

脉冲激光光强空间分布的 CCD 同步接收技术*

陈 军 姚玉良 毛志伟 丁双红

(浙江大学光科系现代光学仪器国家重点试验室, 杭州 310027)

叶金祥

(中国工程物理研究院, 成都 610003)

提要 介绍了利用一维 CCD 及数据采集卡、二维 CCD 及多媒体卡对高功率脉冲激光的空间光强分布作用瞬态测量的特点, 针对瞬态脉冲介绍了几种不同的同步捕捉方法, 这些方法均取得了良好的实验结果。

关键词 CCD、激光空间分布测量

高功率脉冲激光器的激光光强空间分布是激光的一项极其重要的特性。它对于研究激光的光束质量、光束的空间结构、光束的发散角以及其它的各种特性都有着直接的关系^[1,2]。我们在近几年的激光研究中, 应用一维及二维 CCD 和多媒体卡对脉冲激光束光强空间分布进行了测量。本文所述几种测量方法, 根据所涉的各种应用情况及测量对象, 各有其优缺点及适用性。本文将分别对这些测量手段及硬件软件的开发特点作一介绍。由于测量对象是脉冲激光, 故此准确的捕捉脉冲, 尽可能地消除杂散的环境光的影响, 以及准确反映出光斑能量分布是本测量区别于一般的连续光测量的主要特点。

1 一维 CCD 线阵作脉冲激光测量、数据采集和试验曲线

这一测量采用日本 Panasonic 公司的 MN3642 型和 MN3643D 型(分别为 1024 和 2048 像元)的一维 CCD、自制 CCD 的驱动电路、KHAD07 计算机采集卡和控制及数据处理程序。

利用一维 CCD 作脉冲激光测量的两个主要问题是与脉冲激光的同步触发问题和光强分布从一维到二维的复原问题^[3]。

对于第一个问题, 以 MN3642 型(1024 像元) CCD 接收为例, 在没有实现同步的情况下, 由于光脉冲到达 CCD 时间的随机性, 导致光脉冲有可能一部分落入 CCD 积分时间区而另一部分落入电荷转移时间区, 从而影响了测量的准确性和稳定性。为此必须在光脉冲即将到达之前强制 CCD 复位, 即将光敏区里的存储电荷迅速转移至移位寄存器并使 CCD 处于积分状态, 等待

* 中物院科学技术基金资助项目。

被测脉冲的到来。

首先,我们利用泵浦氙灯的前沿在一个光电二极管(PIN)中产生的光电流上升沿,经过放大、整形为一个 14 ms 的方脉冲作为同步触发信号;这个触发信号经延时之后作为复位脉冲再接入一个由 555 振荡电路构成的 SP' 信号发生电路;最后,将 SP' 接入驱动电路替代原来的 SP 信号,实现对 CCD 的复位。适当调节延时时间,使得 CCD 在光脉冲到来之前约 60 ms 的时刻强制复位,当 CCD 刚刚进入积分周期时激光脉冲正好落在 CCD 上。实验结果显示,在应用了这一同步电路后可以使捕捉到的脉冲稳定地出现在显示屏上,同时有效地避免了其它光噪声的影响。

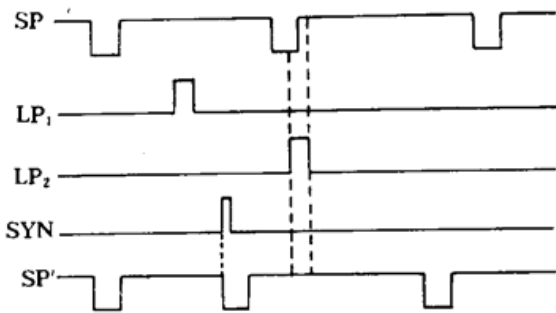


Fig. 1 Time sequence of the signals SP, LP₁, LP₂, SYN and SP' for 1-dimensional CCD

图 1 表示了一维 CCD 列阵接收器的 SP 信号、激光脉冲 LP₁ 及 LP₂ 在不同时刻落入 CCD 时的情况,以及利用氙灯激励同步信号 SYN 复位 SP' 信号后的时序图。

