

C₆₀/PMMA 的光子开关器件

宋瑛林 李峰 王瑞波 李淳飞

(哈尔滨工业大学物理系, 哈尔滨 150001)

提要 研究了 C₆₀/PMMA 的三重态吸收无腔光子开关特性, 理论分析结果与实验结果基本符合。

关键词 C₆₀, 激发态吸收, 光子开关

1 引言

C₆₀ 的溶液、掺杂高聚物、胶体的激发态吸收光限幅特性研究比较深入^[1~6]。在文献[8]中作者曾研究过 C₆₀ 溶液的光限幅与光开关特性, 本文报道应用双光束方法进一步研究 C₆₀ 固体材料的全光开关器件, 目前该项研究尚未见报道。

2 理论

C₆₀ 分子具有三维共轭 π 电子体系, 能级结构见图 1。在可见光波段, 其激发态吸收截面大于基态吸收截面。激发态吸收光开关的原理就是利用泵浦激光把分子泵浦到激发态 S₁ 上, 然后快速系际跃迁到三重态第一激发态 T₁ 上。选择合适波段的探测激光, 使介质对探测光的激发态吸收强, 而基态吸收很弱(可忽略)。这样, 在没有泵浦光激发时, 器件处于高透射状态, 探测光输出光强为高态(相当于处于“开”的状态); 当泵浦光激发器件时, 探测光被强吸收, 探测光的输出光强为低态(处于“关”的状态)。本文应用五能级模型来描述 C₆₀/PMMA 的光子开关特性^[8], 忽略高级激发态上的粒子分布后, 有

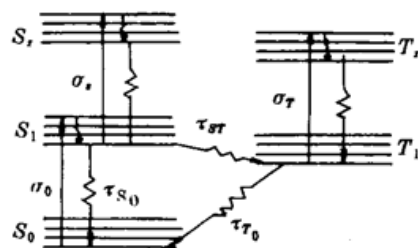


Fig. 1 The energy-level of C₆₀ molecule

$$\frac{dn_1}{dt} = -\frac{\sigma_0 I n_1}{h\nu} + \frac{n_2}{\tau_{S_0}} + \frac{n_3}{\tau_{T_1}} \quad (1)$$

$$\frac{dn_2}{dt} = +\frac{\sigma_0 I n_1}{h\nu} - \frac{n_2}{\tau_{S_0}} + \frac{n_2}{\tau_{ST}} \quad (2)$$

$$\frac{dn_3}{dt} = +\frac{n_2}{\tau_{ST}} - \frac{n_3}{\tau_{T_1}} \quad (3)$$

$$n_1 + n_2 + n_3 = n \quad (4)$$

泵浦光强在光传播方向的变化为

$$\frac{dI}{dz} = -(\sigma_0 n_1 + \sigma_s n_2 + \sigma_T n_3)I \tag{5}$$

探测光的光强随时间的变化可以近似表示为

$$\frac{dI_2(t)}{dt} = -I_2 \sigma_{T_1} n_3 \tag{6}$$

其中 I 为泵浦光强, I_2 为探测光强, σ_{s_0} , σ_s , σ_T 分别为波长 532 nm 处 S_0 , S_1 , T_1 能级的吸收截面, σ_{T_1} 为对应于 632 nm T_1 能级的吸收截面, n_i ($i = 1, 2, 3$) 为 S_0 , S_1 , T_1 的粒子布居分布, τ_j ($j = S_0, T_0, ST$) 分别为 S_1 , T_1 态的寿命以及系际跃迁寿命。对于 $C_{60}/PMMA$, 能级参量^[9]示于表 1。

Table 1

Absorption cross section	Relaxation time	Absorption cross section	Relaxation time
$\sigma_{s_0} = 2.87 \times 10^{-18} \text{ cm}^2$	$\tau_{s_0} = 20 \text{ ns}$	$\sigma_s = 1.57 \times 10^{-17} \text{ cm}^2$	$\tau_{ST} = 1.2 \text{ ns}$
$\sigma_T = 9.22 \times 10^{-18} \text{ cm}^2$	$\tau_{T_0} = 300 \text{ ns}$	$\sigma_{T_1} = 1.20 \times 10^{-18} \text{ cm}^2$	

应用方程(1)~(6)可以模拟 $C_{60}/PMMA$ 光子开关特性曲线。图 2 为 $C_{60}/PMMA$ 的基于三重态吸收的光子开关理论模拟结果, 开关的关闭时间很快, 只有数十个纳秒, 而开启时间达到 400 ns 左右。

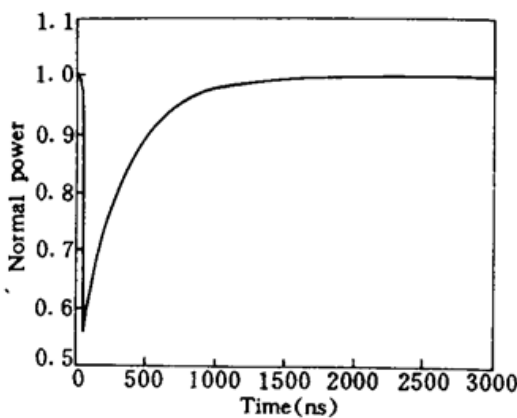


Fig. 2 Theoretical simulations of optical switching based on triplet-excited-state absorption

