

# 用单光束方法研究 C<sub>60</sub>/C<sub>70</sub> 溶液的非线性光学性质

罗挺 赵继然 吴正亮 江敏华 林福成

(中国科学院上海光机所, 上海 201800)

**提要** 本文报道了利用单光束方法研究 C<sub>60</sub>/C<sub>70</sub> 甲苯溶液的非线性光学性质, C<sub>60</sub>/C<sub>70</sub> 的浓度为  $3.5 \times 10^{-3} \text{ mol}$ , C<sub>60</sub>:C<sub>70</sub>=3:1, 实验所用的泵浦光源为被动锁模 Nd:YAG 激光器, 脉宽 40 ps, 实验给出 C<sub>60</sub>/C<sub>70</sub> 溶液的非线性折射率  $n_2 = (2.3 \pm 0.3) \times 10^{-11} \text{ (esu)}$ , 并给出三阶超极化率  $\gamma = 1.1 \times 10^{-31} \text{ (esu)}$ 。

**关键词** 富勒分子, Z-扫描, 非线性介质

## Study of nonlinear optical properties of C<sub>60</sub>/C<sub>70</sub> solution with a single light beam

LUO Ting, ZHAO Jiran, WU Zhengliang, JIANG Minhua, LIN Fucheng

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

**Abstract** A single light beam method for measuring the nonlinear optical index of C<sub>60</sub>/C<sub>70</sub> in toluence solution at picosecond range is reported. The concentration of C<sub>60</sub>/C<sub>70</sub> is  $3.5 \times 10^{-3} \text{ mol}$ , and the content of C<sub>60</sub> to that of C<sub>70</sub> is 3:1. The pump beam with 40ps width was generated by an passive mode-locking Nd:YAG laser. The nonlinear refractive index of C<sub>60</sub>/C<sub>70</sub> solution is  $n_2 = (2.3 \pm 0.3) \times 10^{-11} \text{ (esu)}$ , the average hyper-susceptibility  $\gamma = 1.1 \times 10^{-31} \text{ (esu)}$ .

**Key words** Fullerene molecule, Z-scan, nonlinear optical medium

## 1 引言

富勒分子<sup>[1]</sup>是近几年才发现的碳原子的第三种同素异构体,具有三维笼状结构。国际上对富勒分子性能的大量研究去年才开始进行,主要对富勒分子的各种特性进行研究,在超导方面的研究进展迅速<sup>[2~4]</sup>。目前,对于富勒分子的非线性光学性质的研究已有多项报道<sup>[5~9]</sup>,文献中都是采用简并四波混频法来研究 C<sub>60</sub> 的非线性光学性质,而且测量结果差别很大。本文报道利用单光束方法在 ps 范围研究 C<sub>60</sub>/C<sub>70</sub> 甲苯溶液的三阶非线性光学性质,测量了混合溶液的非

线性折射率  $n_2$ , 由此算出三阶极化率系数  $\chi^{(3)}$  和分子的三阶超极化率  $\gamma$ , 测量值  $\chi^{(3)}$  与美国海军研究室 Kafafi<sup>[5]</sup> 的最新测量结果基本一致。

单光束方法与传统的简并四波混频方法比较, 具有实验装置简单, 光路调节容易, 测量灵敏度高以及对材料有较大的适用范围等优点, 合理的配制光路, 可同时进行多个物理量的测量, 不足之处是对实验样品和条件(激发光强)以及材料的非线性吸收有一定限制。

## 2 实验结果和讨论

C<sub>60</sub>/C<sub>70</sub> 是采用直流接触碳弧气化产生, 蒸馏提纯得到 C<sub>60</sub>/C<sub>70</sub>, 比例 3 : 1, 纯度大于 99%, 然后将 C<sub>60</sub>/C<sub>70</sub> 溶于甲苯溶液中, 得到浓度为  $3.5 \times 10^{-3}$  mol 的溶液。图 1 所示为 Z- 扫描测量系统, 泵浦光源为被动锁模 Nd : YAG 激光器, 通过采用腔内和腔外加小孔的方法, 仔细调节光路, 可得到单模输出的高斯光束。激光脉宽为 40 ps, 波长为 1.064  $\mu\text{m}$ , 为避免连续脉冲间的热积累, 脉冲重复频率为 1 Hz, 用一分光镜将泵浦光分成两束, 一束光经探测器  $D_1$  接收用来标定入射光的功率, 另一束光经  $f = 30$  mm 的透镜聚焦后进入样品盒, 盒内装有 C<sub>60</sub>/C<sub>70</sub> 甲苯溶液, 溶液的浓度为  $3.5 \times 10^{-3}$  mol, C<sub>60</sub> : C<sub>70</sub> = 3 : 1, 在样品后放入小孔, 用探测器  $D_2$  接收进入小孔的光信号。样品  $S$  由  $L$  的焦点内向焦点及焦点外扫描过程中, 记录下样品在不同位置  $Z$  处的透过率, 从而获得  $T$ - $Z$  曲线中峰-谷变化, 其计算公式为<sup>[10,11]</sup>

$$\Delta T_{p-v} = 0.406(1 - S)^{0.25} \Delta \Phi_0 \quad (1)$$

其中

$$S = 1 - \exp(-2r_s^2/\omega_s^2) \quad (2)$$

$$n_2 = \Delta \Phi_0 \alpha_0 \lambda / \{2\pi I_0 [1 - \exp(-\alpha_0 L)]\} \quad (3)$$

