

液晶中激光感生热光栅的研究

朱化南 米辛 俞祖和 靳福惠 傅盘铭

(中国科学院物理研究所)

1983年4月9日收到

提 要

本文中探讨了 MBBA 液晶中, 由热致位相光栅产生的简并四波混频效应. 通过测量热光栅衰变的弛豫时间, 得到 $T = 45.1^\circ\text{C}$ 时, 液晶各向同性相的热弥散系数为

$$D = 8.6 \times 10^{-4} \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}.$$

四波混频^[1]是研究物质特性的有效手段. 其中, 简并四波混频^[2]可以测量物质的弥散系数, 因此, 近年来得到广泛的注意, 并且已被用来研究半导体, 激光晶体等物质的能量转移过程. 我们在液晶的简并四波混频实验中, 发现液晶的四波混频存在两种机制, 即来源于分子重新取向的非线性极化及热致位相光栅^[3]. 本文将集中探讨由热光栅产生的四波混频效应, 并且, 通过测量热光栅衰变的弛豫时间, 得到液晶在各向同性相的热弥散系数.

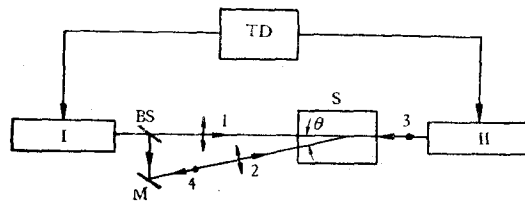


图1 测量热致相位光栅弛豫时间的实验装置原理图

I, II 为倍频脉冲 Q 开关 YAG 激光器; TD 为可变延时器; S 为 MBBA 样品盒, 置于温度控制装置内; BS 为分束器; M 为全反片

简并四波混频的物理机制可以概括如下: 如图 1 所示, 物质在第 1, 2 两束泵光的作用下产生有周期结构的空问光栅. 对于不同物质, 此空问光栅可以有不同的来源: 它可以是能级间布居差的有规律的空问分布, 可以是分子取向有序排列的空问光栅, 也可以是物质中温度分布的周期空问结构. 第 3 束光为试探光, 其前进方向与第 1 束光相反. 此光束被由第 1, 2 两束光干涉形成的空问光栅衍射, 产生沿第 2 束光反向前进的混频信号. 如果试探光与泵光有相对延迟, 则混频信号将随延迟时间的增长而衰变. 混频信号弛豫过程的来源可以是由作用分子(或作用原子)本身的弛豫, 也可以是能量的空问弥散. 通过解弥散-弛豫方程^[4], 得到一般情况下, 简并四波混频的有效弛豫时间为

$$\tau_{eff} = \frac{\tau}{1 + q^2 D \tau}. \quad (1)$$

这里 τ 为分子(或原子)本身的弛豫时间; D 为弥散系数; $q = k_1 - k_2$; k_1 及 k_2 分别为

1, 2 两束泵光的波矢. 设 θ 为 $\mathbf{k}_1, \mathbf{k}_2$ 间的夹角, 则 $q = 2k \sin \theta/2$. 首先, 当 $q^2 D \ll 1/\tau$, 弥散效应可以忽略. 这时, 简并四波混频的弛豫时间等于分子(或原子)本身的弛豫时间, 因此, 与夹角 θ 无关. 其次, 如果弥散效应起作用, 则混频信号的弛豫时间与两束入射泵光的夹角有关. 通过测量四波混频弛豫时间与夹角的关系, 可以求得分子(或原子)的弛豫时间 τ 及弥散系数 D .

以下, 我们讨论由热光栅产生的简并四波混频效应. 如果入射激光能被物质吸收, 则 1, 2 两束泵光在物质中干涉的结果, 将产生温度分布的周期空间结构. 温度 $T(\mathbf{r}, t)$ 满足下面方程^[2]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} - D \nabla^2 T = \left(\frac{\alpha n c}{4\pi \rho c_p} \right) \operatorname{Re}[\mathcal{E}_1 \cdot \mathcal{E}_2^* e^{i\mathbf{q} \cdot \mathbf{r}}]. \quad (2)$$

这里弥散系数 $D = \beta/\rho c_p$; 而 $\rho, c_p, \beta, \alpha, n$ 分别为物质的密度、比热、热导率、能量损耗率和折射率; $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2$ 分别为 1, 2 两束泵光的振幅.

设泵浦脉冲终止时刻为 $t = 0$, 通过解(2)式, 得到 $t > 0$ 时, 温度随空间涨落的部分

$$\delta T(\mathbf{r}, t) = \delta T(t=0) e^{-t/\tau_T} \cos \mathbf{q} \cdot \mathbf{r}. \quad (3)$$

这里

$$\begin{aligned} \delta T(t=0) &= \left(\frac{\alpha n c}{4\pi \rho c_p} \right) \int_{-\infty}^0 \mathcal{E}_1(t') \cdot \mathcal{E}_2^*(t') e^{i\mathbf{q} \cdot \mathbf{r}} dt', \\ \tau_T &= 1/q^2 D = \frac{\rho c_p}{\beta q^2}. \end{aligned} \quad (4)$$

