

文章编号: 1001-3806(2010)02-0168-02

激光辐照 3CCD 规则分布亮点的研究

江天,程湘爱*

(国防科技大学 光电科学与工程学院,长沙 410073)

摘要: 为了研究激光辐照 3CCD,除观察到主光斑、衍射光芒外,主光斑附近呈现规则分布的亮点。采用傅里叶光学的成像原理,通过数值计算的方法,得到了激光对 3CCD 的干扰效果模拟图,数值模拟的研究结果与实验现象基本一致。结果表明,主光斑附近规则分布的亮点并不是由杂散光引起的,而是激光辐照六边形光阑,在透镜组焦平面所成的频谱分布。

关键词: 激光光学;傅里叶光学;激光辐照;夫朗和费衍射;3CCD

中图分类号: TN247 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2010.02.007

Study on regular distribution of bright points with 3CCD irradiated by laser

JIANG Tian, CHENG Xiang-ai

(College of Optic-Electric Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Besides main specula and diffraction spots, in order to prove bright points distributing regularly adjacent to main facular with 3CCD irradiated by laser, it was explained by the theory of Fourier optics and simulated numerically. The results of numerical simulation agree approximately with the experimental observation. It is found that the bright points distributed regularly adjacent to main facular is spectral distribution on the focal plane of the array of lens when the laser irradiates a hexagonal aperture, rather than what is induced by stray light.

Key words: laser optics; Fourier optics; laser irradiation; Fraunhofer diffraction; 3CCD

引言

随着光电探测器在摄像、成像、图像处理等多个领域内的广泛应用,激光辐照光电探测器的干扰效应成为国内外研究的热点。据调研可知,国内的激光干扰破坏探测器主要集中在黑白单 CCD 的领域^[1-2],对其饱和和破坏阈值范围进行了测量^[3],对饱和^[4]、串扰^[5]、过饱和现象^[6]以及对连续和脉冲激光^[7]对 CCD 的干扰破坏机理进行了研究。国外这几年主要集中在外空间粒子对探测器碰撞损伤^[8]等方面的研究。考虑到 3CCD 已经在空间探测等很多高科技领域发挥重要作用,激光对其的干扰效应必将成为人们关注的问题。3CCD 内设有三棱镜,此三棱镜把光源分为三原色光(红、绿、蓝),三原色光分别经过 3 块独立 CCD 影像感应器处理,颜色的准确程度及影像质量比使用 1 块 CCD 影像感应器大为改善。所以,研究激光辐照对 3CCD 探测器的影响是十分重要的。

作者简介:江天(1986-),男,硕士研究生,现从事激光与物质的相互作用方面的工作。

* 通讯联系人。E-mail: Xiang-ai-cheng@gfkd.mtn

收稿日期:2009-02-20;收到修改稿日期:2009-03-12

本文中主要目的是研究激光辐照 3CCD 探测器的新现象,分析其产生的原因,为进一步认识激光干扰 3CCD 探测器成像提供依据。

1 实验及现象

实验装置如图 1 所示,以波长为 532nm 的连续激

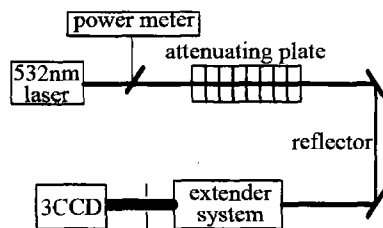


Fig. 1 Experimental apparatus schematic diagram

光作为干扰光源,以型号为 Sony DSR-PD100AP 的数字摄录一体机的 3CCD 芯片为靶目标。Sony DSR-PD100AP 具有 3 片 0.635cm CCD 传感器,每片 CCD 具有 450000 像素(有效像素 400000)。DSR-PD100P 上的 CCD 可按 2 种扫描方式切换,用于记录活动图像的隔行扫描和用于记录静止图像的逐行扫描。采用 12:1 变速变焦镜头, $f=4.3\text{mm} \sim 51.6\text{mm}$;镜头的 F 数为 1.6 ~ 2.8;滤色镜直径 52mm。

在 3CCD 的镜头前加上一定数量的衰减片,使人

射到面阵 CCD 的激光能量足够小以防止饱和甚至直接损伤;通过逐渐调节衰减片的数量,逐步提高面阵 CCD 相机入瞳处的激光辐照能量,观察面阵 CCD 输出图像中出现的像元饱和、串扰以及过饱和现象,以上现象其他学者已经研究得很详细了,本文中不做说明。本文中主要是观察到了在激光作用 3CCD 时,主光斑附近规则分布的亮点,如图 2 所示,图像中心是一个亮斑,从亮斑中心向外辐射出 6 条光芒,在中心亮斑附近有规则分布着亮点。

