

文章编号:1002-2082(2004)03-0001-04

激光功率和能量计量技术的现状与展望

杨照金, 王 雷

(国防科工委光学计量一级站, 陕西 西安 710065)

摘 要: 功率和能量是激光器的两个基本参数, 激光功率和能量测量一直是激光参数计量中最基础的测量工作。总结了美国标准技术研究院(NIST)、英国国家物理实验室(NPL)以及中国国家计量院(NIM)在激光功率能量计量方面的技术现状, 重点介绍了国防科工委光学计量一级站激光功率能量计量方面已具备的条件, 详细说明了所采用的测量原理以及所达到的测量范围和测量不确定度等技术指标。提出了激光功率和能量计量的发展趋势和发展方向。

关键词: 激光; 计量; 功率; 能量

中图分类号: TN24-39

文献标识码: A

Status and Prospect of Laser Power and Energy Metrology

YANG Zhao-jin, WANG Lei

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

Abstract: Power and energy is the two basic parameters for laser, the measurement for these two parameters is the most basic work for laser parameter metrology. We summarize the status quo of NIST of America, NPL of England and NIM of China, and show in detail the specification our Optic Metrology Station has possessed, which include the measurement theory, measurement range and measurement uncertainty. The development direction for laser power and energy metrology is given in the end.

Keywords: Laser; metrology; power; energy

引言

随着光电子技术的发展, 激光技术的应用领域日益扩展, 与此相应的激光参数计量测试越来越受到重视。目前各国家标准实验室都有激光辐射计和量热计, 其中尤以美国NIST在波长覆盖、量程范围和测量不确定度方面最为领先。本文对激光功率和能量计量测试的国内外现状进行了总结, 并简要介绍国防科工委光学计量一级站在激光参数计量方面已具备的条件, 同时对激光参数计量测试的发展趋势谈一谈看法。

1 国内外现状

1.1 美国在激光功率和能量计量方面的现状

NIST 是美国国家最高计量技术机构, 在激光

功率和能量计量方面处于国际领先水平, 其工作集中在博尔德实验室的光电子分部, 从 20 世纪 60 年代初开始进行激光功率和能量计量测试技术研究^[1~2], 到目前为止, 已建立了 7 个系列的激光功率和能量标准, 表 1 列出了 7 个系列标准的主要技术指标。

从表 1 可以看出, 美国 NIST 激光功率和能量标准的波长范围为 193 nm~20 μm, 功率量程为 50 μW~200 kW, 能量为 0.1 J~6 MJ, 其覆盖波长和量限在国际上首屈一指。

1.2 英国在激光功率能量计量方面的现状

NPL 是英国国家最高计量技术机构, 在激光功率和能量计量方面建立了比较完整的标准体系, 其主要技术情况如下^[3]:

收稿日期: 2003-12-12

作者简介: 杨照金(1953-), 男, 陕西耀县人, 研高工, 主要从事光学计量测试研究工作。

表1 NIST 激光功率和能量标准

Table 1 Laser power and energy standard in NIST

主基准	波长范围	功率(能量)范围	不确定度
C系列量热计	0.4~2 μm	50 μW~1 W	0.5%~1%
Q系列量热计	1.06 μm	0.5~15 J	1.1%~1.9%
K系列量热计	0.4~20 μm	1~1000 W, 300~3000 J	1.6%~2.5%
BB量热计	1.06~10.6 μm	100 W~200 kW, 10 kJ~6 MJ	3%
QUV量热计	248 nm	0.5~15 J	1.6%~2.5%
QDUV量热计	193 nm	0.1~1 J	1%
低温辐射计	0.4~2 μm	100 μW~1 mW	0.2~0.5%

表2 连续激光功率计量标准

Table 2 Continuous laser power standard

波长	功率	不确定度
0.514 μm	1 W	1.0%
1.064 μm	1 W	1.0%
10.6 μm	1 W	1.0%
10.6 μm	100 W	2.5%

表3 脉冲激光能量计量标准

Table 3 Pulsed laser energy standard

波长	能量	脉冲宽度	不确定度
0.532 μm	50 mJ	10 ns	1.5%
1.064 μm	60 mJ	10 ns/5 μs	1.5%
10.6 μm	50 mJ	55 ns+2 μs	1.5%

