

AN_05

GaN HEMT 热特性使用指南

1. 目的

本文档的目的在于帮助和引导使用我公司氮化镓高电子迁移率功放管的用户正确理解 datasheet 中所列出的热阻值。文档主要介绍了我公司的热阻计算方法以及不同封装形式的产品、不同应用场景、不同工作状态的热阻分析。

2. 说明

2.1 影响 MTTF 的重要因素

T_j (结温) 是影响器件性能和可靠性的关键因素, 通常利用热阻来计算器件的工作结温。然而, 从 T_j 的计算公式 $T_j = R_{\theta jc} \times P_{diss} + T_c$ 可知, 在 T_c (壳温) 一定的情况下 (T_c 与客户的应用环境有关, 最恶劣的环境是 85°C), T_j 就由热阻和热功耗决定, 然而, 器件的热阻也不是固定值, 它随器件热功耗的变化而改变。所以, 我们说结温制约器件的性能, 实际上是忽略了结温产生的源头即热功耗, 更准确地说, 影响 MTTF 的重要因素应该是器件具体工作状态下的热功耗!

2.2 精确的热阻值

由于 GaN HEMT 器件的一个重要特点是微区高热, 因而很多现有的结温检测技术的检测结果都会存在较大的误差。目前应用最为广泛的 GaN HEMT 结温检测技术为显微红外热成像测温技术, 但是其空间分辨率较低, 而器件真实的热源宽度小于 $1\ \mu\text{m}$, 并且热源是埋在多层金属及钝化层的下方, 红外测试技术就会低估器件的峰值结温, 那么计算出的热阻值也比实际值要低。

2.3 “随意的”简单比较

一些半导体公司产品 datasheet 中给出的是模拟值 (峰值结温), 一些公司给出的是红外测试值 (表面的峰值温度, 比峰值结温低很多), 一些公司给出的是电学法测试值 (沟道内的平均温度, 比峰值结温低很多); 另外, 连续波和脉冲下甚至是不同脉冲条件下热功耗差异较大, 因此不能将不同测试条件以及不同应用条件下的热阻值拿来简单的相互比较。

3. 热阻计算方法介绍

我公司使用有限元分析来得到精确的沟道温度, 从而得到精确的 $R_{\theta jc}$, 当然, 模型建立的过程中, 我们通过统计分析的方法, 将模拟结果与红外测试结果进行了对比, 以验证模型的准确性, 下面对校准方法进行介绍。

器件模型如图 1, 由于结构的对称性, 我们认为 x 方向和 y 方向上温度是对称的, 因此, 为了节省计算资源, 我们采用了四分之一结构模型。设置好材料参数以及边界条件、热功耗之后, 仿真得到器件内部温度分布。

红外热像仪测试原理如图 2。测试时将开帽后的器件（DUT）放置在特定夹具上，然后将其放置在红外热像仪的恒温平台上。测试得到器件的表面温度分布，壳温通过热电偶测得。

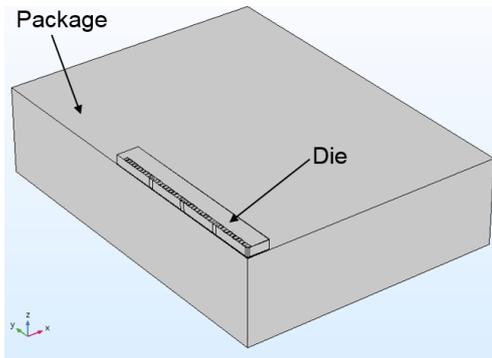


图 1 FEA 1/4 模型截面图

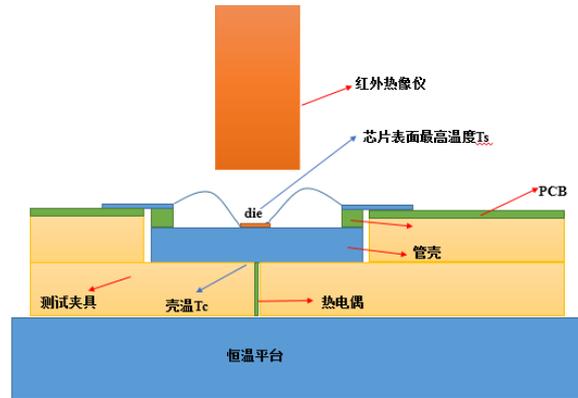


图 2 红外热像仪测试原理图

我公司所使用红外热像仪的放大倍数为 15 倍，分辨率为 2.7 μm ，也就是说红外测得的值是真实的 2.7 μm 范围内的平均值，因此我们在模拟得到的峰值温度点 2.7 μm 范围内取了 4 个点，然后取其温度的平均值（定义为 T_{average} ），认为是红外测试能够测到的最高温度（定义为 T_{surface} ）。模型验证过程中，我们分别取了 3 款产品（芯片尺寸不同），每款取了不同 lot 的多个器件进行红外测试，并将结果与模拟结果利用上述方法拟合，最终三款不同尺寸产品的 T_{average} 与 T_{surface} 拟合度都非常高。

