

文章编号: 1001-3806(2009)01-097-03

温度对光伏光折变晶体中高斯光束演化的影响

吉选芒¹, 谢世杰¹, 王金来¹, 刘劲松²

(1. 运城学院 物理与电子工程系, 运城 044000; 2. 华中科技大学 光电子科学与工程学院, 武汉 430074)

摘要: 为了得到温度对有偏压光伏光折变晶体中高斯光束演化特性的影响结果, 基于暗辐射强度对温度的依赖关系, 研究了不同温度下高斯光束在光伏光折变晶体中的动态演化。将高斯光束作为入射波, 采用数值方法求解波传播方程, 当温度是 300K 时, 与晶体匹配的高斯光束可演化成稳定的屏蔽光伏明孤子; 当温度变化较大时, 高斯光束变得不稳或者发散。在失配的条件下, 通过改变晶体的温度能使一不稳定的高斯光束变成一稳定的明孤子波。结果表明, 这种温度增加或减少控制下的光伏光折变晶体中高斯光束演化特性的改变有望应用于温控光器件。

关键词: 非线性光学; 光折变效应; 光伏光折变晶体; 高斯光束; 温度特性

中图分类号: O734^{+.1} **文献标识码:** A

Effect of temperature on the dynamic evolution of Gaussian beam in biased photovoltaic-photorefractive crystal

Ji Xuan-mang¹, XIE Shi-jie¹, WANG Jin-lai¹, LIU Jin-song²

(1. Department of Physics and Electronic Engineering, Yuncheng University, Yuncheng 044000, China; 2. College of Optoelectronic Science and Engineering, Huanzhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: In order to obtain the effect of temperature on the dynamical evolution of Gaussian beam in biased photovoltaic-photorefractive crystal, the dynamical evolution of Gaussian beam in biased photovoltaic photorefractive crystal at different temperatures was investigated by taking into account the temperature dependence of dark irradiation. Taking the Gaussian beam as the input wave, the beam propagation equation was solved numerically. A matched Gaussian beam can evolve into a stable screening-photovoltaic bright soliton at temperature of 300K, whereas it will become unstable or diverge when the temperature change is large enough. Under mismatch conditions, an unstable Gaussian beam can evolve into stable screening-photovoltaic bright solitons by adjusting the crystal temperature. The result indicate that the change of the evolution of a Gaussian beam in photovoltaic-photorefractive crystal controlled by the increases or decreases of the temperature can be applied in thermo-control optical devices.

Key words: nonlinear optics; photorefractive effects; photovoltaic-photorefractive crystal; Gaussian beam; temperature dependence

引言

自上世纪 90 年代, 空间光孤子的研究受到了人们极大的关注。迄今为止, 已从理论上证明了存在 3 种稳态光折变空间光孤子: 屏蔽孤子、光伏孤子以及屏蔽光伏孤子, 其中前两种已在实验中得到验证^[1-12]。对于一块给定的光折变晶体, 在忽略损耗和扩散效应的情况下, 提供适当的均匀外加电场后, 入射到晶体上的类孤子高斯光束能在晶体中演化成稳定的屏蔽亮孤

子^[13]。HAO 等^[14]研究了串联光折变晶体回路中调节暗孤子入射强度对另一块晶体中高斯光束传播特性的影响。而光折变材料的暗辐射强度是温度的强变化函数, 对光折变效应的特性影响甚大^[10, 15]。当晶体的温度不同时, 晶体的暗辐射强度会产生相应的变化, 这一变化导致明孤子的强度与暗辐射强度的比值产生变化。作者用一束类孤子高斯光束入射到有偏压的光伏光折变晶体上, 通过改变晶体温度, 来研究高斯光束在晶体中演化特性。

1 基本理论

设有一束只在 x 方向偏振, 并只在 x 方向(与 c 轴平行)衍射的光波沿 z 方向入射到一个沿 x 方向施加外电场的光伏光折变晶体上。

设 $I = I(x, z)$ 为光波的光强, 通常表示为 $I =$

基金项目: 山西省高等学校科技开发资助项目 (200611042)

