

封装内天线 (AiP) 技术推动 5G 发展

作者: Curtis Zwenger, 先进 SiP 产品开发副总裁、Vik Chaudhry, 产品营销与业务发展高级总监, Amkor Technology, Inc.

转载自《Chip Scale Review》, 2020 年 3 月 - 4 月

封装内天线 (AiP) 或封装上天线 (AoP) 简化了与毫米波应用有关的挑战, 并加快系统设计。我们可以通过标准或定制系统级封装 (SiP) 模块实现今天的 AiP 技术。本文将深入讨论新兴 5G 应用中的不同 AiP 选项、屏蔽、材料选择和最佳使用案例。

当今的 5G 应用和预计增长

实现第 5 代新无线电 5G (NR) 或简化 5G 技术背后的动力包括, 大规模数据传输速率以及对更可靠的连接、更快的响应速度 (低延迟) 和更出色覆盖的需求。在毫米波应用当中, 信号丢失变得至为重要, 而设计挑战的复杂性也在增加。除了新出现的 5G 智能手机, 其他应用还包括以极高频率运行和有小尺寸要求的应用, 例如, 可穿戴设备、小型基地台、安全摄像头、以及自动驾驶车辆中的雷达设备和各种物联网 (IoT) 设备等。

根据 Gartner 的市场调查, 到 2023 年, 每年生产的毫米波设备将超过 10 亿台。随着 AiP 技术的出现, 天线不再是无线设备中的独立元件, 它还会被集成到射频 (RF) 开关、滤波器和放大器的 SiP 当中。咨询公司 Yole Développement 所提供的统计数据显示, 整体 RF 前端 (RFFE) 模块 SiP 市场预计将在 2023 年达到 53 亿美元, 复合年增长率 (CAGR) 为 11.3%。

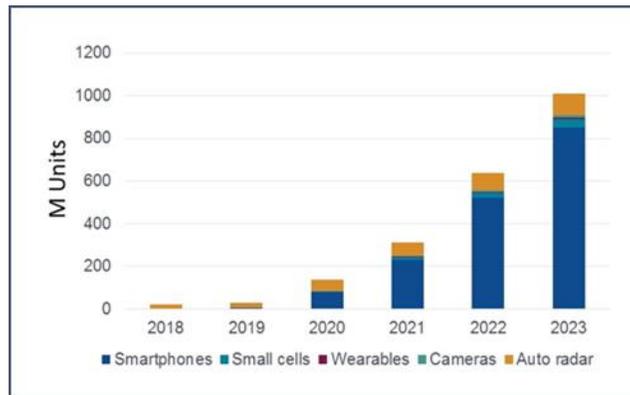


图 1. 毫米波设备市场预计将在 2023 年增长到 10 亿台。
(资料来源: Gartner, 2018 年 12 月小型基地台市场状态报告。)

另一份来自 Grand View Research 的市场预测——《2018 年至 2025 年毫米波 (MMW) 技术市场行业报告》预计 5G 毫米波市场将在 2025 年增长十倍。配套的基站和小型基地台基础设施将需要大量半导体封装和系统集成支持。在为此类应用进行封装开发与扩大生产规模方面, 外包半导体封装和测试 (OSAT) 供应商通常最适合于投资, 并利用他们的广大客户及供应商群。

5G AiP 技术

现在通过 SiP 中的 AiP 技术可彻底实现完全集成的 RFFE 模块，以取代独立的功率放大器 (PA)、低噪声放大器 (LNA)、开关、收发器、滤波器和离散天线。采用 SiP 技术进行集成，这些技术包括双面封装、先进晶圆级再布线层 (RDL)、被动元件集成和精密的 RF 屏蔽技术等，以提供目前市面上最先进的 5G 封装解决方案。

除了手持和其他小型毫米波设备所需的小尺寸，AiP 还能提高信号完整性，减少信号衰减，并克服高频率所带来的范围和传输挑战。在从 700 MHz 过渡到 4G LTE 的 3.5 GHz，再到 5G 的 6 到 60 GHz 的过程当中，RF 开关和频带复杂性（从 40 频带 x 3 CA 到 50 频带 x 5 CA）以及天线设计和调试复杂性（从 8x8 MIMO 到 68x4 MIMO）的增加是随之出现的其中一些变化。要实现 5G 所承诺的改进（见图 2），必须在封装层面克服很多技术挑战。

