

# 有机材料在光限制中的应用\*

罗 挺

(后勤工程学院后勤自动化工程系, 重庆, 400016)

**摘要:** 对光限制器件的特性进行了简单的评述, 并对由自散焦过程产生光限制的机理进行了分析。采用  $z$ -扫描方法对有机材料分散红一的非线性折射过程和光限制特性进行了实验研究。对其结果进行了分析讨论, 这种分析对于以自作用效应产生最佳光限制效应是十分有用的。

**关键词:** 非线性折射 光限制  $z$ -扫描 自散焦

## The application of organic materials in optical limiting

Luo Ting

(Dept. of Automation, Rear-service Engineering College, Chongqing, 400016)

**Abstract:** We simply review the nonlinear optical process in organic materials which can be utilized in passive limiting devices. The mechanism of optical limiting for a self-defocusing process is examined. We experimentally investigate the nonlinear optical refraction and optical limiting characteristics of organic material, and the results are discussed. The analysis is useful in optimizing optical limiting behavior of devices based on self-action.

**Key words:** nonlinear refraction optical limiting  $z$ -scan self-defocusing

## 引 言

随着现代化技术中全光、电光、声光以及光学机械器件的发展, 人们对于光束的方向、强度、相位和偏振方向的控制提出了更高的要求。其中, 光强的控制是最基本和最重要的, 它在

\* 中国博士后基金和香港中山大学高等学术中心冼为坚基金资助。

- 2 Yeh C P. Experimental and Analytical Investigation of Thermally Induced Warpage for PWBs. Proc IEEE 41st Electronic Component Technology Conference, Oakland, CA, 1991
- 3 Hecht E. Optics. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, MA, 1987
- 4 Han B, Guo Y, Lim C K *et al.* Journal of Electronic Packaging, Transaction of the ASM E, 1993; 118: 157~ 163
- 5 Dudlear T D, Hall P M, Gilbert J A. Exp Mach, 1985; 25(1): 95~ 104
- 6 Wang W N, Leung K M. Reliability Testing of Solder Joints in Surface Mounted Assembly Using Real-time Holographic Interferometry. Proceedings of 45th Electronic Components and Technology Conference, Las Vegas, NV, May 1995: 835 ~ 840
- 7 Rastogi P K. Holographic Interferometry, Principles and Methods, 1994
- 8 Post D, Han B, Ifju P. High Sensitivity Moir-Experimental Analysis for Mechanics and Materials. Springer-Verlag New York, Inc, 1994: 197~ 198

作者简介: 王卫宁, 女, 1957 年 8 月出生。副教授。现从事实验物理教学及电子产品可靠性分析研究。

光通讯和光计算等领域具有广泛的应用。尽管实现光开关、光限制、光调制等的方法众多,就其基本原理来说,大致可以分为两大类,即主动方法和被动方法。

主动方法是利用器件的主动反馈方式来完成,比如在光学系统中,限制入射光强进入膜片的光敏器件就是主动控制的实例。理论上有很多方法来制作用于控制光强的主动器件,但一般说来,主动光限制器件和被动光限制器件相比,具有结构复杂和响应速度慢等缺点,器件越复杂,用于元件之间的传输时间就越长,主动光控制器件一般由光敏元件、处理和一个驱动元件组成,用于各元件的信号传输需占用一定的时间而使控制器件的响应速度变慢,相反,被动控光器件是利用非线性光学材料来完成的,光敏、处理和驱动是材料本身的基本属性。这种材料是一种智能或机敏材料,由于非线性光学材料的这些特性,它的响应速度就不受元件之间传输的限制,而只与材料本身的特性有关。被动光限制器件是一种具有巨大潜力的、且结构简单和超快的光控制器件,在超短脉冲等领域具有重要的应用。

然而,光限制器件最重要的应用是用于人眼和光学系统中光敏器件的保护。如直接的观察仪器(望远镜、枪、炮等瞄准器)、聚焦平面阵列、夜视系统等等。所有的光敏元件(包括人眼)都存在一个能量损伤阈值。利用合适的光限制器件可以使光敏元件工作的动态范围扩大,同时又能达到保护光敏元件的目的。

我们对光限制器件的特性进行简单的评述,并对自散焦过程产生光限制的机理进行了分析。采用  $z$ -扫描方法对有机材料分散红一的非线性折射过程和光限制特性进行了实验研究,对其结果进行了分析讨论。这种分析对于以自作用效应产生最佳光限制效应是十分有用的。

## 1 非线性折射和光限制器件的机理

用自聚焦和自散焦原理构成的光限制器是一具有应用型的限制器,其光限制机理是由  $x^{(3)}$  的实部或载流子产生相联系的非线性折射引起的。与吸收型光限制器不同的是,自聚焦或自散焦光限制是通过光折射使光偏离光敏器件,从而达到光限制的目的。故这类光限制的动态范围比吸收型光限制器大得多。许多研究者对这类光限制进行了详细的研究, Hermann 等人<sup>[1]</sup> 对这类器件进行了理论研究,最早的实验研究是 Leite 等人<sup>[2]</sup> 进行的,他们在一厚(与共焦参数比较)硝基苯样品上,通过空间滤波,利用热透镜效应实现了光限制,随后的研究一般是在薄样品上进行的,正如 Kaplan 等人<sup>[3]</sup> 描述的,我们将对这类器件作一简短的描述。