作者简介: 吉选芒 (1965-), 男, 工学硕士, 教授, 从事物理教学与光折变非线性光学方面的研究工作。

E-mail: jixuanmang@126.com

收稿日期: 2007-11-16; 收到修改稿日期: 2007-12-15

$I_d |U|^2$, 其中, I_d 为晶体材料的暗辐射强度, U 为归一化的光场包络。根据 1 维的稳态孤子理论, 归一化的光场包络满足的动态演化方程为^[4]:

$$iU_\xi + \frac{1}{2}U_{ss} - \beta(\rho + 1) \frac{U}{1 + |U|^2} - \alpha \frac{(\rho - |U|)^2 U}{1 + |U|^2} + \gamma \frac{(|U|^2)_s U}{1 + |U|^2} = 0 \quad (1)$$

式中, $\beta = \sigma E_0$, $\rho = I_\infty / I_d$, $\alpha = \sigma E_p$, $\gamma = \sigma k_B T / (x_0 e)$, $\sigma = (k_0 x_0)^2 (n_c^4 r_{33} / 2)$, $I_\infty = I(x \rightarrow \pm \infty, z)$, $k_0 = 2\pi / \lambda_0$, λ_0 为光波在自由空间中的波长, r_{33} 为有效电光系数, n_c 为晶体非常光折射率, E_p 为光波感应出的空间电磁场, k_B 是玻尔兹曼常数, e 为基本电荷, T 为绝对温度, E_0 为在晶体外施加的电场强度, x_0 为一个任意的空间宽度, 无量纲的坐标 $\xi = z / (k x_0^2)$, $s = x / x_0$, 其中 $k = n_c k_0$, $U_\xi = \partial U / \partial \xi$, $U_{ss} = \partial^2 U / \partial s^2$, β 和 γ 分别是与漂移场和扩散场相联系的无量纲量, α 是与 E_p 有关的无量纲量。在晶体的温度变化时, β 变化不大, 而 γ 和暗辐射强度 I_d 随温度迅速变化。本文中不考虑扩散的影响, 重点研究暗辐射强度对高斯光束的影响, 为此采用 CHENG 和 PARTOVI^[15] 给出的 I_d 随温度变化的关系式:

$$I_d = I_{d0} (T/300)^{3/2} \exp\left[\frac{E_i}{k_B} \left(\frac{1}{300} - \frac{1}{T}\right)\right] \quad (2)$$

式中, I_{d0} 为室温 ($T = 300\text{K}$) 时的 I_d 值, E_i 是间隙中的能级位置, 对于典型的光伏光折变晶体, 如 LiNbO_3 , $E_i = 10^{-19} \text{J}$ ^[11]。

在忽略扩散效应的条件下, 由 (1) 式可得孤子的传播方程为:

$$iU_\xi + \frac{1}{2}U_{ss} + \alpha U - (\alpha + \beta)(1 + \rho) \frac{U}{1 + |U|^2} = 0 \quad (3)$$

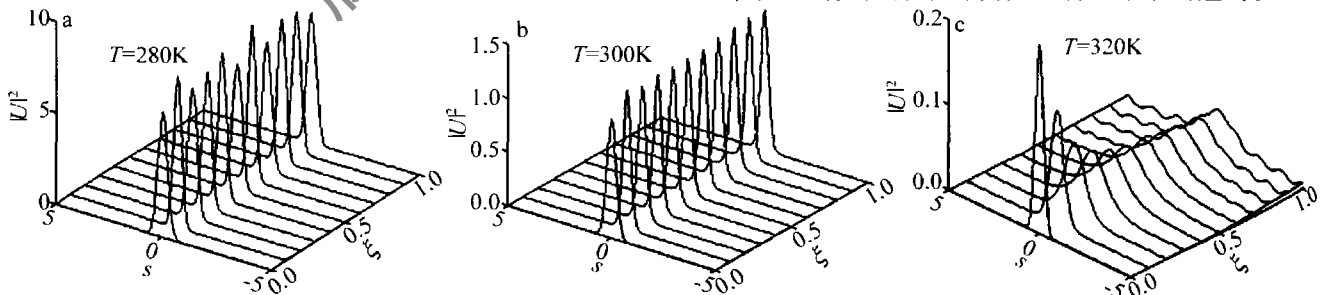


Fig. 1 Evolution of an incident Gaussian beams $U = r_0^{1/2} \exp(-s^2/0.4^2)$ in the crystal under different temperature

