

# 半导体激光器干扰 CCD 传感器实验研究

赵 帅

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

**摘 要:** 为拓展半导体激光器的应用, 开展了半导体激光器对可见光 CCD 传感器的干扰实验研究, 得出 CCD 饱和像素个数与激光输出功率和 CCD 传感器电子快门时间的对应关系。当电子快门时间分别为  $t=1/10\ 000\text{ s}$ 、 $t=1/4\ 000\text{ s}$  和  $t=1/2\ 000\text{ s}$  时, CCD 的饱和阈值分别为 1 W、1 W 和 2.8 W。“软损伤”的阈值为 10 W, 然而, 在激光输出最大功率为 22.4 W 的条件下并没有使 CCD 损伤。

**关键词:** 半导体激光器; CCD 传感器; 光电对抗; 激光

**中图分类号:** TN248.4

## Experimental Research of CCD Sensors Disturbed by Laser Diodes

ZHAO Shuai

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

**Abstract:** In order to explore more applications of laser diode (LD), some experiments on visible CCD sensor countermeasure were deployed. The relationship between the number of saturated pixels of CCD sensor and the power of LD, the electronic shutter speed was obtained. The threshold of saturation was 1 W, 1 W and 2.8 W, corresponding the electronic shutter time  $t=1/10\ 000\text{ s}$ ,  $1/4\ 000\text{ s}$  and  $1/2\ 000\text{ s}$ . Although the “soft damage” threshold was 10 W, there was no mechanical damage to CCD sensor when laser was set on the maximum output 22.4 W.

**Keywords:** laser diodes; CCD sensors; photoelectric countermeasure; laser

## 1 引 言

半导体激光器具有许多固有的特点: 1. 体积小, 重量轻, 寿命长; 2. 高光电转换效率; 3. 高可靠性;

4. 波长丰富; 5. 高机械强度以及低维护成本; 6. 可以大批量低成本生产。这些特点使半导体激光器在性能上远远地超过了传统的气体激光器、液体激光器和固体激光器, 因而半导体激光器从诞生到现在都

有着广泛的应用。目前, 半导体激光器已经在军事领域得到了相当广泛的应用, 如激光测距、激光点火、自由空间通讯等<sup>[1-2]</sup>。随着半导体激光技术的日趋成熟及成本的大幅度降低, 将半导体激光器直接应用于光电对抗系统已引起人们越来越多的关注, 即用高功率激光 (也称功率型半导体激光器) 实现对光电目标的干扰损伤, 而在此之前, 半导体激光器多数是作为泵浦源使用。目前, 尚未见半导体激光器直接应用于光电对抗中的报导。基于此, 我们开展了半导体激光器在光电对抗应用中的相关实验研究, 探讨半导体激光器在直接光电对抗中应用的可行性。

## 2 实验装置

半导体激光器采用长春光机所激发态研究室研制的连续单偏振半导体激光器, 输出波长为 808 nm, 最大输出功率为 20 W。可见光 CCD 传感器为 JAI CV-A50 相机, 其像元数为 752 像素×582 像素, 像元大小为 8.6  $\mu\text{m}$ ×8.3  $\mu\text{m}$ , 灵敏度为 0.03 lx, 信噪比为 59 dB。其光谱响应曲线如图 1 所示。从图 1 中可以看出, 该款 CCD 在激光波长 808 nm 处光谱响应为 0.26 左右。

由于半导体激光器的发散角比较大, 在做光纤

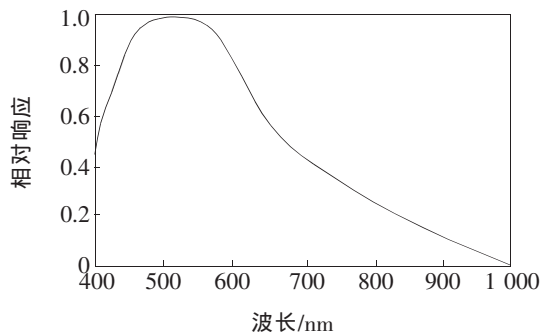


图1 JAI CV A-50 相机光谱响应曲线

耦合输出时并没有考虑光束整形, 所以实验中使用了 2 个透镜, 使光纤耦合输出的光斑在 CCD 探测器的入瞳处达到最小, 保证了半导体激光器的输出光束有效地进入 CCD 探测器中。实验装置示意图如图 2 所示。

在 CCD 探测器积分时间分别为 1/2 000、1/4 000、

1/10 000 s 的条件下, 计算机采集到的图像如图 3 所示, 从图中可以看出, 随着激光入射功率的增加, CCD 探测器出现了饱和斑, 并进一步扩大到整列像

