

基于反饱和吸收和自聚焦两种效应的光限幅器

司金海 杨森 刘树田 李淳飞

(哈尔滨工业大学应用物理系, 哈尔滨 150006)

提 要

用酞菁铜金属有机染料首次演示了基于反饱和吸收和自聚焦两种效应的光限幅器. 实验和理论分析表明, 这种限幅器的输入阈值功率由反饱和吸收决定, 而自聚焦使限幅器的最大限幅输出功率降低, 限幅效果显著增强.

关键词 反饱和吸收, 自聚焦, 光限幅器.

1 引 言

光限幅器的要求是在低输入光功率下, 器件具有较高的线性透过率; 而在高输入光功率下, 器件具有较低的非线性透过率, 从而把输出光限制在一定的功率以下. 这样的光限幅器在激光防护上有很重要的实用价值. 近年来, 人们利用自聚焦^[1,2], 双光子吸收^[3], 非线性散射^[4]以及反饱和吸收^[5]等非线性光学效应实现光限幅. 本文用酞菁铜 (CuPc) 金属有机染料, 首次实现了反饱和吸收和自聚焦两种效应共同参与作用的光限幅器.

2 限幅原理

CuPc 分子在金属离子 Cu 周围有 18 个 π 电子, 形成二维共轭 π 电子结构, 因而具有很强的三阶非线性和反饱和吸收特性. 这种分子与激光相互作用的有关能级如图 1 所示, 在激光的作用下, 处于基态 S_0 的分子被受激跃迁至第一单重电子激发态的某一振动能级 S_v 上, 然后快速无辐射弛豫到第一单重电子激发态的最低振动能级 S_1 上, 并以很大的几率快速跃迁 (称系际跃迁) 至第一三重电子激发态 T_1 上, 处于能级 S_1 和 T_1 上的分子也可被激光激发跃迁到更高的激发态能级 S_2 和 T_2 , 通过无辐射跃迁快速回到 S_1 和 T_1 能级. 当 S_1 (或 T_1) 能级的吸收截面 σ_s (或 σ_T) 大于基态的吸收截面 σ_0 时, 将发生反饱和吸收, 即随输入光强增加, 介质对入射激光的吸收增强, 其非线性透过率降低, 因此, 可以用于光限幅器*.

本文实现的光限幅器的另一个主要机制是自聚焦效应, 即利用介质折射率对光强的依赖关系. 图 2 可以简要地说明它对光限幅的作用, 当入射激光功率较低时, 光束按实线路径行进, 光束经过透镜 L_1 进入介质后, 又被透镜 L_2 会聚通过小孔, 由探测器 D_2 接收, 这时在探测器 D_2 上接收到的透射光功率随入射激光功率增加线性增加, 当入射激光功率增加到某一功率 P_u

收稿日期: 1992 年 12 月 10 日; 收到修改稿日期: 1993 年 3 月 18 日

* 关于 CuPc 反饱和吸收特性的稳态和动态分析曾分别在文献[6]和文献[7]中详细介绍.

(称为自聚焦阈值功率)时,光束将按虚线路径行进,因为自聚焦使光束的束腰位置发生变化,因而光束经过透镜 L_2 后,一部分光被光阑阻挡,透过孔被探测器 D_2 接收到的光功率不再随入射激光功率增加线性增加,器件处于非线性工作状态. CuPc 等有机金属染料在与 ns 激光相互作用时,其三阶非线性效应主要来自于电子过程,其响应时间一般小于 ps,所以这里可以采用准稳态近似结果,自聚焦的阈值功率由下式给出^[2]:

$$P_u = 3.72 (C\lambda^2/32\pi^2 n_2) \quad (1)$$

$$n = n_0 + n_2 E^2(t)/2 \quad (2)$$

其中 n_0 和 n_2 分别为介质的线性折射率和非线性折射率, $E(t)$ 为介质内光波的电场强度, λ 为激光波长, C 为光速. 由(1)式可见,介质的非线性折射率越大,自聚焦的阈值越低.

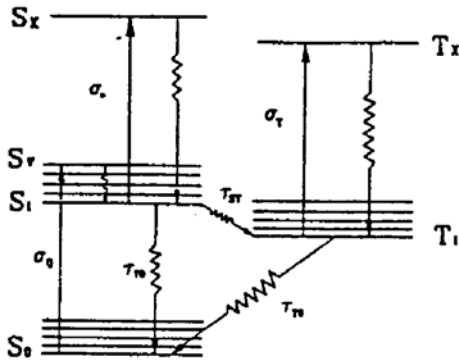


Fig. 1 Level system used to simulate the interaction of light pulses with CuPc

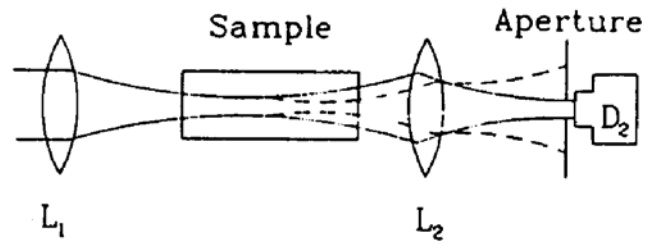


Fig. 2 Schematic diagram of the optical limiter

3 实验及其结果

实验中使用的非线性介质是溶于氯仿中的 CuPc 金属有机染料,其浓度为 $4.7 \times 10^{-4} \text{ M}$,样品池厚为 1 cm. 使用的激光是调 Q 倍频 YAG 激光器输出的波长为 532 nm 的激光,脉宽为 15 ns. 透镜 L_1 和 L_2 的焦距长分别为 3 cm 和 2.8 cm,小孔的直径约为 200 μm .

