

超连续谱光源对 CMOS 图像传感器的干扰实验研究

朱 辰,李 尧,王雄飞,张 昆,熊文龙,张浩彬,张大勇,张利明
(固体激光技术重点实验室,北京 100015)

摘 要:首先介绍了 CMOS 图像传感器工作的基本原理。以自研的超连续谱光源为干扰源搭建了实验装置,对 CMOS 器件在强光下的受干扰现象进行了实验研究。获得了不同功率密度水平下 CMOS 器件输出的光斑饱和图像。以入射到 CMOS 器件靶面的功率密度 $3.14 \times 10^{-3} \text{ W/cm}^2$ 为例,对得到的图像数据进行了分析,得到了干扰效果图和像元灰度表,并对产生的原因作出了分析。

关键词:光电对抗;激光干扰;超连续谱光源;CMOS 传感器

中图分类号:TN249 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2014.04.005

Experiment study of interference of super-continuum light source on CMOS photodetectors

ZHU Chen, LI Yao, WANG Xiong-fei, ZHANG Kun, XIONG Wen-long
ZHANG Hao-bin, ZHANG Da-yong, ZHANG Li-ming
(Science and Technology on Solid-state Laser Laboratory, Beijing 100015, China)

Abstract: Firstly the principle of CMOS photodetectors is introduced, and some basic theories of supercontinuum are discussed. The experiment equipment is built with self-developed supercontinuum light source as interference source. The output power is about 3W and spectrum range is 600 ~ 1700 nm. Based on the supercontinuum light source, the high power interference experiment is carried out with CMOS detector as the imaging component. The saturation images are collected from CMOS under different laser power densities. The image data is analyzed and interference effect pictures are drawn. When the power density in the CMOS detector is $3.14 \times 10^{-3} \text{ W/cm}^2$, gray chart of single picture elements is achieved, and the result is discussed.

Key words: optoelectronic countermeasure; laser disturbance; supercontinuum source; CMOS detector

1 引 言

图像传感器作为电视摄像机、图像导引头的关键部件,被广泛应用于监控、测量、制导、识别、侦察等民用和军用领域。在一些特殊应用场合,需要激光对图像传感器的正常工作形成干扰,甚至损伤器件。一般来说,激光对图像传感器的损伤分为硬损伤和软损伤。所谓硬损伤是探测器材料发生永久性破坏,而无信号输出。软损伤是指光电材料或器件的功能性退化或暂时失效,软损伤后探测器仍有信号输出,但信噪比会大大降低。从干扰源的输出功率上看,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。因此了解图像传感器受激光干扰与损伤的过程,开展图像传感器的激光辐照效应与破坏机理研究,并对于干扰效果做出恰当的评价具有十分重要的意义。

电荷耦合器件(Charge Coupled Device, CCD)及互补金属氧化物半导体器件(Complementary Metal Oxide Semiconductor, CMOS)两种图像传感器是光电子

作者简介:朱 辰(1977 -),男,高工,硕士,从事高功率连续、脉冲光纤激光器及超连续谱技术研究。E-mail:zhuch@sina.com
收稿日期:2013-08-13

成像领域重要的图像传感器。随着 CMOS 大规模集成电路的不断发展, CMOS 图像传感器的成像质量不断提高,且 CMOS 具有集成化程度很高、制造成本低、单一工作电压、功耗低等优点,在很多应用场合替代了 CCD 而获得广泛的应用。目前在激光对于图像传感器辐照效应的研究中,通常是采用 CCD 作为研究对象的,而基于 CMOS 的激光辐照效应研究很少报道。本文以自研的全光纤超连续谱光源为辐照源,以 CMOS 器件作为干扰目标进行研究,取得了一些干扰效果并给出了分析结论。

2 实验原理与装置

2.1 CMOS 图像传感器工作机理

CMOS 图像传感器是用标准的 CMOS 工艺实现的,主要包含有像素阵列、行选通逻辑、列选通逻辑、定时和控制电路、模拟信号处理器等功能模块,如图 1 所示。有的 CMOS 图像传感器还集成了模/数转换器。