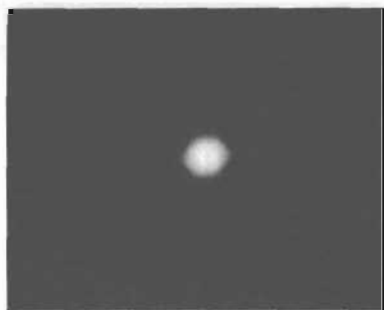


Fig. 2 Phenomenon of experiment

2 实验现象分析

在上述连续激光器辐照干扰的情况下,3CCD 的成像质量严重下降,3CCD 中心出现白色饱和光斑,白色饱和光斑边沿成黄色。因为红、绿、蓝 3 片 CCD 同时达到饱和才显示出白色,所以说明光斑中心 3 片 CCD 同时达到饱和,边沿没有达到 3 片同时饱和。在中心亮斑附近均匀对称的分布着亮点,并且有 6 条以亮斑为中心向四周辐射的光芒。中心亮斑为艾里斑,6 条光芒为六边形光阑的衍射效应。通过对光路的分析和反复的实验,整个光路可以等效为扩束准直后的绿激光辐照在位于物平面上的六边形光阑上,而 3CCD 芯片的位置正好位于透镜组的等效后焦面附近,这样所观察到的图像应该是置于前焦面上六边形光阑的频谱分布,即规则分布的亮点是六边形光阑的频谱分布。需要注意的是,通过调节 3CCD 的焦距,以上现象只是在焦点附近,焦深范围内出现的。

3 实验现象和理论计算的对比

作者从理论^[9]上模拟了 1 个六边形被 2 束单色平行光照明,并计算得到了在后焦面上的六边形的傅里叶频谱。等效光路图如图 3 所示。

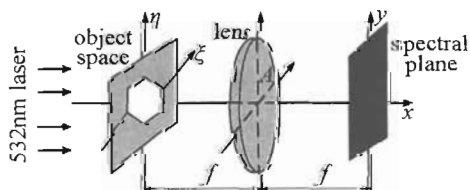


Fig. 3 Fourier transform of the optical path diagram

单色平面波垂直照射六边形光阑,其透射光场的分布可以看成是由不同空间频率的平面波构成,或者等效地说物体由许多不同方位、不同空间频率的光栅构成,它们使入射平面波发生衍射作用。空间频率高的光栅衍射的光波偏离光轴较远,空间频率低的光栅衍射的光波传播方向与光轴夹角较小。在透镜的焦平面上得到的是物面发出的光波经透镜产生的夫琅禾费衍射图样^[9]。

假设在透镜前焦面上放置的六边形的复振幅为 $U_0(\xi, \eta)$,它是 ξ 和 η 的二元函数,在后焦面上得到的场分布为^[10]:

$$U(x, y) = \frac{j}{\lambda f} \mathcal{F}\{U_0(\xi, \eta)\} = \frac{j}{\lambda f} \int_A U_0(\xi, \eta) \exp[-j2\pi(f_x \xi + f_y \eta)] d\xi d\eta \quad (1)$$

式中, $f_x = x/(\lambda f)$, $f_y = y/(\lambda f)$, A 表示透镜入射光瞳区的积分面积。通过数值模拟,得到了六边形光阑傅里叶变换幅值对数图,也就是单色平行光照明六边形光阑的夫朗和费衍射图样,如图 4 所示。

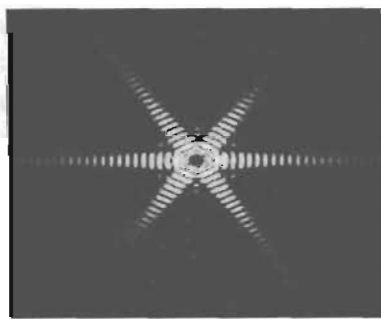


Fig. 4 The image of Fraunhofer diffraction

为了更好地进行对比,提取实验现象绿通道的灰度分布图,如图 5 所示。对比图 4 和图 5 可以发现,理论与实验基本一致,从图 4 可以看到有 6 条从中心向外发射的光芒,并且在中心附近分布着对称的亮点,这与实验现象是一致的。



Fig. 5 Gray image of the experimental phenomenon

4 结 论

通过对实验现象的分析,说明亮点和 6 条光芒一样都是六边形光阑的傅里叶频谱分布。亮点只在主光斑

数据;(4)测得的频率值是数据处理软件给出的频谱峰值,采样、滤波等环节也会影响实验数据的精度。可通过改善实验环境条件,增强液体表面洁净度,使用更加稳定的激发源等方法使实验得到更好的效果。

