

文章编号: 1001-4322(2005)10-1457-04

激光对面阵 CCD 器件破坏的一种新机理

李文煜, 王金宝, 程湘爱, 陆启生

(国防科学技术大学 光电科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

摘 要: 用波长为 1 064 nm、脉宽为 5 ms 的激光辐照 SONY ICX055BL 可见光硅 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 ICX055BL 的输出信号和垂直输出时钟信号。结果表明, 在脉冲激光的辐照下, 器件比较容易被破坏。研究中将器件作为一个功能整体, 破坏机理分析不只局限于 CCD 的探测、电荷存储、电荷转移的 MOS 结构部分。结合实验结果和 CCD 器件的电路特点, 初步判断该器件的破坏机理为电路破坏, 脉冲激光所产生的信号电荷冲坏了复位的场效应管, 使器件整体永久失效。

关键词: 脉冲激光; 可见光 CCD; 破坏机理; 电路; 场效应管

中图分类号: TN142; TN249 **文献标识码:** A

得益于高速发展的半导体制造工艺, 30 多年来, 人们研制出多种系列、不同功能的 CCD (charge coupled device) 器件。对激光辐照 CCD 的研究, 已有大量的文献报道, 报道中相当多的工作在于得到各种 CCD 的破坏阈值。文献 [1] 系统地收集了各种破坏阈值, 其他文献从不同的侧重点报道了所进行的工作, 如对激光破坏 MOS 结构 CCD 的破坏阈值进行细分^[2]; 测得热熔融阈值、光学击穿阈值、直接破坏阈值等结果, 并对硬破坏过程进行理论与实验研究^[3]; 还有用狭缝照明成像的方法测量像元的点扩散函数, 用刀口扫描的方法测量调制传递函数, 用以评估面阵 CCD 局部成像质量的下降或性能的退化^[4], 从而确定其破坏机理, 即时钟线间电阻减小, 漏电流增大, 由此改变时钟电压分布, 从而降低 CCD 性能。如果激光辐照导致时钟线短路, 又由于 CCD 的信号电荷必须在时钟的驱动下才能输出, 那么短路将使得器件彻底失效, 对应的面阵和线阵 CCD 的点破坏机理也已有详细的实验报道^[5,6]。

针对 SONY 公司的 ICX055BL 可见光硅 CCD 器件, 在连续激光的辐照下, 我们观测到器件的饱和“串音”、全屏饱和等现象, 这些现象及其产生机理已被详细描述^[1,5~7]。而且当光斑偏移至芯片输出引线位置, 辐照约 10 s 后, 器件被破坏, 无信号输出, 在显微镜下观察, 发现引线焊点熔融脱落。我们对受波长 1 064 nm、脉宽为 5 ms 的脉冲激光破坏的 CCD 进行了多方面的研究, 其破坏形貌为典型的“点破坏”, 器件永久失效。测试表明, 其时钟线并没有短路, 也没有断路, 因此需从器件结构的其他方面寻求其破坏机理。

1 实验及结果

实验装置如图 1 所示, 激光器为 YAG 激光器, 激光束经扩束镜扩束至约 24 mm, 通过一系列衰减片后进入 CCD 相机的镜头, 镜头焦距为 16 mm, 实验时石英玻璃镜头的 F 数设为 1.2, 石英玻璃对 1 064 nm 激光的透过率约为 90%, 激光束在 CCD 靶面上聚焦成像, 用示波器记录 CCD 芯片 ICX055BL 第 8 脚的输出信号, 同时用图像采集卡采集对应的相机的视频图像。

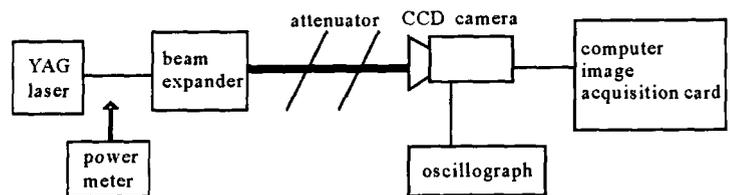


Fig 1 Experimental apparatus schematic diagram

图 1 实验装置示意图

为了对比和理解采集到的实验数据, 我们首先对一个很亮的场景成像, 示波器和图像采集卡同时记录。从采集卡采集到的图像看, 该图像大部分区域饱和, 示波器记录的是该图像某一行的 CCD 输出, 如图 2 所示。将图 2 中局部 (方框所示部分) 放大, 可得到随输出时钟变化的输出信号波形, 如图 3 所示。用光电探测器型功率

* 收稿日期: 2004-04-15; 修订日期: 2005-06-20
基金项目: 国家 863 计划项目资助课题
作者简介: 李文煜 (1970—), 男, 湖南冷水江人, 博士生, 高级工程师, 从事气动光学、高能激光技术的研究; E-mail: wyli@nudt.edu.cn.

