



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

热电型太赫兹探测器参数测试方法

Measuring methods for parameters of thermoelectric terahertz detector

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(征求意见稿)

(本草案完成时间: 2021年3月)

在提交反馈意见时, 请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 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 要求	3
5 测试方法	3
5.1 测试装置	3
5.2 测试原理	3
5.3 测试仪器要求	4
6 测试过程	4
6.1 响应度	4
6.2 噪声等效功率	5
6.3 探测率	6
6.4 响应时间	6
6.5 非线性度	7
6.6 重复性	7
7 测试报告	8
附录 A (资料性) 测试报告记录表	9

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这些专利的责任。

本文件由中国科学院提出。

本文件由全国光电测量标准化技术委员会（SAC/TC 487）归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

热电型太赫兹探测器参数测试方法

1 范围

本文件规定了热电型太赫兹探测器参数测试方法的术语和定义、要求、测试方法、测试过程、测试报告等。

本文件适用于单元型太赫兹热电堆探测器、太赫兹热释电探测器、太赫兹微测热辐射计、太赫兹高莱探测器的性能检验，太赫兹量子阱探测器的性能检验可参照执行。

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。

- GB/T 7665-2005 传感器通用术语
- GB/T 13584-2011 红外探测器参数测试方法
- GB/T 18459-2001 传感器主要静态性能指标计算方法
- JJF 1600-2016 辐射型太赫兹功率计校准规范
- JJG 30904-2008 红外探测器黑体探测率及测试系统

3 术语和定义

GB/T 7665、GB/T 13584、GB/T 18459、JJF 1600、JJG 30904界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

太赫兹 terahertz

是指位于0.1THz~10THz之间的电磁波。

[来源：JJF 1600-2016，2.1，有修改]

3.2

太赫兹探测器 terahertz detector

是指工作波长涵盖太赫兹波段，能够把太赫兹辐射转变为电信号的探测器。

3.3

声压探测器 sound pressure detector

是指能够感受声压并转换成电信号的探测器。

[来源：GB/T 7665-2005，3.2.6.1，有修改]

3.4

热电堆探测器 thermoelectric detector

是指吸收入射辐射能量而引起温升，依据赛贝克效应把温升转变为电信号的一种探测器。

3.5

热释电探测器 pyroelectric detector

是指吸收周期性调制的入射辐射能量而引起温度变化,依据热释电效应把温度变化转变为电信号的一种探测器。

3.6

微测热辐射计 bolometer

是指热敏薄膜吸收入射辐射引起温度变化,从而导致热敏薄膜的电阻发生变化,在外加偏置作用下产生电信号的一种探测器。

3.7

高莱探测器 golay detector

是指吸收周期性调制的入射辐射能量而引起温度变化,依据光声效应和声压探测器把温度变化转变为电信号的一种探测器。

3.8

噪声 noise

是指在背景辐照条件下,探测器输出电信号的均方根值。

[来源: JJG 30904—2008, 3.2, 有修改]

3.9

响应度 responsivity

是指探测器输出电信号变化量,与入射辐射功率/能量变化量之比。

[来源: JJG 30904—2008, 3.1, 有修改]

3.10

噪声等效功率 noise equivalent power

是指在单位测量带宽内,探测器输出信噪比为1时,所需入射到探测器的功率。

[来源: GB/T 13584—2011, 3.8, 有修改]

3.11

探测率 detectivity

是指探测器的响应度除以均方根噪声,并折算到单位测量带宽与单位光敏面面积之积的平方根值。

[来源: GB/T 13584—2011, 3.5, 有修改]

3.12

响应时间 response time

探测器对激光响应的延迟时间,分为上升时间和下降时间。上升时间是指激光入射到探测器后,探测器输出电信号从最大值的10%上升到90%所需的时间。下降时间是指入射到探测器的激光关闭后,探测器输出电信号从最大值的90%下降到10%所需的时间。

[来源: GB/T 13584—2011, 3.9, 有修改]

3.13

非线性度 nonlinearity

是指随入射辐射功率/能量变化,探测器输出电信号与入射辐射功率/能量的拟合直线,和探测器输出曲线的偏离程度。

[来源: GB/T 7665—2005, 3.5.1.55, 有修改]

3.14

重复性 repeatability

是指在一段短的时间间隔内,并在相同的工作条件下,探测器对同一束光束重复测量输出电信号之间的分散程度。

[来源: GB/T 18459—2001, 2.3, 有修改]

