

激光光束质量参数测量的实验研究

赵长明

(北京理工大学光电工程系,北京,100081)

摘要: 采用 CCD 系统实验测量了 LD 泵浦 Nd YAG 激光器的光束质量参数,研究了 CCD 系统的背景噪声特性和积分区域选取对光束质量参数测量的影响,从实验数据中得到以下结论:(1)在有、无背景光两种条件下,背景计数强烈地依赖于曝光时间和像素的合并,温度影响可以忽略不计;(2)为获得 M^2 合理的测量结果,至少要选择 5% 积分区域。

关键词: M^2 因子 CCD 摄像机 光束质量

Investigation on the experimental measurement of laser beam quality

Zhao Changming

(Dept. of Optical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing, 100081)

Abstract: The beam quality of a LD pumped Nd YAG laser is measured with CCD camera system. The background characteristics of the CCD system and the influence of the size of integral box upon measurement results are investigated. The following conclusions can be derived from experimental results: (1) Background is strongly depend upon exposure time and pixel binning, while temperature has an ignorable effect upon it, whether with or without ambient light. (2) A 5%-cut is the minimum value in order to get a reasonable result.

Key words: M^2 factor CCD camera beam quality

引 言

激光光束质量参数,即 M^2 因子的测量是近几年研究的一个热点。ISO 建议的测量方法包括两维面阵探测系统或二维单元扫描系统、套孔法、移动刀口法和移动狭缝法^[1]。用以电荷耦合器件(CCD)为代表的面阵探测器件测量激光光束质量参数具有速度快、数据量大和易于计算机处理的优点,特别是对于脉冲激光的测量具有特殊的优势。CCD 器件用于定量测量存在的问题是:直流基线漂移和随机噪声。因为基于二阶矩方法定义的束宽是以距离平方作为积分权重的,远离光束中心的随机噪声会对积分结果产生较大的影响^[2],为此,测量中要适

7 Zhang Sh L, Lu M, Wu M X *et al.* Opt Commun, 1993; 96(4): 245 ~ 248

8 韩艳梅, 张书练, 李克兰. 激光技术, 1997; 21(2): 111 ~ 114

9 Zhang Sh L, Li K L, Wu M X *et al.* Opt Commun, 1992; 90: 279 ~ 282

作者简介:李岩,男,1963年5月出生。博士,副教授。从事激光及光电系统的研究和光电仪器设计。

傅杰,男,1973年10月出生。硕士研究生。现主要从事频率分裂双频激光器技术及其应用方面的研究。

张书练,男,1945年10月出生。教授,博士生导师,美国OSA会员。现主要的研究领域为光学与激光,光电技术及系统的理论其应用。

当选择积分区域的大小。一些理论研究结果给出过选择积分区域的准则^[3],即以束宽的某一倍数作为积分区域,而束宽正是欲测参数。所以,对于一个未知的待测光束如何选择积分区域,还没有可以应用的测量准则。因此,有必要从实验上研究光束质量的测量问题。

下面报道了作者在德国柏林技术大学物理系光学研究所 H. Weber 教授的研究组访问期间,在激光光束质量参数测量方面的一些实验结果。

1 实验装置

实验是在一台 LD 泵浦的 Nd YAG 激光器上进行的,LD 泵浦光通过光纤直接耦合到 Nd YAG 晶体上,谐振腔由镀在 Nd YAG 晶体上的高反膜和独立的输出镜构成,通过机械平移机构改变泵浦光在晶体上的位置,或通过调节输出镜,都可以获得基横模或各种阶次的高阶单横模,在大多数情况下获得的是矩形对称

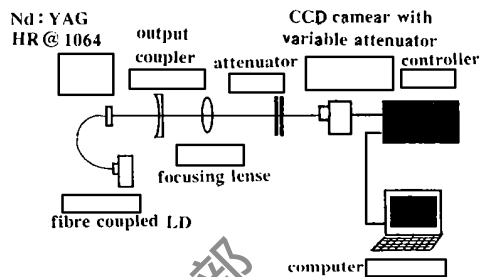


Fig. 1 Laser beam quality parameter measurement experimental setup

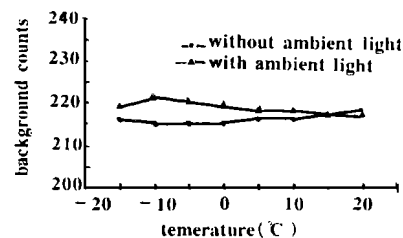


Fig. 2 Variance of background counts with temperature

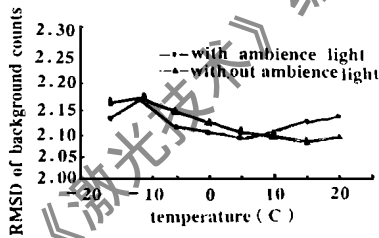


Fig. 3 Variance of RMSD of background with temperature

的厄米-高斯模,经过仔细调整也可以获得圆对称的拉盖尔-高斯模。光强的衰减由中性玻璃衰减片和 PHOTON 公司的可变衰减器共同完成。

CCD 摄像机采用 Princeton Instruments 公司的 MicroMAX 系统,图像的采集采用 Winview 软件,光束参数计算采用 B. Eppich 博士编写的 BEAMPROF 软件。实验装置见图 1。

