

文章编号: 0258-7025(2003)10-0897-04

# 甲基红掺杂液晶 E7 的光限幅特性研究

邓罗根, 何坤娜

(北京理工大学应用物理系, 北京 100081)

**摘要** 研究了甲基红染料掺杂的液晶混合物 E7 对波长为 532 nm 的纳秒脉冲激光的光限幅特性, 观察了激光通过液晶盒后的远场光强分布及其随入射光能量的变化。实验发现, 对于厚度为 46  $\mu\text{m}$ , 重量体积比为 6 mg/0.5 ml 的甲基红染料掺杂的液晶混合物 E7 薄膜, 其最初三次测试的箝位输出值分别为 0.70  $\mu\text{J}$ , 1.00  $\mu\text{J}$  和 1.52  $\mu\text{J}$ , 输入限幅阈值在 23~28  $\mu\text{J}$  之间。这种薄膜的极低箝位输出特性对于人眼和传感器保护的光限幅应用很有意义。

**关键词** 非线性光学; 光限幅; 甲基红; 掺杂液晶; 眼睛和传感器保护

中图分类号 O 437; TH 74; O 753<sup>+</sup>.2 文献标识码 A

## Optical Limiting Characteristics of a Methyl-red Dye Doped Liquid Crystal Mixture (E7)

DENG Luo-gen, HE Kun-na

(Department of Applied Physics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract** Optical limiting behaviors of a methyl-red doped liquid crystal mixture E7 are studied using a Q-switched frequency-doubled Nd:YAG laser at 532 nm with a few ns pulse width. Far-field optical irradiance distributions beyond a sample cell and their variations with increasing the energy incident upon the cell are also observed. The experimental results show that, for the 46  $\mu\text{m}$  thick methyl-red doped liquid crystal mixture E7 film with a weight-to-volume ratio of 6 mg/0.5 ml, the clamped output values of the first three tests are 0.70, 1.00 and 1.52  $\mu\text{J}$ , respectively, and the input limiting thresholds are between 23 and 28  $\mu\text{J}$ . The unusually low clamped output property of the film is very significant to the optical limiting for eye and sensor protection.

**Key words** nonlinear optics; optical limiting; methyl-red; doped liquid crystal; eye and sensor protection

### 1 引 言

自从 1965 年 J. P. Gordon 等<sup>[1,2]</sup>提出光限幅概念以来,人们在光限幅的研究方面已做了大量工作。涉及的光限幅机制有:反饱和吸收、双光子吸收、自由载流子吸收、非线性折射、光诱导散射和光折变等。所使用的光限幅材料也多种多样,典型的如:碳黑悬浮液、富勒烯、半导体材料和液晶等<sup>[3,4]</sup>。最近,在众多具有光限幅效应的材料中,偶氮化合物掺杂的向列相液晶表现出破记录的超大光学非线性<sup>[5]</sup>,其光限幅特性和机制的研究受到人们的重视<sup>[6]</sup>。

液晶 E7 是由 4 种不同的小克分子量 (low-molar mass) 液晶组成的混合物,其中 5CB 占 51%;而 7CB, O8CB 和 5CT 分别占 25%, 16% 和 8%;甲基红 (Methyl-Red) 是一种偶氮化合物,也是常用的酸碱指示剂,它有三种商品形式:一种是羧酸,通常直接称甲基红;另一种是钠盐,称甲基红钠盐或水溶甲基红;第三种是甲基红盐酸盐。我们利用波长为 532 nm, 脉冲宽度为 8 ns, 重复频率为 33 Hz 的倍频 Nd:YAG 脉冲激光研究了微量甲基红染料掺杂的液晶混合物 E7 的光限幅特性,观察了激光通过液晶盒后的远场光强分布及其随入射光能量的变化。发现在通常定义的光限幅动态范围内,样品盒后、主探

收稿日期: 2002-04-09; 收到修改稿日期: 2002-08-09

**作者简介:** 邓罗根 (1961.2—), 男, 江苏东台人, 博士, 教授, 主要从事激光和自适应光学技术、液晶非线性光学和光限幅等方面的研究。E-mail: luogen@bit.edu.cn

测器前的光强分布是一个中间暗边缘亮的光斑;当入射光能量增大到所谓的光限幅器破坏阈值时,光斑开始变为中间亮的不稳定同心圆环。实验结果表明,甲基红染料掺杂的液晶混合物 E7 薄膜的光限幅阈值和输出箝位阈值都很低,具有较为理想的光限幅特性,与非线性光栅自适应光限幅概念<sup>[7~9]</sup>相结合,有可能构成对人眼安全的理想光限幅器。

