 Ericsson's Mobility Report 给出的数据，2016 年移动数据流量从每月 3.5EB（艾字节，1EB=1012MB），2017 年增长到每月 5.5EB，增长达到了 57%，从 2011 年到 2017 年智能手机每用户流量的年复合增长率达到了 35%。人们对数据流量的需求的日益提高，因此对网络容量的增加提出了要求，这也是 5G 网络建设的目标之一。社交媒体视频应用、实时视频通信以及安防视频的普及等等，都在驱动移动网络速度提高。根据 Qorvo 给出的数据，5G 网络相比于当前网络的速度将会至少提高 10-20 倍。Cisco 的“视觉网络指数”预测移动网络流量中，视频流量将占比 75% 之多。这说明未来人们对移动网络速度的要求将会越来越高。而 5G 网络应用后，高速的网络也会使得安全的自动驾驶、远程医疗服务和虚拟现实等成为可能。更进一步的，5G 网络还会提供随时随地的联网服务，在复杂场景中，例如楼宇、工业和制造环境、拥挤场景、远程控制（陆地和海洋）、海陆空的高速行驶环境中，都能进行随时随地的高速通信。

图表 1. 5G 网络接入示意图



资料来源：Qorvo 官网，中银国际证券

1.1 5G 简介及应用

5G 是第五代移动电话行动通信标准，也称为第五代移动通信技术。与上一代 4G 技术相比，5G 具有更高的数据传输速度、更宽的带宽、更强的可靠性和更低的时间延迟等特性。5G 技术的进步还将会带来一系列应用的进步和更新，满足高速移动和充分网络接入的需求，提高连接对象和设备数量的从而为各种新服务提供更多可能。例如能源、健康、智慧城市、汽车和工业生产等将会大大提高自动化模式的比例。5G 服务将首先扩大以人为中心（human centric）的应用，例如虚拟和增强现实以及高清视频数据流等；另外以通信为基础的机器-机器、机器-人类型的应用，也将会更加安全化和便捷化。

图表 2. 5G 与 4G 通信主要参数对比

参数名称	常用符号	单位	4G		5G	
			LTE	Sub-6	低频	高频
载波频率	f_c	GHz	2	2	30	70
信道尺寸	BW	MHz	20	100	250	500
采样频率	f_s	MHz	30.72	150	375	750
天线数量	N_A	-	4	96	128	256
ADC/DAC 链路层数	N_L	-	4	16	12	10

资料来源：5GPPP Architecture Working Group，中银国际证券

5G 不仅是 4G 基础上的一个提升，而是移动通信技术的一场革命，在各方面的表现上相比今天的网络，都会有数量级方面的提升。5G 并不会替代 4G，而是提供任务多样性上的升级，从这个角度看，5G 可能提供的服务带来的变化将会在社会的方方面面。简而言之，5G 技术如下：

图表 3. 5G 技术概况

5G 技术	技术要求
增强型移动宽带	需要无线移动新频段中上百 MHz 的信道带宽，如 4G LTE pro 的 2.5GHz 到 5G 的 3.5GHz，以及数十 GHz 的毫米波频谱
超高效率	数据流的超高效率需要利用载波聚合和 MIMO 技术
固定无线接入	可以提供 20Gbps 的短距离接入（家庭、企业）
无线基础设施	使用波束赋形以及高功率 GaN 来配合自适应阵列天线
低延时	用来满足实时通信，如自动驾驶和 AR/VR 等技术
物联网	数万亿计的连接数，要求低数据速率、电池寿命要超过 10 年、尽可能高的通信范围

资料来源：Qorvo, 中银国际证券

5G 应用场景

5G 的应用场景主要分为三大类：大规模 IoT 物联网，关键任务服务和增强移动宽带服务。大规模 IoT 指的主要是设备和设备 (machine to machine, M2M) 之间的通信，同时尽可能避免人的干预。根据 Ericsson 预计，到了 2021 年 IoT 连接的设备数量将会达到 280 亿，其中 150 亿的设备是 M2M 方式通信和消费电子设备。大规模 IoT 应用的设备主要包括低成本低功耗的传感器设备，提供端对端的覆盖和向云端数据传输，采用短程无线电技术，例如蓝牙、WiFi。NGMN 组织已经给出了具体的标准即 mMTC。5G 网络中大量支持 mMTC 的 IoT 连接设备必须具有低成本、高效率的特点，因为大量的设备会带来巨大的能量消耗。因此在低传输速率的应用需求时，IoT 使用窄带通信，甚至会在低于 1GHz 的波段。低成本、低功耗的 RF 元件也会在 IoT 中大量应用，因此需要使用硅或者 GaAs 等工艺，配合小尺寸封装。在大规模 IoT 应用中，RF 前端也需要兼容多个频段和标准。

图表 4. IoT 无线连接市场分类



资料来源：Qorvo, 中银国际证券

关键任务服务的应用也有其自身特殊的需求，例如高速高吞吐量、对可靠性的超高要求以及数据传输极高的安全性。NGMN 组织针对性的定义了 uRLLC 标准。除了很热门的自动驾驶，关键任务服务还包括了公共交通系统、无人机、工业自动化、远程医疗（例如，监控，治疗和护理）、以及智能电网监控。为了保证这些服务的高可靠性，5G 需要使用新型空中接口技术来满足多样化的数据传输类型。相比于目前的 4G，RF 连接上则需要做的更加多样化。5G 中会使用小型基站连接产生更多的固定无线连接网络，其通信波段从 600MHz 到 80GHz 都将会被使用，相应的会带动 GaAs，硅，GaN 工艺的使用。支持关键任务服务所对应的 5G 通信技术有 MIMO、载波聚合 CA、毫米波和 5G 网络基础设施，如宽带接入，全球定位系统（GPS），点对点无线电和卫星通讯。

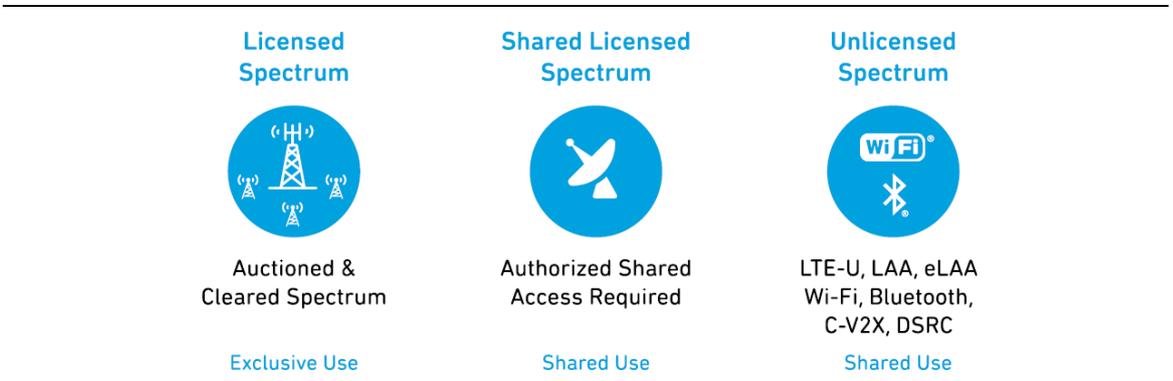
图表 5. 5G 应用场景



资料来源：5GPPP Architecture Working Group, 中银国际证券

增强移动宽带 eMBB 服务即在随时随地的更快、更好的覆盖所有互联网应用程序和服务。支持 5G eMBB 的关键技术有 LTE-A 和 LTE-A-pro、扩展频段/宽带固定无线接入（FWA）、毫米波（mmWave）、波束控制基础设施、小型基站等。然而目前拥挤的带宽下，运营商需要使用更有效的方式利用频谱。使用高频波段是一个很好的选择，高频传输可以拥有较高的带宽，但还短波会带来绕射能力差的缺点。在 5G 中将会采用的毫米波可以提供很高的数据容量，带宽可达 400MHz，毫米级的波长带来的优势是可以使用更小尺寸的天线。毫米波支持几百米内的短距离传输，即使是相同城市内，信道也可以重复使用，大大提高了频谱的利用率。

图表 6. 增强移动宽带技术对授权和非授权频谱的需求

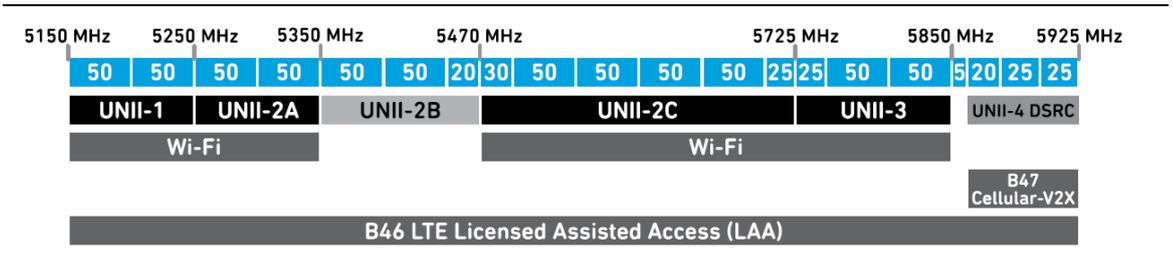


资料来源：Qorvo, 中银国际证券

1.2 5G 频谱分配以及进展

4G LTE 频谱包含了 52 个 3GPP 频段(band)，其中 35 个使用 FDD/SDL 制式，17 个使用 TDD 制式。这个频段支持 6 种信道带宽，1.4MHz，3MHz，5MHz，10MHz，15MHz 以及 20MHz。因此载波聚合 (Carrier Aggregation, CA) 技术被开发用来拓展信道带宽，提高数据传输速率，例如 R14 标准规定载波聚合最多可以合并 32 个分量载波。而运营商的标准已经提高到了 5CC 载波聚合，也就是说，聚合 5 个 20MHz 信道后可以达到 100MHz 的带宽。通过 CA 技术配合 4x4 MIMO 技术 (下行) 和 256QAM，4G LTE 的预期峰值下行数据速率可以达到 1Gbps。但是对于各个运营商来说，4G LTE 的频谱是分散分配的，因此运营商也开始在授权和非授权频段上使用载波聚合技术来增加数据容量，也就是 LAA 技术。例如 Band 46 就是通过聚合授权频段和 WiFi 频段来实现 LAA。

图表 7. 5G NR 频谱范围



资料来源: Qorvo, 中银国际证券

3GPP 已指定 5G NR 支持的频段列表,5G NR 频谱范围可达 100GHz,指定的两大频率范围 Frequency range 1 (FR1) 和 Frequency range 2 (FR2)。FR1 就是我们通常讲的 6GHz 以下频段,频率范围是 450MHz 到 6GHz,也就是通常所说的 sub-6GHz; FR2 频率范围是 24.25GHz - 52.6GHz,因为波长已经缩小至毫米级,也称为毫米波频段。

图表 8. 5G NR 频谱范围的高频段和低频段

名称	频率范围	最大信道带宽
FR1	450 MHz ~ 6.0 GHz	100 MHz
FR2	24.25 GHz ~ 52.6 GHz	400 MHz

资料来源: 3GPP 官网, 中银国际证券

5G NR 支持 16CC 载波聚合。由于 5G NR 定义了灵活的分量载波间隔,不同的分量载波间隔对应不同的频率范围和信道带宽,具体如下:

图表 9. 5G NR 分量载波间隔

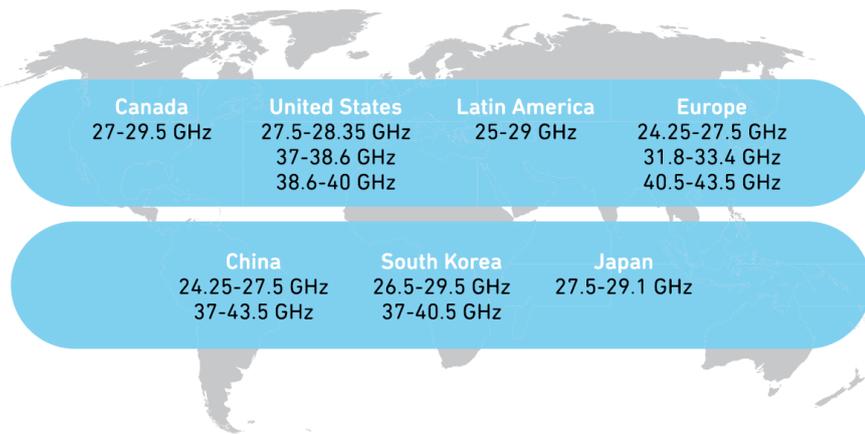
分量载波间隔	15kHz	30kHz	60kHz	120kHz
频率范围	FR1	FR1	FR1, FR2	FR2
信道带宽	50MHz	100MHz	200MHz	400MHz

资料来源: 3GPP 官网, 中银国际证券

5G NR 区别于 4G LTE 的一个重要方面就是 6GHz 以下的最大的信道带宽是 100MHz,而 6GHz 以上的最大信道带宽可以达到 400MHz。在 6GHz 以下可以通过载波聚合技术,聚合 4 个 100MHz 的信道实现 400MHz 的瞬时带宽,峰值速率将会远远超过 4G。

然而,6GHz 以下拥有 100MHz 信道带宽的波段目前只有 B41 (2.5GHz),以及 5G 将会使用的 C 波段 (3.3GHz 到 4.2GHz,4.4GHz 到 4.99GHz)。在 6GHz 以上的厘米波和毫米波波段,也就是 28GHz,39GHz 和未来的 80GHz,100MHz 和 400MHz 信道带宽都比较容易实现。

图表 10. 全球厘米波和毫米波波段部署



资料来源: Qorvo 官网, 中银国际证券

全球 5G 频谱分配情况

国际上主要使用 28GHz 进行试验, 2016 年 7 月 14 日, FCC 投票决定通过分配 24GHz 以上 5G 频谱, 北美地区成为世界上第一个为 5G 网络分配可用频谱的地区。

