

激光束二维强度分布的测量与功率测试标定

沈桂荣 傅恩生 李颖峰 王兵 陈磊 王玉芝

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

提 要

报道了研制的激光束二维强度分布测量装置, 实现了从红外到可见的激光束二维强度分布测量, 给出直观的激光束远场立体花样和平面分布等高能量图, 进一步用该装置测量出激光能量, 文章最后给出了标定方法和结果.

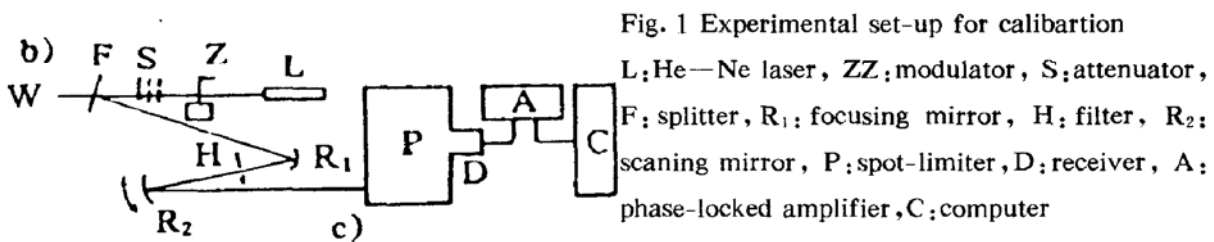
关键词 二维分布, 模体积, 功率测量.

1 引 言

激光束二维强度分布的测量在可见和近红外区域已有一些报道: CCD 法^[1]、尖劈法(列陈成像法)^[2]等. 但对 $10.6 \mu\text{m}$ 激光束的二维强度分布测量的报道甚少. 由于 CO_2 激光模式或强度分布对于各种应用都是非常重要的, 也曾有用烧蚀泡沫塑料或耐火砖方法, 对 CO_2 激光模式进行过观察和分析. 近几年发展的热释电焦平面列阵^[3]探测器很适合测量 $10 \mu\text{m}$ 激光束强度分布, 但国内尚未研制成功. 最近, 作者研制了 $10 \mu\text{m}$ 激光束二维强度分布的测试装置, 成功地测量了二氧化碳和氮-氦激光的远场立体花样和平面分布等高能量图, 同时给出激光束立体图所含的功率值. 该装置可以方便、直观快速地测出激光强度分布的二维形象, 给出二维图形. 而且可用于较宽的波长范围(从可见到红外)光强分布参数测量.

2 激光束二维强度分布的测量

实验装置如图 1 所示, 包括调制器 Z, 中性衰减片 S, 扫描反射镜 R_2 , 光束分割器 P, 热释电探测器 D, 锁相放大器 A 和计算机 C, 及光程引导反射镜 F, R_1 . 来自激光源的光束经过调制



器调制, 以选定的频率输送激光束到反射镜 F, R. 然后由计算机控制两个步进电机带动的扫描反射镜 R_2 , 将激光束送到光束分割器的入射狭缝, 最后接收器 D 把光信号变成电信号, 经锁相放大器后输送到计算机处理, 计算机最后打印出激光束平面和立体图. 图 2 和图 3 分别给出

用本装置测量的氦-氖激光和二氧化碳激光强度分布.

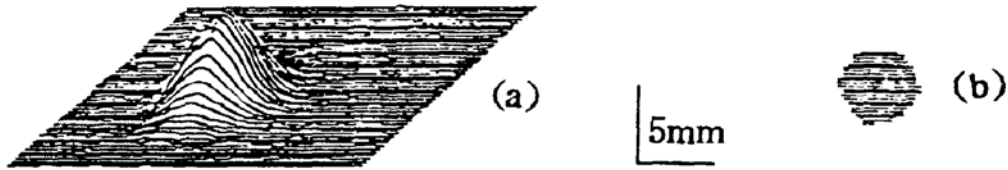


Fig. 2 Far-field pattern of He-Ne laser

(a) 2-dimensional distribution of laser intensity,

(b) the isopleth surface divided into six layers between 5% to 100%

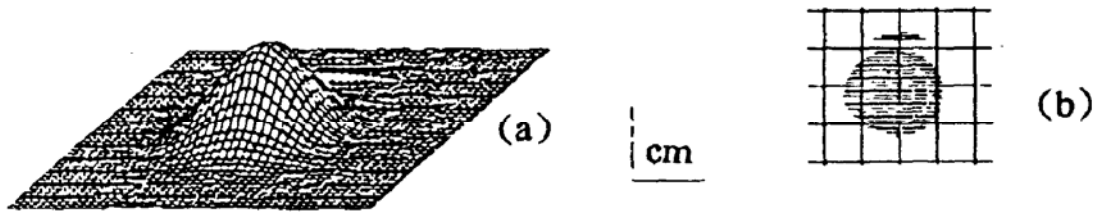


Fig. 3 Far-field pattern of CO₂ laser

(a) 2-dimensional distribution of laser intensity.