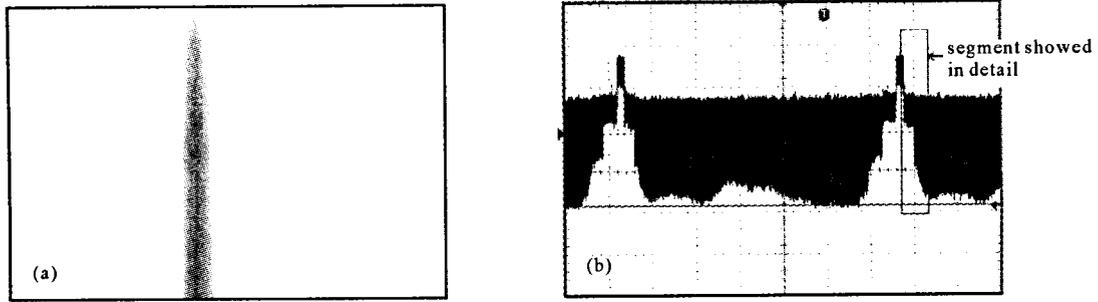


Fig 2 Images captured by PC when most part of the CCD was saturated (a) and output signal of CCD's one line recorded by oscillograph (b) (Pin No. 8 output of ICX055BL)

图 2 (a)为计算机采集到的 CCD 部分区域饱和时的图像,(b)为示波器记录的该图像中某一行的 CCD 输出 (ICX055BL 第 8 脚的输出信号)

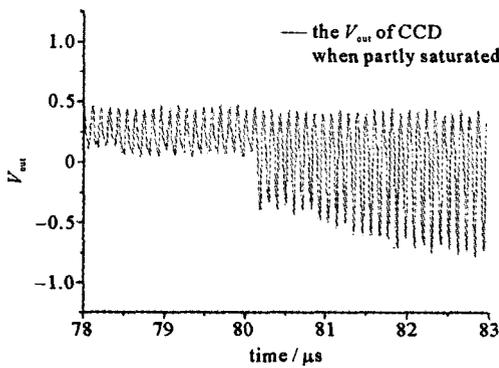


Fig. 3 Detail of part signal shown in fig. 2 (b)

图 3 图 2(b)中局部放大的 CCD 某一行的输出信号

计测得激光器输出脉冲的脉宽约为 5 ms,峰值功率约为 79 W,如图 4所示。这样的激光脉冲在 CCD 阵面上造成直径约为 15 个像元的烧蚀坑,这种点破坏的表面形貌可用显微镜观察得到,如图 5所示。很明显,破坏的区域在 CCD 面阵的中部,并没有破坏任何引线。另外一种情况是当光斑偏移至芯片输出引线位置,用连续激光辐照约 10 s后,在显微镜下可观察到输出引线被烧蚀至断开,器件被破坏。

