

·测试、试验与仿真·

激光对像增强器干扰的实验研究

谢运涛, 张玉钧, 王 玺, 孙晓泉

(脉冲功率激光技术国家重点实验室, 合肥 230037)

摘要:为评估激光干扰对像增强器性能的影响,开展了连续激光对像增强器的辐照实验,分析了激光辐照对其增益特性的影响。实验结果表明,随着入射激光功率增加,像增强器由点饱和和逐渐发展到面饱和,饱和光斑直径与入射光强的立方根成线性关系。点饱和和所需的激光照度约为 $1.64 \mu\text{W}/\text{cm}^2$,面饱和和所需的激光照度约为 $1\ 371.9 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。像增强器线性增益允许的最大激光照度约为 $8.95 \mu\text{W}/\text{cm}^2$,表明点饱和和前像增强器处于线性增益状态。随着入射激光功率增加,像增强器像元之间未出现串扰现象,表明像增强器出现了增益饱和,其输出光强受限。

关键词:激光辐照;像增强器;串扰;增益饱和

中图分类号: TN246

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2018)-01-0050-04

Experimental Research on Laser Interference of Image Intensifier

XIE Yun-tao, ZHANG Yu-jun, WANG Xi, SUN Xiao-quan

(State Key Laboratory of Pulsed Power Laser Technology, National University of Defense Technology, Hefei 230037, China)

Abstract: In order to evaluate the influence of laser intensifier to the performance of the image intensifier, the irradiation experiment of continuous laser to the image intensifier is carried out and the influence of laser irradiation on the gain characteristics of the intensifier is analyzed. Experimental results show that with the increasing of the incident laser power, the image intensifier is gradually developed to the surface saturation by the point saturation, and the diameter of the saturated spot is linear with the cube root of the incident light intensity. The laser illumination required for the point saturation is about $1.64 \mu\text{W}/\text{m}^2$ and the laser illumination required for the surface saturation is about $1\ 371.9 \mu\text{W}/\text{m}^2$. The maximum laser illumination allowed for the linear gain of the image intensifier is about $8.95 \mu\text{W}/\text{m}^2$, which indicates that the point saturation pre-image intensifier is in a linear gain state. With the increasing of the incident laser power, there is no crosstalk between the pixels of the image intensifier, which indicates that the gain saturation of the image intensifier appears, and the output light intensity is strongly affected.

Key words: laser irradiation; image intensifier; crosstalk; gain saturation

像增强器具有高增益、高时间和空间分辨率等特点,在月基地球等离子层探测^[1]、高压电网故障检测^[2]等领域有广泛运用。

激光具有峰值功率密度高、方向性好的特点,是一种高亮度光源,适合远距离传输,采用激光对光电成像系统进行干扰、损伤一直是国内外研究的热点^[5]。国外方面,2007年,RIC(H.) M A Schleijsen研究了不同激光参数与红外成像系统的饱和面积

之间的关系^[6];2010年,Titterton D H等分析了四种不同干扰评估指标的性能^[7];2011年,Anne Dureuc研究了不同参数激光对HgCdTe焦平面阵列探测器干扰效果^[8]。国内方面,2011年,张震等采用重频激光对TDI CCD进行干扰,从理论上解释了图像中出现等间隔黑线的现象^[9];2012年,张震等采用连续激光对线 CCD进行干扰,研究了图像中出现三个干扰光斑的机理^[10];2014年,康文运等采用重频激光对

收稿日期:2017-11-13

作者简介:谢运涛(1990-),男,江西人,博士研究生,主要从事激光损伤方面的研究。

推扫相机进行干扰,并与激光对凝视相机的干扰现象进行了对比分析^[11];2016年,盛良等研究了连续激光辐照 CMOS 相机时的像素反转现象,并解释其机理^[12]。可以看出,目前国内外对于激光干扰、损伤光电系统的研究主要集中于 CCD 和红外热像仪干扰、损伤机理研究,对像增强器进行干扰损伤方面的研究还未查询到公开报道。

像增强器自发明以来,进行了大量的改进工作。最为核心的改进在于将倍增机构改为微通道板(MCP),MCP的使用减少了余辉和强光模糊现象,提高了受强光照射时的成像性能。但由于像增强器对光照十分灵敏,强光照射依然容易对其形成干扰。文中通过实验,采用连续激光对像增强器进行辐照,对比分析照射前后像增强的成像特点,研究了像增强器的增益饱和和机理,该研究对像增强器的干扰效果评估以及抗干扰加固具有一定的参考价值。