4 要求

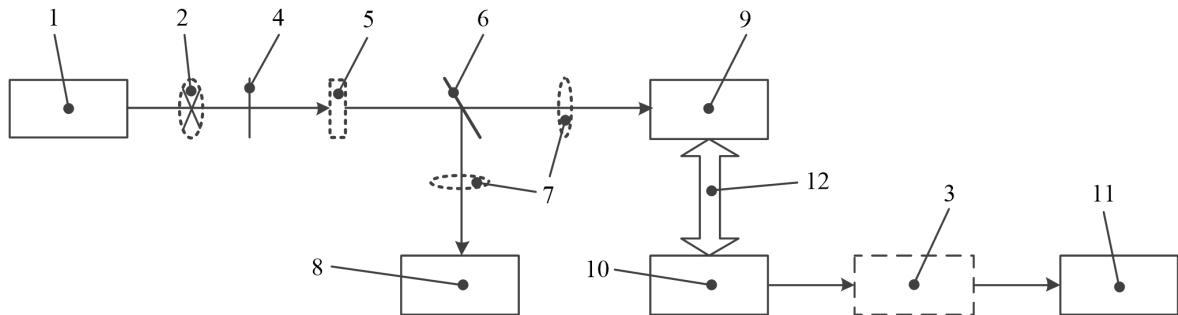
测试环境条件应满足以下要求:

- a) 环境温度: $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$;
- b) 环境湿度: $(20\% \sim 80\%) \text{ RH}$;
- c) 测试区域内无影响测量数据的振动、气流、背景辐射与电磁干扰等。

5 测试方法

5.1 测试装置

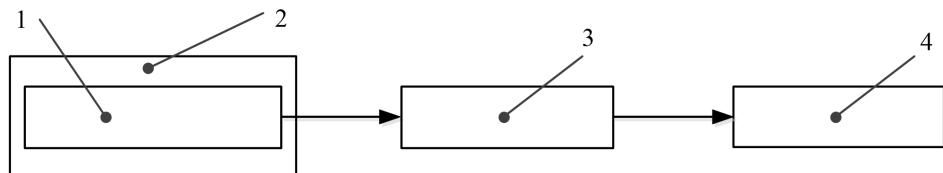
热电型太赫兹探测器参数测试原理如图1所示, 噪声测试原理如图2所示。



标引序号说明:

- | | |
|-------------|----------------|
| 1 ——太赫兹源; | 7 ——太赫兹会聚光学系统; |
| 2 ——斩光器; | 8 ——监测太赫兹功率计; |
| 3 ——前置放大器; | 9 ——参考太赫兹功率计; |
| 4 ——挡光板; | 10 ——待测太赫兹探测器; |
| 5 ——太赫兹衰减器; | 11 ——示波器/万用表; |
| 6 ——太赫兹分束镜; | 12 ——导轨。 |

图 1 太赫兹探测器参数测试原理图



标引序号说明:

- | | |
|---------------|------------|
| 1 ——待测太赫兹探测器; | 3 ——前置放大器; |
| 2 ——光屏蔽盒; | 4 ——频谱分析仪。 |

图 2 太赫兹探测器噪声测试原理图

5.2 测试原理

太赫兹探测器参数测试装置的基本配置见图1, 太赫兹源宜选择输出为连续辐射的光源, 参考太赫兹功率计与监测太赫兹功率计宜选择基于热电堆探测器的太赫兹功率计。太赫兹衰减器调节太赫兹源输出功率或能量, 使入射到监测太赫兹功率计、参考太赫兹功率计、待测太赫兹探测器的功率/能量在其

量程内。太赫兹辐射经太赫兹分束镜分为两束光，一束太赫兹会聚到位于太赫兹会聚光学系统焦平面处的待测太赫兹探测器或参考太赫兹功率计，另一束太赫兹会聚到位于太赫兹会聚光学系统焦平面处的监测太赫兹功率计，用于监测太赫兹源输出的稳定性，使用示波器或万用表测试待测太赫兹探测器的输出电信号。

当待测对象为太赫兹热电堆探测器时，可以不使用斩光器；当待测对象为只能响应脉冲辐射的太赫兹热释电探测器、太赫兹微测热辐射计、太赫兹高莱探测器时，应在太赫兹源后面放置斩光器，斩光器的斩光频率应在待测太赫兹探测器的调制频率范围内。

