

比较射频功率放大器的三种主要工艺技术

在向 4G 手机发展的过程中，便携式系统设计工程师将面临的巨大挑战是支持现有的多种移动通信标准，包括 GSM、GPRS、EDGE、UMTS、WCDMA 和 HSDPA，与此同时，要支持 100Mb/s~1Gb/s 的数据率以及支持 OFDMA 调制、支持 MIMO 天线技术，乃至支持 VoWLAN 的组网，因此，在射频信号链设计的过程中，如何降低射频功率放大器的功耗及提升效率成为了半导体行业的竞争焦点之一。目前行业发展呈现三条技术路线，本文就这三条技术路线进行简要的比较。

利用超 CMOS 工艺，从提高集成度来间接提升 PA 效率

UltraCMOS 采用了 SOI 技术，在绝缘的蓝宝石基片上淀积了一层很薄的硅。类似 CMOS，UltraCMOS 能够提供低功耗，较好的可制造性、可重复性以及可升级性，是一种易用的工艺，支持 IP 块的复用和更高的集成度。

与 CMOS 不同的是，UltraCMOS 能够提供与在手机、射频和微波应用领域普遍使用的 GaAs 或 SiGe 技术相媲美甚至更好的性能。尽管 UltraCMOS 和 pHEMT GaAs 都能提供相同级别的小信号性能并具有相当的网络通态电阻，但是，UltraCMOS 能够提供比 GaAs 或 SiGe 更优异的线性度和防静电放电 (ESD) 性能。

对于更复杂的应用，如最新的多模式、多频带手机，选择合适的工艺技术更为关键。例如，在这些应用中，天线必须能够覆盖 800~2200MHz 的频段，开关必须能管理多达 8 路的大功率射频信号，同时还必须具有低插损、高隔离度、极好的线性度和低功耗。适当的工艺技术能够改善技术选项的可用性，进而改善天线和射频开关的性能，最终改善器件的总体性能。更重要的是，如果工程师在整个设计中采用同一工艺技术，能够获取更高的集成度。

例如，Peregrine 公司在 UltraCMOS RFIC 方面的最新进展是推出 SP6T 和 SP7T 天线开关。这些符合 3GPP 的开关满足 WCDMA 和 GSM 的要求，使得设计工程师可以在兼容 WCDMA/GSM 的手机中使用一套射频电路，并且实现业界领先的性能。SP6T 和 SP7T 天线开关采用了 Peregrine 公司的 HaR 技术，实现了二次谐波为 -85dBc、三次谐波为 -83dBc、2.14GHz 上的三阶交调失真 (IMD3) 为 -111dBm 这样的优异指标。

在手机设计中两个最耗电的部分就是基带处理器和射频前端。功率放大器 (PA) 消耗了射频前端中的绝大部分功率。实现低功耗的关键是使射频前端中的其他电路消耗尽可能少的功耗且不影响 PA 的工作。在目前所用的选择中，带解码器的 GaAs 开关吸纳的电流为 600 μ A，但在典型的射频前端应用中，UltraCMOS

SP7T 开关只吸纳 $10\ \mu\text{A}$ 的电流，因此，可以大幅降低射频前端的功耗，从而提高射频功率放大器的效率。

目前，采用 CMOS 工艺制造射频功率放大器的公司包括：英飞凌、飞思卡尔、Silicon Labs、Peregrine、Jazz 半导体等公司。

利用 InGaP 工艺，实现功率放大器的低功耗和高效率

InGaP HBT (异结双极晶体管) 技术的很多优点让它非常适合高频应用。InGaP HBT 采用 GaAs 制成，而 GaAs 是 RF 领域用于制造 RF IC 的最常用的底层材料。原因在于：1. GaAs 的电子迁移率比作为 CMOS 衬底材料的硅要高出大约 6 倍；2. GaAs 衬底是半绝缘的，而 CMOS 中的衬底则是传导性的。电子活迁移率越高，器件的工作频率越高。

半绝缘的 GaAs 衬底可以使 IC 上实现更好的信号绝缘，并采用损耗更低的无源元件。而如果衬底是传导性的话，就无法实现这一优势。在 CMOS 中，由于衬底具有较高的传导性，很难构建起功能型微波电路元件，例如高 Q 电感器和低损耗导线等。这些困难虽然可以在一定程度上得到克服，但必须通过在 IC 装配中采用各种非标准的制程来实现，而这会增加 CMOS 设备的制造成本。