	3G	4G	5G
 Deployment	2004-05	2006-10	2020
 Bandwidth	2mbps	200mbps	>1gbps
 Latency	100-500 milliseconds	20-30 milliseconds	<10 milliseconds
 Average Speed	144 kbps	25 mbps	200-400 mbps

图 2. 使用 5G 技术具有比前几代更明显的优势。资料来源：Raconteur。

实现 AiP 技术

用于具体应用的集成天线的类型或特定 AiP 平台包含多种因素。除了天线结构，AiP 封装可能还包括功率放大器 (PA)、低噪声放大器 (LNA)、开关和收发器 IC。根据频率范围，不同平台被同时用于天线和 IC 封装。集成天线可被安装在封装和基板上，或者安装于 SiP 毫米波天线模块当中。AiP 方法本身因不同封装会存在差异。图 3 显示的是以 SiP 方法实现的 AiP 的示例。

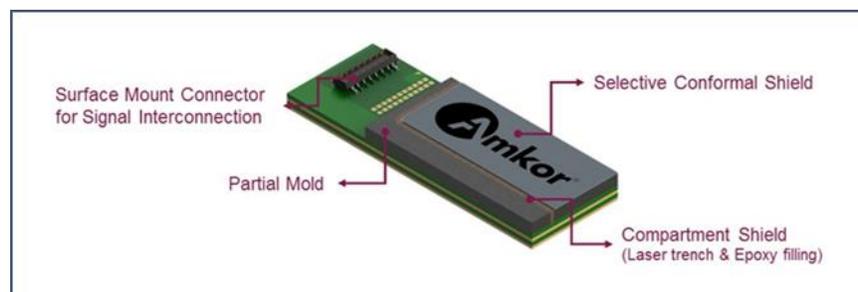


图 3. 因为 AiP 设计，天线不再是独立的器件，而会被集成到器件封装当中。

对于一些成本敏感型应用，倒转芯片球栅阵列 (FCBGA) 或双面球栅阵列 (DSBGA) 是两种 AiP 可能选项。图 4 展示了适用于集成天线的多种技术工具箱。针对移动和基础设施应用，设计选项包括：

- ▶ 基板中天线
- ▶ 天线模块
- ▶ 双面晶片贴装封装（DSBGA）
- ▶ 集成天线层基板的晶圆级扇外型封装（WLFO）
- ▶ 具有封装上天线的高密度扇外型（HDFO）
- ▶ 模塑上天线