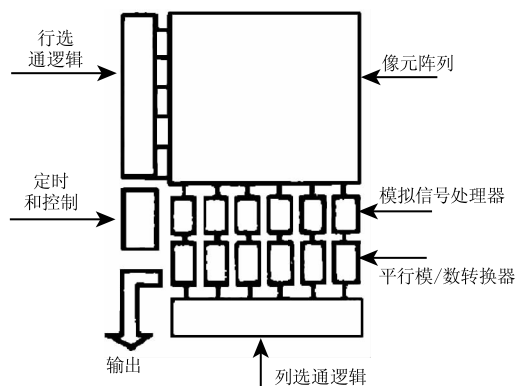


图1 CMOS 图像传感器总体结构

像素单元阵列的主要用途是收集有用的光信号,并将此光信号转化为电信号;模拟信号处理电路完成信号的积分、放大、取样和保持功能,通过处理电路提高信号的信噪比;行选通逻辑单元与列选通逻辑单元配合使用可以实现图像的窗口提取功能;定时和控制电路限制信号读出模式、设定积分时间、控制数据输出率等。模/数转换器(ADC)是数字成像系统所必须的,可将模拟信号转换为计算机能识别的数字信号。

正是由于 CMOS 图像传感器在工作原理上的特点,使得其与 CCD 器件相比具有扫描速度快、响应光谱范围宽、集成度高、功耗低、成本低等优势,对于抗激光干扰的阈值也要比 CCD 器件高。缺点是在灵敏度、分辨率、噪声控制能力等方面相比 CCD 器件来说还有差距。

2.2 超连续谱光源

超连续谱现象是指高能量超短光脉冲在非线性

介质中受到色散、自/交叉相位调制、四波混频以及受激拉曼散射等非线性效应的驱动,光谱被极大展宽的现象。基于超连续谱现象的光源输出光谱范围覆盖可见光至近红外光波段,具有输出光谱宽、输出功率高、光束质量好等特点,非常适宜用作上述图像传感器抗辐照效应研究的光源。

超连续谱光源由皮秒光纤激光器种子源、皮秒光纤放大器及非线性光谱展宽器三部分组成。皮秒光纤激光器种子源产生的种子脉冲入射至掺 Yb 光纤放大器进行功率放大,放大后的高功率皮秒激光脉冲作为泵浦光入射至高非线性光子晶体光纤,由于多种非线性效应将放大后的皮秒激光脉冲进行光谱展宽,从而得到超连续谱输出。

实验中采用的光源为自研的超连续谱光源,其最大输出功率 3W,重复频率 32MHz,脉冲宽度 154ps,单脉冲能量为 0.094 μ J,对应的峰值功率可达 0.6kW,输出光谱范围 600~1700nm(受光谱仪测量量程的限制),10dB 带宽大于 900nm。

2.3 实验装置及结果

实验中,采用的是国产某型 CMOS 图像传感器,传感器采用 1/3 英寸靶面,像元大小为 3.75 μ m \times 5 μ m。实验原理如图 2 所示。

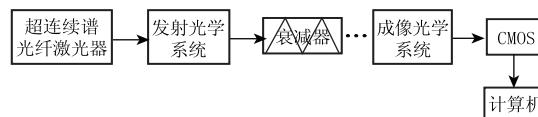


图2 实验原理图

超连续谱光源发出的光通过后续的发射光学系统整形发射;衰减器中的衰减片各自呈一定角度放置,以减少多次反射,保证较为准确的衰减倍率。光束通过成像光学系统入射到 CMOS 图像传感器靶面上,传感器连接计算机获得并分析处理图像。

实验中,通过适当控制入射到接收光学系统及 CMOS 图像传感器上的光功率,分别得到了如图 3 中的干扰效果图。对应的超连续谱功率分别为 0.12W,0.73W,1.25W,1.86W,2.32W 和 2.68W,若假设接收光学系统的传输损耗为 0.1,则图 3(a)~(e)对应的功率密度分别为:0.14 \times 10⁻³W/cm²,0.86 \times 10⁻³W/cm²,1.46 \times 10⁻³W/cm²,2.18 \times 10⁻³W/cm²,2.72 \times 10⁻³W/cm²,3.14 \times 10⁻³W/cm²。