图 1a~图 1c 中分别表示 280K, 300K 和 320K 时高斯光束的动态演化。由图 1 中可以看出, 在 $T = 300\text{K}$ 的情况下, 由于选取的高斯光束与晶体中支持的明孤子匹配, 高斯光束在晶体中可以很快演化为稳定的空间明孤子, 即在传播过程中能保持强度包络不变。这是由于选择的入射高斯光束与晶体中支持的空间明

利用参考文献 [3] 中相同的方法, 令 $U = r^{1/2} y(s) \exp(i\theta\xi)$, 其中 $r = I_0 / I_d = I(0, 0) / I_d$ 是光束中心强度与暗辐射强度的比值, $y(s)$ 为归一化明孤子场强包络, 对明孤子 $0 \leq y(s) \leq 1$, v 表示光波传播常数的空间位移, 利用明孤子包络解的边界条件: $y(0) = 1$, $y(\infty) = 0$ 和 $y(s \rightarrow \pm \infty) = 0$, 在 $\rho = 0$ 的情况下, 由 (3) 式可以得到明孤子数值积分的形式:

$$[2(\alpha + \beta)]^{1/2} s = \pm \int_{y(s)}^1 \frac{r^{1/2}}{[\ln(1 + r\tilde{y}^2) - \tilde{y}^2 \ln(1 + r)]^{1/2}} d\tilde{y} \quad (4)$$

$v = -[(\alpha + \beta)/r] \ln(1 + r)$, 对于屏蔽光伏明孤子, 由 (4) 式可以看出, 必须要求 $\alpha + \beta > 0$ 。

由 $r = I_0 / I_d = I(0, 0) / I_d$ 和 (2) 式可以得出 r 随温度的变化关系为:

$$r = r_0 (T/300)^{3/2} \exp\left[-\frac{E_i}{k_B} \left(\frac{1}{300} - \frac{1}{T}\right)\right] \quad (5)$$

式中, r_0 是室温时的 r 的值, 利用 (5) 式结合入射的高斯光束数值求解 (3) 式, 可以研究高斯光束晶体温度变化时在外加偏压的光伏光折变晶体中的演化特性。

2 高斯光束在光折变晶体中演化的温度特性

首先来研究入射的高斯光束当晶体温度变化时在晶体中的演化特性, 利用参考文献 [13] 中的做法, 可以找到一个与 (4) 式的明孤子相匹配的高斯光束, 光折变晶体的参量选取如下: $\alpha = -100$, $\beta = 135$, $r_0 = 1$, 室温下与晶体中支持的明孤子相匹配的高斯光束为 $U = r_0^{1/2} \exp(-s^2/0.4^2)$, 式中的 0.4 是高斯光束的束腰的特征参量。图 1 是以上述高斯光束作为入射光束, 数值求解 (3) 式得到在不同温度下高斯光束在光伏光折变晶体中的演化特性。可以看出, 温度对高斯光束在光折变晶体中的演化影响是非常明显的。

孤子相匹配的原因, 这是必然的结果。然而, 在温度 $T \neq 300\text{K}$ 时, 高斯光束不能演化成稳定的屏蔽光伏明孤子。如在 280K, 高斯光束的演化有较大周期的压缩或膨胀, 光束的最大振幅随传播距离呈现出振荡趋势; 而在 $T = 320\text{K}$, 光束的最大振幅随传播距离迅速衰减。究其原因, 由于 $r = I(0) / I_d$ 是随温度变化的, 而明孤

