

用CCD测量激光束的光强分布

王廷福 张纯玉

(西南技术物理研究所, 成都)

摘要: 本文介绍一种采用微机进行数据处理和面阵 CCD 作探测器的激光束光强分布的测量系统。论述了该系统设计、软件设计和误差分析。实现了对脉冲或连续激光束光强分布的实时、自动测量。

Measurement of laser beam intensity profile by CCD

Wang Tingfu, Chang Chunyu

(Southwest Institute of Technical Physics)

Abstract: The measurement system for laser beam intensity profile using a microcomputer for data processing and a CCD detector of the two-dimensional array is introduced. The design of the whole system and the software are discussed. The error analysis is presented. A real time and automatic measurement of intensity profile of pulsed and CW laser beam has been realized.

一、引 言

激光器输出光束横截面上光强分布是不均匀的。而激光束的光强分布与振荡模式有关, 在单模时, 光强呈高斯分布; 多模时, 光强分布比较复杂。它直接影响光束的发散度。光束发散角的大小表明光束传输一定距离后光斑变化的大小, 在激光测距、制导、准直等应用中具有重要意义; 对激光加工、通讯和医疗等应用, 直接影响其加工质量、治疗效果。因而, 无论是对激光技术的研究, 还是激光产品的质量检测, 都需要知道能量的空间分布。

目前检测激光横模的方法, 一类是直接观察法。通过扩束将激光束投射在观察屏上目测(如对He-Ne激光); 对红外光(如 $1.06\mu\text{m}$), 因人眼不能直接看到, 一般利用其热效应(如烧灼法), 用热敏纸或黑纸等记录激光光斑。这种方法简单、直观, 但粗糙, 尤其对低阶模就难以判断。另一类较精确的方法是扫描检测法, 有“转镜扫描法”和“探测器扫描法”。其原理是将探测器放置在激光束的横截面内, 利用驱动系统使探测器或光束扫描, 同时将它的位移信号和输出信号分别输送给记录仪, 可测出连续激光束的光强分布, 但对脉冲激光束不能实时测量和显示。若用胶片在脉冲激光束照射下感光, 然后用扫描法测量胶片上光斑的光强分布, 显然, 每测一次, 要花相当长的时间。

采用CCD(电荷耦合器件)可即时测量常规方法不能测量的瞬态和低光功率激光束光强分布。它与通常测量方法相比, 具有灵敏度高、功耗小、寿命长、自扫描和实时等优点。我们

应用国产DL30面阵CCD,完成了对激光束能量空间分布图象的实时数据采集、处理及显示。

二、测量系统总体结构

激光束能量空间分布测量系统的外形如图1所示,其组成部分的方框图如图2所示。

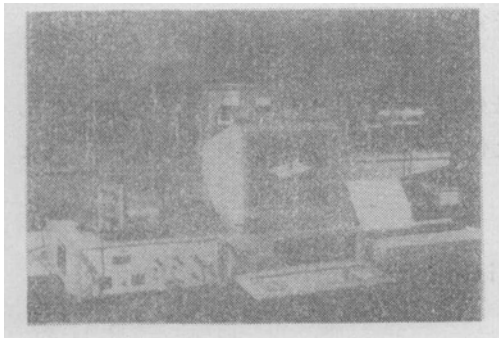


图1 测试系统

激光束经光学系统入射在面阵 CCD 的摄像区, CCD 器件在驱动电路的控制下,将空间分布的光生电荷包图象信号转变为按时间分布的电压信号(即视频信号);经模数转换器,将模拟电信号转换成数字信号,并存入存贮器内。这些数字信号通过接口送入微机进行数据处理,可显示或打印其结果,或经数模转换器,还原成模拟信号,送入示波器观测。

