

团 标 准

T/CASAS 029—2023

Sub-6GHz GaN 射频器件微波特性测试方法

Test method for microwave characteristics of Sub-6GHz GaN
radio-frequency devices

版本: V01.00

2023-06-30 发布

2023-07-01 实施

第三代半导体产业技术创新战略联盟 发布

目 次

前言.....	III
引言.....	IV
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 缩略语和符号.....	2
5 要求.....	2
5.1 通则.....	2
5.2 测试条件和环境要求.....	2
5.3 测试仪器.....	3
5.4 测试要求.....	3
6 测试方法.....	4
6.1 夹断电压测试.....	4
6.1.1 测试目的.....	4
6.1.2 测试框图.....	4
6.1.3 测试原理.....	4
6.1.4 测试程序.....	4
6.1.5 规定条件.....	5
6.2 栅-源泄漏电流测试.....	5
6.2.1 测试目的.....	5
6.2.2 测试框图.....	5
6.2.3 测试原理.....	5
6.2.4 测试程序.....	5
6.2.5 规定条件.....	5
6.3 栅-漏泄漏电流测试.....	6
6.3.1 测试目的.....	6
6.3.2 测试框图.....	6
6.3.3 测试原理.....	6
6.3.4 测试程序.....	6
6.3.5 规定条件.....	6
6.4 源-漏泄漏电流测试.....	6
6.4.1 测试目的.....	6

6.4.2 测试框图	6
6.4.3 测试原理	6
6.4.4 测试程序	6
6.4.5 规定条件	7
6.5 栅-源二极管正向导通电压测试（适用时）	7
6.5.1 测试目的	7
6.5.2 测试框图	7
6.5.3 测试原理	7
6.5.4 测试程序	7
6.5.5 规定条件	7
6.6 额定增益测试	7
6.6.1 测试目的	8
6.6.2 测试框图	8
6.6.3 测试原理	8
6.6.4 测试程序	8
6.6.5 规定条件	8
6.7 饱和功率测试	9
6.7.1 测试目的	9
6.7.2 测试框图	9
6.7.3 测试原理	9
6.7.4 测试程序	9
6.7.5 规定条件	9
6.8 额定效率测试	9
6.8.1 测试目的	9
6.8.2 测试框图	9
6.8.3 测试原理	10
6.8.4 测试程序	10
6.8.5 规定条件	10
附录 A（规范性附录） 测试结果记录表格示例	11

前　　言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由北京第三代半导体产业技术创新战略联盟标准化委员会（CASAS）制定发布，版权归 CASAS 所有，未经 CASAS 许可不得随意复制；其他机构采用本文件的技术内容制定标准需经 CASAS 允许；任何单位或个人引用本文件的内容需指明本文件的标准号。

本文件起草单位：中国电子科技集团公司第十三研究所、河北博威集成电路有限公司、北京国联万众半导体科技有限公司、中兴通讯股份有限公司、西安电子科技大学、河北北芯半导体科技有限公司、苏州能讯高能半导体有限公司、北京第三代半导体产业技术创新战略联盟。

本文件主要起草人：默江辉、郭跃伟、刘相伍、刘建利、郑雪峰、迟雷、裴轶、徐瑞鹏。

引　　言

随着第五代移动通信技术（5G）的快速发展，Sub-6GHz 频段的 GaN 射频器件已经广泛部署在 5G 基站中，用以增加集成度并增强系统的性能，因此正确测试和真实反映 GaN 射频器件的微波特性成为系统设计和应用的重要环节。针对以上实际需求，制定 Sub-6GHz GaN 射频器件微波特性的测试方法以及相关规范，对研发生产、性能评估、量产测试和应用评价等具有重要指导意义。

Sub-6GHz GaN 射频器件微波特性测试方法

1 范围

本文件描述了 Sub-6GHz GaN 射频器件微波特性的详细测试方法，用户根据需求与实际情况参考使用。

本文件适用于共源组成方式的 GaN 射频器件的测试分析及质量评价。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GJB 548C—2021 微电子器件试验方法和程序

