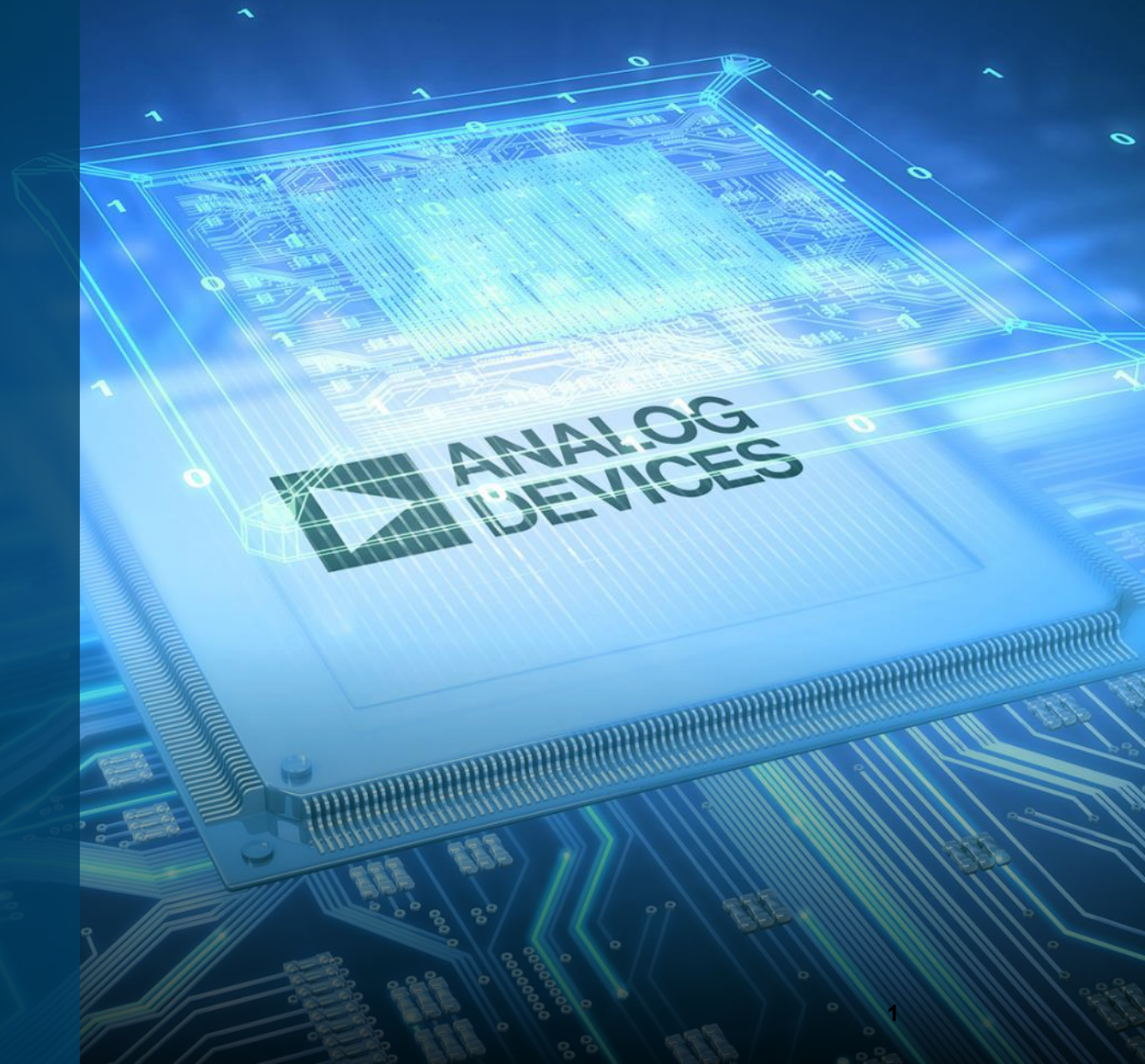


克服GaN功率放大器实施中的挑战



议题

- ▶ GaN器件的市场地位
- ▶ 半导体器件特性：GaN与GaAs
- ▶ GaN优势
- ▶ GaN与GaAs的比较及实施相关的挑战
- ▶ GaN – 结束语