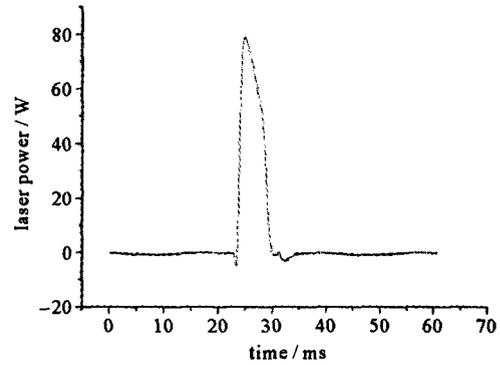


Fig. 4 Power of pulsed YAG laser

图 4 YAG 激光器的输出脉冲波形

2 结果分析

在上述脉冲激光破坏情况下,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。由于器件内部无法接入测试点,因此分析器件的破坏机理,只能着眼于测试芯片的管脚信号。CCD 的第 8 脚为信号输出脚 (见图 10),用示波器测量并记录上述已破坏的 CCD 的输出信号。分两种典型情况:一为相机的镜头光圈打到最大,在相机及 CCD 正常工作状态下,相机输出饱和和亮图像;另一种情况为相机的镜头光圈关闭,此时 CCD 接收到的光强接近于 0。两种情况下 CCD 的第 8 脚信号输出如图 6所示,可见其输出都为饱和输出,并且可以断定该 CCD 的水平输出时钟工作正常。在此基础上,我们测量 CCD 的 4 个垂直输出时钟信号线间的阻抗及输出时钟信号,如图 7所示。与厂家提供的时钟各参数的正常范围对比,所测得的时钟信号脉宽、电压幅值都处于正常范围内。ICX055BL CCD 垂直输出时钟等效电路如图 8所示,实验测得各时钟线间阻抗正常,并无短路和阻抗变小现象。

图 9为 CCD 的光谱响应曲线;图 10为 CCD 的电原理及输出管脚功能定义,圆圈标示位置的场效应管工作在开关状态,由复位时钟 ϕ_{RG} 控制,当已经输出并读取一个像元电荷包信号后,在下一个像元的信号电荷包到达之前, ϕ_{RG} 使场效应管处于导通状态,从而将该电荷包释放掉,保证下一个像元的电荷包信号不与前一个像元的电荷包信号叠加,起到信号电荷读取复位的作用。在 CCD 芯片的光电转换器、信号读出时钟电路等其他部件没有被破坏的情况下,结合 CCD 芯片的电路特点分析可得:器件破坏的原因在于上述信号电荷读取复

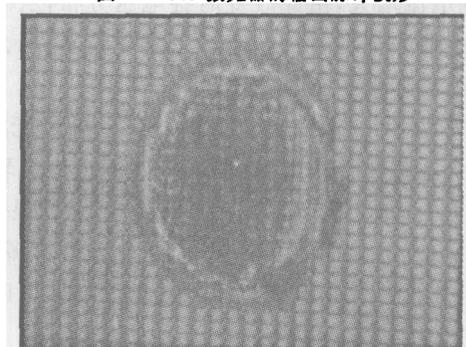


Fig 5 Damaged surface observed by a 320 x microscope

图 5 由 320 倍显微镜得到的破坏后 CCD 表面形貌

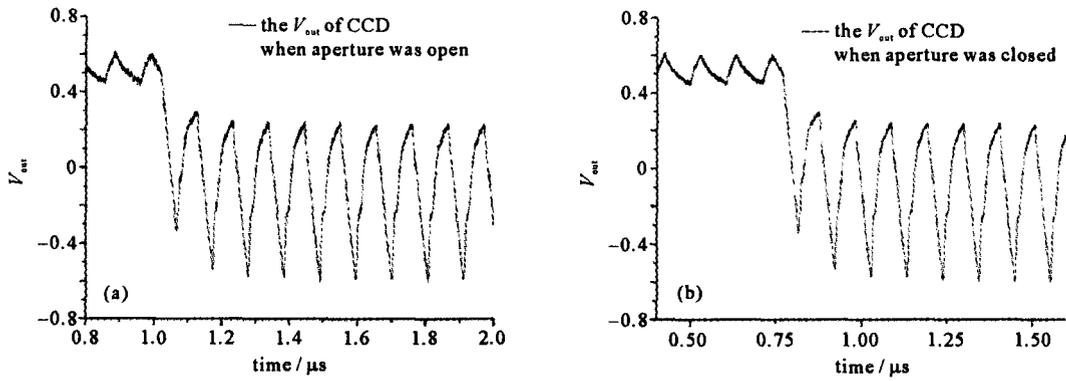


Fig 6 Output signal of damaged CCD in two situations, (a) while the lens's aperture was open (b) while the lens's aperture was closed