InGaP 特别适合要求相当高功率输出的高频应用。InGaP 工艺的改进让产量得到了提高，并带来了更高层次的集成，使芯片可以集成更多功能。这样既简化了系统设计，降低了原材料成本，也节省了板空间。有些 InGaP PA 也采用包含了 CMOS 控制电路的多芯片封装。如今，在接收端集成了 PA 和低噪声放大器 (LNA) 并结合了 RF 开关的前端 WLAN 模块已经可以采用精简型封装。例如，ANADIGICS 公司提出的 InGaP-Plus 工艺可以在同一个 InGaP 芯片上集成双极晶体管和场效应晶体管。这一技术正被用于尺寸和 PAE (功率增加效率) 有所改进的新型 CDMA 和 WCDMA 功率放大器。

RF CMOS PA 与 GaAs PA 的比较

当前，大部分手机 PA 都是采用 GaAs 和 InGaP HBT 技术，只有一小部分采用的是 RF CMOS 工艺制造。与 GaAs 器件相比，RF CMOS 技术能够实现更高的集成度，而且成本也更低。

然而，并非所有消费电子产品的理想选择。例如无线网络和手机市场就被 GaAs PA 所统治，因为它可以支持高频率和高功率应用，而且效率很高。另一方面，RF CMOS PA 则在蓝牙和 ZigBee 应用领域占据主导地位，因为它一般运行功率更低，而且性能要求没有那么苛刻。

目前，对于高性能 PA 应用，GaAs 仍然是主要技术，只有它才能满足大部分高端手机和无线网络设备对性能的苛刻要求。在集成度方面，如果要集成进收发器、基带和 PA，那么，就需要采用一种新的硅工艺。然而，业界在这方面的趋势是继续让 PA 和收发器彼此分开，采用不同的封装，并以 GaAs 来实现这样的集成。

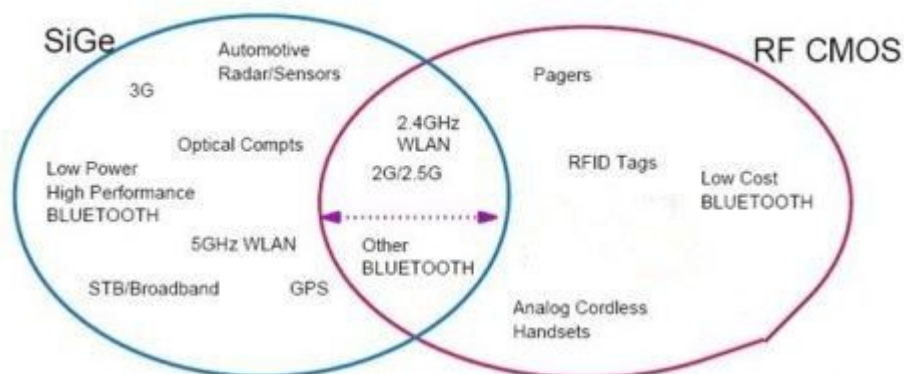
SiGe 有望超越 GaAs 工艺占据主流

SiGe BiCMOS 工艺技术几乎与硅半导体超大规模集成电路 (VLSI) 行业中的所有新工艺技术兼容，包括绝缘体硅 (SOI) 技术和沟道隔离技术。随着击穿电压和高性能无源部件集成技术的发展，SiGe 正逐渐渗透至传统的 GaAs 领地——即手机功率放大器应用的领域。

一般来说，手机功率放大器必须能在高压下应对 10:1 的电压驻波比 (VSWR)，并能发送 +28dBm (用于 CDMA 手机) 到 +35dBm (用于 GSM 手机) 的信号。为了制造出满足严格的手机技术要求的 SiGe 功率放大器，SiGe 半导体公司采用 fT 为 30GHz 的主流 SiGe 工艺，着眼于抢占过去由 GaAs 功率放大器在击穿电压、线性性能、效率以及集成性能上所占有优势。

采用 SiGe 技术的优势之一是提高集成度。设计人员可在功率放大器周围集成更多的控制电路，这样，最终的器件就更加节省空间，从而为集成更多无线功能的提供令了潜力。例如，采用 SiGe 技术，设计人员就可以将功率放大器和 RF 电路集成在一起，却不会影响功率放大器的效率，从而延长手机电池的寿命。目前，采用 SiGe 技术推出射频功率放大器的公司包括：SiGe 半导体公司、Maxim、飞思卡尔、Atmel 等公司。利用 SiGe BiCMOS 制造工艺进行代工的供应商主要是 IBM 以及台积电 (TSMC)。

如图 1 所示为可见，SiGe 技术在射频器件上的应用已经跟 RF CMOS 技术相当，有理由相信，下一步目标就是超越 GaAs 技术而占据主流。



本文总结

随着多种无线通信标准在手持设备上的应用，只有进一步降低射频功率放大器的功耗，才能延长便携式设备的电池使用时间，从而获得更加的用户体验。本文通过对射频功率放大器所采用的三种主要工艺技术进行的简要比较，指出未来的发展趋势在于采用 SiGe 工艺技术来制造射频功率放大器，这是无线电电子系统设计工程师需要关注的技术趋势。