

文章编号: 1001 - 9014(2008)06 - 0475 - 04

激光对 CCD 及 CMOS 图像传感器的损伤阈值研究

林均仰, 舒嵘, 黄庚华, 方抗美, 闫志新

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘要: 针对激光对 CCD 及 CMOS 图像传感器的干扰损伤进行了理论分析和实验研究. 实验测量出常压及真空条件下 1064nm 激光对 CCD 及 CMOS 图像传感器的干扰阈值、损伤阈值及完全损坏阈值. 实验结果表明, CCD 或 CMOS 图像传感器的各种阈值在常压和真空两种不同条件下的差别不明显. 实验结果还显示, 无论在常压还是在真空条件下, CCD 比 CMOS 更容易受到激光的干扰和损伤甚至严重损坏; 而 CMOS 相机具有很好的抗干扰和抗损伤能力.

关键词: 激光干扰; CCD 图像传感器; CMOS 传感器; 损伤阈值; 激光

中图分类号: TN958.98 **文献标识码:** A

STUDY ON THRESHOLD OF LASER DAMAGE TO CCD AND CMOS IMAGE SENSORS

LIN Jun-Yang, SHU Rong, HUANG Geng-Hua, FANG Kang-Mei, YAN Zhi-Xin
(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: Theoretical analyses and experimental research were done on the laser-induced interference and damage to CCD and CMOS image sensors. The 1064nm laser interference threshold, damage threshold and completely destroy threshold of CCD and CMOS image sensors were measured under atmospheric pressure condition and vacuum condition respectively. Experimental results show that the three aforementioned thresholds of CCD or CMOS sensors have no obvious differences under the two different pressure conditions. Experimental results also reveal that, compared to CMOS image sensors, CCD image sensors are easier to be interfered or damaged or even destroyed, while CMOS sensors have a better anti-jamming and anti-injury ability under each of the two conditions.

Key words: laser interference; CCD image sensors; CMOS sensors; damage threshold; laser

引言

随着激光能量的不断提高及其应用范围的日益扩大,激光对物质或器件的损伤作用问题越来越突出,引起了日益广泛的重视,人们对此开展了专门的研究得到了大量的实验结果并获得了许多重要结论. 目前主要的成像器件有 CCD 和 CMOS 图像传感器两种. 国内已有对这两种器件在大气工作状态下的损伤阈值的研究,但是尚未有在真空条件下 CCD 和 CMOS 图像传感器的损伤阈值实验数据. 为此需要进行真空条件下 CCD 和 CMOS 相机的激光损伤研究,以探索卫星等航天设备上的成像器件的激光干扰和损伤条件. 激光对图像传感器的干扰或损伤效应主要有:使传感器产生饱和效应及记忆效应、致

使半导体材料电学参数的改变,热效应损坏探测器材料以及力学效应造成传感器结构的硬损伤等^[1]. 影响器件损伤阈值的因素很多,其中与材料自身特性有关,还与激光参数有关,包括激光脉冲宽度、频率、形状、光斑大小及形状等^[2-4]. 此外在不同的实验条件下,激光对半导体材料的损伤阈值也不同. 在保持相同其它实验条件下,分别测量常压和真空条件下相机的损伤阈值进行对比.

1 激光对相机的干扰和损伤机理

激光对图像传感器的损伤分为硬损伤和软损伤. 前者是指器件局部或整体的结构发生了可观测的变化,通常是灾难性的、不可逆的,如熔融、汽化、层裂等现象;后者是指器件功能产生的变化,通常是

收稿日期:2007 - 11 - 15,修回日期:2008 - 05 - 12

基金项目:863(2007AA12Z105)资助项目

作者简介:林均仰(1982-),男,广东新会人,电路与系统专业博士研究生,主要从事远距离目标特性和激光雷达应用技术的研究.