图表 11. 北美 5G 频谱分配

毫米波频段	频谱
27.5 ~ 28.35 GHz	授权
37 ~ 38.6 GHz	授权
38.6 ~ 40 GHz	授权
64 ~ 71 GHz	非授权

资料来源: 3GPP 官网, 中银国际证券

欧盟委员会无线频谱政策组 (RSPG) 于 2016 年 6 月制定 5G 频谱战略草案, 并在欧盟范围内公开征求意见。2016 年 11 月 9 日, RSPG 发布欧盟 5G 频谱战略。

图表 12. 欧洲 5G 频谱分配

分配频段	频谱说明
700MHz	5G 广覆盖
3.4 ~ 3.8GHz	利用抢占先机
24.25 ~ 27.5 GHz	5G 先行频段
31.8 ~ 33.4GHz	5G 潜在频段
40.5 ~ 43.5GHz	5G 可选频段

资料来源: 3GPP 官网, 中银国际证券

国内频谱分配

国内主流的 4G 频段在 1.8GHz-2.7GHz 之间。而 5G 的工作频段分为高频频段和低频频段两部分。2018 年我国工信部发布意见稿表明, 3.3G-3.40GHz 频段基本被确认为 5G 频段, 原则上限于室内使用; 4.8G-5.0GMHz 频段, 具体的频率分配使用根据运营商的需求而定。新增 4.4G-4.5GMHz 频段, 但不能对其他相关无线电业务造成有害干扰。

2018年12月10日上午，工信部正式发文表示，向中国电信、中国移动、中国联通发放了5G系统中低频段试验频率使用许可。其中，中国电信和中国联通获得3500MHz频段试验频率使用许可，中国移动获得2600MHz和4900MHz频段试验频率使用许可。中国联通和中国电信获得了较为国际主流的频段，中国移动的情况则复杂很多。细分来讲，中国移动获得2515MHz-2675MHz、4800MHz-4900MHz频段的5G试验频率资源，其中2515-2575MHz、2635-2675MHz和4800-4900MHz频段为新增频段，2575-2635MHz频段为重耕中国移动现有的TD-LTE(4G)频段。目前我国在24.75-27.5GHz、37-42.5GHz高频频段正在征集意见。

图表 13. 中国大陆运营商 5G 系统中的低频试验频率

运营商	试验频率
中国电信	3500MHz
中国移动	2600MHz 和 4900MHz
中国联通	3500MHz

资料来源：3GPP 官网，中银国际证券

通信工作频率的提高，带来的先是信道带宽的提升，这意味着网络速度的提高。不过带来的坏处是波长的变短，众所周知，波长越短，电磁波的绕射能力越差，传播过程中的衰减越大。因此单个基站信号覆盖的范围就越小，为了确保信号覆盖，基站的数量需要增加。5G的sub-6GHz工作频率与4G工作频率依然接近，因此从基站设施的角度看，成本提升较小；在高频下需要增加更多的基站，成本提升也比较高。不过从终端的角度看，由于频率的变化，对终端天线、无线通信芯片、终端架构设计等等都会带来很大影响，可谓牵一发而动全身。在关注终端变化之前，我们首先看一下5G通信技术的变化，然后分析随之而来对终端硬件的影响。

5G 标准进展和现状

3GPP在2018年6月已经发布第一个独立组网5G标准，根据3GPP官网发布的消息，R15和R16标准可以满足ITUIMT-2020全部需求；其中R15是5G基础版本，重点支持增强移动宽带业务和基础的低时延高可靠服务；R16为5G增强版本，支持更多的物联网业务。

考虑到5G将会较长时间和LTE共存，并且各个运营商拥有的频谱、部署节奏和5G网络服务定位有差异，3GPP标准分阶段支持多种5G组网架构。5G R15标准分为三个步骤向外界提供，具体如下：

图表 14. 5G R15 标准分为三个步骤向外界提供

5G R15 标准版本	类型	进展
早期版本 'Early' drop	非独立组网(Non-Standalone, NSA)规范 (Option-3 系列)	ASN.1 已于 2018 年 3 月冻结
主要版本 'Main' drop	独立组网(Standalone, SA)规范 (Option-2 系列)	ASN.1 已于 2018 年 9 月冻结
延迟版本 'Late' drop	其他迁移体系结构 (Option-4, Option-7 和 5G-5G 双连接)	ASN.1 将于 2019 年 6 月冻结

资料来源：3GPP 官网，中银国际证券

3G向4G演进时，无线接入网和核心网是整体部署的模式。但是在4G向5G演进时，无线接入网和核心网将会分别单独部署。5G的部署安排将是混合进行的，5G无线接入网(New Radio, NR)、5G核心网、4G核心网和4G无线接入网(LTE)会混合搭配，组成多种网络部署选项，也就是不同的Option。

5G组网方案分为独立组网和非独立组网，独立组网方案有Option-2和Option-5，非独立组网方案有Option-3、Option-4和Option-7，详细情况如下：

图表 15. 5G R15 标准分为三个步骤向外界提供

5G 组网方案	组网模式	说明
Option-2	独立组网(SA)模式	引入 5G 核心网, 仅 5G 基站连接 5G 核心网
Option-3	非独立组网(NSA)模式	连接 4G 核心网, 4G 基站为主站, 5G 基站为辅站
Option-4	非独立组网(NSA)模式	引入 5G 核心网, 5G 基站为主站, 4G 基站为辅站
Option-5	独立组网(SA)模式	引入 5G 核心网, 但仅 4G 基站连接到 5G 核心网
Option-7	非独立组网(NSA)模式	引入 5G 核心网, 4G 基站为主站, 5G 基站为辅站

资料来源: 3GPP 官网, 中银国际证券

5G 第二个标准版本 R16 计划于 2019 年 12 月完成, 2020 年 3 月冻结。届时 5G 标准将会全面满足 eMBB、URLLC、低功耗场景 mMTC 等各种场景的需求。可以说 2020 年 3 月形成的 5G 标准才是完整的 5G 标准。

1.3 5G 的几个主要通信技术

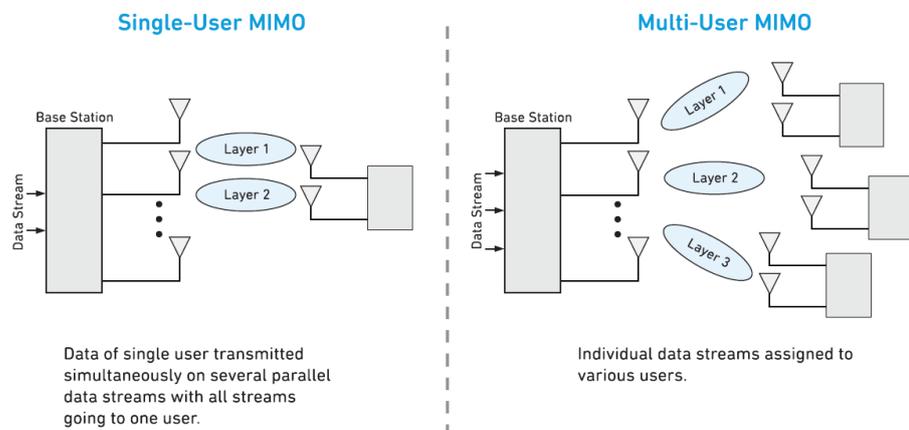
Massive MIMO 技术

MIMO 是通过使用多个发射和接收天线在单个无线信道上同时发送和接收多个数据流的多天线技术, 用于提高移动设备带宽、增加数据吞吐。Massive MIMO 的理论基础是, 天线与终端之间相互传输的数据经过了周围环境的滤波。信号可能会被建筑物和其他障碍物反射, 这些反射会有相关的延迟、衰减和传播方向。天线与用户终端之间甚至可能没有直接路径, 但是这些非直接传输路径同样有利用价值。

MIMO 的阶数代表可以发送或接收的独立信息流数量, 它直接等同于所涉及天线的数量; 阶数越高, 链路支持的数据速率也越高。MIMO 系统通常涉及基站发射天线数量以及用户设备接收天线数量。例如, 2x2 MIMO 意味着同一时刻在基站有两个发射天线, 在手机上有两个接收天线。Massive 意指基站天线阵列中的大量天线; MIMO 意指天线阵列使用同一时间和频率资源满足空间上分离的多位用户的需求。

其实历代的无线通信技术都有过使用先进的天线技术来提高网络速度。3G 时代使用了单用户 MIMO 技术, 它从基站端同时发送多个数据流给用户。多用户 MIMO 技术是 4G 时代使用的, 它为多个不同用户分配不同数据流, 相比于 3G 大大提高了容量和性能。而 5G 时代将会使用的是大规模 MIMO 技术, 进一步将容量和数据速率提高到 20Gbps。

图表 16. 单用户和多用户 MIMO 技术

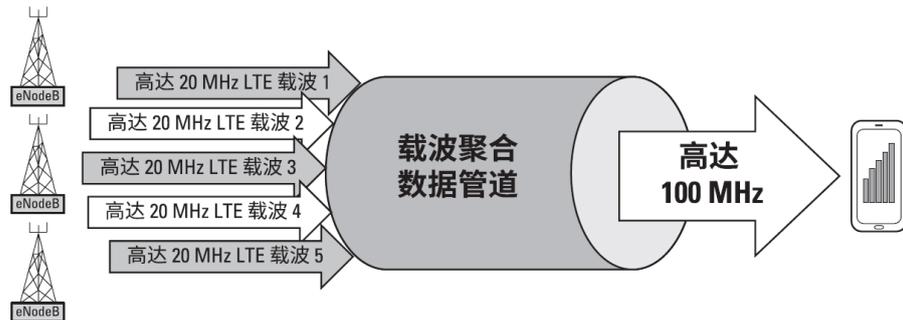


资料来源: Qorvo 官网, 中银国际证券

载波聚合技术

前面提到，4G LTE 频谱由 52 个频段组成，其中 FDD/SDL 为 35 个，TDD 为 17 个。4G LTE 频谱支持 6 个信道带宽，为 1.4MHz、3MHz、5MHz、10MHz、15MHz 和 20MHz。然而最大的可聚合载波数量是 5 个，因此 4G LTE 载波聚合后的最大带宽是 100MHz。在 FDD 制式下，下行链路和上行链路的载波数量并不相同，通常下行链路聚合载波数量要多余上行链路，不同载波的带宽也可以不同。而在 TDD 制式下，上行下行的带宽和分量载波数量都要相同。

图表 17. 载波聚合技术示意图

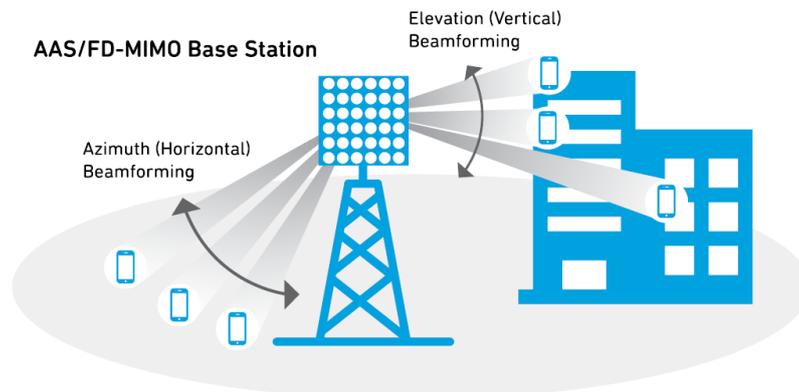


资料来源: Qorvo 官网, 中银国际证券

波束赋形技术

波束赋形是指根据特定场景自适应的调整天线阵列的辐射图。波束赋形是配合 MIMO 多天线技术使用的。波束赋形和 MIMO 有时候两个概念也会混用。通常来讲波束赋形是 MIMO 概念下的子技术，它是通过使用多个天线控制天线电磁波传播的方向来合理确定单个天线的信号幅度和相位。也就是说一个天线会受到来自不同位置天线发射的相同信号，通过确定接收机的位置，天线可以合理调整传播方向和相位，来达到信号发射和接受的效率最大化。这个技术在毫米波技术下是非常必要的，首先高频毫米波带来的衰减导致其必须采用 MIMO 技术来接受到可靠的信号，而多天线技术必然带来功耗的大幅度增加，使用波束赋形技术可以有效减少不必要的能量损耗。

图表 18. 天线波束赋形技术示意图



资料来源: Qorvo 官网, 中银国际证券

1.4 5G 芯片研发：高通华为均已推出

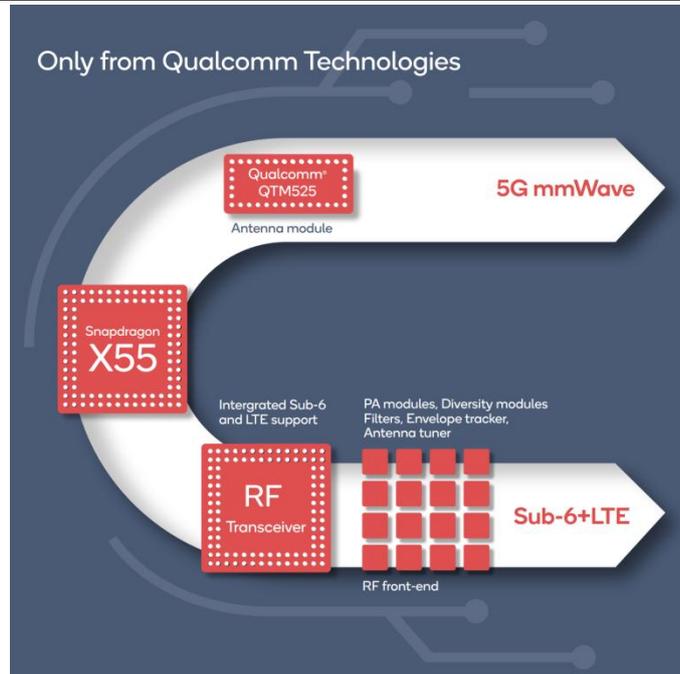
2018年7月23日，高通宣布推出全球首款面向智能手机和其他移动终端的全集成5G新空口毫米波及sub-6GHz下射频模组：Qualcomm QTM052毫米波天线模组系列、Qualcomm QPM56xx sub-6GHz射频模组系列。高通表示，QTM052天线模块等上述最新零组件目前正在送样客户，预计将在2019年初第一批问世的5G手机当中应用。

