



提供 5G 毫米波固定无线接入

[David Schnauffer Bror Peterson](#) - 2017 年 9 月 28 日

移动网络运营商将固定无线接入 (FWA) 视为 5G 毫米波 (mmWave) 频谱的第一大应用。FWA 即将快速推出，但目前仍面临着一个挑战：构建节能且经济高效的基站和能够支持高功率及带宽的用户端设备。

将 FWA 视为极具吸引力的第一大应用，原因如下：运营商仅需花费传统电缆和光纤到户设施的一小部分时间和成本，即可向家庭、公寓或企业提供数千兆速度。这开辟了之前只适用于卫星、光纤或电缆提供商的新市场。另一吸引力在于具有将 FWA 基础设施投资直接延伸至提供 5G 移动接入的潜力。

因此，Verizon、AT&T 以及其他运营商正在大力开展 FWA 试验，目标是在 2019 年实现完全商业化。市场调查公司 SNS Telecom 预测，FWA 将迅猛发展，仅在 2019 年就可创收 10 亿美元。[1]

FWA 基础知识

固定无线接入描述了一个集中基站与多个固定或游牧式用户位置之间的无线 5G 连接（图 1）。

FWA 被视为尤其适用于以下几种环境，包括：

- 密集城市和郊区：由于 FWA 可提供高容量和吞吐量，运营商看到了向大量用户提供高性能并同时创造可观收入的潜力。
- 室内/室外热点：FWA 能够提供高速、低延迟连接性，以支持密集人群。例如：体育馆内的运动爱好者在观看比赛时，能够体验从各个角度拍摄的沉浸式现场直播视频。

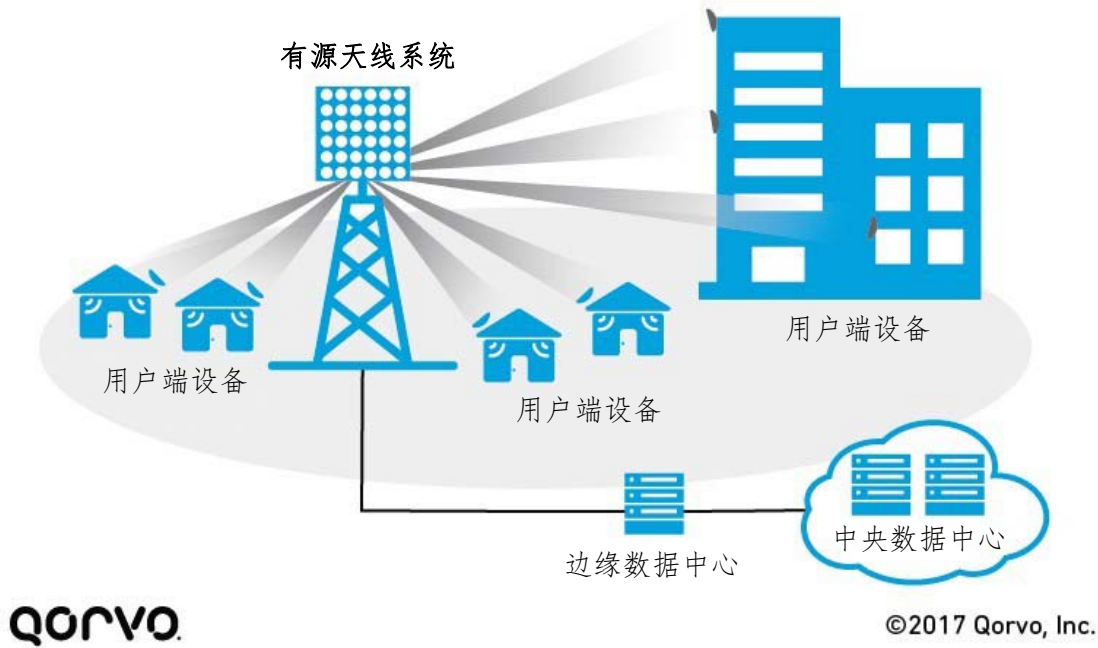


图 1 使用 MIMO 和波束形成的端对端固定无线接入联网

FWA 频谱、带宽和监管进展

运营商已采取措施应对其面对的第一大 FWA 挑战：获得所需频谱。大多数部署预计将使用毫米波频率，由此以非常低的成本获得大范围连续的未配对带宽。例如：对于 Straight Path Communication 的 28 GHz 和全国范围 39 GHz 频谱，Verizon 每 MHz-PoP 花费了大约 0.017 美元 [2]。与 2015 年每 MHz-PoP 平均 2.72 美元 [3] 的 AWS-3 配对频谱相比，这笔交易非常合算。