2 实验结果

首先测量了不同情况下 CCD 摄像机的背景噪声特性。

图 2 为有、无背景光照射条件下,背景噪声记数随温度的变化情况。图 3 为有、无背景光照射条件下,背景噪声记数的标准方差随温度的变化情况,可见,在本实验条件下,背景光并不增加背景记数及其标准方差,温度的影响亦可忽略。

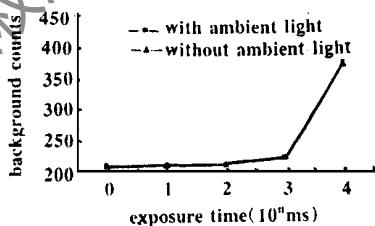


Fig. 4 Variance of background with exposure time (15,568 × 517 pixels)

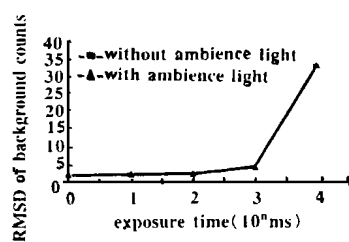


Fig. 5 Variance of RMSD of background with exposure time (15,568 × 517 pixels)

图 4 为有、无背景光照射条件下,背景噪声记数随曝光时间的变化情况,图 5 为有、无背景光照射条件下,背景噪声记数的标准方差随曝光时间的变化情况,同样,背景光的影响可以忽略,而曝光时间的影响是很显著的。图 6 和图 7 则显示了像素的合并(binching)对背景噪声记数及其方差的影响。

其次,测量并计算了各种模式 (TEM₀₀, donut, TEM_{7,0} 和 TEM_{10,0}) 的光束质量参数。这些实验的目的是研究如何选择积分区域的大小,以获得合理的测量结果。实验中对同一个测量光斑选取不同大小的积分区域。积分

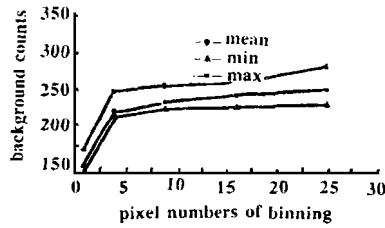


Fig. 6 Variance of background with binning (15, 100ms)

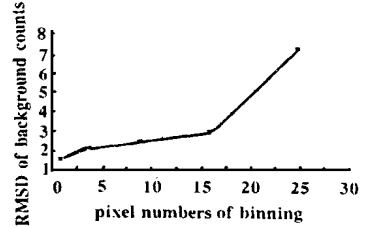


Fig. 7 Variance of RMSD of background with binning (15, 100ms)

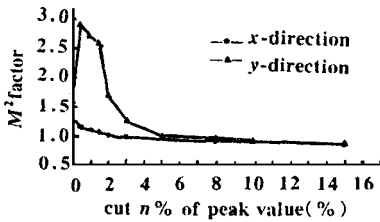


Fig. 8 Variance of M^2 with $n\%$ -cutfor TEM₀₀ (15, 100ms, 1136 × 1034 pixels)

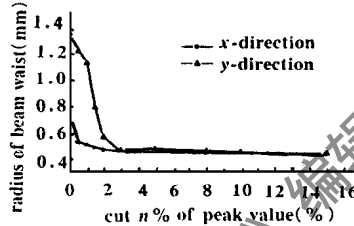


Fig. 9 Variance of w_0 with $n\%$ -cutfor TEM₀₀ (15, 100ms, 1136 × 1034 pixels)

区域的选取和标记根据以下方法:使区域外的最大值是整个图像上最大值的一个固定百分比,并称其为百分之几积分区域。不加任何限制时即为零积分区域,计算中积分区域从 0 取到

15%,观察其对光束质量参数测量的影响。图 8 至图 12 分别显示出当积分区域改变时,对 TEM₀₀ 模的 M^2 因子、束腰 w_0 及其位置 Z_0 、发散角、瑞利长度 Z_R 的影响。一个共同特征

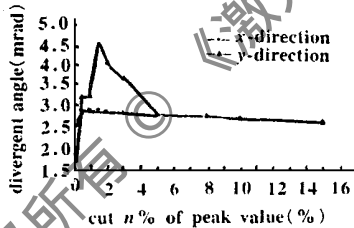


Fig. 10 Variance of θ with $n\%$ -cutfor TEM₀₀ (15, 100ms, 1136 × 1034 pixels)

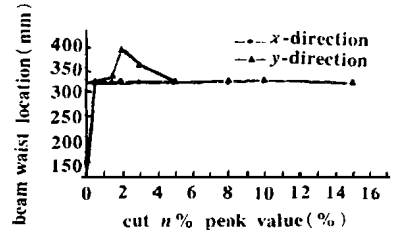


Fig. 11 Variance of Z_0 with $n\%$ -cutfor TEM₀₀ (15, 100ms, 1136 × 1034 pixels)