将上述图像输入计算机,通过图像处理软件对其中每个像元的灰度数据进行处理,将其灰度划分成 0~255 阶。考虑到 CMOS 器件及数据采集电路等的随机干扰因素,此时规定灰度值大于 235 即认为该像元的输出已经接近饱和,不能正常提供图像

信息数据。在后续处理时将这些像元的数据标白，而其他未饱和的像元数据标黑。处理完后的图像如图4所示。

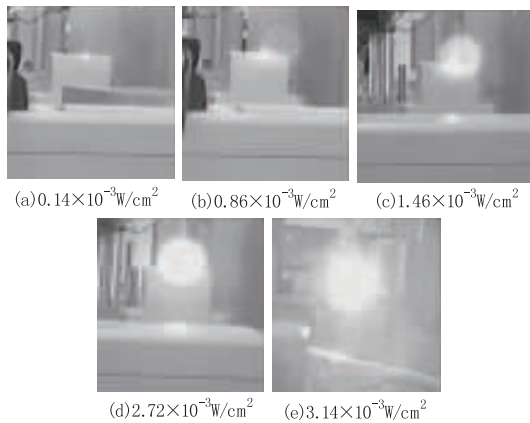


图3 在不同功率密度水平下 CMOS 图像传感器输出的干扰图像
在图4(e)中, CMOS 感光面上出现大面积像素

不能读出图像,此时进一步提取每个像元的灰度数据作分析。由于文章幅面有限,此处将相邻像元进行了简并处理,给出了饱和区附近像元的灰度表,如表1所示。

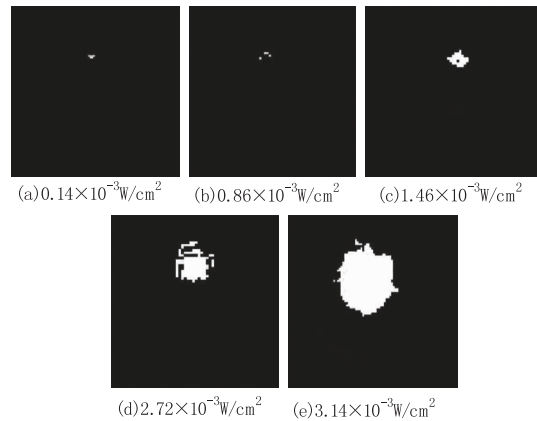


图4 在不同功率水平输出下 CMOS 图像传感器像元干扰效果图

表1 3.14 x 10^-3 W/cm^2 时饱和区像元灰度数据表

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	237	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	236	235	0	235	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	235	235	238	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	236	236	238	240	237	239	236	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	237	239	239	239	239	239	239	239	239	237	237	237	237	0	0	0
0	0	0	240	239	239	239	239	239	239	239	239	237	237	237	237	0	0	0
0	0	238	236	239	239	239	239	239	239	239	239	238	238	238	238	0	0	0
0	235	238	240	239	239	239	239	239	239	239	239	239	239	239	239	0	0	0
0	0	242	240	239	239	239	239	239	239	239	239	239	239	239	239	0	0	0
0	0	239	237	239	239	239	239	239	239	239	239	239	239	239	239	0	0	0
0	237	241	239	239	239	239	239	239	239	239	239	239	239	239	239	0	0	0
0	0	237	237	239	239	239	239	239	239	239	239	239	239	239	239	0	0	0
0	0	239	240	239	239	239	239	239	239	239	239	240	239	239	238	237	235	0
0	0	240	237	239	239	239	239	239	239	239	239	239	238	237	237	0	0	0
0	0	237	237	239	239	239	239	239	239	239	239	239	237	235	0	0	0	0
0	0	0	238	239	239	239	239	239	239	239	239	238	236	0	0	0	0	0
0	0	0	235	236	237	238	239	239	239	239	239	237	235	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	237	239	236	236	236	236	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	236	235	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