(b) the isopleth surface divided into six layers between 5% to 100%

3 由二维强度分布求激光功率

由于热释电探测器灵敏度高、波长响应宽,从可见到远红外响应平坦.最小可探测功率为 $10^{-10}W$.因此,它还可实现波长范围很宽的激光能量探测.如前,计算机控制的扫描反射镜 R_s 把激光束逐点取样照射在接收器 D 上后, D 逐一将光信号变成电信号,并将信号经锁相放大器输给微机,于是,在微机屏幕上,显示出激光二维强度分布.其分布曲线的高度不仅与锁相放大器的放大倍数和调制频率有关,而且主要与面积元上的光强有关.在一定的调制频率和放大倍数时,分布曲线的高度与相应光束截面上小面积元的光功率有特定关系.所以,二维强度分布中的小面积元与曲线高度之积就代表了这一面积元内的激光功率,关键的问题是求出这种关系.

设激光束的二维光强分布函数为 $f(x,y)$,在面积元 $d\sigma$ 上的光功率为 $K \times f(x,y)d\sigma$,则总截面为 Σ 的光束功率为

$$W = \iint K \times f(x,y)d\sigma = K \times \iint f(x,y)d\sigma = KT \quad (1)$$

式中 $T = \iint f(x,y)d\sigma$ 和模式直接有关的光强分布函数对应的值与面积的乘积称为模体积.可由微机按自编程序计算给出,因此 T 是已知的, K 为转换因子,它与放大器的放大倍数 β 、探测器响应率 R_r 和接收面积 A 、光束分割器透过系数 τ 、衰减系统的衰减率 α (α 根据光源的强弱及光束大小选定)有关.需要实验标定的是比例系数 K 满足下面关系:

$$K = W/T \quad (2)$$

由(1)式看出, K 所包括的系数是由实验确定的常数,因此,光束的总功率 W 正比于模式体积.而模体积可以通过上面测量的光束强度分布,用自编的计算程序求出,或简而言之用本装置测

出模体积. 因此, 只要标定实验中标定常数, 便实现了通过二维分布可测出功率 W . K 的物理意义是, 原光束的强度经过调制器、探测器的转换和锁相放大等作用后, 变成了计算机输入端的电压幅度值, 光束强度经过系列的传输、转换和放大的综合描述就是这系数 K 的物理意义, 或说是实验中所给定的参数. 可以对其逐一标定计算给出. 但这样标定实际应用不方便, 可用图 1 实验安排来进行整体标定.

4 转换因子的实验标定

图 1 为转换因子 k 的标定实验装置图, 实验中用不同的调制频进行了实验作比较, 选用频率 F_1, F_2 进行测量(同时用衰减片改变入射光功率值使仪器工作在线性区), 实验中由功率计 W 监测功率, 给出实时功率值, 微机给出激光二分布的体积 T . 对调制频率为 $F_1 = 12.5 \text{ Hz}$ 和 $F_2 = 500 \text{ Hz}$ 标定结果如表 1 所示. 由表 1 的数据作图(图 4), 横坐标为 $T(V \cdot \text{cm}^2)$, 纵坐标是测的激光功率. 曲线(1)调制率 12.5 Hz, 曲线(2)对应调频率 500 Hz.

table 1 The relation between power and modular-volume

$P(\text{W}) \times 10^{-3}$	$T(\text{V} \cdot \text{cm}^2)$	$W(\text{W}) \times 10^{-3}$	$F(\text{Hz})$	β	M
1.95	1.86	1.95	12.5	1	0
1.79	1.69	1.77	12.5	1	1
1.67	1.57	1.65	12.5	1	2
1.55	1.38	1.45	12.5	1	3
1.79	1.69	1.77	500	10^{-2}	0
1.67	1.55	1.64	500	10^{-2}	1
1.55	1.43	1.50	500	10^{-2}	2
1.42	1.30	1.37	500	10^{-2}	3

Note: P —He-Ne laser power (10^{-3}W) measured, T —modular-volume $W = KT$, M —attenuator, F —modulating-frequency (Hz), β —sensitivity (V) of phase-locked amplifier.

