

文章编号: 1001-3806(2010)04-0548-04

温度对双光子亮屏蔽光伏孤子自偏转的影响

姜其畅, 苏艳丽, 吉选芒

(运城学院 物理与电子工程系, 运城 044000)

摘要: 为了研究温度对双光子光伏光折变介质中亮屏蔽光伏孤子动态演化及自偏转特性的影响, 采用数值模拟的方法, 得到了亮屏蔽光伏孤子的动态演化过程。结果表明, 在一定温度变化范围内, 随着温度的升高, 介质支持的亮屏蔽光伏孤子的光强和半峰全宽均减小; 当介质的温度变化不大时, 孤子将克服较小的扰动而保持稳定的孤子传播, 当温度变化足够大时, 孤子将变得不稳定甚至崩溃; 在一定温度范围内, 孤子中心的自偏转距离随着温度的升高而增加, 在特定温度下达到最大值, 之后随着温度的升高而减小。这些结果对双光子空间孤子的理论发展具有一定的意义。

关键词: 非线性光学; 双光子光伏光折变介质; 屏蔽光伏孤子; 自偏转

中图分类号: O437 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2010.04.031

Effect of temperature on the self-deflection of two-photon bright screening photovoltaic solitons

JIANG Qi-chang, SU Yan-li, JI Xuan-mang

(Department of Physics and Electronics Engineering, Yuncheng University, Yuncheng 044000, China)

Abstract: Effect of temperature on the dynamical evolution and self-deflection characteristics of bright screening photovoltaic spatial solitons in two-photon photovoltaic photorefractive media was investigated. Taking the bright solitons as the input solitary beam, numerically solving the beam propagation equation, it was found that the intensity profile and the full-width at half maximum of bright screening photovoltaic spatial solitons decreased with the raising of the temperature in a certain range of temperature. When the temperature of crystals changed in a small range, the stability of solitons could be persisted by overcoming the small perturbation. Solitons would become unstable or collapse when the crystal changed in a large range. The results show that the bending distance of the bright solitary beam centre increases with temperature rise, then reaches its maximum value at a specific temperature, and after that, decreases as temperature continuously rises. All of these results are benefit for the development of theory of two-photon spatial solitons.

Key words: nonlinear optics; two-photon photovoltaic photorefractive media; screening photovoltaic solitons; self-deflection

引言

光折变空间孤子是指存在于具有光折变效应的电光材料中, 在传播过程中形状和强度分布保持不变的光波。自从1992年 SEGEV 等人^[1]最先从理论上预言了光折变空间孤子的存在, 并由 DUREE 等人^[2]于1993年首次从实验中观察到光折变晶体中的光孤子后, 光折变空间孤子以其写入功率低、写入波导的存储周期长、能形成(2+1)维波导等特点, 成为空间孤子研究的热点。目前预言并被实验验证的

3种稳态光折变空间孤子分别为: 屏蔽孤子^[3-4]、光伏孤子^[5-6]和屏蔽光伏孤子^[7-8]。上述空间孤子都是针对单光子光折变介质。2003年, CASTRO-CAMUS 等人^[9]提出了一个新的双光子光折变模型。此模型包含一个价带、一个导带和一个中间能级, 启动光用来保持从价带激发到中间能级的电子数为一定值, 然后由不同频率的孤子光将电子再次激发到导带; 同时, 由孤子光诱发的空间电荷场实现折射率的非线性改变。随后, 国内外研究小组从理论上先后对基于双光子光折变效应的屏蔽孤子、光伏孤子进行了大量的研究^[10-13]。2009年, ZHANG 等人^[14]给出了双光子光折变介质中光孤子的统一形式, 同时预言了双光子屏蔽光伏孤子的存在。

对光折变空间孤子的研究表明, 考虑扩散效应的影响, 孤子的中心在传播过程中将沿着一条抛物线轨迹偏转^[15]。而光折变介质的暗辐射强度和扩散过程

基金项目: 山西省高等学校科技开发资助项目 (200611042)