全球毫米波频谱可用性如图 2 中所示。首批 FWA 部署预计将使用 24.25 - 29.5 GHz 和 37 - 43 GHz 频率范围。

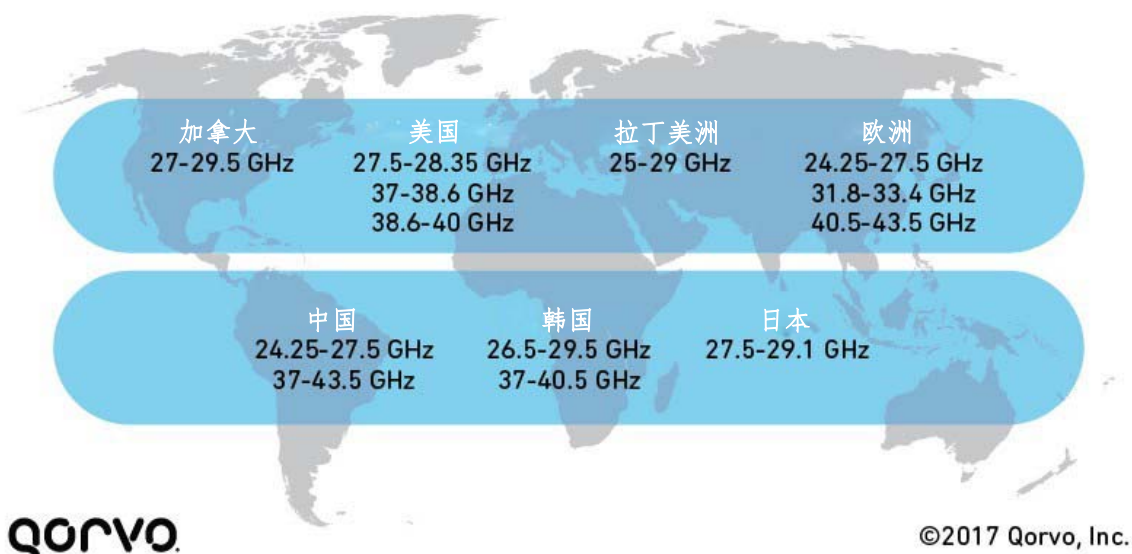


图 2 毫米波和厘米波全球频段

3GPP [5G 新无线电](#)标准（版本 15）提议毫米波的分量载波带宽（亦称频率范围 2）最高为 400 MHz，且早期的商业基站可利用载波聚合技术支持超过 1.2 GHz 的瞬时带宽 [4]。

美国计划将大约 3850 MHz 的毫米波频谱用于 5G——大约是之前分配给商业用途的全部带宽的六倍。联邦通信委员会 (FCC) 已经定义了用于 5G 的 28 GHz 和 39 GHz 频段 [5]，并在探索 4 GHz 至 24 GHz 的其他频谱 [6]。FCC 还为基站和移动设备设定了非常高的发射功率水平（表 1）。

| 设备类别 | 功率 (EIRP) | 单位 |
|-------|-----------|-------------|
| 基站 | 75 | dBm/100 MHz |
| 移动基站 | 43 | dBm/100 MHz |
| 便携式基站 | 55 | dBm/100 MHz |

QORVO

©2017 Qorvo, Inc.

表 1 28GHz 和 39GHz 频段的 FCC 功率限制

随着对监管规则进行定义，运营商已掌控了大量频谱，且其功率输出能力足以向多个城市街区提供 Gbps 速度，因此行业已准备好开始构建基站。

FWA 基站设计

FWA 基站面临着一些 RF 设计挑战。为了在分区基站覆盖范围内提供所需的容量和足够的室内穿透性，基站必须利用先进的有源相控阵天线系统 (AAS)。有源天线阵必须具有高能效和稳固性，以便对全户外塔顶电子设备进行被动式冷却。此外，基站必须足够轻巧，便于安装在传统基站塔和路灯杆等位置。