1 实验装置

实验系统包括激光源、激光功率计、衰减片、半透半反镜、扩束镜以及紫外成像仪等,实验装置如图 1 所示。

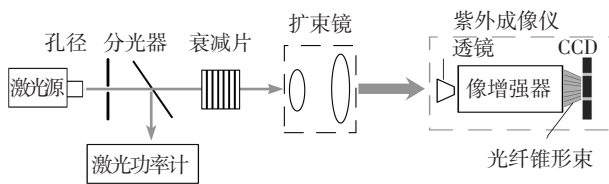


图1 激光辐照紫外成像仪示意图

激光器与像增强器之间的距离为 10 m,调整激光器位置使激光与像增强器光轴相重合。在激光器出口处放置直径为 2 mm 的小孔,小孔后面放置分束比为 1:1 的分束器。激光经分束后,一束照射到功率计,功率计对激光器的输出功率进行实时监测,另一束经衰减、扩束后照射到像增强器。

实验中的像增强器型号为 LPZ-18SUVC-2T1。该增强器带有光纤光锥以及 CCD 模块,能够将荧光屏上的图像转换为 CCD 信号。像增强器采用 S25 型多碱光阴极,该光阴极响应波段覆盖紫外和可见光,对 632.8 nm 激光的光谱灵敏度为 20 mA/W^[13]。采用波长为 632.8 nm 的连续激光进行辐照,镜头以及光学窗口在该波长的透过率约为 6.9×10^{-4} ,激光器平均功率为 3 mW。采用反射型中性密度滤光片

对入射激光进行衰减,通过叠加使用不同 OD 数的滤光片得到不同的衰减倍率。为防止长时间测量过程中,激光器出射功率发生变化对测量结果造成影响,采用 S120VC 型标准光电二极管功率探头进行激光功率实时监测。

2 干扰现象及分析

由于强光入射很可能导致像增强器损伤,实验开始时,在光路中加入全部的衰减片,通过不断地减少衰减片数量,缓慢提高激光功率。经过多次实验,连续激光辐照像增强器的现象总结如下:

当衰减倍率降为 7.3×10^{-6} 倍时,对应激光功率为 $0.011 \mu\text{W}$,光斑灰度分布如图 2。

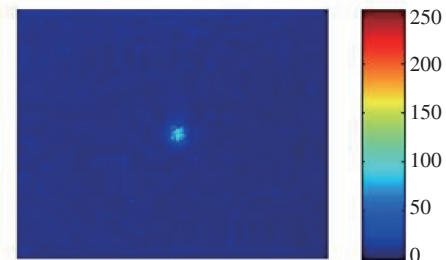


图2 入射功率为 $0.011 \mu\text{W}$ 时光斑灰度分布

光斑近似为圆形,光强度基本符合高斯分布。CCD 像元最大灰度值为 153,小于 255,CCD 尚未饱和,由此可计算得到,CCD 灰度值达到 255 所需的激光功率约为 $0.018 \mu\text{W}$ 。取灰度值降低为峰值灰度值 $1/e^2$ 时的像素为光斑边缘,得到光阴极表面的光斑面积约为 0.0058 cm^2 ,此时光斑内的激光能量约为总能量的 0.865 倍^[14],对应激光在光阴极表面的照度为 $1.64 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。

衰减倍率降为 3.5×10^{-5} 倍时,对应激光照度为 $7.9 \mu\text{W}/\text{cm}^2$,光斑灰度分布如图 3。此时紫外成像仪已经进入像素饱和工作状态。

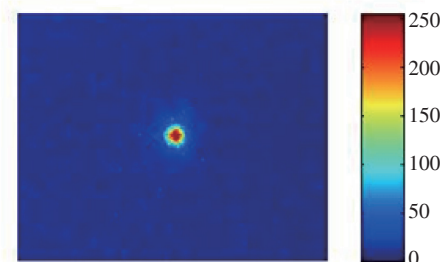


图3 入射功率为 $0.035 \mu\text{W}$ 时光斑灰度分布

衰减倍率进一步降低,达到 1.1×10^{-4} 倍时,对应激光照度为 $24.9 \mu\text{W}/\text{cm}^2$,此时,中心饱和现象更加明显,光斑周围开始出现晕,光斑灰度分布如图4所示。