## 2 实验装置

实验中使用的液晶 E7 是美国 EM Chemicals 公司的产品,深色粉末状甲基红染料由 Aldrich 化学品公司提供。甲基红与液晶 E7 的重量-体积比为 6 mg/0.5 ml。甲基红染料的重量用微量电子天平称出;而液晶 E7 的体积则是由一种一次性注射器来计量的。液晶盒的结构如图 1 所示。掺杂液晶被夹在两片透明玻璃之间。液晶层的厚度  $d = 46 \mu\text{m}$ ,由处于玻璃片间的一个薄的环形垫圈决定。

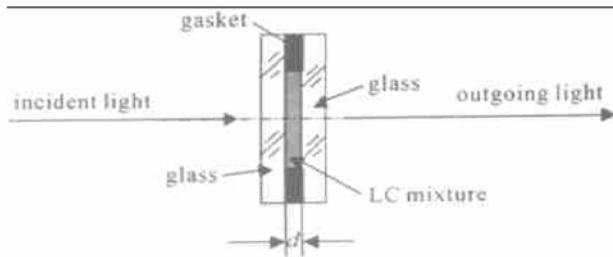


图 1 样品盒结构

Fig. 1 Structure of the cell used in the optical limiting experiment

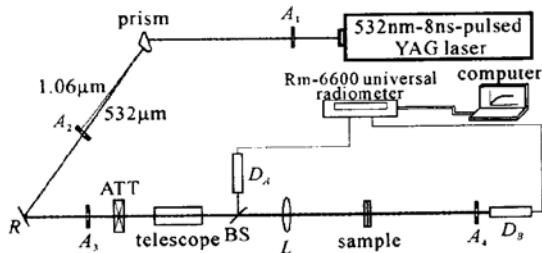


图 2 实验装置

Fig. 2 Experimental setup

实验装置如图 2 所示。波长为 532 nm,脉宽为 8 ns,重复频率为 33 Hz 的调 Q 脉冲 YAG 激光器被用做系统的光源。衰减器 ATT 通过手动调节连续地改变入射到样品盒上的能量。位于衰减器 ATT 和分束镜 BS 之间的一个倒置望远镜被用于对激光束进行扩束,以模拟实际激光束经远距离传输后光斑扩大的实际情况。透镜 L 的作用是把入射激光

束聚焦到样品上,其焦距  $f = 200 \text{ mm}$ 。样品盒被安装在透镜 L 的后焦平面上,与主探测器  $D_B$  之间的距离近似地与焦距  $f$  相同。探测器  $D_A$  监测样品盒前总输入能量的变化;其输出与标定系数  $K$  的乘积即表示入射到样品盒上的总输入能量  $E_i$ 。计算所需的标定系数  $K$  是通过测量液晶盒安装之前探测器  $D_A$  与主探测器  $D_B$  的输入-输出关系曲线得到的。测试时,主探测器  $D_B$  测量样品盒后一定距离处的透射光(输出)能量。其输出能量  $E_o$  与输入能量  $E_i$  之比反映被测材料在近轴附近的瞬时透过率  $T$ 。输出  $E_o$  随  $E_i$  变化的关系曲线就是所谓的光限幅特性曲线。

## 3 分析与结论

图 3(a)~(c) 分别为在上述甲基红掺杂液晶 E7 薄膜的同一点上所进行的第一、二、三次光限幅测量结果。实际测量时,入射到样品上的输入能量通过衰减器调节,是逐渐增加的。另外,在计算机采集系统中,已设置了每 10 个数据平均一次的处理程序。因此,与图中任意两个相邻数据点对应的的时间间隔都精确相同,其数值近似等于  $1/3 \text{ s}$ 。数据点沿横坐标方向分布不均匀的现象是由输入能量非匀速增加造成的。从这三条光限幅曲线可以看出:对于目前的掺杂样品,连续三次测试的最大箝位输出低于  $1.52 \mu\text{J}$ ,而光限幅阈值则发生在  $23 \sim 28 \mu\text{J}$  附近。虽然曲线之间有差异,但变化趋势是相同的。第一次测试的光限幅阈值小于第二次的光限幅阈值,而第二次的光限幅阈值又小于第三次的光限幅阈值。还有一个现象是,光限幅器输出能量的箝位阈值随测试次数的增加也略有增加。这种阈值随测量次数增加的现象来源于掺杂液晶薄膜折射率  $n$  的变化。我们知道,激光场能量的吸收会导致液晶媒质的温度上升。假设第二次测试时的起始温度比第一次测试时的起始温度高  $\delta T$ ,那么折射率的变化将等于  $\delta n = (\partial n / \partial T) \delta T$ 。液晶的两个折射率  $n_e$  和  $n_o$  都与温度有关。一般地说,  $\partial n_e / \partial T < 0$ ,  $\partial n_o / \partial T > 0$ ,而且  $\partial n_e / \partial T$  的绝对值比  $\partial n_o / \partial T$  的值大得多(比值接近等于 10,并与温度有关)<sup>[10]</sup>,因此,当温度增加  $\delta T$  时,液晶的  $e$  光折射率将减少,而  $o$  光折射率将增加。由于  $e$  光折射率的变化 ( $\delta n_e < 0$ ) 占主导地位,因此,可以粗略地认为液晶折射率  $n = n' + \delta n$  和液晶的光学厚度  $n \cdot d$  在第二次测试时有所减少。又因为较薄的薄膜其线性透过率较大<sup>[3]</sup>,即薄膜线性透过率与其厚度成反比,因此第二次测试所得到的