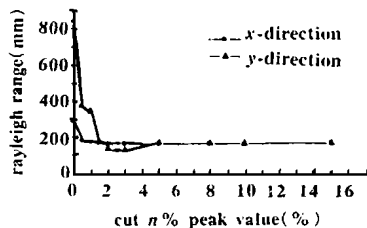


Fig. 12 Variance of Z_R with $n\%$ -cutfor TEM₀₀ (15, 100ms, 1136 × 1034 pixels)

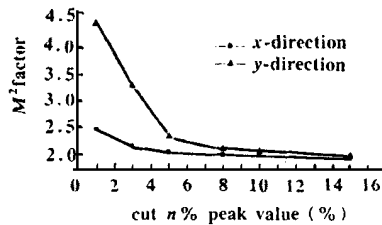


Fig. 13 Variance of M^2 with $n\%$ -cutfor donut mode (15, 100ms, 1136 × 1034 pixels)

是:当积分区域选择过大时,上述参数均呈现剧烈变化的态势,随着积分区域的缩小,各种参数趋于稳定。图 13 至图 15 分别显示出当积分区域改变时,对环形模 (donut mode)、

TEM_{7,0} 模和 TEM_{10,0} 模的 M^2 因子的影响,变化趋势与 TEM₀₀ 模情况相同。

3 讨论

从图 2 至图 5 可见,背景光对背景记数及其方差没有影响,这是由于背景光比激光的功率密度低至少 3 个数量级,实验中用衰减器选择激

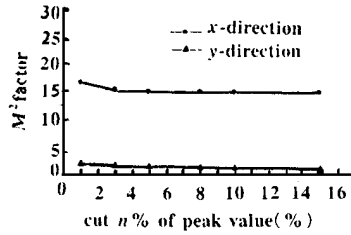


Fig. 14 Variance of M^2 with $n\%$ -cutfor $TEM_{7,0}$ (15, 100ms, 568 × 517 pixels)

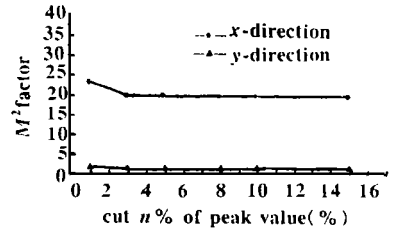


Fig. 15 Variance of M^2 with $n\%$ -cutfor $TEM_{10,0}$ (15, 100ms, 568 × 517 pixels)

光束的峰值接近 CCD 饱和状态,此时背景光强已低于 CCD 探测阈值。实验中温度的变化范围是 - 15 ~ 20,在此范围内温度对背景记数及其方差也没有影响,所以,实验测量中没有必要将温度设置过低。但曝光时间对背景记数及其方差影响很大,背景记数及其方差随曝光时间增长,实验中应尽量缩短曝光时间。像素的合并 (binning) 是将相邻几个像素相加,可以起到平滑的作用,同时也将显著地增加背景记数及其标准方差。

对于待测的激光束, M^2 因子的真值是未知的;对于 M^2 因子测量仪器的准确性,目前还没有公认的检测方法。实验测量中通过选择不同的积分区域大小,视其对 M^2 因子的影响,以便找出合适的积分区域,在此区域内,测量结果应保持稳定,不随积分区域的变化而剧烈起伏。从图 8 可见,对 TEM_{00} 模当积分区域改变时,其 M^2 因子可从 3.0 变化到 1.0,而理论值应为 1.0,表明积分区域的选取对于获得合理测量结果是非常重要的。对束腰 w_0 及其位置 Z_0 、发散角、瑞利长度 Z_R 的测量表现出共同特征。对环形模 (donut mode)、 $TEM_{7,0}$ 模和 $TEM_{10,0}$ 模的测量也显示出相同的变化趋势。

4 结论

从上述实验结果中可以得出几点结论:(1) 在有、无背景光两种条件下,温度对背景记数及其标准方差的影响可以忽略不计;(2) 在有、无背景光两种条件下,背景记数及其标准方差强烈地依赖于曝光时间;(3) 像素的合并 (binning) 将极大地增加背景记数及其标准方差。(4) 积分区域的选择对测量非常关键,错误的选择可导致荒谬的结果;(5) 为获得合理的测量结果,至少要选择 5% 积分区域。积分区域小于 5% 时,测量结果剧烈起伏。积分区域在 5% ~ 10% 变化时,测量结果的起伏小于 10%。

作者衷心感谢德国柏林技术大学物理系光学研究所 H. Weber 教授的指导,感谢该所 H. Laabs 博士对实验工作的帮助。

参 考 文 献

- 1 Document ISO/ TC172/ SC9/ WG1/ N56, Milan, Italy, 1993
- 2 Champagne Y, Belanger P A. Opt & Quant Electron, 1995; (27): 813 ~ 824
- 3 庞长富. 激光束传输特性参数测量与评价的研究. 北京理工大学博士学位论文, 1997

作者简介:赵长明,男,1960年7月出生。工学博士、副教授。主要从事激光光束质量评价、单频稳频 DPLS 的研究工作。