

文章编号:1004-4213(2010)04-0626-4

# 在 $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ 晶体中写入 Y 结孤子的实验研究

张玉虹<sup>1,2</sup>, 张美志<sup>3</sup>, 孙婷<sup>4</sup>

(1 西安工业大学, 西安 710032)

(2 中国科学院西安光学精密机械研究所 瞬态光学与光子技术国家重点实验室, 西安 710119)

(3 西安邮电学院, 西安 710121)

(4 西安应用光学研究所, 西安 710065)

**摘要:**采用振幅掩模穿过部分空间非相干光的方法产生一暗迹, 将暗迹成像在晶体前表面, 得到入射暗迹半高宽为  $16.75 \mu\text{m}$ , 入射光功率为  $400 \mu\text{W}$ . 基于  $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$  晶体的强光伏效应, 在无背景光辐照时, 在晶体内写入一对部分空间非相干 Y 结暗光伏孤子. 实验结果表明: 在无背景光辐照时可以在  $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$  晶体内写入部分空间非相干 Y 结孤子.

**关键词:**空间光孤子; 振幅掩模; 部分空间非相干; Y 结孤子

**中图分类号:** 0437.5

**文献标识码:** A

**doi:** 10.3788/gzxb20103904.0626

## 0 引言

光折变孤子首先是由 Segev 等在 1992 年提出<sup>[1]</sup>. 自从光折变孤子的预言和实验观察以来, 在低功率和所有横向维的存在引起了极大的研究兴趣, 光折变空间光孤子在光束控制、光开关、光互连和非线性光学器件等方面的潜在应用也推动了它的快速发展<sup>[2-4]</sup>. 目前已经发现的光折变空间光孤子有 3 种基本类型: 准稳态孤子<sup>[1]</sup>、屏蔽孤子<sup>[5-7]</sup>、光伏孤子<sup>[8]</sup>. 作为三种基本类型光折变空间孤子之一的光伏孤子, 它的形成一般不需要外加电场, 它利用光束在光折变晶体中的强光伏效应. 光伏孤子的研究工作开始于 1994 年, Velley 等<sup>[9]</sup>首先对光伏亮、暗孤子作了理论上的分析, 1995 年 Taya 等在实验上观察到了暗光伏孤子<sup>[10]</sup>, 1996 年他们利用暗孤子在光伏晶体中实现了 Y 形联结<sup>[11]</sup>.

十多年以来, 光孤子被认为是完全相干实体, 光孤子的研究也仅局限于相干光源. 直到 1996 年, 普林斯顿大学的研究学者首先从实验和理论上相继证明了部分空间非相干屏蔽光折变孤子<sup>[5]</sup>, 完全非相干白光屏蔽光折变孤子<sup>[6]</sup>以及部分非相干光的暗空间孤子<sup>[7]</sup>的存在, 从而将光孤子的研究由相干领域拓展到非相干领域. 目前对于部分空间非相干暗光伏孤子及写入波导的研究<sup>[12-13]</sup>也是一大研究热点, 这些局限于用位相掩模产生暗迹, 从而在晶体内形成单个暗孤子并写入波导.

自从 1996 年, Chen 等在有偏压的 SBN 晶体内发现 Y 结和更高偶数序列的暗空间孤子, 给出有偏压光折变晶体内非相干光束自陷的理论研究<sup>[14-17]</sup>. 2009 年卢克清等人用相干密度法研究有偏压光伏光折变晶体中暗非相干孤子分裂<sup>[18]</sup>. 目前还没有发现在光伏光折变晶体内观察到部分空间非相干的 Y 结暗光伏孤子对.

本文从实验上研究了部分空间非相干光产生的 Y 结暗光伏孤子, 实验证明由振幅掩模穿过部分空间非相干光产生的暗迹可以在  $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$  晶体中自陷, 形成稳态的 Y 结暗光伏孤子.

## 1 实验装置

图 1 是用来观察部分空间非相干 Y 结光伏孤子对的实验装置示意图 ( $\text{Ar}^+$ , 氩离子激光器; AT, 衰减片; FL, 扩束系统;  $L_1, L_2, L_3, L_4$ , 凸透镜; LN,  $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$  晶体; CCD). 在实验中, 一束功率为 40 mW 的  $\text{Ar}^+$  激光束 ( $\lambda = 488 \text{ nm}$ ), 经扩束系统 FL 扩束、准直系统准直后变为一束平行光, 准直系统由