2018年12月高通发布了骁龙855 5G芯片组，相比于之前的845平台，855使用了7nm制程，搭载Kryo 485 CPU，速度提升了45%。骁龙855还使用了更先进的天线技术，不仅在LTE制式下可以达到2Gbps的速度，还能支持60GHz WiFi，速度高达10Gbps。骁龙855还搭载了射频前端，提供从调制到天线的一系列解决方案，采用QTM052 5G mmWave天线模组，Qualcomm Adaptive Antenna Tuning, Qualcomm Envelope Tracking, High-power transmit (HPUE)。值得一提的是，片上AI引擎，配合5G的XR实时4k高清游戏体验等也都是骁龙855芯片平台的两点。

2019年1月24日，北京华为正式面向全球发布了5G多模终端芯片Balong 5000（巴龙5000）和基于该芯片的首款5G商用终端华为5G CPE Pro。除了支持智能手机外，还可以配合家庭宽带终端、车载终端和5G模组等。能耗更低，性能更强，时延更短，7nm工艺，支持NSA和SA双架构，支持业界最广泛频段，支持毫米波。同时还华为推出业界首款5G基站核心芯片——天罡。算力比以往增强2.5倍，用单芯片控制最强的64T，支持超宽频谱，是业界唯一一家支持200M频宽的5G部署，一次部署可以满足未来需求。华为的5G基站也同时亮相。据华为运营BG总裁丁耕介绍，华为5G基站较传统基站，将天线和射频集合在一起，体积更小，而容量是传统基站的20倍。

2019年2月19日，第二代5G基带芯片骁龙X55，采用7纳米工艺的单芯片支持5G到2G多模，同时支持毫米波以及6GHz以下频段，支持TDD和FDD，支持独立和非独立组网模式。这是高通在继2017年推出全球首颗5G基带芯片X50后的又一次跃迁。同时高通还推出了5G第二代射频前端解决方案和QTM525 5G毫米波天线模组，这是继2018年7月高通推出首款面向智能手机射频模组方案后的升级。据集微网称，骁龙X55正在向客户出样，采用骁龙X55的5G商用终端预计于2019年年底推出。

图表 19. 高通骁龙 5G 平台

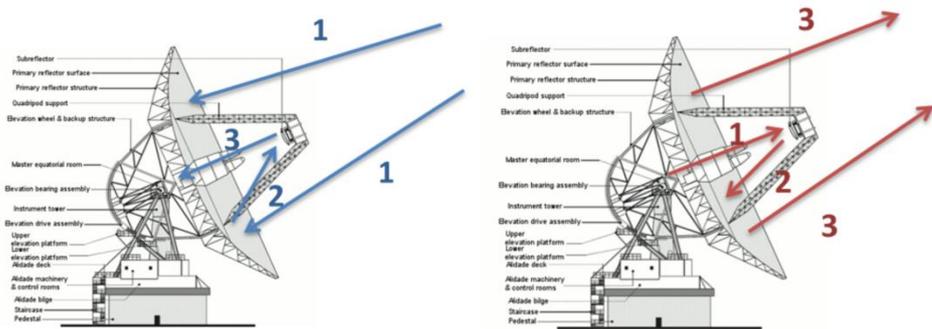


资料来源：高通官网，中银国际证券

2 终端天线：5G 带来天线行业新机遇

天线是将高频电流或波导形式的能量变换成电磁波并向规定方向发射出去，或把来自一定方向的电磁波还原为高频电流的一种设备。无线电发射机输出的射频信号功率，通过馈线（电缆）输送到天线，由天线以电磁波形式辐射出去。电磁波到达接收地点后，由天线接下来（仅仅接收很小很小一部分功率），并通过馈线送到无线电接收机。可见，天线是发射和接收电磁波的一个重要的无线电设备，没有天线也就没有无线电通信。

图表 20. 天线接收和发射信号



资料来源：NASA，中银国际证券

手机天线是手机用来接收和发射信号的设备，无线电发射机输出的射频信号功率，通过馈线（电缆）输送到天线，由天线以电磁波形式辐射出去。电磁波到达接收地点后，同样是天线接收（仅仅接收一部分功率），并通过馈线送到无线电接收机。因此，天线是发射和接收电磁波的重要无线电设备，没有天线也就没有无线电通信。一般情况下天线长度一般为波长的 $1/4 \sim 1/2$ ，因此传播频率越高，天线的长度越短。目前手机中多采用的天线是内置天线。在手机通信技术发展的过程中，随着通信波段、带宽以及使用技术的不断发展和变化，手机天线也需要做出相应的调整。在 5G 时代，毫米波高频率通信、载波聚合技术带来的信道拓宽、MIMO 多天线技术的采用等都会对天线技术和射频前端产生关键性影响。

2.1 手机天线的发展

最早的手机天线是四分之一波长天线，它是一根单独的天线，也叫做套筒式偶极天线。由于最早的 1G 手机频段为 800MHz，所以天线的长度有 9.4cm。这种天线已经在目前使用的手机上很难见到，而是被大量的用在无线 LAN 接入点上。

图表 21. 套筒式偶极天线



资料来源：摩托罗拉官网，中银国际证券

www.767stock.com

20 世纪 90 年代的 2G 手机天线则有两个天线单极和螺旋，只能支持单个频段。诺基亚 1011 和摩托罗拉 M300 只能支持单个频段的通信。

图表 22. 2G 手机的外置天线 诺基亚 1011 和摩托罗拉 m300



资料来源: north stand chat, 中银国际证券

1997 年摩托罗拉发布了首个双频 GSM 手机 mr601, 可以支持 GSM900 和 GSM1800 双频, 因此有螺旋和鞭状两根天线。1999 年诺基亚推出了 Nokia3210, 是一个完全内置的天线, 可以支持 GSM900 和 GSM1800 双频。

图表 23. 诺基亚 3210 手机内置天线



资料来源: 维基百科, 中银国际证券

2004 年推出的 3G Nokia6630 手机, 可以真正意义上支持全球漫游, 是第一个双模三频段手机, 可以支持 GSM900/1800/1900 和 UMTS2100, 所使用的天线也是多天线内置。

图表 24. 诺基亚 6630 和内置天线



资料来源: Mondomobileblog, 中银国际证券



下表给出的是从手机诞生以来的通信频率和对应系统及天线的变化。可以看出手机的通信频率在逐渐从最初的 kHz 发展到目前的 4G 系统，达到了 GHz 频段，而天线的尺寸也经历了从大到小，从外置到内置的变化。个人终端的发展趋势是小型化和个人化，而天线为了配合整体设计以及高频段的传输，也需要做到小型化紧凑化。一种典型的天线设计方式就是改进型 PIFA 天线，之所以叫做改进型是因为相比于传统的 PIFA 天线它的外观已经有了很大的变化。改进型的 PIFA 天线是最早用在 GSM 手持设备中的天线，目前被广泛用在个人设备当中。

图表 25. 手机天线发展时间线

年份	1900	1950	1970	1990	2000	2010
频率	< 10 kHz	< 30 MHz	< 800 MHz	< 1.9 GHz	< 2 GHz	3 GHz 5 GHz
系统	火车、轮船和警 车中使用的电 报、电话	汽车和便携系统 中的商务、传呼 设备	手机（模拟）、无手机（数字）、飞机 绳电话、寻呼机、 GPS	（语音和数据）、个 人电话	手机（多媒体）、手机（高数据速 率）、超宽带 无线接入、蓝牙	
天线	单极、偶极、鞭 型	叶片、铁氧体线 圈、螺旋天线	角反射器、PIFA、 螺旋型	曲流线型、法向模 旋天线、陶瓷芯片 自适应阵列	螺旋宽带、多频段内 置天线、自适应 阵列、MIMO	小型紧凑型功能 天线、植入式天 线

资料来源：Blekinge Institute of Technology，中银国际证券

对于目前的手机及来说，印制天线被广泛用在终端中，相比于其他安装式天线更加小巧轻薄。从组成上看，印制天线内部有介电材料和接地平面，设计时需要考虑高效率、高增益和辐射模式。天线的设计主要从以下几个方面考虑：

- 多频段、内置化
- 配合 UE 设计的小型化
- 功能化，例如配合自适应和 MIMO 进行高速率传输

图表 26. 天线性能指标参数汇总

天线性能指标	表征意义
方向图	天线辐射特性空间角度关系
方向性参数	天线集中辐射程度，方向图尖锐程度
天线增益	辐射功率集中程度
入阻输入阻抗	高频阻抗，与馈电点的匹配程度
驻波比 VSWR	匹配程度

资料来源：《天线（第三版）》电子工业出版社，中银国际证券

出于对射频前端及基带处理的设计考虑，目前天线的设计方式是针对不同的应用，设计成不同的窄带天线。除了主通信芯片用于访问运营商网络，手机还有 Wi-Fi 功能、蓝牙功能、GPS 功能，以及 NFC 功能，都需要不同的天线。甚至，现在逐渐流行的无线充电，用的充电线圈也是一种天线。

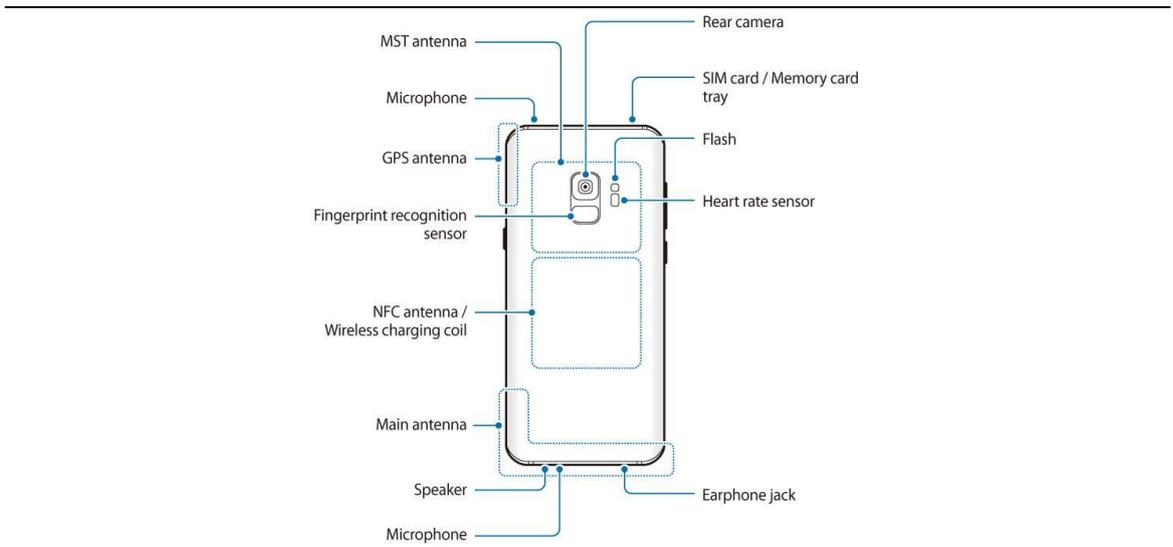
图表 27. 手机中的不同应用所使用的天线

应用	通信波段	波长 (估计值)	天线尺寸 (四分之一波长)
1G	800 MHz	30cm	7.5cm
2G	GSM: 900MHz, 1800MHz; CDMA: 800MHz	20 ~ 30cm	7.5cm
3G	2100 MHz	13 ~ 16cm	3 ~ 5cm
4G	1800 MHz ~ 2100 MHz	11 ~ 16cm	2.5 ~ 4cm
5G	Sub-6GHz: 3 ~ 5GHz	6 ~ 10 cm	1.5 ~ 2.5cm
	MmWave: 20 ~ 30GHz	10mm	2.5mm
蓝牙	2.4 GHz	12.5m	3cm
GPS	L1: 1575.42 MHz	18 ~ 25m	4.5 ~ 6cm
	L2: 1227.60 MHz		
NFC	13.56 MHz	22m	近场耦合
无线充电线圈	80-300 kHz	22m	

资料来源：百度百科，中银国际证券

以三星旗舰智能机 S9 为例，内部有传统的移动通信主天线（配合高通骁龙 845 基带，支持 4X4 MIMO、5 个分量载波聚合），位于手机的下部和左下部。GPS 天线位于左上部，近场通信天线（NFC，Near Field Communication）和无线充电线圈在手机中部，此外还集成了最先进的磁性安全传输线圈（MST，Magnetic Secure Transmission）位于摄像头附近。MST 是一种移动支付技术，是利用手机发射信号来模拟传统的磁条卡。

图表 28. 三星 S9 手机中的天线分布



资料来源：gadgetguideonline，中银国际证券

针对 5G 通信，手机厂商将会在原有的基础上做增量，也就是说在支持之前所有通信频段的基础上，增加新的频段传输功能。根据前面提到的 5G 通信频率的变化，sub-6GHz 和毫米波通信由于本身的频率差别很大，在手机天线设计上会产生不同的影响。

首先我们关注最先落地的 sub-6GHz，也就是 5G 中的低频频段。目前 4G 通信的波段是 1-2.6GHz，而 5G 使用的通信频段也在 6GHz 以下。所以在天线的尺寸仍然会是厘米级，与 4G 使用的天线区别不会太大。虽然由于 MIMO 多天线技术的使用，天线的数量会大大增加，不过从天线本身设计角度看并不会发生本质变化，而是在 4G 天线原有的基础上做出更多性能上的提升。