三、面阵CCD摄像头

CCD 是 70年代初诞生的一种新型半导体

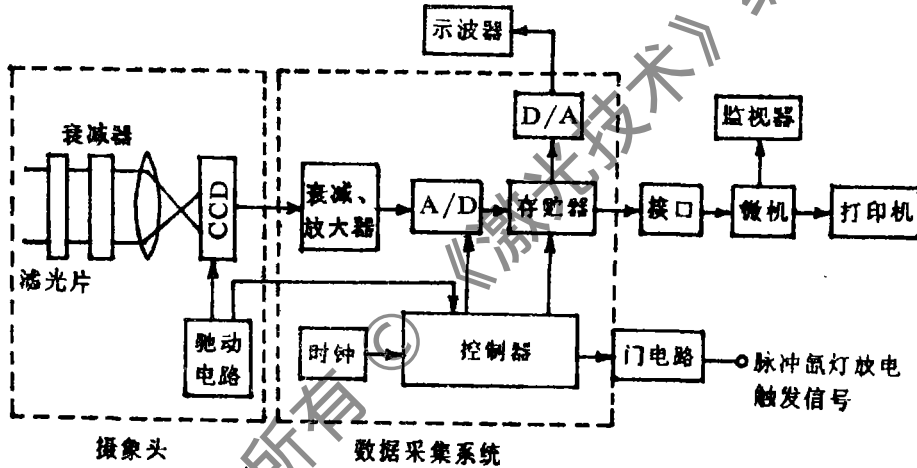


图2 系统框图

图象传感器件,由于它具有一系列优点,在许多领域都有着十分广泛的应用。它是在N型或P型硅衬底上生长一层厚度很薄的二氧化硅,在二氧化硅层上淀积按一定次序排列的金属微电极,形成MOS电容阵列,再加上输入、输出电路而构成的。通过在每一组金属电极上施加驱动脉冲电压,在电极下面的半导体内部形成能存贮少数载流子的势阱;用光注入或电注入方法将代表信号的少数载流子引入势阱,由于驱动脉冲电压有规律的变化,使电极下的势阱深度作相应变化,从而使少数载流子在半导体表面内作定向运动;将其收集、放大而后输出,得到不同幅度的时序脉冲。

1. DL30型面阵CCD结构及工作原理

DL30型CCD器件用P型硅三相表面沟多晶硅栅技术制造,主要由光敏区(摄像区)、存贮区、水平移位寄存器及输出电路组成,如图3所示。光敏区是一个表面沟CCD移位寄存器阵列;它有100列;每列有54个光敏元;每个光敏元在垂直方向有三个相邻多晶硅栅电

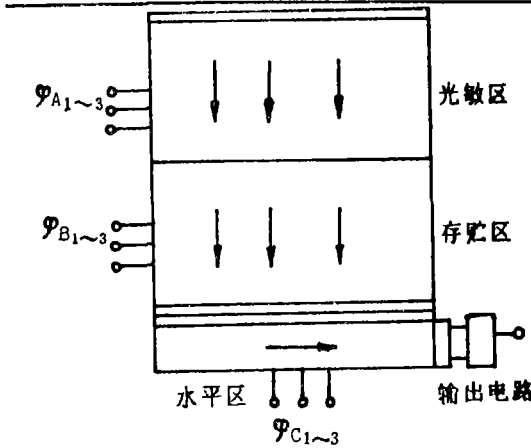


图3 帧转移CCD结构

极，采用三相驱动脉冲，在水平方向由沟阻隔开。有效的垂直分辨单元被隔行成108个。光敏区的主要作用是完成光电转换，即将聚焦于光敏区的光学图象，在光积分时间内变为相应的电荷包图象，光积分结束，电荷包图象在帧转移脉冲驱动下，快速转移至存储区；然后，光敏区开始下一场积分。存储区结构与光敏区基本相同，它暂存上一场图象，并在水平消隐时间里及驱动脉冲作用下，将图象信号逐行并行转移至水平移位寄存器，再由水平时钟驱动串行读出。当存储区将最上一行电荷包转移到水平移位寄存器后，光敏区又向存储区转移下一

场电荷包图象，如此重复，实现自扫描摄像。存储区和水平区有铝层屏蔽，对光是不响应的。最后，在浮置扩散区收集的CCD信号电荷引起电压变化，由输出晶体管的源取出。

DL30的光敏单元尺寸为 $18\mu\text{m}$ （中心-中心） $\times 24\mu\text{m}$ ，光敏区大小为 $1.8\text{mm} \times 1.3\text{mm}$ ，对角线长为 2.2mm 。在环境温度为 25°C ，复位时钟频率为 1MHz ，光源为 2859°K 白炽灯时，DL30的主要性能指标的典型值如下^[1]：

动态范围	50 : 1	饱和输出电压	100mV
饱和曝光量	$9.6 \times 10^{-2} \text{lx} \cdot \text{s}$	调制转移函数	30%
光谱响应范围	$0.45 \sim 1.1\mu\text{m}$	光敏区暗电流	1nA
灵敏度	$3000\mu\text{A}/\text{lm}$		