GaN器件的市场地位

GaN正在进入多个应用领域！

▶ 军事应用：

- 电子战
- 雷达系统



▶ 电信：

- 基站/蜂窝基础设施



▶ 仪器仪表：

- 实验室测试测量设备、油井井下应用等



▶ 有线电视

▶ 卫星通信



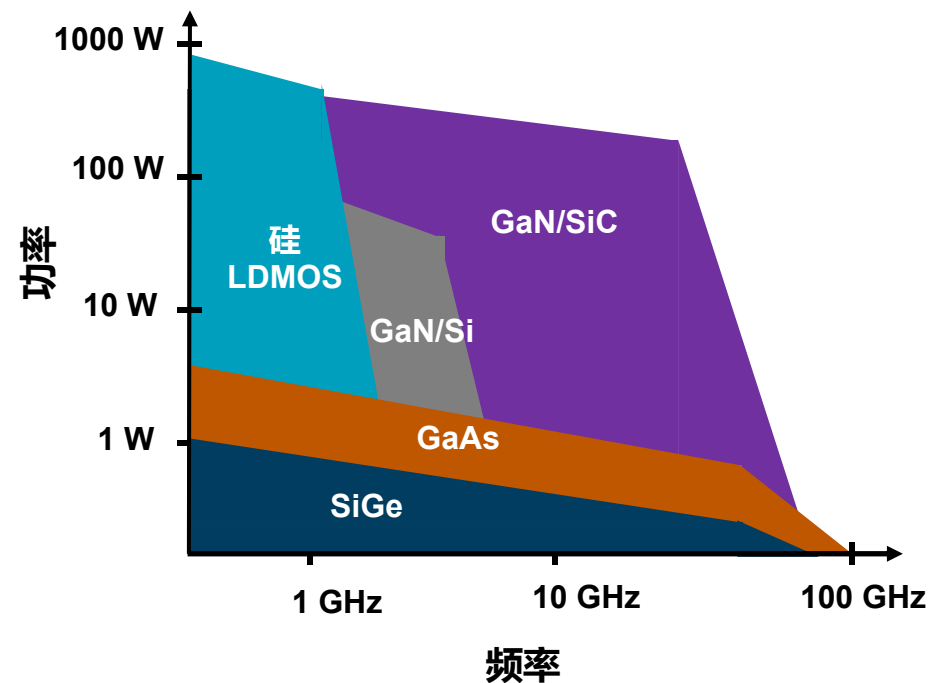
▶ 航天



*所有这些应用都得益于
更高功率和更高PAE*

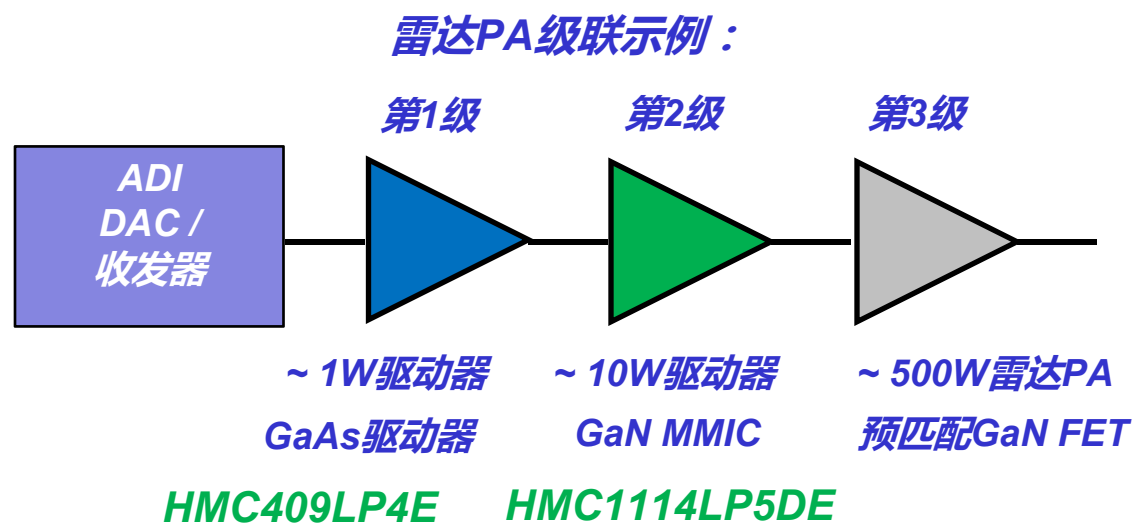
商用工艺技术比较

- ▶ SiGe正在向更高功率和频率拓展，但仍比不上GaAs的功率/线性度/PAE
- ▶ GaAs是过去20年微波通信的主要技术
- ▶ 硅LDMOS对~4GHz以下的窄带应用非常有利
- ▶ GaN-Si支持当今6GHz以下的应用（高衬底损耗限制了工作频率）
- ▶ GaN-SiC在功率和频率方面的市场覆盖率最广



何时使用何种技术

- ▶ 何时使用每种PA技术：
 - 取决于频率和输出功率：
 - 低频可以是L/S波段的预匹配FET
 - X波段及更高频率更依赖于MMIC
 - 1W及以下通常是GaAs PA。它足够满足需求。
 - 10W驱动器为GaN MMIC多级PA
 - 500W输出器件可以是GaN预匹配FET





AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

半导体器件特性：GaN与GaAs

GaN半导体器件特性：GaN与GaAs

- ▶ GaN的带隙电压高于GaAs
 - 更高的击穿电压：
 - 允许更高供电电压轨，以满足更高的功率需求：
 - GaN通常为28-50V，而GaAs为5-7V
 - 同等尺寸的器件具有更高的功率容量 = 更高的功率密度
- ▶ GaN的介电常数低于GaAs
- ▶ SiC上GaN的热导率高于GaAs：
 - 器件中的热可以更容易地传导到周围环境中

技术:	带隙(eV):	介电常数:	热导率(W/cm-K):
Si	1.12	11.9	1.5
GaAs	1.42	13.1	0.46
Si上GaN	3.4	9.7	1.7
SiC上GaN	3.4	9.7	4



AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

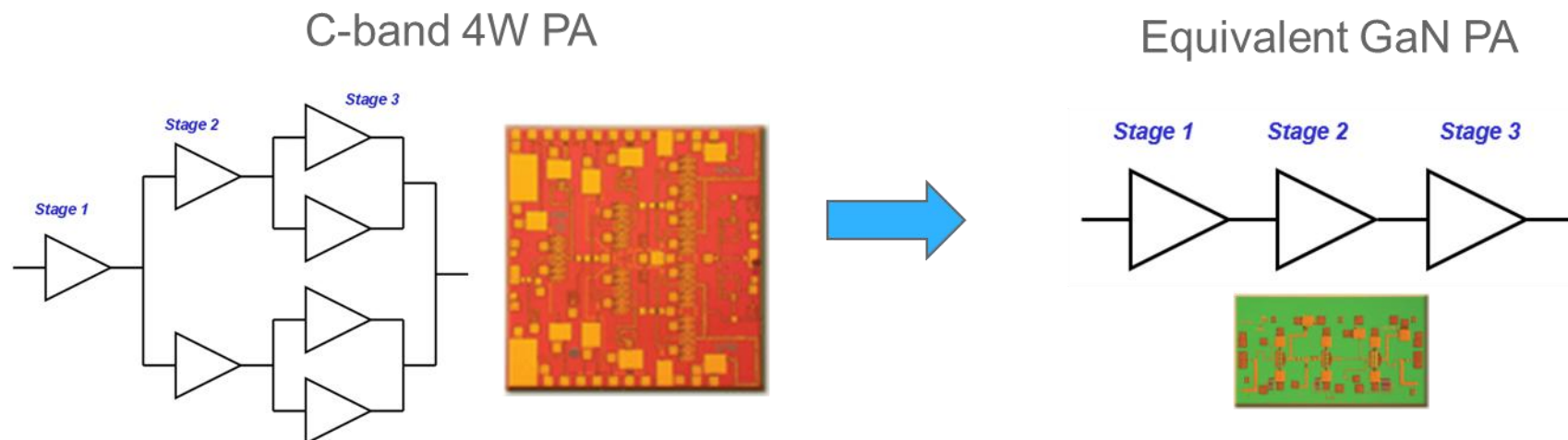
GaN优势

GaN优势

- ▶ 更高功率附加效率(PAE)：
 - 更高电压导致同等功率下的电流更低 - 电阻损耗更低
 - 电池使用时间更长
- ▶ 更高功率密度 - 对元件间距很小的相控阵有利
- ▶ 更简单/更便宜的散热器
- ▶ 更高的RF引脚耐用性 - 对接收机LNA应用有利
- ▶ 百万小时MTTF的最高通道温度更高：
 - GaN AMR为225°C，而GaAs为150°C或175°C
- ▶ 单位功率成本更低，更简单：
 - GaN单芯片可达到100W，而GaAs只能达到5-8W

GaN优势

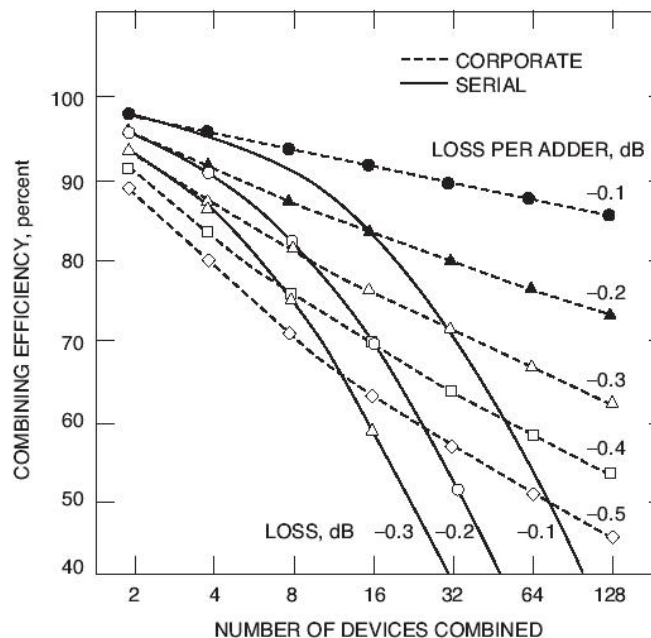
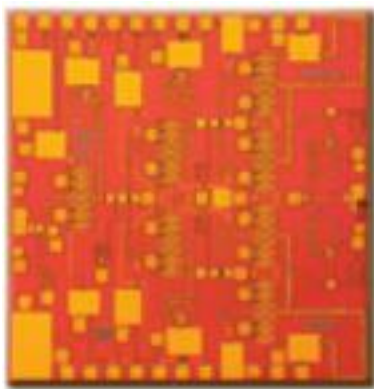
- ▶ IC尺寸较小：
 - GaAs PA与GaN PA：
 - GaN PA的功率密度是GaAs PA的大约5倍
 - 10GHz时GaAs PA的 $P_{sat} = \sim 1 \text{ W / mm}$
 - 10GHz时GaN PA的 $P_{sat} = \sim 5 \text{ W / mm}$
 - 简化设计
 - 缩小IC尺寸
 - 消除合路损失



GaN优势

- ▶ 合路损失更低：
 - 鼓励在高功率合路应用中使用GaN：
 - 当器件并行工作以实现高功率时，损耗迅速增加
 - 每个合路器均有电抗性和电阻性损耗，对PAE不利
 - 理想情况下，由一个高功率器件提供全部功率
 - 高功率有不同的意义：对一些应用，10W是高功率；对另外一些应用，kW才是高功率
 - 仍然很难从单个FET中获得1kW功率，特别是在较高频率下

