

非线性吸收对聚合物 PMMA/DR1 光漂白的影响

贾振红

(新疆大学电子信息科学系, 乌鲁木齐, 830046)

摘要: 研究了在 1064nm 处非线性吸收对有机聚合物材料 PMMA/DR1 光漂白的影响。实验结果表明, 在较强的入射光作用下, 由于双光子吸收的作用, 使得 PMMA/DR1 发生光漂白, 其折射率产生微小的变化, 且随光漂白时间的增加而产生饱和。

关键词: 光漂白 PMMA/DR1 聚合物薄膜 双光子吸收

Influence of the nonlinear absorption on the photobleaching of polymer PMMA/DR1

Jia Zhenhong

(Department of Electronics and Information Science, Xinjiang University, Urumqi, 830046)

Abstract: The influence of the nonlinear absorption on the photobleaching of polymer PMMA/DR1 film is studied in this paper. The experimental results show that the photobleaching induced by the two-photon absorption at 1064nm wavelength can make the film's refractive index change, but this change will become saturated with the photobleaching time.

Key words: photobleaching PMMA/DR1 polymer film two-photon absorption

粒度分布谱如图 4, 与图 2 比较可见, 无发散现象。测量效果得到了较大的改善。

3 结 论

改进后的方法与用 SSPD 为接受器并以矩阵迭代为反演手段的方法相比, 具有以下优点: (1) 由于获取的数据量大, 减少了病态的出现, 为反演提供了良好的基础, 所以, 恢复数据更为可靠, 有更好的数值稳定性; (2) 由于准确地测定了衍射中心, 从图样中获得的数据精度高, $I(\theta)$ 分布谱图正确, 经运算模型数值处理后, 得到了 $n(D)$ 的正确分布, 有效地解决了局部的反演发散问题; (3) 仅需要很少的预知信息, 可以不考虑微粒的形状、折射率、分布模式等参数。

参 考 文 献

- 1 Allen T, Particle Size Measurement (fourth edition). New York: Chapman & Hall, 1990: 124~ 200
- 2 Bassini A, Musazzi S, Paganini E *et al*. Opt Engng, 1992; 33(31): 1112~ 1117
- 3 Yi S S, Stafsudd O M. Appl Opt, 1998; 37(19): 4112~ 4115
- 4 Fymat A L. Appl Opt, 1978; 17(11): 1677~ 1678

作者简介: 王亚伟, 男, 1957 年 2 月出生。副教授, 博士生。现从事光散射方面的科学研究。

引言

由于有机共轭材料具有极强的非线性光学效应、超快的响应时间和易成膜的特点,故可用于制备各类光波导器件,特别是全光波导器件。其中掺杂染料聚合物材料在紫外和可见光区还具有光漂白性质。光漂白过程取决于时间、温度、漂白光波长和强度等因素,可以改变材料的折射率和吸收系数^[1-5]。利用这种光漂白性质,通过调节曝光时间和强度,很容易控制聚合物的折射率变化。可以进行光波导器件的制备,特别是条型波导^[5,6]。聚合物 DR1/PMMA(分散红 iv/聚甲基丙烯酸甲酯),就是一种具有光漂白特性的非线性光学材料。DR1/PMMA 对波长从紫外到 580nm 的光有较强的线性吸收,在光作用下会产生异构化、发色团中的化学键断裂以及发色团扩散到膜外等效应,形成了材料的光漂白。由于在波导传输的激光一般工作在红外波段,这样,DR1/PMMA 对于波长如小于 1.2μm 的激光会产生双光子吸收,因而也可能发生光漂白。作者研究了双光子吸收引起光漂白对材料 DR1/PMMA 折射率的影响。

1 理论与实验

如图 1 所示,用波长为 1.06μm 的 Nd:YAG 脉冲激光作为使 PMMA/DR1 产生双光子吸收的光源,而用波长为 632.8nm 的 He-Ne 激光作为探测光。由于探测光波长在 PMMA/DR1 透明区且光强较弱,因此,不会产生光漂白作用。PMMA/DR1 薄膜样品的厚度为 d 。遮盖片的开孔半径为 a 。设入射的探测光为高斯光束,束腰为 w_0 ,并与 1.06μm 的激光同光轴。束腰处为坐标 z 轴原点。光漂白后的薄膜样品在束腰附近扫描,在接收屏上光轴处开一非常小的孔。双光子吸收引起材料的吸收系数改变:

$$\Delta\alpha = \beta I \quad (1)$$

式中, I 为光强, β 为双光子吸收系数。

掺杂染料聚合物对波长为 λ_b 的光吸收后,在其内部产生光化学反应(光漂白过程),从而导致折射率的变化。变化的大小与材料吸收系数、漂白时间、漂白光强度、环境温度、材料外部气体成分的含量(例如氧)等因素有关^[4]。

在小孔区因双光子吸收产生的光漂白而导致薄膜的位相变化:

$$\Delta\varphi(\lambda, r, t) = k \int_0^L \Delta n(\lambda, z', r, t) dz' = \overline{\Delta n} k d \quad (2)$$

式中, $\overline{\Delta n}$ 是在半径为 a 的区域内因光漂白造成的平均折射率变化, z' 是以样品入射表面为原点的内部坐标, k 为探测光的波数, r 是场点到光轴的距离。由基尔霍夫衍射积分可得出远场的光强分布:

$$E_D = \frac{2\pi}{\Delta D} \int_0^{\infty} J_0(2\pi r r_1 / \Delta D) E(r) r dr \quad (3)$$