2.2 sub-6GHz 天线的设计关键

前面提到 sub-6GHz 对天线本身的影响并不大，但是数量上会有所增加。所以我们首先看一下 4G 时代手机中的天线主要怎么样的设计的。目前手机中的天线是隐蔽式、内置式的，并且集成了 Cellular (LTE/TD-SCDMA/FD-SCDMA/WCDMA/CDMA2000/GSM 等)、BT、Wi-Fi、GPS、NFC 等诸多针对不同应用的天线。以 iPhone 6s 为例，其通信模块包括：2/3/4G Cellular 模块，用于无线局域网连接的 Wi-Fi 模块，用于无线私域网连接的 BT 模块（蓝牙模块），用于全球定位系统的 GPS 模块，以及用于近场通信的 NFC 模块（功能包括信息识别、文件传输、刷卡消费等），每个部分都需要不同的天线设计。终端设备天线具有多样化的应用环境和工艺方案，软板已成为主流工艺。苹果公司在 2017 年发布的 iPhone X/8 Plus/8 均使用 liquid crystal polymer flexible printed circuit board (LCP FPCB) 制作的天线。根据 Appleinsider 网站的报道，2H18 新机型 iPhone models (XS Max, XS, and XR) 中有 6 个 LCP 天线。

图表 29. Iphone XS MAX 中的柔性天线馈线



资料来源: ifixit, 中银国际证券

在介绍 LCP 之前，我们先看一下 FPC 及其构成。FPC 是 flexible printed board circuit 的简称，中文名叫做软板又叫做柔性电路板，是以柔性覆铜板 (FCCL) 制成的一种具有高可靠性，可挠性的印刷电路板，具有配线密度高、重量轻、厚度薄、弯折性好的特点。软板使用塑料膜中间夹着铜薄膜做成的导线，在几乎所有电子产品中都有应用，例如硬盘的带状引线、数码相机、仪器仪表、医疗设备和汽车电子中。软式印刷电路板可以三度空间布线且外型可顺空间的局限做改变，从而达到元器件装配和导线连接的一体化。

图表 30. FPC 软板应用示意图

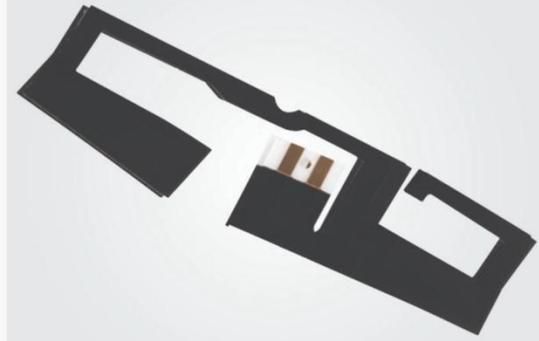


资料来源: Alibaba, 中银国际证券

www.767stock.com

在便携设备中，如手机、平板电脑和笔记本电脑中，软板被用来制造射频天线和高频传输线。在5G的推动下，天线数量的大幅度增加也会拉动软板天线的大幅需求。

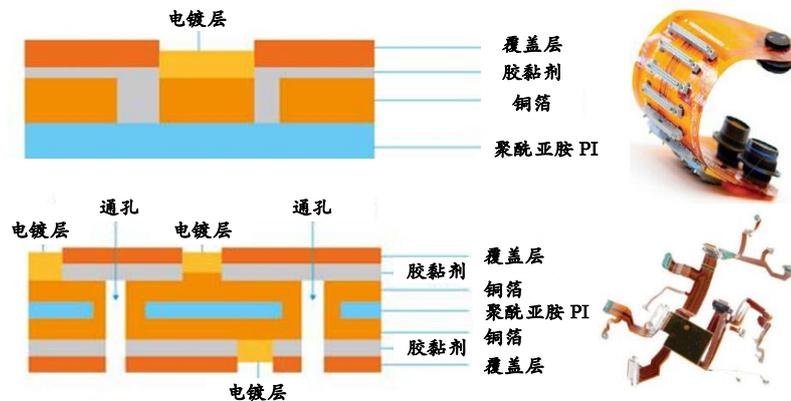
图表 31. 便携设备中使用的 FPC 天线



资料来源: Amphenol, 中银国际证券

按照导电铜箔的层数划分，分为单层板、双层板、多层板、双面板等。单层板的结构是最简单结构的柔性板，原材料由基材、透明胶、铜箔构成，保护膜和透明胶是另一种原材料。在制作时，通过对铜箔等进行刻蚀等工艺处理来得到定制的电路，保护膜要进行钻孔暴露出相应的焊盘。清洗之后再用电镀法把两种材料结合起来，接着在焊盘部分电镀金属等制作保护膜。

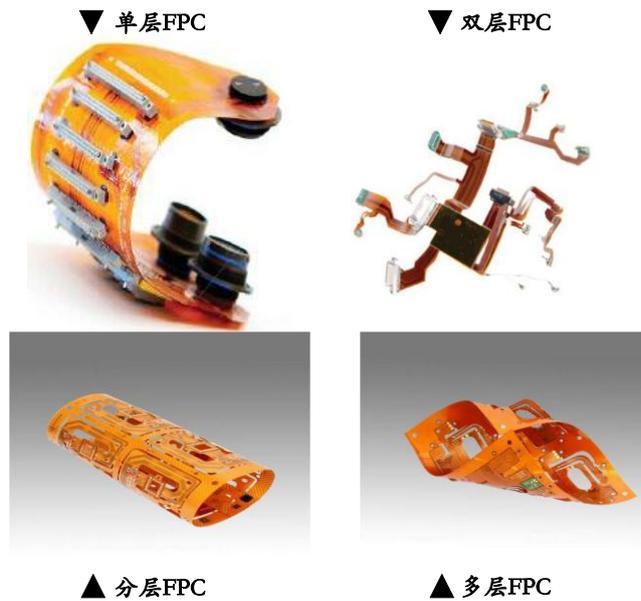
图表 32. FPC 结构剖面图



资料来源: Hemeixin, 中银国际证券

双层和多层板的结构适用于电路线路复杂以及需要铜箔以进行接地屏蔽的情况。多层板与单层板最典型的差异是增加了过孔结构连结各层铜箔。因此多层板在基材+透明胶+铜箔上的第一个加工工艺就是制作过孔，在基材和铜箔上钻孔并清洗之后镀上一定厚度的铜即可，之后的制作工艺和单层板几乎一样。双面板的两面都有焊盘，主要用于和其他电路板的连接。虽然它和单层板结构相似，但制作工艺差别很大。它的原材料是铜箔、保护膜和透明胶。先要按焊盘位置要求在保护膜上钻孔，再把铜箔贴上，腐蚀出焊盘和引线后再贴上另一个钻好孔的保护膜即可。

图表 33. 不同种类的 FPC 软板



资料来源: Hemeixin, 中银国际证券

因此, 软板主要的构成部分如下:

图表 34. 软板的主要构成

构成	作用
铜箔基板	常用材料结构为铜箔加核心层
铜箔	分为电解铜和压延铜两种
核心层	常见为聚酯亚胺 PI
保护膜	表面绝缘用 常用材料结构为聚酯亚胺加粘着剂环氧树脂热固胶
补强	加强柔性印制电路板的机械强度

资料来源: PCBCART, 中银国际证券

与传统的 PCB 中情况类似, 决定 FPC 性能最重要的材料就是基材, 要想提高 FPC 整体的技术参数, 就要提高基材的性能。基材的作用是提供导体载体, 作为导体之间的绝缘介质, 并且要有弯曲和挠性特性。用于软板的基材包括 PI (聚酰亚胺) 膜和 PET (聚酯) 膜, 除此之外还可以使用聚合物膜, 如 PEN (聚对苯二甲酸乙二醇酯), PTFE 和芳纶等。用于柔性覆铜层压板 (FCCL) 的主要基料保护层是 PI, 它是一种热固性树脂, 具有耐高温的特性。与其他的热固性树脂材料不同的是, 在热聚合后 PI 仍能保持柔韧性和弹性, 并且有耐热性和优秀的电学特性, 这也是它被用作 FPC 基材的一个重要原因。但是 PI 也有其缺点, 例如吸湿性差和延展性差的特点。吸湿性 (Moisture absorption) 是纤维的物理性能的指标之一, 通常把纤维材料从气态环境中吸收水分的能力称为吸湿性。即使是改进型的 PI 基材, 吸湿性也有 0.7%。

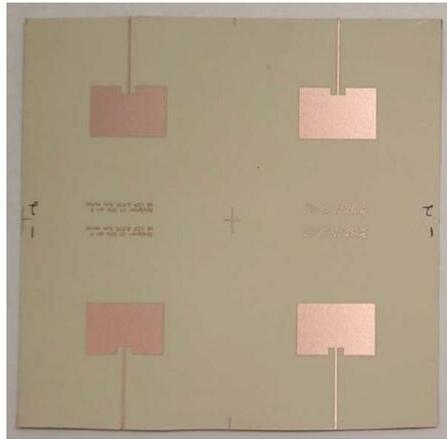
图表 35. I 型 LCP 与高性能 PI 工程塑料性能比较

性能	LCP (I 型)	PI (Capton®)
吸水率 (23°C/24hr, %)	0.04	2.9
CTE (ppm/°C)	16	18
介电常数 (3GHz)	3.0	3.5
Tg (°C)	310	≥300
杨氏系数 (kgf/cm ²)	700	350
氧透过性(cc.20μ/m ² .day.atm)	0.3	490
水气透过性 (g.20μ/m ² .day.atm)	0.13	105

资料来源: Rogers Corporatio, 中银国际证券

为了制备长寿命的半导体器件, 就要求封装材料具有高可靠性, 包括耐热氧老化和紫外老化、低的热膨胀系数(CTE)、低应力、低吸湿性等特点。

图表 36. LCP 天线阵列



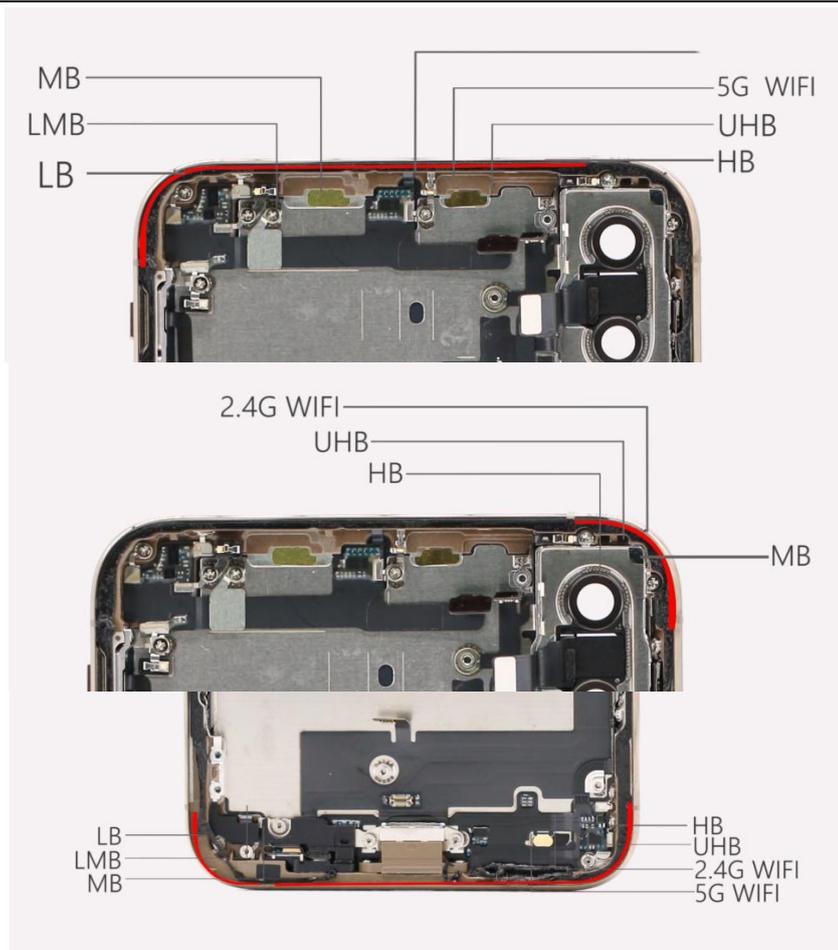
资料来源: Georgia Institute of Technology, 中银国际证券

为了克服 PI 材料的缺点, 以苹果为代表的手机厂商开始使用 LCP 作为软板的基材。在制造上, 具有热塑性的 LCP 薄膜覆盖铜箔, 然后经受恒定的热压, 可以制作成单面或双面软板。根据 Transactions on Microwave Theory and Techniques 给出的数据, 这种软板的吸湿性可以达到 0.04%, 相比于 PI 基材提高了接近 20 倍, 其介电常数在 1GHz 时可以达到 2.85, 因此可以与高速数字电路和射频电路兼容。

天线通俗来讲就是一根具有指定长度的导线, 因此它可以制造在 PCB 和 FPC 上。而由于设备的小型化和便携化, 留给天线的设计空间已经很小, 因此目前主流的方案就是使用 FPC 制造天线, 即可折叠式天线。可折叠式天线就是由软板制成, 可以弯曲成任意的形状, 从而应对人们对便携设备尺寸和设计的更高要求。

天线和普通电路的重要区别一点就是需要工作在高频段, 而 LCP 具有很好的高频特性, 且在 5G 模式下, 频率的提高和数据传输速率的大幅度增加对天线和连接线都提出了更高要求。根据 Appleinsider 网站披露, 目前的 4G 手机中, 苹果公司在 2017 年发布的 iPhone X/8 Plus/8 均使用 LCP FPCB 制作天线, 在 iPhone X 中总共有四个之多, 2018 新机型 iPhone models (XS Max, XS, and XR) 则中有 6 个 LCP 天线。在 5G 时代, 不仅在天线当中, 高速传输的数字导线也需要大量的 LCP 基材材料。

