

CCD用于激光一维场分布的测量

周复正 竺庆春 邱求进 马力 顾春明

(中国科学院上海光机所)

提要: 叙述了 CCD 用于激光测量的原理, 确定了它的线性范围, 研制了同步触发电路, 实现了激光一维场分布的自动测量。

One dimensional measurement of laser field profiles by CCD

Zhou Fuzheng, Zhu Qingchun, Qiu Qiujin, Ma Li, Gu Chunming

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

Abstract: The principle of laser measurement by CCD is described and its linear range measured. A synchronous trigger has been developed and the automatic measurement for one dimensional field profile of laser realized.

一、测量原理

电荷耦合器件(CCD)是70年代发展起来的新技术^[1]。CCD元件是在 n 型或 p 型硅衬底上生长一层厚约0.1微米的 SiO_2 层, 再在 SiO_2 层上淀积按一定次序排列的金属微电极, 形成MOS电容结构。给金属电极加一定电压, 便形成一系列独立的势阱。激光辐照时, 不同空间光强产生不同数量光生载流子, 分别存储于各势阱之中。存储时间:

$$\tau_s = C \Delta V / J_a \approx 0.1 \sim 10 \text{ 秒}$$

式中 C 为有效电容, 是氧化物电容和耗尽层电容的串联, ΔV 为势阱深度, J_a 为暗电流密度。对于脉冲激光, 由于激光脉冲宽度 $\Delta T \ll \tau_s$, 故CCD每光敏元势阱累积的载流子数反映了激光不同空间的能量分布。采用适当驱

动电路使势阱深度作相应的有序变化, 从而使光生载流子在CCD内作定向移动, 形成不同强度的时序脉冲。这样就把按空间分布的激光能量转变为按时间分布的电压信号, 如图1所示。

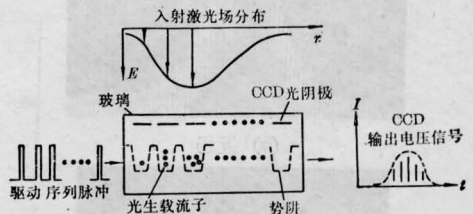


图1 CCD工作原理示意

测量CCD对光强的动态范围实验光路如图2所示。He-Ne激光经 $f/2$ 大口径非球面透镜($D=200$ 毫米, $f=400$ 毫米)聚焦, 照射在一个CCD光敏元(20×30 微米)上。

收稿日期: 1982年11月26日。

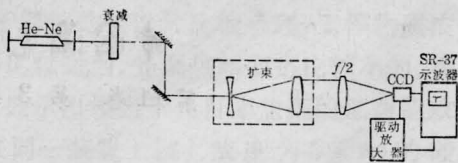


图2 线性实验装置

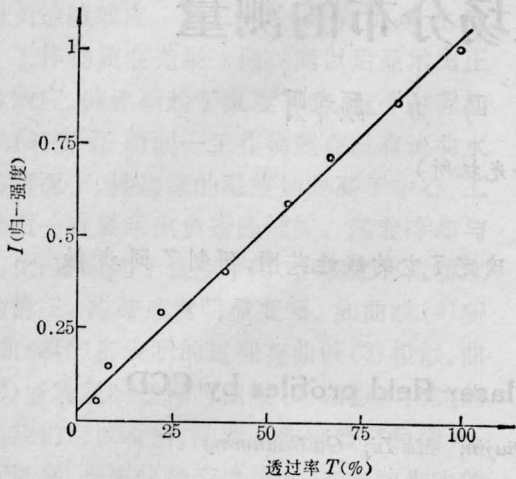
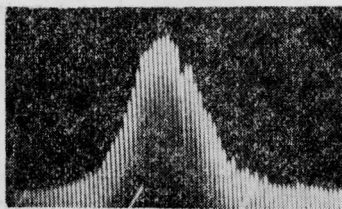


图3 CCD动态特性曲线

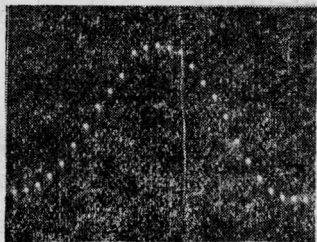
改变衰减片的透过率,得到 CCD 随光强变化的曲线如图3所示。实测线性动态范围 80:1, 相对误差 $\pm 3\%$ 。

二、连续激光一维场分布测量

He-Ne 激光经过衰减,直接照射在 CCD



(a) 近场



(b) 远场

图4 He-Ne 激光一维场强分布

上,得到激光近场一维强度分布如图4(a)所示。He-Ne 激光通过 1:10 扩孔后,再聚焦到 CCD 上,得到激光远场一维强度分布如图4(b)所示。灵敏度估算(对 6328 \AA):

$$S = A/\eta PS^* = 5 \times 10^6 \text{ 伏/厘米}^2 \cdot \text{瓦}$$

式中 A 为 CCD 输出电压幅度,约 0.2 伏; η 为光衰减和修正项,约 20%; P 为 He-Ne 激光输出功率,约 1 毫瓦; S^* 为 CCD 有效接收面积,约 $18 \times 10^{-5} \text{ 厘米}^2$ 。

