

90/10 刀口法测量激光高斯光束束腰的实验研究

樊心民¹, 郑义^{1,2}, 孙启兵³, 王冠军¹, 曾灏宪¹, 邢丕彬¹, 任怀远¹

(1. 郑州大学河南省激光与光电信息技术重点实验室, 河南 郑州 450052; 2. 北京交通大学激光研究所, 北京 100044;
3. 中国科学院西安光学精密机械研究所瞬态光学与光子学国家重点实验室, 陕西 西安 710068)

摘要:利用 90/10 刀口法测量高斯激光光斑尺寸及光束束腰尺寸, 克服了传统方法过程繁杂的缺点, 精度高、效率高, 操作简单。

关键词:90/10 刀口法; 高斯光束; 激光光斑尺寸; 光束束腰尺寸; 光束参数测量

中图分类号:TH741 **文献标识码:**A

Experimental Study on Measuring the Beam Waist of Gaussian Laser Beam Using a 90/10 Knife-edge Method

FAN Xin-min¹, ZHENG Yi^{1,2}, SUN Qi-bing³, WANG Guan-jun¹,
ZENG Hao-xian¹, BING Pi-bin¹, REN Huai-yuan¹

(1. Henan Key Laboratory of Laser and Opto-electric Information Technology, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China; 2. Institute of Laser, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;
3. Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068, China)

Abstract: The spot size and beam waist of laser are important parameters for assessing the performance of lasers. Using the 90/10 knife-edge method, the precision measurement of the spot size and beam waist of laser are discussed. The knife-edge method, avoiding the complicated process of traditional measurement, is accurate, effective and simple.

Key words: the 90/10 knife-edge method; gaussian beam; laser spot size; beam waist spot size; beam parameter measurement

1 引言

在激光技术及应用中, 激光束腰的尺寸是一个重要的参数, 它的精度直接影响激光光束质量因子的判定。在激光器的设计中它的大小还会影响对晶体热效应的估算。激光光束直径的测量一般有套孔法、刀口法、CCD 法等。对于套孔法, 在实验上很难做到孔与光束同心, 因而精度难以保证。而 CCD 法虽然精度高, 但仅对低功率的光束测量适用。而对于高功率激光, CCD 存在饱和现象, 如果用衰减片, 则会引起光束的畸变。而刀口法不存在上述问题, 对高能量光束半径的测量特别实用。因而, 刀口法是一种测量高斯光束光斑尺寸及束腰尺寸的理想方

法^[1]。但是以往刀口法的研究大多只集中在光斑直径位置所对应的能量百分比的理论研究上, 采用 90/10 刀口法对高斯光束光斑及束腰进行测量的研究基本没有。

2 实验理论及方法

图 1 是单横模激光束圆对称的激光光斑的能量分布曲线。其光强分布为:

$$I = I_0 e^{-8r^2/\omega^2(z)}$$

基金项目:河南省高校创新人才培养对象基金项目。

作者简介:樊心民(1981-), 男, 在读硕士研究生, 主要从事全固态激光及光电子技术的研究。E-mail: xinminfan@163.com

收稿日期:2007-12-24

式中, I_0 为光斑中心极大处的光强; I 为距离中心 r 处的光强; $\omega(z)$ 为 z 处横截面内光强降落到中心值的 $1/e^2$ 的光斑直径。

由于光束能量的这种分布模式,使得激光光斑横向尺寸的测量很值得研究。我们采用 90/10 刀口法对高斯光束光斑及束腰进行测量,方法如下:

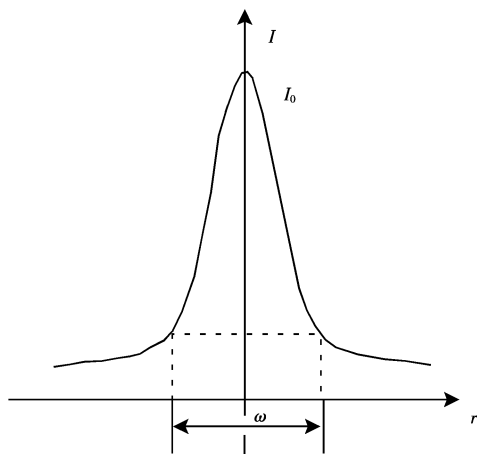


图1 单横模激光光斑能量横向分布图

将刀片固定在可四维调节的光学平台上,且平台下面装有沿前后、左右两垂直方向都可较长距离旋进的螺旋测微器,使刀片所在的平面垂直于高斯光束轴线(Z 轴),如图2所示。设在刀片没有遮挡