图表 37. iPhone XS 手机天线

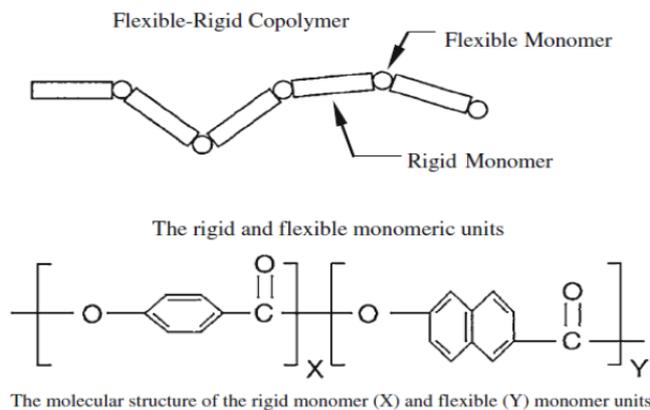


资料来源: Geekbar, 中银国际证券

2.3 天线设计材料之 LCP

LCP 具有低的介电系数, 可以广泛用在可折叠式天线中, 并且其能弯折、扭曲、旋转, 是名副其实的“可折叠材料”。LCP 还是优秀的热塑性有机材料, 由具有刚性和柔性单体单元分子组成。

图表 38. FCP 刚性和柔性单体单元和分子

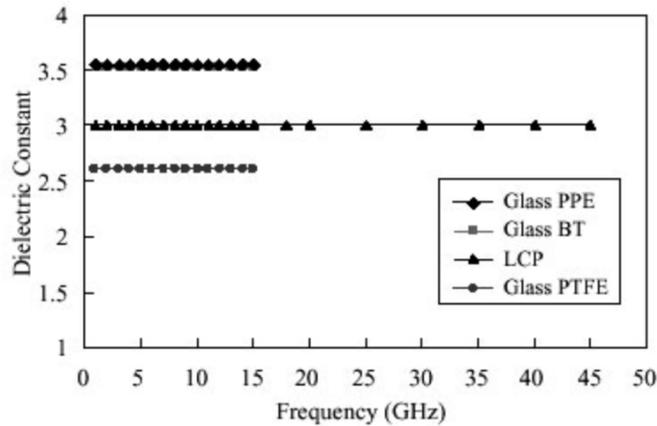


资料来源: Study of Liquid Crystal Polymer Based Flexible Antenna, IJARCET 2016, 中银国际证券

www.767stock.com

刚性单体使得 LCP 材料具有高温性能和高机械性能，而柔性单体有助于其进行工艺加工。特殊的分子结构使得 LCP 兼具晶体和无定型聚合物的优势，例如其尺寸和结构的稳定性、吸湿膨胀系数低，高强度、高耐热性、吸湿性低和环保的特点。在毫米波应用上，LCP 还展示出了优秀的电学特性，在高达 110GHz 频率范围内仍具有稳定的介电常数和低介电损耗。

图表 39. LCP 与其他材料在高频时介电常数对比



资料来源: ibuyplastic 塑网, 中银国际证券

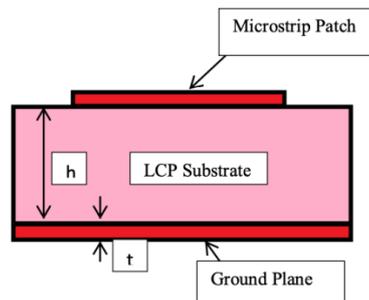
LCP 也是 RF 系统中使用的重要基材。随着无线通信频率的提升，RF 系统的材料技术和集成技术都面临诸多限制和挑战。在微波毫米波频率，RF 基材在水和气体的渗透性方面的性能会严重影响器件的可靠性和寿命。尤其是在 GHz 频率以上，基材的吸湿性会引起天线、滤波器和传输线的损耗。高频下的工作的电路尺寸很小，因此材料的膨胀率低对于电路可靠性至关重要，而材料膨胀率又和吸水性能息息相关。另外，对于封装材料来说，重要的一点是把不同部件集成形成系统的能力。最后是材料的低成本要求。新型的材料技术必须同时满足以上几个要求，同时考虑到频率和环境变化的不变性。

图表 40. LCP 可折叠天线



资料来源: Study of Liquid Crystal Polymer Based Flexible Antenna, IJARCET 2016, 中银国际证券

图表 41. 具有 LCP 基板的贴片式微带天线



资料来源: Study of Liquid Crystal Polymer Based Flexible Antenna, IJAR CET 2016, 中银国际证券

目前天线中的基片衬底材料不仅成本高且性能差,例如常用的 FR-4、PTFE、CTE 等材料。而 LTCC 层板目前在微波的衬底领域很受欢迎,具有优良的电气特性,紧凑的多层电路,封装气密性好等特点。但是缺点是成本高、高层压温度、密度问题、设计时间长以及工具成本和性能问题。LCP 层板由于在毫米波方面的优势成为了可折叠毫米波基板材料。下表总结了 LCP、LTCC 和其他材料的对比。

图表 42. 主各种基材材料性能对比

基材材料	射频性能		
	介电常数	损耗正切	工作频率
FR-4	3.9-4.3	0.02-0.025	< 10 GHz
PTEE	2.17-3.20	0.0013-0.009	< 20 GHz
LTCC	5.7-9.1	0.0012-0.0063	< 12 GHz
LCP	2.9-3.16	0.002-0.0045	< 110 GHz

资料来源: Study of Liquid Crystal Polymer Based Flexible Antenna, IJAR CET 2016, 中银国际证券

在微带天线设计中,衬底基片是设计的重要一环,其机械性能、热学性能、电学性能都是需要考虑的重要方面。而 LCP 由于其以下重要特性成为制成毫米波微波天线的优良材料:

- 成本优势
- 低介电常数 (2.9-3.2 频率<105GHz)
- 低吸湿性 (吸水率<0.004%), 因此可以适应多种应用环境
- LCP 材料具有热塑性, 不需要使用其他粘合剂层

在手机中的毫米波芯片当中, LCP 天线必须外置, 而由于高频传输的高衰减特性的特点, 毫米波天线更有可能采用 AIP 的封装方式坐在芯片内部。但是由于 5G 手机高传输速率和 sub-6G 频率的提升, 相信手机厂商更多的会采用 LCP FPC 做排线和较低频天线。而在其他便携式设备甚至小型化基站中, 毫米波天线可以使用 LCP FPC 材料制造。根据 Appleinsider 报道, 2019 年 iPhone 可能会采用 4 个 MPI 天线加 2 个 LCP 天线的组合。MPI 是一种改进型的 PI 材料, 转向 MPI 材料的原因是因为苹果目前在 MPI 材料上的议价能力更有优势, 供应商可以达到 5 家, 目前 LCP 材料供应商只有 2 家。随着 MPI 材料可靠性和良率的提高, MPI 可能会更大程度上替代 LCP。在向 5G 过渡的阶段, MPI 材料可以发挥一定的作用, 但是到了毫米波真正投入使用的时候, LCP 仍然有不可替代的高频性能方面的优势,

5G sub-6G 的天线长度和 4G 差别不大。但是为了达到更高的速度要求, 5G 会使用更多根天线, 即 MIMO 技术, 例如 8×8MIMO 就是有 8 个发射端天线, 8 根手机端天线。这样看来, 5G 低频造成的影响主要是天线数量的增加。多个天线之间的形状重新排布会对手机后盖和走线提出新的要求以达到更好的效率。



2.4 毫米波天线的设计考虑

毫米波之所以成为毫米波，是因为几十 GHz 的频率导致其波长已经缩减到了毫米级。波长的大幅度减小带来的问题是电磁波绕射能力变差，衰减变得异常明显。因此为了改善衰减，提高传输速度，5G 技术中将会采用 MIMO 多天线技术、beamforming 波束赋形、以及空间分级复用等技术。

关于高 GHz 频率，也就是毫米波的设计难点主要在于传播损耗，相比于 sub-6GHz 尤其严重。传播损耗通常用 dB 作为单位，数值越大损耗越严重。宏蜂窝是覆盖范围较远的基站，微蜂窝是覆盖范围较近的基站。视距 (Line-Of-Sight) 表征从发射源到接收可以直线传播的场景，非视线 (NLOS) 表征两者之间存在影响直线传播的障碍物。如图表所示，非视线 (NLOS) 的路径损耗远大于视距 (LOS)。城市宏蜂窝 (UMa) LOS 场景的具有与城市微蜂窝 (UMi) LOS 场景类似的路径损耗。

对于所有场景，28 GHz 和 39 GHz 的路径损耗比 LTE Band 41 至少大 20 dB。为了应对如此大的路径损耗，FCC 标准允许基站 (BS) 进行高传输功率 (75 dBm 每 100 MHz)。除了路径损耗和大气或雨衰损失外，建筑物的穿透损耗还取决于不同的材料，特别是对于混凝土墙壁，穿透损耗随着频率的增加而显著增加。对于 28GHz，它可以高达 117dB。鉴于这些挑战，基站和 UE 端都必须进行波束赋形。

图表 43. 毫米波在不同场景中路径损耗比较

频率/距离	常见场景中的路径损耗 (dB)					
	UMa-LOS	UMa-NLOS	UMi-Street Canyon-LOS	UMi-Street Canyon-NLOS	UMi-Street Open-LOS	UMi-Street Open-NLOS
LTE Band 41						
2.6 GHz, d=100m	84.8	107.5	83.4	112.7	81.9	105.6
28 GHz, d=100m	105.5	128.2	104.1	133.4	102.6	126.3
39 GHz, d=100m	108.4	131.1	107	136.3	105.5	129.2
39 GHz, d=100m 雨水和氧气损耗 ¹	109.4	132.1	108	137.3	106.5	139.2
LTE Band 41						
2.6 GHz, d=1 km	104.9	137.5	103.2	144.6	100.4	134.5
28 GHz, d=1 km	125.5	158.2	123.9	165.3	121.1	155.2
39 GHz, d=1 km	128.4	161.1	126.8	168.2	124	158.1
39 GHz, d=1 km 雨水和氧气损耗 ¹	136.5	169.2	134.9	176.3	132.1	166.2

¹雨水模型为 25mm/h

注释: Street Canyon 是一种更复杂的城市场景，意思是两侧各有建筑营造出类似峡谷般的环境场景；Open street 表示两侧没有建筑的街道

资料来源: IEEE Access, 中银国际证券

可以看出，在所有测试环境中，可以看出 28GHz 和 39GHz 相比 LTE Band 41，路径损耗至少多出 20 dB，在用户端做毫米波的波束赋形比基站上的难度要大得多。IEEE Access 论文中同时提到，多天线对信号波束的实时监测和调整可能会使得手机一直处于高能耗状态，因此高能量效率和电池寿命都手机设计的限制因素。相应的，对于天线来说，也就是 MIMO 天线，从设计上会分裂成多个天线，多天线之间存在隔离度问题。MIMO 天线不再是传统的一根导线分频段取信号模式，在手机狭小的空间中，连续成片设计天线区域有限，后盖应该是最佳的布设天线的区域。而波束赋形是针对信号来源方向对天线的方向性进行调整的一种技术，因此需要对每个天线进行单独的实时控制，这在技术上需要射频前端电路配合。

图表 44. 5G 手机中的多用户 MIMO 技术

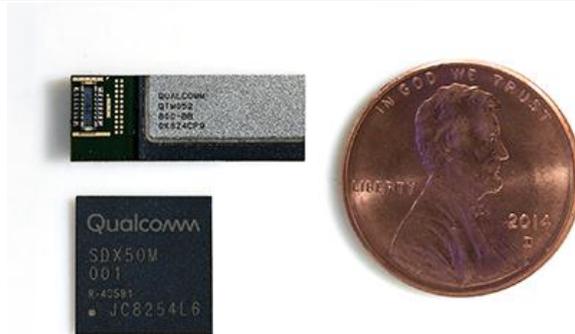


资料来源：2015 23rd Telecommunications Forum Telfor (TELFOR)，中银国际证券

高频带来的衰减问题，从空间传播上可以用 MIMO 多天线和波束赋形来解决，但是在手机内部为了保证信号的完整性，也需要射频前端 RFFE 尽可能靠近毫米波天线。而毫米波天线的小尺寸，给天线和 RFFE 共同封装提供了可能。

例如 2018 年 7 月 23 日，高通宣布推出全球首款面向智能手机和其他移动终端的全集成 5G 新空口毫米波及 sub-6GHz 下射频模组：Qualcomm QTM052 毫米波天线模组系列、Qualcomm QPM56xx sub-6GHz 射频模组系列。Qualcomm QTM052 将无线电收发器，电源管理 IC，RF 前端组件和相控天线阵列集成在一起。

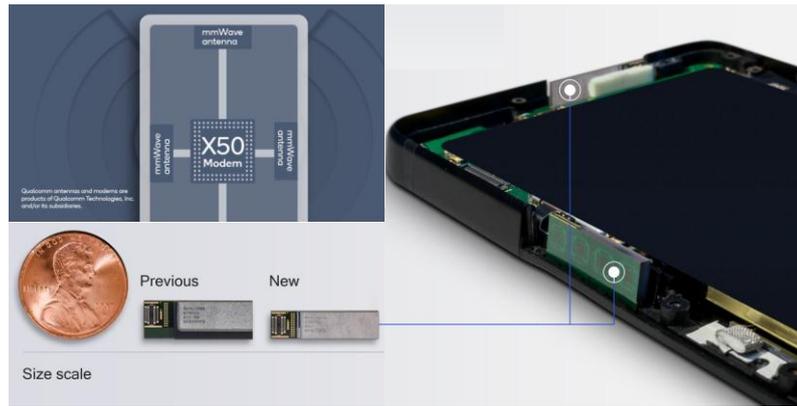
图表 45. 高通 QTM052 天线模组



资料来源：高通官网，中银国际证券

2018 年 10 月最新发布的 QTM052 模组尺寸进一步减小 25%，并且满足 5G NR 智能手机的使用，为手机 UE 设计提供了更多可能。QTM052 是配合高通骁龙 X50 5G 平台使用的天线模组，里面包含了超小尺寸的相控天线阵列，适用于手机需要四组模组。该天线模组支持波束赋形、控制和跟踪，大大改善了毫米波信号的传输范围和可靠性。QTM052 模组支持 26.5-29.5 GHz (n257)，以及整个 27.5-28.35 GHz (n261) 和 37-40 GHz (n260) mmWave 频段的高达 800 MHz 带宽。QTM052 模组在非常紧凑的面积中集成了所有这些功能，最多可以将四个模组集成到智能手机中以支持 MIMO。