图 3 是 CuPc 透射光功率随入射光功率变化的实验曲线,其中曲线(a)和曲线(b)分别是无孔和有孔的实验结果. 从曲线(b)可见,当入射激光功率 $P_i < 2 \text{ kW}$ 时,限幅器的透射率(即曲线斜率)随入射激光功率增加下降缓慢,当入射激光功率 $P_i > 2 \text{ kW}$ 时,(a)、(b)两条曲线开始分开,器件的透射率随入射激光功率增加下降较快,即限幅效果明显增强. 若把 $P_i = 2 \text{ kW}$ 代入(1)式计算可得 $n_2 = 5 \times 10^{-11} \text{ esu}$,这与用四波混频方法测得的 $n_2 = 5.85 \times 10^{-11} \text{ esu}$ 基本一致,从而验证了 $P_u = 2 \text{ kW}$ 恰是自聚焦对光限幅产生作用的输入阈值功率,在 $P_i > 2 \text{ kW}$ 时,由于自聚焦的贡献,限幅效果明显增强.

当移开光路中的小孔,在开孔情况下测量了透射光功率随入射光功率变化绘成图 3 中的曲线(a),可见,器件仍具有限幅作用,这时,尽管自聚焦仍然发生,但是由于不存在小孔,透射光全部被探测器 D_2 接收,即自聚焦的发生对接收到的透射光功率没有影响,这说明还有其它非线性机制对光限幅器起作用. 使用计算机对文献[6]中关于反饱和吸收的速率方程(7)至(10)式进行数值计算,得到了由反饱和吸收引起的介质的透过率随入射激光功率非线性变化的理论曲线如图 4(实线)所示,图 4 中的点线是将图 3 中开孔情况的实验曲线(a)转换成透过率随入射激光功率变化得到的结果. 反饱和吸收的理论计算和开孔实验结果一致说明反饱和吸收也是该限幅器的主要机制. 理论计算使用的酞菁铜有关能级参数^[6]:

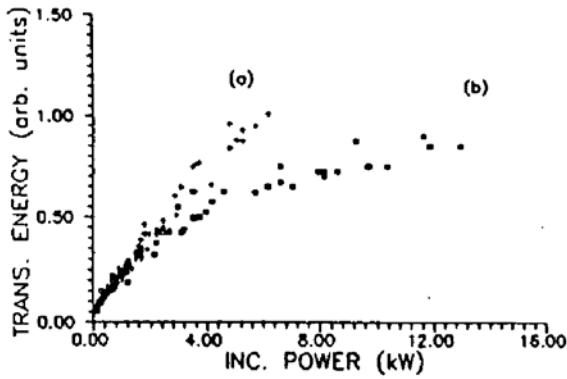


Fig. 3 Experimental results of transmitted energy versus incident power of optical limiter with CuPc. (a) Open aperture result; (b) closed aperture result

$$\begin{aligned} \sigma_0 &= 2 \times 10^{-18} \text{ cm}^2; & \sigma_s &= 5 \times 10^{-18} \text{ cm}^2; & \sigma_T &= 2.6 \times 10^{-17} \text{ cm}^2; \\ \tau_{T0} &= 10 \text{ ns}; & \tau_{s0} &= 15 \text{ ns}; & \tau_{sT} &= 0.15 \text{ ns}; \end{aligned}$$

由图 3 可见,在 $P_i < 2 \text{ kW}$ 时,无孔和有孔的两条实验曲线基本重合,这说明此时器件的光限幅作用仅来自于反饱和吸收,当 $P_i > 2 \text{ kW}$ 时,即超过自聚焦阈值功率时,由于自聚焦也开始起作用,器件的光限幅效果明显增强.

反饱和吸收对该限幅器产生作用的阈值功率密度可以从图 4 中的反饱和吸收特性曲线得到: $I_t \approx 500 \text{ kW/cm}^2$, 在实验中使用焦距为 3 cm 的透镜 L_1 , 介质内光束的束腰半径约为 0.1 mm , 可以将阈值功率密度换算成阈值功率: $P_u \approx 160 \text{ W}$, 这个阈值功率可以通过改换不同焦距的透镜 L_1 来加以改变. 由(1)式和(2)式可见,自聚焦效应存在一个输入阈值功率 P_u , 这一阈值与输入激光功率密度 I 无关,而介质的非线性折射率依赖于输入光功率密度 I , 所以透镜 L_1 焦距的大小不影响自聚焦阈值功率,仅影响非线性折射的程度. 另外,透镜 L_1 使入射光束预聚焦有利于自聚焦的产生,因为对起始光束为会聚和发散两种情况,自聚焦的阈值功率关系式不同,一般前者产生自聚焦比后者容易得多^[8], 实验中我们已经观察到了这种现象.

