

文章编号: 1002-2082(2004)06-0034-04

红外探测器光谱响应度的均匀性及 直线性测试研究

占春连, 李燕梅, 刘建平, 李正琪

(国防科工委光学计量一级站, 陕西 西安 710065)

摘 要: 红外探测器光谱响应度的均匀性及直线性一直被认为是评价红外探测器性能的关键技术指标。目前, 国防科工委光学计量一级站正在进行红外光谱响应度及其均匀性和直线性的测试研究, 也包括对大气窗口一系列特性的测试研究。同时, 还评价了一系列商用红外探测器, 期望得到性能良好的、可用于不同波段量值传递的红外标准探测器。本文着重介绍红外探测器光谱响应度的均匀性及直线性的测试方法及测试结果, 并评价一系列用于量值传递的不同波段的红外探测器。

关键词: 红外光谱响应度; 均匀性; 直线性

中图分类号: TN215-34

文献标识码: A

The Uniformity and Linearity of Infrared Spectral Response of Detector

ZHAN Chun-lian, LI Yan-mei, LIU Jian-ping, LI Zheng-qi

(Optic Metrology Station, Xi'an 710065, China)

Abstract: The uniformity and linearity of spectral response of infrared detector are considered as the important parameters to evaluate the characteristics of infrared detectors. The Optic Metrology Station is currently engaged in a programme of work to measure the uniformity and linearity of response of infrared detector, which includes some work in the atmospheric windows, and the Station also busy with the evaluation for some commercial infrared detectors, which are expected to be ideal detectors and to be used to transfer the infrared spectral responsivity. The paper described the facilities, measuring methods and results, and evaluated some infrared detectors working in different wave ranges to transfer quantity value.

Keywords: infrared spectral responsivity; uniformity; linearity

引言

随着红外探测技术的广泛应用,出现了一系列性能优良的红外探测器,如何客观地评价其技术性能和提高测试精度,为广泛的工业应用提供可靠的计量保证,已越来越受到各国专家的重视。

国防科工委光学计量一级站继美国NIST、英国NPL之后,也建立了红外光谱响应度的均匀性及直线性测试系统,其测量的不确定度达到了0.1%,达到了国际先进水平。

为了得到较好的成像质量,该系统采用非球面

成像系统,以腔体热释电探测器、InSb探测器等为基础进行量值传递,不仅可测试探测器响应度的均匀性及直线性,还可测量在该波段上的绝对响应。其量值直接溯源于精密的低温辐射计。

1 测试系统

红外光谱响应度的均匀性及直线性的测试在同一套设备上完成,如图1所示。该系统主要由3个部分组成,每个部分均带有屏蔽罩,以屏蔽环境及人体辐射的影响。第一部分为光源系统,包括硅碳

