

偶氮苯饱和吸收的光学双稳态的稳态理论研究^{*}

张 伟, 秦树英, 吴添洪, 王 惠

(中山大学光电材料与技术国家重点实验室, 广东 广州 510275)

摘 要: 通过理论模拟, 研究了稳态条件下, 基于偶氮苯光致异构的饱和吸收效应的光学双稳态性质。首先计算了在饱和吸收条件下样品的透射率随入射光强的变化关系, 然后计算在饱和吸收条件下光学双稳态过程。结果表明, 在稳态条件下, 基于偶氮苯的光致异构过程能够实现光学双稳态的开关过程, 光学双稳态开关过程主要受以下 3 个因数影响: ①样品的温度 (用 K 参数表示), 研究表明偶氮苯稳态条件下开关过程随 K 值的增大而明显增强; ②反式偶氮苯分子的吸收截面 σ_r , 双稳态开关过程随 σ_r 的增加而增强; ③顺式偶氮苯分子的吸收截面 σ_c , 开关过程随 σ_c 的增加而减弱。

关键词: 偶氮苯化合物; 无腔光学双稳态; 光致异构

中图分类号: O437.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2005) 03-0038-04

光学双稳态是量子电子学领域的新课题, 是激光理论和技术的新发展。1969 年 Szoke 等^[1]首先在理论上预言了吸收型光学双稳态的存在, 1975 年贝尔实验室的 Gibbs 等^[2]首先在含 Na 蒸汽的法布里-珀罗腔中进行实验时发现了色散型光学双稳性。由于它的科学价值和诱人的应用前景, 引起了世界各国的广泛重视。目前无机半导体的光学双稳态的理论, 从稳态到动力学理论都已比较完善。进一步研究朝着高速度、低功耗、小尺寸和温室运转的光学双稳态器件, 并研究它的开关, 记忆、限幅、放大、振荡等光逻辑功能^[3]。为它在光学通讯, 光学计算机、集成光学以及其他激光技术中的应用提供条件。

光学双稳态是指一个光学系统在给定的输入光强下, 存在着两个可能的输出光强状态, 而且可以用光学方法实现两态间的开关转换^[4]。基于无机半导体光学双稳态响应速度的局限性^[3], 最近, 一类有机和聚合物的光致异构性能引起了人们的广泛关注^[5,6]。所谓光致异构指化合物的分子结构通过光诱导可以在 2 个异构体之间发生可逆的变化, 而两个异构体有完全不同的光学性质, 当化合物分子在两种异构态之间转换时对应于计算机运算中 0—1 转换^[7]。通过光学的手段, 可以实现基于光致异构的光学双稳态过程。本文研究了在稳态条件下, 基于一类典型的光致异构有机材料: 偶氮苯的饱和吸收的光学双稳态性质。

偶氮苯化合物含有的偶氮苯生色团具有顺反 2 种同分异构体。研究表明, 反式 (Trans) 2 个苯环式中心对称, 在同一平面内; 顺式 (Cis) 2 个苯环在氮氮双键 ($-\text{N}=\text{N}-$) 的同一侧, 而且是面对面的。偶氮苯在一定波长光激发下能够发生反式通过中间态向顺式的转变。偶氮苯分子的基态为反式状态, 通过光作用可使偶氮苯分子发生由反式向顺式的结构异构化转变, 转变速度通常为飞秒量级 ($\sim 17 \text{ fs}$)^[8], 顺式通过热弛豫或光激发可重新衰变为反式状态。在稳态条件下, 偶氮苯光致异构过程通常由一个二能级模型所示 (中间态转变等过程由于寿命很短都可忽略)^[8], 由图 1 所示。

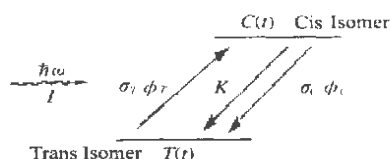


图 1 偶氮苯分子光致异构二能级系统模型示意图

Fig. 1 Simplified model of the molecular energy states

1 计算结果和分析

采用了 Zimmerman^[7]提出的一个简单化二能级近似模型来描述偶氮苯分子的光致异构过程。如图 1 所示, $T(t)$ 和 $C(t)$ 分别表示单位体积内顺式和反式的粒子数, T_0 是单位体积内的总粒子数, 它们是时间的函数。 ϕ_r 和 ϕ_c 分别代表反式 (Trans) $\rightarrow$ 顺

^{*} 收稿日期: 2004—07—01

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目 (021705)