式中, J_0 为零阶贝塞尔函数, $E(r)$ 为被照薄膜上光场分布, D 为远场一点到被照射物的距离。

探测光在远场光轴处($r_1=0$)产生的光强分布为:

$$I_D = \left(\frac{2\pi}{\Delta D} \right)^2 \frac{w_0^2 I_p 0(t)}{w^2(z)} \left| \int_0^a e^{-i\Delta\varphi(\lambda, t)} \cdot e^{-\frac{r^2}{w^2} - i\frac{k}{2R^2} r^2} r dr + \int_a^{\infty} e^{-\frac{r^2}{w^2} - i\frac{k}{2R^2} r^2} r dr \right|^2 \quad (4)$$

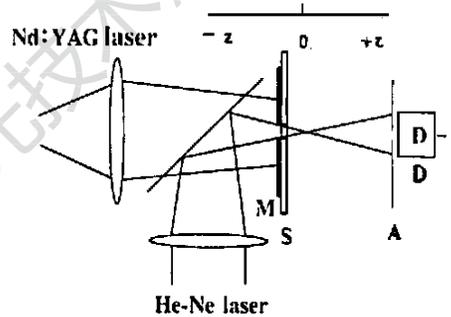


Fig. 1 Experimental setup for z-scan measurement
 S—sample M—mask A—Aperture D—detector

归一化透过率为:

$$T(z, \Delta\varphi) = I_D(\Delta\varphi) / I_D(\Delta\varphi = 0) = \frac{4}{w^2(z)w_0^2} \left| \int_0^a e^{-\frac{r^2}{w^2} - i\frac{k}{2R^2}r} dr + \int_a^\infty e^{i\Delta\varphi(\lambda r)} \cdot e^{-\frac{r^2}{w^2} - i\frac{k}{2R^2}r} dr \right|^2 \quad (5)$$

式中, R 是在 z 处的波前曲率半径。

设漂白光束的束腰大于光漂白区半径 a , 则光漂白区内折射率变化较为平缓, 取平均变化 Δn 。进一步化简为^[7]:

$$T = 1 + 2e^{-v} [\cos(u + \Delta\varphi) - \cos u] + 2e^{-2v} (1 - \cos\Delta\varphi) \quad (6)$$

式中, $u = \frac{z_0 z}{z^2 + z_0^2} \left(\frac{a}{w_0}\right)^2$, $v = \frac{z_0^2}{z^2 + z_0^2} \left(\frac{a}{w_0}\right)^2$, z_0 为高斯光束的共焦参数。

2 结果和讨论

用甩胶法制备聚合物 PMMA/DR1 薄膜样品, 由实验先测量出归一化透过率 T (见图 2), 再由 (6) 式和 (2) 式求出平均折射率变化。实验中所用的 PMMA/DR1 薄膜厚为 $5\mu\text{m}$, Nd:YAG 激光的束腰为 $400\mu\text{m}$, 光强度为 $50\text{MW}/\text{cm}^2$ 。脉冲宽度为 12ns , 重复频率为每秒 10 次。小孔 a 直径约为 0.5mm , 光漂白时间为 60min , 探测光束腰半径为 $120\mu\text{m}$ 。测得的 Δn 值约为 2×10^{-3} 。若光漂白时间增加到 120min , 实验测得的 Δn 值几乎不再增加, 这说明双光子吸收产生的光漂白效应已达到饱和。需要说明的是, 以上分析的是在半径为 a 区域内因光漂白造成的平均折射率变化, 而更严格的 $\Delta n(r, z')$ 分布, 应由积分数值计算得出。

从以上的研究结果可以看出, 在 $1.06\mu\text{m}$ 波长处, 双光子吸收引起光漂白对材料 DR1/PMMA 折射率有一定的影响。因而对于用光漂白法制备成的波导器件, 工作光波长最好有所选择, 以避免产生双光子吸收而使得光波导参数有所改变。目前, 光纤通信所用激光波长为 $1.55\mu\text{m}$, 对材料 DR1/PMMA 不会产生双光子吸收。

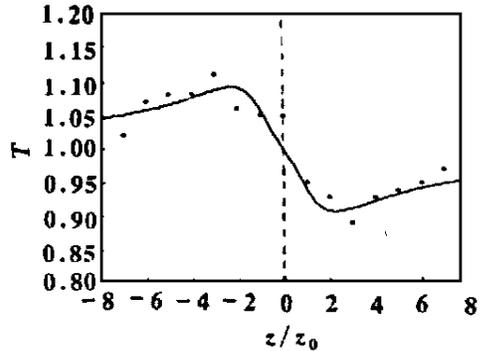


Fig. 2 Normalized z -scan transmittance of sample measured for $t = 10\text{ h}$ —solid line—theoretical result fitted with $\Delta\varphi = 0.031\pi$

参 考 文 献

- 1 Sheats J R, Diamond J J, Smith J M. J Phys Chem, 1988; 92(11): 4992~ 4999
- 2 李 勃, 陈英礼, 陈险峰 *et al.* 光学学报, 1995; 15(16): 819~ 823
- 3 Lee M M, Lee H J, Han S G *et al.* Thin Solid Film, 1996; 283(3): 247~ 249
- 4 Ma J, Lin S H, Feng W *et al.* Appl Opt, 1995; 34(24): 5352~ 5360
- 5 Feng W, Lin S H, Hooker R B *et al.* Appl Opt, 1996; 34(30): 6885~ 6891
- 6 Makoto N, Okihiri S, Naomichi O *et al.* Appl Opt, 1998; 37(6): 1068~ 1073
- 7 贾振红, 李 勃. 量子电子学报, 2000; 17(1): 81~ 84

作者简介: 贾振红, 男, 1964 年出生。教授, 博士。现从事非线性光学材料和光电子器件方面的研究。