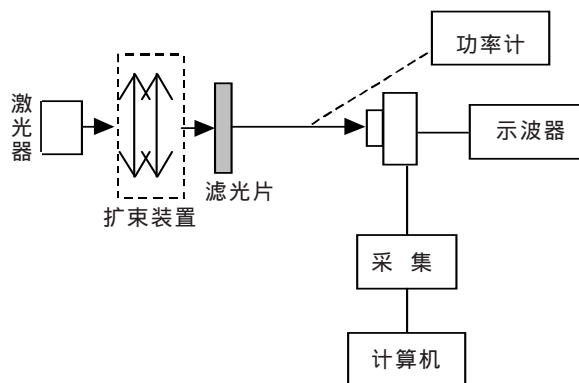
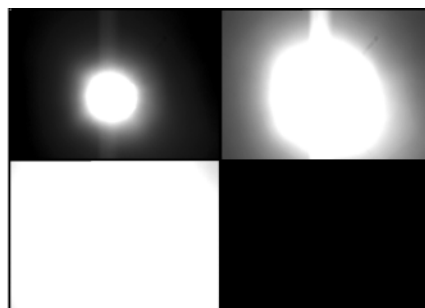
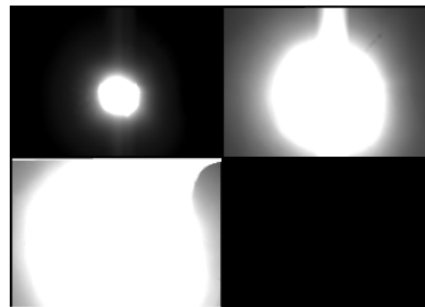


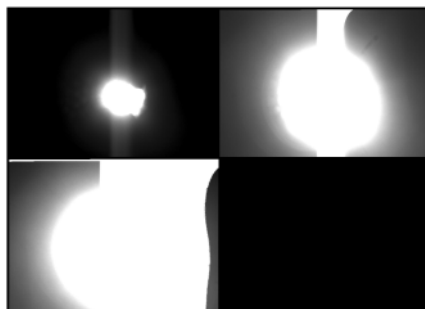
图2 实验装置示意图



(a) 积分时间为 1/2 000 s 时 CCD 输出的图像



(b) 积分时间为 1/4 000 s 时 CCD 输出的图像



(c) 积分时间为 1/10 000 s 时 CCD 输出的图像

图3 不同激光输出功率干扰 CCD 探测器的图像

素开始出现饱和, 当激光输出功率继续增加时, 整个图像都出现饱和, 最后整幅图像变成黑屏, CCD 无法正常工作。

在各种不同情况下, 饱和像素个数随着半导体激光器输出功率而变化, 经过最小二乘法拟合曲线, 可以得到如图 4 所示的实验曲线。

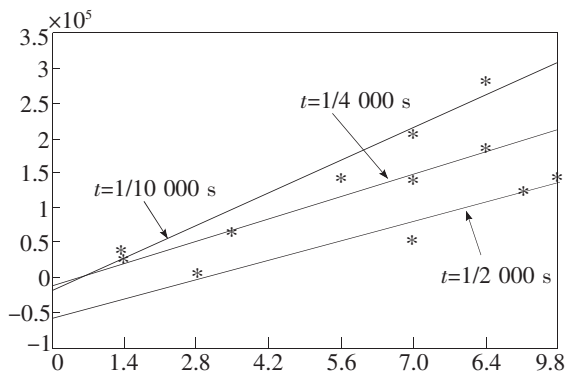


图 4 饱和像素个数随激光输出功率的变化

从图中可以看出, 对于不同的积分时间, 有不同的饱和阈值, 随着积分时间的缩短, 饱和阈值逐步增大。这主要是由于随着积分时间的缩短, 受到激光照射的时间也将减少, 产生的光生电子数目相比之下也比较少, 读出电路在同样的读出周期读出的最大电子数目相同, 因而, 此时读出电路就越难达到饱和, 这就是为什么随着积分时间的减少, 饱和阈值增加的原因。

随着半导体激光器的驱动电流进一步增加, 激光功率进一步增大, CCD 探测器将出现整幅屏幕变黑、不能正常工作的现象。引起这种现象的原因是, 随着入射激光功率的增大, 在 CCD 靶面上产生的热效应将逐步增加, 使得 CCD 芯片上读出电路的温度升高, 当温度高到一个临界值时, 读出电路的功能将受到极大的影响, 导致 CCD 探测器读出电路瘫痪, 此时 CCD 将不再有信号输出, 这时计算机采集到的将是一幅黑色屏幕<sup>[6]</sup>。这就解释了为什么在所有的积分时间条件下, 发生“软损伤”的阈值几乎都在激光功率 10 W 左右。进一步研究脉冲或连续激光器在 CCD 探测器靶面上引起的热分布将对深入研