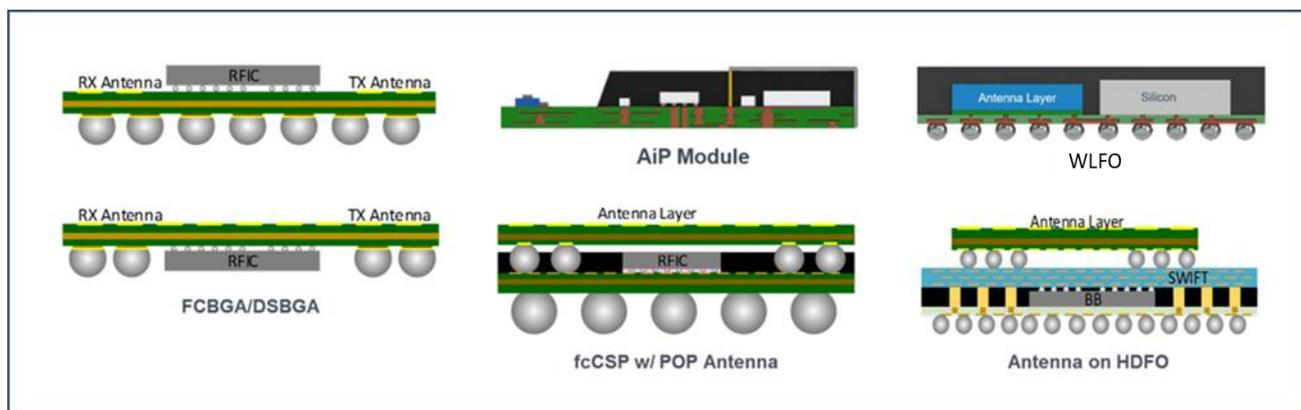


图 4. 适用于集成天线的技术工具箱包括各种不同的封装平台。

对于其他应用，天线可能是 SiP 模块天线或具有层叠封装（PoP）天线的倒装芯片芯片级封装（fcCSP）。不同的设计选项包括：

- ▶ SiP 毫米波天线模块
- ▶ 部分模塑
- ▶ 被动元件/滤波器集成
- ▶ 阵列天线设计
- ▶ 小外观规格

屏蔽

针对较高水平系统集成，它们会采用先进 SiP 和 RF 屏蔽技术。RF SiP 可能包含完整的 RF 到基带系统功能，并且具有集成天线和天线匹配电路。其结果是得到一个完全集成的封装内天线，其中在单个半导体封装格式中至少包含一个完整 RF 系统的全部元素。

射频屏蔽技术包括，双面模塑、共形屏蔽、划区屏蔽、部分模塑、选择性共形屏蔽和混合 SiP 设计。这些技术使用各种材料，包括导电盖、有核、无核和低热膨胀系数（CTE）基板，以及创新的共形屏蔽材料等。图 5 显示的是实现不同屏蔽技术的关键技术。

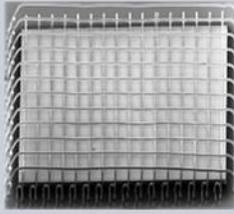
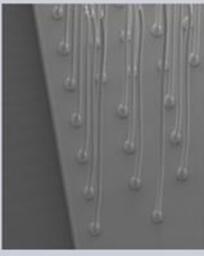
	Wire Fence	Wire Cage	Vertical Wire
Fixture			
Key Technology	High loop wire bonding	High loop wire bonding	Vertical wire bonding and wire reveal

图 5. 可满足不同设计要求的各种 SiP RF 屏蔽技术。

AiP 中的屏蔽类型可能对性能产生重大影响。图 6 显示了采用溅镀共形屏蔽的 SiP 如何表现出比无屏蔽 SiP 更出色的性能，大幅改善电磁兼容/电磁干扰 (EMC/EMI) 性能。

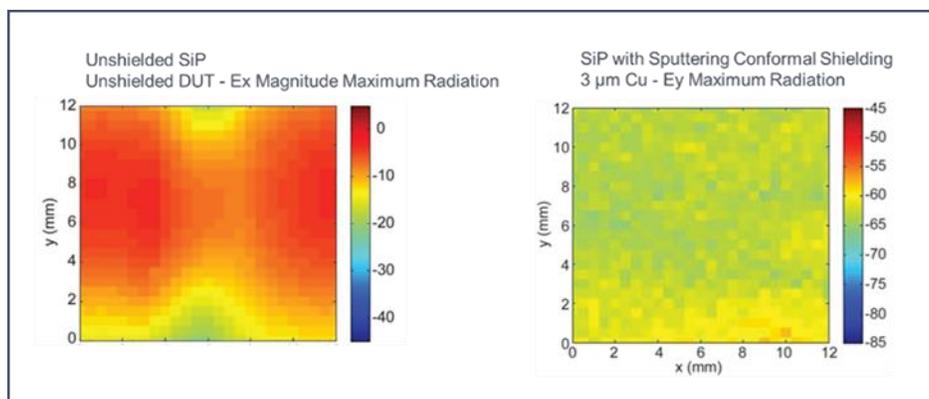


图 6. 近场共形屏蔽性能测量：从 100 MHz 到 6 GHz。

材料

与屏蔽类似，材料选择也可对 AiP 设计和性能产生重大影响，各种材料能提供不同的设计选项以达到不同的性能水平。除了适用于毫米波屏蔽的材料，天线基板还可能有：

- ▶ 不对称堆叠
- ▶ 介电常数 (Dk) <3.3 的材料
- ▶ 耗散因子 (Df) <0.005 的材料
- ▶ Ra >300 nm (铜线路表面粗糙度)
- ▶ 低 Dk/Df 阻焊剂

