

文章编号: 1001-4322(2003)11-1050-03

1.319 μm 连续 YAG 激光束 对可见光面阵 CCD 系统的干扰研究*

张大勇, 赵剑衡, 王伟平, 刘仓理, 唐小松

(中国工程物理研究院 流体物理研究所, 四川 绵阳 621900)

摘 要: 利用 1.319 μm 连续钕铝石榴石激光对可见光面阵 CCD 系统进行干扰实验, 分析了该 CCD 系统发生干扰饱和的原因, 计算了 1.319 μm 激光辐照面阵可见光 CCD 的干扰饱和阈值, 利用实验数据在定量上验证了计算结果。当像面上激光功率密度达到 $10^2 \text{W}/\text{cm}^2$ 量级时, CCD 出现饱和串音, 达到 $10^3 \text{W}/\text{cm}^2$ 量级时, 出现全屏饱和。

关键词: 钕铝石榴石激光; 面阵电荷耦合器件系统; 饱和阈值
中图分类号: TN142; TN215 **文献标识码:** A

电荷耦合器 (CCD) 等固体图像传感器的出现和迅速发展是光电子成像领域的一大突破, 由于具有体积小和电路简单等优点, CCD 已经以愈来愈大的规模应用于工业、医学、生物、天文、宇航、公安等方面。对 CCD 系统开展激光的干扰破坏效应研究, 将具有实际而有效的应用价值。国内在这方面已开展了一系列的研究工作, 但实验工作大多集中在可见光波段或者在 1.06 μm 波段的激光^[1~6]。此外很多实验是在未加光学成像系统的情况下对 CCD 探测器本身进行干扰, 这与探测器的实际工作条件有一定的差异。本文介绍了用 1.319 μm 连续钕铝石榴石 (YAG) 激光对面阵 CCD 探测器系统进行干扰的实验结果, 并进行了一定说明。

1 实验介绍

整个实验装置布局如图 1 所示, 激光扩束后依次经反射镜、窄带滤光片和光学镜头聚焦在 CCD 像元表面。利用监视器显示 CCD 图像的变化, 示波器记录 CCD 系统的电信号变化, 窄带滤光片用来消除激光器内部氙灯光辐射对 CCD 的影响, 激光出口到反射镜的距离同屏幕到反射镜的距离相等。实验选用的 CCD 像元数是 752×582 , 像元尺寸是 $6.5\mu\text{m} \times 6.25\mu\text{m}$, 光谱响应 $0.4 \sim 0.7\mu\text{m}$, 最小可探测辐照度 0.3lx , 信噪比 54dB。光学镜头的视场约 $10^\circ \times 8^\circ$, 光圈 $F = 1.4$, 镜头焦距 25mm, 镜头材料为石英玻璃。

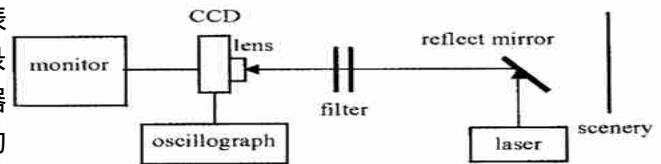


Fig. 1 Experimental assembly

图 1 实验布局图

2 实验结果和分析

2.1 实验结果

从图 2 可以看出, 1.319 μm 激光对可见光面阵 CCD 系统具有干扰作用。随入射激光束功率密度和激光辐照时间的增加, CCD 系统被干扰面积在增大; 当激光功率密度达到 $0.6 \text{W}/\text{cm}^2$, 辐照时间是 5s 时, 可实现对 CCD 系统的全屏干扰。图 3 是无激光输出时背景的场信号, 图中信号幅值的大小表示了背景目标的亮度变化。图 4 是 CCD 全屏饱和时的电信号, 从图中可以看出, 在全屏饱和时, 无背景信号输出, 只有场同步信号。