2. 驱动电路

108 \times 100CCD摄像头为隔行扫描，垂直扫描频率为80Hz，场周期为12.5ms，水平扫描频率采用广播电视的标准为15625Hz，行周期为64 μs ，正程为52 μs 。在一行时间内，应有100个读出脉冲读出完整的一行信号电荷包，则水平读出频率为 $f = (52/100)^{-1} = 1.9(\text{MHz})$ 。为了使电荷包有效的转移，对驱动时钟应考虑到当电荷包从源势阱向接收势阱转移时，为保证电荷能充分转移，两个势阱应有一小段时间同时存在，因此，三相时钟的各相之间应有一定的交叠。并且，为了保证CCD能够处理的最大信号电荷量尽可能大，以及电荷包的转移速度尽可能快，时钟脉冲的幅度应足够高。

图4给出了驱动电路的方框图，主振产生三倍于水平读出频率的方波脉冲，直接驱动水平三相交叠脉冲发生器，所产生的1.9MHz三相水平驱动脉冲输送给CCD的水平移位寄存器，使光生电荷包从水平区逐行逐个读出，在输出电路获得视频信号输出。用主振时钟脉冲频率经三分频后的信号作为计数器I（七位

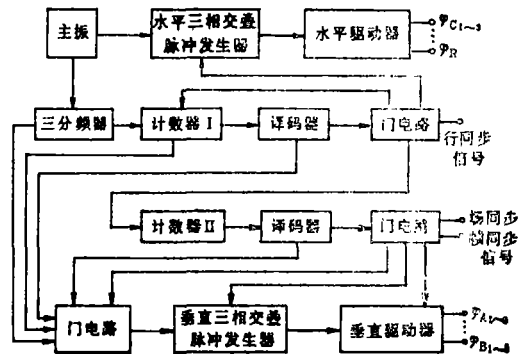


图4 驱动电路框图

二进制)的时钟,计数器 I 计数124个水平驱动脉冲周期定为一行的周期,通过逻辑译码网产生选通水平三相交叠脉冲。以二倍于行频的信号作为计数器 II (十位二进制)的时钟,计数器 II 计数391个脉冲周期定为一场,以行频控制隔行触发产生交替场,并通过逻辑译码网产生行、场和帧同步信号和消隐信号。为了保证逻辑电路正常可靠的工作,采用每行、每场复位一次。

3. 光学系统

由于DL30面阵CCD的摄像区很小,一般光束的直径比它大得多,需用光学镜头使光束成象在CCD的摄像区内。我们选用焦距为9mm的消球差透镜作聚焦系统。因CCD的灵敏度高,光强时容易饱和,用了一对Glan棱镜对光束进行衰减,旋转棱镜可改变入射光强,以保证CCD工作于线性区,并用 $1.06\mu\text{m}$ 滤光片去除可见光,消除杂散光的干扰。

四、数据采集系统

数据采集系统是由衰减、放大器,模数(A/D)、数模(D/A)转换器,读写存储器 and 控制系统组成。现仅就主要参数的确定论述如下:

1. 采样速率

连续变化的模拟量经A/D转换为离散的数字量能否如实地反映原来的值呢?一般说来,采样点越密,波形就越精细,越逼真,但过分密集,势必对采样速率要求高,内存容量增大,设备费用就大大增加。根据采样定理,当采样频率高于或至少等于输入信号频谱中的最高频率的二倍时,信号才不产生失真。因DL30型CCD水平读出频率为1.9MHz,我们选采样速率为5MHz。

2. A/D转换器的位数

实际上A/D转换器存在转换误差,通常以最小有效位LSB作单位。设转换误差为 $\pm Q$ (LSB),则N位A/D转换器对输入模拟量的相对误差为

$$\Delta = (1/2 + Q)/2^N$$

若整个数据采集系统允许A/D转换器的相对误差为 Δ_H ,应使 $\Delta \leq \Delta_H$ 则

$$N \geq \log_2 \{ (1/2 + Q)/\Delta_H \}$$

在此,取 $\Delta_H = 1\%$, $Q = 1\text{LSB}$,求得 $N \geq 7.1$ 。我们选用8位A/D转换器,其精度足够满足测量要求。

3. 内存容量

内存容量主要根据采集的时间长度和采样速率确定。为了减少内存容量,只对视频信号中有用部分进行数据采集,在每场回描期间停止采集。根据采样速率和行数,每一行采256点,一帧共100行,则内存容量为 256×100 ,我们取26k。

4. 触发方式

采用手动触发,按下“采集”键发出一个触发脉冲,启动采集系统处于等待状态,在紧随而来的CCD帧同步信号的后沿开始写入,当采集完一帧图象后,发出停止信号,置采集系统于读出状态。

