

用于倍频激光测量的能量计

林康春 田莉 张洪林 周复正

(中国科学院上海光机所, 上海 201800)

提要 本文叙述了用于倍频激光测量的能量计原理、结构。给出的工作参数满足神光装置中短波长、短脉冲激光能量测量的要求。能量计整机不确定度为 $\pm 5\%$ 。

关键词 倍频激光, 能量计, 测量

A calorimeter for measurement of frequency-doubled laser light

Lin Kangchun, Tian Li, Zhang Honglin, Zhou Fuzheng

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

Abstract The principle and configuration of calorimeter are described for the measurement of frequency-doubled laser light. The operating parameters given herein satisfy the energy requirements for shorter wavelength, shorter pulse duration laser light at the Shengguang Facility, and the overall energy uncertainty is 5%.

Key words frequency-doubled laser light, calorimeter, measurement

1 引言

神光装置^[1]采用倍频(0.53 μm)短脉冲(100 ps, 20 ps)激光进行聚变物理实验可以提高靶吸收能量的耦合率,这就对倍频激光能量测量提出了更高的要求。因为倍频激光能量比基频激光能量降低1~2量级,而光功率密度仍保持不变,因此测量倍频激光能量的能量计既要求有高的灵敏度又要求有较大尺寸的接收口径。用于神光装置基频激光能量测量的能量计^[2]已不能满足倍频激光能量测量的要求。本文设计制作了一种体吸收能量计,它是采用灵敏、快速响应的半导体敏感元件,按照工艺物理学的方法进行巧妙的排列与组合,并用特殊的焊接技术制成半导体热电堆,使接收面热传导与热辐射的物理边界条件得到有效的补偿,因此,能量计在具有较高灵敏度的同时还具有很好的面响应均匀性。另外,整机结构还采用了双层热屏蔽隔离措施,从而解决了热电效应探测器中灵敏度与均匀性、灵敏度与稳定性两大矛盾。同时还专门设计制作了与接收器热电堆阻抗相匹配的低噪声直流放大器,使能量计整机最小感量达10 μJ ,满足了神光装置倍频激光输出能量测量的要求。

收稿日期:1992年4月24日;收到修改稿日期:1992年6月5日。

* 本工作受国家高技术激光领域资助。

2 原理和结构

能量计的工作原理是基于热力学第一定律。能量计吸收体瞬时得到能量后,在其温升的同时又通过热传递或热辐射而损失能量。假定能量计处于恒温情况下工作,在没有热源输入时与周围不会有热交换,其吸收体的温度变化 $T(t)$ 遵从牛顿冷却定律:

$$\frac{dT}{dt} = -K(T - T_0) \quad (1)$$

其中, K 为冷却常数, T_0 为环境温度。另一方面吸收体的温升与输入能量有下列关系:

$$E = \mu m C \Delta T \quad (2)$$

其中, μ 为比例常数, m 为吸收体质量, C 为吸收体比热。能量计吸收体接收的光能产生的温升与电定标时所施电能产生的温升相比较就可给出光电校准常数。

图 1 为能量计的结构简图,用离子着色中性有色玻璃作吸收体,接收激光能量;用合金铝作导热体,使光能或电能横向均衡分布;用漆包锰铜丝双线并绕在导热体边缘的凹槽内^[3]作加热器,供给电脉冲能量模拟激光能量作绝对标定;用 Bi-Te-Se-Sb 合金材料组成的 P 型和 N 型元件制作成热电堆,对光能或电能的变化作出响应;用纯铜作基块恒温体,保持热电堆冷端温度恒定;用超硬合金铝作外壳,起屏蔽作用。

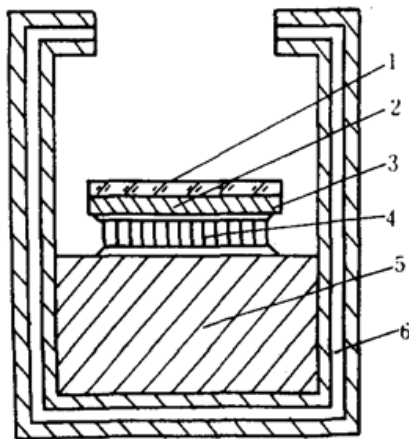


Fig. 1 Schematic diagram of the calorimeter

1-absorber; 2-conductor; 3-heater; 4-thermo-electric module; 5-isothermer 6-jacket