联合合并示例

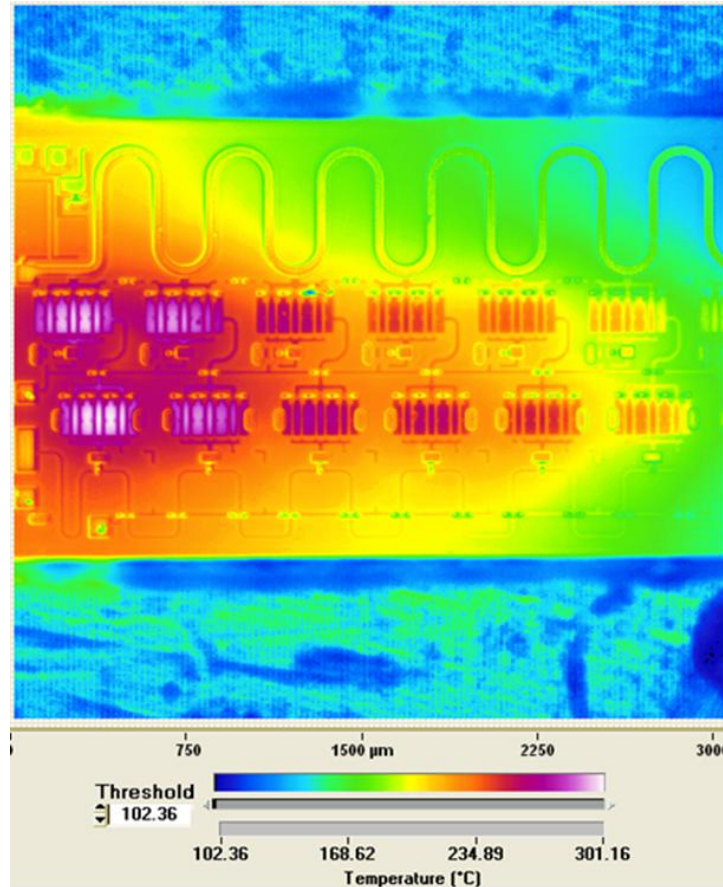


GaN与GaAs的比较及实施相关的挑战

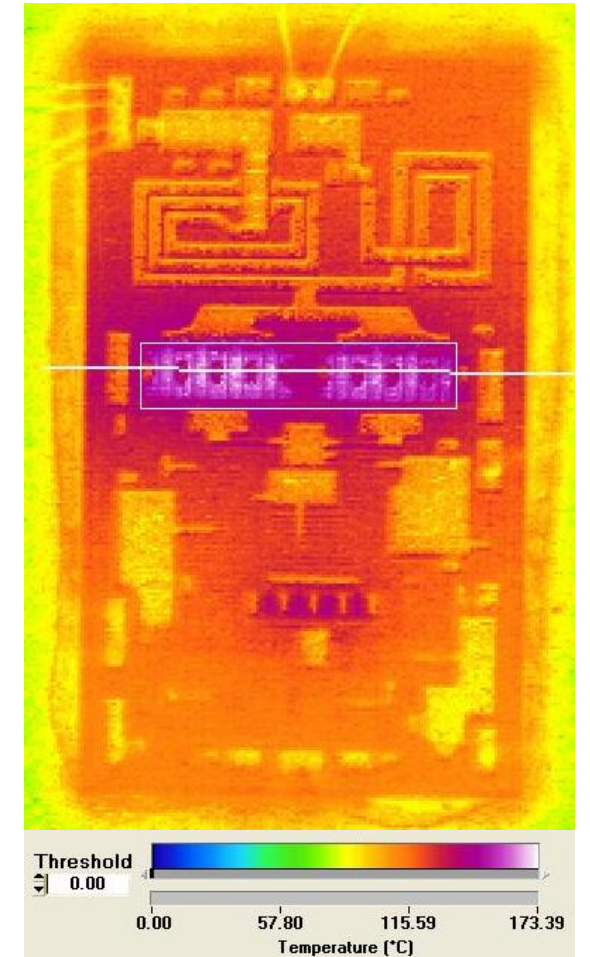
GaN与GaAs的比较及实施相关的挑战

- ▶ GaN的热管理可能更为重要
- ▶ 性能和可靠性依赖于装配质量
- ▶ 糟糕的装配质量可能引起较大的温度梯度：
 - 例如，GaAs为几十°C，而GaN为100°C以上
- ▶ 热传递：热传导
- ▶ 主要热路径：从通道（沟道）向下到达芯片底部

糟糕的共源共栅分布式放大器级联：



良好的双级单端放大器级联：



GaN与GaAs的比较及实施相关的挑战

- ▶ 衬底材料和散热器方案会影响通道（沟道）温度！
- ▶ 通道（沟道）温度计算：
 - $Channel_Temperature = Operating_Temperature + (P_{diss} * Thermal_Resistance)$
 - 工作温度定义在芯片底部或封装底座（接地板）
- ▶ 基材的CTE应与芯片的CTE相似
- ▶ 芯片贴装选项：
 - 共晶焊剂：
 - 金/锡 80%/20%。易产生空隙。
 - 环氧树脂：
 - 导电且导热（“高导热环氧树脂”）。结果像共晶金/锡一样好。
- ▶ 环氧树脂有一些对GaN芯片贴装非常有利的特性：
 - 体热导率典型值为50到120 W/m-K
 - 银颗粒或薄片，一旦固化，可获得优异的导电和导热性能

GaN与GaAs的比较及实施相关的挑战

- ▶ 目标是无空隙的芯片贴装.....尤其是在有源器件下方
- ▶ 空隙会阻止热量离开芯片，提高通道（沟道）温度，降低性能
- ▶ 避免出现空隙：
 - 使用适量的环氧树脂
 - 逐渐升温至固化温度（取决于环氧树脂）
 - 遵循环氧树脂制造商的说明
- ▶ 对于封装器件，封装底部接地和安装表面之间的电接触和热接触很重要：
 - 目标是无空隙的接触（同芯片一样）

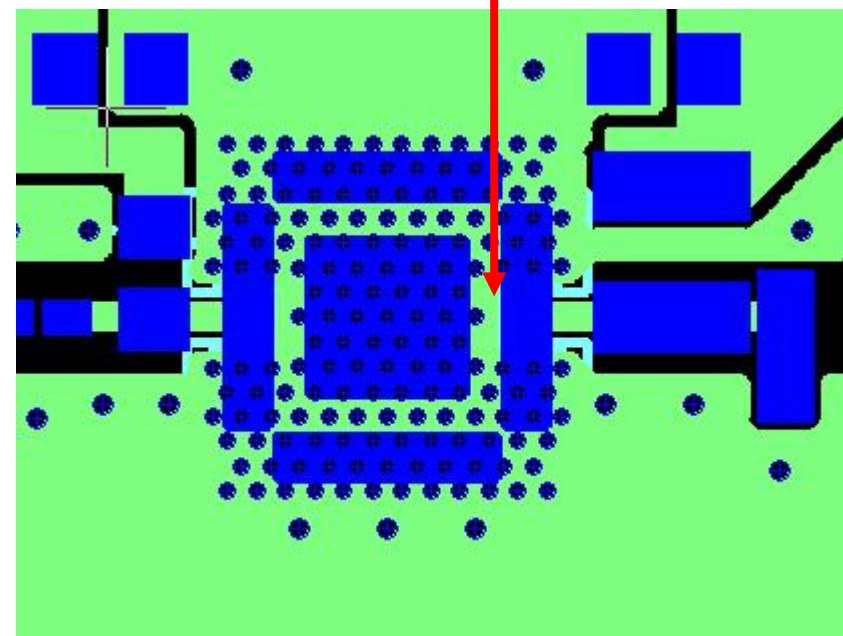
GaN与GaAs的比较及实施相关的挑战

▶ SMT塑料封装GaN器件：

- 焊剂模板有助于确保准确和充分的覆盖
- 高密度PCB过孔确保：
 - 电气接地连续性
 - 传热
 - 金属填充的过孔改善传热
 - PCB中嵌入的金属块可进一步改善传热