作者简介: 张伟 (1980 年生), 男, 硕士研究生; 通讯联系人: 王惠; E-mail: stsw@zsu.edu.cn

式(Cis)和 Cis→Trans 的量子跃迁几率。 σ_T 和 σ_C 分别代表顺式与反式的吸收截面面积, K 是热反应速率常数。当偶氮苯反式异构体吸收了光强为 I , 频率为 ω 的光后, 转变为顺式异构体的几率是 $\phi_T\sigma_T$ 。同样, 顺式转变为反式的几率是 $\phi_C\sigma_C$ 。同时顺式会以热反应速率 K 驰豫回到反式。描述这一过程的速率方程为:

$$\begin{cases} \frac{dC(t)}{dt} = \frac{I}{\hbar\omega}\sigma_T\phi_T T(t) - \frac{I}{\hbar\omega}\sigma_C\phi_C C(t) - KC(t) \\ T_0 = T(t) + C(t) \end{cases} \quad (1)$$

当 $t \rightarrow \infty$, 即系统处于稳态时, 解以上方程组可得:

$$C(\infty) = \frac{\sigma_T\phi_T T_0}{\sigma_T\phi_T + \sigma_C\phi_C + \frac{\hbar\omega}{I}K}$$
$$T(\infty) = \frac{\left(\sigma_C\phi_C + \frac{\hbar\omega}{I}K\right) T_0}{\sigma_T\phi_T + \sigma_C\phi_C + \frac{\hbar\omega}{I}K} \quad (2)$$

又样品的吸收系数可表为:

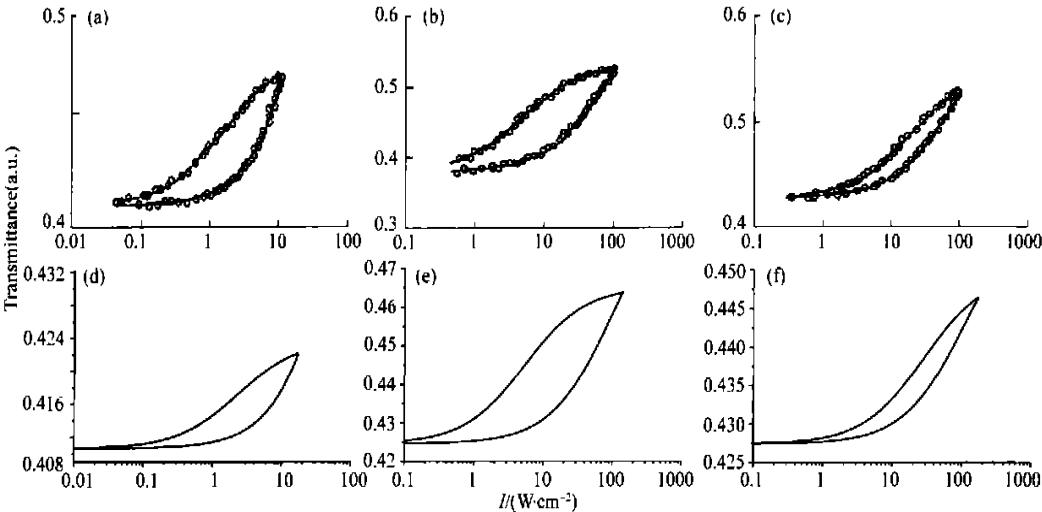


图 2 3 种细菌视紫红质分子基于饱和吸收的稳态无腔双稳态实验回线

Fig.2 Bistability loop based on saturated absorption of three kinds of bacteriorhodopsin

(a), (b), (c) 是由文献 [9] 给出的结果; (d), (e), (f) 是本文模拟计算得到的曲线

在此基础上, 计算了偶氮苯在稳态条件下基于饱和吸收的稳态无腔光学双稳态过程。其中参数的选取参见文献 [8]。

图 3 是偶氮苯化合物在近共振吸收下的透射率随光强的变化关系曲线。由图可看出, 对于不同的反式(基态)吸收截面, 透过率随光强的变化是饱和吸收过程, 并随着 σ_T 增加, 基于饱和吸收的透过率也增大。

图 4 显示了不同 K 值条件下的双稳态开关过程。由图 4 可以看出, 随着 K 值增大, 双稳态过程变得更加明显, 当 $K=0.3\text{ s}^{-1}$, 光学双稳态表

$$\alpha = \sigma_T\phi_T T(\infty) + \sigma_C\phi_C C(\infty) =$$
$$\frac{2\sigma_C\phi_C + \frac{\hbar\omega}{I}K}{\sigma_T\phi_T + \sigma_C\phi_C + \frac{\hbar\omega}{I}K} = \alpha_0 - \frac{gI}{1+I/I_s} \quad (3)$$
$$\frac{dI}{dz} = -\alpha(I)I; \quad \alpha_0 = \sigma_T\phi_T T_0;$$
$$g = \sigma_T\phi_T T_0 \frac{\sigma_T\phi_T - \sigma_C\phi_C}{\hbar\omega K};$$
$$I_s = \frac{\hbar\omega K}{\sigma_T\phi_T + \sigma_C\phi_C}$$

