

T/GVS

团 体 标 准

T/GVS 006—2022

半导体射频电源和微波电源的输出偏差稳定性测量方法

Method of measuring output deviation stability for semiconductor RF power supply and microwave power supply

2022-05-27 发布

2022-05-27 实施

广东省真空学会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号和缩略语	2
5 总则	2
6 测试条件	2
6.1 测试环境	2
6.2 测试前准备	2
7 测试要求	3
7.1 最大输出功率测试	3
7.2 频率偏差测试	4
7.3 功率偏差测试	4
7.4 不同驻波比下功率输出测试	5
7.5 最大功率下输出不匹配测试	6
附录 A (资料性) 射频电源和微波电源最大输出功率测试记录格式	8
附录 B (资料性) 射频电源和微波电源频率偏差测试记录格式	9
附录 C (资料性) 射频电源和微波电源功率偏差测试记录格式	10
附录 D (资料性) 射频电源和微波电源不同驻波比下功率输出测试记录格式	11
附录 E (资料性) 射频电源和微波电源最大功率下输出不匹配测试记录格式	12
参考文献	13

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。

本文件由季华实验室提出。

本文件由广东省真空学会归口。

本文件起草单位：季华实验室、中山凯旋真空科技股份有限公司、暨南大学。

本文件主要起草人：胡琅、陈浩、卫红、李晓峰、高峰、刘彭义、李晓刚、陈科球。

本文件为首次发布。

半导体射频电源和微波电源的输出偏差稳定性测量方法

1 范围

本文件规定了半导体射频电源和微波电源的输出偏差稳定性测量方法的术语和定义、符号和缩略语、总则、测试条件、测试要求。

本文件适用于电气工作频率在100 kHz~3 GHz的半导体装备用射频电源和微波电源产品。

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

定向耦合器 directional coupler

一种通用的微波/毫米波部件，可用于信号的隔离、分离和混合，应用于功率的检测、源输出功率稳幅、信号源隔离、传输和反射的扫频测试等。

3.2

频谱分析仪 spectrum analyzer

一种基础的频域测试测量仪器，可用于测量电源的杂散谐波参数分析。所用的频谱分析仪应满足射频电源或微波电源的频率要求，且已进行过校准、计量等步骤。

3.3

频率计 frequency meter

用于测量电源频率值的仪器。所用的频率计应满足射频电源或微波电源的频率要求，且已进行过校准、计量等步骤。

3.4

功率计 power meter

用于测量射频电源和微波电源的输出功率和输出驻波比的仪器。所用的功率计应满足射频电源或微波电源的功率要求，且已进行过校准、计量等步骤。

3.5

示波器 oscilloscope

用于测量射频电源和微波电源的功率剧增调节时间的仪器。所用的示波器应满足射频电源或微波电源的频率要求，且已进行过校准、计量等步骤。

3.6

阻抗匹配器 impedance matcher

由调谐元器件组成匹配网络、接于电源与负载之间，用于调节负载阻抗匹配的仪器。

3.7

杂散 spurious

在电源工作频率范围外的新频率对系统的干扰。

3.8

谐波 harmonic

对周期性非正弦交流量进行傅里叶级数分解所得到的大于基波频率整数倍的各次分量。

3.9

功率传感器 power sensor

一种信号传输和隔离模块，采用专用的功率变换电路把交流功率信号变换成与之线性关系的标准直流电流电压信号，再经有源滤波线性放大输出恒流或恒压模拟量，使变送器具有高精度、工作稳定等特点，输出为恒流或恒压信号。

4 符号和缩略语

下列符号和缩略语适用于本文件。

VSWR: 电压驻波比 (Voltage Standing Wave Ratio)。

ρ_f : 频率偏差。

$f_{测}$: 实际测试点的频率值。

$f_{setpoint}$: 设定的频率值。

ρ_P : 功率偏差。

$P_{测}$: 实际测试点的功率值。

$P_{setpoint}$: 设定的功率值。

P_{Max} : 电源最大输出功率。

Marker: 标记点。

5 总则

测量设备应在校准的有效期内，且应配有符合相关要求的校准证书。

6 测试条件

6.1 测试环境

- 6.1.1 测试的环境温度为 $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 6.1.2 环境湿度不大于 60 % RH。
- 6.1.3 环境大气压力 86 kPa~106 kPa。
- 6.1.4 校准设备和测试设备周围应无热源、强电磁场、放射性源等外界干扰。