Received date: 2007 - 11 - 15, revised date: 2008 - 05 - 12

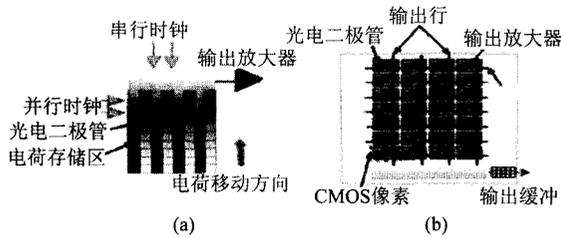


图1 CCD 和 CMOS 图像传感器原理 (a) 面阵 CCD (b) CMOS

Fig.1 Principles of CCD and CMOS image sensors (a) CCD (b) CMOS

瞬时的、可逆的,如由于材料的某些性质发生变化而导致的器件响应度损失、暗电流增加以至器件暂时失效。只需较小的激光能量密度打在图像传感器上使传感器饱和即可实现干扰,即软损伤;而要实现硬损伤所需的激光能量密度要高得多^[1,5]。

CCD 和 CMOS 相机图像传感器的原理如图 1 所示。CCD 传感器工作时,像元与驱动信号转移的时序脉冲电极和控制栅极等在同一平面内交替排列,具有相同的基底。感光元件生成的电信号由 CCD 传感器中的放大器专门负责,经放大器处理之后,每个像点的电信号强度都获得同样幅度的增大,然后输出到模数转换芯片进行处理,最终以二进制数字图像矩阵的形式输出给专门的 DSP 处理芯片。CCD 传感器的每个像元可等效于一个电容 C_p ,所能存储和处理的最大电子电荷数是一定的,当较强的激光辐照 CCD 传感器局部时,由于 CCD 光积分时间为几微秒到几百微秒,光生载流子产生时间为 10^{-12} s 量级,将有足够的时间发生电子“溢出”现象。CCD 传感器所能处理的最大电子电荷数为^[5]

$$N_{\max} = \frac{C_p \times \Delta V_{\max}}{e},$$

式中, ΔV_{\max} 为信号积累时间内的最大电压变化, e 为电子电荷。

像元饱和后溢出的电子会对周围的其它像元造成串扰,这种串扰的电流足够大时还会使像元控制电路造成损坏^[6]。因此,用小光斑的强激光也能够对 CCD 图像传感器造成较大面积的干扰和损伤。

CMOS 感光元件的构成就比较复杂,除了处于核心地位的感光二极管之外,它还包括放大器与模数转换电路,每个像元的构成为一个感光二极管和三颗晶体管。CMOS 传感器中每一个感光元件都直接整合了放大器和模数转换逻辑,当感光二极管接受光照、产生模拟的电信号之后,电信号首先被该感光元件中的放大器放大,然后直接转换成对应的数

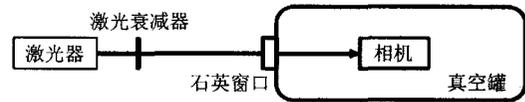


图2 实验系统示意图

Fig.2 Sketch map of experimental system

字信号。CMOS 图像传感器的这种结构使它的像元之间串扰很少。所以,用小光斑的强激光很难对 CMOS 图像传感器造成较大面积的干扰和损伤。

CCD 和 CMOS 图像传感器受激光照射范围内的像元很容易饱和,并对其它像元产生串扰。硬损伤的能量密度阈值主要由激光脉宽、重复频率等参数以及器件材料的热传导率、热容和热吸收系数等性质有关。