当待测太赫兹探测器输出电信号小于等于示波器或万用表的本底噪声时，应使用前置放大器对输出电信号放大后测试，此时待测太赫兹探测器输出电信号为示波器或万用表的测试值与前置放大器增益的比值。若待测太赫兹探测器输出为电压信号，前置放大器应使用电压放大器；若待测太赫兹探测器输出为电流信号，前置放大器应使用跨阻放大器。

5.3 测试仪器要求

测试太赫兹探测器参数使用的仪器要求是：

- a) 太赫兹源、太赫兹衰减器、太赫兹分束镜、太赫兹会聚光学系统、参考太赫兹功率计、监测太赫兹功率计应与待测太赫兹探测器具有相同的工作波长；
- b) 为保证测试结果准确性，太赫兹源、斩光器、前置放大器、参考太赫兹功率计、监测太赫兹功率计、示波器、万用表、频谱分析仪等测试仪器应经过国家相关机构的校准或检定，并在校准或检定的有效期内；
- c) 太赫兹源输出稳定性应小于等于 $\pm 2\%$ ；
- d) 参考太赫兹功率计与监测太赫兹功率计的响应时间应小于等于3s；
- e) 频谱分析仪的频率范围应涵盖3Hz~1MHz。

6 测试过程

6.1 响应度

6.1.1 测试步骤

热电型太赫兹探测器的响应度测试步骤是：

- a) 把参考太赫兹功率计放入光路，移出挡光板，记录参考太赫兹功率计和与监测太赫兹功率计的测量值；
- b) 把待测太赫兹探测器放入光路，移入挡光板，记录待测太赫兹探测器的噪声电压/电流，移出挡光板，记录待测太赫兹探测器的信号电压/电流与监测太赫兹功率计的测量值；
- c) 重复步骤a)~b)，测试N组数据， $N \geq 3$ 。

6.1.2 数据处理

为了减小太赫兹源输出不稳定引入的测量误差，需要对待测太赫兹探测器的信号电压/电流进行修正，经修正后信号电压/电流变为：

$$V_{dm,i} = \frac{V_{d,i} * M_{r,i}}{M_{d,i}} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

式中：

$V_{dm,i}$ ——待测太赫兹探测器第i次测量信号电压/电流的修正值，单位：V或A；

$V_{d,i}$ ——待测太赫兹探测器第i次测量的信号电压/电流，单位：V或A；

$M_{r,i}$ ——参考太赫兹功率计第*i*次测量时的功率监测值, 单位: W;

$M_{d,i}$ ——待测太赫兹探测器第*i*次测量时的功率监测值, 单位: W。

通过入射太赫兹辐射功率计算待测太赫兹探测器的响应度：

$$S(\lambda) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{V_{dm,i} - V_{dn,i}}{P_{r,i}} \dots \dots \dots \quad (2)$$

式中：

$S(\lambda)$ ——待测太赫兹探测器在波长 λ 处的响应度, 单位: V/W或A/W;

$V_{dn, i}$ ——待测太赫兹探测器第*i*次测量的噪声电压或电流, 单位: V或A;

$P_{r,i}$ ——参考太赫兹功率计第*i*次测量的功率, 单位: W;

通过入射太赫兹辐射能量计算待测太赫兹探测器的响应度：

$$S(\lambda) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(V_{dm,i} - V_{dn,i}) * f}{P_{r,i}} \quad (3)$$

式中：

$S(\lambda)$ ——待测太赫兹探测器在波长 λ 处的响应度, 单位: V/J或A/J;

f ——斩光器的斩光频率, 单位: Hz。

6.2 噪声等效功率

6.2.1 测试步骤

热电型太赫兹探测器的噪声等效功率测试步骤是：

- a) 测试待测太赫兹探测器在波长 λ 处的响应度；
 - b) 设置频谱分析仪的中心频率、扫宽、通道带宽、分辨率带宽、视频带宽，通道带宽应大于零，扫宽应大于等于通道带宽，测试待测太赫兹探测器和前置放大器的总噪声功率，若测试过程使用了斩光器，中心频率应与斩光频率保持一致；
 - c) 把前置放大器的输入端短路，测试前置放大器的噪声功率。

6.2.2 数据处理

待测太赫兹探测器的噪声是：

式中：

$V_{d,n}$ —待测太赫兹探测器的噪声, 单位: V或A;

$P_{t,n}$ ——待测太赫兹探测器和前置放大器的总噪声功率, 单位: W;

$P_{a,n}$ ——前置放大器的噪声功率, 单位: W;

R ——频谱分析仪的输入电阻, 单位: Ω ;

