

团 体 标 准

T/CASAS 030—2023

GaN 毫米波前端芯片测试方法

Measurement methods on GaN millimeter Wave front-end MMIC

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 符号.....	2
5 一般要求.....	2
5.1 通则.....	2
5.2 测试环境要求.....	3
5.3 测试工具/仪表要求.....	3
5.4 测试输入条件要求.....	3
6 测试方法.....	4
6.1 接收/发射小信号增益、输入输出端口电压驻波比、静态电流测试.....	4
6.1.1 目的.....	4
6.1.2 测试框图.....	4
6.1.3 测试程序.....	4
6.2 接收/发射通道 1dB 压缩点输出功率、发射通道动态电流测试.....	5
6.2.1 测试目的.....	5
6.2.2 测试框图.....	5
6.2.3 测试程序.....	5
6.3 接收噪声系数测试.....	5
6.3.1 测试目的.....	5
6.3.2 测试框图.....	5
6.3.3 测试程序.....	6
6.4 开关时间测试.....	6
6.4.1 测试目的.....	6
6.4.2 测试框图.....	6
6.4.3 测试程序.....	7
参考文献.....	8

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：中国电子科技集团第五十五研究所、中兴通讯股份有限公司、北京大学、苏州能讯高能半导体有限公司、中国科学院半导体研究所、中国电子科技集团第十三研究所、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：周强、龚健伟、余旭明、刘建利、王茂俊、徐瑞鹏。

引 言

针对移动通信 5G 技术发展的需要，作为 5G 基站内部重要模块的毫米波氮化镓前端芯片，在 5G 基站相关的多个领域应用越来越广泛和受到重视。因此，为了进一步加快毫米波氮化镓前端芯片的产业化发展和规模化应用，迫切需要制定毫米波氮化镓前端芯片的相关测试方法和规范，以便更加有效和专业评估毫米波氮化镓前端芯片性能不断提升的真实水平，使得质量更加可靠，应用更符合实际设计的需求。为未来 5G 移动通信技术的发展提供技术基础及支撑。

本文件借鉴了 GJB 548C—2021（微电子器件试验方法和程序）等国标的内容，并结合了近几年科研人员在毫米波氮化镓前端芯片领域的研发、测试评估以及应用方面的经验总结，对毫米波氮化镓前端芯片性能指标的测试方法进行了详细的规定，包括且不限于测试目的、测试环境、测试方法及步骤、测试工具及仪表等，但局限于当前科研人员对毫米波氮化镓前端芯片本身的认知，以及该产品生产与应用所处的发展阶段，可能还存在一些不足的地方，后续将根据研究进展不断进行完善和升级。