2.2 激光束光斑分析

根据点扩散函数的概念利用 OSLO 光学软件计算了 1.319 μm 激光通过 CCD 系统镜头后在焦面的光斑大小, 计算结果如图 5 所示。从图 5 可以看出, 1.319 μm 激光光斑在 CCD 成像面上的光斑半径是 0.05mm, 加上激光经扩束后的发散角, 光斑半径估计为 0.1mm 左右。可以得出在激光入口处功率密度达到 $0.07 \text{W}/\text{cm}^2$,

* 收稿日期: 2002-12-24; 修订日期: 2003-07-15

基金项目: 国家 863 计划项目资助课题

作者简介: 张大勇 (1975-), 男, 博士生, 从事光电技术方面研究; 绵阳市 919 信箱 113 分箱。

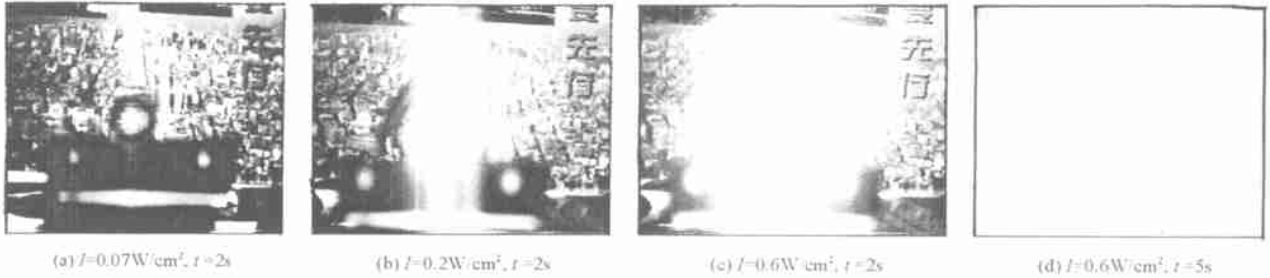


Fig. 2 Disturbance of 1.319μm laser in visible-light array CCD detector

图 2 1.319μm 激光对可见光面阵 CCD 系统的干扰

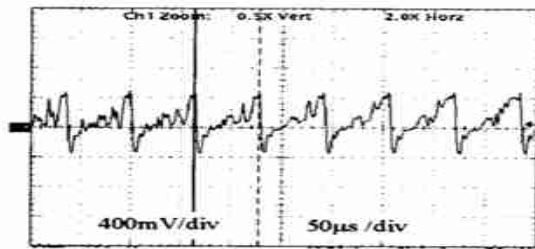


Fig. 3 Electric signal of background

图 3 背景电信号

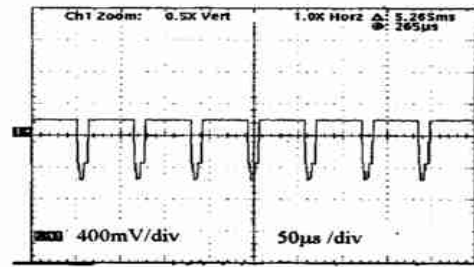


Fig. 4 Electric signal of full screen saturation

图 4 全屏饱和时的电信号

在 CCD 成像面上功率密度达到 566W/cm² 时,出现光饱和串音,CCD 工作状态开始不正常。在激光入口处功率密度达到 0.6W/cm² 时,在 CCD 成像面上功率密度达到 4 500W/cm²,可实现对 CCD 系统的全屏干扰。

2.3 饱和干扰分析

从 CCD 的结构和电学特性可知,CCD 每个像元在有光照射时,可形成一个电子势阱,但势阱中所能存储的最大电荷数是一定的。当较强功率的激光辐照 CCD 系统时,光生载流子将溢出电子势阱。由于实验中的 CCD 系统加有镜头,激光在 CCD 成像面被聚焦,激光光斑辐照 CCD 像元数较少,因此从被辐照区域电子势阱中溢出的光生载流子将向周围区域扩散,CCD 系统出现“串音”现象。图 6 是 CCD 沟阻区结构示意图^[7]。从图 6 可看出,由于信道区没有沟阻的阻挡作用,当激光辐照 CCD 时,光生载流子将先沿着信道区扩散。当电子势阱中溢出光生载流子时,光生载流子将越过沟道,向周围扩散,这一现象从图 2(a),(b),(c)可以明显看出。

