

激光技术

不同脉宽 532 nm 脉冲激光辐照 CCD 实验研究

杨海波, 蔡 军

(光电信息控制和安全技术重点实验室, 天津 300308)

摘 要: 采用重频 1 kHz, 脉宽分别为 30 ps、100 ns 以及 4 ns (皮秒脉冲串, 单脉宽 30 ps) 的 532 nm 激光辐照面阵 CCD 器件, 观察到了 CCD 从线性响应到像元饱和、饱和串扰直至损伤的全过程, 获得了激光辐照 CCD 的饱和阈值和破坏阈值。实验表明, 皮秒脉冲串激光干扰效果明显优于普通皮秒激光, 获得相同干扰效果时, 皮秒脉冲串激光所需的功率密度要低 1~2 数量级。

关键词: 脉冲串; 激光辐照; 面阵 CCD; 阈值

中图分类号: TN249

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2017)-04-0030-03

Experimental Research on CCD Irradiated by 532 nm Pulse Laser with Different Pulse Width

YANG Hai-bo, CAI Jun

(Science and Technology on Electro-optical Information Security Control Laboratory, Tianjin 300308, China)

Abstract: Three 532 nm pulsed lasers with different pulse width 30 ps, 100 ns and 4 ns and the same repetition frequency of 1 kHz are used to radiate CCD. The whole phenomena from linear responding, image element saturation, saturation cross talk and damage are observed. The thresholds of saturation and damage are obtained. Experimental results show that the jamming effect induced by picosecond pulse sequence laser is better than that of ordinary picosecond pulse laser, and the power density of picosecond pulse sequence laser is lower than that of picosecond pulse laser for 1~2 orders of magnitude while the same jamming effect is obtained.

Key words: pulse sequence; laser irradiation; charge-coupled device (CCD); threshold

CCD 成像器件广泛应用于遥感、制导、卫星侦察、图像跟踪等军事和科学研究领域, 由于其成像光学系统具有较高光学增益, 致使 CCD 器件容易在较强激光作用下受到干扰甚至损伤。因此, 研究 CCD 器件在激光辐照下产生各种效应, 具有重要意义和应用价值^[1-2]。文中以可见光 CCD 相机为研究对象, 采用不同体制 532 nm 脉冲激光对 CCD 成像器件进行了辐照及干扰效应实验研究, 获得了不同体制激光对 CCD 器件的干扰及损伤阈值, 并对结果进行了分析。

1 实验系统与布局

实验用可见光 CCD 相机的型号为 UD205M, 其传感器芯片为 SONY ICX205AL 系列黑白图像传感器, CCD 相机镜头的焦距为 50 mm。激光光源采用不同脉宽、相同重频的三个 532 nm 脉冲激光器, 激光正入射方式照射 CCD 相机, 实验光路布局如图 1 所示。

在光路中加入扩束系统, 对激光进行准直扩束, 使得扩束后激光光束能覆盖 CCD 相机镜头。通

过调整衰减片的种类和数量来调节 CCD 相机入瞳处激光功率。用能量计对激光出光能量实时监测并记录,根据分光比和衰减系数来推算 CCD 相机入瞳处的激光功率。

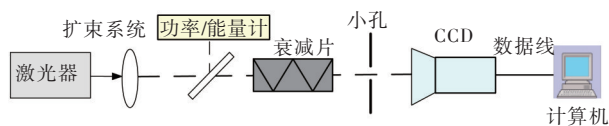


图1 实验光路示意图

CCD 相机的光谱响应曲线如图 2 所示。

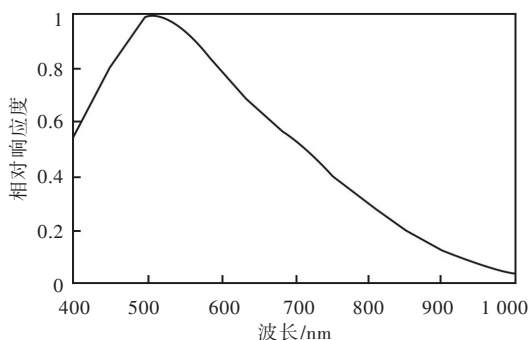
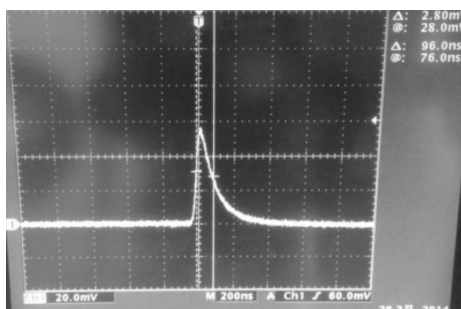