根据上述方程, 编写了程序进行了模拟计算。首先, 为了确认程序正确性, 以文献 [9] 报道的另一类光致异构材料细菌视紫红质分子(bacteriorhodopsin)的参数进行了稳态条件下的双稳态过程计算(见图 2)。

比较图 2 的上下两行图可看出本文计算结果与文献报道的实验结果基本一致, 证明了本文的计算程序的正确性。

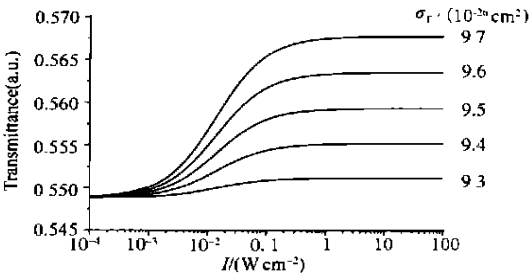


图 3 偶氮苯在不同吸收截面条件下 T 随 I 的变化

Fig.3 Transmission vs incident intensity, taken at different absorption cross sections

$$\sigma_C = 8.8 \times 10^{-26} \text{ cm}^2$$

现出明显的开关过程。

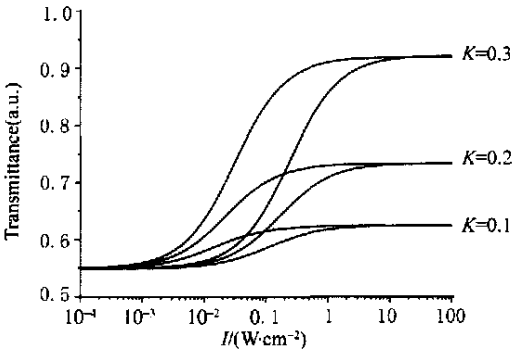


图 4 不同 K 值对应的双稳态迟滞回线
Fig. 4 Curve of optical bistability depending on different value of K

图 5 显示了双稳态过程随 σ_c 的变化而变化的过程。由图可得，随着顺式（激发态）吸收截面增大，双稳过程变得越来越不明显，开关过程明显减慢，这表明激发态吸收不利于基于饱和吸收双稳态过程的实现。

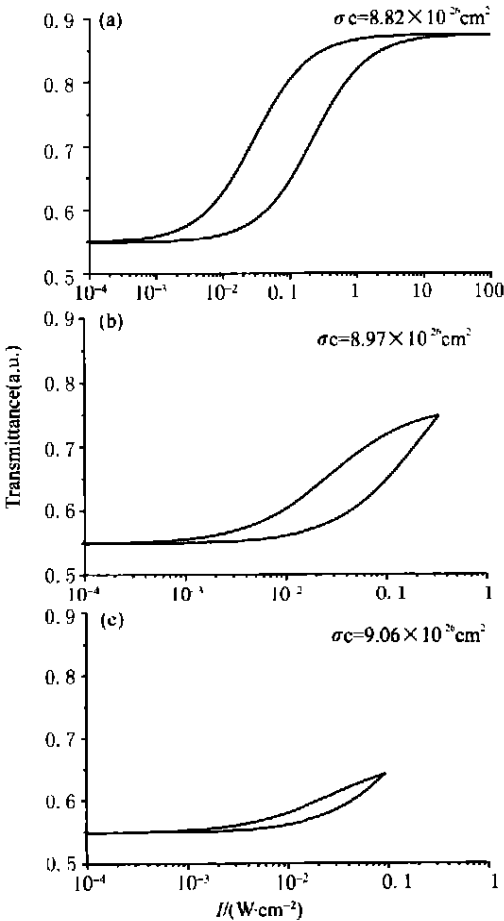


图 5 不同 σ_c 值对应的双稳态曲线
Fig. 5 Curve of optical bistability depending on different value of σ_c

