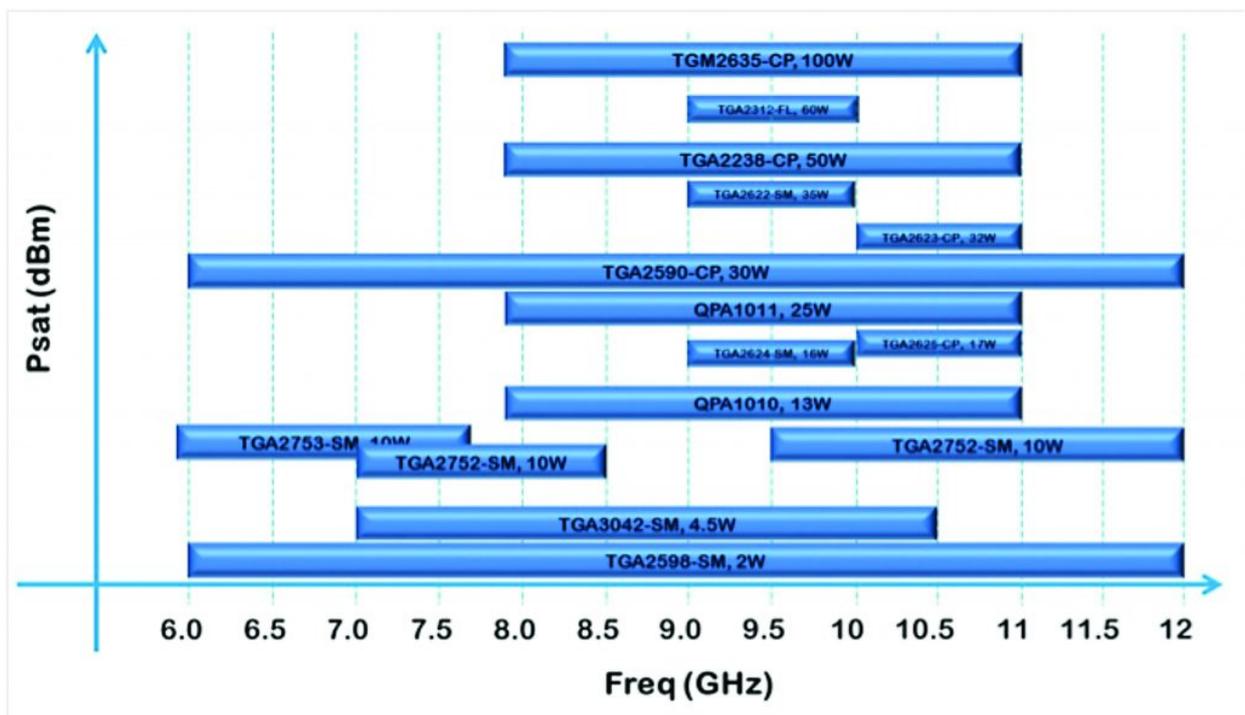


X 频段：GaAs 与 GaN 的效率权衡

作者：Grant Wilcox, Qorvo

尽管 GaN 与 GaAs 之间的竞争日趋激烈，但在对 SWaP-C（尺寸、重量、功率和成本）要求日益严苛的应用方面，GaN 持续占据着优势地位。从宽带和窄带应用的频谱中都不难看出这一点。所需的功率和频率越高，GaN 较其他竞争技术的优势就越为明显。通过采用 X 频段作为基准，Qorvo 希望凭借我们适用于商业及国防相关雷达与通信系统和电子战的功率放大器产品组合，在输出功率、增益和功率附加效率方面实现卓越的性能，同时最大限度地减少产品占用面积。图 1 所示为这类应用中支持的功率水平范围。

图 1：受支持的功率水平



采用 GaAs 时，X 频段功率的基准为 25W，可实现多级增益，功率附加效率约为 30%。功率较低时效率可达 40%。改用高压 pHEMT 技术，在最高 15V 的漏极电压下运行，即可达到此类性能表现。采用该技术时的功率密度略高于 1W/mm。与标准的 0.25um pHEMT 技术相比，这虽是个不小的改进，但并没有像原先预期的那样带动系统设计变革。

但 GaN 却带来了这种变革，提供了多种选择，赋予了系统设计人员充分的灵活性，让他们得以实现下一代性能目标和/或减小外形尺寸。最初，采用 GaN 目的是为了减小外形尺寸，同时保持或提高功率性能。然而，随着 X 频段市场转而采用 GaN，用户发现，与之前的 GaAs 解决方案相比，GaN 解决方案在效率改进方面表现不佳。这并非是 GaN 技术的缺陷，而是由于产品本身的开发侧重点导致的。为了能以最小的外形尺寸实现高功率，因而牺牲了最佳效率。表 1 对采用 GaAs 和 GaN 技术的基准 Qorvo X 频段功率放大器进行了比较。