表4 热电型能量标准

Table 4 Thermoelectrical energy standard

波长	能量	脉冲宽度	不确定度
0.532 μm	10 mJ	20 ns	4.0%
1.064 μm	70 mJ	20 ns/60 μs	2.0%
10.6 μm	50 mJ	50 ns+2 μs	2.0%

1.3 我国在激光功率和能量计量方面的现状

中国计量院是我国最高计量技术机构,计量院光学处建立了相对完备的激光功率和能量标准体系,主要技术指标如下^[4]:

表5 激光功率和能量基准

Table 5 Laser power and energy reference

主基准	mW级	W级	kW级	能量基准
功率范围	0.1~100 mW	1~30 W	15~2000 W	0.5~2 J
波长范围	0.3~11 μm	0.3~11 μm	10.6 μm	1.06 μm
测量不确定度	1.0%	1.0%	2.0%	0.4%

2 国防科工委光学计量一级站激光

功率和能量标准

从90年代初开始,我们着手建立激光功率和能量标准,到目前为止,建立了波段和量限比较齐全的标准体系,下面予以介绍。

2.1 激光功率计量

2.1.1 激光功率最高标准

近年来,为提高激光功率测量准确度,美国NIST和英国NPL研制出了低温辐射计,测量功率的不确定度为0.01%,它已作为功率测量的最高标准而在各国使用。我们也建立了以低温辐射计为核心的激光功率标准,其原理如图1所示。

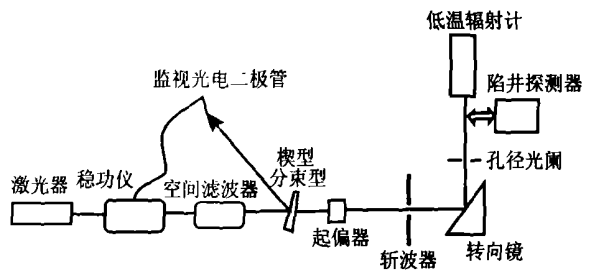


图1 用低温辐射计测量功率的原理图

Fig. 1 Principle of cryometer being used to measure the laser power

激光经稳功仪稳定后,经过空间滤波,通过快门控制,由低温辐射计测量其输出功率。陷阱探测器由低温辐射计标定,而后由陷阱探测器标定激光功率计。

其主要技术指标:功率范围为10 μW~10 mW;测量波长范围为0.3~20 μm;定标波长为0.6328 μm, 1.06 μm;测量不确定度为0.01%;传递标准测量不确定度为0.05%。

2.1.2 激光小功率计量标准

激光小功率标准装置由一台稳功率激光器和一台标准功率计组成,其原理如图2所示。

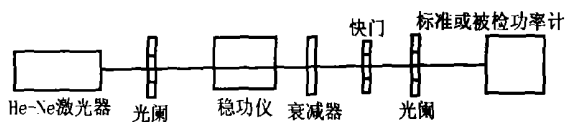


图2 激光小功率标准装置示意图

Fig. 2 Diagrammatic sketch of a low power laser standard device

其主要技术指标如下:测量波长范围为0.3~15 μm;测量功率范围为0.1~100 mW;定标波长为0.6328 μm;测量不确定度为1.5%。

2.1.3 激光中、大功率标准

激光中功率和大功率标准装置测试原理如图3所示。

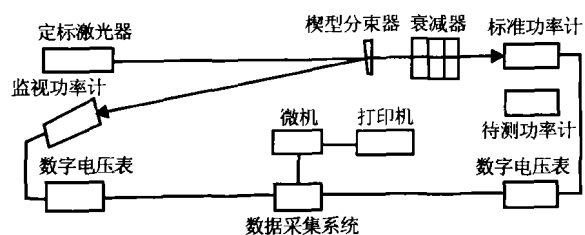


图3 激光中、大功率标准装置测试原理图

Fig. 3 Measuring principle of a middle and high power laser standard device

本装置的检定(或校准)原理为定标波长的激光器输出激光束经衰减器后,达到所需激光功率值,射入到待测激光功率计,根据事先测量得到楔型分束器对标准激光功率计和监视激光功率计的分束比、标准激光功率计的功率灵敏度、衰减倍数及监视激光功率计的值,可计算得到待测激光功率计修正值或功率灵敏度值。数据测量系统用于显示光热电势和自动数据采集与数据处理。