子的 $r = r_0$ 是在 300K 时确定的。而当 $T \neq 300K$ 时, $r \neq r_0$, 高斯光束与晶体中支持的明孤子不匹配, 故

高斯光束不能在晶体中形成稳定的屏蔽光伏明孤子。图 2 是上述高斯光束在相同参量下不同温度情况

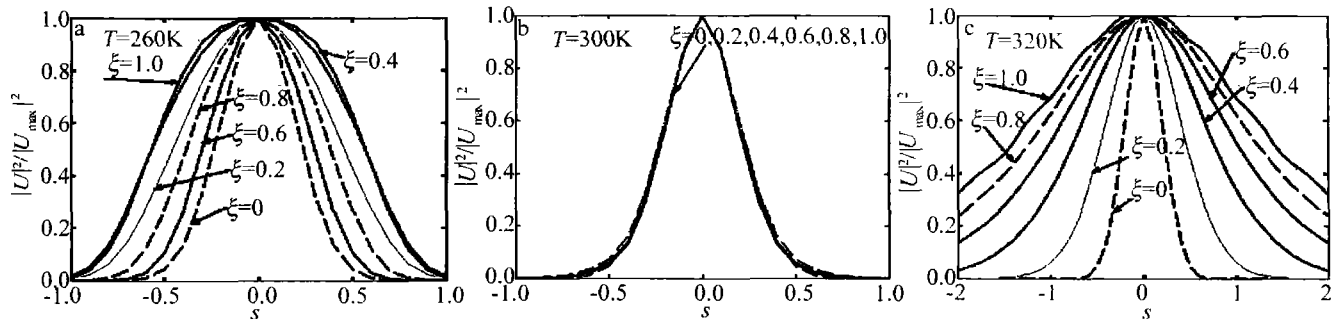


Fig. 2 Normalized evolution envelope of a Gaussina beam in $\xi=0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ under different temperature

下, 在晶体中传播时, 在 ξ 为 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 处的归一化强度包络对比。图 2a 是 $T = 260K$ 时的情况, 可以看出, 温度降低后, 高斯光束在晶体中的归一化包络出现先展宽后压缩到再展宽的变化过程, 这是由于温度降低时, 高斯光束在晶体中传播时呈现周期性振荡所引起的。 $\xi = 0.2$ 时, 光束的最大振幅由于温度的影响降低, 所以宽度加宽; $\xi = 0.6$ 时, 光束的最大峰值变大, 宽度必然变窄。图 2b 是在 $T = 300K$ 的情况下, 高斯光束在晶体中传播时归一化包络几乎保持不变, 这是必然的。由于在 $T = 300K$ 时入射的高斯光束与晶体中支持的明孤子是相匹配, 高斯光束在晶体中形成稳定的屏蔽光伏明孤子。图 2c 是 $T = 320K$ 时的情况, 可以看出高斯光束在晶体中传播时, 归一化包络在扩大, 这是由于温度升高, 高斯光束在晶体中传播时, 强度峰值在变小, 宽度必然在展宽, 如果温度过高, 高斯光束在晶体中完全发散。

是否可以改变高斯光束的传播行为。图 3 中给出的是该高斯光束在 $T = 300K$ 和 $T = 330K$ 时在晶体中的演化行为。由图 3 可以看出, 在 $T = 300K$ 时, 入射的高斯光束在晶体中不能演化成稳定的明孤子, 这是由于入射的高斯光束参量 r 和束腰特征参量都发生了变化, 与晶体不匹配了。而当温度升高到 330K 时, 高斯光束在晶体中可演化成稳定的空间明孤子。这是由于升温改变了振幅, 使得其与晶体的参量匹配的缘故。

3 结论

由上面的数值计算可知, 温度对高斯光束在有偏压的光伏光折变晶体中的传播行为有显著的影响。在室温 ($T = 300K$) 时, 与晶体匹配的高斯光束能演化为稳定的屏蔽光伏明孤子, 当温度升高或降低时, 高斯光束与晶体失配, 就不能演化为稳定的明孤子。在温度降低时, 高斯光束的归一化包络呈现相互交替的展宽与收缩。温度升高, 高斯光束的归一化包络只呈现展宽的现象。如果入射的高斯光束与晶体不匹配, 通过改变温度, 可让高斯光束演化为稳定的空间明孤子, 这种方法在温控光开关等光学元件上有潜在的应用价值。