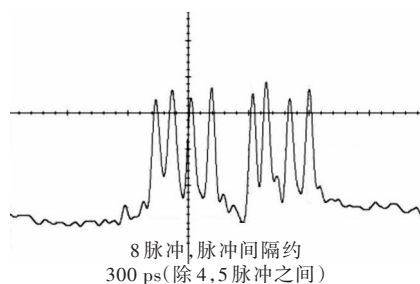
图2 CCD 光谱响应曲线

由图 2 可知,面阵 CCD 相机响应的截至波长约为 1 100 nm,其响应峰值在 520 nm 附近。

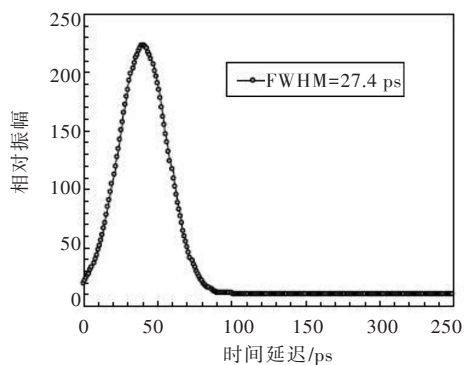
实验室用三种不同体制 532 nm 激光器,其重频均为 1 kHz。第一种为纳秒脉冲激光器,输出脉宽约 100 ns;第二种为皮秒脉冲串激光器,输出 8 个脉冲串激光,单脉宽约 30 ps,总脉宽 4 ns;第三种为皮秒激光器,输出脉宽约 30 ps,各激光器输出波形如图 3 所示。



(a) 纳秒激光器输出波形



(b) 皮秒脉冲串激光器输出波形



(c) 皮秒激光输出波形

图3 激光器输出波形

激光器主要技术指标如表 1 所示。

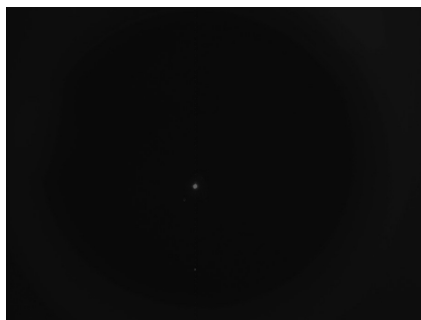
表 1 三种激光器技术指标

激光器类型	关键指标参数	备注
皮秒脉冲激光器	脉宽约 100 ns	
皮秒脉冲串激光器	包络宽度 4 ns, 含 8 个脉冲, 单个脉宽约 30 ps	中心波长: 532 nm 重频: 1 kHz
皮秒脉冲激光器	脉宽约 30 ps	

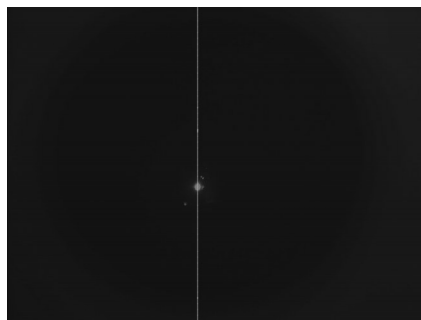
2 实验结果与分析

在实验时,先在光路上加上足够衰减片,使入射到 CCD 的激光功率不能产生饱和;调整光路,使激光正入射到 CCD 镜头;通过逐渐调节衰减量,逐步提高激光辐照功率,CCD 相机逐步出现饱和、串扰、损坏等干扰效应,阈值则为刚出现某种现象时的功率密度。