其主要技术指标:测量波长范围为 $0.4 \sim 12 \mu\text{m}$;定标波长为 $1.06 \mu\text{m}$ 、 $10.6 \mu\text{m}$;测量功率范围为 $100 \text{ mW} \sim 15000 \text{ W}$;测量不确定度为 2% 。

2.2 激光能量计量

激光能量计量是脉冲激光的基本评价参数。我们对此建立了如下标准。

2.2.1 中能量标准

我们最早建立的激光能量标准是 $0.1 \sim 30 \text{ J}$ 的中能量标准,其原理如图4所示。

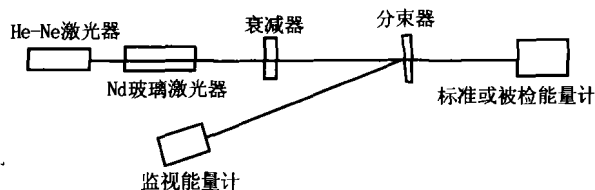


图4 激光能量标准装置示意图

Fig. 4 Diagrammatic sketch of a laser energy standard device

根据图4,脉冲激光经过衰减器及分束器,入射到标准能量计,输出信号经直流放大单元,用数字电压表测定其热电势值,同时监视能量计获得相应的监视信号,算出能量监视比 R ,再用被测能量计替代标准能量计,读出热电势或能量示值,同时测

出监视能量计输出的热电势,根据计算公式得到激光灵敏度。

其主要技术指标:测量波长范围为 $0.3 \sim 15 \mu\text{m}$;测量能量范围为 $0.1 \sim 30 \text{ J}$;定标波长为 $1.06 \mu\text{m}$;测量不确定度为 2.5% 。

2.2.2 激光小能量标准

激光小能量标准如图5所示。

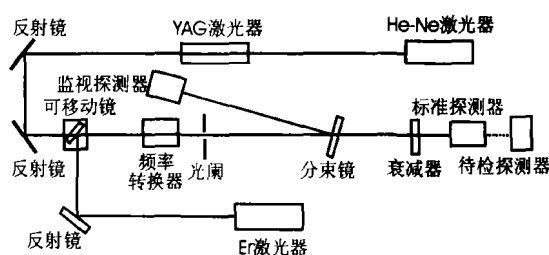


图5 激光小能量标准装置示意图

Fig. 5 Diagrammatic sketch of a low energy laser standard device

由图5可看到,YAG脉冲激光经过反射镜及小孔光阑入射到分束镜,其中主光束经衰减器入射到标准探测器,另一束入射到监视探测器,由此两探测器测量分束比。移去标准探测器,代以待测探测器,发射一激光脉冲,由监视探测器以能量值按分束比可计算得到待测能量计的入射能量。移入频率转换器可进行 $0.53 \mu\text{m}$ 波长测量,而移入移动反射镜,则可进行 $1.54 \mu\text{m}$ 波长的测量。标准探测器的量值由激光平均功率和能量一级标准装置传递,并由电定标进行量值保持。

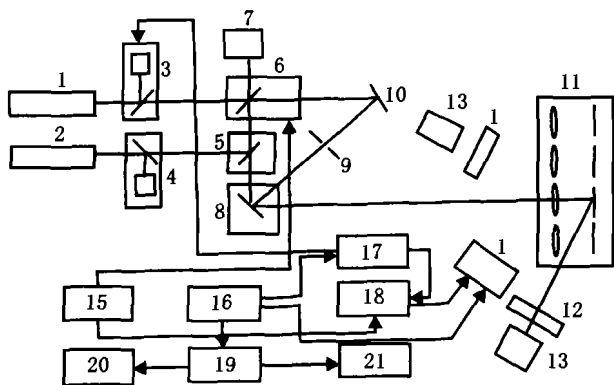
主要技术指标:工作波长为 $0.53 \mu\text{m}$ 、 $1.06 \mu\text{m}$ 及 $1.54 \mu\text{m}$;光谱范围为 $0.4 \sim 2.0 \mu\text{m}$;能量范围为 $10^{-3} \sim 1.0 \text{ J}$;脉冲宽度为 $10^{-3} \sim 10^{-9} \text{ s}$;测量不确定度为 0.5% 。

