

掺染料向列相液晶简并四波混频各向异性的机制

初桂荫 朱化南 靳福慧 傅盘铭 叶佩弦
(中国科学院物理研究所)

提 要

我们研究了掺染料向列相液晶中简并四波混频各向异性的机制。得到各向异性主要有两个来源,一个是染料分子吸收的各向异性,另一个是在向列相材料对光的双折射效应。

液晶的光学性质一直是人们感兴趣的一个研究领域。几乎每一种非线性光学效应在液晶中都有所体现,并具有其自身的特点。我们曾在液相液晶中观测到简并四波混频效应,并研究了在清亮点附近弛豫过程趋于发散的相变前行为^[1]。不久前, Khoo 研究了在向列相液晶中光场感生分子重新取向的非线性混频效应^[2]。最近发现,将少量染料分子掺入向列相液晶中,不仅四波混频信号强度显著增加,而且明显地呈各向异性^[3]。弄清这种各向异性的来源,既可深化认识光在这种材料中非线性相互作用过程,也可能会找到某些实际应用。

在掺染料的液晶样品中,染料分子在液晶中的有序排列,泵浦光和探测光的偏振方向平行或垂直于液晶指向矢,都可能是四波混频信号强度各向异性的来源。

我们的样品为掺有少量 Rh6G 染料的 5CB 液晶。染料在液晶中的浓度为 1×10^{-4} mol/l。样品厚度为 $50 \mu\text{m}$ 。在清亮点以下,液晶分子是趋向平行于玻璃片的一个指定方向排列。在波长 $0.532 \mu\text{m}$ 处,测量样品的吸收光谱,得到 $\alpha_{\parallel}/\alpha_{\perp}$ 在 $1.8 \sim 2.0$ 之间。其中 α_{\parallel} 和 α_{\perp} 分别为入射光偏振平行于和垂直于指向矢 \mathbf{n} 时样品的吸收系数。而纯液晶样品在这一光谱区是无吸收的。因此,样品吸收的各向异性即说明在液晶有序排列的影响下,染料分子也趋于有序排列。已知单个 Rh6G 分子只吸收偏振方向平行于分子长轴的入射光^[4],因此 $\alpha_{\parallel} > \alpha_{\perp}$ 表明在样品中染料分子的长轴是趋于与 \mathbf{n} 平行的。从吸收系数的各向异性可计算出,在该样品中染料分子的序参数 $S = (1/2) \langle 3 \cos^2 \theta - 1 \rangle$ 的数值是 $0.21 \sim 0.25$ 之间^[5]。

为判定液晶指向矢 \mathbf{n} 相对于由 1、2 两束泵浦光在液晶中干涉所形成的热光栅等温平面的取向对混频信号各向异性的影响,进行了一组实验:取图 1 中 (a)、(b)、(c)、(d) 所示的四种偏振配置,固定入射光强,改变温度,测量混频信号强度。结果如图 2 所示。其中上、下两支曲线分别对应图 1 中 (a)、(c) 和 (b)、(d) 所示的偏振配置。当 5CB 液晶的温度高于清亮点时,两支曲线合并为一。信号强度的各向异性也消失了。这说明液晶中四波混频的各向异性直接来源于样品结构本身的各向异性。其次,在温度低于清亮点时,图 2 表明,当 $\mathbf{E}_p \parallel \mathbf{n}$ 、 $\mathbf{E}_d \parallel \mathbf{n}$ 时,混频信号有强输出;当 $\mathbf{E}_p \perp \mathbf{n}$ 、 $\mathbf{E}_d \perp \mathbf{n}$ 时,混频信号有弱输出。两种情况信号强度之比为 (15 ± 3) 。这里 \mathbf{E}_p 与 \mathbf{E}_d 分别表示泵浦光波与探测光波的电场矢量。图 1

收稿日期: 1984 年 11 月 27 日; 收到修改稿日期: 1985 年 1 月 17 日

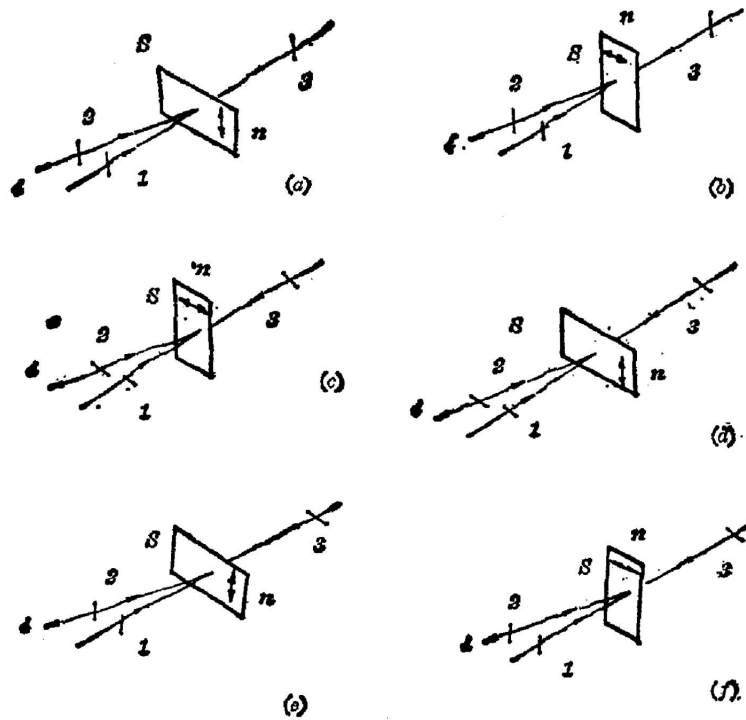


图 1 偏振配置

Fig. 1 Polarization arrangement for the experiment; 1, 2— Pump beams; 3—Probe beam; 4—Signal beam; S—Sample