5. 主要性能参数

采样速率 5MHz

输入带宽

1MHz

A/D分辨率	8bit	输出 模拟量	0~1V _{p-p}
内存容量	26k	数字量	8位二进制并行

五、系统软件

为了实现CCD对激光能量分布的自动测量和显示,采用Super III微型计算机。整机软件包括接口程序、处理程序和应用程序等三部分。

接口程序包括:(1)从数据采集系统取数据入微机,将采集系统内存的CCD输出的256×100个数据,经接口送入微机首址为3000H的内存。(2)存盘程序,把微机内存中首址为3000H的256×100个数据存入磁盘,作为资料存放起来,备以后数据处理用。(3)读盘程序,把磁盘上的256×100个数据读入首址为3000H的微机内存。

应用程序:能绘出所测激光束能量分布的三维立体图,并显示或打印出所需一场或某行的测量数据。

为了增强图形的立体感,采用峰值线消隐法,绘出消去被前面透视线挡住的网状立体图,其流程图如图5所示。

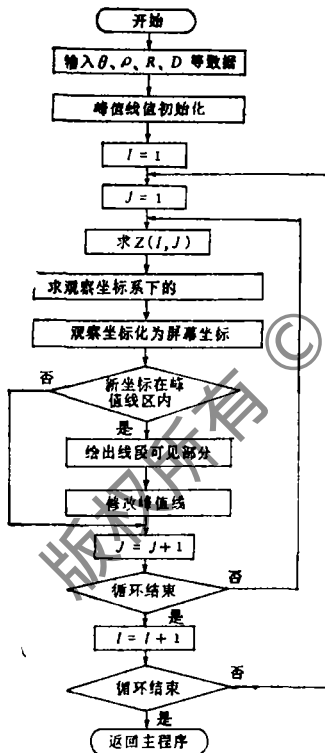


图5 绘消隐立体图程序流程图

在监视器的屏幕上绘出的能量分布图可以旋转,根据需要可绘出正视、背视和侧视立体图,以便全面观察,看周围是否存在小的光斑,并可彩色显示。

处理程序:由于各种客观因素的影响,在记录到的信号中常常混有噪声,为了尽可能地减小噪声的影响,有必要对信号作一些预处理,如采用平均计算,将信号中存在的平稳噪声通过平均消除一部分,提高信号的信噪比。在CCD阵列中,局部产生大暗电流的地方会出现暗电流尖峰,还可能出现盲点,以及外部杂散信号对采样过程的干扰,为了消除这些干扰所引起的误差,对采样值进行了修正处理。

六、实验结果

应用本装置对连续和脉冲激光束的光强分布进行了测量。从数据采集到监视器上绘出光强分布三维立体图,全过程总计只需3min。

1. 连续He-Ne激光

激光器输出功率约2mW,旋转探头上的偏

振器改变光强,使CCD工作于非饱和区,测得的光强分布图示于图6中。图7给出了有两个激光光斑的光强分布图。

2. 脉冲Nd:YAG激光

为了可靠地捕捉到瞬时的脉冲激光信号,应使脉冲激光、CCD器件和采样存贮三者协调工作。保证脉冲激光在所采集的前一场和CCD光积分时间内照射CCD的光敏区,否则,

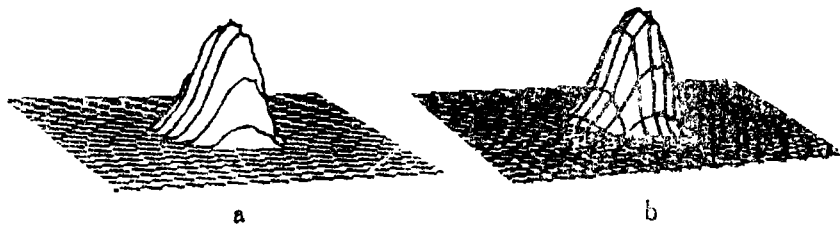


图6 He-Ne激光束的光强分布

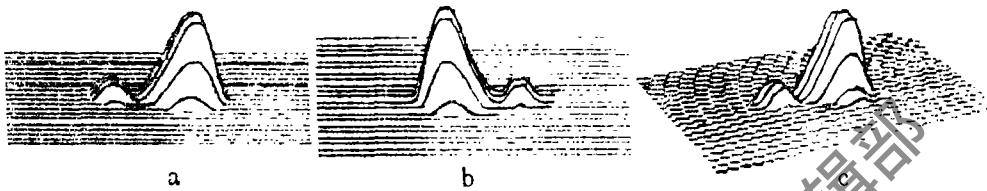


图7 He-Ne激光

a—正视 b—背视 c—侧视

就会丢失信号。我们采用同步脉冲触发器，将启动信号延迟，作为Nd:YAG激光器脉冲氙灯的放电触发信号，能保证可靠工作。图8给出了所测 $1.06\mu\text{m}$ 激光能量分布图，并打印出其中一行的测量数据。

