

富勒烯的功率光限幅特性*

宋瑛林 张学如 李 峰 李淳飞

(哈尔滨工业大学应用物理系, 哈尔滨 150001)

提要 应用时间分辨技术研究了富勒烯溶液的激发态吸收瞬态功率光限幅特性, 在实验条件下, 其功率光限幅的开关速度约为 5 ns。

关键词 富勒烯, 激发态吸收, 功率光限幅

1 引 言

在可见光波段, 富勒烯的激发态吸收比较强, 在不同波段以及不同脉冲宽度的激光脉冲作用下, 已观察到输出光波能量受到限制的现象^[1~5]。本文应用波长为 532 nm, 脉冲宽度为 8 ns, 峰值功率密度达到 180 MW/cm² 的激光脉冲泵浦富勒烯溶液, 测量了输入、输出脉冲随时间变化的瞬态特性, 研究了输出脉冲的瞬时功率随输入脉冲的瞬时功率的变化而产生的非线性透射特性, 观察到了功率光限幅特性, 并测量了其功率光限幅的开关速度。

2 实 验

实验样品富勒烯溶于甲苯溶液中, 将浓度为 1.9×10^{-3} mol 的溶液, 盛于比色皿中, 溶液的厚度为 2 mm, 在波长 532 nm 处的线性透射率为 54%。实验装置见图 1。探测光源为 Continuum 公司的调 Q 倍频 ns/ps Nd:YAG 脉冲激光系统, 输出光波长为 532 nm, 脉宽为 8 ns, 重复频率为 10 Hz。入射激光首先经过 Newport 公司的减光棒 At 改变光功率, 然后由分束器 BS 分成两束: 一束作为参考光, 另一束作为泵浦光, 经透镜聚焦后入射到溶液的前表面上, 输出光经透镜恢复平行光。透镜的焦距为 9 cm, 焦点上光斑半径约为 36 μ m。输入光波和输出光波分别由光电二极管 D₁ 和 D₂ 接收, 由 Boxcar 记录。在输入光峰值功率密度为 180 MW/cm² 的条件下, 测量了输入光波和输出光波的时间分布, 测量结果示于图 2。

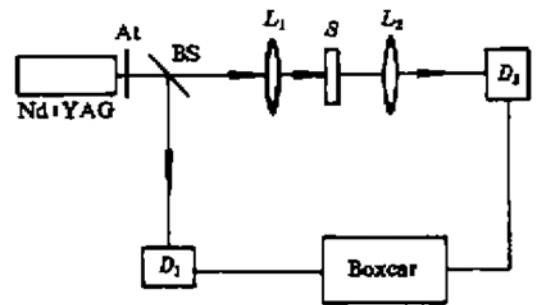


图 1 实验装置图
Fig. 1 Experimental setup

* 国家自然科学基金、黑龙江省自然科学基金、哈尔滨工业大学博士启动基金资助项目。

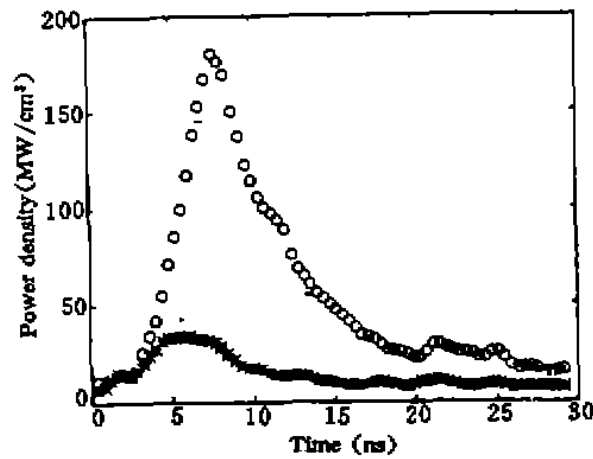


图 2 输入和输出光波的时间分布实验曲线

Fig. 2 Experimental curves of the input and output pulses versus time

3 实验结果与讨论

图 2 中符号○、* 分别表示输入、输出光波的时间分布,纵轴表示脉冲的瞬态功率密度,横轴表示时间。图中每相邻两点的时间间隔为 0.4 ns。输入光波随时间分布近似为高斯分布。当输入光波的功率达到一定阈值后,输出脉冲光波被“削平”,输出光波的幅值被限制在一定的范