晶圆级制程和 WLFO 封装包括：

- ▶ 低 Dk/Df 钝化和模塑/电磁兼容 (EMC)

- ▶ 厚钝化开发
- ▶ 适用于 T 线/波导的多层 RDL
- ▶ 晶圆级磁屏蔽

先进的高频离散天线/收发器应用采用晶圆级封装技术，构成天线元素的金属 RDL 具有高精度、可重复特性，而且可轻松针对应用进行调试。具体的 AiP 平台实现包括：

- ▶ 顶层封装
- ▶ 双面封装
- ▶ 双面模塑封装
- ▶ 具有外露式晶片的双面模塑封装

为特定设计选择合适的封装平台通常需要 OSAT 封装设计师和 OEM 系统设计师之间进行讨论。5G 基板的设计必须考虑不同的封装级别信号丢失，包括导体损失、介电损耗、泄漏和辐射丢失。导体损失必须处理电镀、趋肤深度、表面粗糙度和通孔（结构、节距和摆置）。影响介电损耗的关键因素包括基板材料的散耗散因子和介电常数。基板材料的厚度堆叠还会对信号完整性产生直接影响（如，核心、半固化片和阻焊层厚度）。环氧树脂模塑化合物（EMC）还可能在 EMC 被用作电介质的结构中发挥作用。泄漏损耗可能在平面发生（由于蚀刻不足的籽晶层）和基板层之间发生（由于 RDL 和通孔图形缺陷）。辐射丢失发生的原因可能有：

- ▶ 电路配置：带状线、共面和微带线
- ▶ 通孔引线（辐射和反射）
- ▶ 阻抗转移和不连续
- ▶ 寄生谐振频率范围

另一项可以优化天线性能的设计因素是，优化基板堆叠（见图 7）。直接连接接收/传输（RX/TX）信号会降低可能负面影响接收器信号敏感性和增加发射器功率消耗的信号不匹配。

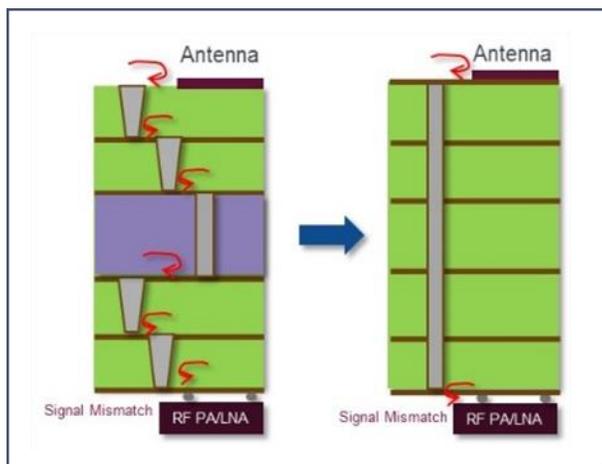


图 7. 优化基板堆叠和 RDL/通孔布线可以通过降低信号不匹配以优化天线性能。

在各种适用于 AiP 的封装技术中，不同设计方面的具体实现包括：

- ▶ 最大封装尺寸达到 23.0 mm x 6.0 mm，并有多种外观规格选项
- ▶ 最多 14 个基板层
- ▶ 适用于 77 GHz 及更高应用的薄膜 RDL 和电介质

对于毫米波应用，正确的 AiP 设计可以提供多项基本的系统优势。借助于 AiP 技术，系统设计师可以得到：

- ▶ 更小型相位阵列天线设计，以实现空间最小化
- ▶ 减少毫米波产品的信号衰减
- ▶ 降低功耗
- ▶ 提高器件范围
- ▶ 由供应商证明并鉴定合格的设计

相对于传统天线，天线信号丢失减少可帮助降低功率要求。除此以外，AiP 还能减少 OEM 的工程工作和所需资源，因为设计和产品都经过供应商鉴定。凭借此类鉴定，OEM 可以在市场更自信而快速地推出具有集成天线的稳健产品。实际上，借助于经过验证的最高支持 77 GHz 的材料，Amkor 的 AiP 封装技术现在可交付以 60 GHz 及以上频段运行的产品。

