

测量高斯光束径向强度分布及束径的新方法

朱 延 彬

(中国科学院安徽光机所)

提要: 本文提出了一种测量高斯激光束径向强度分布及束径的新方法。在截面内对任意等距三点采光测量,就可求得此光束的径向强度分布及束径。

A new method for measuring radial intensity distribution and diameter of the Gaussian beam

Zhu Yanbin

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: The paper introduces a new method for measuring the radial intensity distribution and the diameter of the Gaussian beam. The radial intensity distribution and the diameter of the Gaussian beam can be obtained by measuring only the intensities on three coordinate point in the same cross section of the Gaussian beam.

一、概 述

激光束的束径是激光器输出的重要参数之一。高斯激光束的束径通常是定义为垂直于光轴的截面上、强度分布为最大值 $\frac{1}{e^2}$ 处的光束直径。垂直于光轴的光束截面上的高斯强度分布与束径存在如下关系:

$$\begin{aligned} I &= I_0 \exp\left[-2\left(\frac{r}{r_0}\right)^2\right] \\ &= I_0 \exp\left[-2\left(\frac{x}{r_0}\right)^2\right] \exp\left[-2\left(\frac{y}{r_0}\right)^2\right] \end{aligned} \quad (1)$$

这里 I_0 为光束中心的峰值强度(在本文中,强度可以是功率密度,也可以是能量密度); r_0 为光束半径,束径 $d_0 = 2r_0$ 。现在有四种方法测量高斯光束的束径,即:扫描针孔法^[1];扫描刀口法^[2];扫描狭缝法^[3];扫描 Ronchi 刻尺法^[4,5]。这些方法的一个共同特点是要移动测量元件(即移动针孔、刀口、狭缝或者 Ronchi 刻尺),因而不能在同一时刻对整个高斯激光束进行测量。此外还要求一套运动机构,这样,测量装置就较为复杂。

本文提出的测量方法,不仅可用于对连

收稿日期:1981年5月8日。收到修改稿日期:1982年6月10日。

续激光束进行测量,而且也可对脉冲激光束进行测量,测量方法简单。

二、基本公式推导

高斯光束直角坐标系中的径向强度分布为:

$$I(x) = I_0 \exp\left[-2\left(\frac{x}{r_0}\right)^2\right] \quad (2)$$

假定在 x 坐标轴上有任意三个坐标点 x_1, x_2, x_3 , 它们具有如下数值关系:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= c; \\ |x_2 - x_1| &= |x_3 - x_1| = d \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

高斯光束在这三个坐标上所对应的强度为:

$$\left. \begin{aligned} I(x_1) &= I_0 \exp\left[-2\left(\frac{-c}{r_0}\right)^2\right]; \\ I(x_2) &= I_0 \exp\left[-2\left(\frac{-c-d}{r_0}\right)^2\right]; \\ I(x_3) &= I_0 \exp\left[-2\left(\frac{-c+d}{r_0}\right)^2\right]。 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

所以

$$\left. \begin{aligned} \frac{I(x_1)}{I(x_2)} &= \exp\left[-2\left\{\frac{c^2 - (c+d)^2}{r_0^2}\right\}\right]; \\ \frac{I(x_1)}{I(x_3)} &= \exp\left[-2\left\{\frac{c^2 - (c-d)^2}{r_0^2}\right\}\right]。 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

对(5)两边取对数,并化简为:

$$\left. \begin{aligned} \ln \frac{I(x_1)}{I(x_2)} &= \frac{4cd + 2d^2}{r_0^2}; \\ \ln \frac{I(x_1)}{I(x_3)} &= \frac{-4cd + 2d^2}{r_0^2}。 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

如令

$$A = \ln \frac{I(x_1)}{I(x_2)} + \ln \frac{I(x_1)}{I(x_3)}, \quad (7)$$

则得

$$r_0 = \sqrt{\frac{4d^2}{A}}。 \quad (8)$$

由式(8)可见,如已知等距为 d 的三个坐标的强度值 $I(x_1), I(x_2)$ 及 $I(x_3)$, 便可以求得此光束的半径 r_0 。

再令:

$$B = \ln \frac{I(x_1)}{I(x_2)} / \ln \frac{I(x_1)}{I(x_3)} \quad (10)$$

则利用(6)式求得:

$$c = \frac{d(B-1)}{2(B+1)} \quad (11)$$

由(4)式可得

$$I_0 = \frac{I(x_1)}{\exp\left(-2\frac{c^2}{r_0^2}\right)}, \quad (12)$$

于是,此高斯光束的径向强度分布可用下式表示:

$$= I(x_1) \exp\left[-2\frac{x^2 - c^2}{r_0^2}\right] \quad (13)$$

(13)式中的 r_0 及 c 分别由(8)式及(11)式所确定。

当 $c=0$ 时,上述公式均可简化:

$$\begin{aligned} I_0 &= I(x_1); \\ I(x_2) &= I(x_3); \\ A &= 2 \ln \frac{I_0}{I(x_2)} = 2 \ln \frac{I_0}{I(x_3)}; \\ r_0 &= \sqrt{\frac{2d^2}{\ln \frac{I_0}{I(x_2)}}} = \sqrt{\frac{2d^2}{\ln \frac{I_0}{I(x_3)}}}; \\ B &= 1; \\ I &= I(x_1) \exp\left[-2\left(\frac{x}{r_0}\right)^2\right]; \end{aligned} \quad (14)$$