作者简介: 姜其畅 (1980-), 男, 讲师, 理学硕士, 主要从事激光器件及非线性光学方面的工作。

E-mail: jiangsir009@163.com

收稿日期: 2009-09-21; 收到修改稿日期: 2009-10-22

都强烈依赖于介质的温度^[16-17],所以,介质温度的变化会影响到介质内光折变孤子的演化及自偏转特性。作者基于外加电场的双光子光伏光折变介质,利用数值求解方法,分析了温度对双光子亮屏蔽光伏孤子演化及自偏转特性的影响。

1 理论模型

在双光子光伏光折变介质中,一束仅在 x 方向上发生衍射的光线沿 z 轴传播。其上施加有沿 x 方向的外电场 $E_0 = E_0 \hat{x}$,此外,晶体上还施加有与入射光波长不同的均匀启动光。利用 z 方向慢变包络近似可以得到光波满足的傍轴方程:

$$i\phi_z + \frac{1}{2k}\phi_{xx} - \frac{k_0 n_e^3 r_{33} E_{sc}}{2}\phi = 0 \quad (1)$$

式中, ϕ 为 z 方向光场慢变包络, $\phi_z = \partial\phi/\partial z$, $\phi_{xx} = \partial^2\phi/\partial x^2$, r_{33} 为晶体的电光系数, n_e 是未受到扰动的非常光折射率, E_{sc} 是晶体内的空间电荷场,参照参考文献[14]中当分压系数 $g=1$ 时,空间电荷场满足如下方程:

$$E_{sc} = E_0 \frac{(I_{2,\infty} + I_{2,d})(I_2 + I_{2,d} + \gamma_1 N_a / S_2)}{(I_{2,\infty} + I_{2,d} + \gamma_1 N_a / S_2)(I_2 + I_{2,d})} + E_p \frac{S_2(I_{2,\infty} - I_2)(I_2 + I_{2,d} + \gamma_1 N_a / S_2)}{(S_1 I_1 + \beta_1)(I_2 + I_{2,d})} - \frac{D\gamma_1 N_a}{\mu S_2(I_2 + I_{2,d} + \gamma_1 N_a / S_2)(I_2 + I_{2,d})} \frac{\partial I_2}{\partial x} \quad (2)$$

式中, E_0 为外加电场, E_p 为光伏电场, I_1 是均匀启动光强, $I_2 = I_2(x, z)$ 是光波的光强, $I_{2,\infty} = I_2(x \rightarrow \pm\infty, z)$, N_a 为受主数密度, γ_1 为双光子光折变晶体中的中间能级和价带之间的复合系数, β_1 为双光子光折变晶体中的价带到中间能级的热激发常数, S_1 和 S_2 是光电离截面, D 为扩散系数, μ 为电子迁移率, $I_{2,d}$ 是暗辐射光强,它与温度的关系满足:

$$I_{2,d} = I_{2,d}' \left(\frac{T}{300}\right)^{3/2} \exp\left[\frac{E_i}{k_B} \left(\frac{1}{300} - \frac{1}{T}\right)\right] \quad (3)$$

式中, $I_{2,d}'$ 是温度为 300K 时的暗辐射强度, $E_i = 10^{-19}$ J 是介质能带间隙, k_B 是玻耳兹曼常数。

将(2)式代入(1)式,同时采用无量纲坐标和变量代换: $\xi = z/(kx_0^2)$, $s = x/x_0$ 和 $U = (2\eta_0 I_{2,d}/n_e)^{-1/2} \phi$, 其中 x_0 是一任意的空间宽度,可得归一化的光波包络 U 满足如下动态演化方程:

$$iU_\xi + \frac{1}{2}U_{ss} - \frac{\beta(1+\rho)}{(1+\rho+\sigma)} \left(1 + \frac{\sigma}{1+|U|^2}\right)U - \alpha\eta \frac{(\rho - |U|^2)(1 + |U|^2 + \sigma)}{1 + |U|^2}U + \delta \frac{\sigma(|U|^2)}{(1 + |U|^2)(1 + \sigma + |U|^2)}U = 0 \quad (4)$$

