

# 用单光束扫描法测量球状电介质悬浮液的非线性折射率\*

贾振红 李 劬 陈益新 陈英礼 周 骏

(上海交通大学应用物理系, 上海 200030)

**摘要** 利用单光束扫描法研究了球状电介质悬浮液的非线性光学性质,对直径为  $0.059 \mu\text{m}$ ,浓度为2.5%的聚苯乙烯悬浮液的非线性光学系数  $n_2$  进行了测量,给出  $n_2$  值为  $4.3 \times 10^{-9} \text{cm}^2/\text{W}$ 。从实验中得出这种悬浮液中  $n_2$  引起的折射率变化远大于热效应引起的折射率变化。

**关键词** 电介质悬浮液,单光束扫描法,非线性折射率

## 1 引言

亚微米电介质颗粒悬浮液是一种人工克尔介质,具有极大的非线性折射率<sup>[1]</sup>。人们已用这种介质实现了四波混频及自聚焦等实验<sup>[2,3]</sup>,对其非线性光学性质进行了研究。这种介质产生光学非线性的机理是电介质小球在光场  $E$  中可成为具有极化强度  $P$  的电偶极子<sup>[1]</sup>

$$P = n_0^2 \left( \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right) r^3 E \quad (1)$$

其中  $n_0$  是液体折射率,  $n = n_s/n_0$ ,  $n_s$  是介质小球折射率,  $r$  是球半径。在激光的光场中,小球受电场力作用。 $n > 1$  ( $n < 1$ ), 小球沿光强增加(减小)的方向一移动,形成沿轴对称的密度分布,因而产生折射率变化分布,形成正的非线性折射率  $n_2$ 。这种悬浮液响应时间较慢(ms),但因具有极大的非线性折射率,故在某些情况下可作为一种非线性光学材料<sup>[1~4]</sup>。

本文用单光束扫描法<sup>[5]</sup>同时测量了一种球状电介质悬浮液的非线性光学系数  $n_2$  及热效应产生的折射率变化,并与理论值进行了比较,结果基本一致。

## 2 测量原理

设入射光为基模高斯光束

$$E(z, r) = E_0 \frac{\omega_0}{\omega(z)} \exp\left\{ \frac{-r^2}{\omega^2(z)} - \frac{ikr^2}{2R(z)} \right\} \exp[-i\phi(z)] \quad (2)$$

设样品厚度  $l$  很小,不考虑光束强度分布包络在样品中发生畸变,在慢变化近似下有

$$\frac{dl}{dz'} = -al \quad (3)$$

\* 上海市科技发展基金资助项目。

$$\frac{d(\Delta\phi)}{dz'} = \Delta n(I)k \quad (4)$$

$z'$  是样品内纵向坐标,  $\alpha$  为样品的散射损耗系数  $\alpha_0$  与线性吸收系数  $\alpha_1$  之和, 对于我们使用的样品,  $\alpha_0 \gg \alpha_1$ , 故  $\alpha \approx \alpha_0$ .  $\Delta n(I) = \Delta n_e + \Delta n_i$ ,  $\Delta n_e = n_2 I$  是在光场作用下, 由于悬浮颗粒度分布改变而形成的折射率变化.  $\Delta n_i$  是热效应引起的折射率变化, 由文献[6]知,  $\Delta n_i = [(\frac{dn}{dt}) \cdot I \omega^2(z) \alpha] / 4\kappa$ ,  $\kappa$  为热导率. 由(3), (4) 式, 得到

$$\Delta\phi = \Delta\phi_0 \exp[-2r^2/\omega^2(z)] \quad (5)$$

$$\Delta\phi_0 = \frac{\Delta\Phi_{oe}}{1 + z^2/z_0^2} + \Delta\Phi_{\alpha} \quad (6)$$

其中,  $\Delta\Phi_{oe} = \kappa \Delta n_e l_{eff}$ ,  $\Delta\Phi_{\alpha} = \kappa \Delta n_i l_{eff}$ ,  $l_{eff} = (1 - e^{-\alpha l})/\alpha$ ,  $z_0$  为共焦参数. 样品出射面场分布为

$$E_s(z, r) = E(z, r) \exp(-\alpha_0 l/2) \exp(-i\Delta\phi) \quad (7)$$

利用高斯分解法<sup>[5]</sup>, 我们可以推导出接收屏处小孔径的归一化透射率

$$T(z, \Delta\Phi_{oe}, \Delta\Phi_{\alpha}) \approx 1 + \frac{4\Delta\Phi_{oe}x}{(x^2 + 9)(x^2 + 1)} + \frac{4\Delta\Phi_{\alpha}x}{x^2 + 9} \quad (8)$$

式中  $x = z/z_0$ , 设  $x = x_p, x_r$  时,  $T$  取极大值  $T_p$  或极小值  $T_r$ , 则有  $x_p = -x_r$ , 令  $\Delta x_{p-r} = |x_p - x_r|$ , 则  $|x_p| = |\Delta x_{p-r}|/2$ . 由(8) 式得

$$\frac{\Delta\Phi_{oe}}{\Delta\Phi_{\alpha}} = \frac{\Delta n_e}{\Delta n_i} = \frac{(x_p^2 + 1)(9 - x_p^2)}{3x_p^4 + 10x_p^2 - 9} \quad (9)$$

由上式可以看出, 若  $\Delta n_e \gg \Delta n_i$ , 则  $|\Delta x_{p-r}| \approx 1.7$ , 若  $\Delta n_i \gg \Delta n_e$ , 则  $|\Delta x_{p-r}| = 6$ .