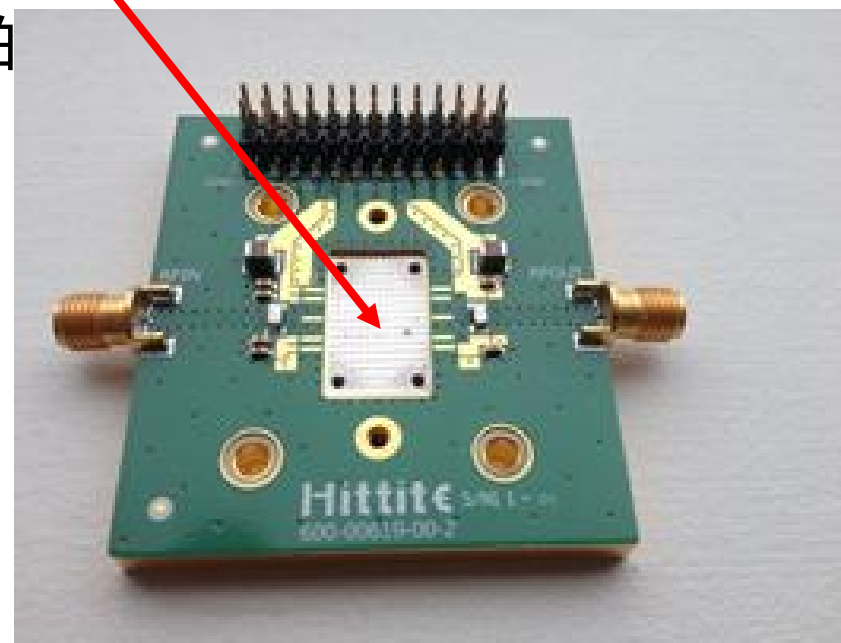
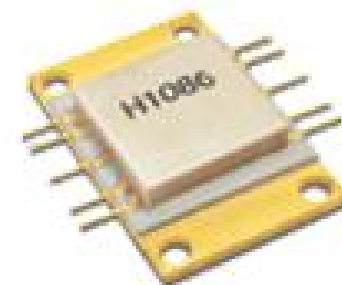


HMC1099LP5DE
EVB接地过孔



GaN与GaAs的比较及实施相关的挑战

- ▶ 法兰安装GaN器件：
 - PCB连接到铜散热器
 - PCB上有切口，让法兰可以接触散热器
 - 法兰和散热器之间是热介质材料(TIM)，可以是：
 - 由铟/锡合金制成的可压缩金属片
 - 或填充银颗粒的导热油脂
 - 这两类TIM的作用是帮助减少法兰和散热器之间的空隙



GaN与GaAs的比较及实施相关的挑战

▶ 每种TIM都有其优点和缺点：

■ 可压缩金属片（首选）：

- 优点：更好的电气和热性能，可重复使用，无需清理
- 缺点：成本较高

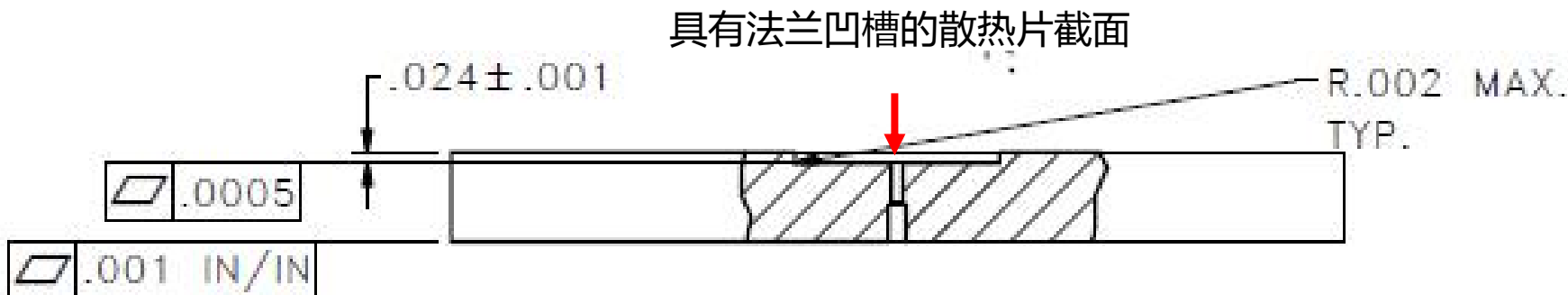
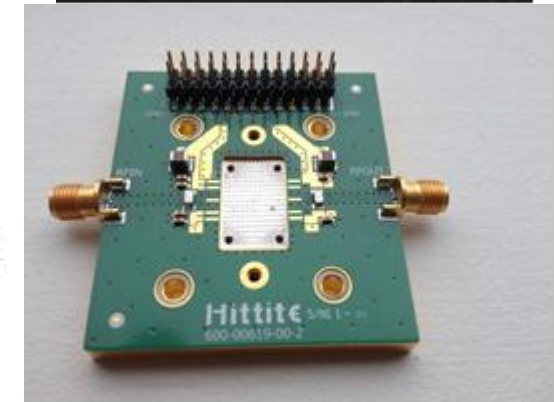
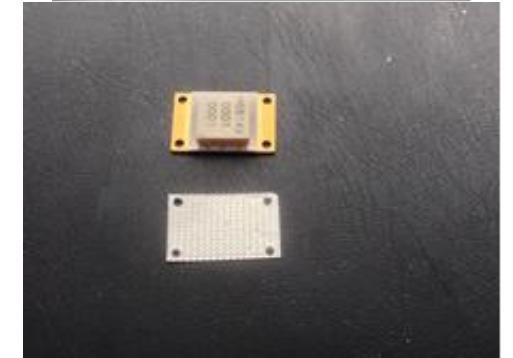
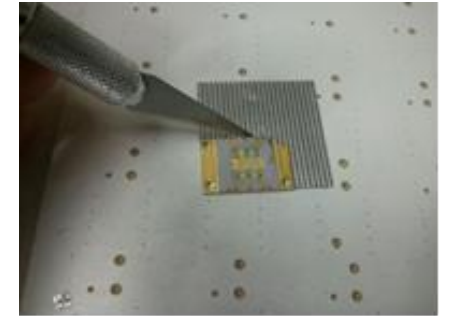
■ 导热油脂（次选）：