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3. 1

Sub-6GHz

5G NR 中的 FR1 频段，即处于 6GHz 以下的频率范围。

3. 2

夹断电压 pinch-off voltage

漏极电压一定，在漏极电流降低到规定低值时的栅极电压。

3. 3

栅-源泄漏电流 gate-source leakage current

漏极电压一定，在栅-源电压为规定值时的栅极电流。

3. 4

栅-漏泄漏电流 gate-drain leakage current

源极开路，在栅-漏电压为规定值时的栅极电流。

3. 5

源-漏泄漏电流 source-drain leakage current

栅极开路，在源-漏电压为规定值时的漏极电流。

3. 6

栅-源二极管正向导通电压 *gate-source diode forward conduction voltage*
漏极开路, 在栅源电流为规定值时的栅极电压。

3. 7

饱和功率 *saturation power*

当输入功率加大到某一值后, 再加大输入功率不会改变输出功率的大小, 该输出功率即为饱和功率。

3. 8

额定增益 *rated gain*

在规定的输入频率范围和规定的输入功率条件下, 输出功率与输入功率之比。

3. 9

额定效率 *rated efficiency*

在规定的输入频率范围和规定的输入功率条件下, 输出功率与输入功率的差值与电源消耗功率之比。

4 符号和缩略语

下列符号和缩略语适用于本文件。

RF_{IN} : GaN 射频器件输入

RF_{OUT} : GaN 射频器件输出

V_D : GaN 射频器件漏极电压

V_G : GaN 射频器件栅极电压

η : GaN 射频器件额定效率

DUT: 被测器件 (device under test)

RF: 射频 (radio frequency)

5 要求

5. 1 通则

本文件中所有测试方法遵从以下通则:

- a) GaN 射频器件的测试框图, 主要考虑射频仪表的连接, 仅为示意图, 具体测试应以实际情况为准;
- b) 仪表设置中涉及到的具体参数, 以实际测试时 GaN 射频器件技术手册为参考依据;
- c) 对于 GaN 射频器件的某项测试项目, 仅列举常用测试方法, 不排除其他测试方法的正确性。

5. 2 测试条件和环境要求

测试条件和环境要求如下:

- a) 除另有规定外, 所有测试应按照 GJB 548C-2021 4.5 规定条件下进行。为保证试验的准确性, 应严格控制这些条件;
- b) 所有测试环境条件应无有害气体、机械振动及强电磁干扰。

5.3 测试仪器

常用仪器和试验设备见表1, 仪器、设备应满足如下要求:

- a) 测试所使用的仪器应按照相关要求定期进行检定或者校准, 并在有效期内使用;
- b) 仪器的测量范围应满足被测GaN射频器件的要求;
- c) 设备应采取必要的散热措施;
- d) 测试参数的最大允许误差与测试仪器准确度的比值通常情况下不小于10:1, 特殊情况下不小于4:1, 不能有效达到4:1时, 应说明情况并形成文件;
- e) 搭建完成的测试系统应进行校准和验证, 确认能满足测试要求。

表1 常用测试仪器和设备

名称	技术要求	用途
信号源	输出频率范围、准确度、功能满足产品测试要求	提供待测产品输入信号激励
示波器	带宽、采样率满足测试要求	测试输出信号波形、幅值等
半导体器件分析仪	量程、准确度、功能满足产品测试要求	测量器件的直流特性参数
电源	量程、准确度应满足产品测试要求, 含脉冲源和直流源	提供待测产品及其外围电路的工作电源
功率计	量程、准确度满足产品测试要求	测量信号的功率
S参数校准件	参数、类型满足测试系统校准要求	对测试系统进行校准
衰减器	量程、准确度满足产品测试要求	保护测试系统
耦合器	量程、准确度满足产品测试要求	按照一定比例分离信号功率
放大器	频率、增益满足测试要求	提供足够功率