参 考 文 献

- [1] ZHAO X F. Liquid surface wave and its optical measurement method [J]. Journal of Yulin College, 2007, 17(2): 34-36 (in Chinese).
- [2] WEISBUCH G, GARRBAY F. Light scattering by surface tension waves [J]. Amer J Phys, 1979, 47(4): 355-356.
- [3] BEHROOZI F, PERKINS A. Direct measurement of the dispersion relation of capillary waves by laser interferometry [J]. Amer J Phys, 2006, 74(11): 957-961.
- [4] BARIK T K, ANUSHREE A, KAR S. A simple experiment on diffraction of light by interfering liquid surface waves [J]. Amer J Phys, 2005, 73(8): 725-729.
- [5] SAKAI K, CHOIP K, TANAKA H, et al. A new light scattering technique for a wide-band ripplon spectroscopy at the MHz region [J]. Rev Scien Instrum, 1991, 62(5): 1192-1195.
- [6] MIAO R C, YANG Z L. Physical properties of liquid surface wave and its optical effect [J]. Acta Physica Sinica, 1996, 46(9): 1521-1525 (in Chinese).
- [7] MIAO R C, YANG Z L, ZHU J T, et al. Visualization of low-frequency liquid surface acoustic waves by means of optical diffraction [J]. A P L, 2000, 80(17): 3033-3035.
- [8] LUO D B, MIAO R C, LIU X L, et al. Study on diffraction and damping characteristics of low frequency liquid surface waves [J]. Laser Technology, 2007, 31(6): 584-586 (in Chinese).
- [9] QI J X, MIAO R C, DONG J. Measurement of damping constant of liquid surface wave at low frequency [J]. Laser Technology, 2008, 32(5): 496-498 (in Chinese).
- [10] BARTER J D, LEE P H Y. Real-time wave amplitude spectrum analyzer for air-liquid interfaces [J]. A P L, 1994, 64(15): 1896-1898.
- [11] BARTER J D, LEE P H Y. Imaging surface-wave analyzer for liquid surfaces [J]. Appl Opt, 1997, 36(12): 2630-2635.
- [12] MIAO R C, ZHAO X F, SHI J. Measurement of low-frequency surface acoustic wave on liquid surface by means of laser interference [J]. Laser Technology, 2004, 31(6): 752-756 (in Chinese).
- [13] MIAO R C, SHI J, ZHAO X F. Determination of the attenuation coefficient of surface acoustic [J]. Acta Photonica Sinica, 2005, 34(3): 382-385 (in Chinese).

(上接第169页)

附近很小的范围内分布,很容易被背景覆盖,很难被发现。改变3CCD的焦距发现,以上现象只是在焦点附近、焦深范围内出现的。

参 考 文 献

- [1] LIU Z J, LU Q Sh, JIANG Zh P, et al. Study on damage effect in CCD detectors irradiated locally by laser [J]. Laser Technology, 1994, 18(6): 228-230 (in Chinese).
- [2] WANG J Q, LUO B Q, FANG Zh Y, et al. Study on laser beam combination by means of isosceles triangle phase grating [J]. Laser Technology, 2007, 31(6): 561-564 (in Chinese).
- [3] NI X W, LU J, HE A Zh. Measurement of laser damaging thresholds of CCD devices [J]. Laser Technology, 1994, 18(3): 153-156 (in Chinese).
- [4] ZHONG H R, LU Q Sh, LU Z J, et al. Review on the laser-induced damage mechanism of CCD detector [J]. High Power Laser and Particle Beams, 1998, 10(4): 537-542 (in Chinese).
- [5] SUN Y Q, CHENG X A, WANG F. Method of quality evaluation aimed at laser-disturbing image [J]. Infrared and Laser Engineering, 2007, 36(5): 659-662 (in Chinese).
- [6] ZHANG Zh, CHEN X A, JIANG Zh F. Excessive saturation effect of visible light CCD [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2008, 20(6): 917-920 (in Chinese).
- [7] GUO Sh F, CHENG X A, BO X Q, et al. Failure of array CCD irradiated by high-repetitive femto-second laser [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2007, 19(11): 1783-1786 (in Chinese).
- [8] LI F M, NIXON O, NATHAN A. Degradation behavior and damage mechanisms of CCD image sensor with deep-UV laser radiation [J]. IEEE Transactions on Electron Devices, 2004, 51(12): 2229-2236.
- [9] TIAN Y X. Fourier transformation and its application in Fraunhofer diffraction by circular aperture [J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2005, 25(1): 106-113 (in Chinese).
- [10] BORN M, WOLF E. Principles of optics [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2006: 371-380 (in Chinese).