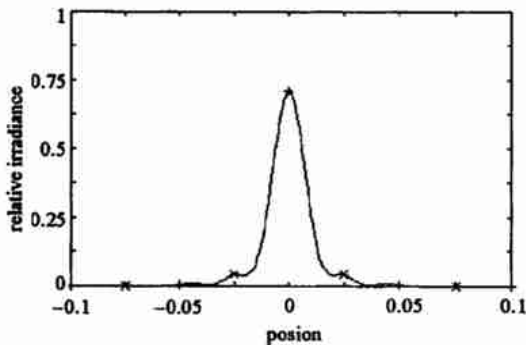


Fig. 5 Calculation of 1.319μm laser intensity distribution

图 5 1.319μm 激光的光强分布计算结果

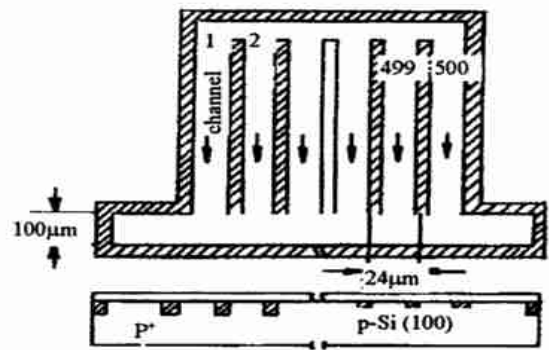


Fig. 6 Configuration of CCD channel block

图 6 CCD 沟阻区结构示意图

求解 CCD 光电特性的基本方程组为^[8]

$$\begin{cases} x_d(Q_s) = \sqrt{d^2 + \frac{2d}{eSN_A}(Q_{full} - Q_s)} - d, & Q_s \frac{dQ_s}{1 - e^{-ax_d}} = eSgI_0t, \\ Q_{full} = C_M(V_G + V_{so}), & g = (1 - R)/h \end{cases} \quad (1)$$

式中: Q_s 为信号电荷量; Q_{full} 表示耗尽层被电荷添满时 MOS 电容器存储电荷量的极限值; g 为耗尽区内产生的电子; S 为深耗尽层的截面积; e 为电子电荷; d 为绝缘层的厚度; N_A 为半导体材料中的受主杂质浓度; x_d

为光照后的耗尽层深度; a 为对激光的吸收系数; I_0 为激光光强, t 表示 CCD 的取样时间; V_G 为栅极电压; V_{so} 为未加栅压的 CCD 单元的表面电位; η 为量子效率; ν 为入射光的频率; C_M 是 MOS 电容器的电容, $C_M = S/4d$, ϵ_r 表示相对介电常数。

可见光硅 CCD 是由本征激发产生信号电荷的器件, 正常工作时入射光功率密度的上限表示为

$$I_{0,th} = (V_G - \sqrt{8d^2 e N_A V_{so}/4} \text{ degt}_{\min}) \quad (2)$$

可见光硅 CCD 器件的典型参数为 $S = 2 \times 10^{-10} \text{ m}^2$, $V_G = 12 \text{ V}$, $d = 10^{-7} \text{ m}$, $\eta = 3.9$, $N_A = 1.0 \times 10^{21} \text{ m}^{-3}$, $\epsilon_r = 0.02$, $\epsilon_0 = 1.319 \mu\text{m}$, $g = 4 \times 10^{21}$, $V_{so} = 0.85 \text{ V}$, $\nu = 5 \times 10^4 / \text{m}$, $R = 0.35$, $t = 0.01 \text{ s}$, $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$, 代入公式可得可见光硅 CCD 对 $1.319 \mu\text{m}$ 激光正常工作的功率密度上限是 585 W/cm^2 , 同实验得到的光饱和串音阈值 566 W/cm^2 基本相符。