输入光限幅阈值和输出能量箝位阈值比第一次测试有所增加。

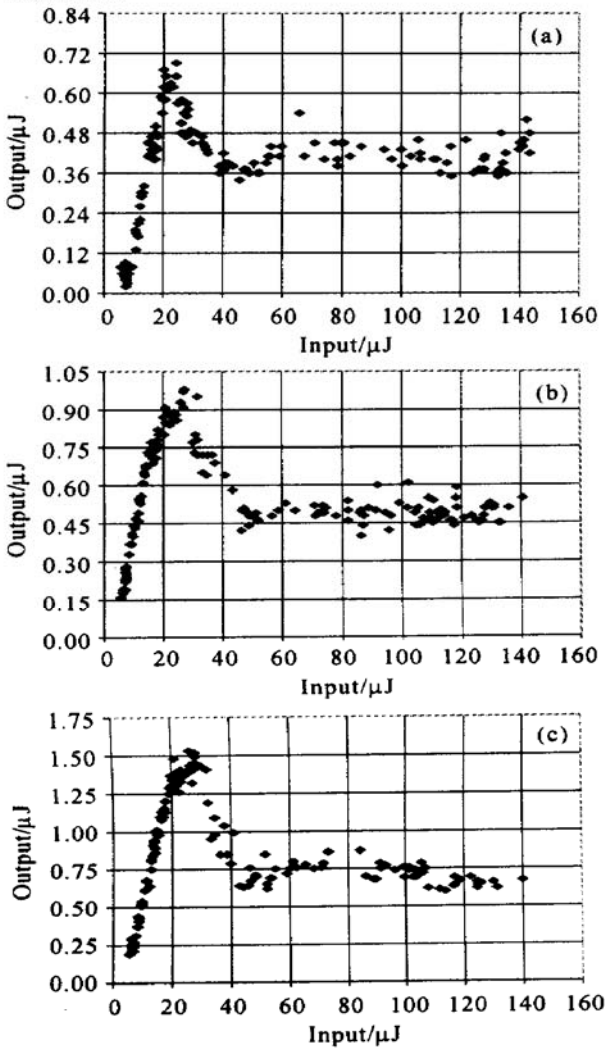


图 3 甲基红掺杂 E7 光限幅器的输入-输出关系 (a) 第一次测试; (b) 第二次测试; (c) 第三次测试

Fig. 3 Output vs input of the methyl red doped E7 optical limiter (a) first test; (b) second test; (c) third test

测试结束后, 在样品盒上没有发现明显的损伤。所能发现的变化仅仅是, 液晶盒内激光通过处的液晶薄膜与周边薄膜间有轻微的颜色差别。但经过一段时间的搁置之后, 这种颜色差异趋于消失。这一现象也与液晶折射率的变化有关。另外, 液晶的流动性也是搁置过程使上述颜色差异趋于消失的原因之一。

从图中可以看出, 三条曲线在输入大于 140 μJ 之后均没有再继续记录下去, 其原因是受仪器量程限制。我们使用的能量计有两个量程挡, 一个是 30 μJ, 另一个是 300 μJ。这两个量程实际对应的输入

能量范围是 30K μJ 和 300K μJ, 这里 K 是前面提到的标定系数。在记录图 3(a) ~ (c) 时, 量程钮拨在 30 μJ 挡上, 而  $K \approx 4.7$ , 因此, 输入能量范围只能在大约 0~ 145 μJ 之间变化。输入能量再增大时, 仪器就溢出了。本实验旨在考察输入能量较小时样品的光限幅行为, 因此没有获得破坏阈值的精确数据。然而, 根据我们在主探测器前对光斑的观察, 可以确切地说, 实际破坏阈值将大于 750 μJ, 这时, 光斑开始从面包圈形的中间暗斑向中间亮的动态同心圆环(见图 4)过渡。