相控阵中有源通道的大小或数量是一个至关重要的考虑因素。阵列大小取决于扫描（方位角和仰角）要求和预期效果的全向性辐射功率 (EIRP)。EIRP 是有源通道数量、每个通道的传导发射功率、波束形成增益（阵列系数）和固有天线元件增益的乘积。

所需的扫描范围取决于部署场景（图 3）。对于郊区部署，仰角平面的固定或有限扫描范围 (< 20°) 可能就足够了，这样就可以利用更高的固有天线元件增益。对于“城市”部署，则需要较宽的扫描范围：方位角（约 120°），仰角（约 90°）。

由于扫描范围受限，郊区部署可使用固有元件增益比城市部署高 6dB 的天线。因此，郊区相控阵只需一半的有源通道就能够实现相同的 EIRP，显著降低了功耗和成本。相反，对于相同功率和数量的有源通道，郊区阵列可实现高出 4 倍的 EIRP。

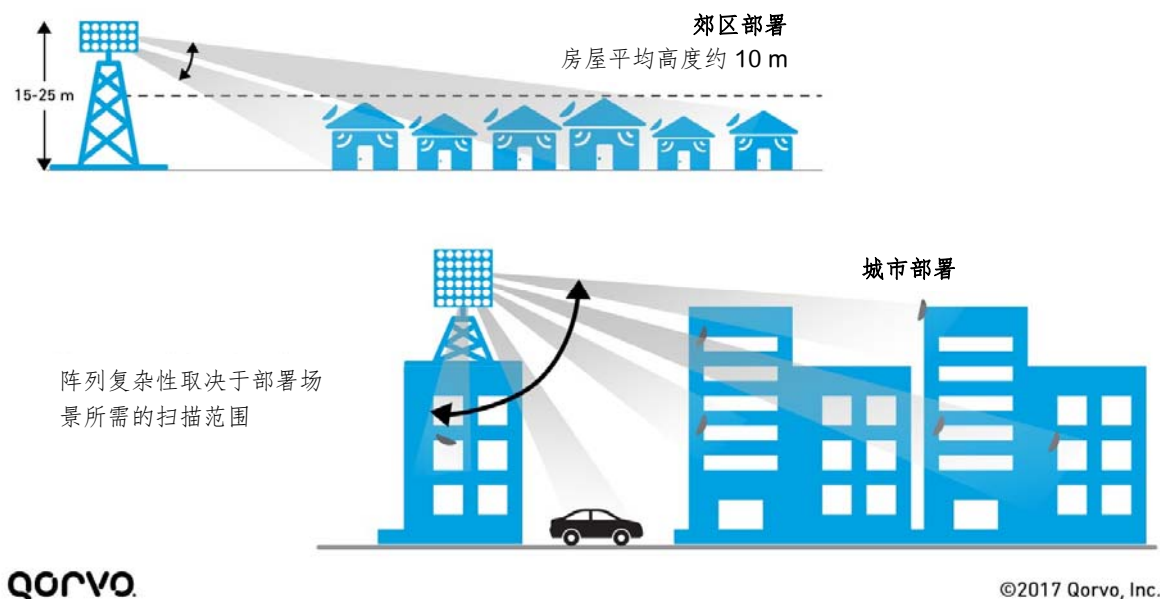
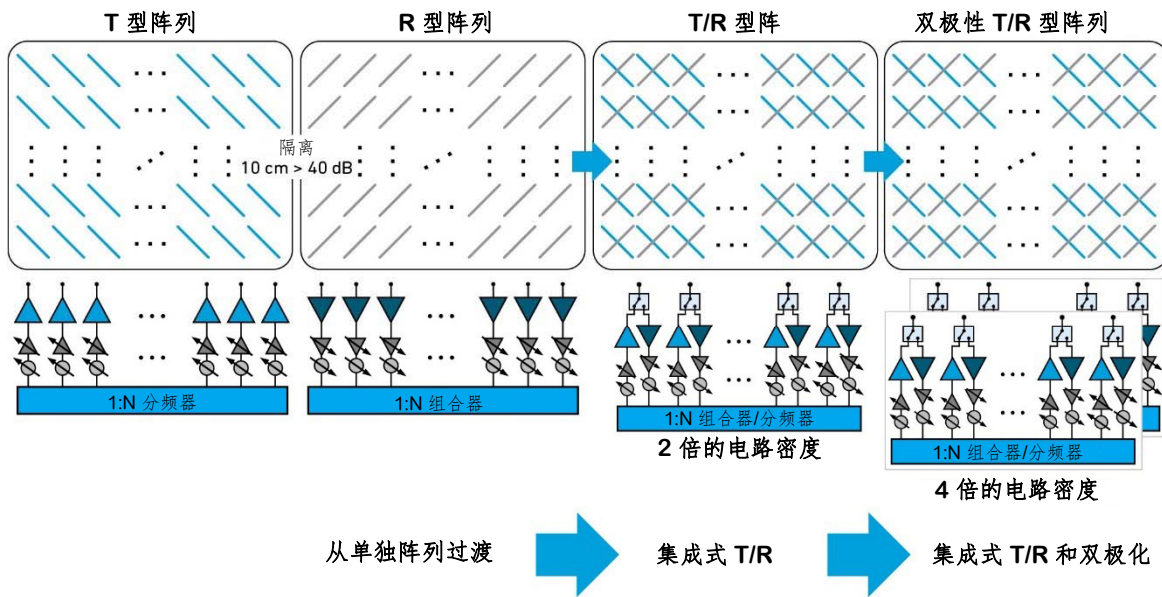