2.2.3 激光平均功率和能量一级标准

激光平均功率和能量一级标准可完成重复频率激光平均功率和能量的标定,其原理如图6所示。根据示意图,连续激光经反射镜及光阑射向衍射光阑,把激光束按衍射级分成两束:一束入射到标准探测器,另一束入射到待测激光功率计。由于已事先精确测定衍射光束的强度比,由此通过标准探测器的输出可以计算得到入射到待测功率计的标准值。

其主要技术指标:工作波长为 $0.488 \mu\text{m}$,

1.06 μm ;光谱范围为 0.4~12 μm ;测量范围为 0.01~2 W, 0.01~2 J;测量不确定度为 0.15% (0.1~2 W, 0.1~2 J), 0.50%(0.01~0.1 W, 0.01~0.1 J)。



1. $\lambda=488.0\text{ nm}$ 激光器;2. $\lambda=10.6\ \mu\text{m}$ 激光器;3. 488.0 nm 探测器;4. 10.6 μm 探测器;5,8,10. 反射镜;6. 波长转换装置;7. 光吸收器;9. 小孔光阑;11. 衍射分束器;12. 电子快门;13. 待检探测器;14. 标准探测器;15. 控制单元;16. 高精度稳压电源;17. 换向装置;18. 数字电压表;19. 处理器;20. 显示器;21. 打印机

图6 激光平均功率和能量一级标准装置示意图

Fig. 6 Diagrammatic sketch of first-order standard device for laser average power and energy

2.2.4 激光微能量标准

脉冲激光微能量标准装置分为激光能量溯源系统和激光能量传递系统,其原理如图7所示。

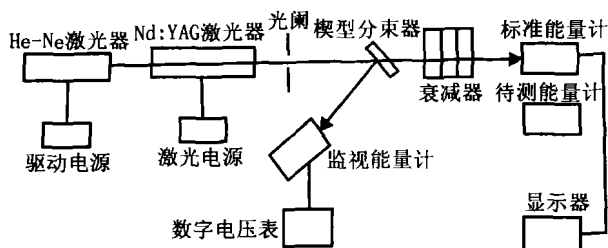


图7 脉冲激光微能量标准装置原理图

Fig. 7 Principle for low energy pulsed laser standard device

其主要技术指标:测量波长范围为 0.4~12 μm ;能量范围为 $10^{-3}\sim 10^{-12}\text{ J}$;定标波长为 1.06 μm ;测量不确定度为 6.0%。

3 发展与展望

21 世纪将是光电子技术起主导作用的世纪。作为光电子技术核心的激光技术将会进一步突飞猛进地发展,与此相适应的激光功率和能量计量技术必然会受到进一步重视。展望未来,我们认为以下几方面值得重视:

(1) 低温辐射计将作为激光功率和能量计量的基准得到普遍推广,它直接用于小功率量传,通过高准确度的分束器和衰减器,向中、大功率和能量全量程扩展。

(2) 提高深紫外脉冲激光的测量能力,以满足微电子、半导体光刻工艺中准分子激光的计量要求。

(3) 强激光功率和能量计量将是今后一个重要方向,它涉及单脉冲高峰值功率计量和连续波高能测量。

(4) 半导体激光器在光纤通信、激光打印、光盘等方面的使用非常广泛,因此对半导体激光器的参数计量和光纤功率计量将是今后值得重视的课题。

参考文献:

[1] G W Day. Metrology for the optoelectronics industry [R]. USA;NIST,1998.
 [2] 李同保. 光电子计量测试进展[C]. 厦门:光学测试会议,2002.
 [3] NPL. Measurement Services of Optoelectronics for NPL[R]. UK;NPL,1998.
 [4] 佚名. 计量测试技术手册(第十卷,光学)[Z]. 北京:中国计量出版社,1995.