5.4 测试要求

本文件中的GaN射频器件典型电路结构见图1中的虚线部分, 分别为主放大器和峰值放大器, GaN射频器件可表示其中任意一种, 虚线外部为必要的匹配网络和补偿网络, 对被测GaN射频器件的测试要求如下:

- a) GaN射频器件至少包含一组完整且正常可使用的RF(RF_{IN} 和 RF_{OUT})端口;
- b) 如有必要, 需配备外围匹配电路进行测试;
- c) GaN射频器件外观良好, 无污渍、无破损或其他异常情况;
- d) 测试结果记录按附录A的规定进行。

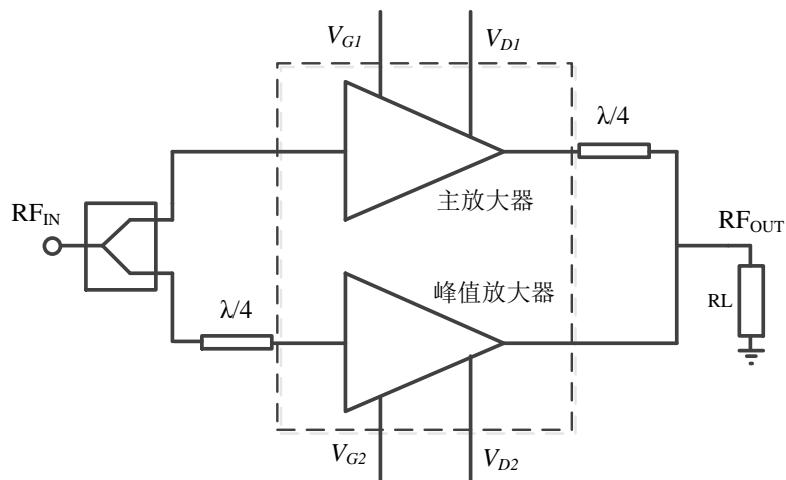


图1 GaN射频器件典型电路原理图

6 测试方法

6.1 夹断电压测试

6.1.1 测试目的

在规定条件下，测试GaN射频器件的夹断电压指标。

6.1.2 测试框图

测试框图见图2。

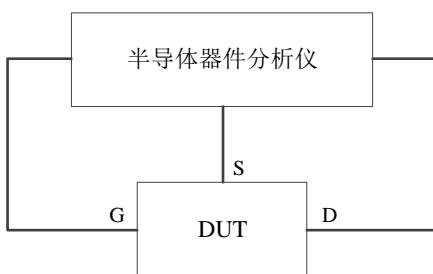


图2 夹断电压测试框图

6.1.3 测试原理

使用半导体器件分析仪对被测GaN射频器件施加规定的供电电压，测试夹断电压。

6.1.4 测试程序

应按以下程序进行测试：

- 按照图2所示连接仪器设备，搭建测试系统；
- 打开仪器设备电源，预热30 min；

- c) 将DUT的栅极、漏极和源极连接至半导体器件分析仪的对应测试端口，其他端口按照相关规定连接；
- d) 在半导体器件分析仪上设置漏极电压为规定值，设置栅极电压为初始值，设置漏极电流为目标值；
- e) 打开半导体器件分析仪开关，读取漏极电流为目标值时的栅极电压，即为夹断电压值；
- f) 记录并保存测试结果。

