

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0396-03

透明衍射物产生“热像”效应模拟与实验研究

谢良平^{1,2}, 栗敬钦², 王文义², 景峰², 赵建林¹

(¹西北工业大学应用物理系, 陕西 西安 710072; ²中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 四川 绵阳 621900)

摘要 对高功率激光装置中存在的一类非线性自聚焦现象——“热像”效应进行了数值模拟和实验研究。从菲涅耳衍射积分与非线性近轴波动方程出发,采用线性传输和分布傅里叶算法,编制了光传输程序,研究了透明衍射物产生“热像”的形成位置,能流分布及通量随 B 积分变化关系;并在星光II装置上完成了相关实验,与计算结果进行对比,两者吻合较好。

关键词 非线性光学; “热像”; 高功率激光; 光学损伤

中图分类号 O437.5

文献标识码 A

Experiment and Simulation Study on Hot-Image from Phase Scatterer

XIE Liang-ping^{1,2}, SU Jing-qin², WANG Wen-yi², JING Feng², ZHAO Jian-ling¹

(¹ Department of Applied Physics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, Shaanxi 710072 China;
² Research Center of Laser Fusion, CAEP, Mianyang, Sichuan 621900 China)

Abstract Nonlinear hot-image of phase scatterer in an intense laser beam is investigated numerically and experimentally. Light diffracted from a scatterer and the original beam in a nonlinear medium produce an interference pattern that creates a positive “lensing” effect. It deflects some of the energy from the original beam into a downstream spot, which appears as a holographic image of the scatterer, called hot-image. The image is bright enough to damage expensive components located near it. The measurements and calculations of the image in single element is reported. Good agreements are found between the experimental measurements and numerical simulations.

Key words nonlinear optics; hot-image; high-power laser; laser damage

1 引言

强激光通过透明介质时,非线性折射率可以引起注入光场中的纹波出现非均匀增长,产生小尺度的自聚焦,影响光束的近场远场分布,从而引起频率转换效率和靶面能量可聚焦度下降,严重的还会造成介质的成丝破坏^[1-3]。非线性自聚焦一直是聚变激光中的一个重要问题。我国正在筹建的SGIII激光装置,基频激光输出能量2500 J,光束自聚焦将成为影响系统输出性能以及安全运行的最主要因素。对于“热像”这类特殊的自聚焦现象,它具有小尺度自聚焦的所有特征。起初人们希望把“热像”与小尺度自聚焦联系起来,但一直没有建立起完整的理论体系。后来人们研究发现^[4-7],它可以认为是光路中的衍射物(如元件上的污点、缺陷)引起的衍射光与原光束在介质中相互耦合产生正透镜效应,而在随后的光路中形成的强度很高的亮点。它可以近似认为是衍射物的全息像,故人们形象地称之为“热像”。

由于“热像”处的强度非常高,位于“热像”附近位置的光学元件很可能遭受损伤。因而在高功率激光系统优化设计当中,如何事先找出系统中可能出现的散射源,分析“热像”出现的位置及其强度特性,对高功率激光装置的安全运行意义重大。

2 理论模型

如图1所示,“热像”形成过程可分解为以下三部分。1) 强激光束受到光路中衍射物调制后到非线性介质前表面的衍射过程;2) 光束在介质中的非线性传输过程;3) 光束从介质出射后的自由传输过程。其中过程1),3) 可采用经典的菲涅耳衍射积分描述,过程2)可采用非线性近轴波动方程描述。

以上三个过程可以分别用线性传输算法和分布傅里叶算法来求解。根据上面的物理模型和数值模拟方法,编制了光传输模拟程序,并与实验测量结果进行了比较,二者吻合较好。

基金项目: 国家高科技惯性约束聚变(ICF)基金资助课题(批准号:863-804-3)