4 结 论

非线性介质 CuPc 与 ns 激光相互作用时,反饱和吸收和自聚焦两种非线性光学效应均属于电子过程,具有响应时间快的特点. 若把反饱和吸收和自聚焦两种非线性光学效应结合在同一光限幅器上,既有利于降低器件的输入阈值功率,同时又可降低限幅器的最大限幅输出功率. 另外,还可以通过改变染料的浓度,或通过改变透镜 L_1 的焦距来改变入射激光功率密度,从而达到改变限幅器输入阈值功率的目的.

参 考 文 献

- [1] M. J. Soileau, Passive intensity limiter based on nonlinear optics. *J. Opt. Soc. Am. (A)*, 1980, **70**: 1051
- [2] T. J. Bunning, L. V. Natarajan, M. G. Schmitt *et al.*, Optical limiting in solutions of diphenyl polyenes. *Appl. Opt.*, 1991, **30**: 4341~4349
- [3] E. W. Van Stryland, Y. Y. Wu, D. J. Hagan *et al.*, Optical limiting with semiconductors. *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1988, **5**: 1980~1989
- [4] G. L. Woods, W. W. Clark, M. J. Miller *et al.*, Evaluation of passive optical limiter and switches. *Proc. SPIE.*, 1989, **1105**: 154~180

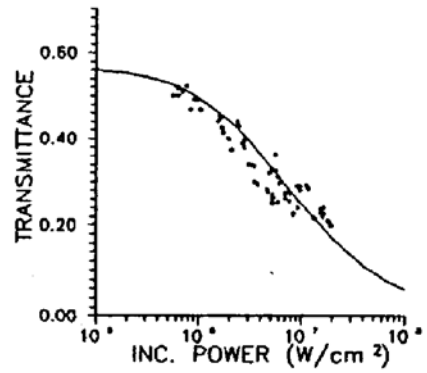


Fig. 4 Experimental results (dots) and numerical simulation (lines) for laser pulse energy transmission versus incident peak intensity in the case of open aperture

- [5] L. W. Tutt, A. Kost, Optical limiting performance of C_{60} and C_{70} solutions. *Nature*, 1992, **356**: 225~226
 [6] 李淳飞, 王惠等, 酞菁铜非共振反饱和吸收的稳态特性, 光学学报, 1993, **13**(3): 219~223
 [7] 杨森, 李淳飞等, 酞菁铜染料的反饱和吸收动力学, 光学学报, 1993, **13**(11): 1045~1048
 [8] Y. R. Shen, *The Principles of Nonlinear Optics*, New York, Wiley-Interscience, 1984

Optical limiter using reverse saturable absorption and self-focusing

Si Jinhai Yang Miao Liu Shutian Li Chunfei

(Department of Applied Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150006)

(Received 10 December 1992; revised 18 March 1993)

Abstract

We have demonstrated the optical limiter using reverse saturable absorption and self-focusing in copper phthalocyanine. The experimental results and theoretical analysis show that the threshold power of the optical limiter depends on reverse saturable absorption, and self-focusing effect reduce the limiting output power and thus enhance the limiting characteristic effectively.

Key words reverse saturable absorption, self-focusing, optical limiter.

第十一届全国激光学术报告会在杭州举行

由中国电子学会量子电子学与光电子学分会、中国光学学会激光专业委员会和中国光电子行业协会激光专业分会联合举办的第十一届全国激光学术报告会于 1993 年 10 月 19 日至 22 日在杭州浙江大学召开。报告会由中国电子学会量子电子学与光电子学分会主任委员张连华教授任主席并致开幕词, 学部委员王之江教授任执行主席。本届报告会的代表来自全国各地共 170 人。朝鲜科学院派出以激光研究所所长崔元哲为团长的 6 人代表团参加了会议。

会议收到应征论文 463 篇, 其中朝鲜方面 9 篇。经过由 20 名专家教授组成的论文评审委员会评议, 选出 265 篇供会议报告, 其中特邀报告 5 篇。议题涉及激光物理、激光器件及技术、非线性光学、激光医学、激光测量、传输及信息处理、光通讯、光雷达、薄膜、激光光谱、激光应用等。报告会 30 岁以下的青年学者占了四分之一, 大会特邀报告中三名是青年教授、博士, 报告内容反映了激光学科的前沿信息, 受到与会代表的好评。会议也反映出科研领域中改革开放的新势, 激光在各领域中的应用论文较多, 并引起了普遍的兴趣。

会议反映出近三年来国内在固体激光材料、半导体激光泵浦 YAG 激光器、可调谐激光器、掺钛蓝宝石宽带调谐激光器方向取得了较大进度, 预示了今后的发展方向; 受激布里渊散射器件、射频激励 CO_2 波导激光器向实用化迈进了一步; 大功率半导体量子阱激光器已商品化。

会议还设立了优秀论文评选活动。