

文章编号: 0529-6579 (1999) 06-0026-03

双偶氮苯掺杂液晶在磁场下的 Freedericksz 转变^{*}

项 颖¹, 林子扬^{1, 2}, 王 坚³, 梁旭霞³, 张介立¹

(1. 中山大学物理学系, 广州 510275; 2. 暨南大学物理学系;

3. 中山大学化学与化学工程学院)

摘 要: 发现掺有机杂质 (双偶氮苯) 的沿面排列丝状液晶与纯液晶相比, 会显著减低在静磁场下发生 Freedericksz 转变的阈值. 而传统的方法则是通过掺入微细的铁粉来降低阈值. 这一新现象主要是由于双偶氮苯具有较强的磁化率各向异性, 从而导致掺杂液晶的有效磁化率各向异性增大. 理论推导的双偶氮苯磁化率各向异性常数要比纯 5CB 大 2 个数量级. Freedericksz 转变阈值的减低对研究磁场下的非线性光学效应有重大的意义.

关键词: 液晶; 双偶氮苯; Freedericksz 转变

中图分类号: O 482 55; O 484 4 文献标识码: A

液晶分子具有较大的光学各向异性 ($\Delta n = 0.1 \sim 0.2$), 因而有较强的光学非线性. 其对光学非线性的主要贡献来源于液晶分子在外场中的转动, 但只有在外场超过其转变阈值时, 才会有转动形变 (Freedericksz Transition). 转变阈值往往相当之高, 目前国内外大量的文献报道掺杂染料的液晶在特定频率光场下会显著减低转变阈值, 但很少有在磁场下行为的报道^[1]. 对于沿面排列丝状液晶, 其 Freedericksz Transition 为扭曲形变. 首先发现掺双偶氮苯的液晶会显著减低静磁场下发生扭曲形变的阈值. 由于液晶的磁化率各向异性常数非常小, 导致阈值磁场非常高, 通常是数千高斯. 因此通过掺杂质来降低磁场阈值对研究液晶在磁场下的光学非线性效应具有重大的意义.

本文利用弗兰克 (Frank) 的连续弹性理论对沿面排列丝状液晶 (5CB, $C_5H_{11}-\text{N}=\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{N}=\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{N}=\text{N}-\text{CN}$) 在静磁场下的扭曲形变进行了严格的数值计算, 给出了扭曲角的分布情况, 并利用光学“4×4”矩阵方法严格计算了光的传输. 在实验上用光学相位延迟法对沿面排列丝状液晶在静磁场中线偏光的透过率作了仔细的测量. 结果表明, 理论值与实验值符合得很好.

1 基本原理和方法

实验布置如图 1 所示. 液晶盒的两面玻璃的打磨方向沿 y 轴, 当外加磁场 $H=0$ 时, 液晶指向矢 n 沿 y 方向. 外加磁场 H 沿 x 方向, 当 $H > H_c$ (H_c 为发生扭曲形变的阈值)

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金 (19474073) 资助项目

收稿日期: 1999-04-23 作者简介: 项颖, 男, 1968 年生, 博士生.

时，除在玻璃表面的液晶分子沿 y 轴锚泊而不改变方向外，其余各处液晶分子沿 z 轴将有不同的扭曲形变角 $\varphi(z)$ 。P₁ 是起偏器，与 y 轴的夹角为 α ，P₂ 为检偏器，与 y 轴的夹角为 β 。光源为 $\lambda=0.67\text{ }\mu\text{m}$ 的半导体激光器。光电测量器 D 采用北京大学研制的 JG2 型波长可选功率计，精度可达微瓦。外加静磁场从 $0\sim 10^4\text{ Gs}$ 连续调节。在激光入射样品处用高斯计准确测定磁场的大小。

