

视紫红酯中热致暗空间光孤子实验*

陆 宏 徐建东 李淳飞 洪 晶

(哈尔滨工业大学应用物理系, 哈尔滨, 150001)

摘要: 设计了热致暗空间光孤子的实验光路和偶边界条件的实施方案, 在视紫红酯中实现了热致暗空间光孤子实验, 研究了孤子随传输距离和光强的演化, 并采用分步傅里叶变换法进行了数值模拟, 发现两者的结果一致。

关键词: 暗空间光孤子 热致非线性效应 视紫红酯 偶边界条件 分步傅里叶变换

Experiment on thermal dark spatial optical solitons in BR

Lu Hong, Xu Jiandong, Li Churf ei, Hong Jing

(Department of Applied Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001)

Abstract: In the paper, the experimental setup and even boundary condition on thermal dark spatial optical solitons was designed, and the experiment was realized in BR. Finally, numerical results of thermal dark solitons were simulated by the split step Fourier method, and the results were same as of the experiment.

Key words: dark spatial optical soliton thermal nonlinear effect BR even boundary condition split step Fourier method

引 言

自从 1973 年 A. Hasegawa 和 F. Tappert 预言在 Kerr 型光学介质中存在着以非线性薛定谔方程描述的时间光孤子^[1]以来, 人们不仅以实验验证了时间光孤子的存在^[2], 而且预言和实现了空间光孤子^[3-5]。空间光孤子主要表现了光束的横向结构在空间不扩散的现象, 它起因于光束的衍射与非线性的自聚(散)焦两种效应的平衡。空间光孤子也服从非线性薛定谔方程, 所不同的只是其全部坐标皆用空间坐标描述。然而, Kerr 非线性介质的非线性折射率 n_2 一般较小, 要想在这种介质中激发出暗空间光孤子需要较高的激光光强; 相反, 热致非线性效应带来的等效非线性折射率 n_2 较大, 暗空间光孤子易于激发。我们将介绍在视紫红酯中激发热致暗空间光孤子的实验, 并与数值模拟结果进行对比。

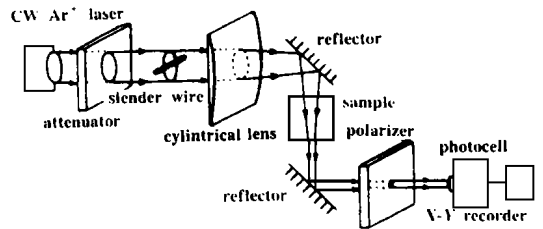


Fig. 1 Experiment setup to simulate dark spatial optical solitons

一、实验装置和偶边界条件的设计

实验的光路如图 1 所示, 偶边界条件如

图 2 所示。实验中用波长为 514.5nm、直径为 2mm 的线偏振连续 Ar^+ 激光束, 首先通过衰减器调节其强度; 再通过细丝确定光场的偶边界条件; 而后, 用焦距 $f = 10\text{cm}$ 的柱凸透镜聚焦, 通过反射镜把焦线竖直打在样品的上表面; 激光束在样品中激发出孤子后, 从样品盒的下表面

* 哈尔滨工业大学校基金资助。

射出,直接打在紧贴样品盒下表面的毛玻璃屏上成像;由于孤子图像的尺寸较小,所以通过检偏器调节光强后,采用透镜加光电探测,并用 $x-y$ 记录仪记录信号,获取实验结果。值得注意的是,实验中使激光束竖直通过样品,是为了消除重力在热致非线性效应中的影响。

二、视紫红酯中的实验

1. 理论分析^[6] 利用细丝形成的

偶边界条件为一种特殊的箱型初始条件:

$$\begin{cases} U|_{t=0} = 0 & |x| < \alpha \\ U|_{t=0} = 1 & |x| > \alpha \end{cases} \quad (1), H$$

式中, α 为细丝的半径。

根据逆散射理论,这种初始条件下暗空间光孤子的本征值,即归一化横向速度 λ_n 为:

$$\lambda_n = \cos(2n\alpha) \quad (2)$$

λ_n 与实验测量的横向速度 v 的关系为:

$$\lambda_n = v [2n\alpha / (|n_2| E_0^2)]^{1/2} \quad (3)$$

归一化线宽与实际遮挡的细丝宽度关系为: $\alpha = v [|n_2| E_0^2 / (2n_0)]^{1/2} n_0 k_0 x_0 / 2 \quad (4)$

式中, n_2 为热致非线性效应造成的介质等效非线性折射率, x_0 为实际遮挡的细丝宽度。

2. 暗空间光孤子随传输距离的演化

实验中沿轴线移动探测元件光电,从而改变激发出的暗空间光孤子的传输距离,观察输出端暗空间光孤子

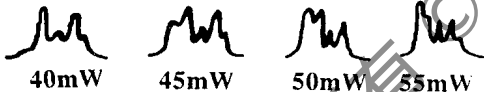


Fig. 4 Dark spatial optical soliton evolution with different input laser intensity