图 6 破坏后 CCD 在两种情况下的输出信号,其中 (a)为相机镜头光圈打开的情况,(b)为相机镜头光圈关闭的情况

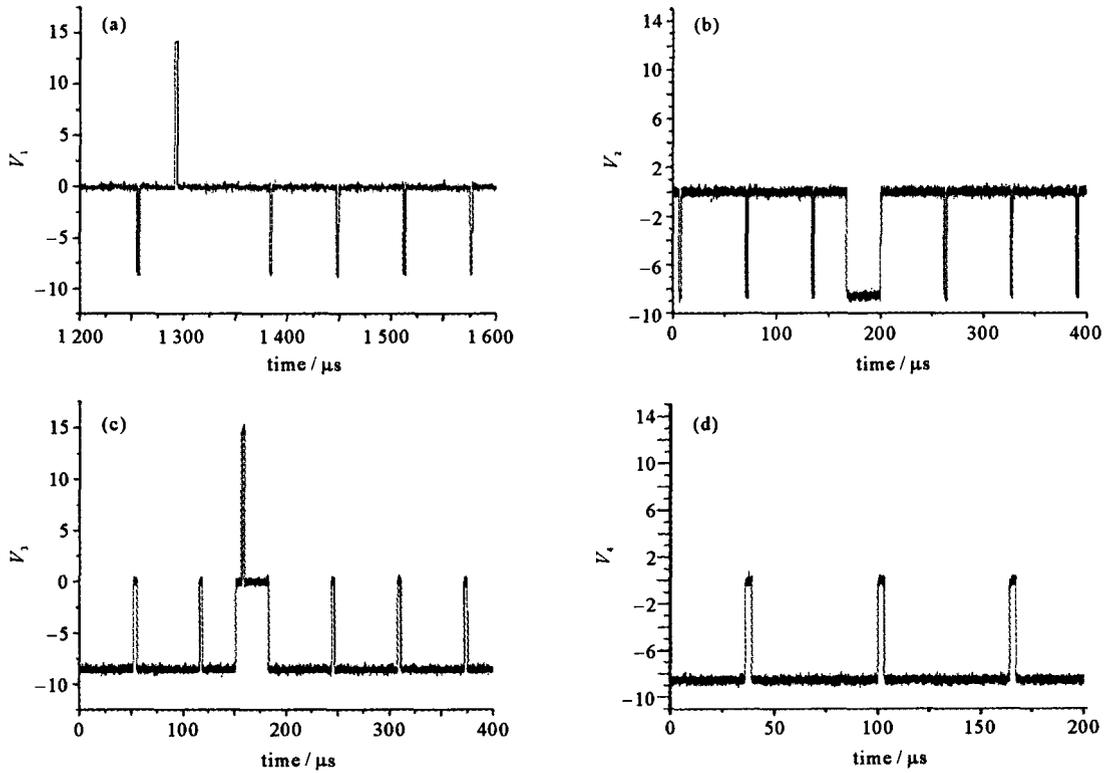


Fig 7 Signals of four vertical register transfer clock of the damaged CCD

图 7 破坏后的 CCD 4个垂直输出时钟信号

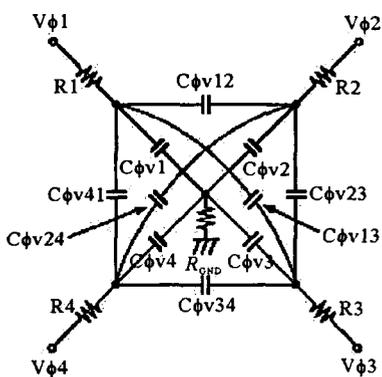


Fig. 8 Vertical transfer clock equivalent circuit of ICX055BL

图 8 ICX055BL CCD 垂直输出时钟等效电路图

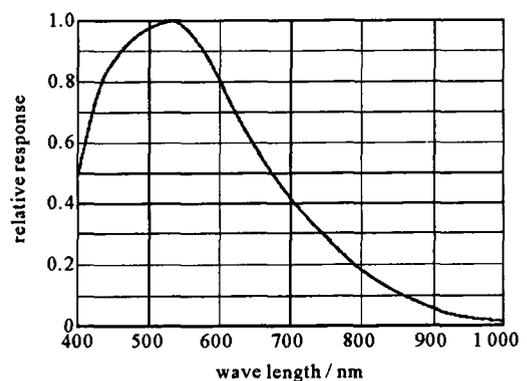


Fig. 9 Spectral sensitivity characteristics of the CCD

图 9 CCD 光谱响应曲线

位电路的损坏,也就是说,脉冲激光所产生的信号电荷冲坏了复位的场效应管,从而导致 CCD 器件的永久失效。

3 结 论

实验中 18.5 W 的连续激光功率只能使 CCD 在辐照时失明,当激光撤离时,CCD 恢复成像功能。虽然 CCD 对 1.06 μm 激光的响应率比较低(如图 9 所示),由于对功率敏感,容易被激光脉冲破坏,270 mJ 的激光脉冲将 CCD 彻底破坏。可以预测,用 532 nm 激光更易破坏该可见光 CCD。虽然激光辐照致使时钟线间电阻减小,漏电流增大,改变了时钟电压分布,从而降低了 CCD 性能甚至对它造成破坏,而实验测得的各时钟线间阻抗正常,时钟波形正常,可见破坏并非由时钟线间短路或断路所致。CCD 将一部分功能电路集成在一个芯片上,不管有否光输入,被破坏后的 CCD 均饱和输出,分析 CCD 的电路可初步得出:脉冲激光所产生的信号电荷冲坏了复位的场效应管,从而导致 CCD 器件的永久失效。对于面阵 CCD,除非激光辐照使其电荷移出时钟线短路,否则器件只能部分失效或其成像质量下降,整个器件难以失效。而对上述结构的 CCD 器件,若有一个薄弱环节遭到破坏,则整个器件失效,该破坏机理对具有相似结构工艺的器件适用。

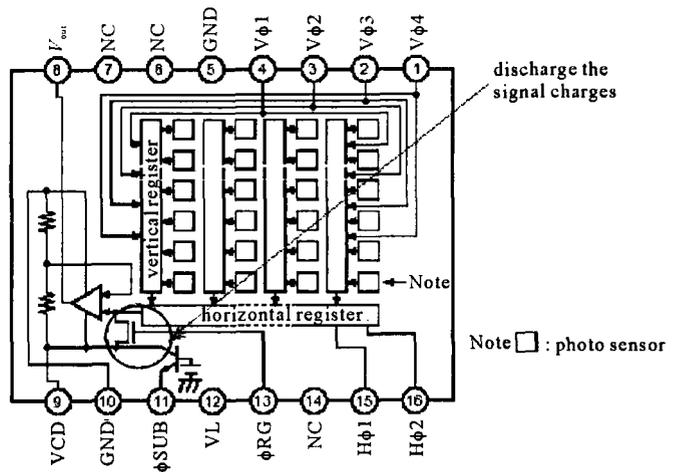


Fig 10 Block diagram and pin configuration of the CCD

图 10 CX055BL CCD 电路原理结构图

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]. 强激光与粒子束, 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] 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, 18(3): 153—156. (Ni X W, Lu J, He A Z. Measurement of laser damaging thresholds of CCD devices *Laser Technology*, 1994, 18(3): 153—156)
- [3] 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. (Ni X W, Lu J, He A Z. Study of hard-destructive mechanism of the charge-coupled devices by a laser *Acta Physica Sinica*, 1994, 43(11): 1795—1802)