通过分析,认为出现远超出像元级别大小饱和区的原因主要是由于 CMOS 图像传感器在强光辐照的情况下,光生电荷从被辐照的像元中“溢出”至周

边的像元。随着入射光强的增强,被“溢出”填满的像元就越多,因此造成了成像器件的大面积饱和。

为了判别 CMOS 图像传感器是否有硬损伤,实

验中切断光源输出,则 CMOS 图像传感器仍能正常工作,说明器件本身没有硬损伤。

3 结论

实验得到了不同功率密度时超连续谱光源对 CMOS 图像传感器的干扰现象,对图像数据进行了处理,分析了图像饱和的原因。当一束光谱范围 600 ~ 1700nm、功率密度 $3.14 \times 10^{-3} \text{ W/cm}^2$ 的光源照射到 CMOS 图像传感器靶面时,实现了作用像元的饱和以及周边像元的“溢出”饱和。实验表明在现有的功率密度水平下已经可以实现像元饱和与“溢出”饱和,但要实现对 CMOS 图像传感器的硬损伤还需要更高水平的功率密度。本实验对研究激光干扰以 CMOS 作为核心器件的图像采集系统有一定的参考意义。

此外,由于 CCD 器件在军用装备中应用较为广泛,因此下一步有必要对其的干扰效果进行研究。不过从器件电荷传输机理上看,CCD 器件比 CMOS 器件的抗干扰阈值更低,干扰效果会更好。

参考文献:

- [1] ZHANG C Z, Blarre L D, Walser R M, et al. Mechanisms for laser induced functional damage to silicon charge-coupled imaging sensors[J]. Applied Optics, 1993, 32(27): 5201 - 5210.
- [2] LIU Zejin, LU Qisheng, JIANG Zhipin, et al. Study of damage effect in CCD detectors irradiated locally by laser [J]. Laser Technology, 1994, 18(6): 344 - 347. (in Chinese)
刘泽金, 陆启生, 蒋志平, 等. 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, 18(6): 344 - 347.
- [3] NI Xiaowu, SHEN Zhonghua, LU Jian. Study of laser destruction for optoelectronic device and semiconductor material[J]. Optoelectronics Laser. 1997, 8(6): 487 - 490. (in Chinese)
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[J]. 光电子激光, 1997, 8(6): 487 - 490.
- [4] ZHONG Hairong, LU Qisheng, WEN Tiefeng, et al. Review on the laser-induced damage mechanism of CCD detector[J]. High power and particle beams, 1998, (104): 537 - 542. (in Chinese)
钟海荣, 陆启生, 文铁峰, 等. 激光辐射 CCD 的破坏机理分析[J]. 强激光与粒子束, 1998, (104): 537 - 542.
- [5] WANG Shiyong, FU Youyu, GUO Jin. Study of disturbing effect on array CCD detectors irradiated locally by laser [J]. Semiconductor Optoelectronics, 2002, 23(2): 106 - 108. (in Chinese)
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[J]. 半导体光电, 2002, 23(2): 106 - 108.
- [6] XU Jie, ZHAO Shanghong, ZHAN Shengbao, et al. The analysis of damage factors and their causes in laser induced detector damage[J]. Laser Journal, 2006, 27(5): 43 - 44. (in Chinese)
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[J]. 激光杂志, 2006, 27(5): 43 - 44.
- [7] LI Junyang, SHU Rong, HHANG Genghua, et al. Study on threshold of laser damage to CCD and CMOS image sensors[J]. Infrared Millim. Waves, 2008, 27(6): 475 - 478. (in Chinese)
林均仰, 舒嵘, 黄庚华, 等. 激光对 CCD 及 CMOS 图像传感器的损伤阈值研究[J]. 红外与毫米波学报, 2008, 27(6): 475 - 478.
- [8] LUO Qun. Study of disturb effect to array CCD detectors irradiated[D]. Changsha: Graduate School of National University of Defense Technology, 2008. (in Chinese)
罗群. 宽光谱光源对可见光 CCD 的干扰效应研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2008.
- [9] WANG Shiyong, FU Youyu, GUO Jin, et al. Effect evaluation of array CCD detector tracking system irradiated by pulse laser[J]. Laser & Infrared, 2002, 32(1): 20 - 22. (in Chinese)
王世勇, 付有余, 郭劲, 等. 脉冲激光对 CCD 图像跟踪系统干扰效果评估[J]. 激光与红外, 2002, 32(1): 20 - 22.