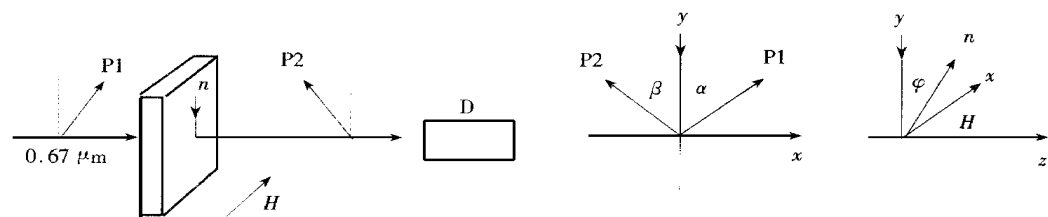


图 1 相位延迟法光路图
Fig. 1 The experiment arrangement
 φ 为扭曲形变角，位于 xy 平面内

实验样品为沿面排列丝状液晶 (5CB)，样品温度控制在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。液晶盒由深圳刚达电子厂提供，盒厚 d 约为 $13\text{ }\mu\text{m}$ ，预倾角约为 1° 。5CB 液晶由石家庄清华液晶厂提供， $n_e=1.703$ ， $n_o=1.53$ ，扭曲弹性常数 $K_{22}=0.5\times 10^{-6}\text{ dyn}$ ，磁化率各向异性常数 $\chi_a=1\times 10^{-7}\text{ cm}^3/\text{g}$ 。染料为双偶氮苯， $\text{NO}_2-\text{N}=\text{N}-\text{N}=\text{N}-\text{NH}_2$ ， $w=1\%$ ，中山大学化学系合成。图 2 为掺有 $w=1\%$ 双偶氮苯的 5CB 的光吸收曲线，其吸收峰值在 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 以下，对 $\lambda=0.67\text{ }\mu\text{m}$ 的红光没有任何吸收。因此可以利用 $\lambda=0.67\text{ }\mu\text{m}$ 来探测和计算。

当 $H>H_c$ 时，液晶产生扭曲形变，根据弹性形变理论^[4]，平衡条件下的欧勒-拉格朗日方程为

$$K_{22}\frac{d^2\varphi}{dz^2}+\chi_aH^2\sin\varphi\cos\varphi=0\tag{1}$$

使用边界条件 $\varphi(0)=\varphi(d)=0$ 及对称条件 $\varphi(d/2)=\varphi_m$ (φ_m 为最大扭曲角)，由液晶盒厚 d 及磁场 H ，可定出 φ_m ，再由以下方程求出 $\varphi(z)$

$$\sqrt{\frac{K_{22}}{\chi_aH^2}}\int_0^{\varphi(z)}\frac{d\varphi}{\sqrt{\sin^2\varphi_m-\sin^2\varphi}}=z\tag{2}$$

同时可以求出阈值磁场

$$H_c=(\pi/d)\sqrt{K_{22}/\chi_a}\tag{3}$$

在掺有双偶氮苯的情况下，采用有效磁化率各向异性常数 χ'_a 来代替纯 5CB 的 χ_a 。

对光的传输的分析，由于液晶已成为非均匀介质，无法进行解析分析，采用光学“4×4”矩阵连乘法来计算探测光通过液晶层后的透过率。

2 实验结果与数值分析

首先检测外加磁场 $H=0$ 的情况下光的透过率 $T=0.708$ ，可求得盒厚准确值 $d=12.85\text{ }\mu\text{m}$ ，然后从零开始缓慢加大外磁场，同时用功率计监测光强的变化，当出现 $1\text{ }\mu\text{W}$ 的变化时，测得此时的磁场强度为 3.750 Gs ，也即实验测得掺双偶氮苯 5CB 的沿面排列扭