$$\text{其中, } \alpha = (k_0 x_0)^2 (n_e^4 r_{33}/2) E_p, \beta = (k_0 x_0)^2 (n_e^4 r_{33}/2) \times E_0, \rho = \frac{I_{2,\infty}}{I_{2,d}}, \eta = \frac{\beta_2}{S_1 I_1 + \beta_1} = \frac{S_2 I_{2,d}}{S_1 I_1 + \beta_1} = \eta_0 \left(\frac{T}{300}\right)^{3/2} \times \exp\left[\frac{E_i}{k_B} \left(\frac{1}{300} - \frac{1}{T}\right)\right], \sigma = \gamma_1 N_a / S_2 I_{2,d} = \sigma_0 \left(\frac{T}{300}\right)^{-3/2} \times \exp\left[-\frac{E_i}{k_B} \left(\frac{1}{300} - \frac{1}{T}\right)\right], \delta = (k_0 x_0)^2 \left(\frac{n_e^4 r_{33}}{2}\right) \left(\frac{D}{\mu x_0}\right) = (k_0 x_0)^2 (n_e^4 r_{33}/2) [k_B T / (ex_0)] \quad (5)$$

扩散系数 δ 与温度的关系满足:

$$\delta = \delta_0 T / 300 \quad (6)$$

式中, δ_0 是温度 $T=300$ K 时的扩散系数。

如果忽略扩散效应的影响,即 $\delta=0$,相应的亮屏蔽光伏孤子演化方程为:

$$iU_\xi + \frac{1}{2}U_{ss} - \frac{\beta}{(1+\sigma)} \left(1 + \frac{\sigma}{1+|U|^2}\right)U + \alpha\eta \frac{|U|^2(1 + |U|^2 + \sigma)}{1 + |U|^2}U = 0 \quad (7)$$

令 $U = r^{1/2}y(s) \exp(i\eta\xi)$, 其中, v 是传播量的非线性位移, $y(s)$ 是归一化的实函数 ($0 \leq \tilde{y}(s) \leq 1$), 亮孤子的边界条件为, $y(0) = 1; y'(0) = 0; y(s \rightarrow \pm\infty) = 0$ 。将 U 的这个形式代入(7)式可得亮孤子归一化包络解为:

$$s = \pm \int_y^1 \left\{ \left[\frac{2\beta\sigma}{r(1+\sigma)} + 2\alpha\eta \frac{\sigma}{r} \right] [\ln(1+ry^2) - y^2 \ln(1+r)] + \alpha\eta r y^2 (1-y^2) \right\}^{-1/2} dy \quad (8)$$

其中,

$$r = I_2(0)/I_{2,d} = r_0 (T/300)^{-3/2} \times \exp\left[-\frac{E_i}{k_B} \left(\frac{1}{300} - \frac{1}{T}\right)\right] \quad (9)$$

下面以(8)式得到的孤波解为入射光波,结合(3)式~(6)式和(9)式,分析温度对双光子光伏光折变介质中亮屏蔽光伏孤子演化特性的影响。

2 温度对亮屏蔽光伏孤子自偏转特性的影响

以具有双光子光伏光折变效应的 Cu:KNSBN 晶体为例,取参量^[14]: $n_e = 2.27$, $\gamma_{33} = 200 \times 10^{-12}$ m/V, $\lambda_0 = 0.5 \mu\text{m}$, $x_0 = 10 \mu\text{m}$, $E_0 = -2 \times 10^6$ V/m, $E_p = 2.8 \times 10^6$ V/m, 可以计算出 $\alpha = 117.3$, $\beta = -84$ 。取 $\sigma_0 = 10^4$, $\eta_0 = 1.5 \times 10^{-4}$, $r_0 = 10$ 。在室温范围内分别取温度为 285K, 290K, 300K 和 305K, 数值求解(8)式可以得到孤子强度包络与温度的关系(见图1)。结果表明,在一定温度变化范围内,随着温度的升高,介质支持的亮屏蔽光伏孤子的光强和半峰全宽均减小,与双光子屏蔽孤子、光伏孤子的情况相同。