参考文献

- [1] HOU CF, LIS Q, LI B, *et al.* Spatial solitons in photorefractive media [J]. Progress in Physics, 2001, 21 (2) :237-245 (in Chinese).
- [2] LIU J S, LU K Q. Spatial solitaire wave in biased photovoltaic-photorefractive crystals [J]. Acta Physica Sinica, 1998, 47 (9) :1509-1514 (in Chinese).
- [3] SEGEV M, CROSIGNANI B, YARIV A. Spatial solitons in photorefractive media[J]. Phys Rev Lett, 1992, 68(7) :923-926.
- [4] DUREE G C, SHULT J L, SALAMO G J, *et al.* Observation of self-trapping of an optical beam due to the photorefractive effete [J]. Phys Rev Lett, 1993, 71(4) :533-536.
- [5] CHRISTODULIDES D N, CARVALHO M. Bright, dark and gray spatial solition states in photorefractive media [J]. J O S A, 1995, B12 (9) :1628-1633.

如果入射的高斯光束变为 $U = (5)^{1/2} \times \exp(-s^2/0.3^2)$, 在 $T = 300K$ 时在光折变晶体中是否还能演化为稳定的空间明孤子, 如果晶体的温度改变,

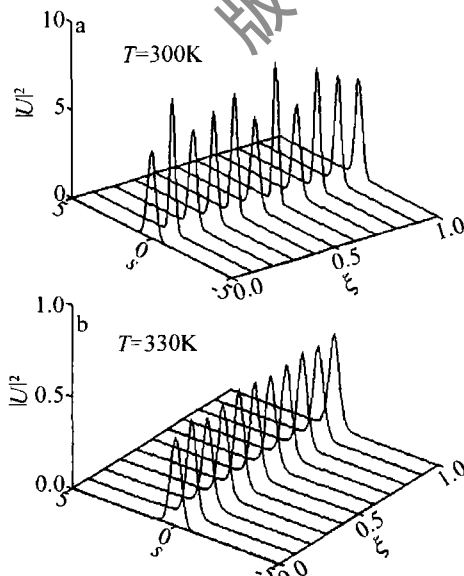


Fig. 3 Evolution of an incident Gaussian beam $U = (5)^{1/2} \exp(-s^2/0.3^2)$ in the crystal under different temperature

在该激光器控制系统中,系统模拟输入通道的实际分辨率最高为10位,相对于传统的模拟显示表盘,压力和能量的采集精度有所提高。系统模拟输出通道实际有效分辨率为10位。在能量控制中,要求激光器工作电压变化最小为100V,即8位的分辨率,控制系统10位的分辨率可以提高控制的精度。系统中使用的光纤长度为3m。激光器的阈值电压最小为10kV,从阈值电压以上的11kV开始,在手动控制模式下,进行电压调节测得的工作电压和激光发射能量的关系如图6所示,由于激光器腔体设计的关系,激光能量在达到10.2mJ后便不在增加。

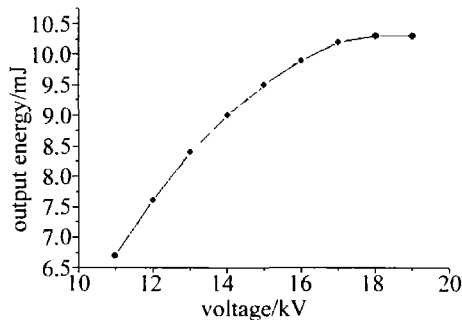


Fig. 6 Laser output energy vs. laser voltage

5 结论

实验证明,该系统可以不受电磁干扰的影响,工作状态稳定。通过增加光纤的长度和对模拟光纤收发模块进行校准后,可以实现激光器不受干扰的远程控制。不足的地方是模拟光纤传输模块的精度影响了系统的整体控制精度,如果能提高模拟光纤传输模块的性能,就能进一步提高控制系统的精度。