GaN 毫米波前端芯片测试方法

1 范围

本文件描述了 GaN 毫米波前端芯片（以下简称“GaN 前端芯片”）的测试条件、测试要求和测试方法。

本文件适用于 GaN 前端芯片的测试、质量评价。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

饱和输出功率 saturation output power

饱和工作时输出信号的功率值。

3.2

噪声系数 noise coefficient

输入端信噪比与输出端信噪比的比值。

3.3

小信号增益 small signal gain

工作在线性工作区时输出信号与输入信号的功率比，通常以分贝为单位，线性工作区指输出功率变化的分贝数与输入功率变化的分贝数相同的区域。

3.4

电压驻波比 voltage standing wave ratio

电压振幅最大值与电压振幅最小值之比。输入端的电压驻波比即为输入电压驻波比，输出端的电压驻波比即为输出电压驻波比。

3.5

动态电流 dynamic current

有输入功率条件下的工作电流。

3.6

静态电流 static current

无输入功率条件下的工作电流

3.7

开关时间 switching time

开关时间是指开关从“导通”状态转变为“截止”状态以及从“截止”状态转变为“导通”状态所需要的时间。

3.8

1dB 压缩点输出功率 output power for 1dB compression

在功率增益下降到比小信号增益低1dB时的输出功率。

4 符号和缩略语

下列符号和缩略语适用于本文件。

G_{T} : 发射通道小信号增益。

G_{R} : 接收通道小信号增益。

$I_{\text{DQ-T}}$: 发射通道静态电流。

$I_{\text{DQ-R}}$: 接收通道静态电流。

NF: 接收通道噪声系数。

$RX_{\text{-IN}}$: 接收通道输入。

$RX_{\text{-OUT}}$: 接收通道输出。

$TX_{\text{-IN}}$: 发射通道输入。

$TX_{\text{-OUT}}$: 发射通道输出。

t_{on} : 开关开通时间

t_{off} : 开关关断时间。

V_{DT} : 发射通道漏极电压。

V_{GT} : 发射通道栅极电压。

V_{DR} : 接收通道漏极电压。

V_{GR} : 接收通道栅极电压。

V_{SW} : 开关切换电压。

$VSWR_{\text{-Rin}}$: 接收通道输入端口电压驻波比。

$VSWR_{\text{-Rout}}$: 接收通道输出端口电压驻波比。

$VSWR_{\text{-Tin}}$: 发射通道输入端口电压驻波比。

$VSWR_{\text{-Tout}}$: 发射通道输出端口电压驻波比。

5 一般要求

5.1 通则

本文件中所有测试方法应按照以下通则：

- GaN 前端芯片的测试连接图，主要考虑射频仪表的连接，仅为示意图；
- 仪表设置中涉及到的具体参数，以实际测试时 GaN 前端芯片具体情况为参考依据；
- 某项 GaN 前端芯片指标的测试，仅列举常用测试方法，不排除其他测试方法的正确性；

d) 本文件中在各章节出现的<A>、、<C>等参数代号，无相关性。

5.2 测试环境要求

除另有规定外，应在下列环境中进行测试：

- a) 测试环境温度要求为 $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 测试环境相对湿度不超过 65 % RH。

5.3 测试工具/仪表要求

本文件中测试工具/仪表要求如表 1 所示。

表1 测试工具/仪表要求

测试工具/仪表	推荐性能要求
大功率衰减器	频率范围至少满足50 GHz，功率要求至少10 W，衰减值推荐为30 dB。
矢量网络分析仪	频率范围至少满足50 GHz，输出功率不小于5 dBm且动态范围大于等于50 dB。
直流稳压电源	电源供电电压推荐不小于28 V，供电电流推荐不小于10 A。
频谱仪	频率范围至少满足50 GHz，至少包含毫米波信号所需的各类模板。
功率计	频率范围至少满足50 GHz，功率检测至少大于27 dBm。
信号源	频率范围至少满足50 GHz，至少可输出单音信号。
脉冲信号发生器	脉宽范围至少满足100 ns，输出电平不小于5 V电压。
耦合器	频率范围至少满足50 GHz，功率要求至少40 W，耦合度推荐为40 dB。
隔离器	频率范围至少满足50 GHz，隔离度至少大于30 dB。型号与版本以实物版本为准。

5.4 测试输入条件要求

本文件中结合图 1 的 GaN 前端芯片电路原理图，对被测 GaN 前端芯片的测试输入条件要求如下：

- a) GaN 前端芯片包含完整正常可使用 TX_IN 和 TX_OUT 端口以及 RX_IN 和 RX_OUT 端口；
- b) GaN 前端芯片的供电单元可保证功放正常供电，正常供电后 GaN 前端芯片静态电流显示正常；
- c) GaN 前端芯片的开关控制单元可正常控制功放开关（包含打开和关闭）；
- d) GaN 前端芯片外观良好，无破损或其他异常情况。