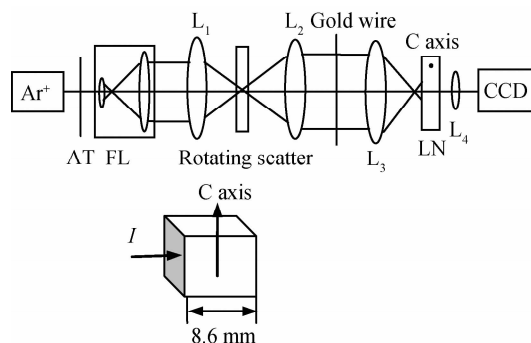


图 1 实验装置示意  
Fig. 1 Experiment arrangement

两个焦距为 100 mm 的会聚透镜( $L_1$ 、 $L_2$ )组成. 旋转散射器位于  $L_1$  和  $L_2$  的共焦点附近,用以提供随机相位改变,使相干光束变为时间上相干而空间上不相关的部分相干光束. 光束的空间相干度可以通过照射在散射器上光斑的平均大小来调节. 为了产生一个 Y 结孤子对,用一个振幅掩模(直径为  $20\ \mu\text{m}$  的金属丝)穿过空间非相干光束,在光束中心产生一个振幅跃变,使光束变为振幅调制的信号光,在光束中心形成一暗迹. 通过改变金属丝位置调整晶体输入面上的暗迹宽度. 透镜  $L_3$  将掩模成像在晶体的输入面上,光束的偏振方向平行于晶体的 C 轴方向(e 光),因为只有当暗迹的窄方向平行于晶体 C 轴方向时才能发生自陷. 最后通过 CCD 来观测暗迹在晶体后表面的衍射像. 这里的光折变晶体是  $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$  晶体( $10\times 8.6\times 15\ \text{mm}^3$ ),晶轴方向为平行于暗

迹的窄方向(如图 1). 实验中由  $L_3$  的位置控制入射到晶体输入面上的光强和光斑的尺寸.

## 2 实验结果

实验中,旋转散射器将相干光转换为部分空间非相干光. 由于散射器的转速为 10 r/s,旋转散射器的变化速度远大于晶体的响应速度(LN 晶体的响应时间为 120 s),因而晶体接收到的是光随时间变化的平均强度,而不是光的瞬时强度. 实验中,入射暗迹半高宽(Full Width at Half Maximum, FWHM)为  $16.75\ \mu\text{m}$ ,在晶体前表面入射的非相干孤子光束功率为  $400\ \mu\text{W}$ . 在恒定光强度照射下,暗迹在晶体中的衍射像由于光伏效应的建立而逐渐自陷. 约 4 h 后,晶体中暗迹的宽度基本保持不变,实验结果如图 2.