G ——前置放大器的增益，单位V/V或V/A。

待测太赫兹探测器的噪声等效功率是：

$$\text{NEP}(\lambda) = \frac{V_{d,n}}{S(\lambda) * \sqrt{\Delta f}} \quad (2)$$

式中：

NEP(λ)——待测太赫兹探测器在波长 λ 处的噪声等效功率, 单位: W/Hz^{1/2};

$S(\lambda)$ ——待测太赫兹探测器在波长 λ 处的响应度, 单位: V/W或A/W;

Δf ——频谱分析仪的通道带宽, 单位: Hz。

6.3 探测率

6.3.1 测试步骤

热电型太赫兹探测器的探测率测试步骤是：

- 测试待测太赫兹探测器在波长 λ 处的响应度；
- 测试待测太赫兹探测器的噪声；
- 测试待测太赫兹探测器的光敏面面积。

6.3.2 数据处理

待测太赫兹探测器的探测率是：

$$D(\lambda) = \frac{S(\lambda)}{V_{d,n}} \sqrt{A * \Delta f} \quad (1)$$

式中：

$D(\lambda)$ ——待测太赫兹探测器在波长 λ 处的探测率，单位： $\text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2}/\text{W}$ ；

$S(\lambda)$ ——待测太赫兹探测器在波长 λ 处的响应度，单位： V/W 或 A/W ；

A ——待测太赫兹探测器的光敏面面积，单位： cm^2 。

6.4 响应时间

6.4.1 测试步骤

热电型太赫兹探测器的响应时间测试步骤是：

- 若测试过程未使用斩光器，移出挡光板，待测太赫兹探测器输出电信号稳定后移入挡光板，使用示波器记录待测太赫兹探测器的输出电信号波形；
- 若测试过程使用了斩光器，使用示波器记录待测太赫兹探测器的输出电信号波形。

6.4.2 数据处理

待测太赫兹探测器的上升时间是：

$$t_a = t_1 - t_2 \quad (1)$$

式中：

t_a ——待测太赫兹探测器的上升时间，单位： s ；

t_1 ——激光入射到待测太赫兹探测器后，待测太赫兹探测器输出有效信号最大值90%对应时间，单位： s ；

t_2 ——激光入射到待测太赫兹探测器后，待测太赫兹探测器输出有效信号最大值10%对应时间，单位： s 。

待测太赫兹探测器的下降时间是：

$$t_f = t_2 - t_1 \quad (2)$$

式中：

t_f ——待测太赫兹探测器的下降时间，单位： s ；

t_1 ——入射到待测太赫兹探测器的激光关闭后，待测太赫兹探测器输出有效信号最大值90%对应时间，单位： s ；

t_2 ——入射到待测太赫兹探测器的激光关闭后, 待测太赫兹探测器输出有效信号最大值10%对应时间, 单位: s。

6.5 非线性度

6.5.1 测试步骤

热电型太赫兹探测器的非线性度测试步骤是:

- a) 在待测太赫兹探测器的量程内, 根据衰减量由大到小的顺序依次调节太赫兹衰减器, 重复步骤 b)~c), 测试 N 组数据, $N \geq 3$;
- b) 把参考太赫兹功率计放入光路, 移出挡光板, 记录参考太赫兹功率计和监测太赫兹功率计的测量值;
- c) 把待测太赫兹探测器放入光路, 移入挡光板, 记录待测太赫兹探测器的噪声电压/电流, 移出挡光板, 记录待测太赫兹探测器的信号电压或电流, 以及监测太赫兹功率计的测量值。

6.5.2 数据处理

为了减小太赫兹源输出不稳定引入的测量误差, 需要对待测太赫兹探测器的信号电压/电流按照公式(1)进行修正。

待测太赫兹探测器的信号电压/电流的修正值与噪声电压/电流之差, 也可称之为待测太赫兹探测器的有效测量电压/电流。把待测太赫兹探测器的有效测量电压/电流与参考太赫兹功率计测量的功率值, 使用最小二乘法进行拟合, 获得待测太赫兹探测器有效测量电压/电流与参考太赫兹功率计测量值之间的线性关系:

$$V_d = a * P_r + b \quad (1)$$

式中:

V_d ——待测太赫兹探测器的拟合电压或电流, 单位: V或A;

P_r ——参考太赫兹功率计测量的功率值, 单位: W;

a ——最小二乘法拟合直线的斜率;

b ——最小二乘法拟合直线的截距。

待测太赫兹探测器的非线性度是:

$$L = \pm \frac{\max[V_{dm,i} - V_{dn,i} - V_d(i)] - \min[V_{dm,i} - V_{dn,i} - V_d(i)]}{2 * a * [\max(P_{r,i}) - \min(P_{r,i})]} \times 100\% \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