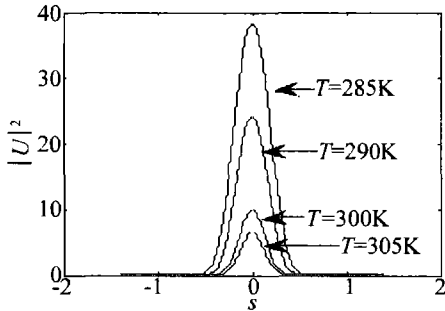


Fig. 1 Intensity profile of bright screening-photovoltaic solitons under different temperature

为了研究温度对亮屏蔽光伏孤子自偏转特性的影响,取与前面同样的参量,以(8)式的数值解为入射

光波,求解演化(4)式,分别得到图2和图3。图2a~图2e中分别给出温度取280K,290K,300K,310K和350K的演化特性。由图中可以看出,温度对亮屏蔽光伏孤子的演化有比较明显的影响。在300K时(见图2c),入射的亮孤子可以在晶体中保持稳定的传播。如果晶体的温度从300K变化不大时(见图2b和图2d),入射的光束演化成为另一稳态的亮孤子。如果晶体的温度从300K变化比较大时(见图2a和图2e),入射的光束不能演化为稳态亮孤子,在温度降到280K时,孤子振幅的最大值随传播距离的增加出现周期性的压缩和膨胀;在温度增加到350K时,孤子随传播距离的增加可能会崩溃。

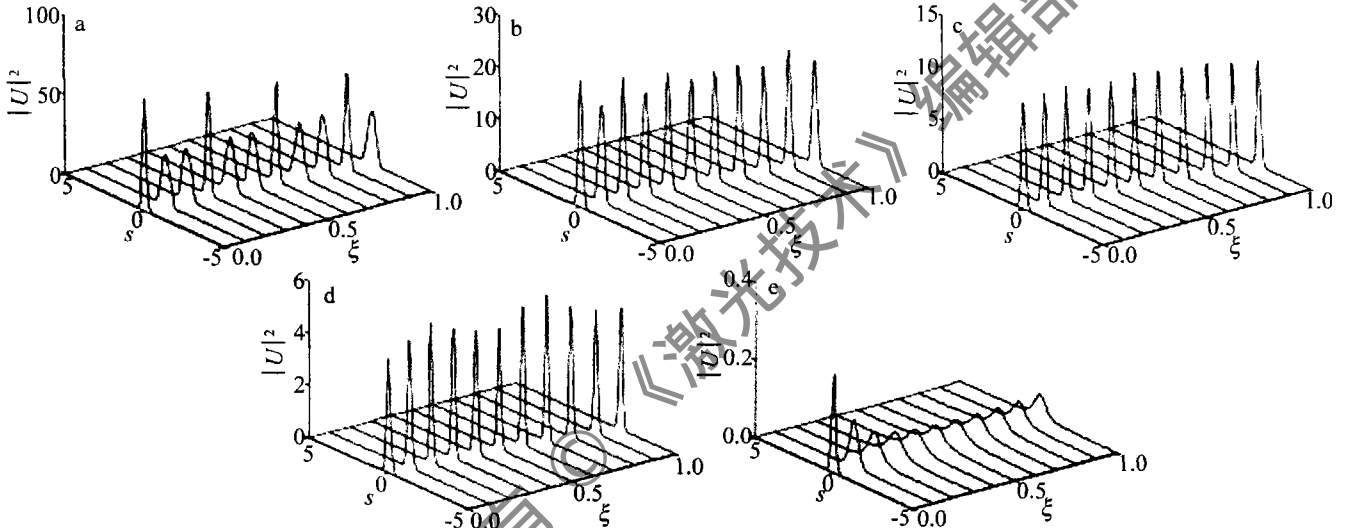


Fig. 2 The evolution of bright screening-photovoltaic spatial solitons in two-photon photorefractive crystal at different temperature
a— $T=280K$ b— $T=290K$ c— $T=300K$ d— $T=310K$ e— $T=350K$

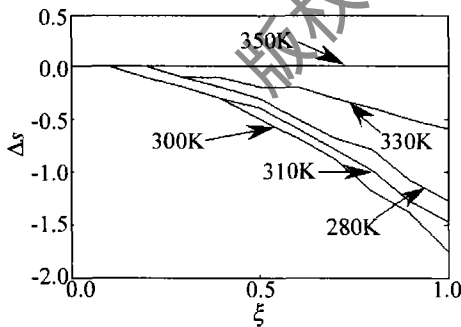


Fig. 3 The deflection-distance of bright screening-photovoltaic spatial solitons in two-photon photorefractive crystal at different temperature