6.2 测试前准备

6.2.1 测试平台

为符合规范性测试标准及半导体行业测试要求而搭建的射频电源及微波电源测试平台，主要包括定向耦合器、频谱分析仪、阻抗匹配箱、示波器、频率计、功率计等测试设备。

6.2.2 冷却系统

应对冷却系统完成以下准备工作。

- a) 水冷系统: 冷却水进水口的水温应为 $10\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，最小水流量应为 0.12 L/s，进水口水压最大为 0.69 MPa。
- b) 风冷系统: 检查风扇是否正常工作。

6.2.3 供电系统

应对供电系统完成以下准备工作。

- a) 平台设备供电: 应采用市电输入，用于各测试设备仪器供电。其中电压波动为额定电压的 $\pm 7\%$ 。
- b) 待测电源供电: 应采用三相电输入，其中电压波动等级要求为 A，电压波动范围 $\leq 5.0\%$ 。

6.2.4 测试人员培训

考虑到待测设备使用高压交流电，具有一定安全隐患，因此对于操作人员应有至少1人陪同的情况下方可进行实验测试。在进行测试前，应对操作人员进行相关的培训，熟悉测试步骤，达到考核要求后方可进行实际操作。

6.2.5 测试注意事项

- a) 进入射频电源或微波电源操作间前，需检查水路和电路是否正常，确保循环水温度和水位在合适的范围；查看电路总开关是否完整，以免总开关出现故障。检查一切正常方可打开总开关。
- b) 水路运行正常（3~5）min 后，换好电磁防护服，并穿戴绝缘手套以及绝缘鞋进入射频电源或微波电源操作间。

7 测试要求

7.1 最大输出功率测试

7.1.1 测试设备

应配备以下所需设备。

- a) 定向耦合器：用于功率检测。
- b) 功率计：分为终端式功率计和通过式功率计，直接通过功率传感器连接功率计读取，或通过定向耦合器连接功率计读取，功率计可读取驻波比。
- c) 其它可检测功率值的已校准设备和仪器。

7.1.2 测试步骤

最大输出功率测试设备按图1规定连接，应按以下步骤进行测试：

- a) 利用同轴线将被测电源的输出端与定向耦合器、功率计或其它可检测功率的设备和仪器连接；
- b) 开启功率计或其它可检测功率的设备和仪器等测试设备，开启并检查冷却系统是否正常；
- c) 接线及各工作模块检查无误后，启动电源输出；
- d) 检查各开机状态均正常后，再输出机器设计所能承受的最大功率；
- e) 在检测设备上实时查看当前输出功率是否在正常的范围内；
- f) 记录功率数据后，断开电源。

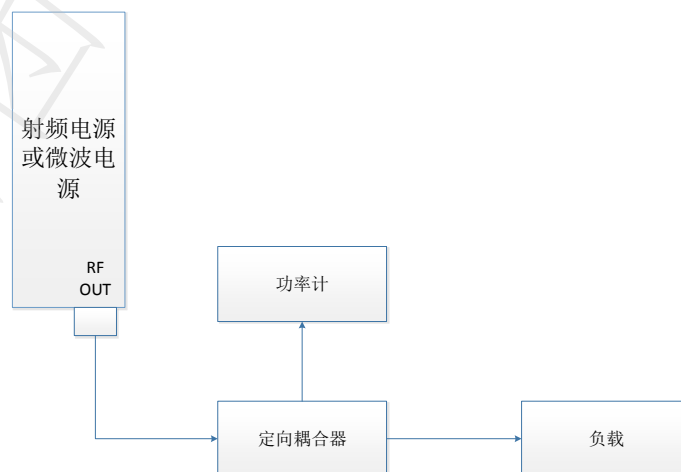


图1 最大输出功率测试设备连接图

7.1.3 测试结果合格判据

附录A给出了测试记录格式。设备达到最大输出功率时，输出功率的实测值与设定值的偏差应< 1.0 %。

7.2 频率偏差测试

7.2.1 测试设备

应配备以下所需设备。

- a) 定向耦合器：用于频率检测。
- b) 频率计：应持有在有效期内的校准证书，用于检测频率。
- c) 其它可检测频率的已校准设备和仪器。

7.2.2 测试步骤

频率偏差测试设备按图2规定连接，应按以下步骤进行测试：

- a) 利用同轴线将被测电源的输出端与定向耦合器、频率计或其它可检测频率的设备和仪器连接；
- b) 开启频率计或其它可检测频率的设备和仪器等测试设备，开启并检查冷却系统是否正常；
- c) 接线及各工作模块检查无误后，启动电源输出；
- d) 检查各开机状态均正常后，再输出机器可运行的常规功率；
- e) 依次设置多个工作频率点，记录下频率偏差；可通过已校准的频率计或其它可检测频率的设备和仪器中实时查看当前输出频率是否在正常的范围内；
- f) 记录频率数据后，断开电源。