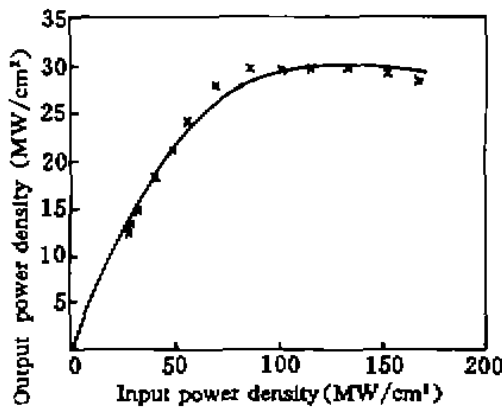


图 3 富勒烯功率光限幅曲线

Fig. 3 Optical power limiting of Fullerenes

围内,不再随输入光脉冲的瞬态功率密度的增加而增加。根据测量结果,可以得到随输入光脉冲瞬态功率密度的增加,输出光瞬态功率的变化曲线,见图 3 * 表示的曲线,图中横轴表示输入光瞬态功率密度,其最大值为脉冲的峰值功率密度。在低光功率密度下,输出光功率与输入光功率近似线性相关;当输入光功率达到一定的阈值后,随输入光波功率的增加,输出光波的功率被限制在一定的范围内,这个阈值一般称为限幅阈值。输入光功率从低态上升到限幅阈值的时间(即输出光波功率从线性输出达到被限制输出的时间)即为光波功率限幅的开关速度。在本

实验条件下,测得光限幅的开关速度约为 5 ns。下面作者分析其功率光波限幅的起源。

为便于理论研究,把输入光波的时间分布近似为高斯分布,则在入射样品的界面处光波脉冲的时间分布可用

$$I(t, z = 0) = I_0 \exp[-C(t/\tau)^2] \quad (1)$$

来表示。式中 I_0 为入射脉冲的峰值功率, C 为常数, τ 为脉冲宽度。

在可见光波段范围内,富勒烯分子的激发态吸收截面大于基态吸收截面,考虑激发态吸收,则在样品中沿光传播方向(z 方向)光强的变化为

$$\frac{dI}{dz} = -(\sigma_0 n_1 + \sigma_e n_2) I \quad (2)$$

n_1, n_2 分别为基态和激发态的分子布居数; σ_0, σ_e 分别为基态和激发态的吸收截面。应用粒子布居分布的速率方程理论,有关参数^[6]为 $\sigma_0 = 2.56 \times 10^{-18} \text{ cm}^2$, $\sigma_e = 9.22 \times 10^{-18} \text{ cm}^2$, $\tau = 8 \text{ ns}$, λ

$\lambda = 532 \text{ nm}$, $T = 54\%$ 。将这些参数代入方程(1)和(2),可以计算出输出光波与输入光波的瞬态功率密度的时间分布曲线,计算结果示于图 4,其中实线和虚线分别表示输入和输出光波的时间分布曲线。计算结果表明,在瞬态条件下,当输入脉冲的瞬态功率密度达到一定阈值后,输出脉冲的瞬态功率密度被限制在 30 MW/cm^2 以下,不再随输入光脉冲的瞬态功率密度的增加而线性增加。同样,根据计算结果可以得到:在瞬态条件下,当输入光脉冲的瞬态功率密度从 0 上升到 180 MW/cm^2 过程中,输出光脉冲的瞬态功率密度的变化曲线,结果如图 3 中实线所示。理论结果和实验结果基本符合。