3 结 论

从实验结果和理论分析可知, $1.319 \mu\text{m}$ 激光对可见光面阵 CCD 系统同样具有干扰效应, 说明非工作波段激光对面阵 CCD 成像系统可以实施有效干扰, 且实验结果同理论分析基本一致。对于本文选用的可见光面阵 CCD 系统, 当成像面上 $1.319 \mu\text{m}$ 入射激光功率密度达到 100 W/cm^2 量级时, CCD 开始出现饱和串音, 系统处于不正常工作状态; 当成像面上 $1.319 \mu\text{m}$ 入射激光功率密度达到 1000 W/cm^2 量级时, CCD 系统出现全屏饱和。

参考文献:

- [1] 钟海荣, 陆启生, 文铁峰, 等. 激光辐射 CCD 的破坏机理分析[J]. 强激光与粒子, 1998, **10**(4): 537—542. (Zhong H R, Lu Q S, Wen T F, et al. Review on the laser induced damage mechanism of CCD detector. *High Power Laser and Particle Beams*, 1998, **10**(4): 537—542)
- [2] 曾雄文, 陆启生, 赵伊君. CCD 的光电特性研究[J]. 强激光与粒子束, 1999, **11**(1): 47—51. (Zeng X W, Lu Q S, Zhao Y J. The photoelectric characteristic research of CCD. *High Power Laser and Particle Beams*, 1999, **11**(1): 47—51)
- [3] 刘泽金, 陆启生, 蒋志平. 激光辐照 CCD 图像传感器局部的破坏效应研究[J]. 激光技术, 1994, (6): 344—347. (Liu Z J, Lu Q S, Jiang Z P. Study of damage effect in CCD detectors irradiated locally by laser. *Laser Technology*, 1994, (6): 344—347)
- [4] 许晓军, 曾交龙, 陆启生. YAG 激光辐照对面阵 CCD 探测器成像质量影响的研究[J]. 红外与激光工程, 1999, (1): 36—39. (Xu X J, Zeng J L, Lu Q S. Study on influence to the quality of array CCD camera image formation under irradiation of CW YAG laser. *Infrared and Laser Engineering*, 1999, (1): 36—39)
- [5] 倪晓武, 陆建, 贺安之. 激光对 CCD 器件破坏时几种阈值的测量[J]. 激光技术, 1994, (3): 153—156. (Ni X W, Lu J, He A Z. Measurement of laser damaging thresholds of CCD devices. *Laser Technology*, 1994, (3): 153—156)
- [6] 王世勇, 付有余, 郭劲. 脉冲激光辐照 CCD 面阵探测器系统局部的干扰效应研究[J]. 应用激光, 2001, (5): 317—318. (Wang S Y, Fu Y Y, Guo J. Study of disturb effect to array CCD detectors irradiated locally by pulse laser. *Applied Laser*, 2001, (5): 317—318)
- [7] 向世明, 倪国强. 光电子成像器件原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999. (Xiang S M, Ni G Q. The principle of photoelectronic imaging devices. Beijing: National Defence Industry Press, 2002)
- [8] 孙承纬, 陆启生, 范正修, 等. 激光辐照效应[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002. (Sun C W, Lu Q S, Fan Z X, et al. The effect of laser irradiation. Beijing: National Defence Industry Press, 2002)

Study of disturbance to visible-light array CCD detectors irradiated by $1.319 \mu\text{m}$ CW YAG laser

ZHANG Da-yong, ZHAO Jian-heng, WANG Wei-ping, LIU Cang-li, TANG Xiao-song
(Institute of Fluid Physics, CAEP, P. O. Box 919-113, Mianyang 621900, China)

Abstract: The disturbance experiment of array CCD detectors is represented in this paper. In the experiment the visible-light array CCD detector are irradiated by $1.319 \mu\text{m}$ CW YAG laser. The disturbance saturation reason of CCD detector is analyzed and the saturation threshold is measured. It can be concluded that visible light array CCD detector could be effectively disturbed by $1.319 \mu\text{m}$ CW YAG laser from the experiment. When the laser intensity on imaging plane reaches the level of 10^2 W/cm^2 and 10^3 W/cm^2 , the CCD camera appears line saturation and full screen saturation.

Key words: YAG laser; Array CCD detectors; Saturation threshold