图 3 阵列复杂性取决于部署场景所需的扫描范围

使用毫米波频率时，相控阵元件之间的栅格间距则变得非常小——40GHz 时小于 4mm。为最大程度地减少馈入损耗，务必将关键前端器件置于尽可能靠近辐射元件的位置。这有助于缩小功率放大器 (PA) 的占用面积，同时将尽可能多的功能集成至单芯片或多芯片模块中。

此外，最近兴起的集成双极性和发射/接收趋势将使电路密度进一步增加 4 倍（图 4）。早期的毫米波基站设计通常使用单独的单极化发射和接收天线阵列，可为器件提供两倍的面积，并避免了单刀双掷 (SPDT) 发射开关的额外插入损耗和线性度难题。

然而，自适应波束形成很大程度上取决于接收和发射阵列之间的相对校准能力。这种校准取决于发射和接收阵列之间的空间相关性。因此，集成发射/接收阵列是首选方案，这样阵列就可以共享一套通用的天线元件和 RF 路径。此外，分机和容量需要双极化。



QORVO

©2017 Qorvo, Inc.

图 4 FWA 天线阵列的演进

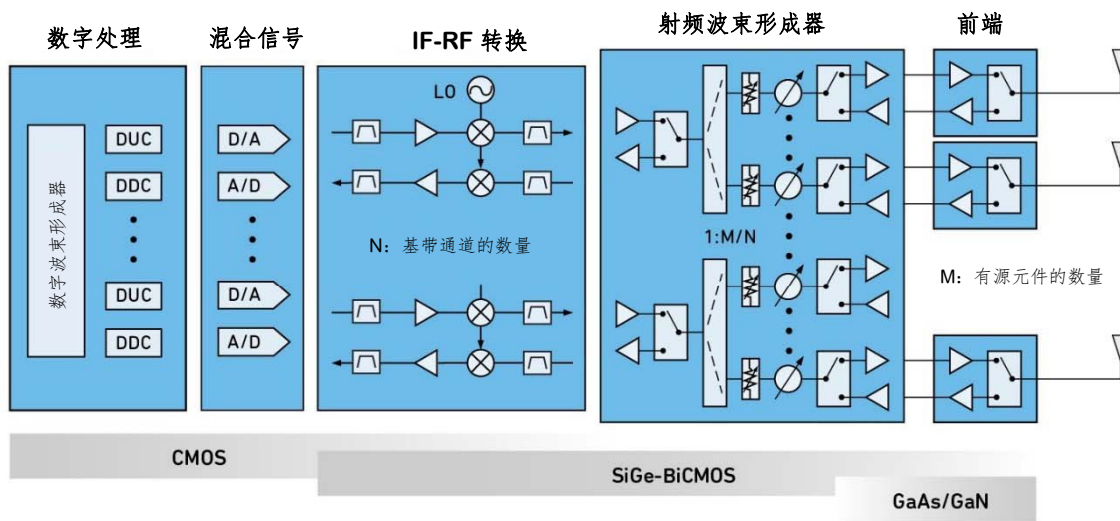
若在如此小的面积内部署所有功能，需要使用基于 SiGe/Si 半导体技术的极小 PA，产生非常低的功率输出；或使用高功率密度的半导体技术（如 GaN），其功率密度是 SiGe/Si 的 100 多倍 [7]。