图3中给出温度取280K,300K,310K,330K和350K时,亮孤子中心的偏转距离。可见,双光子亮屏蔽光伏空间孤子中心偏转距离随着温度的升高而加大,在 $T=300K$ 时达到最大值,之后随着温度的升高而减小,当温度足够大时,自偏转现象消失。这与单光子亮屏蔽光伏空间孤子的规律一致^[17]。

为了进一步研究亮屏蔽光伏孤子的自偏转特性,引入参量 $|\Delta s|$ 表示孤波在介质中传播到某一位

置时偏转距离的绝对值,这里取 $\xi=1$ 。在不同温度下,通过求解(4)式来研究入射孤波在介质中偏转距离的温度特性。取参量: $\sigma_0=10^4$, $\eta_0=1.5 \times 10^{-4}$, $r_0=10$, $\alpha=117.3$, β 分别为-84,-42。求得孤波偏转距离的绝对值与温度之间的关系(见图4)。可

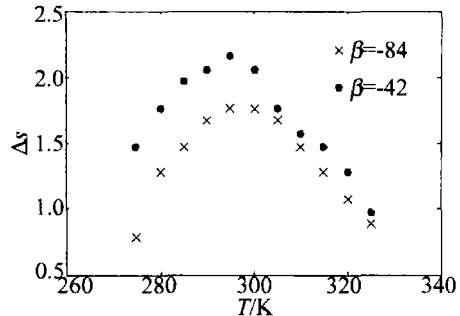


Fig. 4 The relation of temperature and deflection-distance for solitons
见,孤波自偏转距离的绝对值随着温度增加而增加,在某一特定温度处达到最大值,之后随温度的增加而减小;其它参量不变,外加电场增加即 $\alpha+\beta$ 增加时,最大偏转距离的绝对值有所增加,此时所对应的

温度略有减小。

3 结 论

研究了温度的变化对双光子光伏光折变晶体中亮屏蔽光伏空间孤子自偏转特性的影响。在一定温度变化范围内,随着温度的升高,介质支持的亮屏蔽光伏孤子的光强和半峰全宽均减小;当介质的温度变化不大时,孤子将克服较小的扰动而保持稳定的孤子传播,当温度变化足够大时,孤子将变得不稳定甚至崩溃;在一定温度范围内,孤子中心的自偏转距离随着温度的升高先增加后减小,在某一特定温度下达到最大值。通过控制晶体的温度可以改变孤子的空间形态及孤子中心的自偏转距离。

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] DUREE G C, SCHULTZ J L, SALAMO G J, *et al.* Observation of self-trapping of an optical beam due to the photorefractive effect[J]. *Phys Rev Lett*, 1993, 71(4): 533-536.
- [3] SEGEV M, VALLEY G C, CROSIGNANI B, *et al.* Steady-state spatial screening solitons in photorefractive materials with external applied field[J]. *Phys Rev Lett*, 1994, 73(24): 3211-3214.
- [4] SHIH M F, SEGEV M, VALLEY G C, *et al.* Observation of two-dimensional steady-state photorefractive screening solitons[J]. *Electron Lett*, 1995, 31(10): 826-827.
- [5] VALLEY G C, SEGEV M, CROSIGNANI B, *et al.* Dark and right photovoltaic solitons[J]. *Phys Rev*, 1994, A50(14): 4457-4460.
- [6] TAYA M, BASHAW M C, FEJER M M, *et al.* Observation of dark