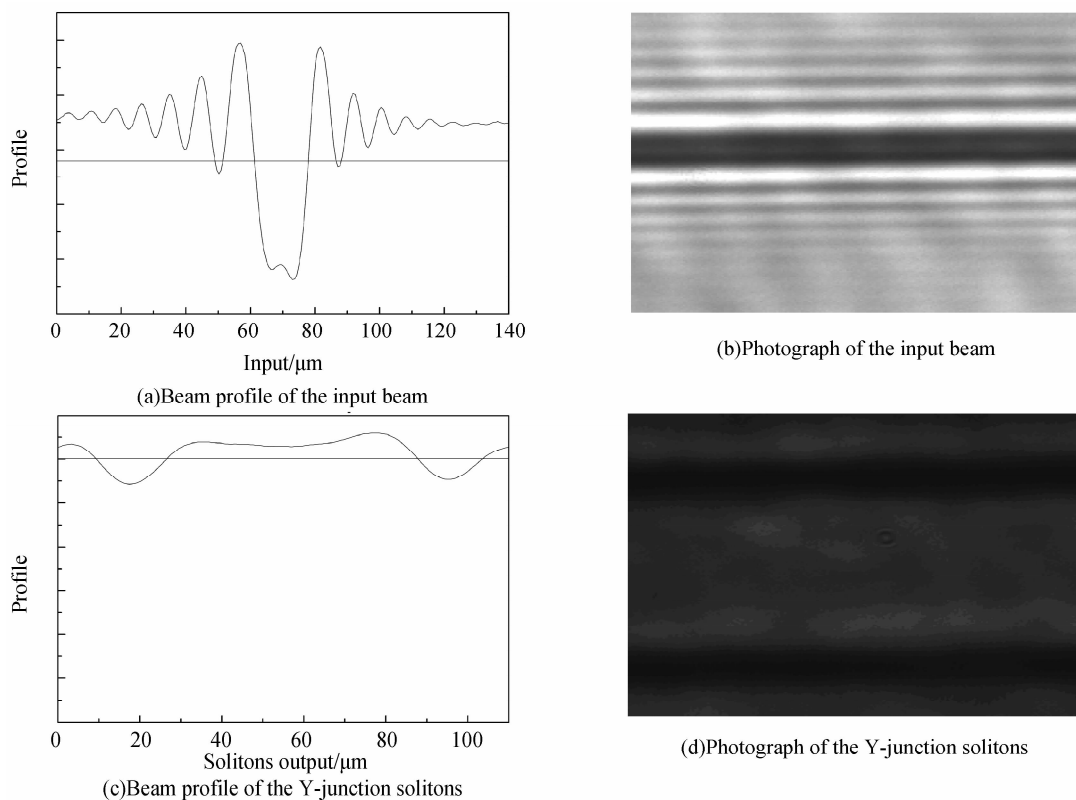


图 2 由振幅掩模产生非相干 Y 结暗光伏孤子的实验结果

Fig. 2 An incoherent Y-junction dark photovoltaic solitons initiated from an amplitude mask

当  $t=0$  时,暗迹在晶体内传播 8.6 mm 后衍射宽度为  $148\ \mu\text{m}$ ;暗迹在晶体后表面的衍射像,在开始一段时间内随着时间的增加而增大,当  $t=40\ \text{min}$  时,暗迹的衍射像分裂为两个,一束宽度为  $40.87\ \mu\text{m}$ ,一束宽度为  $52.3\ \mu\text{m}$ ,此时宽度大的暗纹灰度小,条纹可见度越差. 在接下来的时间里,两暗纹之间的总宽度在减小,而且暗纹本身也相应减小它们的宽度,直至形成一个 Y 结孤子. 当  $t=4\ \text{h}$  时两暗纹均自陷为  $16\ \mu\text{m}$  的暗条纹,还是其中一个暗纹的对比度要小一些. 当  $t=260\ \text{min}$  时,两暗纹

宽度不变,对比度基本一致.

## 3 实验讨论

由于暗迹稍微偏离光束中心位置,所以在晶体输入面上金属丝的衍射图样对称亮纹的强度不一致,这也导致写入孤子过程中两个暗纹灰度不一致的原因,随着写入时间的增加,两个暗纹的灰度变得几乎一样.

空间非相干光束与相干光束有很大的不同. 空间相干光在不同点的振幅随时间一致变化,在时间

上是相干的;而非相干光在不同点的振幅随时间的改变是不相关的.因此相干光是通过振幅的非涅耳衍射积分得到,而非相干光则是由振幅的时间积分得到.部分空间非相干光是相干光与非相干光的中间状态,可以通过相干长度  $\tau$  来描述,当  $\tau$  远小于光束直径时,光束可认为是准均匀的部分空间非相干光,且衍射角主要由  $\tau$  决定.此时,光束相干点的平均距离远小于光束直径,因而部分非相干暗光伏孤子与相干孤子具有相似的性质.由于  $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$  晶体的敏感波段为蓝绿光,因此 488 nm 蓝光在弱光强微瓦量级下可以写入孤子.

## 4 结论

在无背景光照射下,通过旋转散射器将相干光变为部分空间非相干光.将直径为 20  $\mu\text{m}$  的金属丝穿过光束中心,在晶体前表面形成一个半高宽为 16.75  $\mu\text{m}$  的暗迹作为输入信号,入射孤子光束功率为 400  $\mu\text{W}$ .随着光伏效应的建立,在晶体后表面的暗迹衍射像逐渐收缩并分裂为两个,在  $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$  晶体中写入一对宽度为 16  $\mu\text{m}$  的 Y 结暗光伏孤子.

