

耐辐射宽波段快响应激光中功率计

宋定熙 吴有武

(西南技术物理研究所, 成都)

摘要: 介绍一种新材料量热型激光中功率计的设计思想和实验结果。它具有体积小、承受功率密度大、灵敏度高、响应快、光谱响应平坦、测量准确、携带方便等特点, 可广泛用于激光实验室、激光医学、激光加工以及外场实验等场合。

A middle power laser meter of high flux capability, broadband and fast response

Song Dingxi, Wu Youwu

(Southwest Institute of Technical Physics)

Abstract: In this paper, the design thought and experimental results of a new material thermopile middle power laser meter are reported. It has the characteristics of small volume, high power density capability, high sensitivity, fast response, spectral pattern smooth, accurate measurement and easy taking etc. It may be widely used in these are as such as laser laboratory, laser medicine, laser processing and outside experiments.

一、引 言

随着激光技术的迅速发展和广泛应用, 激光器的用量日益增多, 迫切需求对其输出功率进行检测和控制。我们根据科研、生产、使用的实际需要研制了一种用特殊工艺和材料制成的量热型激光中功率计, 经过较长时间的反复试验、比对和改进, 各项性能已得到较好的改善。实测响应度为 $1.3\text{mV/W} \sim 1.7\text{mV/W}$, 响应时间常数约为 2s , 承受功率密度大于 200W/cm^2 , 激光辐射功率动态测量范围宽为 $0\text{W} \sim 50\text{W}$ 、探头尺寸为 $\phi 85\text{mm} \times 50\text{mm}$ 、光谱响应函数平坦。本功率计配有便携式功率数字显示器, 携带方便, 操作简单, 可广泛用于激光实验室、激光医学、激光加工以及外场试验等场合。

二、原 理

LT-A型激光中功率计由圆盘型探测头和显示器两部分组成。探测头的受热体由特殊工艺和材料加工而成, 耐高温, 不氧化, 光谱响应函数平坦, 强度高, 不容易损坏。显示单元配有便携式数字功率显示器及高精度台式功率显示器(见图1)。

当激光束照射到受热体时, 激光辐射被受热体吸收后变成热, 再由热电堆直接测量其温

升 (T)，其温升正比于吸收的激光辐射功率 (P)。热电堆进行热电转换，产生热电势 (V)，由显示器直接显示辐射功率 (P)。

$$P = kV$$

式中， k 为比例系数，可用直流功率校正，标准功率计比对，或标准激光辐射源测出。量热型激光功率计原理如图2所示。

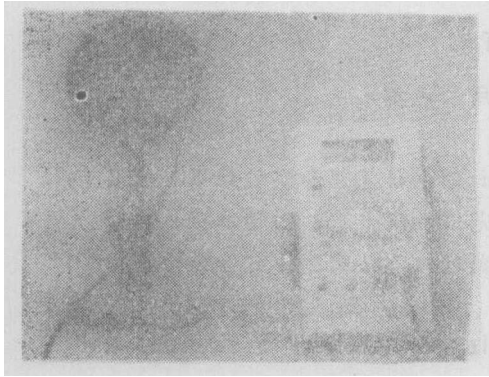


图1 LT-A1型便携式激光中功率计

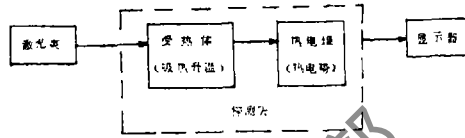


图2 功率计原理示意图

用电热转换原理来测定激光功率，必须解决好光辐射转换过程中辐射能量的损失。激光辐照受热体时，受热体被加热后把热量传给热电堆热端，经过热电转换后输出热电势，在这一过程中，光辐射的热量散失有热传导、热对流和热辐射三种形式。可见激光功率计受热体的温度变化响应是一个比较复杂的过程，数学上的精确描述比较困难^[1]。

为了讨论方便，这里只考虑主要因素——热传导的影响。根据热力学原理，当测温点处于热平衡时，输入测温点的加热功率等于测热点内部的储热率和热传导的热流散失，热平衡方程由下式表示：

$$P = C \frac{dT}{dt} + \frac{\Delta T}{R_n}$$

式中， P 是加热功率， C 是变热体的热容量， T 是受热体被加热后的温度， t 是受热辐射时间， ΔT 是受热体的温升， $\Delta T = T - T_R$ (T_R 为参考温度)， R_n 是受热体与散热器之间的热阻。

