

# 808nm 激光对可见光面阵 CCD 的干扰损伤研究

孙守红, 郭立红, 王立军

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

**摘要:**介绍了 CCD 光电探测器工作的基本原理及激光对 CCD 的干扰损伤机理。用波长为 808nm 的连续激光辐照 CCD 器件, 实验中由图像采集卡采集得到相机的视频输出, 同时用示波器检测 CCD 输出信号和垂直输出时钟信号, 首次得到了 808nm 激光致使该种器件产生的热熔融阈值、光学击穿阈值、直接破坏阈值和致使整个器件失效的激光能量阈值等有关结果。

**关键词:**激光; CCD 光电探测器; 干扰损伤; 阈值

中图分类号: TN241; TN248.9

文献标识码: A

文章编号: 1672 - 9870 (2008) 01 - 0019 - 03

## Interference Damage to Visible Light Plane Array CCD Induced by 808 nm Laser

SUN Shouhong, GUO Lihong, Wang Lijun

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033)

**Abstract:** The fundamentals of CCD photodetectors, and interference damage to CCD induced by laser at 808 nm are described. In an experimental demonstration, CCD was irradiated by CW laser at 808 nm, video output from camera collected by image collection card, at the same time, using oscilloscope to measure the output signal from CCD and vertical output clock signal, It is obtained that thermal melting threshold, optical breakdown threshold, direct damage threshold and laser energy threshold that can make the whole device in failure induced by laser at 808 nm.

**Key words:** laser; CCD photodetector; interference damage; threshold

CCD(Charge Coupled Devices)电荷耦合器件, 是 70 年代初发展起来的新型半导体器件, 现已广泛应用于摄像、监控、图象处理等多个领域。在某些特殊应用系统中, 如激光环境下的光电成像系统、电子对抗系统以及 CCD 的抗激光加固系统等, 其核心部件 CCD 光电探测器若受到激光的干扰与损伤将严重影响系统的正常工作, 因此研究激光对 CCD 光电探测器的辐照效应和干扰损伤机理具有重要意义。

### 1 CCD 的工作原理

目前, CCD 的品种、型号、厂家很多, 参数各

异, 但结构和原理基本相同。其结构都是在以陶瓷材料上粘接的 N 型或 P 型 Si 为衬底生长一层二氧化硅绝缘层, 再在绝缘层上沉积一层金属铝为栅极, 构成 MOS 电容器, 多个 MOS 电容器组成 CCD。当 CCD 工作时, 可以用光注入或电注入的方法向势阱注入电荷, 以获得自由电子或自由空穴, 形成电荷包。提取信号时, 利用耗尽层耦合原理--即加在 MOS 电容器上的电压越高产生的势阱越深, 进行电荷的转移, CCD 中的电荷转移必须按照确定的方向, 因此 MOS 电容器列阵上所加的电位脉冲必须严格满足相位时序要求, 使得任何时候势阱的变化总是朝着一个方向。最后检测出输出电

收稿日期: 2007-09-16

基金项目: 中科院长春光学精密机械与物理所三期创新项目(077Y32C070)

作者简介: 孙守红(1978-), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事大功率半导体激光器应用研究, E-mail: sunshouhong@sohu.com.

荷,成为视频信号<sup>[1]</sup>。

## 2 CCD 的干扰和损伤机理

激光对 CCD 光电探测器的破坏有组成 CCD 的半导体材料处于杂质能带的电子吸收激光能量大量向导带跃迁,引起暗电流增加而使器件失效甚至烧毁的软破坏和激光束直接作用于 CCD,引起器件中材料和结构的硬破坏两种<sup>[2]</sup>。激光对 CCD 光电探测器的作用,主要包括光电效应作用和热作用。当强光辐照 CCD 时可使局部 P-N 结退化为电阻,使得电阻降低,伏安曲线变直。当用强光辐照 CCD 探测器光敏面的局部时,从输出的信号观察到,被光照射的区域达到了饱和,未被光照射的区域也有信号输出,当光足够强时光功率密度超过 CCD 的线性区域时,整个探测器处于饱和状态,即所谓的“光饱和串音”现象<sup>[3-5]</sup>。产生光饱和串音现象并没有对探测器材料造成损伤,但干扰了 CCD 探测器的正常工作。当激光辐照 CCD 表面,造成栅极、传输级的铝覆盖融化和汽化,导致栅极与传输级、传输级与传输级之间的短路,而所有相同的电极连通时,器件会因驱动信号的混乱而无法工作。此外,其串行输出的结构也必然导致当中间某处有汽化时造成断路,整个器件将无信号输出,此时 CCD 光电探测器将完全失效。