温度的空间变化产生的折射率的变化为

$$\begin{aligned} \delta n(\mathbf{r}, t) &= \left(\frac{\partial n}{\partial T} \right)_p \delta T \\ &= \delta T(t=0) \left(\frac{\partial n}{\partial T} \right)_p e^{-t/\tau_T} \cos \mathbf{q} \cdot \mathbf{r}. \end{aligned} \quad (5)$$

这相当于一个热致位相光栅. 在 t 时刻, 我们用试探脉冲与此热光栅作用, 产生的极化为

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_4(\mathbf{r}, t) &= \operatorname{Re} \left\{ \frac{n}{2\pi} \left(\frac{\partial n}{\partial T} \right)_p \delta T(t=0) \mathcal{E}_3(t) e^{-t/\tau_T} \right. \\ &\quad \left. \times \exp [i(\mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2 + \mathbf{k}_3) \cdot \mathbf{r} - i\omega t] \right\}. \end{aligned} \quad (6)$$

这里 $\mathcal{E}_3(t)$ 及 \mathbf{k}_3 分别为试探光的振幅及波矢.

由 \mathbf{P}_4 产生的混频信号的振幅 $\mathcal{E}_4(\mathbf{r}, t)$ 正比于 $\mathbf{P}_4(\mathbf{r}, t)$ 的振幅. 首先, 在 $\mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2 = 0$ 的情况下, 混频信号沿第 2 束光的反向前进. 其次, $|\mathcal{E}_4|^2 \propto e^{-2t/\tau_T}$, 因此, 混频信号的衰变时间为 $\tau_T/2$. 比较(4)式及(1)式, 得到由热光栅产生的四波混频信号, 其弛豫过程完全是由弥散造成的. 因此, 当 θ 趋于零时, 由于光栅周期趋于无穷大, 混频信号的弛豫时间亦趋于无穷大. 在小角度极限下, 弛豫时间 $\tau_T \simeq 1/(k^2 D \theta^2)$.

我们在液晶的各向同性相做四波混频实验. 样品为未提纯的 MBBA 液晶. 其清亮点约为 42.4°C . 实验装置与测量液晶分子取向弛豫时间的实验装置类似(见图 1). 与之不同的是, 这里两束泵光的偏振方向相同, 试探光的偏振与泵光垂直, 得到的混频信号的偏振与试探光相同. 首先, 当泵光保持在低功率时, 混频信号为很好的圆形光斑. 当泵光

功率超过 25kW 左右,混频信号开始畸变。如果我们继续加大泵光功率,则混频信号变得

发散,甚至出现丝状结构。产生混频信号光斑图象畸变的原因,可能是由于泵光在液晶中自聚焦的缘故。

我们在不同的试探脉冲—泵浦脉冲延迟时间下,观察四波混频信号。发现当延迟时间大于几十微秒时,仍然可以看到很强的混频信号。由于分子取向弛豫时间小于 $1\mu\text{s}$,因此,此时由分子重新取向所产生的混频信号可以忽略,为了证实此时混频信号由热致位相光栅所产生的,我们测量混频信号的弛豫时间与

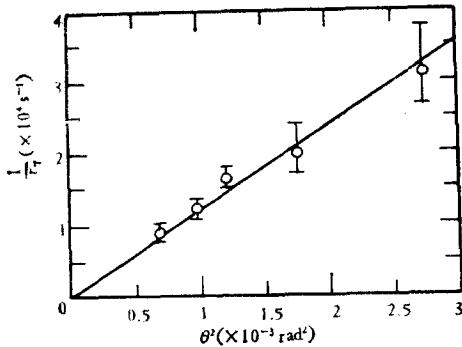


图2 MBBA 的热致相位光栅弛豫时间随 θ^2 的变化关系 ($T = 45.1^\circ\text{C}$)

1, 2 两束泵光夹角的关系。首先,对不同的夹角,混频信号总是随延迟时间的增加而以指数函数衰变,从中可以求得其弛豫时间,图2为 $T = 45.1^\circ\text{C}$ 的实验结果。在 $\theta \ll 1$ 时,对热光栅而言,弛豫速率 $1/\tau_T$ 应正比于 θ^2 。实验结果证实了这一点。通过计算其斜率,我们得到 $T = 45.1^\circ\text{C}$ 时,液晶各向同性相的热扩散系数为 $D = 8.6 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 。

参 考 文 献

- [1] J. L. Ouder and Y. R. Shen, *Phys. Rev. A*, **22**(1980), 1141.
- [2] R. M. Hellwarth, *J. Opt. Soc. Am.*, **67**(1977), 1.
- [3] 叶佩弦等,中国科学, (2)(1981), 179.
- [4] Ye Peixian and Y. R. Shen, *Appl. Phys.*, **25**(1981), 49.
- [5] G. Martin and R. M. Hellwarth, *Appl. Phys. Lett.*, **34**(1979), 371.

AN INVESTIGATION OF LASER INDUCED THERMAL GRATING IN LIQUID CRYSTAL

ZHU HUA-NAN MI XIN YU ZU-HE JIN FU-HUI FU PAN-MING
(Institute of Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

Degenerate four-wave mixing effect due to thermally induced index grating is studied in liquid crystal MBBA. By measuring the relaxation time of the thermal grating decay, we obtain the diffusion coefficient of MBBA in its isotropic phase, i.e., $D = 8.6 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ at $T = 45.1^\circ\text{C}$.