- 优点：成本更低
- 缺点：电气和热性能较差，可能发生泵出迁移(pump-out migration)，留下残留物需要清理



GaN与GaAs的比较及实施相关的挑战

- ▶ 采用可压缩金属片的GaN法兰安装机械连接：
 - 贴合度和覆盖率对热接触和电接触很重要
 - 用螺丝将金属片和法兰固定到位后，封装引线应略高于PCB走线：
 - 小心拧紧螺丝，不要损坏封装的氧化铝部分。
 - 一旦固定，引线应焊接到PCB走线，以确保形成电气连接
 - 根据PCB厚度的不同，散热器可能需要留出一个凹槽以确保适当贴合



GaN与GaAs的比较及实施相关的挑战

- ▶ 直流偏置的工作循环：
 - 如果不需要连续放大，那么直流偏置可以一定的占空比工作
 - 降低<P_{diss}>和<通道（沟道）温度>，提高MTTF
 - 将直流偏置的占空比从100%降低到25%可以：
 - 将<P_{diss}>降低最多4倍
 - 将<通道（沟道）温度>升幅降低最多4倍
 - 实现周期工作的两种常见方法：
 - 脉冲式提供漏极偏置电压，同时保持栅极偏置电压恒定
 - 脉冲式提供栅极偏置电压，同时保持漏极偏置电压恒定
 - 由于需要高电压和高电流，漏极脉冲可能会变得很复杂
 - 可能需要功率开关器件和大型电容，这会增加应用的复杂性和尺寸

GaN与GaAs的比较及实施相关的挑战

- ▶ 具有高偏置电压的GaN需要更高电压的旁路电容：
 - 对于最大8V的栅极线路一般不会有问题
 - 对于28V至50V的漏极线路通常会有问题：
 - 使用2倍安全系数的话，可能需要100V电容，难以找到这样的uF范围极化电解电容
 - 所以没必要使用极化电解电容，而是使用额定电压为100V的陶瓷电容
 - 我们针对HMC8205BF10评估板就是这样做的：

HMC8205BF10

0.3 GHz to 6 GHz, 35 W, GaN
Power Amplifier

FEATURES

High P_{SAT} : 46 dBm
High power gain: 20 dB
High PAE: 38%
Instantaneous bandwidth: 0.3 GHz to 6 GHz
Supply voltage: $V_{DD} = 50\text{ V}$ at 1300 mA
10-lead LDCC package

APPLICATIONS

Military jammers
Commercial and military radar
Power amplifier stage for wireless infrastructure
Test and measurement equipment