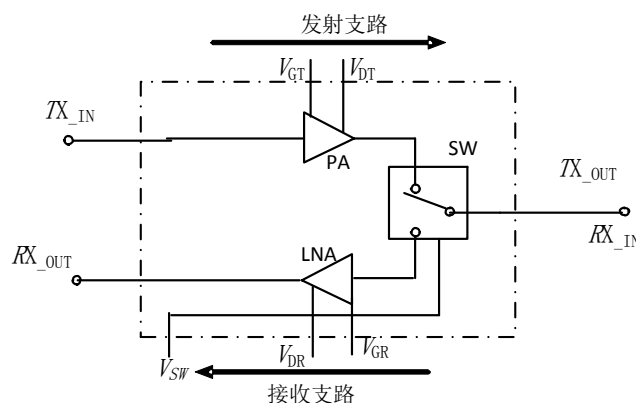


图1 前端收发芯片电路原理图

6 测试方法

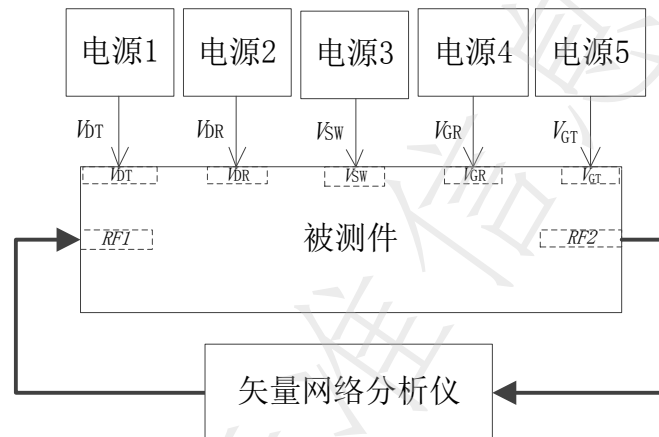
6.1 接收/发射小信号增益、输入输出端口电压驻波比、静态电流测试

6.1.1 目的

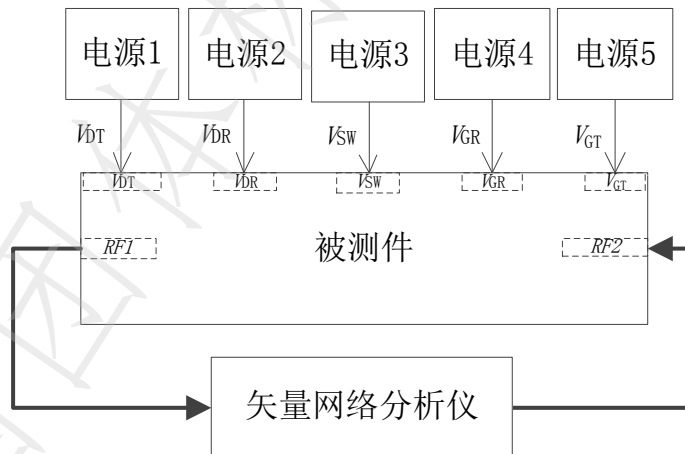
在规定条件下，测试 GaN 前端芯片接收/发射通道增益、输入输出端口电压驻波比、静态电流指标。

6.1.2 测试框图

测试框图如图 2 所示。



(a) 发射通道



(b) 接收通道

图2 小信号测试框图

6.1.3 测试程序

按以下步骤测试输入输出端口电压驻波比、静态电流：

- a) 矢量网络分析仪开机预热不少于 30 min；
- b) 设定矢量网络分析仪的测试频率和输入电平，使用矢量网络分析仪自带的校准程序进行校准，按照校准向导依次进行开路、短路、负载、直通的连接以及校准，校准完成后，观察直通插损

和端口回波损耗，当插损小于 0.05 dB，回波损耗大于 30 dB，方可进行测试；

- c) 按图 2（a）所示连接测试系统；
- d) 按发射通道加电要求施加偏置电压并记录 V_{DT} 端静态电流 I_{DQ-T} ；
- e) 测试芯片 G_T 、 $VSWR_{Tin}$ 、 $VSWR_{Tout}$ ；
- f) 按图 2（b）所示连接测试系统；
- g) 按接收通道加电要求施加偏置电压并记录 V_{DR} 端静态电流 I_{DQ-R} ；
- h) 测试芯片 G_R 、 $VSWR_{Rin}$ 、 $VSWR_{Rout}$ 。

6.2 接收/发射通道 1dB 压缩点输出功率、发射通道动态电流测试

6.2.1 测试目的

在规定条件下，测试 GaN 前端芯片 1 dB 压缩点输出功率以及动态电流指标。

6.2.2 测试框图

测试框图如图 2 所示。

6.2.3 测试程序

按以下步骤测试测试 GaN 前端芯片 1 dB 压缩点输出功率以及动态电流：

- a) 矢量网络分析仪开机预热不少于 30 min；
- b) 设定矢量网络分析仪的测试频率和扫描功率，使用矢量网络分析仪自带的校准程序进行校准，按照校准向导依次进行功率、开路、短路、负载、直通的连接以及校准，校准完成后，观察直通插损和端口回波损耗，当插损小于 0.05 dB，回波损耗大于 30 dB，方可进行测试；
- c) 按图 2（a）所示连接测试系统；
- d) 按发射通道加电要求施加偏置电压，测试芯片发射通道 1 dB 压缩点输出功率以及 V_{DT} 端动态工作电流；
- e) 按图 2（b）所示连接测试系统；
- f) 按接收通道加电要求施加偏置电压，测试芯片接收通道 1 dB 压缩点输出功率。