AiP 使用案例

当前有各种 AiP 使用案例，包括：

智能手机

- ▶ 手机的高速 5G 连接
- ▶ Samsung Galaxy S10 含有 3 种 AiP 产品
- ▶ 2020 年在市场上出现的多款新手机都支持 5G (sub 6 GHz)

小型基地台

- ▶ 适用于室内和室外应用的小型基地台天线阵列
- ▶ “最后一公里”连接，为家庭提供高速网络
- ▶ 办公楼中的高速连接
- ▶ 公共场所（如体育馆、机场等）的连接

安全摄像头

- ▶ 在网络中连接支持 5G 的安全摄像头
- ▶ AiP 提供小外观规格优点

自动驾驶车辆

- ▶ 汽车将需要适用于信息娱乐、高级驾驶辅助系统 (ADAS) 和空中 (OTA) 更新的多种连接模式
- ▶ 用于信息娱乐的高带宽 5G 连接
- ▶ 3D 影像和富内容导航

AiP 设计服务/设计能力

应对全部 AiP 技术要求使用各种工具集，将电路密度最大化并支持大批量 5G 生产和任何毫米波设计所需的精密封装格式。根据应用的要求，无论它是 5G 或低功耗广域网络 (LPWAN) 或其他连接，客户应能够选择低耗散因子/介电常数基板，有助于散热的热界面材料 (TIM) 以及大量不同的封装结构，以提供高水平的系统及子系统集成。这些设计选项要求为客户提供用于电、热和机械仿真的精密模型，以及设计、信号完整性仿真、测试及特性分析服务。

除了先进的多晶片集成工具箱和 RF SiP 设计及仿真技术，其他能力还应包括：

- ▶ 各种适用于多晶片设计的 fcCSP、WLCSP、WLFO 和 HDFO 产品组合
- ▶ 成熟、可靠的供应链
- ▶ 全球性封装规模和系统测试投资

最后，面向系统设计师的完整的设计指南使他们能够自信地和 OSAT 合作，完全满足他们的需求。

5G 尽在掌握

很多封装选项可将 AiP 整合到下一代设计当中。为了最快速而轻松地实现，OSAT 的封装和 SiP 必须有大批量生产能力，以支持下一代毫米波产品的设计。

随着很多讨论过的封装已投入生产，Amkor 在超过 5 年时间里一直都支持大批量生产的 5G 毫米波 AiP 应用。这其中包括传统和先进封装技术，后者将基于层压基板的天线元件和收发器及相关元件和电路集成在一起，以提供 sub-6Ghz 和真正的毫米波产品。

结论

Amkor 还开发了一套功能强大的工具组合，以便将电路密度最大化，并解决支持 5G 应用所需的复杂的封装形式问题，例如，双面封装，将晶片嵌入到基板，薄膜 RDL 和电介质，以及各种类型的 RF 屏蔽技术等。该工具组合整合了 Amkor 在 RF 和天线封装设计领域专长，使 Amkor 具有独特的优势，更好地与需要将 5G 网络的多芯片先进封装及测试技术集成相关挑战和高投资外包出去的客户开展合作。随着对支持 5G 的封装的需求快速成长，Amkor 已经着手并成功地实现 AiP 技术。

参考资料

[1] “Millimeter Wave (MMW) Technology Market, Industry Report 2018-2025,” Grand View Research; <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/millimeter-wavemmw-technology-market>

© 2021, Amkor Technology, Inc. 保留所有权利。

作者简介



Curtis Zwenger 是 Amkor Technology, Inc. 的先进封装与技术集成的副总裁，该公司位于亚利桑那州坦佩市。他持有科罗拉多州立大学的机械工程理学学士学位和凤凰城大学的 MBA 学位；电子邮件：curtis.zwenger@amkor.com



Vik Chaudhry 是位于亚利桑那州坦佩市的 Amkor Technology, Inc. 的产品营销与业务发展高级总监。他持有印度博帕尔国立理工大学的电气工程理学学士学位，以及亚利桑那州立大学的电气工程硕士学位和 MBA 学位。

如需了解关于 Amkor Technology 的 AiP/AoP 的更多信息，请访问：<https://amkor.com/AiPAoP>。