APPLICATION CIRCUIT

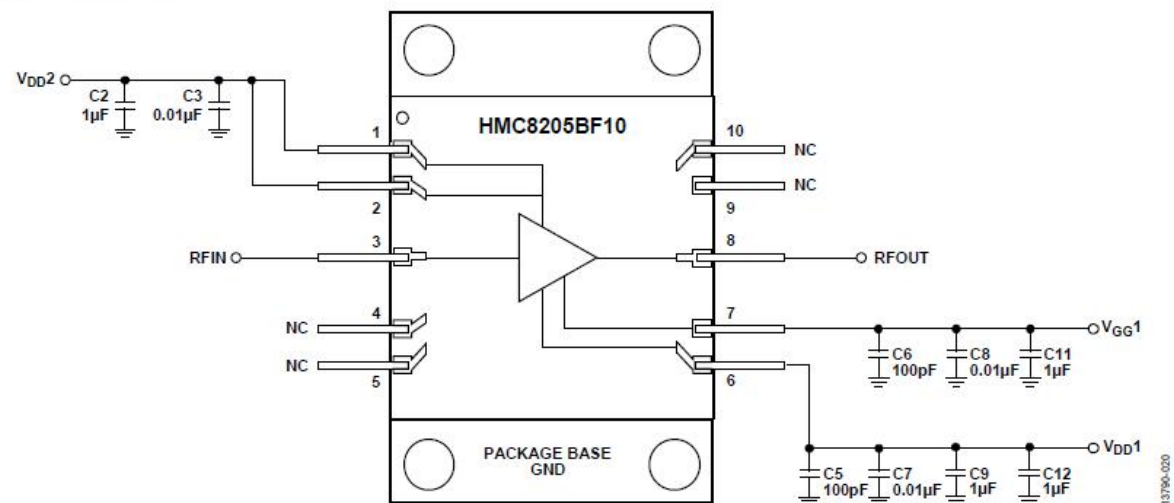
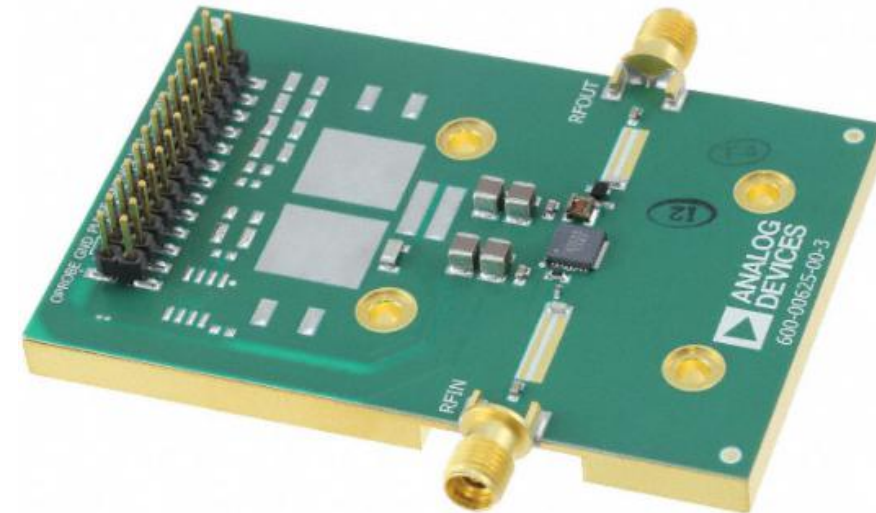
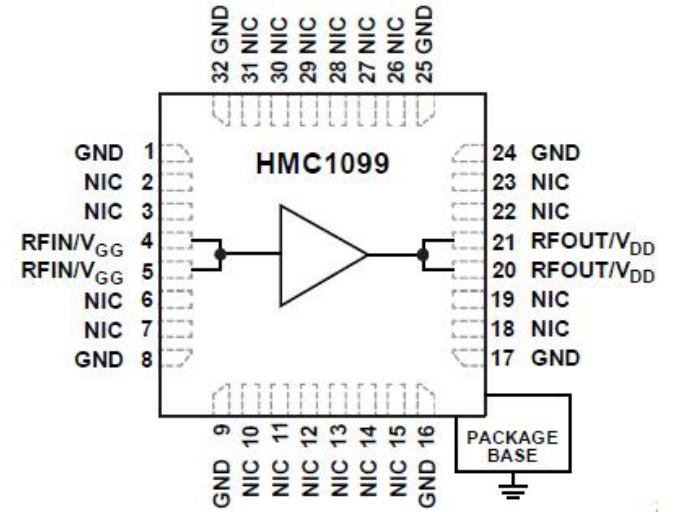
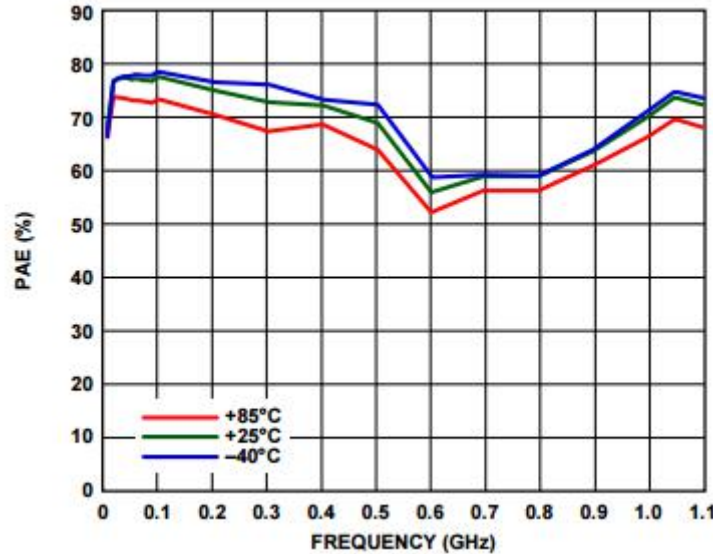
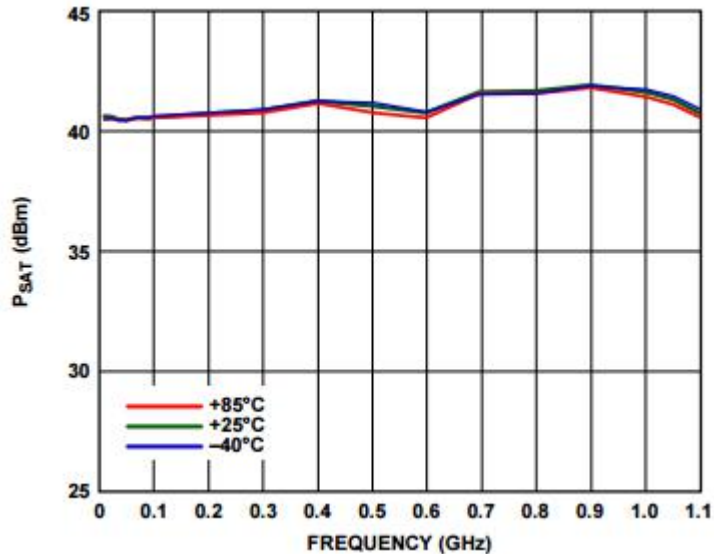


Figure 39. Typical Application Circuit

GaN – 结束语

GaN – 结束语

- ▶ GaN的价值定位 - 功率/带宽/PAE同时具备：
 - 示例：HMC1099LP5DE
 - GaN 10 W PA覆盖10 MHz至1100 MHz，匹配50 Ω
 - ~70% PAE ($P_{sat} > 10$ W)
 - 适合通用应用的CW或脉冲
 - SMT封装组装简单
 - GaN提供LDMOS和GaAs无法提供的特性：功率/带宽/PAE



GaN – 结束语

- ▶ GaN的价值定位 - 功率/带宽/PAE同时具备：
 - 示例：HMC8205BF10
 - GaN 35 W PA覆盖0.3 GHz至6.0 GHz，匹配50 Ω
 - ~38% PAE ($P_{sat} = 35W$)
 - CW或脉冲：军用干扰机、雷达、无线基础设施、测试测量应用
 - 法兰安装封装提供出色的热性能
 - GaN提供LDMOS和GaAs无法提供的特性：功率/带宽/PAE

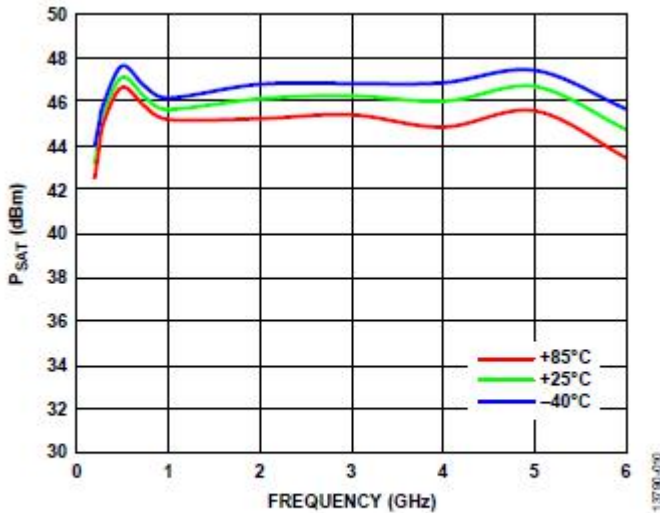
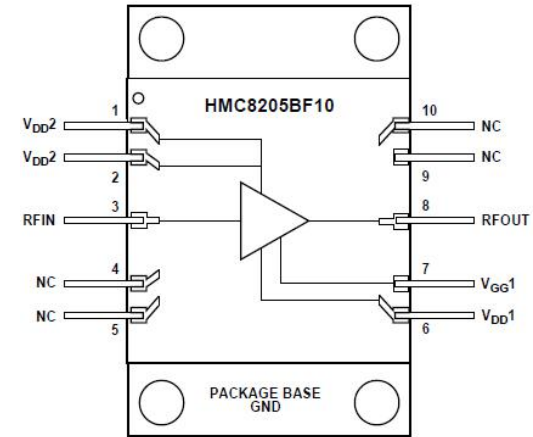