图表 46. 高通 QTM052 天线模组在手机中的集成



资料来源: Qorvo, 中银国际证券

2019 年 2 月 9 日, 高通发布了骁龙 X55 的最新 5G 平台的同时, 还发布了最新的射频前端解决方案 QTM525 5G 毫米波天线模组。在原有的毫米波天线模组的基础上减小了高度, 8mm 的高度可以用在纤薄外形的 5G 手机中。QTM525 增加的频段可以支持全球毫米波频段, 包括 n258(24.25 – 27.5 GHz)、n257 (26.5 – 29.5 GHz), n260 (37 – 40 GHz) 和 n261 (27.5 – 28.35 GHz)。

图表 47. 高通 QTM052 天线模组在手机中的集成



资料来源: 高通官网, 中银国际证券

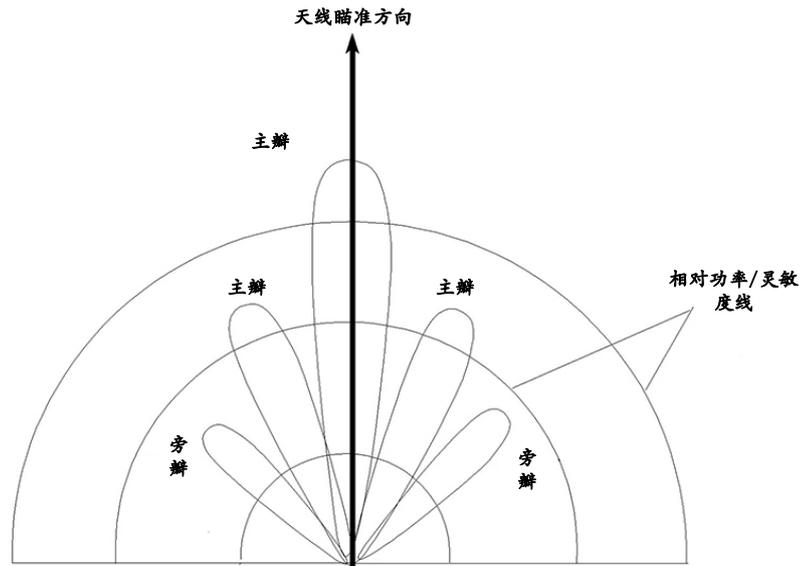
从手机 UE 设计的角度看, 在手机天线设计的起始阶段, 就要注意寻找合适的位置来配合合适的频段。在手机中, 最适合 5G 天线的位置是两端, 尤其是上端部。然而天线的数量及种类增加, 会导致传统的布设天线两端空间拥挤, 天线效率下降, 部分天线需要移位至其它地方。这就对手机结构和材质、设计等带来了新的挑战。

天线如何摆放以配合 UE 的设计

毫米波通信的商用化给 5G UE 设计带来了挑战是多方面的, 首先是 RF 带宽使得数据速率大幅提高, 其次是毫米波通信会大大减小天线的尺寸, 在原有 UE 设计的基础上还要辅助波束赋型和空间复用技术。

对于针对波束赋形的天线阵列设计，天线单元之间的距离是设计的关键，因为 MIMO 要求天线之间的距离至少为半个波长来避免旁瓣辐射，旁瓣辐射会引起增益和辐射效率的降低。在解释旁瓣辐射之前，我们首先了解一下什么是天线方向图。天线方向图是指辐射场的相对场强（归一化模值）随方向和距离而变化的图形，通常采用通过天线最大辐射方向上的两个相互垂直的平面方向图来表示。天线在方向图上一般呈花瓣状，故方向图又称为波瓣图。最大辐射方向所在的瓣称为主瓣，主瓣宽度表示能量辐射集中的程度。其余的瓣称为旁瓣或侧瓣，旁瓣的大小表示有部分能量分散辐射到这些方向上去，在天线设计中希望它越小越好。

图表 48. 天线方向图示意图

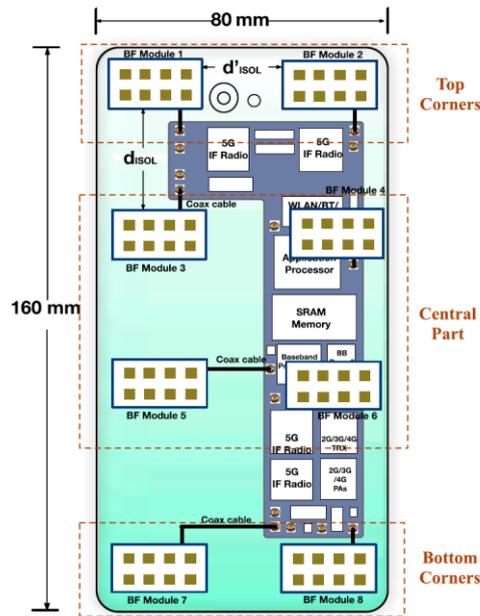


资料来源：高通官网，中银国际证券

天线之间的隔离同时也是为了保证空间增益，相邻的天线单元之间的距离取决于具体的天线设计和使用方式，以均匀方阵天线为例，相邻的天线要保证 1.5 个波长。因此 UE 端的手机系统设计既要多场景下的考虑波束赋形也要考虑空间复用。

如图所以给出了针对 5G 手机提出的一种分布式相位阵列 MIMO 结构的手机设计方案，其中有 8 个相控阵列单元形成波束赋形模组，内嵌在手机壳背面下方。

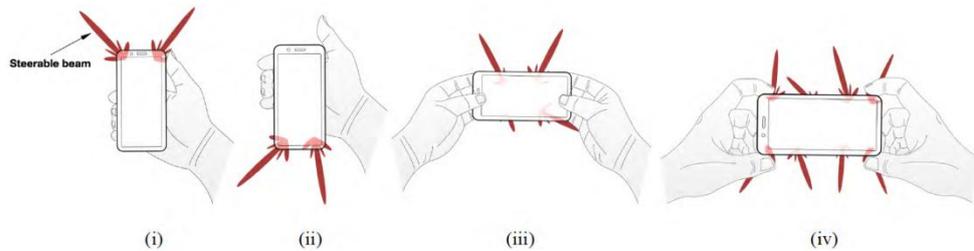
图表 49. 5G 手机背部的 MIMO 结构示意图



资料来源: IEEE Access, 中银国际证券

8 个天线将会配合不同的用户使用场景进行工作。针对不同的应用场景, 会有不同的来自人体对电磁波的阻挡方式。这种电磁波阻碍在低频下可能显得并不严重, 但是在高频毫米波工作方式下, 信号的衰减尤其严重。因此针对不同的场景, 手机中的天线将会配合工作, 有针对性的发射和接受信号, 这一方面可以降低手机功耗, 还可以更大程度上保证信号的稳定性。

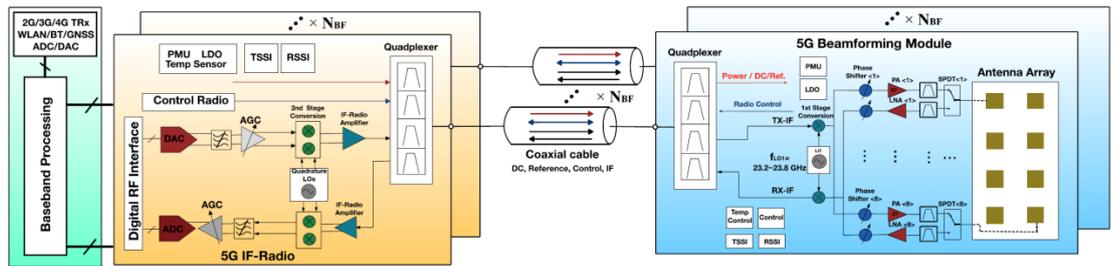
图表 50. 常见的手机手持模式



资料来源: IEEE Access, 中银国际证券

下图给出的是一种针对毫米波的射频前端解决方案。可以看出, 从系统上讲, 与天线配合工作的射频前端芯片需要针对每个天线单独控制, 因此不仅是 MIMO 天线数量的会直接增长, 射频前端电路的需求量和天线是同步的。

图表 51. 5G UE 无线系统原理结构图

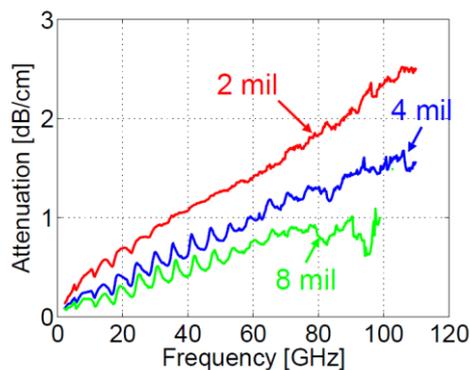


资料来源: IEEE Access, 中银国际证券

2.5 毫米波天线封装带来机会

根据前面提到的, 5G 的低频波段对天线的形式不会产生本质影响。因为当频率高至毫米波时, 信号在空气中的衰减会变得非常严重, 而在半导体材料中也是遵循这个定律。例如在 40GHz 频率时, 基底厚度为 2 mil 的 LCP 材料中衰减高于 1dB/cm, 远高于在低频下的衰减。因此对于毫米波天线来说, 需要到射频前端电路尽可能近距离以减小衰减和实现实时的波束跟踪和控制。因此小型化的毫米波天线将会很可能采用 AiP (Antenna in Package) 封装天线技术跟其他零件共同整合在同一个封装中。

图表 52. 背面金属支撑共波导面 (CB-CPW) 传输线衰减图



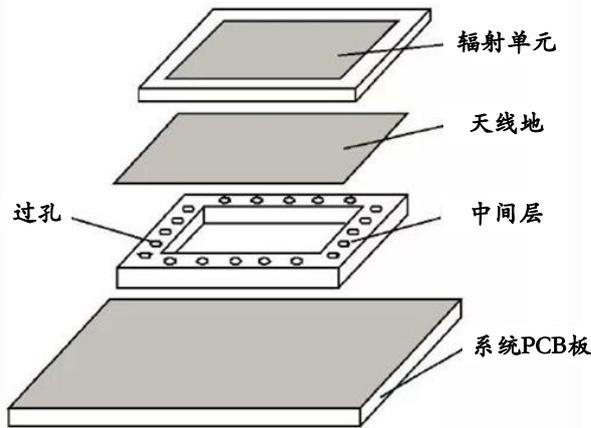
说明: 基底(substrate)厚度为 2~8 mil 的 LCP

资料来源: Georgia Institute of Technology, 中银国际证券

封装天线是指将天线与单片射频收发机集成在一起从而成为一个标准的表面贴器件。传统方法的技术方法是将芯片级天线与 RF 收发机一起安装在 PCB 电路板上, 但是天线占据的空间阻碍了系统的小型化。为了克服芯片级天线和配合毫米波通信, AiP 封装技术得以实现。AiP 的制造是在 SiP (system in package) 的基础上, 用 IC 载板来进行多芯片 SiP 系统级封装, 同时还需要用到 Fan-Out 扇出型封装技术来整合多芯片, 使封装结构更紧凑。需要将天线、射频前端和收发器整合成单一系统级封装。

封装天线的结构自上而下依次为: 天线、中介介质层(内部有空腔)、系统 PCB。一般 IC 芯片封装天线将天线集成在芯片上表面, 中间层即天线的下方有一个内部空腔, 用来放置其他 RF 模块。为了减少天线与腔体内 RF 模块的耦合, 在两层之间加入了一个额外的金属层, 可以把它看作天线的地平面, 它通过四周均匀分布的金属过孔与整个 RF 系统地平面连接。

图表 53. AiP 封装结构天线结构示意图

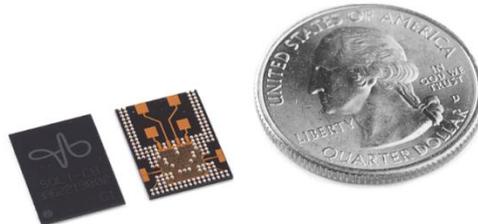


资料来源：微波射频网，中银国际证券

AiP 将天线集成到芯片中，其优点在于可以简化系统设计，有利于小型化、低成本。以 60GHz 为例，片上天线单元仅为 1-2mm（考虑到封装具有一定的介电常数），因此芯片封装不但可以放得下一个单元，而是可以放得下小型的收发阵列。

2016 年 Google 推出的 Project Soli 就是这样的一个片上系统（如下图，四个方片状的金属片就是 AiP）。这款芯片由 Google 和英飞凌共同开发，是端到端 60GHz 毫米波雷达传感系统，专门用于跟踪和识别精细手势。

图表 54. Google 推出的 Project Soli 芯片



资料来源：谷歌，中银国际证券

该系统的雷达传感器采用英飞凌的 eWLB 封装 500 μ m 引脚，下图是其研发团队发表在电路期刊 IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS 中披露的封装底部和顶部照片，收发机位于芯片中间位置，其中接收机通道连接 4 个 Rx 贴片天线，采用 2x2 配置的方式。发射机通道连接两个差分贴片天线，分别位于两侧。天线全部位于 eWLB 的重新分配层。