6.1.5 规定条件

规定条件如下：

- a) 环境温度 T_A ；
- b) 供电电压；
- c) 漏极电流。

6.2 栅-源泄漏电流测试

6.2.1 测试目的

在规定条件下，测试 GaN 射频器件的栅-源泄漏电流指标。

6.2.2 测试框图

测试框图见图 2。

6.2.3 测试原理

使用半导体器件分析仪对被测 GaN 射频器件施加规定的供电电压，测试栅-源泄漏电流。

6.2.4 测试程序

应按以下程序进行测试：

- a) 按照图2所示连接仪器设备，搭建测试系统；
- b) 打开仪器设备电源，预热30min；
- c) 将DUT的栅极、漏极和源极连接至半导体器件分析仪的对应测试端口，其他端口按照相关规定连接；
- d) 在半导体器件分析仪上设置漏极电压为规定值，设置栅-源电压为规定值；
- e) 打开半导体器件分析仪开关，读取此时状态下的栅极电流值即可；
- f) 记录并保存测试结果。

6.2.5 规定条件

规定条件如下：

- a) 环境温度 T_A ；
- b) 供电电压。

6.3 棚-漏泄漏电流测试

6.3.1 测试目的

在规定条件下，测试GaN射频器件的棚-漏泄漏电流指标。

6.3.2 测试框图

测试框图见图2。

6.3.3 测试原理

使用半导体器件分析仪对被测GaN射频器件施加规定的供电电压，测试棚-漏泄漏电流。

6.3.4 测试程序

应按以下程序进行测试：

- a) 按照图2所示连接仪器设备，搭建测试系统；
- b) 打开仪器设备电源，预热30 min；
- c) 将DUT的棚极、漏极和源极连接至半导体器件分析仪的对应测试端口，其他端口按照相关规定连接；
- d) 在半导体器件分析仪上设置漏极为开路，设置棚-漏电压为规定值；
- e) 打开半导体器件分析仪开关，读取此时状态下的棚极电流值即可；
- f) 记录并保存测试结果。

6.3.5 规定条件

规定条件如下：

- a) 环境温度 T_A ；
- b) 供电电压。

6.4 源-漏泄漏电流测试

6.4.1 测试目的

在规定条件下，测试GaN射频器件的源-漏泄漏电流指标。

6.4.2 测试框图

测试框图见图2。

6.4.3 测试原理

使用半导体器件分析仪对被测GaN射频器件施加规定的供电电压，测试源-漏泄漏电流。

6.4.4 测试程序

应按以下程序进行测试：

- a) 按照图2所示连接仪器设备，搭建测试系统；

- b) 打开仪器设备电源, 预热30 min;
- c) 将DUT的栅极、漏极和源极连接至半导体器件分析仪的对应测试端口, 其他端口按照相关规定连接;
- d) 在半导体器件分析仪上设置栅极为开路, 设置源-漏电压为规定值;
- e) 打开半导体器件分析仪开关, 读取此时状态下的漏极电流值即可;
- f) 记录并保存测试结果。

6.4.5 规定条件

规定条件如下:

- a) 环境温度 T_A ;
- b) 供电电压。

6.5 棚-源二极管正向导通电压测试(适用时)

6.5.1 测试目的

在规定条件下, 测试GaN射频器件的棚-源二极管正向导通电压指标。

6.5.2 测试框图

测试框图见图2。

6.5.3 测试原理

使用半导体器件分析仪对被测GaN射频器件施加规定的供电电流, 测试棚-源二极管正向导通电压。

6.5.4 测试程序

应按以下程序进行测试:

- a) 按照图2所示连接仪器设备, 搭建测试系统;
- b) 打开仪器设备电源, 预热30 min;
- c) 将DUT的栅极、漏极和源极连接至半导体器件分析仪的对应测试端口, 其他端口按照相关规定连接;
- d) 在半导体器件分析仪上设置漏极为开路, 设置栅-源电流为规定值;
- e) 打开半导体器件分析仪开关, 读取此时状态下的栅-源电压值即可;
- f) 记录并保存测试结果。

6.5.5 规定条件

规定条件如下:

- a) 环境温度 T_A ;
- b) 供电电流。

6.6 额定增益测试

6.6.1 测试目的

在规定条件下, 测试GaN射频器件的额定增益指标。

6.6.2 测试框图

测试框图见图3。

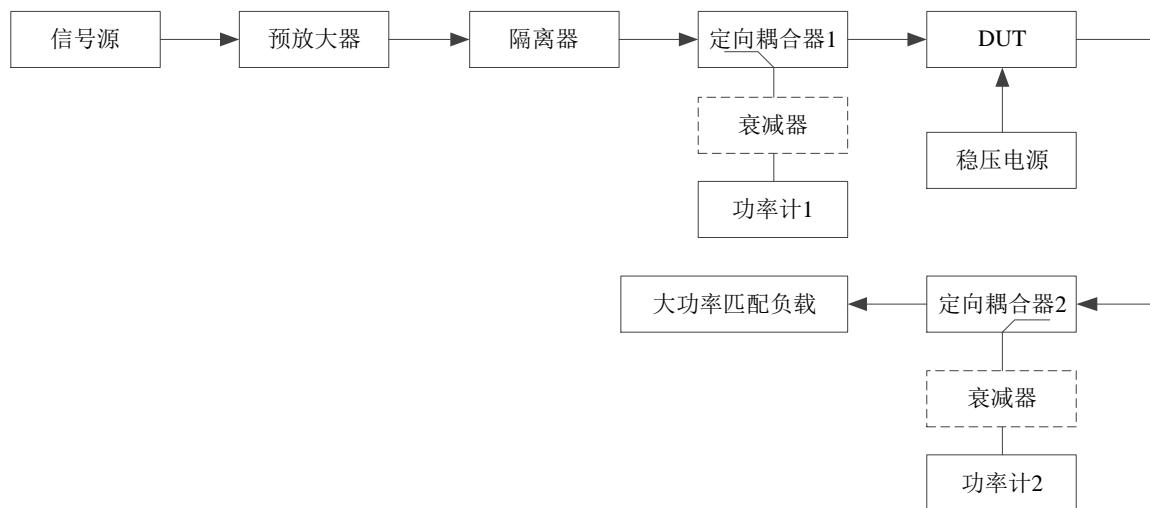


图3 额定增益测试框图

6.6.3 测试原理

对被测GaN射频器件施加规定的供电电压, 在规定的工作频段内, 使用信号源和功率计测试额定增益。

6.6.4 测试程序

应按以下程序进行测试:

- 按照图3所示连接仪器设备, 搭建测试系统;
- 打开仪器设备电源, 预热30 min;
- 对测试链路上的线缆损耗、衰减损耗和隔离损耗等进行校准, 将输入/输出的链路损耗值分别设定到功率计1和功率计2中, 此时功率计1的显示值等于DUT实际的输入功率值, 此时功率计2的显示值等于DUT实际的输出功率值;
- 对DUT施加规定电压, 在稳压电源上读取漏极静态工作电流, 保证DUT工作在规定的状态下;
- 设定信号源功率为规定值, 打开射频开关, 分别读取功率计1和功率计2的显示值, 使用功率计2的显示值减去功率计1的显示值即为额定增益值;
- 关闭射频信号, 关闭DUT电源。

6.6.5 规定条件

规定条件如下:

- 环境温度 T_A ;

- b) 供电电压;
- c) 输入功率;
- d) 频率范围。

6.7 饱和功率测试

6.7.1 测试目的

在规定条件下，测试GaN射频器件的饱和功率指标。

6.7.2 测试框图

测试框图见图3。

6.7.3 测试原理

对被测GaN射频器件施加规定的供电电压，通过信号源步进增加输入功率 P_i ，直到GaN射频器件的输出功率不再增加，读取功率计此时的功率值即为饱和功率。

6.7.4 测试程序

应按以下程序进行测试：

- a) 按照图3所示连接仪器设备，搭建测试系统；
- b) 打开仪器设备电源，预热30min；
- c) 对测试链路上的线缆损耗、衰减损耗和隔离损耗等进行校准，将输入/输出的链路损耗值分别设定到功率计1和功率计2中，此时功率计1的显示值等于DUT实际的输入功率值，此时功率计2的显示值等于DUT实际的输出功率值；
- d) 对DUT施加规定电压，在稳压电源上读取漏极静态工作电流，保证DUT工作在规定的状态下；
- e) 设定信号源功率为规定的初始值，测试信号为规定的脉冲波，打开射频开关，按照要求步进增加输入功率 P_i ，直到DUT的输出功率不再增加，读取功率计2的显示值即为饱和功率；
- f) 关闭射频信号，关闭DUT电源。