对于第二个问题,假设被测光斑是比较好的三维空间高斯分布,则对测量时 CCD 的定位要求大大降低,这可由以下计算证明。设光强为高斯分布

$$I = I_0 \exp\left(-2 \cdot \frac{x^2 + y^2}{\omega_0^2}\right)$$

当 CCD 过斑点的中心点时 $y = 0$,取 $I = I_0 \cdot e^{-2}$,此时 $x_1 = \omega_0$ 为光斑半径,当 CCD 未过中心,设过点 $(0, y')$,得到光强分布曲线为 $I' = I_0 \exp[-(2x^2/\omega_0^2)]$,其中 $I_0 = \exp[-(2y'^2/\omega_0^2)]$ 。此条曲线的 $I' = I_0 \cdot e^{-2}$ 点处 $x'_1 = \omega_0$ 仍是原高斯光束光强下降到 e^{-2} 处的半径。当然 CCD 的偏置量 y' 不能太大,当 $y' > \omega_0$ 时,以上关系就不再适用。另外,由于 CCD 元尺寸为 $14 \times 14 \mu\text{m}$,这一数值足够小,在 y 方向上的积分值对半径测量几乎没有影响。

这一关系也适用于连续光测量。因此,利用一维 CCD 对于光束对称性较好,又极为接近高斯分布的光束作测量是极为适宜的,因为一维 CCD 及其驱动电路,毕竟比二维的面阵便宜得多,并且采集处理速度也快得多。而当光强分布不对称或非高斯型分布时,就没有以上所述的特性,此时就只能用移位法或转动法作出一系列测量后用计算机处理出空间分布的复元。这样做当然既麻烦又不准确,因此在这种情况下用一维 CCD 作测量是不可取的。

在对一维 CCD 作测量时,我们采用了计算机和数据采集卡所提供的瞬态采集功能,使 CCD 记录的脉冲光斑一维分布曲线时实地显示在计算机屏幕上,并存储。存储方式有即采即存和手控键盘选择存储两种。

图 2 给出测量的结果。

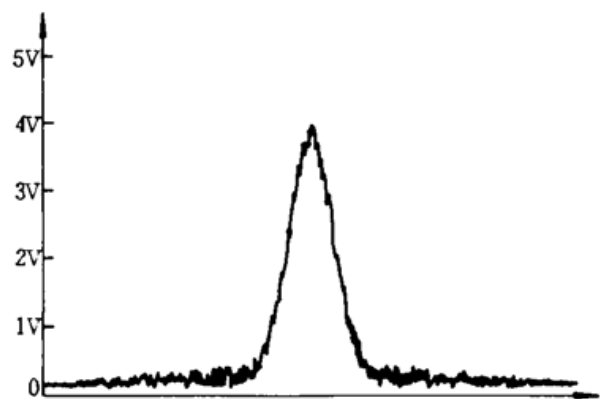


Fig. 2 The measured laser beam cross section using the 1-dimensional CCD

2 二维 CCD 摄像机作脉冲激光测量及多媒体卡作图像采集和存储

为了更普遍地测量任意分布的脉冲激光光束空间分布,我们应用了敏通公司 1881EX 型黑白 CCD 摄像机和多媒体卡(PV100 型)对光束进行二维光强分布测量。采用多媒体卡的出发点是由于它比黑白或伪彩的图像卡要便宜得多,用途比较广泛^[4]。

我们针对激光脉冲的特点进行了软件开发及测量试验。由于激光脉冲到达 CCD 的时刻的不确定性,它和捕获该激光脉冲的光斑图像这二者的同步成为这一测量的关键。我们分别采用了以下方法来解决这一问题。

第一种方法是利用计算机一方面控制激光电源,另一方面控制多媒体卡冻结图像命令的执行时刻,用适当的延时使二者取得最佳的协调动作而准确捕捉到激光脉冲的光斑并记录之。

图 3 给出了程序和器件的运行时间关系。由计算机发出并经过适当转换的驱动信号代替原激光电源振荡级发生的驱动信号,按程序设定的频率及次数触发激光电源辐射出激光脉冲,计算机发出最后一个激光脉冲驱动信号后,立即进入一个可调的时间延时子程序,经延时后启动采集卡冻结一个 CCD 上的图像。延时的时间使该图像恰为所需的激光光斑图像。为完成上述任务,需要编写一个具备相应功能的程序,并设计制作一个接口电路,使计算机向设定的接口地址发送的开关信号转换成为一个可以驱动脉冲激光电源的触发信号。在完成以上两项工作之后,再经过试验确定最佳的延时时间。我们在试验中获得了很好的捕捉及测量结果。