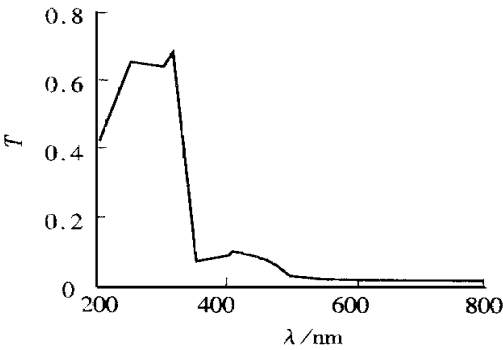


图 2 掺双偶氮苯液晶的光谱吸收曲线
Fig. 2 The absorption band of 5CB doped with double azo

曲转变阈值 $H'_C = 3\,750\text{ Gs}$, 而同样厚度的纯 5CB 的转变阈值为 $H_C = 5\,350\text{ Gs}$, 由式 (3) 得出纯 5CB 理论计算值 $H_C = 5\,450\text{ Gs}$. 由此可以求出掺杂 5CB 的有效磁化率各向异性常数 $\chi'_a = 2.13 \times 10^{-7}\text{ cm}^3/\text{g}$. 图 3 给出掺双偶氮苯 5CB 在外磁场下的光透过率变化的计算和实测曲线. 由于所掺双偶氮苯的浓度很小, 可以近似认为线性叠加, 双偶氮苯的磁化率各向异性常数 χ''_a 可由下式求出

$$\begin{aligned} 0.01\chi''_a + 0.99\chi_a &= \chi'_a, \\ \chi''_a &= 114 \times 10^{-7}\text{ cm}^3/\text{g} \end{aligned} \quad (4)$$

可见与纯 5CB 相比, 双偶氮苯具有很强的磁化率各向异性常数.

3 结 论

从实验中可以看出, 在纯液晶中掺入少量的杂质, 可以显著降低磁场下发生转变的阈值, 这对研究磁场下的非线性光学非常有意义. 所掺杂质必须具有较强的磁化率各向异性常数, 并且与液晶分子有较强的关联作用^[3]. 这与液晶掺杂降低光场下转变阈值的机理不一样, 前者主要通过增加混合体系的有效磁化率各向异性常数, 而后者则是通过波长的选择吸收, 使得所掺染料发生顺-反异构.

参考文献:

- [1] BURYLOV S V, RAIKHER Y L. Magnetic Fredericksz transition in a ferromagnetic [J]. J Magn Magn Mater, 1993, 122: 62.
- [2] 谢毓章. 液晶物理学 [M]. 北京: 科学出版社, 1985. 70.
- [3] CHEN A G, BRADY D J. Real-time holography in azo-dye-doped liquid crystals [J]. Opt Lett, 1992, 17: 441.

Magnetic-Field-Induced Fredericksz Transition of a Nematic Liquid Crystal Doped with Double-Azo

XIANG Ying^{*}, LIN Zi-yang, WANG Jian, LIANG Xu-xia, ZHANG Jie-li

Abstract: The Fredericksz transition induced by a perpendicular static magnetic field of a planar alignment nematic liquid crystal doped with little organic dopant (double-azo) was studied. It was observed for the first time that the doped 5CB will dramatically decrease the critical magnetic field compared to the pure 5CB while the conventional solution is doping ferro-particles to decrease the critical magnetic field. The results show that in the guest-host system, the guest double azo has much larger diamagnetic susceptibility anisotropy than pure 5CB and will drag the 5CB molecule to reorientation under the lower magnetic field.

Keywords: liquid crystal; double-azo; Fredericksz transition

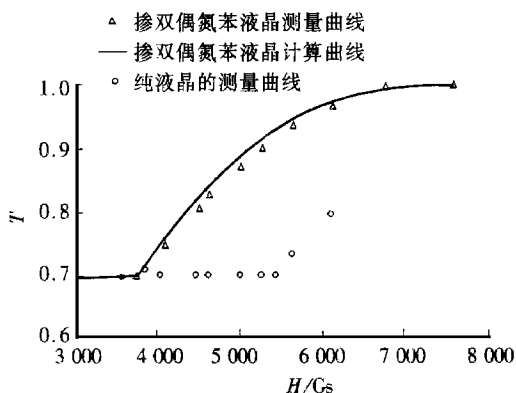


图 3 样品的光透过率随磁场强度的变化曲线

Fig 3 The curve of $T-H$ of sample

^{*} Department of Physics, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China