FWA 前端技术

FWA 前端技术

为发射/接收链中每个功能选择最适合的半导体技术至关重要。图 5 显示了混合波束形成有源天线系统的框图。

体 CMOS 技术用于数字处理和混合信号转换。SiGe 适合混频器和由最终 RF 频率决定的小信号增益模块，以及混合 RF 波束形成器。波束形成器功能将 RF 信号分成多个路径，以馈入相控阵的每个有源元件。它可执行高分辨率相位和波幅加权，而这是合成波束形成模式和自适应零电位干扰源所必需的。由于 I/O 数量较多以及需要存储数百个波束形成权值，设计师也在使用 SiGe 实现这一功能。然而，最终的波束形成器 RFIC 要求仍在趋同过程中，而设计师则在线性度、输出驱动功率和功耗之间寻求一种微妙的平衡。是否需要采用高线性度 GaAs 波束形成器技术和存储波束权值的体 CMOS 控制器，以克服密集的多基站部署所固有的干扰，这仍有待观察。



QORVO

©2017 Qorvo, Inc.

图 5 混合波束形成功能框图

最后的模块为前端，包括一个大功率和效率的发射 PA、一个发射/接收开关和低噪声放大器 (LNA)。前端的技术选择取决于波束形成增益，即阵列大小的直接函数（图 6）。

为了使用均匀矩形阵列实现 65 dBm EIRP，每个通道的 PA 功率输出将随着元件数量的增加（即波束形成增益的增加）而减少。随着阵列大小变得越来越大（超过 512 个有源元件），每个元件的输出功率将变得小到足以使用 SiGe，然后 SiGe 集成至核心波束形成器 RFIC 中。相反，如果前端采用 GaN 技术，则实现相同 EIRP 所需的通道数会减少到 1/16。关键问题是，哪种方法最优化系统成本和功耗。