## 3 实验方法及结果

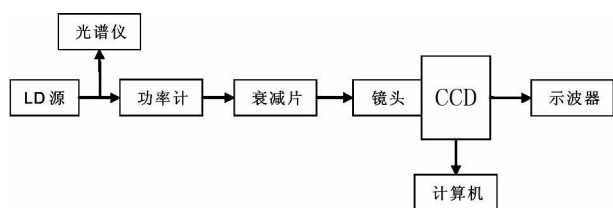


图 1 实验布局图

Fig.1 Experimental assembly

实验布局如图 1 所示。实验中采用 KA-320 型面阵 CCD 探测器,该探测器为 1/3 英寸靶面,像素 752\*592,  $F=1.2$ , 焦距为 50 mm。808nm 半导体激光器发出的激光束,通过一系列衰减片后进入镜头,在 CCD 靶面上聚焦成像,用示波器记录 CCD 芯片输出信号,同时用图像采集卡采集对应的相机的视频图像。

实验中采用的激光功率计探头可探测功率范围为 0 ~ 200W, 测量精度 $\pm 5\%$ 。半导体激光器与 CCD 探测器之间的距离为 1.5m, 调整实验装置使激光束与 CCD 探测系统的光轴对准,在 CCD 前方

放置光孔,光孔直径为 4mm,将激光功率计置于光孔后方,调整光孔位置至激光束功率最大值处,测量中逐次减少衰减片,观察输出。

为了观察到 CCD 器件工作状态随激光辐照能量密度变化的整个过程,减少衰减片至 CCD 进入线性区域,继续减少衰减片,CCD 进入像元饱和状态,此时测量激光功率密度为  $2.0 \times 10^{-7} \text{ W/cm}^2$ , 如图 2 所示。此后继续减少衰减片,随着衰减倍率的减小,观察到在连续激光辐照下的光饱和串音现象,有信号的 CCD 像元数逐渐增多,饱和区域不断扩大,当激光功率达到  $1.2 \text{ W/cm}^2$  时,CCD 不再有信号输出,用显微镜可以观察到 CCD 阵面上有直径约为 30 个像元的烧蚀坑,如图 3 所示,这样对 CCD 造成了硬损伤。



图 2 计算机采集到的 CCD 部分区域饱和时的图像

Fig.2 Image that the computer collected when the part of area of CCD is saturated

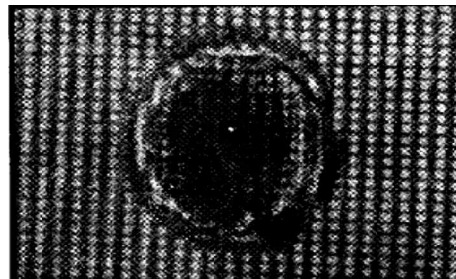


图 3 由 320 倍显微镜得到的破坏后 CCD 表面形貌

Fig.3 Through the 320-fold of microscope obtain superficial appearance of the CCD that have been damaged

## 4 实验结果分析

像元饱和及串音现象是由 CCD 器件的结构决定的。当照射在 CCD 光敏面上的激光能量增大到一定程度时,将产生足够多的电子-空穴对并填满势阱,此时输出电压信号达到饱和,即达到像元饱和。当激光能量继续增大时,电子将穿越势垒向邻近势阱中扩散,使得未被辐照的像元也有电信号输出,出现串音现象。