中的减光板改变入射激光光强,在输出端发现激发出的暗空间光孤子的横向传播速度随之变化,且暗空间光孤子的对数随入射激光光强的增加而增加。如图4所示。

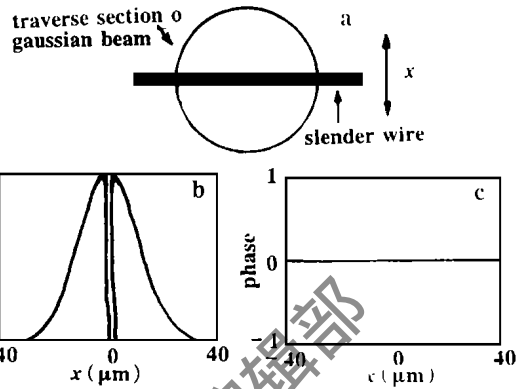


Fig. 2 Even boundary condition of stimulating dark spatial optical solitons

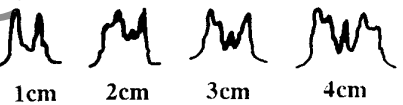


Fig. 3 Dark spatial optical soliton evolution along propagation direction

的横向演化过程,如图3所示。

3. 暗空间光孤子随入射激光光强变化的演化

入射激光的光强对暗空间光孤子的产生和演化具有重要意义,这里我们通过调节图1

中的减光板改变入射激光光强,在输出端发现激发出的暗空间光孤子的横向传播速度随之变化,且暗空间光孤子的对数随入射激光光强的增加而增加。如图4所示。

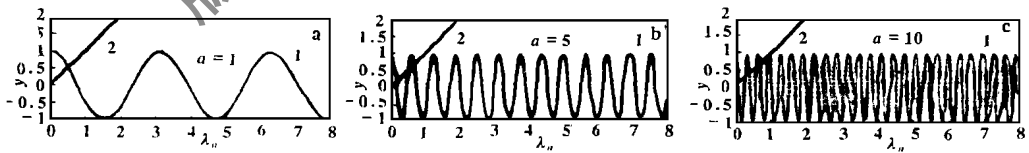


Fig. 5 Parameter α has the effect on solutions of dark spatial optical soliton. The intersection points of curves $y = \lambda_n$ and $y = \cos(2\lambda_n\alpha)$ are the solutions of dark spatial optical solitons

4. 细丝直径不同对暗空间光孤子的影响

把用作偶边界条件的细丝逐渐换为较粗的细丝,在出射端发现出射光场中的暗带数目逐渐增加,但始终是偶数个,这说明较粗的细丝激发出较多对的暗空间光孤子。为了解释这种现象,用图解法解本征方程(2),如图5所示。显然 α 的大小决定余弦函数曲线的疏密程度, α 越大,曲线越密,则与直线的交点也越多,也就是方程的解越多。所以较粗的细丝产生的暗空间光孤子数目较多,但热致孤子的半宽度越来越小,逐渐观察不到。

三、热致暗空间光孤子的数值模拟

1. 分步傅里叶变换法 考虑吸收项 $i\gamma U$, $(1+1)$ 维非线性薛定谔方程可写为:

$$-i(\partial U/\partial Z) + (\partial^2 U/\partial X^2) + 2\sigma|U|^2 U = i\gamma U \quad (5)$$

设 D 为微分算符, 包括衍射和线性吸收效应, N 为非线性算符, 描述非线性效应。 D 和 N 表述如下:

$$D = -i(\partial^2 U/\partial X^2) = \gamma \quad (6)$$

$$N = -2i\sigma|U|^2 \quad (7)$$

一般说来, 衍射和非线性效应在光束传播过程中是同时起作用的。而分步傅里叶变换方法的思想是, 对于在充分小距离 h 上传播着的光场, 可以把它的衍射效应和非线性效应近似地考虑成各自独立地起作用, 从而得到传播光场的近似解。具体地说, 从 Z 到 $Z+h$ 上的传播是通过两步实现的。第一步, 让非线性项单独起作用, 即让(5)式中的 $D=0$; 第二步, 只让衍射项起作用, 即让(5)式中的 $N=0$ 。数学上可以表述为

$$U(Z+h, X) \approx \exp(h \cdot D) \cdot \exp(h \cdot N) U(Z, X) \quad (8)$$

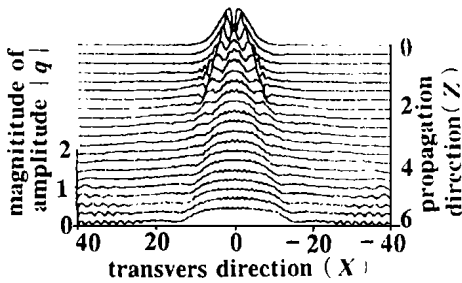


Fig. 6 Dark spatial soliton at the even boundary condition of the width $x_0=0.5$