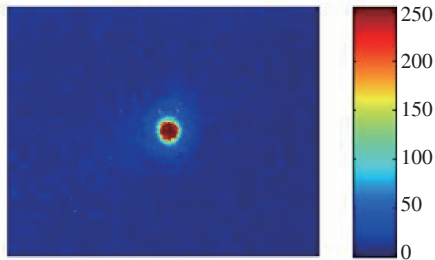


图4 入射功率为 $0.167 \mu\text{W}$ 时光斑灰度分布

继续减少衰减倍率,中心光斑继续变大,周围的晕也随之变大。

当激光功率达到 $9.2 \mu\text{W}$ 时,对应激光照度为 $1371.9 \mu\text{W}/\text{cm}^2$,出现全屏饱和现象,全屏饱和和所需的入射激光功率约点饱和所需功率的500倍。由于触发了CCD的自动增益控制,光斑会再次出现,光斑灰度分布如图5。

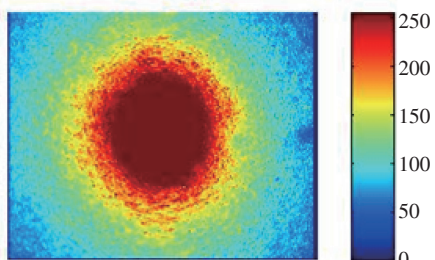


图5 入射功率为 $9.2 \mu\text{W}$ 时光斑灰度分布

继续增大入射光功率至 1.5mW ,对应的图像几乎不发生变化。

对触发自动增益控制之前的图像进行处理,取经过光斑中心的水平轴线上的饱和像元数为Y轴,入射激光功率为X轴,得到入射激光功率与饱和像元数之间的关系如图6。

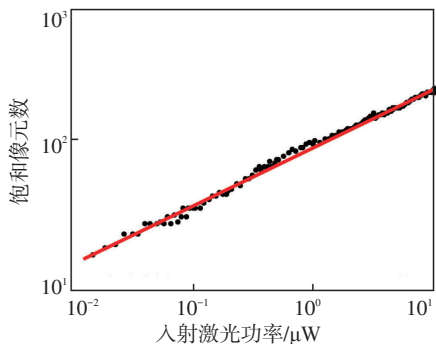


图6 CCD饱和和像元数与入射激光功率之间的对应关系

可以看出,对数坐标下,饱和像元数与入射激光功率近似成线性关系,且斜率约为 $1/3$,与文献[6]的测量结果相吻合。因此推测在CCD饱和前,像增强器的输出光强随入射光功率线性变化,即像增强器为恒定增益。

与连续激光辐照CCD相比,对像增强器的辐照中并没有观察到像元饱和串扰这一现象。推测随着入射激光功率增加,像增强器进入了增益饱和状态,像增强器的输出光强不能持续增加到使得CCD势阱电荷溢出的程度。

3 像增强器的增益特性

为验证上述猜想,通过测量不同入射功率时像增强器的输出光强,分析像增强器的增益特性。去除像增强器中的光纤光锥以及CCD,采用工业相机直接拍摄像增强器中荧光屏上的图像。工业相机型号为GS3-U3-23S6C,取消相机的自动增益控制,将增益设为0,快门时间设为 3.5ms 。调整衰减倍率,使得入射激光功率从 $0 \sim 5 \mu\text{W}$ 连续变化。采用MATLAB对图像进行处理,得到图像的最大灰度值随入射功率的变化曲线,如图7。

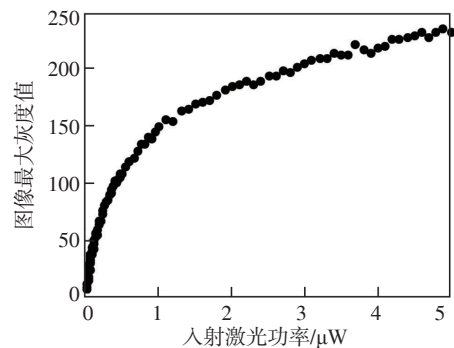


图7 快门时间为 3.5ms ,入射激光功率与CCD峰值灰度值之间的关系

可以看出,随着入射激光功率增加,最大灰度值增长速度缓慢下降,表明此时像增强器增益逐渐下降。为测量低入射功率时像增强器的输出情况,将快门时间调整为 20ms ,保持相机其他参数不变。得到入射激光功率从0增加到 $0.1 \mu\text{W}$ 时,图像的最大灰度值变化曲线,如图8。可以看出,入射功率小于 $0.06 \mu\text{W}$ 时,图像最大灰度值随入射功率线性增长,此时像增强器的增益为一常数。第一节实验中得到像增强器点饱和阈值功率约为 $0.018 \mu\text{W}$,