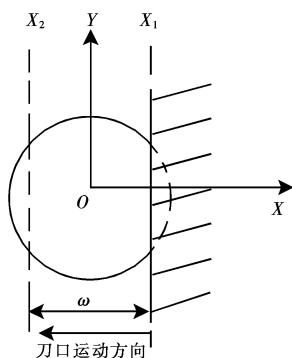


图2 高斯光束横向测量示意图

时高斯激光光束的功率为 P ,沿 $-X$ 轴方向旋转测微器移动刀口,当刀口运动 X_1 到处时,刀片会挡住 10% 的激光功率,即此时功率计探测到的功率为 P_1 ,且 $P_1 = 90\% P$ 时,记录下此位置所对应的螺旋测微器示数 X_1 。再沿 $-X$ 轴方向继续移动刀口,当功率计示数为 P_2 ,且 $P_2 = 10\% P$ 时,记录下此位置所对应的螺旋测微器示数 X_2 。此时测量到的高斯光束束腰的直径 $\omega = X_1 - X_2$ 。再旋转纵向螺旋测微器,在高斯光束束腰两侧沿 Z 轴等距离间隔测出一组光束直径 ω_n ,如图3所示,就可以通过双曲线拟

合方程 $\omega_n^2 = A + Bz + Cz^2$ 拟合出系数 A, B, C ,再通过公式 $\omega_0 = \sqrt{A - B^2/4C}$ 计算出高斯光束束腰直径的测量值 $\omega^{[2-3]}$ 。进而计算得实际的高斯光束束腰直径为 $\omega_0 = 1.561\omega^{[4]}$ 。

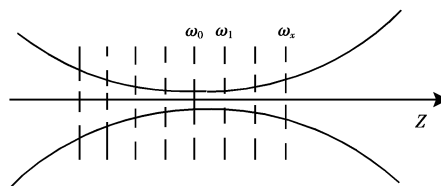


图3 高斯光束纵向测量位置示意图

3 实验装置

如图4所示,LD 泵浦的 TEM_{00} 模运转激光波长为 1064nm 的 Nd:YVO₄ 激光器经过透镜 M_1, M_2 、耦合系统(扩束比 1:0.5)聚焦,对 A, B 束腰的大小进行测量。

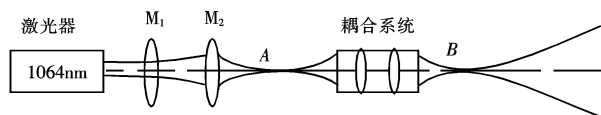


图4 测量激光光束示意图

整个实验装置只需要:一刀口较好的刀片、可安装刀片的四维调节架,在沿被测高斯光束的纵向和横向上都装有千分尺的光学平台、一台灵敏功率计。整个实验可在普通实验室进行。

4 实验数据

对图4中耦合系统(1:0.5)前后(即 A, B 两位置)光束束腰的大小进行测量。

先对 B 位置进行测量。没有移动刀片时 B 点的功率计示数为 $P_0 = 0.810W$,当刀口移动到 X_1 位置时, $P_1 = 0.729W$,当刀口移动到 X_2 位置时 $P_2 = 0.081W$ 。在束腰前后位置沿光束传播方向测量 13 个点。测量数据如表1所示。

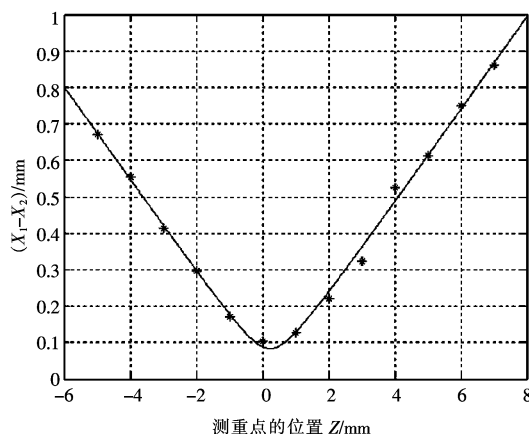


图5 B处光束光斑直径测量值的拟合曲线

不同位置光束直径测量值的大小为: $\omega_n = X_1(z_n) - X_2(z_n)$, ω_n 的拟合曲线如图 6 所示。

由拟合曲线得出 B 处束腰直径的测量值为: $\omega_B = 0.0837\text{mm}$, 计算得 B 处束腰直径的大小为 $\omega_{0B} = 1.561\omega_B = 0.1307\text{mm}$ 。

注意:拟合曲线最低点并不一定在横坐标中

表 1 B 点前后测量数据

Z_n	Z_{-5}	Z_{-4}	Z_{-3}	Z_{-2}	Z_{-1}	Z_0	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7
$X_1(Z_n)$	7.288	7.295	7.279	7.289	7.280	7.309	7.378	7.488	7.598	7.770	7.870	8.005	8.111
$X_2(Z_n)$	6.616	6.741	6.865	6.993	7.110	7.205	7.250	7.266	7.275	7.244	7.258	7.255	7.250