收稿日期: 2003-08-26; 修回日期: 2003-11-19

作者简介: 占春连(1969-),女,陕西渭南人,高级工程师,主要从事光辐射计量的研究工作。

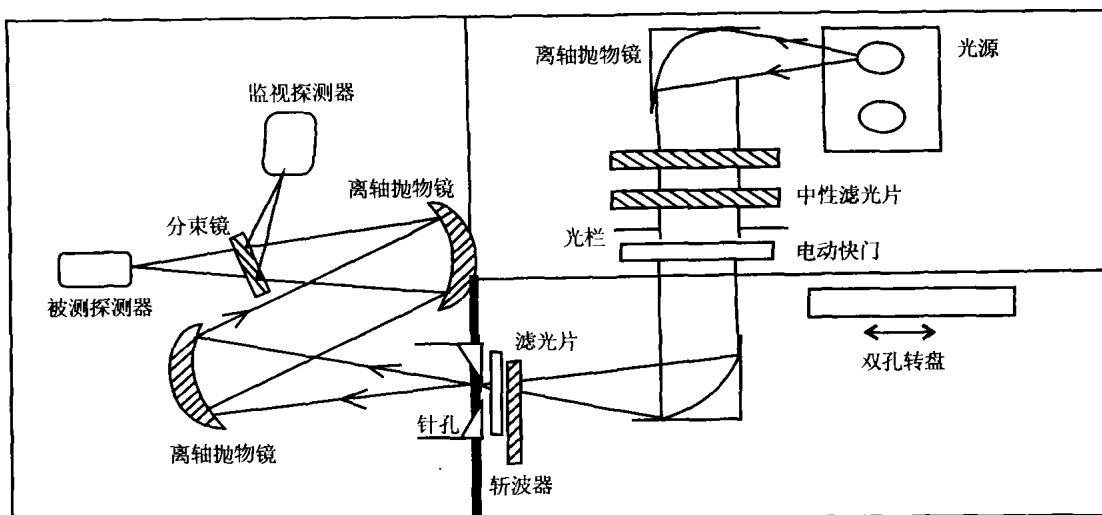


图1 红外探测器响应的均匀性及直线性测试系统

Fig. 1 The measurement system of uniformity and linearity responded by IR detector

棒及钨带灯,可提供较宽的波长范围,覆盖从可见到红外($0.4\sim 20\ \mu\text{m}$)的波长;第二部分主要由2个离轴抛物镜、一组用于波长选择的滤光片及一组用于选择扫描不同光斑面积的针孔光栏等组成,可提供相应波段、相应面积的均匀光斑;第三部分为探测器部分,主要包括测试探测器及参考探测器,参考探测器用于监视被测信号的稳定性和消除系统因素的影响。来自光源的辐射被2个离轴抛物镜准直并经滤光片分光后到达这一部分。

被测探测器安装在一个三维移动的平台,可以对探测器进行二维扫描。图2是面积为 $50\ \text{mm}^2$ 的InSb探测器的测试结果。

功率的衰减和实现较宽的动态范围),其功率衰减为6个量级。该测试系统也可用于评价光学器件透过率的均匀性,如干涉滤光片及光学玻璃等。当用于测试这些器件时,被测元件安装在被测探测器的位置,并用标准探测器代替被测探测器。

2 测试结果

图2是直径为 $5\ \text{mm}$ 、波长为 $3.8\ \mu\text{m}$ 的InSb探测器响应度的均匀性测试结果。可以看出,该探测器表现出良好的均匀性,其空间均匀性的不确定度达到 0.5% 。

图3是一台面积为 $4\times 4\ \text{mm}^2$ 的碲镉汞探测器(CMT)在波长为 $10.6\ \mu\text{m}$ 处的空间均匀性

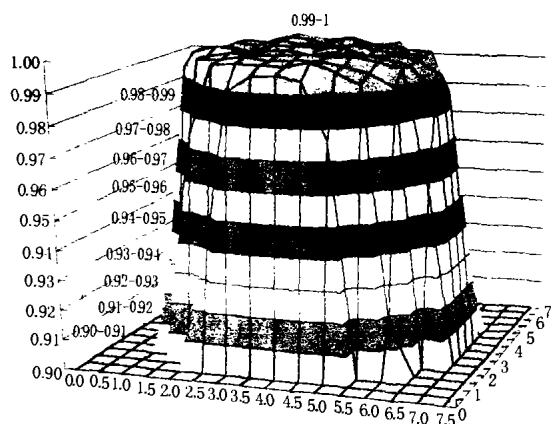


图2 直径为 $5\ \text{mm}$ 、波长为 $3.8\ \mu\text{m}$ 的InSb探测器响应度的均匀性测试结果

Fig. 2 The measuring result of responsive uniformity of $5\ \text{mm}$ diameter InSb detector at $3.8\ \mu\text{m}$

如图1所示,当测试探测器的直线性时,该系统采用了双孔光栏及一组中性滤光片光路(用于光

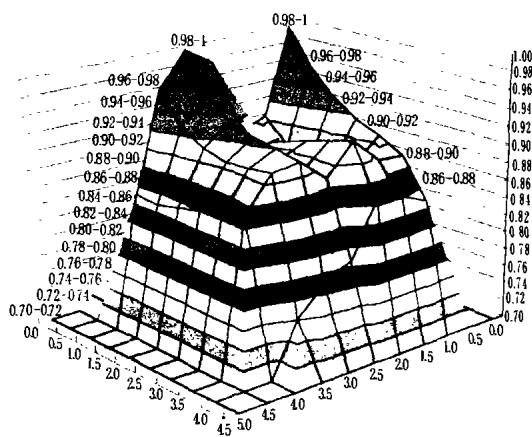


图3 面积为 $4\times 4\ \text{mm}^2$ 、波长为 $10.3\ \mu\text{m}$ 的CMT探测器响应度的均匀性测试结果

Fig. 3 The measuring result of responsive uniformity of $4\times 4\ \text{mm}^2$ CMT detector at $10.3\ \mu\text{m}$