图 1a 为自散焦光限制器的典型光路图,图 1b 为自聚焦光限制的光路图。入射光通过透镜聚焦后进入非线性介质,这个透镜对系统提供光学增益,使系统在低入射光强下能够激活,输出光通过小孔照射到探测器上。当输入光强较低时,介质的非线性效应不明显,绝大部分光通过小孔后进入探测器,即器件处于低损耗状态,随着输入光强的增加,介质的非线性折射增加,介质内光束的非均匀分布引起折射率在空间上的分布为非均匀,这时,非线性介质相当于一个负透镜或正透镜(由二阶非线性折射率的符号决定)的作用,合理的设计光学系统,这种自透镜效应就能极大地限制透过小孔的能量,实现光限制,从而达到保护光敏器件的目的。

上面讨论的光限制行为可用一简化模型来理解,设通过非线性介质的光束为高斯光束,非线性折射率的变化  $\Delta n$  与入射光强或能量成正比。这样,在近轴近似条件下,非线性折射率的

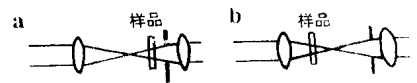


图 1 a-自散焦光限制器的典型光路图  
b-自聚焦光限制器的典型光路图

变化  $\Delta n$  表示为: 
$$\Delta n = \Delta n_0 e^{-2r^2/\omega_0^2} \approx \Delta n_0 [1 - 2r^2/(a\omega_0^2)] \quad (1)$$

式中,  $\Delta n_0$  是光轴上折射率的变化,  $r$  是横向坐标,  $\omega_0$  是样品内光束半径,  $a$  为级数展开忽略高阶项后的修正因子。对于厚度为  $L$  的薄样品, 在抛物近似下得到薄球面透镜的聚焦长度为:

$$f = a\omega_0^2/(4\Delta nL) \quad (2)$$

从(2)式可得, 随着介质非线性  $\Delta n$  的增加, 聚焦长度  $f$  减小, 如果介质的非线性  $\Delta n < 0$ , 可得  $f < 0$ , 这时光束将发生自散焦。反之, 如果  $\Delta n > 0$ , 则  $f > 0$ , 光束出现自聚焦。因此, 合理地设计光学系统, 由光束在介质内产生的这种透镜现象使小孔的光能大大减少, 起到光限制的作用。由于自聚焦介质往往会对非线性介质造成损伤, 在实际应用中通常选用自散焦介质作光限制器。这种介质对光限制器本身也具有保护作用<sup>[4,5]</sup>。另一方面, 由于自聚焦效应使非线性介质内光功率密度很高, 用它作光限制器常常在低输入光强就能使介质激活。

上面的讨论是经过多次简化得到的, 实际情况往往是非线性折射(瞬态和积累型折射非线性)和非线性吸收同时作用, 折射率的变化  $\Delta n$  与输入光强不是成正比关系, 为精确计算总的非线性折射率, 必须知道能量损耗(线性吸收和非线性吸收)以及能量的重新分布(复合和扩散), 因而, 必须借助于更严格的理论分析才能得出。

作为一个例子, 考虑由双光子材料构成的限制器, 其中材料具有瞬态和积累型非线性折射的变化。这样, 光限制不仅可由双光子吸收产生, 而且电子克尔非线性和折射率的变化(由双光子激发载流子引起的)也产生光限制。在 SI 单位制中, 对于各向同性的介质, 二阶非线性折射率写成:

$$\chi = (\mu_0/\epsilon_0)^{1/2} 3\text{Re}\chi^{(3)}/(4n_0^2) \quad (3)$$

式中,  $\mu_0$  为真空中的磁导率。习惯上将上式用 esu 单位表示为:

$$n_2(\text{esu}) = n_0 c \chi / (40\pi) \quad (4)$$

折射率的变化  $\Delta n$  与入射光强的关系可写成: 
$$\Delta n_{\text{ker}} = \chi I_0 \quad (5)$$

Sheik-Bahae 等人<sup>[6]</sup>证明, 当光能量低于 0.8 倍的介质带隙能量, 利用双光子色散非线性的 Kramers-Kronig 变换能精确预测  $\chi$  的值。由于双光子色散的特点在理论上和实验上都进行了大量的工作, 这个结果为测定半导体和电介质中束缚电子非线性折射率提供了强有力的工具。目前, 从 UV 到 IR, 在  $\chi$  的 4 个量级范围内, 多种介质的色散, 带隙的定标,  $\chi$  的大小和符号已进行了广泛的研究。结果表明, 对某一材料,  $\chi$  的峰值出现在双光子的边缘附近, 当能量超过约  $0.7E_g$  时,  $\chi$  的符号从正变到负, 其值与  $E_g^{-4}$  成正比。