参考文献

- [1] DENG G Q, ZHU Zh Q, HE L H. EMI and suppression methods in excimer laser system [J]. Optoelectronic Technology & Information, 2005, 18(3): 24-26 (in Chinese).
- [2] RODGER H, LORI R, LAWRENCE E, et al. Fiber optics timing, firing and control systems for high energy density physics experiments at pegasus II [J]. SPIE, 1996, 2611: 227-234.
- [3] SONG W W, ZHANG CH D, LIU Y, et al. Development of a field measurement instrument for nuclear electromagnetic pulse (NEMP) based on signal transmission through fiber [J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2007, 27(2): 246-249 (in Chinese).
- [4] ZHANG P J, AN Q, WANG Y F. Application of fibre optic in HE-SYRL new timing system [J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 1998, 18(5): 368-370 (in Chinese).
- [5] CHENG L, MIAO D. Study of the technology of optical fiber transmission in missile control system [J]. Tactical Missile Technology, 2006(3): 81-84 (in Chinese).
- [6] FAN Y P, HUANG X Y, XU Y Sh. Development of a microcomputer controlling system for high power excimer laser [J]. Chinese Journal of Quantum Electronics, 2002, 19(1): 21-24 (in Chinese).
- [7] PENG D F, WANG Y Q, LI B. Real-time power measurement and control system of high power CO₂ lasers [J]. Laser Technology, 2006, 30(5): 483-485 (in Chinese).
- [8] STRAUS J. Linearized transmitters for analog fiber links [J]. Laser Focus, 1978, 14(10): 54-61.
- [9] KOICHI A, TATSUYA K. Linearization of LED nonlinearity by predistortions [J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 1978, 13(1): 133-138.
- [10] XI H B, WANG M M, ZHU Sh L, et al. Optical fiber transmission system for radar signal [J]. Optical Communication Technology, 2007(5): 34-36 (in Chinese).
- [11] FENG G B, LIU F H, YANG P L, et al. Practical broadband analog fiber optic transmission system [J]. Infrared and Laser Engineering, 2003, 32(16): 587-589 (in Chinese).
- [12] LIU J S, HAO Z H. Separation of spatial soliton pairs and solitons interaction in an unbiased series photorefractive crystal circuit [J]. Phys Lett, 2003, A29(7): 213-220.
- [13] ZHANG D Y, LIU J S, LIANG C H. Solitary evolution of Gauss beam in photovoltaic-photorefractive crystal [J]. Acta Optica Sinica, 2001, 21(6): 647-651 (in Chinese).
- [14] HAO Z H, LIU J S. Modulation on dynamical evolution of Gaussian beam in an unbiased serial photorefractive crystal circuit [J]. Acta Physica Sinica, 2002, 51(12): 2772-2777 (in Chinese).
- [15] CHENG L J, PARTOVI A. Temperature and intensity dependence of photorefractive effect in GaAs [J]. A P L, 1986, 49(21): 1456-1458.

(上接第99页)

- [6] VALLEY G C, SEGEV M, CROSIGHANI B, et al. Dark and bright photovoltaic solitons [J]. Phys Rev, 1994, A50(6): R4457-R4460.
- [7] SEGEV M, VALLEY G C, BASHAW M C, et al. Photovoltaic spatial solitons [J]. J O S A, 1997, B14(7): 1772-1781.
- [8] LIU J S, LU K Q. Screening-photorefractive spatial solitons in biased photovoltaic-photorefractive crystals and their self-deflection [J]. J O S A, 1999, B16(4): 550-555.
- [9] HOU C F, YUAN B H, SUN X D. Incoherently coupled screening-photovoltaic soliton pairs [J]. Acta Physica Sinica, 2000, 49(10): 1969-1971 (in Chinese).
- [10] JI X M, WANG J L, LIU J S, et al. The temperature dependence of incoherently coupled bright-dark screening photovoltaic solution pairs [J]. Laser Technology, 2004, 28(4): 387-389 (in Chinese).
- [11] JI X M, NIE H X, WANG J L, et al. Temperature dependence of the