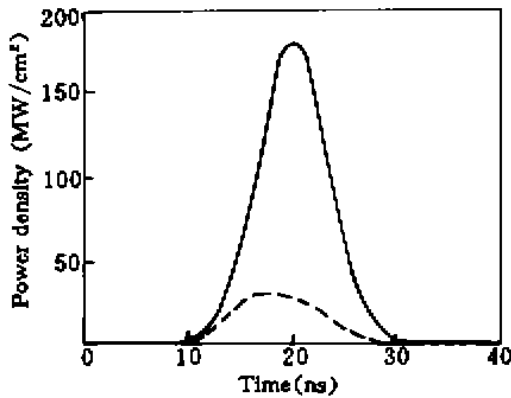


图 4 输入和输出光脉冲的时间传输理论曲线

Fig. 4 Theoretical curves of input and output pulses versus time

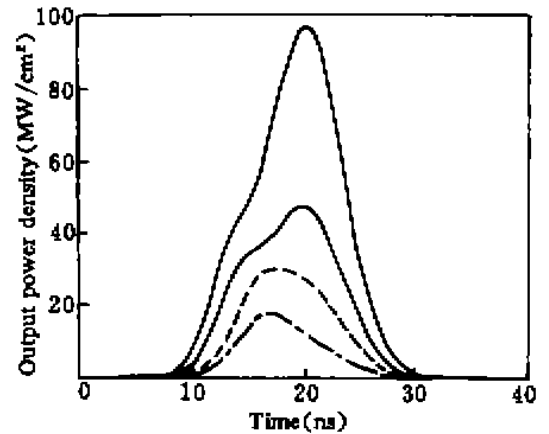


图 5 输出光脉冲的时间传输理论曲线

Fig. 5 Theoretical curves of output versus time

应用方程(1),(2),可以讨论输出光波的时间分布与入射光峰值功率的关系。改变入射光的峰值功率密度分别为 100 、 180 、 500 和 1000 MW/cm^2 ,计算出输出光波的时间分布,结果示于图 5。图中点划线、虚线、细实线和粗实线分别表示峰值功率为 100 、 180 、 500 和 1000 MW/cm^2 的激光脉冲的输出光波随时间的分布曲线。从计算结果发现,当输入光的峰值功率为 100 MW/cm^2 时,输出光波前沿上升比较迅速,后沿下降比较缓慢,后沿弛豫时间长于前沿的上升时间;当输入光的峰值功率为 180 MW/cm^2 时,输出光波前沿上升比较迅速,后沿下降也比较迅速,脉冲的高功率部分被“削平”;当输入光的峰值功率为 500 MW/cm^2 时,输出光波前沿上升比较迅速,达到一定值以后,输出光功率被限制在一定范围之内并持续一段时间后又产生一个小的凸起,然后迅速下降,这个凸起是由于在高光强下激发态吸收饱和产生的,输入脉冲的峰值功率越高,输出脉冲的被“削平”部分就越小,越接近高斯分布。当输入光的峰值功率为 1000 MW/cm^2 时,输出光波除在前沿的开始上升阶段产生变化以外,其余部分恢复为高斯分布。这是由于输入脉冲的峰值功率比较高,脉冲光的瞬态功率上升很快,介质的激发态吸收迅速增加;当输入光的瞬态功率达到一定值以后,富勒烯的激发态吸收达到饱和,此后输出光波随输入光波线性变化,又恢复为高斯分布,富勒烯失去了功率限幅功能。

4 结 论

理论和实验的研究结果表明,在瞬态条件下,应用峰值功率密度为 180 MW/cm^2 的激光脉冲泵浦富勒烯溶液,当输入脉冲的瞬态功率密度达到一定阈值后,输出脉冲的时间波形被“削

平”,不再随输入光脉冲的瞬态功率密度的增加而线性增加,其瞬态功率密度被限制在 30 MW/cm² 以下。可见,富勒烯溶液对短脉冲、高功率激光具有良好的功率光限幅特性。在实验条件下,功率光限幅的箝位值低于 30 MW/cm²,开关速度约为 5 ns。

参 考 文 献

- 1 L. Tutt, A. Kost. Optical limiting performance of C₆₀ and C₇₀ solution. *Nature*, 1992, **356**: 255~256
- 2 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
- 3 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
- 4 Chunfei Li, Lei Zhang, Ruibo Wang *et al.*. Dynamics of reverse saturable absorption and all-optical switching in C₆₀. *J. Opt. Soc. Am. B.*, 1994, **11**(8): 1356~1360
- 5 宋瑛林,杨 森,王瑞波. C₆₀ 对 ps 脉冲的光限幅效应. *中国激光*, A1994, A21(8): 653~656
- 6 T. W. Ebbesen, K. Tanigaki, S. Kuroshima. Excited-state properties of C₆₀. *Chem. Phys. Lett.*, 1991, **181**(6): 501~504

Optical Power Limiting of Fullerenes

Song Yinglin Zhang Xueru Li Feng Li Chunfei

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

Abstract The optical power limiting of the excited state absorption in Fullerenes solution has been studied based on a time-resolved technique. In our experiment the switching speed of the optical power limiting is about 5 ns.

Key words Fullerenes, optical power limiting, excited state absorption