如考虑到激光辐射、受热体吸收系数的影响，则被受热体吸收的激光辐射功率应为：

$$P_a = \alpha P_0$$

$$\alpha P_0 = C \frac{dT}{dt} + \frac{\Delta T}{R_n}$$

式中， P_0 为激光辐射功率。

三、设计中的几点考虑

1. 受热体的选择^[4]

理想的量热计受热部分，应该是全吸收、无光谱选择性、耐高温辐射、性能稳定。因此对受热体材质的选择和设计是至关重要的，特别是对大、中激光功率计受热体的选择更是如此。我们先后选用了几种耐高温辐射材料进行实验比较，从大、中功率计的实际使用要求上看，只要保证安全，吸收系数稳定在某一个值就可以了，它并不影响探测器的精度。这里重要的是要耐高温辐射，而且在高温状态下性能要稳定，光谱选择性尽可能均匀、平坦。综合上述因素考虑，最后选用一种新材料进行特殊加工处理，这种材料的吸收系数好，耐光功率密度高，光谱响应平坦，性能稳定。在输出功率为50W的CW YAG激光长时间（10min~

30 min) 照射下, 不损坏, 不变形, 强度好。

受热体反射系数的光谱响应曲线如图3、图4所示。200nm到2500nm是用紫外近红外分光光度计测量的, 2.5 μm ~20 μm 是用红外分光光度计测量的, 光谱响应平坦, 反射率随波长增加极缓慢的增加。探测器在0.2 μm ~20 μm 波段的光谱响应率变化为0.06%/ μm ~0.08%/ μm , 光谱选择性误差小于1.6%。

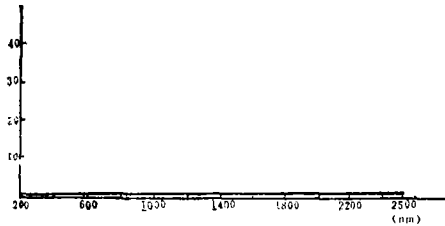


图3 200nm~2500nm光谱反射曲线(缩图)

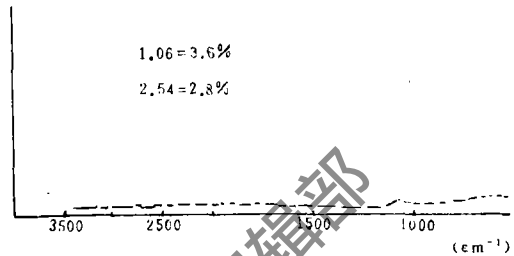


图4 2500nm~20000nm光谱反射曲线(缩图)

2. 热电偶的选择和制作

作为热电转换的热电偶, 直接影响到量热计的工作特性。我们进行了十余种热电偶组合试验, 实验结果表明铜、康铜、镍铬、镍铝、铂、铂铑等热电材料在中功率范围的线性变化都是比较好的。在实验的基础上, 选用镍铬-镍铝和镍铬-康铜两种, 它可测温度较高, 线性好, 灵敏度也满足要求。

工艺上, 在满足一定测温范围和灵敏度的情况下, 尽量采用尺寸小、质量小的热电材料, 进行优化组合, 得到了较好的效果。

3. 探测头响应时间的设计^[1,3]

量热型探测器的响应速度可根据它的热平衡方程求解得出。

$$\Delta T(t) = T_{\infty}(1 - e^{-t/\tau})$$

式中, T_{∞} 是 $t \rightarrow \infty$ 时受热器最终的温升, t 是时间, τ 是探测器的时间常数, $\tau = CR_{\infty}$ 。由此可见, 要减小热平衡时间, 必须降低热阻 R_{∞} , 从材料的选择和探测头的结构设计等方面改进, 同时要尽量减小受热体的热容 C , 在满足耐高温的条件下, 要尽量作到轻小, 使受热体、测温元件的热容相对散热器的热容尽量的小, 可以有效的降低时间常数, 改善动态测温误差。

另外, 改进台式功率显示器, 采用补偿网络亦可进一步减小量热型探测器的响应时间。

4. 结构设计

在满足一定精度要求的前提下, 从实用出发, 力求轻便灵活, 便于各种现场使用, 采用圆盘式吸收体和金属散热器的结构, 利用它结构简单、轻便的特点, 整个探测头的尺寸为 $\phi 85\text{mm} \times 50\text{mm}$, 受光有效孔径为 $\phi 18\text{mm}$, 可满足常用YAG激光器直接测试的需要。