上两式中,  $\Delta T_{p-v}$  为扫描曲线透过率的峰谷差值,  $r_s$  为小孔半径,  $\omega_s$  为小孔处高斯光束的半径,  $L$  为样品厚度,  $I_0$  为光腰处的泵浦光束强度,  $\alpha_0$  为样品的线性吸收系数,  $\lambda$  为泵浦光波长。

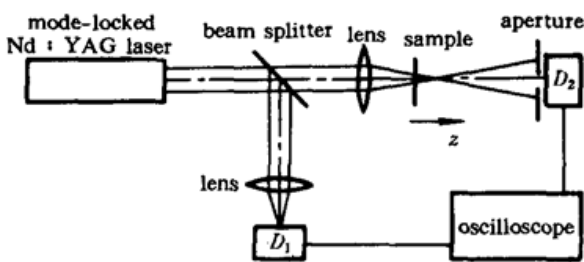


Fig. 1 The Z-scan experimental setup

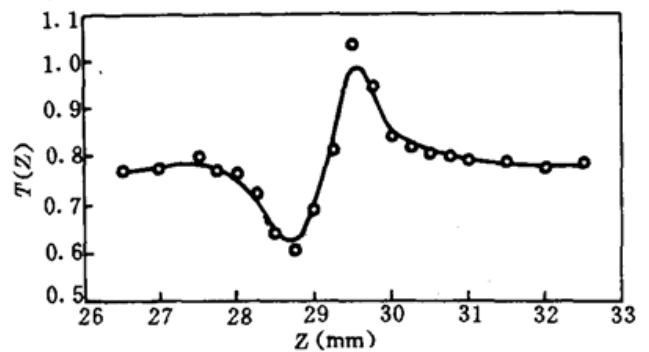


Fig. 2 The measurement result of the nonlinear optical refractive index of C<sub>60</sub>/C<sub>70</sub> solution in toluene. The solid curve is the theoretical fitting curve, and "o" are the experimental data

图 2 给出 Z 扫描测量结果。图中的 o 为实验测得点, 实线是理论拟合的结果。实验中所使用的样品厚度为 1.0 mm, 经空间滤波后入射到样品上的脉冲能量为  $2.8 \times 10^{-2}$  mJ, 透镜(样品前)后光腰处光斑为  $\sim 30$   $\mu\text{m}$ , 激光的峰值功率为 1.0 GW/cm<sup>2</sup>, 由此得到样品的非线性折射率  $n_2 = (2.3 \pm 0.3) \times 10^{-11}$  (esu), 由此可算出三阶极化率系数  $\chi^{(3)} = 9.1 \times 10^{-13}$  (esu), 由  $\chi^{(3)}$  与分子三阶超极化率  $\gamma$ , 溶液中介质的分子密度的关系为

$$\chi^{(3)} = N_0 L_0 \gamma \quad (4)$$

其中  $L_0 = [(n^2 + 2)/3]^4$  为局域场因子,  $N_0 = N_e C$ ,  $N_e$  是阿伏伽德罗常数。考虑到溶液中  $C_{60}/C_{70}$  的含量很低,  $n$  可取纯甲苯溶液的折射率, 即  $n = 1.49$ , 这样, 根据(4)式可算出  $\gamma = 1.1 \times 10^{-31}$  (esu)。

非线性折射率来源于<sup>[10]</sup>: 1) 纯粹电子效应, 这种由于电子分布变化而引起折射率变化的响应时间为  $10^{-14} \sim 10^{-15}$  s; 2) 高频克尔效应, 其响应时间为  $10^{-11} \sim 10^{-12}$  s; 3) 电致伸缩效应, 其响应时间为  $10^{-8} \sim 10^{-9}$  s; 4) 热效应, 其响应时间大约为  $10^{-4} \sim 1$  s。在我们所使用的激光脉宽条件下, 只能测出前二者的效应。

总之, 我们用单光束法对  $C_{60}/C_{70}$  混合溶液的非线性折射率进行了研究。实验是在 ps 范围研究  $C_{60}/C_{70}$  甲苯溶液的非线性光学性质, 这样所测的结果排除了响应速度慢的各种机制, 可和 ns 激光的结果互相补充。

参加本项工作的还有谢燕燕同志。

### 参 考 文 献

- 1 Robert F. Curl *et al.*, *Scientific American*, 32, (1991)
- 2 K. Holczer *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, 67(2), 271(1991)
- 3 J. P. Hare *et al.*, *Chem. Phys. Lett.*, 177(4-5), 394(1991)
- 4 Paul A. Heiney *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, 66(22), 2911(1991)
- 5 Z. H. Kafafi *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, 68, 2705(1992)
- 6 Zhanxiang Zhang *et al.*, *Opt. Lett.*, 17, 973(1992)
- 7 W. J. Blau *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, 67, 1423(1991)
- 8 Qihuang Gong *et al.*, *J. Appl. Phys.*, 71, 3025(1992)
- 9 Z. H. Kafafi *et al.*, *Chem. Phys. Lett.*, 188, 492(1992)
- 10 M. Sheik-Bahae *et al.*, *Opt. Lett.*, 14, 955(1989)
- 11 M. Sheik-Bahae *et al.*, *IEEE. J. Quant. Electr.*, QE-26, 760(1990)