第二种方法是利用光电二极管(PIN 管)接收激光氙灯泵浦光,PIN 管输出信号经放大整形单稳后产生一个几微秒的 TTL 脉冲作为计算机外部中断信号输入计算机,计算机在检测到中断信号后立即向多媒体卡发出冻结图像的命令。由于一般调 Q 脉冲的到来是在氙灯光脉冲曲线的后沿出现,而形成的中断信号的时刻在氙灯光脉冲曲线的前沿,在适当选取放大电路的放大倍数使触发电路既有足够的灵敏度又有足够的稳定性时,计算机可以准确地捕捉到照射在 CCD 上的脉冲激光光斑分布。我们在电路设计中选取放大倍数约为 80 倍,对于脉冲氙灯发出的光,由 PIN 管接收后输出电压约在 6~550 mV 范围,经整形和单稳脉冲形成电路后输出一个脉宽约为 2 ms 的 TTL 脉冲,这一脉冲前沿和调 Q 激光脉冲之间约有 100 ms 的时间间隔,作为中断信号输入主机。主机的控制软件包括:1) 监视状态:等待中断信号;2) 接收状态:收到中断信号后发出冻结图像命令获取光斑图像;3) 数据处理:对由 CCD 采集的光斑数据存储并处理。图 4 给出了以上过程的框图。用这一方法也取得了良好的捕捉测量效果。图 5 就是被测到的光斑的三维分布图。

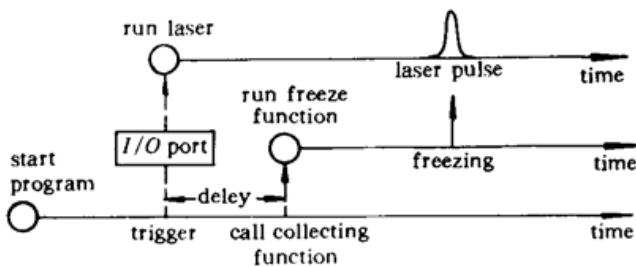


Fig. 3 Time sequence for controlling the laser power supply to sample the laser spot

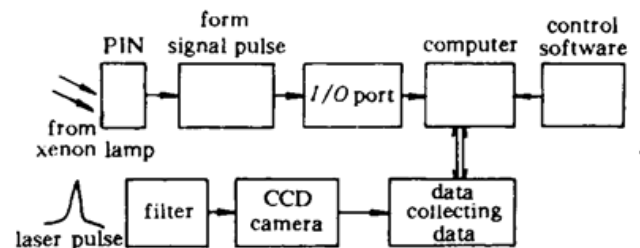


Fig. 4 Block-diagram of the real time detection of the laser spot using an interrupt method

以上两种方法所相应的程序框图如图 6 所示。主动接收指第一种方法,被动接收指第二

种方法。

第三种方法是不论激光脉冲何时到达 CCD 摄像机上, 控制软件在屏幕特定的区域内进行实时图像数据的读取, 并根据一定算法求得一特定值, 再把它和阈值相比较来检测脉冲是否到来, 若符合要求就冻结该图像作脉冲激光光斑。该方法的关键是快速的算法和指出相关的阈值, 同时和采集卡的性能和提供的开发软件工具相关。

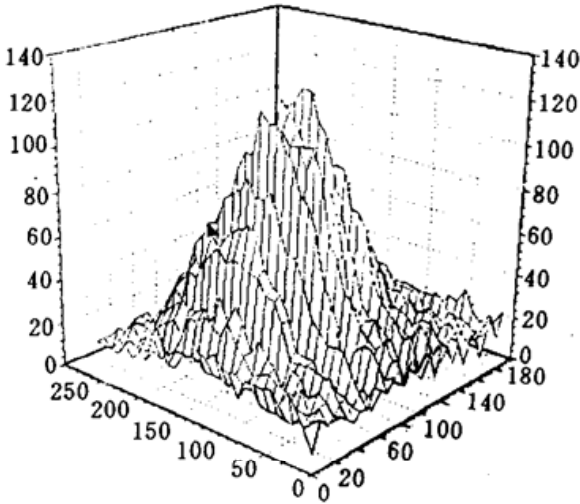


Fig. 5 2-dimensional intensity distribution of a pulsed laser spot

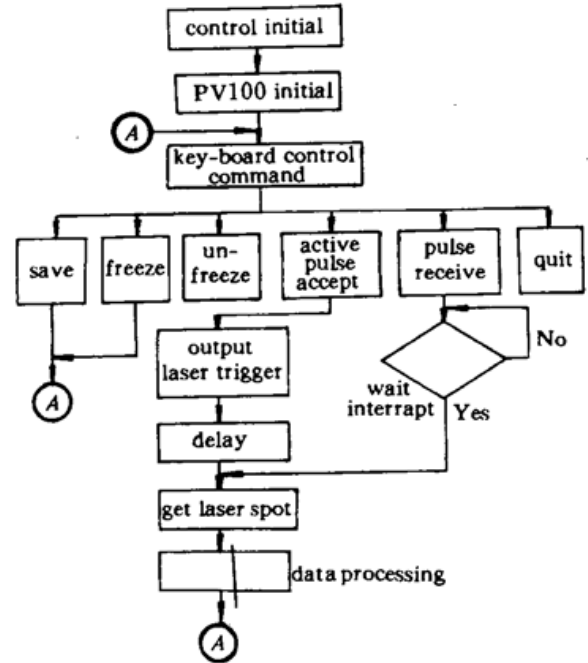


Fig. 6 Program diagram for sampling the laser beam spot using the 2-dimensional CCD