测试结果。可以看出,其非均匀性达到了50%,但在其前面增加镀金的积分球后,其空间均匀性也表现

出了良好的结果,不确定度达到了1%。

表1为Si探测器响应度的直线性测试结果。从

表1 Si探测器响应度的直线性测试结果

Table 1 Testing results for responsive linearity of Si detector

透过率及衰减	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
50% (25A)	1.000 747	1.000 974	1.000 617	1.000 707	1.000 915
12% (25A)	1.000 020	1.000 191	1.000 008	1.000 236	1.000 128
5% (25A)	1.000 260	1.000 235	1.000 144	1.000 238	1.000 237
3% (25A)	1.000 144	1.000 198	1.000 221	1.000 139	1.000 553
1% (25A)	1.000 275	1.000 217	1.000 205	1.000 166	1.000 553
0.4% (25A)	1.000 663	1.000 805	1.000 687	1.000 712	1.000 673
100% * 0.4% (25A)	1.000 169	1.000 318	1.000 252	1.000 057	1.000 519
25% * 0.4% (25A)	1.000 041	0.999 869	0.999 629	1.000 088	0.999 338
12% * 0.4% (25A)	1.000 328	1.000 121	1.000 238	1.000 495	0.999 928
5% * 0.4% (25A)	1.000 354	1.000 323	1.000 062	0.999 988	0.999 951
3% * 0.4% (25A)	1.000 209	0.999 882	0.999 990	1.000 481	0.999 977
1% * 0.4% (25A)	1.000 094	1.000 552	0.999 921	1.000 225	0.999 977
5% * 0.4% * (18A)	1.000 06	1.000 111	1.000 052	0.999 878	0.999 99
3% * 0.4% * (18A)	0.999 988	1.000 001	1.000 221	1.000 012	0.999 952
1% * 0.4% * (18A)	1.000 534	1.000 090	1.000 793	1.000 088	0.999 917

表1可以看出,在6个量级的范围内,具有0.1%的良好直线性。

3 调研及结果讨论

由于红外探测器性能的影响,建立高精度的红外光谱响应度标准是很困难的。目前,期望通过增加积分球的方法来建立此标准,其目的是获得大光敏面积的红外探测器和提高探测器响应的均匀性。但是,由于积分球对光功率的衰减至少有两个数量级,目前正在研制新型的探测器。期望通过设计合理的光敏面积及敏感层的厚度来减少积分球的衰减,并相应地研究新的校准方法,以期得到更好的信噪比。

目前,欧洲国家的红外光谱响应度标准主要由一系列腔体热释电探测器进行量值传递。腔体热释电探测器在很宽的光谱范围内具有平坦的光谱响应度。新型的热探测器与镀金的半球结合起来,表

现出良好的均匀性及更平坦的光谱响应,是理想的红外波段量值传递探测器,但是其 D^* 值比性能良好的光子探测器至少低了2~3个数量级。红外技术专家正在研制新型的具有高 D^* 值的热探测器,主要方法是通过设计合理的热吸收层厚度及形状来获得高 D^* 值。

在波段为 $1.3\sim 1.6\mu\text{m}$ 的红外区,由于InGaAs探测器具有均匀性良好(0.5%)、光敏面积大($10\times 10\text{mm}^2$)、信噪比高($10^{12}\text{cmHz}^{1/2}\text{W}^{-1}$)等优点而成为这个波段理想的标准探测器。