2 CCD 相机、CMOS 相机激光损伤实验

2.1 实验系统组成

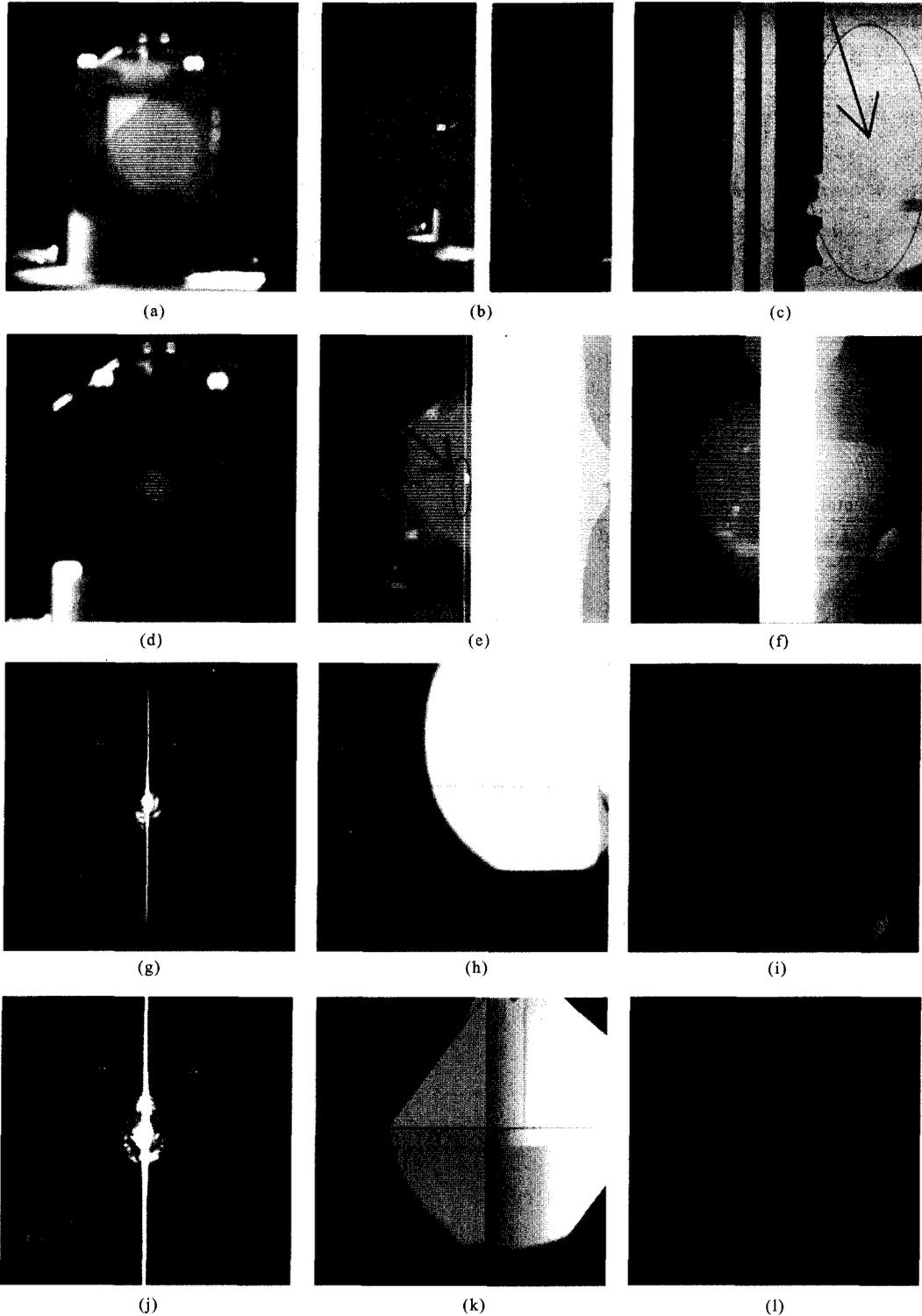
实验装置如图 2 所示。激光器是 1064nm 脉冲激光器,脉宽 5ns,重复频率为 10Hz。用能量计监测激光能量,经过适当衰减后透过真空罐的石英玻璃窗口照射到相机镜头上。相机带有光学镜头,将激光聚焦在 CCD 或 CMOS 图像传感器的表面形成足够小像点。石英玻璃对 1064nm 激光的透射率在 93% 以上,忽略它对激光的衰减;根据成像光斑的面积、发射激光的能量、衰减器的衰减系数,可以求出打在图像传感器上的激光能量密度大小。