- [4] Zhang C Z, Blarrie L D, Walsler R M, et al Mechanisms for laser-induced functional damage to silicon charge-coupled imaging sensors [J]. *Applied Optics*, 1993, 32(27): 5201—5210.
- [5] 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, 18(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, 18(6): 344—347)
- [6] 刘泽金,陆启生,蒋志平,等. 面阵 CCD 图像传感器的点破坏机理研究 [J]. 应用激光, 1995, 15(2): 86—88. (Liu Z J, Lu Q S, Jiang Z P, et al Research on damaging mechanism of CCD video camera irradiated by a focusing laser beam. *Applied Laser*, 1995, 15(2): 86—88)
- [7] 张大勇,赵剑衡,王伟平,等. 1.319 μm 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. (Zhang D Y, Zhao J H, Wang W P, et al Study of disturbance to visible-light array CCD detectors irradiated by 1.319 μm CW YAG laser *High Power Laser and Particle Beams*, 2003, 15(11): 1050—1052)

New analysis on laser-induced damage mechanism of array CCD device

LI Wen-yu, WANG Jin-bao, CHENG Xiang-ai, LU Qi-sheng

(College of Optoelectronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: The SONY CX055BL visible-light CCD was irradiated by 1.064 μm pulsed laser with the width of 5 ns. In the experiments the video signal was recorded by PC image acquisition card, at the same time the output of CX055BL was recorded by oscillograph. The damaging mechanism analyses was not limited to MOS part of the CCD which work as the detector, stores and transfers charge, but took the CCD as a function aggregate. Based on the experimental results and the characters of the CCD device circuit, the destruction was due to the circuit damage. That is to say the signal charge packages induced by the pulse laser damaged the reset-FET, which caused the device out of work for ever.

Key words: Pulsed laser; Visible-light CCD; Damaging mechanism; Circuit; FET