波段为 $3\sim 5\mu\text{m}$ 的中红外区是众所周知的大气窗口,需要考虑 CO_2 的吸收对测量信号的影响。在这个波段主要有InSb探测器、HgCdTe探测器、PbSe探测器、锗探测器及热探测器等。一系列测试结果表明InSb探测器的 D^* 值高及均匀性好,适合于该波段的量值传递。

在 $8\sim 12\mu\text{m}$ 的红外区,有一系列的本征光电

导探测器,如 HgCdTe,以及光量子探测器(Quantum Well Detectors)和热探测器等。HgCdTe 探测器具有吸收性高、量子效率高、工作温度不太低、操作相对容易及 D^* 值高等优点,但是其空间均匀性较差(为 50%)。

光量子探测器是一种新型探测器,其空间均匀性好,量子效率高,与 HgCdTe 探测器相比具有长期的稳定性,但是其波长响应范围较窄(2~7.5 μm)。

4 结论

光学计量一级站已建立了红外探测器光谱响应度均匀性及直线性测试系统,完成了一系列测试研究工作,并调研了一系列不同波段的红外探测器性能,从而为提高红外光谱响应度标准的测量不确定度提供了参考。

从目前的测试结果可以看出,在波长为 1.3~1.6 μm 的红外区,InGaAs 探测器以其均匀性高、光敏面积大而成为该波段最理想的探测器;在 3~5

μm 的红外区最理想的是 InSb 探测器。最困难的是 8~12 μm 的红外区,目前正在研究与积分球相结合的本征光电导探测器(如 CMT)及新型的热探测器,期望用这些探测器能够解决这个波段的难题。在现阶段,用于建立红外光谱响应度标准的理想探测器,还是具有平坦光谱响应的热探测器。

参考文献:

- [1] N P Fox. Improved near-infrared detectors[J]. *Metrologia*, 1993, 30: 321-325.
- [2] E Theocharous, N P Fox, T R Prior. A comparison of the performance of infrared detectors for radiometric applications[J]. *SPIE*, 1996, 2815: 56--68.
- [3] N P Fox, E Theocharous, T H Ward. Establishing a new ultraviolet and near-infrared spectral responsivity scale[J]. *Metrologia*, 1998, 35: 535--541.
- [4] E Theocharous, T R Prior, P R Haycocks. High-accuracy infrared spectral responsivity scale [J]. *Metrologia*, 1998, 35: 543-548.

(上接第 25 页)

$60^\circ < \alpha_1$, 存在第一次全反射。至于能发生多少次全反射,取决于锥角 2θ 的值。比如,当 $16.67^\circ \leq \theta < 30^\circ$ 时,发生第二次全反射。同理,对于不同的锥角,只需代入公式即可算出。在 $\theta < 30^\circ$ 的情况下,不管发生多少次全反射,透射光都是椭圆偏振光,因为每次全反射光总是椭圆偏振光,当其在下次入射时再透射出来的肯定也是椭圆偏振光。由公式还可预见,当 $\theta < 30^\circ$ 时,锥角越小,发生全反射的次数越多,光能量也就越集中于锥尖,在锥尖透射出的光也就越强。这个结论已在实验中得到验证。

3 结论

实验结果和理论均表明,偏振光经锥形光纤(不管锥角怎样变化)传输或耦合后,由于实际光纤缺陷的随机分布,导致两振动方向互相垂直的线偏振光在一般情况下不再简并,故一般情况下其合成

态应是椭圆偏振态,亦即其终端的输出光为椭圆偏振光。

参考文献:

- [1] LI Rui, ZHU Sheng-xiang, WEN Fang. A new optical fiber probe for STM[J]. *Journal of Optoelectronics · Laser(光电子·激光)*, 2002, 13(1): 6-11.
- [2] D Marcuse. Principles of optical fiber measurements [M]. New York: Academic Press, 1981. 32-38.
- [3] 秦秉坤, 孙雨南. 介质光波导及其应用[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1991. 46-59.
- [4] 李玲, 黄永清. 光纤通信基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 1991. 32-43.
- [5] CHENG Xiao-gang. Reflection properties of guided wave in fiber taper used for scanning near-field optical microscopy[J]. *Acta Optica Sinica*, 1999, 19(6): 659-664.