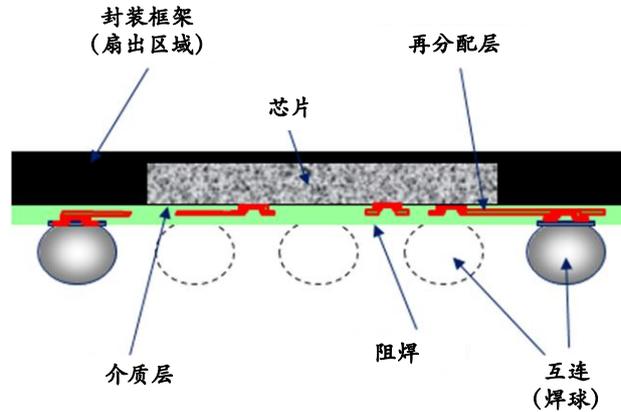
图表 55. Project Soli 芯片 eWLB 封装以及电磁仿真设置



资料来源: IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, 中银国际证券

eWLB 是一种扇外型 (fan-out) 晶圆级封装 (WLP) 技术, 由德国的 Infineon 在 2007 年首次提出。

图表 56. Ewlb 封装示意图



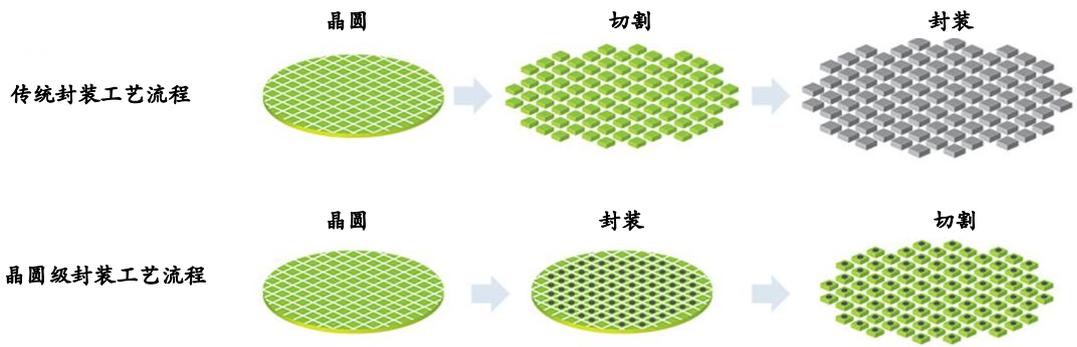
资料来源: 维基百科, 中银国际证券

Fan-out 封装

除了用载板进行多芯片系统级封装外, 扇外型封装 (Fan-out) 因可整合多芯片、且性能比以载板为基础的 SiP (system-in packaging) 要好, 也备受市场期待。

传统的芯片封装通常首先把晶圆切割成单个的裸芯片后再进行封装, 封装后的尺寸大于裸芯片尺寸。与之不同的是晶圆级封装 Wafer Level Packaging (WLP), 标准 WLP 流程在晶圆切割前先进行封装, 然后再切割成单独的芯片。

图表 57. 传统封装工艺流程与 WLP 封装工艺比较

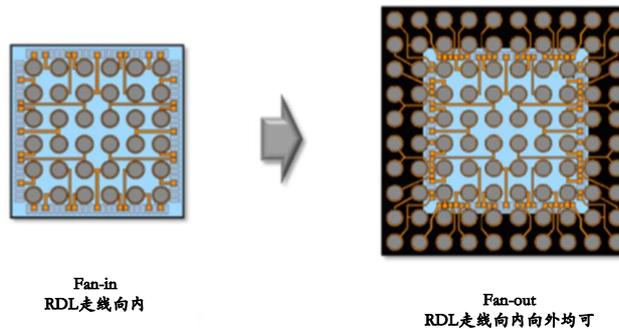


资料来源：谷歌，中银国际证券

WLP 封装主要由两种形式，芯片级 (chip-scale-packages, CSP) 封装和扇外型 (Fan-out) 封装。其中 CSP 也叫做扇入 (Fan-in) 型。扇入扇外型封装的区别在于如何同重构层(RDLs)连接。RDLs 实际上铜材质的接线，用来实现封装级不同部分之间的连接。RDLs 的参数是线宽和线距，用来指代的宽度和接线间的距离，低密度的扇出封装线宽/线距大于 $8\mu\text{m}$ 。这种 WLP 封装的尺寸和裸芯片的尺寸大小一样。但是小尺寸也有以一定的缺陷，就是芯片的引脚很难再做的非常多，如果半导体器件非常复杂需要大量的引脚时，这会成为一个明显短板。扇入型中所有 RDL 引脚线是向内排布的，因此扇入型的晶圆级封装的上限是 200 个 I/O 和 0.6mm 型材。

扇出 Fan-out 型晶圆级封装(FOWLP)技术则可成功避免这个缺点，它在不增加封装尺寸的前提下具有更多数量的引脚数。与标准 WLP 工艺流程相比，FOWLP 中首先切割晶圆，然后将裸芯片非常精确地重新定位在载体晶圆或面板上。其 RDL 布线既可以向内也可以向外，因此可以做更多的引脚数量。

图表 58. 扇入扇外型 WLP 封装中的 RDL 走线对比



资料来源：ASE，中银国际证券

扇出 Fan-out 型晶圆级封装(FOWLP)技术又可以分为低密度和高密度型两种，例如 Amkor, ASE, STATS ChipPAC 是传统的低密度 Fan-out 封装公司。根于封装巨头日月光公司给出的定义，低密度扇外型封装通常指的是 I/O 数量小于 500 个且线宽线距大于 $8\mu\text{m}$ 。而 I/O 数量大于 500 个且线宽线距小于 $8\mu\text{m}$ 的高密度扇出封装针对中高端的应用，例如苹果的 iPhone X 就使用了 TSMC 的高密度扇外型封装。低端市场中低密度扇外型封装也具有很高的市场价值，例如电源管理 IC、雷达模组和 RF 模组都会使用这种封装形式。下面给了主流的 FO-WLP 封装厂商：

图表 59. FO-WLP 封装厂商

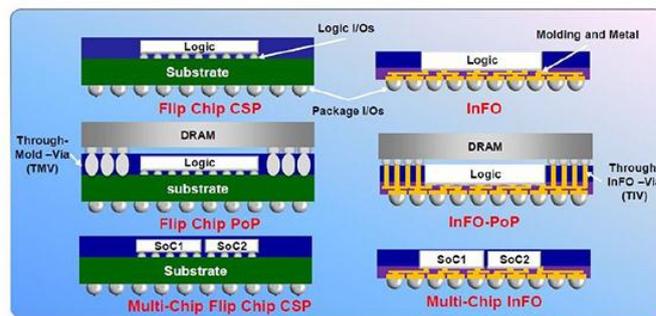
Company	Package
ASE	eWLB
Amkor Technology (including NANIUM)	eWLB SWIFT
Deca Technologies	M-Series
Huatian Technology	eSiFO
Infineon	eWLB
JCAP	ECP
Nepes (developed originally by Freescale)	RCP
SPIL	TPI-FO
STATS ChipPAC	eWLB
TSMC	InFO-WLP

资料来源: TechSearch, 中银国际证券

从长远来看扇出 Fan-out 型技术的成本会降低, 可靠性提高, 用户增加, 所以在芯片市场中 Fan-out 技术长远看有投资机会。最原始的扇出技术 eWLB(嵌入式晶圆级球栅阵列)在长时间缺货后供应量有所增加。台湾的日月光和进联工业正在筹备新的低密度扇出封装线。中国的专业封测代工厂也在向扇出型封装瞄准机会, 一些封装厂商也在筹备面板级扇出封装用来降低成本。根据 Yole 的估计, 扇出型封装的市场价值将会从 2014 年的 2.44 亿美元增长到 2021 年的 25 亿美元, 而其中低密度扇出封装市场价值会从 2017 年的 3.5 亿美元增长到 2022 年的 9.5 亿美元。

相比倒装芯片球栅阵列 (FC-BGA) 封装, 扇出封装的优势非常明显。对于无源器件如电感、电容等, InFO 技术在塑封成型时衬底损耗更低, 外形尺寸更小, 因此散热更好。在扇出型制造高性能的无源器件如电感和电容, 与直接封装在衬底的片式 (on-chip) 电感器相比, 厚铜线路的寄生电阻更小, 衬底与塑封料间的电容更小, 衬底损耗更少。因此对于射频电路来说, 扇出封装具有很大优势, 尤其是对于高频毫米波来说, 无源器件电感电容性能受制于衬底性能, 所以 5G 高频时代 AiP 和扇出封装一定会是热门议题。产业链上, 台积电是主流的晶圆代工和封测厂商, 大陆的封装厂商也有在积极布局, 中国台湾的日月光、力成也是重要的封测厂商。

图表 60. InFO 封装原理图



资料来源: iMAPS DPC 2012, 中银国际证券

2.6 5G 天线带来的其他问题

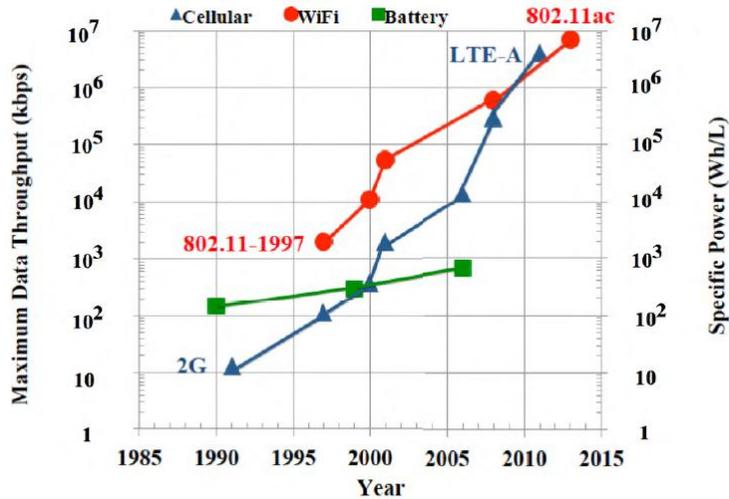
5G 手机里的无线天线设计相比于以往难度更大, 原因是天线设计不仅需要满足无线技术本身的要求, 还要与摄像头、声音喇叭、电池、显示屏、指纹识别芯片、振子、陀螺仪以及无线充电系统兼容。

www.767stock.com

电池性能

电池性能一直是手机设计的一个重大瓶颈。WIFI 和蜂窝网络的传输速度以每五年近乎十倍的速度在增长。然而手机中的电池在过去 20 年经历了三个主要的技术转变，nickel-cadmium (NiCd) 电池、nickel-metal hydride (NiMH) 电池以及目前主流的 lithium-ion (Li-ion) 电池。从 1995 年到 2014 年，无线容量增长了大约 10 万倍，但是电池电量的进步速度只有四到五倍。显然，这种技术断档是制约目前便携式设备进步和提高用户体验的一个关键瓶颈。因此手机 UE 设计需要考虑的一个重要方面是能量效率。

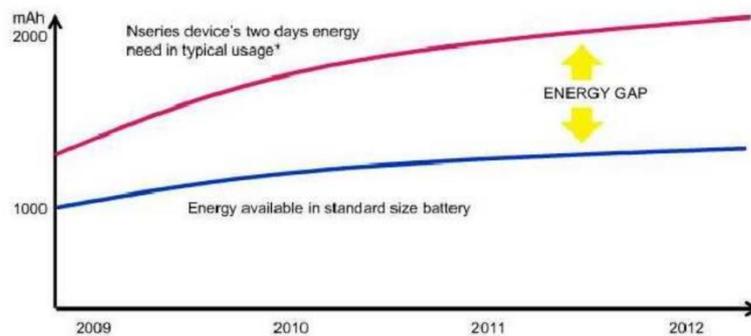
图表 61. 电池性能和无线容量发展对比



资料来源：IEEE Access，中银国际证券

在 5G 中设备中，MIMO 技术和波束赋形都会带来能量消耗的进一步提高。除了天线的实时控制，还有多通路射频前端同时工作带来的能耗问题。5G 模式下的手机具有更高的数据传输速度，将会支持更多应用场景，例如 3D/高清视频、云办公、云游戏以及 AR/VR 等，再加上配合社交网络的升级。这些应用都需要随时接入网络。应用带宽的提高，以及手机应用后台的实时运行，都会增加对设备电量的要求。电池的滞后发展问题一直存在，手机对电量的需求和电池可提供电量之间一直存在供需缺口。这个问题会在后 4G 和 5G 时代变得更加突出。

图表 62. 电池性能和手机所需电量发展对比



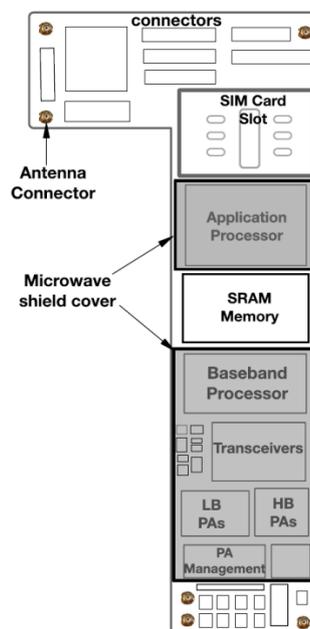
资料来源：诺基亚官网，中银国际证券

从硬件角度看，无线系统性能依赖于 SoC、PCB、机械设计和天线设计。SoC 应该具备高能量效率、面积小、低成本和高良率的特点。目前的 SoC 设计受到限制的原因是进入纳米级制程后摩尔定律速度放缓。因此，能量效率的提高变得并不显著会继续为制约 5G 手机的设计。目前看来，新材料制程，如基于传统硅的三五族化合物，基于 SOI 的 CMOS 工艺，FinFET、SiGe 以及 InP 可能会在 5G SoC 设计中贡献力量。

PCB 设计

5G 手机的多层板设计也需要更加紧凑，并且需要集成进入更多的 SoC 芯片组来增加各种应用、配合新标准和技术。如下图所示，手机主板中具有蜂窝网络/wifi 射频收发机，天线开关模组、功率放大器、基带调制芯片、NFC、蓝牙、GNSS、应用处理器 AP、PA 控制单元、SRAM、电源管理单元等。这些高度定制化的芯片来自不同的供应商，用不同的工艺制造完成。与 IC 设计类似的是，PCB 设计的趋势也是不断向更小的尺寸发展，同时要求高速和高可靠性，更多的芯片需要被设计在一个单独的主逻辑板上，这样的好处是减小插入损耗和容易做匹配。此前提到的 FPC LCP 是一个不错的选择。

图表 63. 智能手机中的主逻辑板(MLB)