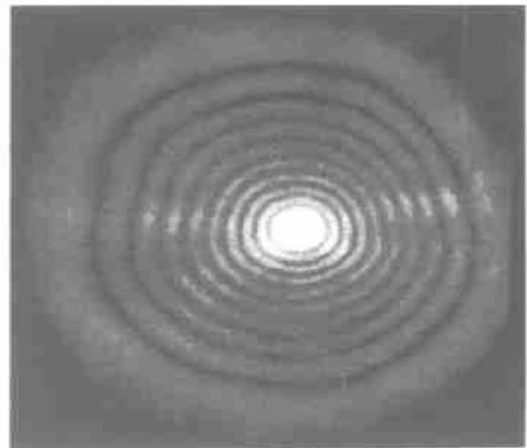


图 4 在样品盒后的远场所拍摄到的同心衍射环图样 Fig. 4 Concentric diffraction ring pattern taken in the far field beyond the sample

甲基红掺杂液晶 E7 的光限幅机理还在研究当中。就现象而言, 我们发现, 掺杂使液晶的光限幅阈值大大下降(在目前的小输入能量范围内, 未发现纯液晶 E7 具有明显的光限幅效果。但当采用仪器的大量程从而允许输入能量继续增大时, 光限幅和上面提到的动态同心圆环现象在使用纯液晶 E7 样品情况下同样存在), 这对于希望具有较低输入限幅阈值和较低箝位输出的光限幅应用来说非常有利。虽然破坏阈值(对应于中央亮的动态圆环的出现)也有很大降低, 但通过使用折射率与液晶寻常光折射率  $n_o$  相匹配的消零级衍射的相位光栅作液晶盒的基片, 有可能使掺杂液晶光限幅器的动态范围大大提高<sup>[9]</sup>。

### 参 考 文 献

- 1 J. P. Gordon, R. C. C. Leite, R. S. Moore *et al.*. Long transient effects in lasers with inserted liquid samples [J]. *J. Appl. Phys.*, 1965, **36**(1): 3~ 8
- 2 R. C. C. Leite, S. P. S. Porto, T. C. Damen. The thermal lens effect as a power-limiting device [J]. *Appl. Phys. Letts.*, 1967, **10**(3): 100~ 101

- 3 L. W. Tutt, T. F. Boggess. A review of optical limiting mechanisms and devices using organics, fullerenes, semiconductors and other materials [J]. *Prog. Quantum Electron.*, 1993, **17**(4): 299~ 338
- 4 Hong Zhang, David E. Zelmon, Luogen Deng *et al.*. Optical limiting behavior of nanosized polyicosahedral gold-silver clusters based on third-order nonlinear optical effects [J]. *J. Am. Chem. Soc.*, 2001, **123**(45): 11300~ 11301
- 5 I. C. Khoo, S. Slussarenko, B. D. Guenther *et al.*. Optically induced space-charge fields, dc voltage, and extraordinarily large nonlinearity in dye-doped nematic liquid crystals [J]. *Opt. Lett.*, 1998, **23**(4): 253~ 255
- 6 Pei Wang, Hai Ming, Jiang-ying Zhang *et al.*. Nonlinear optical and optical-limiting properties of Azobenzene liquid crystal polymer [J]. *Opt. Comm.*, 2002, **203**: 159~ 162
- 7 Li Chunfei, Wang Ruibo, Fang Guangyu *et al.*. Broadband optical limiter with an organic solution sandwiched between two gratings [J]. *Acta Optica Sinica (光学学报)*, 1999, **19**(3): 407~ 413 (in Chinese)
- 8 Li Yan, Xu Mai, Li Ye-fan. Adaptive optical limiting of nonlinear grating [J]. *Chinese Journal of Luminescence (发光学报)*, 2000, **21**(3): 273~ 275 (in Chinese)
- 9 C. F. Li, R. Wang, H. K. Liu. Nonlinear optical limiters with grating sandwich structure for eye protection [J]. *J. of Nonlinear Optical Physics and Materials*, 2000, **9**(4): 413~ 422
- 10 I. C. Khoo, R. R. Michael, G. M. Finn. Self-phase modulation and optical limiting of a low-power CO<sub>2</sub> laser with a nematic liquid-crystal film [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1988, **52**(25): 2108~ 2110