Figure 20. P_{SAT} vs. Frequency at Various Temperatures; Input Power Set to 26 dBm

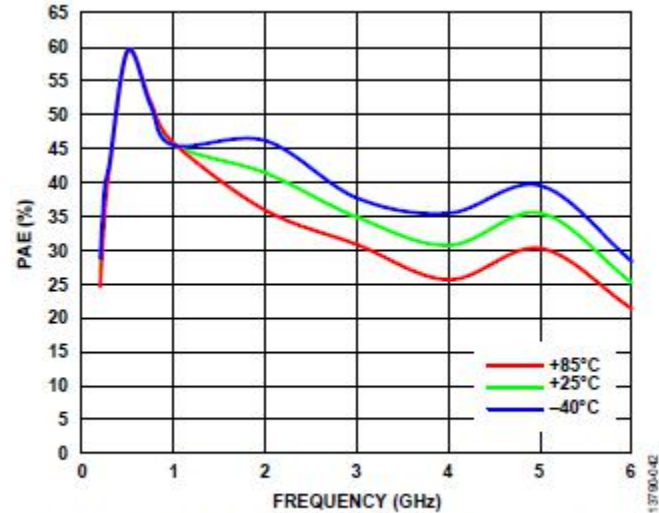


Figure 28. PAE vs. Frequency at Various Temperatures at Input Power Set to 26 dBm

GaN – 结束语

▶ GaN的价值定位 - 功率/带宽/PAE同时具备：

- 示例：HMC1114LP5DE
- GaN 10 W PA覆盖2.7 GHz至3.8 GHz，匹配50 Ω
- ~54% PAE ($P_{sat} > 10W$)
- SMT封装组装简单
- CW或脉冲。公共移动无线电、无线基础设施、雷达、发射机、测试测量应用
- GaN提供LDMOS和GaAs无法提供的特性：功率/带宽/PAE

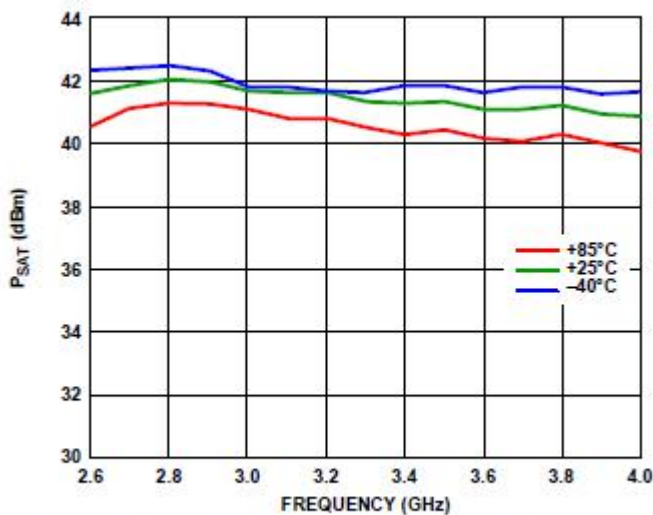
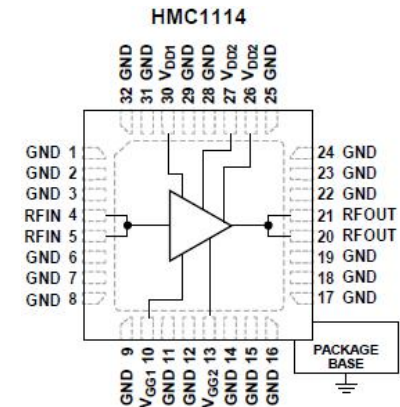


Figure 18. Saturated Output Power (P_{SAT}) vs. Frequency at Various Temperatures, Measurement Taken at $P_W = 16$ dBm

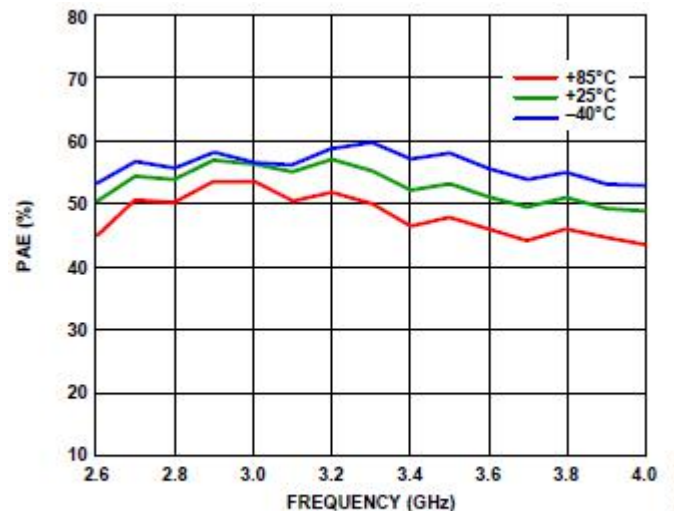


Figure 34. Power Added Efficiency (PAE) vs. Frequency at Various Temperatures, $P_W = 16$ dBm



谢谢观看！

- ▶ **ADI中国地区技术支持热线：4006 100 006**
- ▶ **ADI中国地区技术支持信箱：**
china.support@analog.com
- ▶ **ADI样片申请网址：**
<http://www.analog.com/zh/sample>