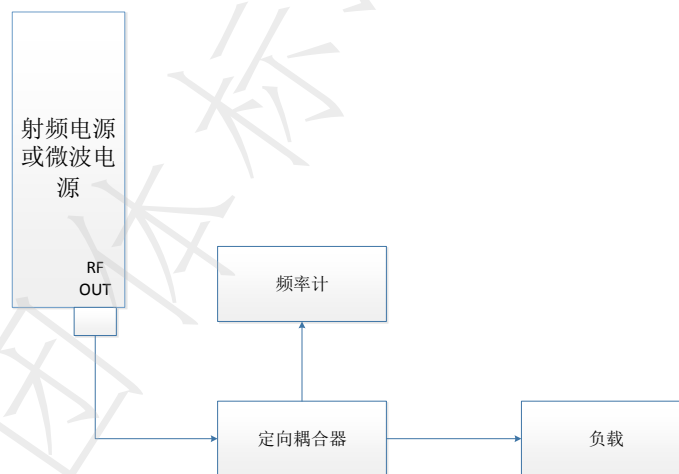


图2 频率偏差测试设备连接图

7.2.3 测试结果合格判据

附录B给出了测试记录格式。每个频率值的偏差应<0.1 %。测试结果（频率偏差）的计算公式如下：

$$\rho_f = \frac{f_{\text{测}} - f_{\text{setpoint}}}{f_{\text{setpoint}}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$f_{\text{测}}$ ——实际测试点的频率值；

f_{setpoint} ——设定的频率值。

7.3 功率偏差测试

7.3.1 测试设备

应配备以下所需设备。

- 定向耦合器：用于功率检测。
- 功率计：分为终端式功率计和通过式功率计，直接通过功率传感器连接功率计读取，或通过定向耦合器连接功率计读取。
- 其它可检测功率的已校准设备和仪器。

7.3.2 测试步骤

功率偏差测试设备按图3规定连接，应按以下步骤进行测试：

- 利用同轴线将被测电源的输出端与定向耦合器、功率计或其它可检测功率的设备和仪器连接；
- 开启功率计或其它可检测功率的设备和仪器等测试设备，开启并检查冷却系统是否正常；
- 接线及各工作模块检查无误后，启动电源输出；
- 检查各开机状态均正常后，再输出机器可正常工作的开始功率；
- 依次设置多个工作功率点，记录功率偏差；可通过已校准的功率计或其它可检测功率的设备和仪器中实时查看当前输出功率是否在正常的范围内；
- 记录功率数据后，断开电源。

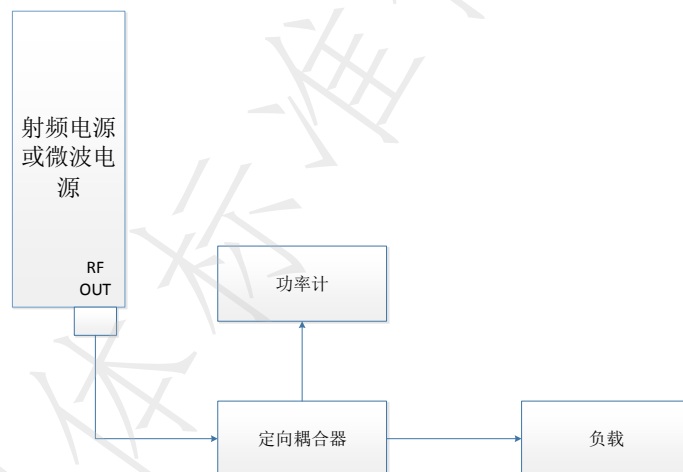


图3 功率偏差测试设备连接图

7.3.3 测试结果合格判据

附录C给出了测试记录格式。设定功率和输出功率偏差 $<1.0\%$ 。测试结果（功率偏差）的计算公式如下：

$$\rho_p = \frac{P_{\text{测}} - P_{\text{setpoint}}}{P_{\text{setpoint}}} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