非线性介质的位置对于折射型光限制起着非常关键的作用, 对于自聚焦光限制器, 介质的最佳位置在透镜的前焦大约一个瑞利长度处, 当介质被激活时, 由透镜和介质组成的共焦系统的焦距将变短, 这样, 在输出面小孔处的光斑将变大。对于自聚材料, 最佳位置在后焦约一个瑞利长度处。这种位置关系不仅可以用来测量介质的非线性折射率的符号, 而且还可以测量非线性折射率的大小, 这也是  $z$ -扫描测量非线性折射率的原理。

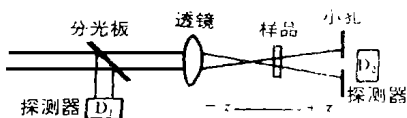
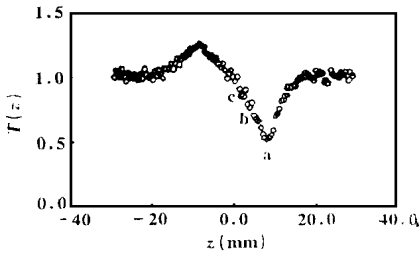


图2  $z$ -扫描实验装置图

## 2 实验结果与讨论

测量所用的样品为分散红一。将样品溶于甲苯溶液中, 制成浓度为  $5.0 \times 10^{-4} \text{M}$  的溶液样品。图 2 为  $z$ -扫描测量系统。泵浦光源为西德 Lamada Physik 公司的脉冲准分子激光器泵浦一台可调谐染料激光器, 其输出激光能量约 0.1mJ。染料激光器

图 3 样品的  $z$ -扫描测量结果

的工作波长调节到 470nm, 脉冲宽度为 10ns, 为便于 Boxcar 积分平均器工作, 激光的工作频率选为 10Hz。在实验中, 采用步进马达带动放置样品的光学平台移动, 同时用计算机采样记录下样品由焦点内向焦点外扫描过程中, 不同位置  $z$  处透过小孔的光强透射率, 从而获得  $T$ - $z$  曲线中峰-谷值变化, 如图 3 所示。从图中可以看出, 峰值强度的绝对值比谷值小一些, 这说明产生三阶非线性效应除非线性折射外, 还存在非线性吸收。在  $z$ -扫描实验中, 非线性吸收往往使峰值受到压制而谷值得到增强, 如双光子吸收、反饱和吸收等。从我们的实验样品来看, 估计是反饱和吸收引起的。

将样品放在图 3 中的 a, b, c 3 个位置处, 通过改变入射光强的大小, 对样品的光限制行为进行了测量, 结果如图 4 所示。从图 3 中可以看出, 此样品是一种自散焦材料, 由机理分析可知, 将样品放在图 3 中的谷值处, 其光限制效果最好, 即在该位置处限制器的阈值功率最小, 从图 4 可明显看出这一点。

从实验过程看, 除了非线性折射和反饱和吸收对光限制起作用外, 热效应对光限制也有一定贡献, 同时, 样品池和样品对光的散射对光限制也有贡献。因此, 这是几种非线性过程共同作用的结果, 具体的定量分析将比较复杂。

光限制器件的研究是目前国内外非常重视和广泛研究的一个课题。所适用的材料主要是有机材料、炭黑悬浮粒子、半导体材料、富勒烯、无机材料、光折变材料和液晶等<sup>[7, 8]</sup>。目前的主要问题是光限制器件的阈值能量高、频带宽, 且光限制器件主要工作在短脉冲区。从实际应用的角度来看, 低阈值、宽频带的光限制器件在保护光敏器件、人眼的防护、光计算, 以及军事等方面具有重要的应用价值。

## 参 考 文 献

- 1 Hermann J A. Opt Acta, 1985;32: 541~ 547
- 2 Leite R C C, Porto S P, Dam en T C. A P L, 1967; 10: 100~ 101
- 3 Kaplan A E. Radiophys Quantum Electron, 1969; 12: 692~ 696
- 4 Van Stryland E W, Wu Y Y, Hagan D J *et al.* J O S A, 1988; 5: 1980~ 1989
- 5 Hagan D J, Said A A, Hagan D J *et al.* Proc SPIE, 1989; 1105: 146~ 153
- 6 Sheik Bahae M, Said A A, Wei T H *et al.* IEEE J Q E, 1990; 26: 760~ 769
- 7 McLean D G, Sutherland R L, Brant M C *et al.* Opt Lett, 1993; 18(11): 858~ 890
- 8 He G S, Xu G C, Prasad P N *et al.* Opt Lett, 1995; 20(5): 435~ 437

\* \* \*

作者简介: 罗 挺, 男, 1960 年 2 月出生。博士后, 副教授。现从事光电传感器、光纤通讯及自动控制等领域的研究。

收稿日期: 1999-01-04 收到修改稿日期: 1999-04-12

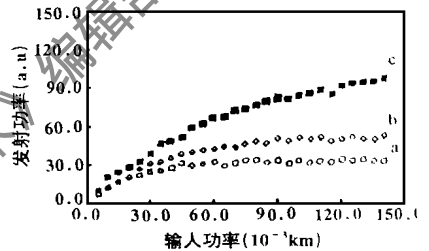


图 4 在不同位置测得的样品光限制曲线