式中:

L ——待测太赫兹探测器的非线性度;

$V_d(i)$ ——待测太赫兹探测器第*i*次测量的拟合电压/电流, 单位: V或A。

6.6 重复性

6.6.1 测试步骤

热电型太赫兹探测器的重复性测试步骤是:

- a) 把待测太赫兹探测器放入光路, 移出挡光板, 记录待测太赫兹探测器输出信号电压/电流和监测太赫兹功率计的测量值, 移入挡光板;
- b) 重复上述步骤, 测试 N 组数据, $N \geq 10$ 。

6.6.2 数据处理

为了减小太赫兹源输出不稳定引入的测量误差, 需要对待测太赫兹探测器的信号电压/电流进行修正, 经修正后信号电压/电流变为:

$$V_{dm,i} = \frac{M_{d,1}}{M_{d,i}} * V_{d,i} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

式中:

$V_{dm,i}$ ——待测太赫兹探测器第 i 次测量信号电压/电流的修正值, 单位: V或A;

$M_{d,1}$ ——待测太赫兹探测器第 1 次测量时的功率监测值, 单位: W;

$M_{d,i}$ ——待测太赫兹探测器第 i 次测量时的功率监测值, 单位: W。

待测太赫兹探测器的测量重复性通过相对实验标准偏差计算:

$$r = \frac{1}{\bar{V}_{dm}} \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (V_{dm,i} - \bar{V}_{dm})^2} \quad (2)$$

式中:

r ——待测太赫兹探测器的重复性;

\bar{V}_{dm} ——待测太赫兹探测器 N 次测量修正值的算术平均值, 单位: V或A。

7 测试报告

测试报告应包含以下内容:

- a) 测试单位信息:
 - 1) 测试单位的名称和地址;
 - 2) 测试人姓名;
 - 3) 测试日期。
- b) 测试样品信息:
 - 1) 样品的名称、型号、编号;
 - 2) 客户的名称和地址。
- c) 测试条件:
 - 1) 测试仪器的名称、型号、编号、有效期;
 - 2) 测试环境的温度与相对湿度;
 - 3) 测试地点。
- d) 测试结果:
 - 1) 样品的测试参数;
 - 2) 测试过程数据;
 - 3) 测试结果数据。

附录 A
(资料性)
测试报告记录表

表 A.1 基本信息

测试单位名称		测试单位地址	
测试人		测试日期	
测试样品名称		测试样品型号	
测试样品编号			
制造商名称		制造商地址	
测试仪器名称		测试仪器型号	
测试仪器编号		测试仪器有效期	
温度		相对湿度	
测试地点			

表 A.2 响应度

序号	参考太赫兹功率计的测量值	参考太赫兹功率计测量时的功率监测值	待测太赫兹探测器的噪声电压/电流	待测太赫兹探测器的信号电压/电流	待测太赫兹探测器测量时的功率监测值
测试波长		斩光频率		响应度	

表 A.3 噪声等效功率

测试波长		斩光频率	
待测太赫兹探测器在测试波长处的响应度		频谱分析仪中心频率	
频谱分析仪扫宽		频谱分析仪通道带宽	
频谱分析仪分辨率带宽		频谱分析仪视频带宽	
频谱分析仪输入电阻		测试系统总噪声功率	
前置放大器噪声功率		前置放大器增益	
噪声等效功率			

表 A. 4 探测率

测试波长		待测太赫兹探测器在测试波长处的响应度	
待测太赫兹探测器的噪声		待测太赫兹探测器的光敏面面积	
频谱分析仪通道带宽		探测率	

表 A. 5 响应时间

待测太赫兹探测器输出有效信号最大值90%对应时间	
待测太赫兹探测器输出有效信号最大值10%对应时间	
上升/下降时间	

表 A. 6 非线性度

序号	参考太赫兹功率计的测量值	参考太赫兹功率计测量时的功率监测值	待测太赫兹探测器的噪声电压/电流	待测太赫兹探测器的信号电压/电流	待测太赫兹探测器测量时的功率监测值
测试波长				非线性度	

表 A. 7 重复性

序号	待测太赫兹探测器的信号电压/电流	监测太赫兹功率计测量值	待测太赫兹探测器的信号电压/电流修正值
	重复性		