6.3 接收噪声系数测试

6.3.1 测试目的

在规定条件下，测试 GaN 前端芯片接收通道噪声指标。

6.3.2 测试框图

测试框图如图 3 所示。

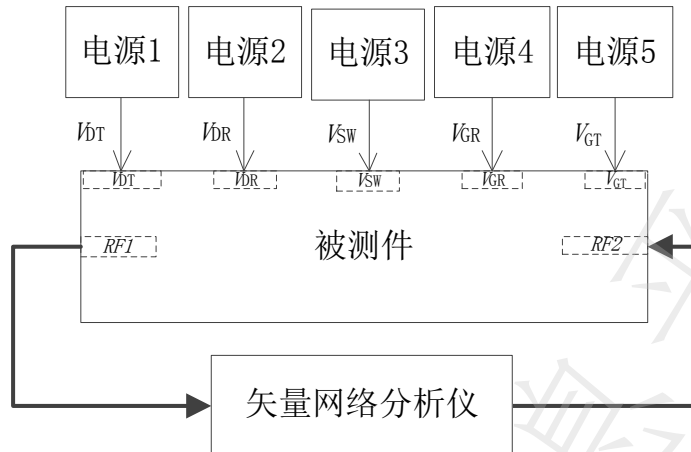


图3 接收噪声系数测试框图

6.3.3 测试程序

按以下步骤测试 GaN 前端芯片接收通道噪声：

- a) 矢量网络分析仪开机预热不少于 30 min；
- b) 设定矢量网络分析仪的测试频率和扫描功率，使用矢量网络分析仪自带的校准程序进行校准，按照校准向导依次进行功率、开路、短路、负载、直通的连接以及校准，校准完成后，观察直通下噪声系数，当噪声系数小于 0.1 dB, 方可进行测试；
- c) 按图 3 所示连接测试系统；
- d) 按接收通道加电要求施加偏置电压，测试芯片 NF。

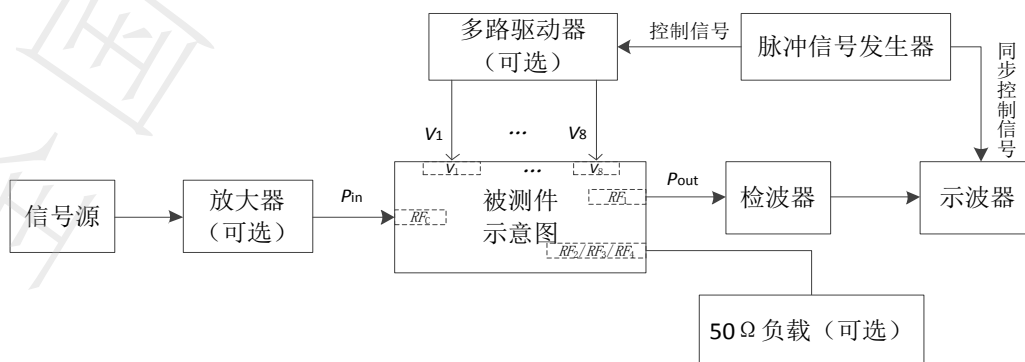
6.4 开关时间测试

6.4.1 测试目的

在规定条件下，测试 GaN 前端芯片开关时间指标。

6.4.2 测试框图

测试框图如图 4 所示。



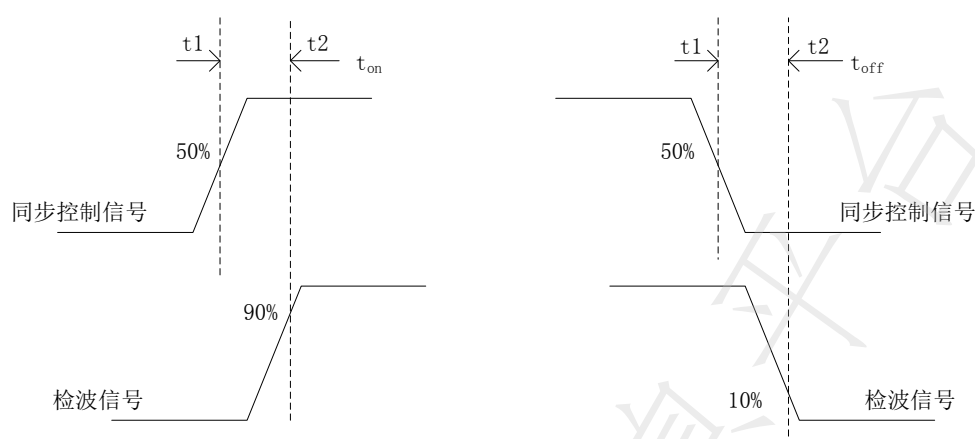


图4 开关时间测试框图

6.4.3 测试程序

按以下步骤测试 GaN 前端芯片开关时间：

- 开启测试仪器预热半小时不少于 30 min，设定测试频率和输入功率；
- 调节脉冲信号发生器，校准其输出的控制信号和同步控制信号，使两者延时为零；
- 按图 4 所示连接测试系统， $RF_C \rightarrow RF_1$ 、 $RF_C \rightarrow RF_2$ 、 $RF_C \rightarrow RF_3$ 或 $RF_C \rightarrow RF_4$ 任意一路，测试框图以 $RF_C \rightarrow RF_1$ 通路为例；
- 接被测件，分别通过信号源、电源和脉冲发生器加规定的射频信号和控制信号；
- 在示波器上读出检波信号上升沿 90% 与同步控制信号上升沿 50% 的延迟时间 t_{on} （见图 4），检波信号下降沿 10% 与同步控制信号下降沿 50% 的延迟时间 t_{off} （见图 4）； t_{on} 、 t_{off} 即为开关时间。

参 考 文 献

- [1] GJB 548B—2005 微电子器件试验方法和程序 (Test methods and procedures for microelectronic device)



全国团体标准信息平台