$P_{\text{测}}$ ——实际测试点的功率值；

P_{setpoint} ——设定的功率值。

7.4 不同驻波比下功率输出测试

7.4.1 测试设备

应配备以下所需设备。

- 定向耦合器：用于驻波比和功率检测。
- 功率计：通过功率传感器连接功率计检测驻波比和功率值。

- c) 其它可检测驻波比和功率值的已校准设备和仪器。

7.4.2 测试步骤

不同驻波比下功率输出测试设备按图4规定连接，应按以下步骤进行测试：

- 利用同轴线将被测电源的输出端与定向耦合器、功率计或其它可检测驻波比和功率值的设备和仪器连接；
- 开启功率计或其它可检测驻波比和功率值的设备和仪器等测试设备，开启并检查冷却系统是否正常；
- 接线及各工作模块检查无误后，启动电源输出，检查各开机状态是否正常；
- 调节设置阻抗匹配箱两电容的电容值，让输出端等效负载改变，使 VSWR 分别为 1.1、1.2、1.3；
- 输出机器可正常工作的半功率值；
- 在功率计上实时查看当前驻波比和功率值是否在正常的范围内；
- 记录驻波比及其功率值数据后，断开电源。

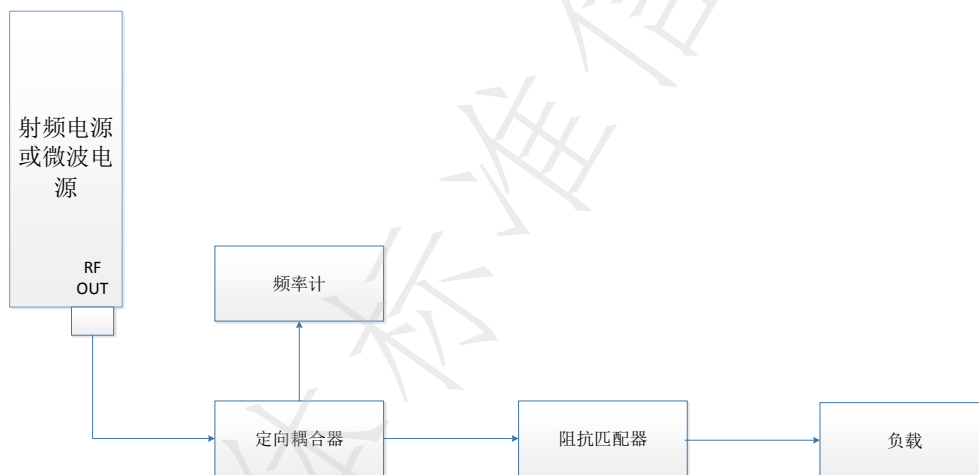


图4 不同驻波比下功率输出测试设备连接图

7.4.3 测试结果合格判据

附录D给出了测试记录格式。射频电源在不同的等效阻抗下（即VSWR为1.1、1.2、1.3时），均能稳定输出稳定的半功率，即输出功率的实测值与设定值的偏差应 $<1.0\%$ 。

7.5 最大功率下输出不匹配测试

7.5.1 测试设备

应配备以下所需设备。

- 定向耦合器：用于驻波比和功率检测。
- 功率计：通过功率传感器连接功率计检测驻波比和功率值。
- 其它可检测驻波比和功率值的已校准设备和仪器。

7.5.2 测试步骤

最大功率下输出不匹配测试设备按图5规定连接，应按以下步骤进行测试：

- 利用同轴线将被测电源的输出端与定向耦合器、功率计或其它可检测驻波比和功率值的设备和仪器连接；
- 开启功率计或其它可检测驻波比和功率值的设备和仪器等测试设备，开启并检查冷却系统是否正常；

- c) 接线及各工作模块检查无误后，启动电源输出，检查各开机状态是否正常；
- d) 调节设置阻抗匹配箱两电容的电容值，让输出端等效负载改变，使 VSWR 为 1.5；
- e) 输出机器可工作的最大功率值；
- f) 在检测设备上实时查看当前驻波比和功率值是否在正常的范围内；
- g) 记录驻波比及其功率值数据后，断开电源。