(14)、(15)两式成立要满足的附加条件是 $d < r_0$

三、测试结果及结论

为了验证测量方法的正确性,我们利用图1所示的测量装置对基本上是高斯强度分布的激光束进行了测试。采用了两种测试方法,一种是本文介绍的;另一种是采用逐点测量光强,然后画出其径向强度分布。图2为测试的结果,其中(a)所示的测试对象是 He-Ne 激光束。用本文方法的测试结果为: $I(x_1)$

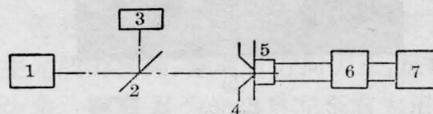


图 1

1—激光器; 2—部分反射镜; 3—功率计;
4—狭缝; 5—硅光二极管; 6—测量电路;
7—静电伏特计

$=2.2$ 伏, $I(x_2)=1.2$ 伏, $I(x_3)=1.7$ 伏, $d=0.4$ 毫米, 由此测试结果可画出此激光束的径向强度分布曲线为 $r_0=0.86$ 毫米的高斯

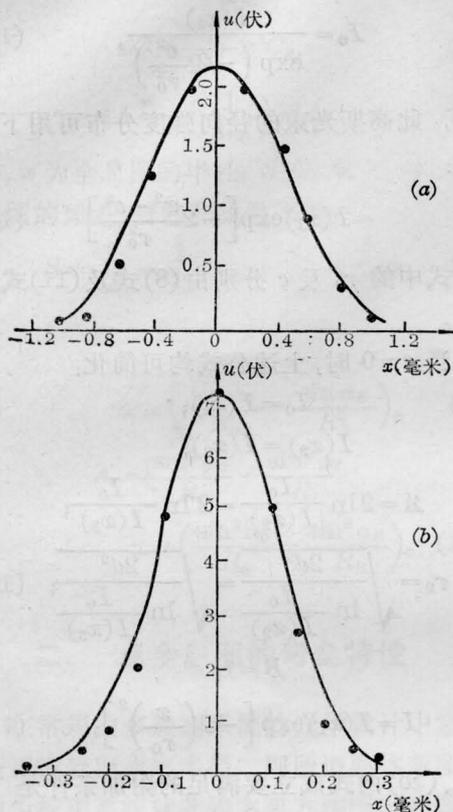
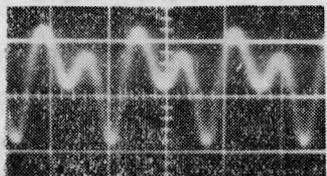
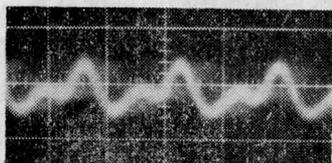


图 2

(上接第 100 页)



(a)



(b)

图 9

(调制器驱动频率: $f=19.43$ 兆赫; 0.03 微秒/格)

在本实验及其对结果的分析中曾与张光

曲线: $I(x)=2.21 \exp(-2.7x^2)$ 。“.”点为用狭缝逐点测量的数据, 狭缝宽度 0.05 毫米, 两种方法得到的结果相当吻合。

图 2(b)为对经过聚焦物镜的聚焦激光束的测试结果: $I(x_1)=7.3$ 伏, $I(x_2)=5.0$ 伏, $I(x_3)=4.9$ 伏, $d=0.1$ 毫米。由此结果可画出 $r_0=0.227$ 毫米的高斯曲线, 即在所测的截面上的径向强度分布函数为 $I(x)=7.3 \exp(-38.92x^2)$ 。图中“.”点为用狭缝逐点测量的数据, 狭缝宽度为 0.02 毫米。两种方法得到的结果吻合得也很好。上述测试结果表明, 本文所述的测量方法是正确可行的。

作者衷心感谢陆志贤、江庆五、张志萍三位同志在测试工作中所给予的帮助。

参 考 文 献

- [1] C. K. Rhodes, A. Szoke; In *Laser Handbook*, 1, F. T. Arecchi, E. O. Schulz-DuBois, Eds, North-Holland, Amsterdam, 1972.
- [2] Y. Suzuki *et al.*; *Appl. Opt.*, 1975, **14**, No. 12, 2809.
- [3] J. E. Pearson *et al.*; *JOSA*, 1969, **59**, 1440.
- [4] R. J. Anderson, C. Larson; *Appl. Opt.*, 1971, **10**, No. 7, 1605.
- [5] LeRoy, D. Dickson; *Optical Engineering*, 1979, **18**, No. 1, 70.

寅、张春平等同志进行过有益的讨论, 李荣荣、马树昌、孔强、陈煦等同志曾参加了部分测试, 在此致以谢意。

参 考 文 献

- [1] F. T. Arecchi; 《非线性光学手册》, (中译本), 1978, 133.
- [2] E. C. Richardson; “Technical Aspects of Sound”, 1957, **II**.
- [3] 董孝义, 盛秋琴; 《激光》, 1982, **9**, 157.
- [4] A. Yariv; “Quantum Electronics”, Second Edition, 1975.
- [5] 刘鸿举等; 《声学学报》, 1980, No. 2, 135.
- [6] 徐介平; 《北京工业大学学报》, 1980, No. 2, 60.
- [7] DiDomenico *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1965, No. 6, 150.
- [8] 李荫远, 杨顺华; 《非线性光学》, 1974, 12.
- [9] 董孝义; 《应用激光联刊》, 1982, No. 5, 48.