由图 4 中两条曲线可以求出其斜率等于 K , 其 K 值对应于频率 F_1, F_2 , 分别为

$$K_{12.5} = 1.07 \times 10^{-3} \text{ W/V} \cdot \text{cm}^2,$$

$$K_{500} = 1.08 \times 10^{-3} \text{ W/V} \cdot \text{cm}^2$$

图 2 为测得的氦-氖激光二维强度分布远场花样图. 被测光的波长 632.8 nm, 图 2(a) 是二维立体图, 图 2(b) 是光束等高能量平面图. 由微机算出图 2 的模体积 $T = 1.65 \text{ V} \cdot \text{cm}^2$, 所以激光功率 $W = K \times T = 1.73 \times 10^{-3} \text{ W}$. 这与实测 He-Ne 激光功率 $1.78 \times 10^{-3} \text{ W}$ (表 1 中给出实时功率值) 的结果基本一致. 微机给出上图的光束等高平面图如图 2(b) 所示, 当功率最大定为 100%, 图中从 5% 到 100% 按六等份划出等高功率图.

图 3 为二氧化碳激光二维强度分布远场花样. 微机给出 $T = 1.73 \times 10^3 \text{ V} \cdot \text{cm}^2$, $W = 1.87 \text{ W}$. 这与测得结果相符.

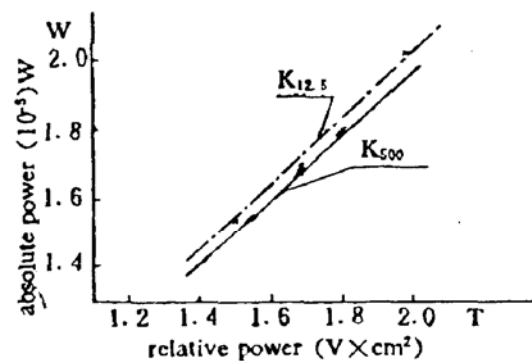


Fig. 4 The calibration curve of inversion coefficient. $K_{12.5}$ is the coefficient under the the frequency of 12.5 Hz, and sensitivity of 1V. K_{500} is the coefficient under 500 Hz and 10 mV.

5 讨论

显然,本文介绍的装置直观、方便地给出激光束的光强分布、能量分布的二维信息.由图直观地知道光束分布的均匀性和激光模式.可测量激光波长范围宽,不仅可用于 He-Ne 激光(632.8 nm),而且可以测 CO₂ 激光(10.6 μm)激光束的功率通过系数 K 给出,系数 K 已作了标定.为满足用户对不同光强(热释电探测器的有效接收面 $0.2 \times 0.05 \text{ cm}^2$ 上承受功率小于 2 mW)和光束孔径(扫描反射镜转角全角水平 72.5 mrad,垂直 17.5 mrad 的激光光源都可测量,在实际用时应根据实际条件调整,保证工作在线性状态.另外,微机采样步长可变,取点多,图形(与列阵测得结果比)更好.

比较两条曲线看出,调制频率高时,测得结果基本在一条线上,调制频率低,实验点离散定标线远.因此,在被测的激光功率较高时,选用高调制频率好,采样重复率高,数据准确.

本装置在入射狭缝光功率 $10^{-8} \sim 10^{-4} \text{ W}$ 时,可以给出很好的立体模式,等能量平面轮廓图,光束绝对功率值,同时还可给出光束的方向性,光腰大小,是一种极灵敏的功率测量装置.该系统作为弱信号的功率测试及图像显示在天文观测、污染监测、激光、医学以及薄膜研究上都可以广泛应用.

参 考 文 献

- [1] C. H. Sequin, M. F. Tompsett, *Charge transfer devices*. Academic press, Inc., 1975
- [2] 梁向春,蒋玉柱,施阿英, 用列阵成像方法测量激光束的远场. *中国激光*, 1981, 8(8):56
- [3] Heather W. Messenger, Wide range of choices faces detector users. *Laser Focus words*. 1991, 27(3)

Two-dimensional distribution measurements of laser beam intensity and the measuring system calibration

SHEN Guirong FU Ensheng LI Yingfeng WANG Bing
CHEN Lei WANG Yuzhi

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

(Received 13 February 1992; revised 23 March 1992)

Abstract

A novel measuring system for 2-dimensionnal distribution measurement of laser intensity from IR to visible has been developed and the factor of conversion has been given. The experimental calibration and the results of the measuring system are presented in this paper.

Key words 2-dimensional distribution, mode-volume, power measurement