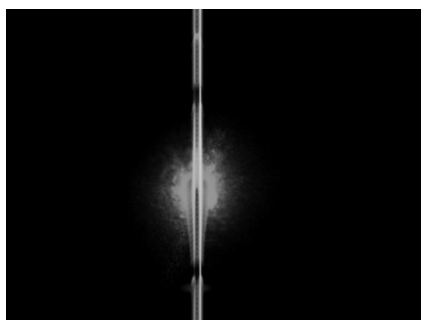
三种激光器视场内辐照 CCD 时,均出现了以下几种典型效应:图 4a 为 CCD 点饱和效应;图 4b 是 CCD 串扰效应;图 4c 是串扰增强,形成线破坏效应;图 4d 是破坏区域进一步扩大,出现大量黑白交叉线,形成黑白屏;在图 4e 为 CCD 完全失效,不能工作。



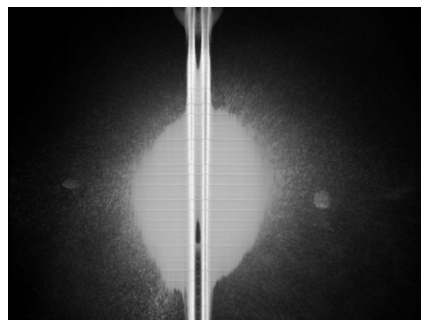
(a)点饱和



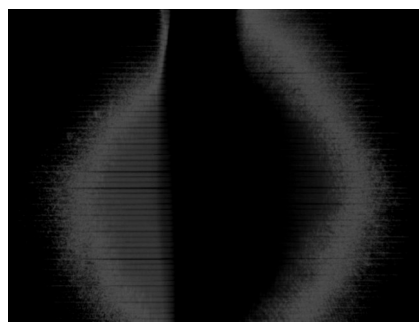
(b)串扰



(c)串扰增强



(d)部分失效



(e)完全失效

图4 视场内激光辐照的几种典型效应

不同体制激光器作用 CCD 的饱和阈值、串扰阈值和损伤阈值如表 2 所示。激光的作用时间均设定为 2 s, 阈值定义为刚出现某种现象时对应的功率密度^[3], 功率密度是指平均功率密度。

表2 不同体制激光器作用 CCD 不同

激光器类型	局部饱和 /W/cm ²	串扰 /W/cm ²	串扰增强 /W/cm ²	部分失效 /W/cm ²	完全失效 /W/cm ²
纳秒脉冲 激光器	1.35×10^{-9}	2.58×10^{-8}	1.8×10^{-6}	4.8×10^{-6}	4.2×10^{-5}
皮秒脉冲 串激光器	1.69×10^{-10}	6.1×10^{-9}	1.9×10^{-6}	8.2×10^{-6}	3.4×10^{-5}
皮秒脉冲 激光器	1.47×10^{-8}	2.53×10^{-7}	1.90×10^{-5}	1.56×10^{-4}	1.35×10^{-3}

从表 2 中可以看出,饱和现象对应的功率阈值很低,数量级为 $10^{-8} \sim 10^{-10}$ W/cm², 增加一个数量级后出现串扰现象,且脉宽较宽时阈值较低;完全破坏阈值比饱和阈值和串扰阈值普遍高出几个数量级。且无论哪种体制激光器,作用 CCD 时出现饱和、串扰、损坏的阈值数量级间相差基本相同,即,串扰阈值高出饱和阈值 1 个数量级,损伤阈值均高出饱和阈值约 5 个数量级。

同样可以看出,达到同样干扰效果,频率相同时,多脉冲串激光与普通纳秒激光器所需激光功率密度在量级上相同;但与普通皮秒激光器相比,达到相同干扰效果,皮秒脉冲串激光器所需功率都要低 1~2 数量级。可见,脉冲串体制的激光器干扰损伤效声明显好于超窄脉宽激光作用效应。

图 5 给出了上述不同激光达到 CCD 完全损坏阈值时的图像及三维灰度值,此时 CCD 完全失效。

文中测得的各种阈值即是刚出现某种现象时

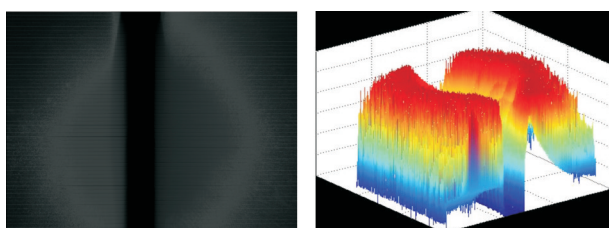
(下转第 41 页)

[11] 吴炜,严利平. 基于PSD器件的激光位移测距系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2016(1):49-51.