作者简介: 谢良平(1978-),男,西北工业大学光学硕士研究生,主要从事强激光传输、非线性光学方面的研究工作。

E-mail:xieliangping@eyou.com

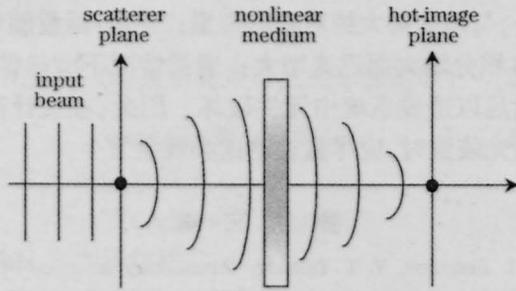


图1 “热像”形成原理图

Fig.1 Plot of hot-image formation

3 实验

“热像”实验光路如图2所示。实验平台建立在星光II激光装置大厅内。在星光II装置 $\phi 70\text{ mm}$ 前端放大器输出处取光。出射光($1.054\ \mu\text{m}$, $0.71\ \text{ns}$)经过 $\phi 30\ \text{mm}$ 软边光阑后导入2.67:1的缩束空间滤波器,滤波器中心小孔为 $\phi 1.5\ \text{mm}$ 。滤波器用于提高入射光功率密度以及改善光束近场分布。从滤波器出射后,光束经细丝调制后发生衍射,细丝后100 cm处放置长度为25 cm的N31钹玻璃介质。

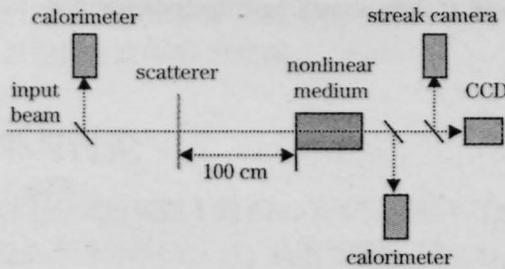


图2 实验光路排布示意图

Fig.2 Plot of experimental arrangement

出射光束近场分布用 512×512 点阵的CCD记录,注入光与出射光能量采用 $\phi 30\ \text{mm}$ 能量卡计测量。激光脉宽用条纹相机记录。实验用调制细丝是在口径为 $\phi 100\ \text{mm}$ 的K9基底上刻蚀的沟槽。刻蚀宽度为 $234\ \mu\text{m}$,刻蚀深度为 $1.048\ \pi$ 。

实验分两个步骤进行:首先固定激光输出能量,在介质后不同的位置处记录光束的近场分布,寻找

“热像”出现的最佳位置;当“热像”出现的位置确定后,固定CCD,改变注入光能量大小,测量“热像”处强度随 B 积分的变化规律。 B 积分为建造高功率激光装置的一个判据,定义为

$$B = \frac{2\pi}{\lambda} \gamma I d \quad (1)$$

式中 $\lambda = 1.054\ \mu\text{m}$, γ 为介质的非线性系数。 I 是介质前端注入激光的峰值强度, d 为介质的厚度。

4 实验结果与计算结果比较分析

实验发现在介质后108 cm处,出现的“热像”最为明显。固定该位置,改变输入光强,测量了多组数据。图3(a)-(d)分别为不同注入能量下,记录的介质后108 cm处的光束近场分布。

为了进一步研究“热像”强度特性,对实验数据进行处理,得到了不同 B 积分下“热像”处通量及其平面上的能流分布。图4(a)-(d)为图3四种注入能量条件下“热像”平面处的一维能流分布。图中实线是实验结果,虚线为计算结果。