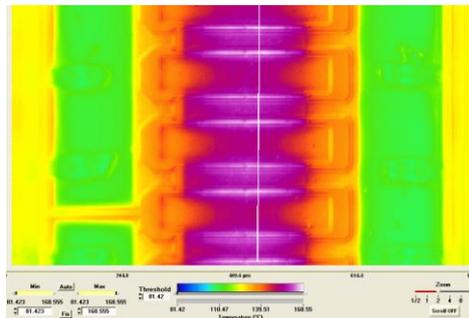


图 3 IR 测试图像

4. 不同工作状态热阻分析

功放管除了应用在 CW 或者 WCDMA 条件下之外，也会在脉冲下应用，实际应用中由于脉冲宽度、占空比不一样同样会引起功放管热特性的差异。这是因为在不同脉冲宽度和占空比下，器件自热效应导致的瞬态温升即瞬态热阻也会发生变化，脉宽越宽或者占空比越大，热阻越大，器件结温也就越高，这将导致器件性能在不同应用条件下出现差异。

5. 不同封装形式/应用场景热阻分析

由于裸芯产品不可能独立使用，也要封装在特定的管壳上，因此对裸芯产品，我们也是基于某一封装结构来模拟其热阻值的。该热阻值可以认为由三部分组成， $R_{\theta jc} = R_{\text{die}} + R_{\text{die attach}} + R_{\text{package}}$ 。尽管公式很简单，但是器件总的热阻是由许多复杂的传热机理形成，当管壳材料由 CuMoCu 变为 Cu 时，或者管壳厚度由 40 mil

变为 10 mil 时，不仅总的热阻将会发生变化，单独芯片本身的热阻也会发生变化，举例如表 1。

表 1.管壳变化对 $R_{\theta jc}$ 的影响

	$R_{\theta jc}$ ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)	R_{die} ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)	$R_{die\ attach+package}$ ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)
40 mil CuMoCu	9.2	6.1	3.1
10 mil Cu	6.9	5.2	1.7

对功放管也是同样的道理，实际应用时也需要安装在特定的散热板上，因此对功放管产品，我们也是基于某种散热板（通常是纯铜散热板）进行模拟，散热板和功放管之间认为是理想接触，散热板背面设置为固定的边界温度。但对于 DFN 封装形式的功放管，一般是通过 Solder 焊接到 PCB 散热板上，纵向结构图如图 4，那么就需要考虑 Solder 的热导率、Solder 的空洞率、PCB 内散热孔的尺寸、间距、孔内填充物的热导率等，这些都会对功放管的结温有很大的影响，举例如表 2。

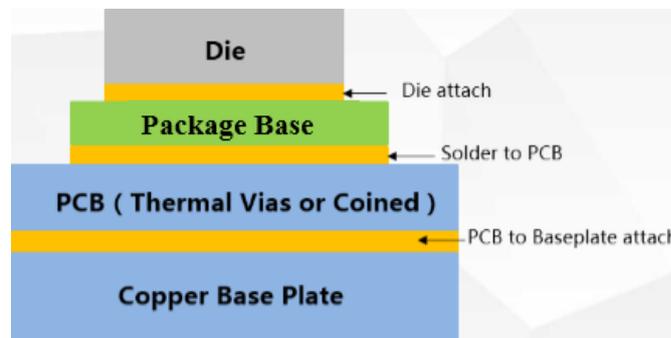


图 4 DFN 封装功放管的热模型

表 2.散热孔尺寸、间距对热阻和结温的影响

	T_a ($^{\circ}\text{C}$) * 设定的边界条件 (散热板下表面温度)	T_c ($^{\circ}\text{C}$) * 模拟的 PA 底 面最高温度	T_j ($^{\circ}\text{C}$) * 模拟的峰值 结温	$R_{\theta ja}$ ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)	$R_{\theta jc}$ ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)
散热孔半径 300 μm , 间距 1000 μm	85	159	231	15.4	7.6
散热孔半径 300 μm , 间距 500 μm	85	125	191	11.2	7.0

6. 结论

本文档指出了不同应用条件下(不同热功耗、不同封装形式、不同应用场景)器件的热阻不同，导致结温不同、MTTF 就有差异，并且介绍了我司产品热阻的计算方法，客户在使用这些数据进行可靠性分析时需要考虑具体应用条件。

7. 免责声明

本档仅作为应用参考，能讯不对信息使用的准确性或完整性作出任何明示或暗示性的陈述或保证，也不对该信息的后果承担任何责任。

能讯保留本档内容的更改权，恕不另行通知。客户在订购能讯产品前，应获取最新版本资料，并验证相关信息是否最新和完整。

任何半导体产品特定条件下都有一定的失效或发生故障的可能，客户有责任在使用能讯产品进行系统设计、试样和整机制造时遵守安全标准并采取安全措施，以避免潜在失败风险可能造成人身伤害或财产损失情况的发生。

本档所包含的信息或对该信息的任何使用，并不明示或暗示地赋予任何一方任何专利权、许可证或任何其他知识产权。

8. 联系信息

更多信息请访问: www.dynax-semi.com