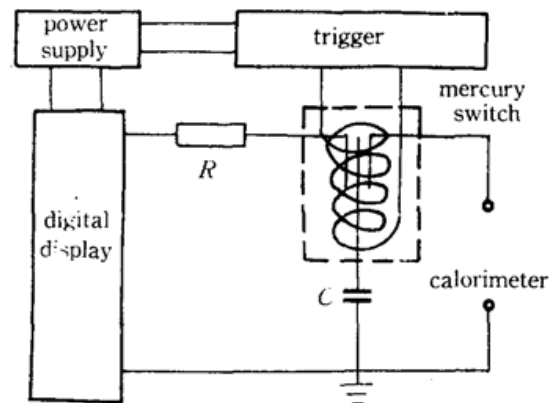


Fig. 2 Block diagram of calibrator

3 标定测试

定标器是根据能量计绝对定标的要求而设计制作的。图 2 为定标器的工作原理图,输入能量计的电能按下式计算

$$E = (1/2)CV^2 \quad (3)$$

其中, C 为电容, V 为电压, R 为充电电阻。电源通过 R 对 C 充电, C 通过水银开关把电能供给能量计。水银开关接触电阻小 (0.01Ω), 其启动线圈采用单稳态脉冲同步电路控制。水银开关的导通时间 $< 1 \text{ ns}$, 这远小于能量计的时间常数, 因此水银开关时间对能量测量影响可忽略。电标定器的电能释放时间常数从 ns - μs 可变, 标定能量范围为 μJ - J 量级。

放大显示器的主要性能指标如下: 输入阻抗 $> 50 \text{ M}\Omega$, 放大倍数分 $10^2, 10^3, 10^4$, 三档可调, 最高分辨率为 $0.1 \mu\text{V}$, 响应时间为 1.5 s , 零漂 $\leq \mu\text{V}/4 \text{ h}$, 增益精度 $< 0.05\%$, 电源不稳定性 $< 0.01\%$, 且有峰值保持和三位半数字显示功能。

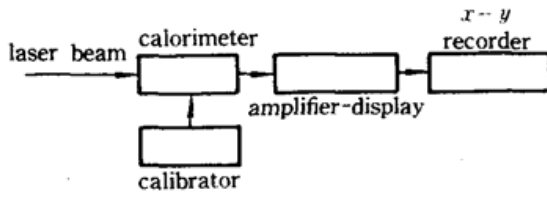


Fig. 3 Block diagram for calibration and measurement of the calorimeter

图 3 为能量计的性能测试方框图。当能量计接收器接收光能或电能后由热电堆转换成热电势输出可经放大显示器读数,也可接 $x-y$ 平面记录仪实测能量计的响应曲线,根据输入的能量可以推算灵敏度、响应时间、冷却常数、重复精度及电校准常数。

测量倍频激光的能量计,除要求具有高的灵敏度、能承受高功率激光冲击外,还要求接收面均匀响应,为此我们在激光定标装置上(激光定标装置上用的标准能量计经中国计量科学院标定测试,其灵敏度为 $14.4 \mu\text{V}/\text{mJ}$,面响应不均匀性为 $\pm 0.7\%$,测量精度为 $\pm 0.4\%$)采用 $\phi 5 \text{ mm}$ (吸收体口径的 $1/10$)的光束,对吸收体表面进行点扫描实测了能量计面响应不均匀性。倍频激光能量计的技术性能指标列于表 1,和国外同类型能量计主要性能比较列于表 2。

Table 1 Parameters of the calorimeter

Aperture (mm)	$\phi 50$
Sensitivity ($\mu\text{V}/\text{J}$)	12500
Range (J)	0.001~20
Peak power density ($\text{W}/\text{J} \cdot \text{cm}^2$)	10^9
Response time (s)	2
Cooling const (s^{-1})	0.005
Inhomogeneity	$\pm 1.5\%$
Reproducibility error	$\pm 1\%$
Uncertainty	$\pm 5\%$

Table 2 Comparison between our calorimeter and those from abroad

	Aperture (mm)	S_i ($\mu\text{V}/\text{J}$)	S_a ($\mu\text{V}/\text{J} \cdot \text{cm}^2$)
Reported in the paper	$\phi 50$	12500	636
Made Apollo laser Inc. [4]	$\phi 50$	1000	51

参 考 文 献

- 1 余文炎,雷仕湛,自然科学,11(5),352(1988)
- 2 林康春,周复正 *et al.*,光学学报,11(5),444(1991)
- 3 S. R. Gunn, *Rev. Sci. Instrum.*, 45(7), 936(1974)
- 4 美国 Apollo 激光公司产品介绍