实验采用型号为 W82C 的 CCD 相机和型号为 DH-HV1300FM 的 CMOS 相机,实验中相机处于工作状态。

2.2 实验与结果

首先用微小能量的激光打在相机镜头上,调整镜头焦距,激光经光学镜头聚焦在相机传感器表面形成光斑图像。记录光斑象素点的个数,查阅相关型号相机每个像素的面积,以此计算激光打在传感器表面的面积。实验中记录激光能量和激光衰减器的参数。根据这些数据即可算出打在相机成像传感器上的激光能量密度。激光能量由小到大地进行试验,直至相机成像传感器受到严重损坏基本不能工作为止。

为了进行对比,在真空和常压两种条件下对 CCD 和 CMOS 两种图像传感器都进行了损伤阈值的测量实验。真空气压小于 3×10^{-3} Pa,符合航天标准。表 1 给出不同条件下两种相机受到干扰、损伤和严重损坏的阈值实验测量结果。



注: (h)、(k)中圆圈为真空罐窗口, 以圈内的图像为准进行判断。

图3 激光对 CCD 和 CMOS 的干扰损伤效果(a)常压下 CCD 受干扰 (b)常压下 CCD 受损伤 (c)常压下 CCD 受破坏 (d)真空下 CCD 受干扰 (e)真空下 CCD 受损伤 (f)真空下 CCD 受破坏 (g)常压下 CMOS 受干扰 (h)常压下 CMOS 受损伤 (i)常压下 CMOS 受破坏 (j)真空下 CMOS 受干扰 (k)真空下 CMOS 受损伤 (l)真空下 CMOS 受破坏

Fig. 3 Effects of laser damage to CCD and CMOS sensors (a) interference to CCD under atmospheric pressure (b)injury to CCD under atmospheric pressure (c)damage to CCD under atmospheric pressure (d) interference to CCD in vacuum (e)injury to CCD in vacuum (f)damage to CCD in vacuum (g)interference to CMOS under atmospheric pressure (h)injury to CMOS under atmospheric pressure (i)damage to CMOS under atmospheric pressure (j)interference to CMOS in vacuum (k)injury to CMOS in vacuum (l)damage to CMOS in vacuum

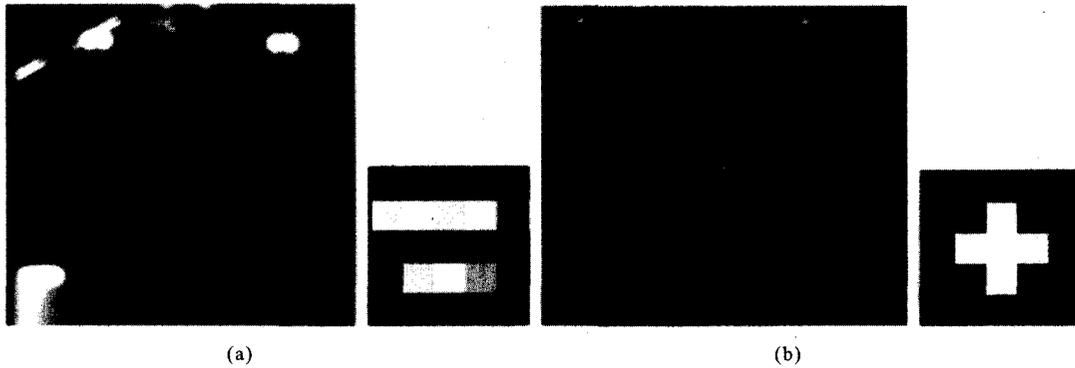


图4 相机正常工作拍摄的激光光斑图像 (a) CCD 正常图像及光斑放大图 (b) CMOS 正常图像及光斑放大图
Fig. 4 Camera image of laser spot under normal working condition (a) image of CCD laser spot enlargement
(b) image of CMOS and laser spot enlargement