资料来源：IEEE Access，中银国际证券

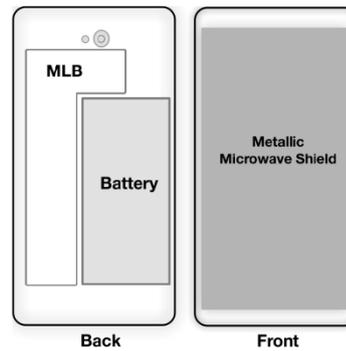
手机后盖

天线在装配在手机壳当中后，还要求天线具有高效率 and 低 SAR 比吸收率。因此，手机中的天线设计是应该考虑到金属外壳、手机壳等的复合设计。手机外壳会对天线性能产生重大影响。窄边框和金属壳是目前手机的主流趋势，因为具有保护性能好、美观、可携带以及散热方面的优势。毫米波天线由于本身尺寸很小在空间排不上难度不大，但是手机金属壳会严重影响天线性能。

金属微波屏蔽罩

在信号传输时要考虑信号的完整性，例如时钟信号及其谐波信号可能会经过复杂的路径和调制最终在接收机一侧形成毛刺。因此，微波屏蔽层 microwave shield cover 通常用在主逻辑电路板 MLB 中来提高电磁兼容都和电磁界面特性。天线通过屏幕透过的辐射量应该最小，而应该在打电话时向头部的反方向传播最多的能量，然而这个屏蔽罩会增加手机的厚度。相机、喇叭、指纹识别、电池和 MLB 都应该配合电磁场的分布和影响来设计。

图表 64. 智能手机中的上层和下层排布

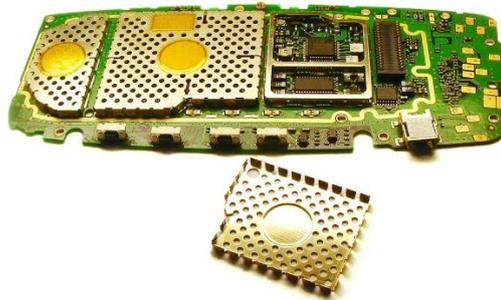


资料来源: IEEE Access, 中银国际证券

在整个 5G 手机系统设计的方面一个更严峻的问题是部件之间的连接和隔离。例如显示屏面板可以导致 RF 敏感度下降, 因此金属微波屏蔽罩需要放在显示单元和硬件之间, 可以减少显示器辐射。手机内部的显示器、高压包和电路板等元器件在工作时发出高强度的电磁辐射, 屏蔽罩可以起到屏蔽的作用, 将部分的电磁波拦在罩内, 从而保护使用者受电磁辐射的危害, 同时避免对周围其它电器的干扰、在一定程度上还确保了元器件免受灰尘, 延长显示器使用寿命。

它的材料也是有区别的, 例如锌锡镍合金的手机屏蔽罩。锌锡镍合金材料为日本研发的绿色环保材料, 主要取代洋白铜做手机屏蔽罩, 也常用于生产天线, 调谐器盒, 电视内部零件, 音响内装散热板等。

图表 65. 手机中的金属屏蔽罩



资料来源: 维基百科, 中银国际证券



3 与本文研究相关的 A 股产业链公司梳理

- 立讯精密：公司拥有射频模块、互联、光电三大产品线，主打产品将伴随 5G 浪潮量价齐升。苹果核心供应商，国内稀缺精密制造平台公司。公司产品线从单一的连接器拓展到声学、马达、无线充电、Airpods 等业务，以优良的管理能力横向品类扩张。1) 声学部分：美律生产进入快车道。2) AirPods：作为 AirPods 重要供应商，受益渗透率提升。3) 线性马达：良率提升快，响应客户能力极强。4) 无线充电：已实现对无线充电的全系统测试，竞争优势显著。5) LCP 天线：未来将会把其他模组功能整合。公司已成为具备研发、管理综合能力的精密制造平台。
- 信维通信：公司以射频产品为核心，产品获得主流客户应用。公司天线产品线切入平板以及笔记本等产品线，获得大客户使用。同时无线充电接收端模组已实现全球一流移动终端厂商覆盖。5G 时代即将到来，2018 年下半年高通发布了 5G 调制解调器以及相关 5G 终端解决方案。5G 射频难度更高更复杂，并且价值量更大，公司加强天线等产品线研发投入，并且与芯片厂商合作推出 5G 毫米波解决方案，同时与国内基站厂商合作研发，做好相关 5G 产品储备。
- FPC 部分：A 股上市公司鹏鼎控股，是 FPC 龙头企业，A 客户是公司第一大客户，受益于智能机对 FPC 需求提升；其他 FPC 上市公司还有景旺电子、弘信电子等。FPC 作为天线重要一部分，有望受益。
- 电池部分：国内手机电池模组龙头公司主要有欣旺达、德赛电池等，是 A 客户的重要供应商之一。如正文所言，电池性能一直是手机设计的一个重大瓶颈。5G 时代的到来，瓶颈也即挑战与机遇。



风险提示

- 智能终端需求不及预期的风险
随着宏观形势变化以及手机智能终端创新增速减缓，加上智能手机饱和度较高，2019 年智能手机增速可能不及预期。
- 5G 建设不及进展预期风险
5G 尚未处于建设期，未开始商业化使用，未来存在建设进展不及预期可能性。
- 技术路线改变风险
5G 终端尚未开始商业化使用，研发出在初级阶段，存在技术更迭可能性。



附录图表 66. 报告中提及上市公司估值表

公司代码	公司简称	评级	股价 (元)	市值 (亿元)	每股收益(元/股)		市盈率(x)	
					2017A	2018E	2017A	2018E
002475.SZ	立讯精密	买入	21.20	872	0.41	0.62	49.8	33.1
300136.SZ	信维通信	买入	29.86	291	0.91	1.28	32.8	23.3
002938.SZ	鹏鼎控股	未有评级	25.75	595	0.93	1.30	27.7	19.8
603228.SH	景旺电子	未有评级	67.50	277	1.62	2.05	33.25	32.99
300657.SZ	弘信电子	未有评级	41.30	42.9	0.69	1.09	68.60	38.01
300207.SZ	欣旺达	未有评级	11.89	184	0.42	0.51	23.19	23.28
000049.SZ	德赛电池	未有评级	34.46	70.7	1.46	1.95	27.04	17.71

资料来源：万得，中银国际证券

注：股价截止日 2019 年 2 月 25 日，未有评级公司盈利预测来自万得一致预期

披露声明

本报告准确表述了证券分析师的个人观点。该证券分析师声明，本人未在公司内、外部机构兼任有损本人独立性与客观性的其他职务，没有担任本报告评论的上市公司的董事、监事或高级管理人员；也不拥有与该上市公司有关的任何财务权益；本报告评论的上市公司或其它第三方都没有或没有承诺向本人提供与本报告有关的任何补偿或其它利益。

中银国际证券股份有限公司同时声明，将通过公司网站披露本公司授权公众媒体及其他机构刊载或者转发证券研究报告有关情况。如有投资者于未经授权的公众媒体看到或从其他机构获得本研究报告的，请慎重使用所获得的研究报告，以防止被误导，中银国际证券股份有限公司不对其报告理解和使用承担任何责任。

评级体系说明

以报告发布日后公司股价/行业指数涨跌幅相对同期相关市场指数的涨跌幅的表现为基准：

公司投资评级：

- 买入：预计该公司在未来 6 个月内超越基准指数 20%以上；
- 增持：预计该公司在未来 6 个月内超越基准指数 10%-20%；
- 中性：预计该公司股价在未来 6 个月内相对基准指数变动幅度在-10%-10%之间；
- 减持：预计该公司股价在未来 6 个月内相对基准指数跌幅在 10%以上；
- 未有评级：因无法获取必要的资料或者其他原因，未能给出明确的投资评级。

行业投资评级：

- 强于大市：预计该行业指数在未来 6 个月内表现强于基准指数；
- 中性：预计该行业指数在未来 6 个月内表现基本与基准指数持平；
- 弱于大市：预计该行业指数在未来 6 个月内表现弱于基准指数。
- 未有评级：因无法获取必要的资料或者其他原因，未能给出明确的投资评级。

沪深市场基准指数为沪深 300 指数；新三板市场基准指数为三板成指或三板做市指数；香港市场基准指数为恒生指数或恒生中国企业指数；美股市场基准指数为纳斯达克综合指数或标普 500 指数。

风险提示及免责声明

本报告由中银国际证券股份有限公司证券分析师撰写并向特定客户发布。

本报告发布的特定客户包括：1) 基金、保险、QFII、QDII 等能够充分理解证券研究报告，具备专业信息处理能力的中银国际证券股份有限公司的机构客户；2) 中银国际证券股份有限公司的证券投资顾问服务团队，其可参考使用本报告。中银国际证券股份有限公司的证券投资顾问服务团队可能以本报告为基础，整合形成证券投资顾问服务建议或产品，提供给接受其证券投资顾问服务的客户。

中银国际证券股份有限公司不以任何方式或渠道向除上述特定客户外的公司个人客户提供本报告。中银国际证券股份有限公司的个人客户从任何外部渠道获得本报告的，亦不应直接依据所获得的研究报告作出投资决策；需充分咨询证券投资顾问意见，独立作出投资决策。中银国际证券股份有限公司不承担由此产生的任何责任及损失等。

本报告内含保密信息，仅供收件人使用。阁下作为收件人，不得出于任何目的直接或间接复制、派发或转发此报告全部或部分内容予任何其他人士，或将此报告全部或部分内容发表。如发现本研究报告被私自刊载或转发的，中银国际证券股份有限公司将及时采取维权措施，追究有关媒体或者机构的责任。所有本报告内使用的商标、服务标记及标记均为中银国际证券股份有限公司或其附属及关联公司（统称“中银国际集团”）的商标、服务标记、注册商标或注册服务标记。

本报告及其所载的任何信息、材料或内容只提供给阁下作参考之用，并未考虑到任何特别的投资目的、财务状况或特殊需要，不能成为或被视为出售或购买或认购证券或其它金融票据的要约或邀请，亦不构成任何合约或承诺的基础。中银国际证券股份有限公司不能确保本报告中提及的投资产品适合任何特定投资者。本报告的内容不构成对任何人的投资建议，阁下不会因为收到本报告而成为中银国际集团的客户。阁下收到或阅读本报告须在承诺购买任何报告中所指之投资产品之前，就该投资产品的适合性，包括阁下的特殊投资目的、财务状况及其特别需要寻求阁下相关投资顾问的意见。

尽管本报告所载资料的来源及观点都是中银国际证券股份有限公司及其证券分析师从相信可靠的来源取得或达到，但撰写本报告的证券分析师或中银国际集团的任何成员及其董事、高管、员工或其他任何个人（包括其关联方）都不能保证它们的准确性或完整性。除非法律或规则规定必须承担的责任外，中银国际集团任何成员不对使用本报告的材料而引致的损失负任何责任。本报告对其中所包含的或讨论的信息或意见的准确性、完整性或公平性不作任何明示或暗示的声明或保证。阁下不应单纯依靠本报告而取代个人的独立判断。本报告仅反映证券分析师在撰写本报告时的设想、见解及分析方法。中银国际集团成员可发布其它与本报告所载资料不一致及有不同结论的报告，亦有可能采取与本报告观点不同的投资策略。为免生疑问，本报告所载的观点并不代表中银国际集团成员的立场。

本报告可能附载其它网站的地址或超级链接。对于本报告可能涉及到中银国际集团本身网站以外的资料，中银国际集团未有参阅有关网站，也不对它们的内容负责。提供这些地址或超级链接（包括连接到中银国际集团网站的地址及超级链接）的目的，纯粹为了阁下的方便及参考，连结网站的内容不构成本报告的任何部份。阁下须承担浏览这些网站的风险。

本报告所载的资料、意见及推测仅基于现状，不构成任何保证，可随时更改，毋须提前通知。本报告不构成投资、法律、会计或税务建议或保证任何投资或策略适用于阁下个别情况。本报告不能作为阁下私人投资的建议。

过往的表现不能被视作将来表现的指示或保证，也不能代表或对将来表现做出任何明示或暗示的保障。本报告所载的资料、意见及预测只是反映证券分析师在本报告所载日期的判断，可随时更改。本报告中涉及证券或金融工具的价格、价值及收入可能出现上升或下跌。

部分投资可能不会轻易变现，可能在出售或变现投资时存在难度。同样，阁下获得有关投资的价值或风险的可靠信息也存在困难。本报告中包含或涉及的投资及服务可能未必适合阁下。如上所述，阁下须在做出任何投资决策之前，包括买卖本报告涉及的任何证券，寻求阁下相关投资顾问的意见。

中银国际证券股份有限公司及其附属及关联公司版权所有。保留一切权利。

中银国际证券股份有限公司

中国上海浦东
银城中路 200 号
中银大厦 39 楼
邮编 200121
电话: (8621) 6860 4866
传真: (8621) 5888 3554

相关关联机构:

中银国际研究有限公司

香港花园道一号
中银大厦二十楼
电话: (852) 3988 6333
致电香港免费电话:
中国网通 10 省市客户请拨打: 10800 8521065
中国电信 21 省市客户请拨打: 10800 1521065
新加坡客户请拨打: 800 852 3392
传真: (852) 2147 9513

中银国际证券有限公司

香港花园道一号
中银大厦二十楼
电话: (852) 3988 6333
传真: (852) 2147 9513

中银国际控股有限公司北京代表处

中国北京市西城区
西单北大街 110 号 8 层
邮编: 100032
电话: (8610) 8326 2000
传真: (8610) 8326 2291

中银国际(英国)有限公司

2/F, 1 Lothbury
London EC2R 7DB
United Kingdom
电话: (4420) 3651 8888
传真: (4420) 3651 8877

中银国际(美国)有限公司

美国纽约市美国大道 1045 号
7 Bryant Park 15 楼
NY 10018
电话: (1) 212 259 0888
传真: (1) 212 259 0889

中银国际(新加坡)有限公司

注册编号 199303046Z
新加坡百得利路四号
中国银行大厦四楼(049908)
电话: (65) 6692 6829 / 6534 5587
传真: (65) 6534 3996 / 6532 3371