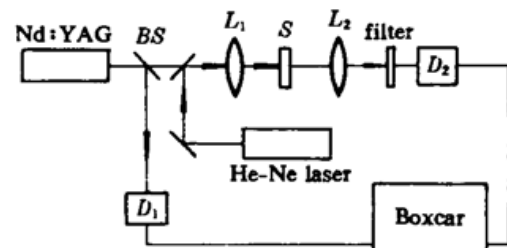


Fig. 3 Experimental configuration

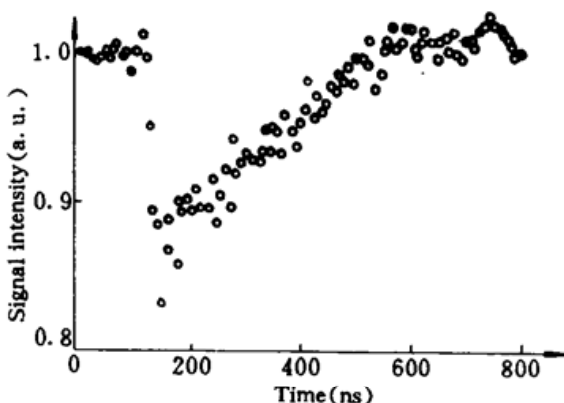


Fig. 4 Experimental curve of optical switching

3 光开关实验

泵浦光源为 Continuum 的 Nd : YAG 倍频脉冲激光系统, 输出激光波长为 532 nm, 脉冲宽度为 8 ns, 重复频率为 10 Hz。探测光源为连续 He-Ne 激光器, 波长为 632.8 nm, 输出功率为 20 mW。实验光路如图 3 所示。输出光分为两束: 一束作为外触发源输入 Boxcar; 另一束作为泵浦光和探测光共线照射到 $C_{60}/PMMA$ 上, 泵浦光的能量为 150 μJ 。输出光用透镜收集经滤光片分离出

探测光, 由光电倍增管接收输入至 Boxcar, 记录探测光光强随时间的变化。 $C_{60}/PMMA$ 样品厚

度为 5 mm, 在 532 nm 处的线性透射率为 26%。实验结果见图 4。

4 讨 论

光子开关曲线示于图 4, 图中相邻符号“·”之间的时间间隔为 8 ns。器件的关闭速度很快, 约为 20 ns, 开启时间达 400 ns 左右, 这与理论模拟的结果基本一致。光子开关主要起源于 C₆₀/PMMA 的三重态吸收。

基于激发态吸收的光子开关器件的优点在于无需腔结构, 开关速度主要取决于介质的激发态寿命。

参 考 文 献

- 1 L. Tutt, Alan Kost. Optical limiting performance of C₆₀ and C₇₀ solution. *Nature*, 1992, 356 : 255~256
- 2 A. Kost, L. Tutt, M. B. Klein *et al.*. Optical limiting with C₆₀ in polymethyl methacrylate. *Opt. Lett.*, 1993, 18 (5) : 334~336
- 3 F. Bentivegna, M. Canva, P. Georges *et al.*. Reverse saturable absorption in solid xerogel matrices. *Appl. Phys. Lett.*, 1993, 62(15) : 1721~1723
- 4 F. Henari, J. Callaghan, H. Stiel *et al.*. Intensity-dependent absorption and resonant optical nonlinearity of C₆₀ and C₇₀ solutions. *Chem. Phys. Lett.*, 1992, 199(1,2) : 144~148
- 5 M. P. Joshi, S. R. Mishra, H. S. Rawat *et al.*. Investigation of optical limiting in C₆₀ solution. *Appl. Phys. Lett.*, 1993, 62(15) : 1763~1765
- 6 B. L. Justus, Z. H. Kafafi, A. L. Huston. Excited-state absorption-enhanced thermal optical limiting in C₆₀. *Opt. Lett.*, 1993, 18(19) : 1603~1605
- 7 宋瑛林, 杨 森, 王瑞波等. C₆₀ 对 ps 光脉冲的限幅效应. *中国激光*, 1994, A21(8) : 653~656
- 8 Chunfei Li, Lei Zhang, Ruiibo Wang *et al.*. Dynamics of reverse saturable absorption and all-optical switching in C₆₀. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1994, 11(18) : 1356~1360
- 9 T. W. Ebbesen, K. Tanigaki, S. Kuroshime. Excited-state properties of C₆₀. *Chem. Phys. Lett.*, 1991, 181(6) : 501~504

Optical Switching in C₆₀/PMMA

Song Yinglin Li Feng Wang Ruiibo Li Chunfei

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

Abstract Mirrorless optical switching based on excited-state-absorption in C₆₀/PMMA is studied. The experimental results are consistent with the theoretical simulations.

Key words C₆₀/PMMA, excited-state-absorption, optical switching