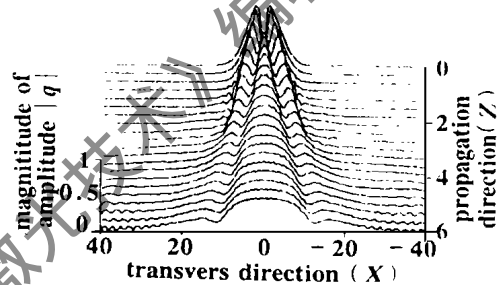


Fig. 7 Dark spatial soliton at the even boundary condition of the width $x_0=1$

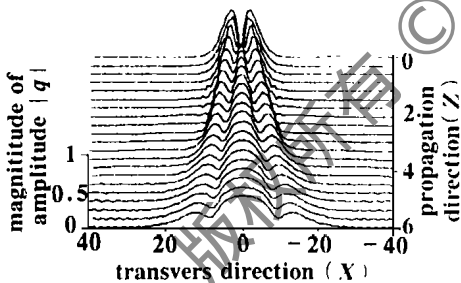


Fig. 8 Dark spatial soliton at the even boundary condition of the width $x_0=2$

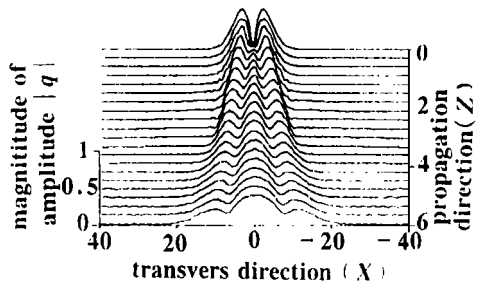


Fig. 9 Dark spatial soliton at the even boundary condition of the width $x_0=3$

2. 在偶边界条件下暗空间光孤子的数值模拟 在高斯光场中, 按照分步傅里叶变换法, 数值研究了实际遮挡的细丝宽度 x_0 对暗空间光孤子激发的影响。数值计算的结果如图 6~图 9 所示。由图 6~图 9 不难得出结论: 偶边界条件激发出的暗空间光孤子均为偶数个, 不能激发出单个孤子; 偶边界条件只能激发出灰孤子, 有横向漂移, 而不能激发出黑孤子; 偶边界条件激发的灰孤子对总是黑度相等、横向漂移速度大小相等、方向相反; 偶边界的宽度 x_0 与激发出的暗空间光孤子密切相关, x_0 越大, 孤子黑度越大, 横向漂移速度越小。

四、结 论

由实验结果和数值模拟结果不难发现两者是一致的, 可见我们的实验是成功的。由于热

高功率连续波 CO₂ 激光辐照加载铝板的研究*

郑启光 辜建辉 陶星之 王 涛 汪洪海
(华中理工大学激光技术国家重点实验室, 武汉, 430074)
李思忠 刘绪发 孙承伟
(西南流体物理研究所, 成都, 610003)

摘要: 对受拉、受压和扭曲加载的 LY12 铝合金板被连续 CO₂ 激光辐照后的热力机械响应、应力状态、变形及破坏等进行了研究, 同时研究了各种不同加载形式下的激光辐照破坏的工艺参数范围, 分析了激光辐照破坏区的微观结构。研究表明, 在激光辐照和机械加载的联合作用下, 激光辐照烧斑区产生部分熔化和凹陷, 在辐照区的边缘产生裂纹和皱折, 最终导致破坏。另外, 还具体分析了几种试件的破坏特征。

关键词: CO₂ 激光 破坏效应 LY12 铝合金

Pre-loaded LY12 aluminum alloy irradiated by high-power laser beam

Zheng Qiguang, Gu Jianhui, Tao Xingzhi, Wang Tao, Wang Honghai
(National Lab. of Laser Technology, HUST, Wuhan, 430074)
Li Sizhong, Liu Xufu, Sun Chengwei
(Southwest Institution of Fluid Physics, Chengdu, 610003)

Abstract: Thermal and mechanical response, stress statute, deformation and damage of pre-pulled, pre-pressed and pre-twisted LY12 aluminum alloy specimens caused by irradiation of high-power CW CO₂ laser beam were studied in this paper. The parameters of laser irradiation and the microstructure of laser irradiated area were analyzed for different types of pre-loading and different shapes of specimens.

* 中国工程物理研究院基金资助。

致暗空间光孤子比 Kerr 暗空间光孤子易于实现, 其应用前景较好, 可以被制成柔性波导、光开关、耦合器等多种光孤子器件。

参 考 文 献

- 1 Hasegawa A, Tappet F A P L, 1973; 23(1): 171
- 2 Mollenauer L F, Stolen R H, Gordon J P. Phys Rev Lett, 1980; 45(13): 1095
- 3 Belanger P A, Mathieu P. Appl Opt, 1987; 26(1): 111
- 4 Jeroninek H, Delse C, Tremblay R. Appl Opt, 1986; 25(5): 732
- 5 Swartzlander G A, Andersen Jr D R, Regan J J *et al.* Phys Rev Lett, 1991; 66(12): 1583
- 6 陈险峰, 陈英礼, 李劼. 光学学报, 1996; 16(7): 952

作者简介: 陆 宏, 男, 1967 年 3 月出生。理学博士, 副教授。现在哈尔滨工业大学应用物理系任教, 科研方向为非线性光孤子、光电对抗等。