表 2 A 点前后测量数据

Z_n	Z_{-6}	Z_{-5}	Z_{-4}	Z_{-3}	Z_{-2}	Z_{-1}	Z_0	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6
$X_1(Z_n)$	6.935	6.975	7.005	7.048	7.088	7.128	7.176	7.226	7.298	7.402	7.490	7.570	7.645
$X_2(Z_n)$	6.501	6.586	6.666	6.760	6.870	6.947	7.020	7.075	7.113	7.148	7.170	7.148	7.188

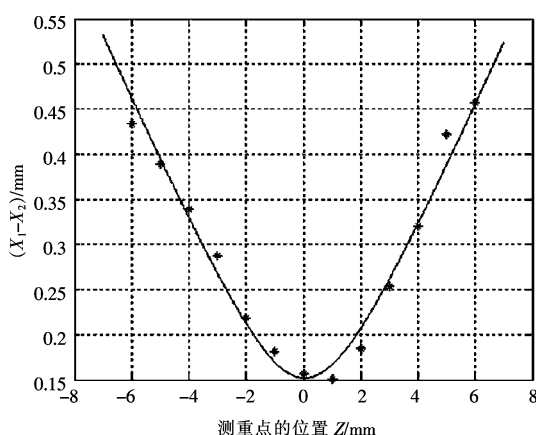


图 6 A 处光束光斑直径测量值的拟合曲线

由拟合曲线得出 A 处束腰直径的测量值为: $\omega_A = 0.1517\text{mm}$, 计算得 A 处束腰直径的大小为 $\omega_{0A} = 0.2368\text{mm}$ 。

5 实验分析

由以上数据可得, $\omega_{0A}/\omega_{0B} = 1:0.55$, 与理想值 $\omega_{0A}/\omega_{0B} = 1:0.55$ 基本相等。从上面的实验过程可以看出, 该实验方法过程简单、实验结果精确度高。但是在实验中应该注意以下几点^[4-9]:

(1) 必须保证刀口质量好, 刀片尽量薄。
(2) 刀口必须垂直于高斯光束轴线方向, 否则会影响测量的精度。

(3) 在测量过程中由于在 X_1, X_2 点功率计反应比较灵敏, 所以应当小心、仔细旋转螺旋测微器, 尽量减小测量误差。

(4) 在束腰位置, 激光功率密度比较高^[10], 所以应当根据实际情况选择合适的激光功率, 不致将刀口

“0”点位置(即估计的束腰处), 但是这并不影响计算结果。

按照同样的测量方法, 对 A 点进行测量, 测量数据及拟合曲线如下:

$$P_0 = 0.850\text{W}, P_1 = 0.765\text{W}, P_2 = 0.085\text{W}.$$

烧坏, 但是, 功率也不能太低, 否则会增大测量误差。

6 结论

由以上工作可以看出, 90/10 刀口法测量高斯光束光斑尺寸方法简单, 对实验器材要求低, 易于操作, 测量结果精度可达微米量级, 能满足一般实验室激光光束直径测量的需要。所以, 90/10 刀口法是一种比较理想的测量高斯光束光斑尺寸大小的方法。

参考文献:

- [1] M²-200 Beam Propagation analyzer operator's manual version 3.0[M]. Operating Controls and Displays, 1999, 3-27.
- [2] 陆璇辉, 陈许敏, 张蕾, 等. 刀口法测量高斯光束光斑尺寸的重新认识[J]. 激光与红外, 2002, 32(3): 186-187.
- [3] 高雪松, 高春清, 杨绍状, 等. 面阵 CCD 激光光束参数测量系统及其实验研究[J]. 中国激光, 2005, 32(7): 993-996.
- [4] 赵长明. 激光光束质量参数测量的实验研究[J]. 激光技术, 2000, 24(6): 341-344.
- [5] 熊小华. 刀口法测量高斯光束腰斑大小实验设计[J]. 南昌航空工业学院学报, 2000, 14(3): 73-75.
- [6] 李文成, 谷晋骐, 王涌萍. 激光光斑及束腰光斑尺寸的测量研究[J]. 应用光学, 2002, 23(3): 30-33.
- [7] 孙伟, 高春清, 魏光辉. 精确 CCD 光束参数测量与评价系统的设计[J]. 北京理工大学学报, 2000, 20(4): 471-474.
- [8] 陈志清, 陈家璧. 单模光纤膜场直径的刀口扫描法[J]. 光通信技术, 1986, 10(1): 30-33.
- [9] 李文成, 谷晋骐, 王涌萍. 激光光斑及束腰光斑尺寸的测量研究[J]. 天津大学学报, 2002, 35(3): 358-361.
- [10] 伍长征. 激光物理学[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1989.