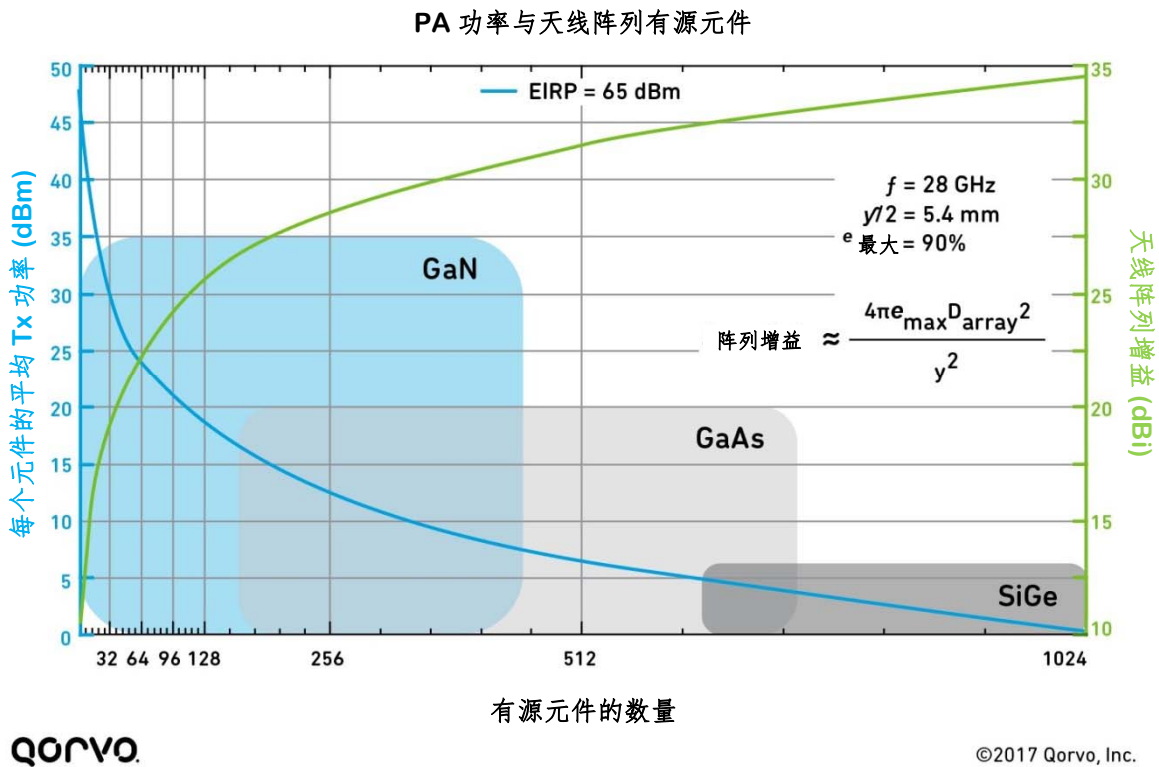


图 6 天线阵列元件数量和 RFFE 工艺技术之间的权衡

为回答这个问题，我们将比较两个系统：使用集成 SiGe 前端的大型阵列和使用大功率 GaN 前端的较小型阵列。表 2 列出了每个系统的假设和总功耗。为确保比较的准确性，GaN 总功耗还包括馈入前端所需的 128 个波束形成器分支的 19.2W 功耗。此外，GaN 在 200°C 结温条件下的 MTTF 超过 107 小时，安全可靠，而 SiGe 的极限结温约为 130°C。无线基础设施需要较高的可靠性，其设备寿命预计至少为 10 年。

| | SiGe | GaN | 单位 |
|-----------|------|-----|-----|
| 平均输出功率/通道 | 0 | 18 | dBm |
| 功耗/通道 | 150 | 840 | mW |
| 天线元件增益 | 5 | 5 | dBi |
| 有源通道的数量 | 1024 | 128 | 通道 |
| EIRP | 65 | 65 | dBm |
| 总 Pdiss | 154 | 127 | W |

QORVO

©2017 Qorvo, Inc.

表 2 SiGe 与 GaN 前端的假设和总功耗

显然使用 GaN 前端具有功率优势，但是其成本如何？估计成本的一种方法是计算两个系统需要的总裸片面积（表 3）。

| | SiGe | GaN | 单位 |
|---------|------|-----|------|
| 有源通道的数量 | 1024 | 128 | 通道 |
| 裸片面积/通道 | 4 | 5 | 平方毫米 |
| 裸片总面积 | 4096 | 640 | 平方毫米 |

QORVO

©2017 Qorvo, Inc.

表 3 SiGe 与 GaN 前端的假设和总裸片面积

为确保比较的准确性，我们需要在使用 GaN 前端时为 SiGe 波束形成器增加 512 mm² 裸片面积。按量计算，GaN on SiC 的成本约为 SiGe 的 5 倍。最终比较结果（表 4）表明，由于尺寸巨大，SiGe 阵列的成本明显更高。我们发现，因为我们可以扩大阵列以实现完全基于硅的系统，所以如果需要一英亩大小的阵列，那么成本将明显更高。

| | SiGe | GaN | 单位 |
|-------|------|------|-------|
| 裸片总面积 | 4096 | 640 | 平方毫米 |
| 技术成本 | X | 5X | \$/mm |
| 裸片总成本 | 4096 | 3712 | \$/X |

QORVO

©2017 Qorvo, Inc.

表 4 SiGe 与 GaN 前端的成本

总结，（图 7）与完全采用 SiGe 的解决方案相比，将 SiGe 波束形成与 GaN 前端结合在一起可将功耗降低 17%，同时将成本减少 9%。此外，阵列元件的数量可以减少到 1/8，昂贵的天线基板材料成本也可以相应地减少 87%。