本实验中 808nm 连续激光实现了 CCD 器件的硬损伤,因为 KA-320 型 CCD 探测器对 808nm 谱

段的光响应非常灵敏,分析器件的破坏机理,在上述激光破坏情况下,CCD 已经不能成像,从视频采集信号看,对任何场景,都是一个黑屏图像。CCD 的局域象元受激光辐照破坏,其效果是整个器件无信号输出,而不是象场中存在几个暗点。这归因于探测器的结构和工作方式:当激光辐照 CCD 表面,造成栅极、传输极的铝覆盖层溶化和汽化,导致栅极与传输极、传输极与传输极之间的短路,而所有相同的电极连通,这时器件因驱动信号的混乱而无法工作。此外,其串行输出的结构又必然导致当某处由汽化造成断路时整个器件无信号输出<sup>[6]</sup>。

## 5 讨论

(1) 与其它探测器如 PV 型 InSb、HgCdTe、PC 型 HgCdTe 相比,连续激光辐照 Si 基 CCD 的破坏阈值要高得多。这主要是由制成探测器的材料的热学和光学性能所决定。与 InSb 等相比较,组成 CCD 材料的热吸收系数较小(如 Si, SiO<sub>2</sub>, Al),而热传导率值却较大(如 Si, Al),熔点较高。

(2) 不同实验存在较大的阈值差异,其原因之一是实验者对破坏阈值的定义不同,但更重要的原因可能是实验样品之间的工艺处理和结构的差异。因此,对器件建立一个统一的阈值模型尚不可能,但对破坏机理的理解却有普遍意义。

(3) “光饱和串音”现象与点破坏(局域破坏)

机制对其它与 CCD 结构及工作方式(共同电极、串行输出)相似的阵列探测器如光电二极管阵列、InSb 阵列同样适用,这两种破坏机理说明它们在抗激光方面是脆弱的。

实验表明连续激光辐照下较难实现对面阵 CCD 探测器实现硬损伤,但实现像元饱和与探测器饱和相对易于实现,因而采用相对功率较低的连续激光器干扰面阵 CCD 探测器使其暂时饱和失效是一种较为有效且易于实现的干扰手段。高分辨率成像侦察卫星的成像仪器多数为 CCD 相机,因此本实验及结论对研究激光干扰星载 CCD 成像技术具有重要的参考意义。

## 参考文献

- [1] 王庆友,孙学珠.CCD 应用技术[M].天津:天津大学出版社,1993:46-56.
- [2] 倪晓武,陆建,贺安之.激光对电荷耦合器件硬破坏机理研究[J].物理学报,1994,43(11):1795-1802.
- [3] 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.
- [4] 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[J].应用激光,1995,15(2):86-88.
- [5] 张大勇,赵剑衡,王伟平等.1.319μm 连续 YAG 激光束对可见光面阵 CCD 系统的干扰研究[J].强激光与粒子束,2003,15(11):1050-1052.
- [5] 任瑞治,郭树旭,顾玲嘉等.CCD 相机图像自动稳光技术的研究[J].长春理工大学学报,2007(2):33-36.
- [5] 王毅,范伟,饶瑞中.大气中目标背景对比度及其影响因素的数值分析[J].强激光与粒子束,2004,16(7):848-852.
- [6] 庞长富,刘榴嫡.CCD 摄像机用于测量中存在的问题及解决方法[J].光学技术,1996,3(2):5-8.
- [7] 麦伟麟.光学传递函数及其数理基础[M].北京:国防工业出版社,1979:304-307.
- [8] 崔惠绒,林家明,张旭生.CCD 自扫描测量光电摄像系统 MTF 的方法[J].光电技术,2005,31(6):878-880.
- [1] 付伟.对激光制导武器的干扰技术[J].飞航导弹,1996(5):47-52.
- [2] 韩玉阁,宣益民.目标与背景的红外辐射特性研究及应用[J].红外技术,2002,24(4):16-19.
- [3] 张鸣平,张敬贤,李玉丹.夜视系统[M].北京:北京理工大学出版社,1993:100-102.
- [4] 张林,吴晓琴,汤官民.基于 MTF 的时间延迟积分 CCD 成像系统同步误差分析[J].应用光学,2006,27(2):167-170.

(上接第 24 页)

## 参考文献