我们使用调 Q 的 Nd:YAG 激光器和建立在 PV100 卡开发软件基础上的测试程序, 对上面三种方法作了试验, 都取得了满意的结果。

3 结 论

综上所述, 利用一维或二维 CCD 接收器可以对调 Q 脉冲激光(脉宽在几 ns 数量级)进行准确的捕捉、测量及记录存储和处理。一维线阵虽不能测量任意分布的二维光斑, 但由于其数据采集及处理速度较之二维 CCD 要简便及迅速得多, 使它在对称光斑测量以及扩展到各种瞬态参数测量, 例如对瞬态光谱测量或荧光光谱等间隔采集等均有其独特的优点。二维 CCD 面阵对瞬态光强分布的测量包含的三种方法都能较好地获取脉冲激光光斑。第一种方法适用于能够控制激光电源的场合, 通过实验来确定应选取的合理的延时时间。第二种方法是一种较普遍的方法, 如何选取中断信号的产生时刻是调试时的关键所在。第三种方法在具有较好的图像卡和开发软件条件下是可以采用的另一种方法。同样, 这些测量方法不仅适用于激光光强空间分布, 也可以作为对瞬态过程光强空间分布记录的一种普遍方法而具有广泛的应用。

参 考 文 献

- 1 J. M. Fleischer. Laser beam width, divergence, and propagation factor; status and experience with the draft standard. *Proceeding SPIE*, 1991, 1414: 2~11
- 2 A. Cutolo, L. Zeni. Improvements to the diagnostics of beam quality in cw and pulsed laser systems. *Opt.*

Commun., 1992, 89: 223~228

- 3 李映波, 折雅西. 外同步 CCD 数据采集系统. 半导体光电, 1990, 11(1): 78~83
 4 蔡文贵, 李永远, 许振华. CCD 技术及其应用. 北京: 电子工业出版社, 1992. 35~85

Synchronous Detection Technique of Measuring Spatial Distribution of a Pulsed Laser Beam Using CCD Detectors

Chen Jun Yao Yuliang Mao Zhiwei Ding Shuanghong

(*State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation, Department of Optical and
Scientific Instrumentation Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027*)

Ye Jinxiang

(*Institute of Engineering Physics of China, Chengdu 610003*)

Abstract The instantaneous measuring of spatial intensity distribution of high power laser pulses using CCD detectors is very useful in the research of the laser beam quality and its spatial construction. In this paper the measurement techniques of using 1- and 2-dimensional CCD detectors, the Data Sampling Card and Multimedia Card are presented. Using these methods, we have obtained good experimental results.

Key words CCD, measurement of spatial intensity distribution of pulsed lasers

铜激光倍频光进行材料固化成型*

激光制模是 80 年代末兴起的一种新型制模技术,它利用计算机控制激光束扫描,使液态聚合物材料固化制作成为立体模型,为汽车制造业、仪器、工程、建筑等设计行业提供辅助手段。

我们采用了具有硬度、柔软性以及耐氧的阻聚作用等特点的丙烯酸环氧树脂为预聚物,实验合成的季戊四醇三丙烯酸酯作为稀释剂,固化速度极快的安息香双甲醚作为光敏剂。实验得出在丙烯酸环氧树脂/季戊四醇三丙烯酸酯/安息香双甲醚配制比例 1:1:0.04~0.10 条例下达到了很好的固化效果,用平均功率密度为 1 mW/mm² 铜激光倍频光,波长 255.5 nm 照射,30 min 可得到尺寸为 12×2.5×5 mm 的固化立体模型。

铜激光倍频光可成为一种新的紫外固化光源,利用它不仅可以加快固化速度,而且提高制模精度和硬度。

(中国科学院上海光机所 雷建求 梁培辉 任虹 沈琪敏 叶韧
上海大学射线应用研究所 吴明红; 收稿日期:1996 年 4 月 25 日)

* 中国科学院上海光机所所长基金资助项目。