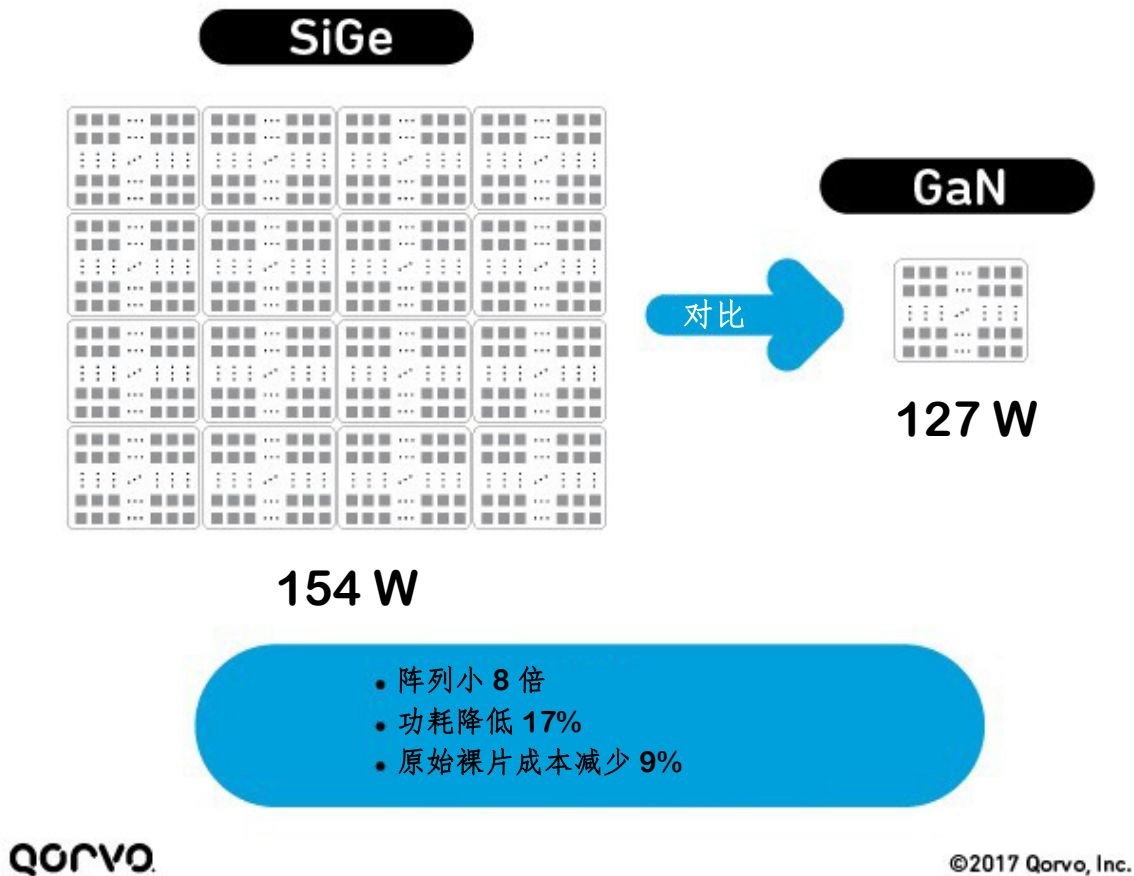


图 7 完全采用 SiGe 的 FWA 系统与 SiGe 波束形成和 GaN 前端组合之间的比较

FWA 商业化即将实现，得益于低成本频谱丰富、早期监管和标准工作，并且运营商有机会快速开拓一个新市场。剩下的挑战是要有可用的设备能够以合理成本闭合链路。如今，为满足 FWA 基地站的苛刻要求，我们需要使用混合波束形成架构。该架构可充分利用不同半导体工艺的各自优势。将 GaN 前端与 SiGe 混合波束形成技术一起使用，这种方法看起来最有希望实现 FCC EIRP 高目标，同时尽可能降低成本、复杂性、尺寸和功耗。

参考文献

1. SNS Telecom: [5G 固定无线接入 \(FWA\): 2017 - 2030 年间的机会、挑战、战略和预测](#)
2. 竞争激励的无线领域: [分析师指出, AT&T 收购 Straight Path 突出了高频段频谱的价值](#)
3. 科技政策研究所: [请勿对 FCC 激励拍卖感到失望](#)
4. 3GPP TR 38.802-e10: [新无线电接入技术物理层面的研究](#)
5. 联邦通信委员会: [使用 24 GHz 以上频段提供移动无线电服务等](#)
6. FCC: [扩大 3.7 至 24 GHz 中频段频谱的灵活运用范围](#)
7. 《微波杂志》: [2010 GaAs 代工服务展望](#)

Bror Peterson 是 Qorvo 的首席系统工程师。David Schnauffer 是 Qorvo 的技术营销通信经理。

还可查看：

- [Qorvo 通过智能手机 RF 滤波器创新帮助推动 5G 发展](#)
- [IMS：相控阵天线和波束形成](#)
- [Movandi 优化 5G 毫米波前端](#)
- [5G 毫米波即将推出？没那么快](#)
- [无线基础设施：OFDM 承载着巨大 RF 流量](#)
- [什么是 5G NR？](#)