如表 1 所示，在特定的功率水平下，采用 GaN 时，PAE 基本没有变化或略有改善。不过，采用 GaN 解决方案后，外形尺寸大约缩小了 70%。而尺寸之所以可以缩小，原因在于 GaN 既实现了高功率密度，也改进了热管理。这也可能是因为 GaN 的可靠性会随着结 (Tj) 温升高而提高。1E6 MTTF 对应的 GaAs Tj 基准为 150C，而 GaN 将这一基准增加到了 200C 以上。这不仅增加了系统设计的灵活性，而且还节省了成本，而这是之前的 GaAs 解决方案所无法实现的。

表 1：该表对采用 GaAs 和 GaN 技术的基准 Qorvo X 频段功率放大器进行了比较

Part #	Technology	Psat (dBm)	PAE (%)	Area (mm ²)	Gain Stages	S21 (dB)
TGA9083	GaAs	5	40	14.0	2-stage	18
TGA3042	GaN	4.5	39	3.9	3-stage	32
TGA2517	GaAs	16	35	17.6	3-stage	28
QPA1010D	GaN	16	38	4.5	2-stage	25
TGA2554	GaAs	25	35	23.6	3-stage	18
QPA1011D	GaN	25	37	8.6	2-stage	26
TGA2238	GaN	60	42	38.4	3-stage	31

市场上还出现了一种趋势，即将高功率放大器的封装由大型法兰式封装改为采用表贴技术 (SMT)。这对于大型 GaAs 放大器来说变得愈发困难。由于 CTE 失配灵敏度、空洞和其他机械鲁棒性问题的存在，芯片尺寸的增加会导致质量风险加大。采用 GaN 后，芯片面积得以减小，进而使得能够以更小的 SMT 封装支持更高的功率。但随之而来的是系统层面的热管理问题，因为在更小的占用面积内实现更高的功率密度会大幅增加冷却系统需要管理的热通量。

因此，考虑到 X 频段上的最终效率基本会保持不变，系统级热设计在实现目标性能方面就变得愈发重要。目前，借助空气和液体冷却系统以及各种专利技术，人们在热设计方面已经取得了一定的成效。随着对系统设计限制的了解更加深入，我们需要调整元件开发的重心，从而更好地满足系统需求。

通过降低漏极电压或借助放大器设计来改变效率负载，可以逐渐改善 PAE。遗憾的是，这削弱了最初推动 GaN 发展的功率密度优势。按照这一趋势发展下去，芯片尺寸会越来越大，GaN 的附加优势则会越来越弱。降低漏极电压可能也会降低系统效率，因为 I²R 损耗会随之增加。尽管如此，这可能也是最好的折衷方案了。通过降低漏极电压，系统设计人员可以专注于实现更高的效率负载。这样，就又需要更大的 FET 外围区域来达到目标功率水平，进而导致芯片尺寸增加。在特定功率水平下，增加芯片的尺寸，可以降低冷却系统需要管理的热通量，但缺点是会增加元件尺寸和成本。为了更好地管理系统热负载并满足 RF 性能预期，很显然在开发放大器时需要在输出功率、PAE 与外形尺寸之间实现适当的平衡。根据应用所需的频率和带宽以及目标输出功率，占主导地位的设计因素会有所不同。

这并不仅限于 X 频段。随着系统开发人员对设计限制的了解更加深入，其对元件效率的重视程度会迅速提高到与功率和增益指标相当，以便在整个频谱内达到系统性能和成本目标。有证据表明，高效的 GaN 解决方案可以大幅节

约系统层面的成本。这不仅在于系统设计更小，另外还因为冷却系统复杂程度较低。对于机载系统等在热管理方面选择有限的应用来说，这无疑是个好消息。但是，复杂性降低和尺寸减小，甚至是燃料成本降低，同样也能让陆基和舰载系统受益。

GaN 正在成为各个频率和市场的的首选技术。最初，GaN 产品开发的重点在于提高输出功率，同时缩小外形尺寸。然而，随着人们对系统级热约束的关注，开发重点正在向实现更好的效率平衡转变。这有助于降低耗散功率，和减轻系统级热负载。在 GaN 技术的助力之下，下一代系统正在成为现实。随着元件和系统开发人员继续密切合作，在即将兑现的现实面前，多年前的 GaN 前景承诺将会显得黯然失色。

关于作者



Grant Wilcox

Grant Wilcox 在 RF 领域深耕已逾 25 年，拥有丰富的模拟建模、MMIC 设计、客户管理和产品营销经验。目前，Grant 负责管理 Qorvo 的高功率 MMIC 放大器产品组合，为商业及国防相关应用提供支持。