小于 $0.06 \mu\text{W}$ 。表明随着激光功率增加,直至出现点饱和,像增强器都工作于恒定增益状态,与推测正好吻合。

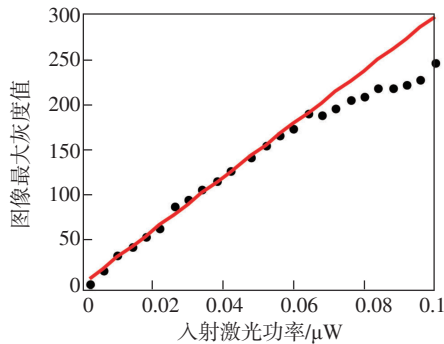


图8 快门时间为20 ms,入射激光功率与 CCD峰值灰度值之间的关系

4 结 论

开展了连续激光辐照像增强器的实验。逐步增加入射激光功率,像增强器将由线性工作状态进入单像素饱和,之后,伴随着饱和面积的扩大,光斑周围将出现晕,入射激光能量达到一定值时,将出现全屏饱和现象,但不会出现串扰现象。经测量,像增强器全屏饱和所需激光功率约为单像素饱和所需功率的500倍。在对数坐标下,饱和光斑直径与入射激光功率成线性关系,且比例系数约为1/3。分析了串扰缺失现象机理,认为增益饱和使得像增强器的输出光强增长受限,输出光强难以达到CCD像元势阱电荷溢出所需的光强。

参考文献

- [1] Yoshikawa I, Yamazaki A, Murakami G, et al. Telescope of extreme ultraviolet (TEX) onboard SELENE: science from the Moon[J]. *Earth, Planets and Space*, 2008, 60(4): 407-416.
- [2] FANG Chen-yan. Research on the ultraviolet features and multi-spectral imaging technology of high voltage air discharge[D]. University of Chinese Academy of Sciences.
- [3] SONG Shan-shan. Design of solar blind ultraviolet warning optical system[D]. Changcun University of Science and Technology, 2014.
- [4] WANG Hong. Optical system study and design used for the ultraviolet warning camera with ultra-wide field[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2014.
- [5] Liao Z M, Nostrand M, Carr W, et al. Modeling of laser-induced damage and optic usage at the national ignition facility[C]//Pacific rim laser damage 2016: optical materials for high power lasers. International Society for Optics and Photonics, 2016: 998304-998304-6.
- [6] Dimmeler A, Eberle B, Heuvel van den J C, et al. Laser dazzling of focal plane array cameras[C]//Optics/photonics in security and defence. International Society for Optics and Photonics, 2007: 673800-673800-10.
- [7] Titterton D H. Application of laser technology to optical countermeasures[J]. *The imaging science journal*, 2010, 58(5): 286-294.
- [8] Durécu A, Bourdon P, Fleury D, et al. Infrared laser irradiation breadboard: dazzling sensitivity analysis of a HgCdTe focal plane array[C]//SPIE security + defence. International Society for Optics and Photonics, 2011: 81870K-81870K-10.
- [9] Zhang Z, Cheng X, Wang R, et al. Dazzling effect of repetitive short pulse laser on TDI CCD camera[J]. *Optics and Lasers in Engineering*, 2011, 49(2): 292-296.
- [10] Zhang Z, Cheng X, Jiang T, et al. A dazzling phenomenon of CW laser on linear CCD camera[J]. *Optik-international Journal for Light and Electron Optics*, 2012, 123(3): 223-227.
- [11] KANG Wen-yun, WEI Jun, SONG Xiao-quan, et al. Jamming of laser to push-broom camera[J]. *J Infrared Millim Waves*, 2014, 33(6): 608-612.
- [12] SHENG Liang, ZHANG Zhen, ZHANG Jian-Min, et al. Pixel upset effect and mechanism of CW laser irradiated CMOS camera[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2016, 45(6): 606004-0606004 (4).
- [13] WANG Gui-hua. Optoelectronic device [M]. Bei Jing: National Defense Industry Press, 2014: 72-73.
- [14] SU Yi, WAN Min. High power laser system[M]. Bei Jing: National Defense Industry Press, 2004: 16-17.