5. 显示器的小型化和高精度

考虑到一般使用和实验室高精度的要求, 分别配备便携式数字功率显示器和高精度台式显示器。便携式数字显示器, 手掌大小, 仅用9V直流电池, 耗电甚小, 显示量程为0W~200W, 根据需要还可扩展到300W以上, 分辨率为0.1W, 性能上能满足一般使用要求, 小巧、轻便、灵活。台式功率显示器可满足精度要求较高的实验室使用, 最小分辨可达0.001W。

四、实验结果

1. 灵敏度和重复性

利用高稳定度的YAG连续激光光源和校准后的标准中功率计,对LT-A型激光中功率计的灵敏度和重复性进行了实测,探头灵敏度大于或等于 1.5mV/W ,在相同条件下,用多只探头样品,各反复读数5次,重复性误差小于1%。

2. 探头的非线性

用高稳定YAG连续光源和标准中功率计在 $0.5\text{W}\sim 5\text{W}$ 功率变化范围内对探头的直线性进行实测,从非线性曲线图5a、图5b可看出,它们的直线性较好,其非线性误差小于2%。图5a为YAG光源辐照实验曲线,图5b为 CO_2 激光源辐照实验曲线。

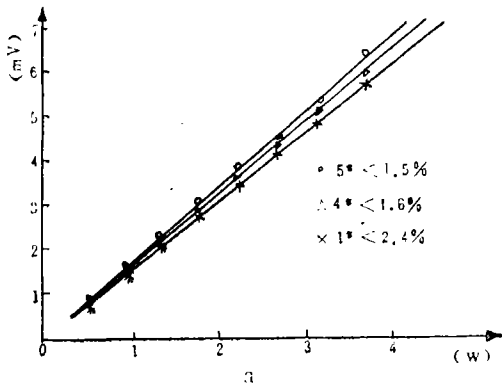


图5a 探测器的非线性

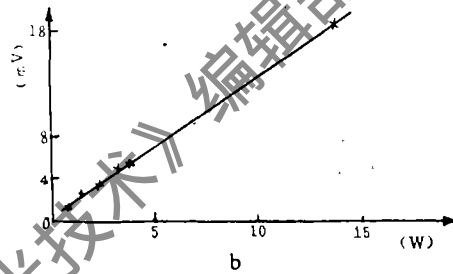


图5b 探测器的非线性

3. 响应时间

用高稳定度的YAG光源向探头输入一个稳定的阶跃光信号,探测头的热电势输入一台 α -Y函数记录仪,记录其输入阶跃响应的变化轨迹,并观察其稳定响应(即 $t\rightarrow\infty$)过程。曲线如图6所示。由图6看出,输出响应遵循指数定律。

$$u(t) = u_0(1 - e^{-t/\tau})$$

式中, u_0 为 $t\rightarrow\infty$ 的稳定值, τ 为时间常数。当 $t=\tau$ 时, $u(\tau)=0.632u_0$,即达到稳定值的63.2%。实测曲线表明,探头的响应时间为2s左右,10s后达到稳定响应,这与理论计算 $t=5\tau$ 时, $u(t)=99.326\%u_0$ 基本一致。

为了观察其稳定响应的变化,用稳定光源对探测头作了长时间的辐照试验,其输出基本稳定,曲线见图7,输出变化小于 $\pm 1\%$ 。

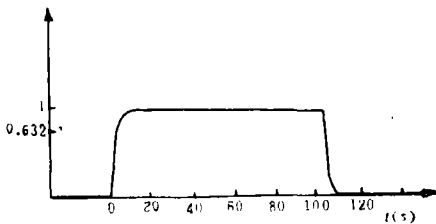


图6 探测头响应时间曲线(实测)