6.7.5 规定条件

规定条件如下：

- a) 环境温度 T_A ；
- b) 供电电压；
- c) 输入功率。

6.8 额定效率测试

6.8.1 测试目的

在规定条件下，测试GaN射频器件的额定效率指标。

6.8.2 测试框图

测试框图见图 3。

6.8.3 测试原理

对被测 GaN 射频器件施加规定的供电电压，在规定的条件下，按公式（1）计算额定效率。

式中：

η — 额定漏极效率, %;

P_i ——GaN 射频器件输入功率, W;

P_0 ——GaN 射频器件输出功率, W;

V_D —

I_D ——GaN 射频器件漏极电流, A。

6.8.4 测试程序

应按以下程序进行测试：

- a) 按照图3所示连接仪器设备，搭建测试系统；
 - b) 打开仪器设备电源，预热30min；
 - c) 对测试链路上的线缆损耗、衰减损耗和耦合损耗等进行校准，将输入/输出的链路损耗值分别设定到功率计1和功率计2中，此时功率计1的显示值等于DUT实际的输入功率值，此时功率计2的显示值等于DUT实际的输出功率值；
 - d) 对DUT施加规定电压，在稳压电源上读取漏极静态工作电流，保证DUT工作在规定的状态下；
 - e) 设定信号源功率为初始值，打开射频开关，步进增加信号源功率，直到功率计2的显示值为额定值，记录为 P_o ，记录此时功率计1的显示值为 P_i ；
 - f) 考虑到漏极电压的压降影响，使用示波器测量DUT漏极的实际电压，记录为 V_D ；
 - g) 读取稳压电源的DUT漏极电流，记录为 I_D ；
 - h) 按照公式（1），计算得到额定效率值；
 - i) 关闭射频信号，关闭DUT电源。

6.8.5 规定条件

规定条件如下：

- a) 环境温度 T_A ;
 - b) 供电电压;
 - c) 输入功率。

附录 A
(规范性附录)
测试结果记录表格示例

本文件涉及的测试结果记录推荐采用表 A.1 的格式, 详细情况见表 A.1。

表 A.1 常用测试仪器和设备

测试原始记录												
承制 (委托) 单位												
产品名称 型号规格					组别							
检验项目					环境 条件	温度: 湿度:						
主要测试仪器					计量有效期							
测试依据 标准条款					样品数量							
测试结论												
备注												
测试参数	夹断 电压	栅 - 源 漏 漏电流	栅 - 漏泄 漏电流	源 - 漏泄 漏电流	栅 - 源 二极管正 向导通电压	额定 增益	饱和 功率	额定 效率				
测试 条件	V_D											
	V_G											
	V_S											
	频率											
单位	V	A	A	A	V	dB	dBm	%				
样品编号	测试结果											
1#												
2#												
3#												
...												

测试者: _____ 测试日期: _____ 审核者: _____ 审核日期: _____

确认所使用测量设备的计量特性满足预期使用要求, 确认者: _____ 确认日期: _____

参 考 文 献

- [1] 3GPP TS 37.104 V16.5.0 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; NR, E-UTRA, UTRA and GSM/EDGE; Multi-Standard Radio (MSR) Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 16) 第三代合作伙伴计划 技术规范组无线接入网 NR, E-UTRA, UTRA 和 GSM/EDGE 多标准无线基站收发标准（2020-3）。
-