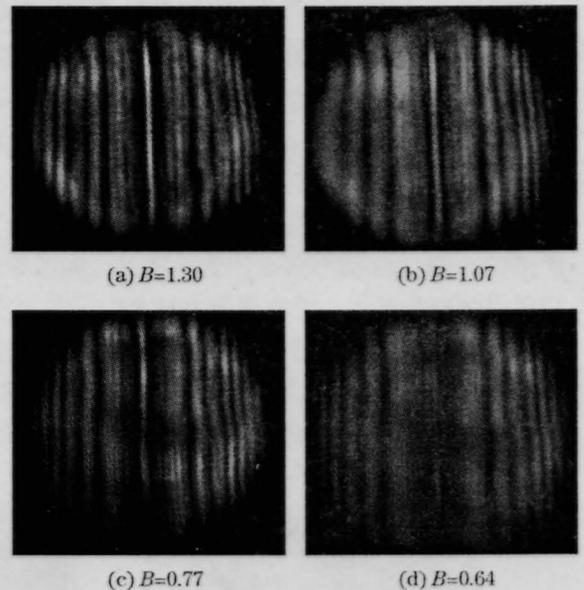


图3 “热像”平面能流分布图

Fig.3 Fluence distribution in the hot-image plane

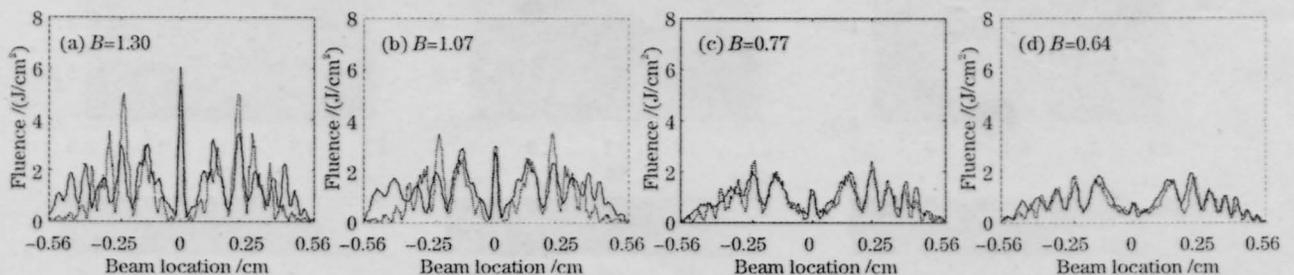


图4 “热像”能流分布测量与模拟对比图

Fig.4 Experimental and calculated spatial profiles in the hot-image plane

图5为“热像”处通量随 B 积分的变化关系。图中实线与离散点分别为计算结果和测量结果。可以看出,“热像”通量随 B 积分增大而迅速增大;通常高功率激光装置 B 积分设计成大约等于2,这时“热像”处通量足以破坏位于其附近的光学元件。

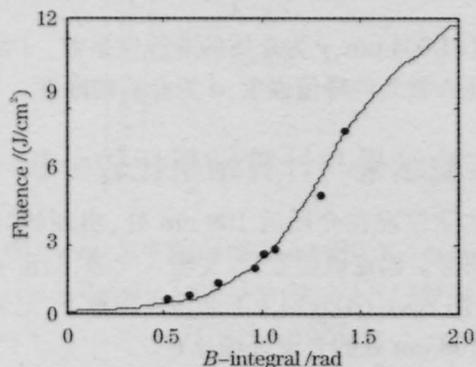


图5 “热像”处通量随 B 积分的变化曲线

Fig.5 Plot of functional relationship of the hot-image fluence versus the B -integral

5 结 论

对强激光束非线性“热像”效应进行了初步的模拟和实验研究。结果表明,“热像”形成在以介质为

中心,与调制物大约对称的位置;“热像”通量随着系统 B 积分增大而迅速增大;通常情况下,“热像”处通量足以造成系统中元件破坏。因此,在设计高功率激光装置时,应尽量杜绝这类现象发生。

参 考 文 献

- 1 V. I. Bespalov, V. I. Talanov. Filamentary structure of light beams in nonlinear liquids[J]. *JETP Lett.*, 1966, **3**: 307-310
- 2 Y. R. Shen. Self-focusing: experimental [J]. *Prog. Quant. Electron.*, 1975, **4**:1-34
- 3 A. J. Campillo, S. L. Shapiro, B.R.Suydam. Periodic breakup of optical beams due to self-focusing[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1973, **23**: 628-630
- 4 J. T. Hunt, K. R. Manes, P. A. Renard. Hot images from obscurations[J]. *Appl. Opt.*, 1993, **32**(30): 5973-5982
- 5 W. H. Williams, K. R. Manes, J. T. Hunt *et al.* Modeling of self-focusing experiments by beam propagation codes[R]. Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, 1996.UCLL-LR-105821-96-1
- 6 C. C. Widmayer, D. Milam, S.P. de Szoeki. Nonlinear formation of holographic images of obscurations in laser beams[J]. *Appl. Opt.*, 1997, **36**(36): 9342-9347
- 7 C. C. Widmayer, M. R. Nickels, D. Milam. Nonlinear holographic imaging of phase errors[J]. *Appl. Opt.*, 1998, **37**(21): 4801-4805