设接受屏小孔半径为  $r_s$ , 由文献[5], 可得到如下结果

$$\Delta T_{p-r} \approx 8(1 - s)^{0.25} \left[ \frac{\Delta\Phi_{oe}x_p}{(x_p^2 + 9)(x_p^2 + 1)} + \frac{\Delta\Phi_{\alpha}x_p}{x_p^2 + 9} \right] \quad (10)$$

其中  $\Delta T_{p-r} = T_p - T_r$ ,  $S = 1 - \exp(-2r_s^2/w_s^2)$ ,  $w_s$  是在线性情况下光束在屏处的半径.

从实验上测出  $\Delta x_{p-r}$ ,  $\Delta T_{p-r}$ , 就可以从(9) 和(10) 式得出  $\Delta n_e$ ,  $\Delta n_i$ .

### 3 实验结果及讨论

我们所用样品为 Dow 化学公司生产的聚苯乙烯悬浮液, 颗粒直径为  $0.059 \mu\text{m}$ , 浓度为 2.5%, 测得其散射损耗系数  $\alpha_0$  为  $25.5 \text{ cm}^{-1}$ . 光源采用连续  $\text{Ar}^+$  激光, 波长为  $514.5 \text{ nm}$ , 输出功率为  $480 \text{ mW}$ . 经透镜聚焦后, 束腰为  $12 \mu\text{m}$ . 厚为  $0.26 \text{ mm}$  的样品池装有悬浮液样品. 开有小孔的屏置于探测器前, 样品在透镜焦点附近扫描过程中记录下样品在不同位置  $z$  处的透射率, 得到如图 1 所示的  $T-x$  变化曲线. 考虑到悬浮物颗粒布朗运动造成的散斑移动对探测器读数的影响, 取  $S = 0.2$ . 根据  $T-x$  实验曲线, 可以看出,  $\Delta n_e \gg \Delta n_i$ . 因而可忽略热效应引起的折射率变化. 这样可求出样品的非线性折射率  $n_2 \approx 4.3 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{W}$ . 由文献[1]知, 球状悬浮液非线性折射率  $n_2$  由下式决定

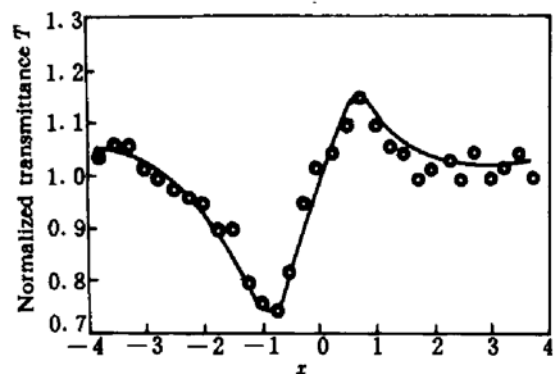


Fig. 1 Normalized transmittance versus position  $x$  of a sample

$$\frac{n_2}{\alpha_0} = \frac{\lambda^4}{16\pi^3 ckTn_s^2} \frac{n^2 + 2}{n + 1} \quad (11)$$

其中  $c$  为真空中的光速,  $k$  为玻尔兹曼常数,  $T$  为悬浮液温度,  $\alpha_0$  为散射损耗系数。我们所使用的样品中,  $n_s = 1.59$ ,  $n_b = 1.33$ 。在室温下, 可得出  $n_2 = 2.4 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{W}$ 。实验值与理论值基本相符。 $n_2$  值为正, 这也同我们实验观测到的一致。另外, 由热效应引起的折射率变化可忽略不计。虽然  $dn/dT \sim 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  [7], 但由于聚苯乙烯悬浮液对使用的激光吸收极小, 故有上述结果。

### 参 考 文 献

- 1 P. W. Smith, P. J. Maloney, A. Askin. Use of a liquid suspension of dielectric spheres as an artificial Kerr medium. *Opt. Lett.*, 1982, (8): 347~349
- 2 P. W. Smith, A. Askin, W. J. Tomlinson. Four-wave mixing in an artificial Kerr medium. *Opt. Lett.*, 1981, (6): 284~286
- 3 A. Askin, J. M. Dziedzic, P. W. Smith. Continuous-wave self-focusing and self-trapping of light in artificial Kerr media. *Opt. Lett.*, 1982, (6): 276~278
- 4 C. M. Lawson, G. W. Euliss, R. R. Michael. Nanosecond laser-induced cavitation in carbon microparticle suspensions; Application in nonlinear interface switching. *Appl. Phys. Lett.*, 1991, 58: 2195~2197
- 5 M. Sheik-Bahae, A. A. Said, T. H. Wei *et al.*. Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam. *IEEE. J. Quant. Electr.*, 1990, QE-26: 760~769
- 6 J. G. Tian, C. Zhang, G. Zhang. The origin of optical nonlinearities of Chinese tea. *Optik*, 1992, 90: 1~4
- 7 S. De Nicola, P. Mormile, G. Pierntini. The Temperature dependence of the refractive index of an aqueous suspension of polystyrene microspheres. *Appl. Phys.*, 1991, B53: 350~352

## Nonlinear Refractive Index Measurement of Liquid Suspension of Dielectric Spheres with a Single Beam Technique

Jia Zhenhong Li Qu Chen Yixin Chen Yingli Zhou Jun

(Department of Applied Physics, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030)

**Abstract** Optical nonlinearity of the liquid suspension of dielectric spheres has been studied with a single beam technique. Nonlinear refractive index  $n_2$  of polystyrene latex suspension with 0.059  $\mu\text{m}$ -diameter and concentration of 2.5% has been measured to be  $4.3 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{W}$ . The contribution of thermal effect has been proved experimentally to be negligible as compared with that of electrostrictive effect.

**Key words** liquid suspension of dielectric particles, single beam technique, nonlinear refractive