表1 实验结果

Table 1 Experimental results

		轻度干扰成像	硬损伤阈值	严重损坏
CCD	常压	小于 $1.45 \times 10^{-3} \text{ J/cm}^2$	0.29 J/cm^2	1.5 J/cm^2
	真空	$1.90 \times 10^{-4} \text{ J/cm}^2$	0.27 J/cm^2	大于 1 J/cm^2
CMOS	常压	$7.70 \times 10^{-2} \text{ J/cm}^2$	0.5 J/cm^2	626 J/cm^2
	真空	$7.70 \times 10^{-2} \text{ J/cm}^2$	0.5 J/cm^2	273 J/cm^2

图3为相应的激光对 CCD 和 CMOS 的干扰损伤效果实验现象。

为了便于比较,给出相机受激光干扰损伤前正常工作拍摄的激光光斑图像如图4所示。

3 结语

比较真空和常压下同类型相机的损伤阈值可见,两者的区别不明显。在真空条件下 CCD 或 CMOS 相机的干扰、损伤、损坏阈值均与常压下的数值接近。相同激光能量密度时,真空条件下受干扰和损伤程度略微严重。CCD 相机的干扰阈值小于 10^{-3} J/cm^2 ,很容易实现对它的干扰。CMOS 相机受干扰、损伤或严重损坏的能量阈值均比 CCD 相机高,尤其是 CMOS 相机的严重损坏阈值高达几百 J/cm^2 。CMOS 相机具有很好的抗干扰和抗损伤能力。CCD 和 CMOS 图像传感器的激光损伤阈值分别是 0.27 J/cm^2 和 0.5 J/cm^2 ,较大能量的激光才可能对相机产生硬损伤。CCD 和 CMOS 图像传感器发生轻微不可恢复损伤的临界现象比较明确,因而实验测得的损

伤阈值也较为客观,具有很好的参考价值。

REFERENCES

- [1] NI Xiao-Wu, SHEN Zhong-Hua, LU Jian. Study of laser destruction for optoelectronic device and semiconductor material[J]. *Optoelectronics Laser* (倪晓武,沈中华,陆建. 强激光对光电器件及半导体材料的破坏研究. *光电子激光*), 1997, 8(6): 487—490.
- [2] XU Jie, ZHAO Shang-Hong, ZHAN Sheng-Bao, et al. The analysis of damage factors and their causes in laser induced detector damage[J]. *Laser Journal* (胥杰,赵尚弘,占生宝,等. 光电探测器激光损伤因素及其成因分析. *激光杂志*), 2006, 27(5): 43—44.
- [3] ZHANG Ying-Yuan, ZHENG Rong-Shan, LIU Jin-Song. Analysis of pulsed laser disturbance and damage on satellite-borne detector[J]. *Journal of Electronics & Information Technology* (张英远,郑荣山,刘劲松. 脉冲激光对星载探测器的干扰和损伤分析. *电子与信息学报*), 2006, 28(9): 1758—1760.
- [4] GAN Fu-Xi. New nonlinear optical phenomena in transparent dielectrics interacted with high intense laser beam[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (干福熹. 强激光与透明电介质相互作用中新的非线性光学现象. *红外与毫米波学报*), 2002, 21(Suppl): 64—68.
- [5] WANG Shi-Yong, FU You-Yu, GUO Jin. Study of disturbing effect on array CCD detectors irradiated locally by laser[J]. *Semiconductor Optoelectronics* (王世勇,付有余,郭劲. 激光辐照面阵 CCD 探测器系统局部的干扰效应. *半导体光电*), 2002, 23(2): 106—108.
- [6] LIU Ze-Jin, LU Qi-Sheng, JIANG Zhi-Ping, et al. Research on damaging mechanism of CCD video camera irradiated by a focusing laser beam[J]. *Applied Laser* (刘泽金,陆启生,蒋志平,等. 面阵 CCD 图像传感器点破坏机理研究. *应用激光*), 1995, 15(2): 85—86.