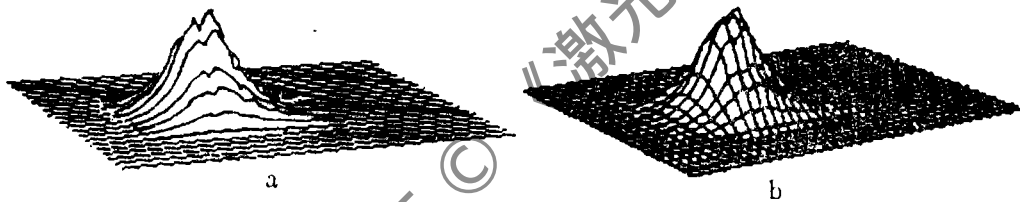


图8 脉冲Nd:YAG激光能量分布

关于测量精度，影响测量精度的因素是多方面的^[2]，主要有CCD响应的非线性、动态范围、不均匀性和数据采集误差等。现对误差进行分析。

(1) 测试中是利用CCD器件的线性区，避免工作于饱和区，其非线性的相对误差较小，在千分之几以内。

(2) 动态范围，主要决定于探测器的噪声、放大器设计等，因DL30面阵CCD的动态范围较小，它限制了光强的测量范围。假定光强呈高斯分布，用动态范围为50:1的CCD，可探测到光束的98%的能量，足以反映激光束能量分布的全貌。

(3) 数据采集误差。A/D转换器即使是理想的也存在有 $\pm 0.5\text{LSB}$ 量化误差，对8bit的A/D转换器其量化误差为 $\pm 0.195\%$ （满程），实际上，A/D转换器还存在非线性误差和温度的影响，一般把它的最大值定为 $\pm 0.5\text{LSB}$ ，在转换之前模拟信号经衰减、放大器件，也会产生偏移误差，但其误差在1LSB之内，故整个数据采集系统的误差 $\leq 1\%$ 。

(4) CCD光敏元的不均匀性。测量激光束光强时，因激光单色性好，可忽略光谱线宽的影响。对同一波长的光束，因不同光敏元的灵敏度有差异，在相同光照度下，会出现CCD输出信号的大小不同，但可对CCD进行不均匀性校正。我们对盲点和尖峰的光敏元，用软

件进行消除。

该工作在研制中得到机电部1413所朱维昌同志和成都新技术应用所的协助，在此表示感谢。

参 考 文 献

[1] 电子工业部第十三研究所. 产品说明书. 1985

[2] Frank J D. Laser beam profile measurements. Opt Engng, 1986;
25 (1) : 132

* * *

作者简介：王廷福，男，1935年9月出生。高级工程师。现从事激光技术和光学测试等研究工作。

张纯玉，男，1935年3月出生。高级工程师。现从事激光技术和光学测试等研究工作。

收稿日期：1990年10月23日。

· 简 讯 ·

第三届全国红外加热技术发展研讨会征文通知

中国光学学会红外光电器件专业委员会、中国光学学会锦州分会等单位将联合举办第三届全国红外加热技术发展研讨会。会议预定于1991年10月在锦州市召开。

本次会议将以交流近年来红外加热技术的新进展和新成果为主要内容。应征论文范围：
1. 红外加热技术在国民经济中的作用、地位及重要性的综述、评论文章；2. 红外加热元件、红外辐射涂料的新成果、新工艺、新结构等；3. 各种红外加热装置的优化设计及建造、红外加热节能新技术与实例剖析；4. 红外加热测试技术研究；5. 红外加热在生物学和医学中的应用等。

应征者请在1991年6月30日前向筹备组送交500~1000字的论文摘要（不必全文），被录用的论文摘要将由筹备组汇编成册。应征论文请寄至：上海市中山北一路420号上海技术物理研究所情报室转会议筹备组（邮政编码200083）。

激光器安装隔离选择引线

Amoco激光公司在他们的微型激光产品中引进了光纤引线和30dB隔离装置。该公司的二极管激光泵浦的Nd:YAG激光器，波长1300nm，装有单模或维持偏振的光纤引线和30dB隔离器，可通过光纤输出大于20mW功率（1320-254F型），或者输出50mW（1320-75W4f型）。包括电源在内价格约11700美元。

译自 L & O, 1990, Aug: 75

中尧 译 松明 校