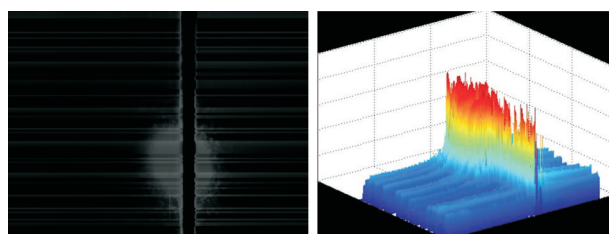
[12] 张婷婷,姚恩涛,贾俊涛. 激光光斑形状及入射角对PSD位置输出影响的研究[J]. 计测技术, 2012, 32(1):15-18.

(上接第32页)

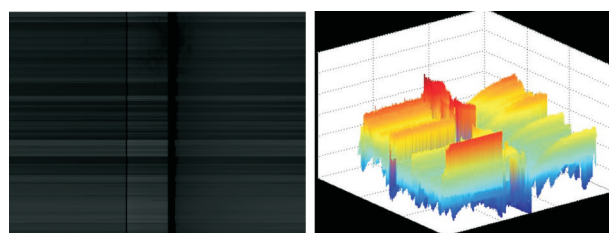
对应的激光参数,例如完全破坏阈值是CCD不能再恢复工作时的功率密度,此时,CCD失去其功能。但这些都只是现象,CCD的实际失效阈值的获得取决于失效准则,必须和图像质量评价以及特定CCD的特定任务联系起来,这需要进一步深入研究。



(a)纳秒激光作用时损伤效应



(b)脉冲串激光作用时损伤效应



(c)皮秒激光作用时损伤值效应

图5 CCD完全损坏时的图像

3 结 论

以典型面阵CCD相机作为干扰对象,考察了不

同脉宽、不同体制532 nm脉冲激光对其作用效应,获得了其饱和阈值、串扰阈值和完全失效阈值。实验结果表明,皮秒脉冲串激光并没有带来更多的新现象,和纳秒激光辐照情形类似^[4],各种现象及阈值也基本一致;脉冲串激光与普通皮秒激光相比,CCD完全破坏对应的阈值要低两个数量级,其他相同干扰效果时所需的功率密度都要低1~2数量级。

参考文献

- [1] 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):85-86.
- [2] 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):106-109.
- [3] 郭少锋,程湘爱. 高重复频率飞秒激光对面阵CCD的干扰和破坏[J]. 强激光与粒子束, 2007, 19(11).
- [4] 王金宝. 激光辐照可见光面阵Si-CCD探测器实验研究[D]. 长沙:国防科学技术大学, 2003.
- [5] 官上洪,司汉英. 强光作用下CCD串扰特征研究[J]. 光电技术应用, 2017, 32(3):6-10.
- [6] 李季波,王洪彬. 双线阵CCD图像灰度匹配在线校正方法[J]. 光电技术应用, 2017, 32(3):11-14.
- [7] 沈洪斌,沈学举,周冰,等. 532 nm脉冲激光辐照CCD实验研究[J]. 强激光与粒子束, 2009, 21(10):1449-1453.
- [8] 刘妍妍,李国宁,韩双丽,等. TDI CCD视频响应性能的高精度检测[J]. 光电器件, 2012, 33(5):624-626.
- [9] 曾议,桂利佳,赵晓翔,等. 空间传感器CCD模块热设计与仿真分析[J]. 光学遥感, 2013, 8(5):364-371.
- [10] 李宪圣,万志,刘则洵,等. 大视场空间相机CCD性能测试及筛选方法[J]. 红外与激光工程, 2014, 43(7):2245-2250.