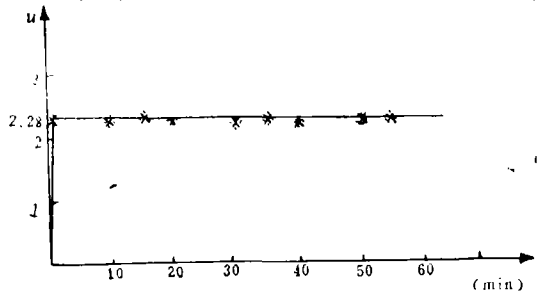


图7 长时间辐照响应曲线

4. 面响应均匀性

用直径5mm的光斑,以正中辐照为准,上下左右相距中心2mm~4mm辐照比较。探测

头的面积均匀性为 $\pm 2\% \sim \pm 4\%$ 。通过热电堆位置的调整,其均匀性还可进一步提高。

5. 与标准中功率计比对结果

利用中国测试技术研究院的标准中功率计对灵敏度、重复性误差进行比对,结果见附表。

附表 与标准中功率计的比对结果

样 品 编 号	标准中功率计 CO ₂ 光源(W)	LT-A激光功率计探头			重 复 精 度
		示 值(mV)	灵 敏 度(mV/W)	平 均 值(mV/W)	
3*	14.03	23.3	1.661	1.69	< $\pm 1\%$
	13.24	22.3	1.684		
	14.48	24.6	1.699		
	13.93	23.8	1.708		
	14.13	24.0	1.698		
4*	13.68	18.1	1.323	1.32	< $\pm 1\%$
	13.67	18.1	1.324		
	13.17	17.4	1.321		
	13.85	18.2	1.314		

比对结果表明,功率计的重复精度较好,响应时间也较快,可以满足一般中功率计的要求,比对中使用的CO₂激光光源,在测试过程中因电源有一定波动,可能带来一定的检测误差。

五、讨 论

1. 功率计上下限的扩展

LT-A型功率计是一种便携式激光中功率计,分辨率为0.1W,主要是满足一般工作环境和外场试验使用需要;高精度台式显示器,可将分辨率提高到0.001W。功率计的测量上限,只需在结构设计上作些改进,散热体增大一些,即可扩展到100W,300W。受热体可耐高温辐射,承受最大功率密度可大于200W/cm²,无须使用衰减装置和水冷装置等措施。

2. 功率计承受最大辐照功率密度

功率计承受最大辐照功率密度,这是使用者甚为关心的一个指标,功率计的损坏,多数是功率密度超载所致。对激光束还应考虑强度分布不均匀的特点。

为了实测功率计所能承受的最大辐照功率密度和它的疲劳老化性能,用光斑直径为5mm,输出功率大于80W的连续YAG激光器对功率计探测头进行了长时间辐照试验,辐照时间为响应时间常数的40倍以上^[5],其结果探测头灵敏面完好无损,所承受的辐照功率密度高达400W/cm²以上。上述试验表明,LT-A型激光中功率计可承受高的辐照功率密度,具有较好的耐疲劳老化的性能。

3. 散热器温升带来的冷端温升的影响

从理论上讲,室温的缓慢变化不会引起热电势的变化。实际上,由于室温的起伏和热流的复杂性,对热电势总是有一定影响的,从实测曲线(图7)看,其变化小于 $\pm 1\%$ 。这与热传导结构的设计很有关系。

楔形平板干涉法精确测量激光束微小发散角

赵明山 李国华

(曲阜师范大学激光研究所, 曲阜)

摘要: 本文介绍一种基于楔形平板剪切干涉原理测量激光束微小发散角的方法, 实验结果和理论分析表明, 该方法的测量精度可达1%, 发散角分辨率达0.01 mrad, 并具有测量方便、应用范围广等优点。

Precision measurement of small laser beam divergence using wedged plate shearing interference

Zhao Mingshan, Li Guohua

(Laser Institute, Qufu Normal University)

Abstract: A method of measuring small laser beam divergence in accordance to the principle of the wedged plate shearing interference is presented. The results of both experiment and theoretical analysis show that the method has the accuracy of 1%, the angle resolution up to 0.01 mrad, and the advantages of simplicity and wide applications.

一、引言

激光器输出光束总是发散的, 即使经扩束准直后, 仍有微小发散角。精确测量这种微小发散角在许多应用领域中是人们非常关心的问题(如激光雷达、激光测距等应用中, 需将发散角控制在0.1 mrad以内)。由于发散角非常小, 且光束直径较大, 采用通常的测量方法, 如几何方法^[1]、偏光干涉法^[2]、平行平板剪切干涉法^[3]等进行测量存在困难。为此, 本文介绍一种新的测量方法——楔形平板干涉法。该方法利用激光束在小楔角平板表面反射形成干

中国测试技术研究院光学室杨华元等同志, 在功率计研制过程中参与有益的讨论及性能测试检定工作; 国营四二〇厂麻毓璜同志为我们制备了重要材料, 向他们表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] 袁希光主编. 传感器技术手册. 北京: 国防工业出版社, 1986
- [2] 井上, 武海, 远腾 *et al.* *O plus E*, 1984; 12: 70
- [3] Budde W. *Physical detectors of optical radiation*. Canada; Academic Press, 1983
- [4] Greenfield E. *LF/E-O*, 1986 Mar.: 134
- [5] GB 6360-86 激光功率测试仪器规范

收稿日期: 1991年8月7日。

收到修改稿日期: 1991年10月22日。