- photovoltaic spatial solitons[J]. *Phys Rev*, 1995, A52(4): 3095-3100.
- [7] LIU J S, LU K Q. Screening-photovoltaic spatial solitons in biased photovoltaic photorefractive crystals and their self-deflection[J]. *J O S A*, 1999, B16(4): 550-555.
- [8] FAZIO E, RENZI F, RINALDI R, *et al.* Screening-photovoltaic bright solitons in lithium niobate and associated single-mode waveguides[J]. *A P L*, 2004, 85(12): 2193-2195.
- [9] CASTRO-CAMUS E, MAGANA L F. Prediction of the physical response for the two-photon photorefractive effect[J]. *Opt Lett*, 2003, 28(13): 1129-1131.
- [10] HOU Ch F, PEI Y, ZHOU Z X, *et al.* Spatial solitons in two-photon photorefractive media[J]. *Phys Rev*, 2005, A71(5): 053817.
- [11] HOU Ch F, ZHANG Y, JIANG Y Y, *et al.* Photovoltaic solitons in two-photon photorefractive materials under open-circuit conditions [J] *Opt Commun*, 2007, 273(2): 544-548.
- [12] ZHANG Y, HOU Ch F, SUN X D. Grey spatial solitons due to two-photon photorefractive effect [J]. *Chinese Physics*, 2007, 16(1): 159-164.
- [13] LU K Q, ZHAO W, YANG Y L, *et al.* One-dimensional incoherently coupled grey solitons in two-photon photorefractive media[J]. *Appl Phys*, 2007, B87(3): 469-473.
- [14] ZHANG G Y, LIU J S. Screening-photovoltaic spatial solitons in biased two-photon photovoltaic photorefractive crystals [J]. *J O S A*, 2009, B26(1): 113-120.
- [15] CARVALHO M I, SINGH S R, CHRISTODOULIDES D N. Self-deflection of steady-state bright spatial solitons in biased photorefractive crystals[J]. *Opt Commun*, 1995, 120(5/6): 311-315.
- [16] CHENG L J, PARTOVI A. Temperature and intensity dependence of photorefractive effect in GaAs[J]. *A P L*, 1986, 49(21): 1456-1458.
- [17] JI X M, XIE S J, WANG J L, *et al.* Effect of temperature on the dynamic evolution of Gaussian beam in biased photovoltaic-photorefractive crystal[J]. *Laser Technology*, 2009, 33(1): 97-99 (in Chinese).

(上接第531页)

光性能好。同时分析得出 XeCl 准分子激光器输出窗透射率和激光能量、脉宽以及光束发散角之间的关系。这些实验结果为研制商业化小型准分子激光器件提供了有力支持和可靠依据。

参 考 文 献

- [1] OGURA G, ANDRES R. Small excimers opening up new industrial applications [J]. *Proc SPIE*, 1997, 2992: 7-14.
- [2] DENG G Q, YU Y Sh. Development and experimental study of excimer laser refractive system[J]. *Laser Technology*, 2005, 29(4): 417-419 (in Chinese).
- [3] GORTLER A, STROWITZKI C. Progress in the development of compact excimer lasers[J]. *Proc SPIE*, 2005, 5777: 562-565.
- [4] GORTLER A, MATERN A. Compact excimer lasers for metrology and inspection applications[J]. *Proc SPIE*, 2004, 5457: 105-115.
- [5] LONG W H, Jr, PLUMMER M J, STAPPAERTS E A. Efficient dis-

- charge pumping of an XeCl laser using a high-voltage prepulse[J]. *A P L*, 1983, 43(8): 735-737.
- [6] KUSHNER M J. Microarcs as a termination mechanism of optical pulses in electric-discharge excited KrF excimer lasers[J]. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 1991, 19(2): 387-399.
- [7] SHI M M, JIANG H H, DENG G Q, *et al.* Development of controller for excimer laser based on optical fiber[J]. *Laser Technology*, 2009, 33(1): 100-104 (in Chinese).
- [8] HOKAZONO H, MIDORIKAWA K, OBARA M, *et al.* Theoretical analysis of a self-sustained discharge pumped XeCl laser[J]. *J A P*, 1984, 56(3): 680-690.
- [9] TAYLAR R S. Preionization and discharge stability study of long optical pulse duration UV-preionized XeCl lasers[J]. *J A P*, 1986, B41(1): 1-24.
- [10] DENG G Q, ZHU Zh Q, YU Y Sh. Study of the low gain excimer laser optimum transmission [J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, 25(3): 359-363 (in Chinese).