图 6 显示了随着 σ_r 的增加双稳态过程的变化情况。结果表明，随着反式吸收截面的增加，饱和吸收过程加快，因而有利于光学双稳态的形成。

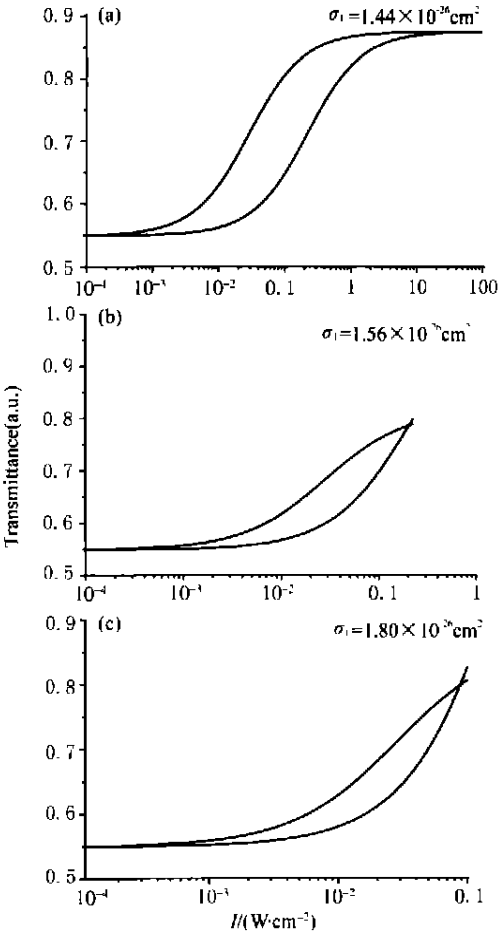


图 6 不同 σ_r 值对应的双稳态曲线
Fig. 6 Curve of optical bistability depending on different value of σ_r

2 结 论

我们对偶氮苯化合物饱和吸收条件下稳态双稳态过程进行了初步理论分析，结果表明：基于偶氮苯分子的光致异构可以实现无腔光学双稳态。同时样品温度、偶氮苯顺式反式吸收截面对双稳态过程实现都有重要影响。

参考文献:

[1] SZOKE A, DANEU V, GOLDHAR J, et al. Bistable optical element and its applications[J]. Appl Phys Lett. 1969, 15: 367— 370.
[2] McCALL S L, GIBBS H M, CHURCHILL G G, et al. [J]. Bull Am Phys Soc, 1975, 20: 636— 671.
[3] RAMANUJAM P S, HVLSTED S, UJHELYI F. Physics and technology of optical storage in polymer thin films[C]. Synthetic Metals. 2001; 124— 145.

[4] 李淳飞. 光学双稳态研究 20 年[J] . 物理, 1996, 25(5): 267— 272.

[5] BRZOZOWSKI L, SARGENT E H. Azobenzenes for photonic network applications; Third-order nonlinear optical properties [J] . Mate Sci Mate Elec, 2001, 12: 483— 489.

[6] 王国杰, 王晓工. 含偶氮苯生色团的树枝状大分子研究进展[J] . 高分子学报, 2002(3): 19— 23.

[7] HUANG Y, SUN Z, DING L, et al. A new polymeric material for optical swithing[J] . Appl Phys B, 1999, 68: 217.

[8] EGAMI C, SUZUKI Y, SUGIHARA O, et al. Third order resonant optical nonlinearity from *trans cis* photoisomerization of an azo dye in a rigid matrix[J] . Appl Phys B, 1997, 64: 471— 478.

[9] RAO D V, ARANDA F J, WILEY B J, et al. Mirrorless all-optical bistability in bacteriorhodopsin[J] . Appl Phys Lett, 1993, 63(11): 1489— 1491.

The Theoretical Study of Steady-state Mirrorless Optical Bistability Based on Photoisomerization of Azobenzene Molecules

ZHANG Wei, QIN Shu ying, WU Tian hong, WANG Hui

(The State Key Laboratory of Photoelectronic Materials and Technologies,
Sun Yat sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: A theoretical study of the steady mirrorless optical bistability, based on the photoisomerization of azobenzene, was reports. Firstly, the transmissions due to the saturated absorption of azobenzene molecules have been calculated. Then, the mirrorless optical bistability processes have been calculated under different absorption cross sections σ_T and σ_C for trans and cis azobenzene molecules respectively. Finally, the thermal constant K and its influence on the optical bistability has been discussed.

Key words: azobenzene molecules; mirrorless optical bistability; photoisomerization

(上接第 28 页)

One dimensional Non-linear Large Deformation Consolidation Analysis of Soft Clay Foundation by FDM

LIU Zuo qiu, ZHOU Cui ying

(Department of Applied Mechanics and Engineering //Research Center of Underground Engineering
and Information Technology, Sun Yat sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The soft clay's nonlinear constitutive relation on the basis of geometrical nonlinear analysis is considered, nonlinear control equation of one dimensional consolidation with large deformation is deduced using tensor index token method. The numerical solution is solved with finite difference method (FDM), and correspond computer program is worked out. From the numerical result of the program, consolidation settlement of nonlinear large deformation is always smaller than that of nonlinear small deformation in soft clay foundation. With increasing of load level the difference between the large and small deformation of consolidation is more and more obvious, the influence to the total surface settlement of large deformation shouldn't be ignored.

Key words: non-linear; large deformation; one dimensional consolidation; soft clay foundation; FDM