### 参考文献

- [1] SEGEV M, CROSIGNANI B, YARIV A, *et al.* Spatial solitons in photorefractive media[J]. *Phys Rev Lett*, 1992, **68**(7): 923-926.
- [2] LAN S, DELRE E, CHEN Zhi-gang, *et al.* Directional coupler with soliton-induced waveguides[J]. *Opt Lett*, 1999, **24**(7): 475-477.
- [3] CHEN Zhi-gang, SEGEV M, CHRISTODOULIDES D N, *et al.* Waveguides formed by incoherent dark solitons[J]. *Opt Lett*, 1999, **24**(16): 1160-1162.
- [4] LU Yi, LIU Si-min, ZHANG Guo-quan, *et al.* Waveguides and directional coupler induced by incoherent dark solitons[J]. *Opt Lett*, 1999, **24**(16): 1160-1162.
- [5] MITCHELL M, CHEN Zhi-gang, SHIH Ming-feng, *et al.* Self-Trapping of partially spatially incoherent light[J]. *Phys Rev Lett*, 1996, **77**(3): 490-493.
- [6] MITCHELL M, SEGEV M. Self-Trapping of incoherent white light[J]. *Nature*, 1997, **387**(6636): 880-883.
- [7] CHEN Zhi-gang, MITCHELL M, SEGEV M, *et al.* Self-Trapping of Dark Incoherent Light Beams[J]. *Science*, 1998, **280**: 889-892.
- [8] LU Yi, LIU Si-min, GUO Ru, *et al.* One-dimensional photovoltaic dark spatial solitons with fully incoherent white light[J]. *Acta Physica Sinica*, 2003, **52**(12): 3075-3081. 陆猗, 刘思敏, 郭儒, 等. 完全非相干白光一维光生伏打暗空间孤子[J]. *物理学报*, 2003, **52**(12): 3075-3081.
- [9] VALLEY G C, SEGEV M, CROSIGNANI B, *et al.* Dark and bright photovoltaic spatial solitons[J]. *Phys Rev A*, 1994, **50**(6): R4457-R4460.
- [10] TAYA M, BASHAW M C., FEJER M M, *et al.* Observation of dark photovoltaic spatial solitons[J]. *Phys Rev A*, 1995, **52**(4): 3095-3102.
- [11] TAYA M, BASHAW M C, FEJER M M, *et al.* Y junctions arising from dark-soliton propagation in photovoltaic media[J]. *Opt Lett*, 1996, **21**(13): 943-945.
- [12] LI Jin-ping, LU Ke-qing, ZHAO Wei, *et al.* Experimental study on dark photovoltaic solitons [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(8): 1225-1228. 李金萍, 卢克清, 赵卫, 等. 暗光伏孤子的实验研究[J]. *光子学报*, 2006, **35**(8): 1225-1228.
- [13] ZHANG Mei-zhi, LU Ke-qing, CHENG Guang-hua, *et al.* One-dimensional Waveguides Induced by Photovoltaic Dark Spatial Solitons of Partially Incoherent Light [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(10): 1942-1946. 张美志, 卢克清, 程光华, 等. 部分空间非相干暗光伏孤子诱导一维波导研究[J]. *光子学报*, 2008, **37**(10): 1942-1946.
- [14] CHEN Zhi-gang, MITCHELL M, SEGEV M. Steady-state photo-refractive soliton-induced Y-junction waveguides and high-order dark spatial solitons[J]. *Opt Lett*, 1996, **21**(10): 716-718.
- [15] CHEN Zhi-gang, SEGEV M. Sequential formation of multiple dark photorefractive spatial solitons: experiments and theory [J]. *JOSA B*, 1997, **14**(6): 1407-1417.
- [16] COSKUN T H, CHRISTODOULIDES D N, MITCHELL M, *et al.* Dynamics of incoherent bright and dark self-trapped beams and their coherence properties in photorefractive crystals[J]. *Opt Lett*, 1998, **23**(6): 418-420.
- [17] CHEN Zhi-gang, SEGEV M, CHRISTODOULIDES D N. Experiments on partially coherent photorefractive solitons [J]. *J Opt A: Pure Appl Opt*, 2003, **5**: S389-S397.
- [18] LU Ke-qing, MIAO Chang-yun, LU Peng-yu, *et al.* Dark incoherent solitons splitting in biased photorefractive-photovoltaic crystals[J]. *Opt Commun*, 2009, **282**: 3335-3338.

## Y-junction Solitons Written in $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ Crystal

ZHANG Yu-hong<sup>1,2</sup>, ZHANG Mei-zhi<sup>2</sup>, SUN Ting<sup>3</sup>

(1 *Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China*)

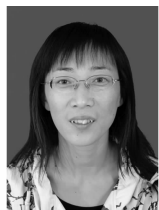
(2 *State Key Laboratory of Transient Optics and Photonics, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academic of Sciences, Xi'an 710119, China*)

(3 *Xi'an University of Post and Telecommunication, Xi'an 710121, China*)

(4 *Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an 710065, China*)

**Abstract:** A dark notch is generated by using an amplitude mark to cross partially spatially incoherent light beam. The notch is imaged onto the input face of the crystal. The full width at half maximum of notch is  $16.75\ \mu\text{m}$ . Power of input beam is  $400\ \mu\text{W}$ . Based on the bulk photovoltaic effect, a pair of Y-junction dark photovoltaic solitons is written with partially spatially incoherent light beam when the background illumination is absent. The experimental result demonstrates that Y-junction dark photovoltaic solitons can be written in  $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$  crystal without background illumination.

**Key words:** Optical spatial solitons; Amplitude mark; Partially spatial incoherence; Y-junction solitons



**ZHANG Yu-hong** was born in 1979. She gained the M. S. degree from Shaanxi Normal University in 2005. Now, she is a post-graduate student at Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS, and she is engaged in the research of spatial photorefractive solitons.