用 CCD 法与通常所用测连续激光场强分布其它方法,如底片照相法、光电法相比,具有灵敏度高、实时、使用方便、直观等优点。

三、脉冲激光一维场分布测量

实验装置如图5所示。激光器为主-被动锁模 YAG 激光器,经 F-P 展宽为 100 微微秒、8 毫焦耳、1.06 微米的激光输出。为了使脉冲激光、CCD 器件、存储显示三者同步,我们研制了同步脉冲触发器,其工作框图如图6所示。测量结果如图7所示。远场测量采用数字存储示波器和 $x-y$ 记录仪,实现了全自动化。

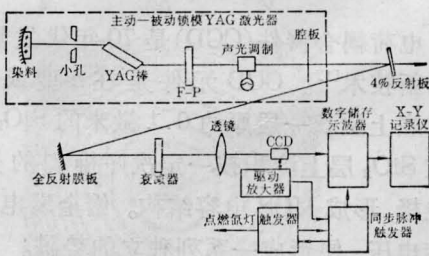


图5 实验装置

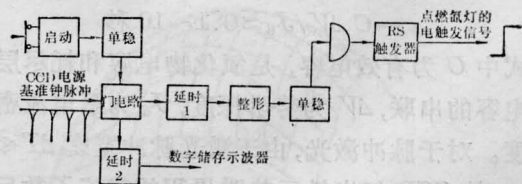
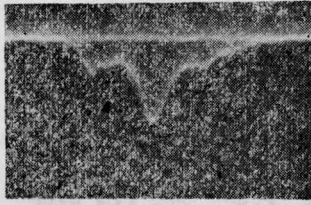
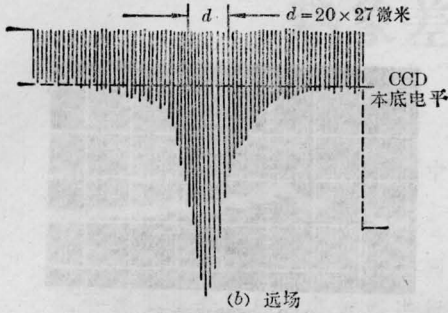


图6 同步脉冲触发器工作框图



(a) 近场



(b) 远场

图7 脉冲激光一维场分布测量

激光发散角计算值为:

$$\theta = 2(\lambda/\pi L)^{1/2} = 9.4 \times 10^{-4} \text{ 弧度}$$

式中 L 为腔长(1.5 米), λ 为波长(1.06 微米)。用 CCD 实测激光发散角:

$$\theta' = d/f = 9.6 \times 10^{-4} \text{ 弧度}$$

式中 d 为 I_{\max}/e^2 处光斑直径(20 × 27 微米), f 为透镜焦距(558 毫米)。测量结果与计算值较好相符。

CCD 对 1.06 微米灵敏度估算:

$S = A/\eta ES^* = 2.7 \times 10^{11}$ 伏/厘米²·焦耳
 式中 $A \approx 0.06$ 伏, $\eta \approx 2.3 \times 10^{-7}$, $E = 8$ 毫焦耳, $S^* = 12 \times 10^{-5}$ 厘米²。

可见 CCD 对 1.06 微米很灵敏, 实际接收的激光量为 $10^{-8} \sim 10^{-9}$ 焦耳量级, 这和通常的底片照相法比^[2, 3], 省去了红外敏化手续, 避免了由于敏化不均匀而造成底片红外灵敏度不一致和 γ 定标等问题。随着 CCD 技术的进展^[4, 5] 和国产 CCD 器件“场区感光”问题的克服^[6], 高分辨、大尺寸 CCD 的定型和二维 CCD 器件的研制成功, CCD 用于激光参数测量展现了极大的潜力。

上海技术物理所提供了二相 150 × 1 位线阵 CCD 器件, 谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] C. H. Sequin, M. F. Tompsett; "Charge Transfer Devices", Academic Press, Inc., 1975.
- [2] 梁向春等;《激光》, 1981, 8, No. 8, 56~58.
- [3] 梁向春等;《光学学报》, 1982, 2, No. 2, 113~121.
- [4] J. Cheng, G. R. Tripp; LLL Report, 1978, 6-54~6-59.
- [5] S. Ohba, M. Aoki *et al.*; IEEE Trans on ED 1980, ED27, No. 9, 1804~1808.
- [6] 王缙, 董亮初等; "CCD 鉴定报告", 上海技术物理所, 1982 年。

简 讯

高功率连续 CO₂ 激光功率监测反馈装置

我们研制了一台适用于数百至数千瓦 CW-CO₂ 工业激光器的功率监测反馈装置, 它的功率监测部分采用斩光采样工作原理, 在监测过程中, 只截取全光束功率的千分之二。由于使用了独特的扇形刀口采样器, 使其对多模光束也具有较高的线性精度和重复性。同时, 可用热敏纸直接对光, 使调整十分简便。监测范围可望扩展到百瓦以下及万瓦以上。功率反馈部分采用双环电流和功率无差反馈原理, 通过可控硅电源, 可以对激光功率进行精确调整和长时间稳定。该装置已在 JL6A 型千瓦横流 CO₂ 激光

器上使用半年多, 效果良好, 并于 1983 年 9 月 22 日通过科研成果鉴定, 目前正在安排试产。主要性能指标如下: 功率监测系统: 时间常数 < 1.5 秒; 非线性误差 < 0.005 (在 0.5~1.2 瓦用国家标准功率计定标)。功率反馈系统最小可调功率范围: 输出值的 ±2%; 对安装此装置的 JL6A 型激光器影响长时稳定性最甚的多种因素做了模拟变化试验, 激光功率波动均 < ±1%。

(北京市机电研究所 李小渝 孙学英
 1983 年 11 月 7 日收稿)