中 (a)、(c) 两种情况共同点 $E_p \parallel n, E_s \parallel n$, 区别在于: 按 (a) 的配置, 1、2 两束光在样品中干涉所形成的热光栅等温平面也平行于液晶指向矢 n , 而按 (c) 的配置, 等温平面却垂直于 n 。同样在 (b)、(d) 共同之点是 $E_p \perp n, E_s \perp n$, 热光栅等温面相对于 n 的取向也是不同的。以上两组配置, 在温度低于清亮点时, 各自有相同的信号强度, 这说明混频信号强度取决于入射光的偏振方向与指向矢 n 的相对配置, 而与热光栅等温面相对于 n 的配置无关。这与热光栅弛豫过程各向异性有本质区别。

混频信号强度各向异性的一个主要来源是染料分子吸收的各向异性。此外还可能与探测光偏振相对于液晶指向矢的方向有关。为判断这一点, 选取图 1 中 (a)、(b)、(e)、(f) 四种偏振配置。即固定泵浦光偏振, 改变探测光偏振 E_s 及样品取向 n , 在 5CB 液晶的向列相 ($T = 25^\circ\text{C}$), 测量混频信号强度。结果表明, 无论样品对泵浦光是强吸收或弱吸收, 探测光偏振平行于指向矢的混频信号, 均强于探测光偏振垂直于指向矢的混频信号。当样品对泵

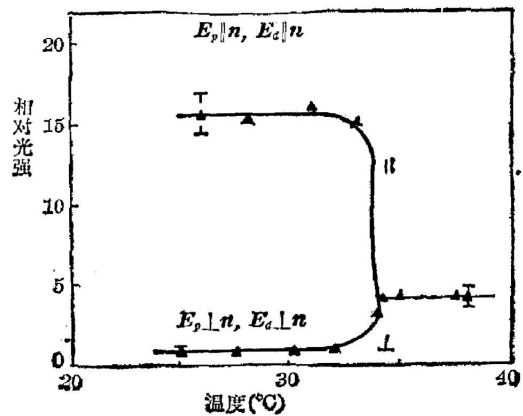


图 2 对于不同的入射光偏振配置混频信号强度随温度的变化

Fig. 2 Mixing Signal intensity vs. temperature for different polarization arrangements of incident light

浦光有强吸收时 ($E_p // n$), $E_a // n$ (图 1(a)) 与 $E_a \perp n$ (图 1(c)) 两种情况信号强度比为 4.1:1; 样品对泵浦光有弱吸收时 ($E_p \perp n$), $E_a // n$ (图 1(f)) 与 $E_a \perp n$ (图 1(b)) 两种情况信号强度比为 3.9:1。可以认为这两个比值在测量误差范围内是相同的。由此可以断定, 探测光的偏振方向相对于液晶指向矢的取向不同, 对混频信号强度是有重要影响的。其物理解释是: 同一热光栅对不同偏振的探测光的衍射效率取决于样品对探测光的折射率。液晶在向列相时有双折射, 因此对不同偏振的探测光也有不同的衍射效率。此外, 图 1 的 (a) 与 (c), 热光栅等温面平行于 n , 而 (f) 与 (b), 则垂直于 n , 当 E_a 的取向改变时, 两对配置有同样的信号强度比, 这再一次证实混频信号强度与光栅条纹相对于 n 的取向无关。

综合上述实验结果, 已经证实: 在掺染料的向列相液晶中, 四波混频信号强度的各向异性主要有两个来源, 即染料分子吸收的各向异性和介质双折射。其中, 由染料吸收所建立的热致折射率位相光栅对一定偏振的探测光的衍射效率正比于吸收系数的平方^[6]。我们的样品 $(\alpha_{//}/\alpha_{\perp})^2$ 约为 3.6。联系到第二个来源, 即不同的探测光偏振, 对信号强度各向异性的贡献也有一个 (4.0 ± 0.1) 的比值。因此在 (a)、(c) 的情形有最强的输出, (b)、(d) 有最弱的输出。两者之比应为上述两个比值的乘积。这与第一组实验的测量结果完全一致。

搞清了混频输出各向异性的微观机制, 便可合理地选择液晶指向矢与入射光偏振的相对配置, 使得这种高效率的混频能得以充分利用。

参 考 文 献

- [1] 朱化南等;《物理学报》, 1984, **33**, No. 4 (Apr), 564.
- [2] I. G. Khoo; *Phys. Rev.*, 1983, **A27**, No. 5 (May), 2747.
- [3] 初桂荫等;《物理学报》, 1985, **34**, No. 3 (Mar), 421.
- [4] T. F. Heinz, *et al.*; *Phys. Rev. Lett.*, 1982, **48**, No. 7 (Feb), 478.
- [5] F. Jones and T. J. Reeve; *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 1980, Nos. 1~2 (Jun), 99.
- [6] E. Urbach, *et al.*; *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 1978, **46**, Nos. 3~4 (Aug), 209.

Mechanism of the anisotropic property of DFWM in dye-dissolving nematic liquid crystal

CHU GUIYIN ZHU HUANAN JIN FUHUI FU PANMING AND YE PEIZUAN

(Institute of Physics, Academia Sinica)

(Received 27 November 1984; revised 17 January 1985)

Abstract

We have studied the mechanism of the anisotropic property of degenerate four-wave mixing (DFWM) signal intensity in nematic liquid crystal doped with dye. Such property originates from two sources. One of them is due to the anisotropic absorption of dye molecules. The other is due to the optical birefringence of liquid crystal in its nematic phase.