究激光干扰 CCD 探测器领域有着极为重要的影响。

进一步增大半导体激光器的输出功率, 可以看到 CCD 探测器在出现“软损伤”之后, 并没有明显的进一步损坏的迹象, 当驱动电流为 36 A 时, 此时激光器的输出功率已经达到 22.4 W, CCD 继续在“软损伤”的状态; 此时撤去激光, 将 CCD 探测器重新启动, 可以发现 CCD 探测器的工作正常, 仔细检查 CCD 探测器, 并没有观察到任何坏点。我们对同样的 CCD 探测器进行了数次相似的实验, 均没有观察到 CCD 探测器出现损坏的现象。究其原因, CCD 探测器由 Si 材料构成, 对于连续激光, Si 材料有着相对良好的散热性, 连续激光产生的热量将向周围空气传递, 从而提高了连续激光损伤 CCD 的阈值。

### 3 结 论

在半导体激光器干扰可见光 CCD 探测器实验中, 可以相应地得出如下结论: 在光电对抗中, 激光器的选择是保障干扰能够实时有效的最重要参数, 选择合适的激光器配合适当的跟瞄发射装置是保证光电对抗设备性能的最基本保障<sup>[3-5]</sup>。

下面是选择激光器关键参数的一些原则, 以期对今后的工作给出一定的借鉴指导意义。

#### 1. 激光波长的选择

激光的输出波长是光电对抗系统中最关键的参数, 选择的激光工作波长必须对于大气而言是衰减最小的, 否则即使再提高激光的输出功率, 达到目标后, 激光的作用效果也将变得十分有限, 根本不能达到致眩或者损伤探测器的作用。因此, 精确计算大气对激光的衰减是十分必要的。

从对跟瞄设备的需要来说, 应当尽量选择短波且有效的干扰波长, 因为根据瑞利定理, 要达到同样的衍射半径, 长波需要较大的光学发射系统直径 (以使用 532 nm 和 10.6  $\mu\text{m}$  2 种波长为例, 后者需要的光学孔径将是前者的 20 倍)。这对于对抗系统的小型化、便携化无疑是十分关键的。

从上述实验可以看出,波段内的干扰损伤阈值相对较低。现阶段的固体激光器技术还没有达到能对光学玻璃、滤光片等光学器件实现远距离损伤的能量,因此应当优先考虑波段内干扰。另外,考虑到激光器的效率问题,适时采用固态激光器将是未来发展的重要趋势之一。

#### 2. 激光功率的选择

从上述实验的对比可以看出,连续激光的干扰效果是实时的,就干扰来说,连续激光的作用明显,但是在工作距离很远的条件下(通常为十几千米到几十千米),要求连续激光器的发射功率很大。

#### 3. 光束质量的选择

光束质量能够影响激光在目标处的亮度,因此选择合适的光束发散角以及合适的光束束腰尺寸,并考虑到大气湍流的作用,通过计算选择最佳的光

束质量,从而在目标处得到最大的光亮度,能够最大限度地保证激光干扰以及激光损伤的有效性。

### 4 总 结

综上所述,为拓展半导体激光器的应用,开展了半导体激光器对可见光 CCD 传感器的干扰实验研究,得出 CCD 饱和像素个数与激光输出功率和 CCD 传感器电子快门时间的对应关系。在电子快门时间分别为  $t=1/10\ 000\text{ s}$ 、 $t=1/4\ 000\text{ s}$  和  $t=1/2\ 000\text{ s}$  时,CCD 的饱和阈值分别为 1 W、1 W 和 2.8 W。“软损伤”的阈值为 10 W,但在激光输出最大功率为 22.4 W 的条件下并没有使 CCD 损伤,解释了实验现象的原因。总结了作为光电对抗领域的激光源选择的几个重要参数,以期对今后工程化工作具有一定的借鉴意义。(No.3)

### 参考文献

- [1] 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(自然科学版), 2007,2.
- [2] 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, 1994,6.
- [3] 张大勇,赵剑衡,王伟平,等.  $1.319\ \mu\text{m}$  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, 2003,11.
- [4] 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, 1994,11.
- [5] 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, 1995,02.
- [6] Anne Durécu, Pierre Bourdon, Olivier Vasseur. Laser-dazzling effects on TV-cameras: analysis of dazzling effects and experimental parameters weight assessment [J]. *SPIE*, 2007,6738.