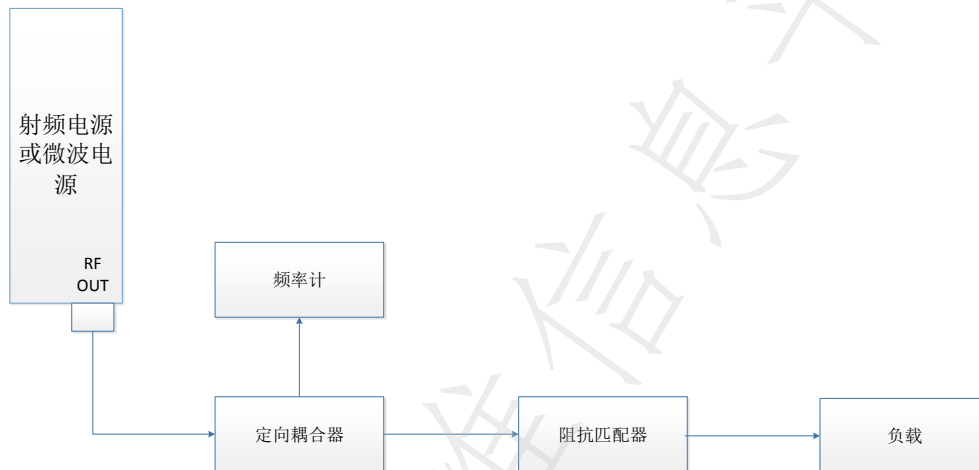


图5 最大功率下输出不匹配测试设备连接图

7.5.3 测试结果合格判据

附录E给出了测试记录格式。射频电源在VSWR为1.5工况下，输出最大功率，持续运行0.5 h，设备稳定运行，且输出功率的实测值与设定值的偏差应 $<1.0\%$ 。

附 录 A
(资料性)
射频电源和微波电源最大输出功率测试记录格式

图A. 1给出了射频电源和微波电源最大输出功率测试记录格式。

客户名称:		
客户地址:		
型号规格:		
出厂编号:	生产厂商:	
测试日期:	环境温度:	环境湿度:
测试地点:	测试工程师:	
测试用设备:		
最大输出功率测试结果:		
设定功率	最大功率	
实测功率		
偏差		

其中，功率偏差计算如下：

$$\rho_P = \frac{P_{\text{测}} - P_{\text{Max}}}{P_{\text{setpoint}}}$$

附图:

判定条件:	输出功率的实测值与设定值的偏差应<1.0%
本项结论:	

图A. 1 射频电源和微波电源最大输出功率测试记录格式

附录 B

(资料性)

射频电源和微波电源频率偏差测试记录格式

图B.1给出了射频电源和微波电源频率偏差测试记录格式。

客户名称:					
客户地址:					
型号规格:					
出厂编号:		生产厂商:			
测试日期:		环境温度:		环境湿度:	
测试地点:		测试工程师:			
测试用设备:					
频率测试结果:					
设定频率	频率1	频率2	频率3	频率4	频率5
实测频率					
偏差					

其中, 频率偏差计算如下:

$$\rho_f = \frac{f_{\text{测}} - f_{\text{setpoint}}}{f_{\text{setpoint}}}$$

附图:

判定条件:	每个频率值的偏差应<0.1%
本项结论:	

图B.1 射频电源和微波电源频率偏差测试记录格式

附录 D

(资料性)

射频电源和微波电源不同驻波比下功率输出测试记录格式

图D.1给出了射频电源和微波电源不同驻波比下功率输出测试记录格式。

客户名称:			
客户地址:			
型号规格:			
出厂编号:	生产厂商:		
测试日期:	环境温度:	环境湿度:	
测试地点:	测试工程师:		
测试用设备:			
功率测试结果:			
VSWR	输出功率	输出功率偏差	设备运行情况
VSWR=1.1			
VSWR=1.2			
VSWR=1.3			
附图:			
判定条件:	输出功率的实测值与设定值的偏差应 $<1.0\%$		
本项结论:			

图 D.1 射频电源和微波电源不同驻波比下功率输出测试记录格式

附录 E
(资料性)

射频电源和微波电源最大功率下输出不匹配测试记录格式

图E. 1给出了射频电源和微波电源最大功率下输出不匹配测试记录格式。

客户名称：
 客户地址：
 型号规格：
 出厂编号： 生产厂商：
 测试日期： 环境温度： 环境湿度：
 测试地点： 测试工程师：
 测试用设备：
 功率测试结果：

VSWR	最大输出功率	输出功率偏差	运行时间	设备运行情况
VSWR=1.5				

附图：

判定条件：	在VSWR为1.5工况下，输出最大功率，持续运行0.5 h，设备稳定运行，且输出功率的实测值与设定值的偏差应<1.0 %
本项结论：	

图 E. 1 射频电源和微波电源最大功率下输出不匹配测试记录格式

参 考 文 献

- [1] GB 4824—2019 工业、科学和医疗设备 射频骚扰特性 限值和测量方法
 - [2] GB/T 12325—2008 电能质量 供电电压偏差
 - [3] GB/T 15872—2013 半导体设备电源接口
 - [4] GB/Z 18039.2—2000 电磁兼容 环境 工业设备电源低频传导骚扰发射水平的评估
 - [5] QJ 3023—1998 射频功率测试方法
 - [6] AIR FORCE A-A-59140:1997 测试装置, 射频功率(功率计, 数字)(50MHz至26.5GHz) (Test set, radio frequency power (power meter, digital) (50MHz to 26.5GHz))
-