

一种高衍射效率的偏振全息记录介质的研究*

张齐 于美文 马春荣
(北京理工大学 工程光学系)

提 要

本文研究了一种偶氮染料——明胶体系的偏振全息记录材料的特性，它具有实时记录，可重复使用，衍射效率高($>30\%$)，保存期长，所需阈值激光功率低等特点。此外还研究了衍射效率与偏振状态的关系，给出了详细的研究结果。

关键词：全息记录介质；偏振全息；光致双折射。

一、引言

自从七十年代有了偏振全息以后^[1]，由于这种方法不仅能记录物光波的相位信息，而且还能记录物光波的偏振态，所以它越来越受到人们的重视。

发展偏振全息的关键在于合成性能优良的光致各向异性的记录介质。目前，世界上所用的记录介质有以下几种类型：各向异性色心的碱卤化物晶体^[2]；光色玻璃^[3]；或是具有Weigert效应的银和氯化银明胶^[4]；以及染料-聚合物体系^[5~7]。

上述大部分材料的衍射效率较低约在1%以下，只有L. Nikolova等人报道的甲基橙-聚乙烯醇记录介质的衍射效率 $>30\%$ ^[6]，但是这种介质即使经过特殊处理后，其所记录的信息也只能保存2~3天，而且这种材料在记录全息图时所需激光功率阈值高，约为800 mW/cm²，所以实用意义不大。

本文介绍的是一种较有发展前途的偏振全息记录材料。

二、材料的性质

我们合成的偶氮染料——明胶体系是将黄色偶氮染料掺入明胶中制成的，这种材料呈深桔黄色，它的光谱透过率曲线如图1(a)所示，在偏振光作用下，染料分子发生空间异构化，伴随这一过程，它的偶极矩也发生了空间有序的变化。这样就产生了光吸收和光折射的各向异性，这种光吸收和光折射的各向异性在合适的条件下可以保存半个月以上。如果把它加到一定的温度，或置于RH=100%的潮湿空气中，则光致各向异性就消失了。

从偏振全息的角度考虑，在吸收区外的光致双折射值越大，则得到的全息图的衍射效率

收稿日期：1988年2月8日；收到修改稿日期：1989年6月22日

* 本工作得到国家自然科学基金委员会的资助。

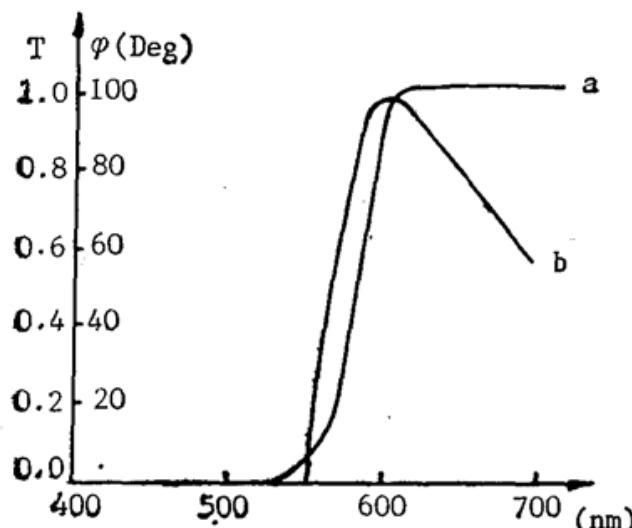


Fig. 1

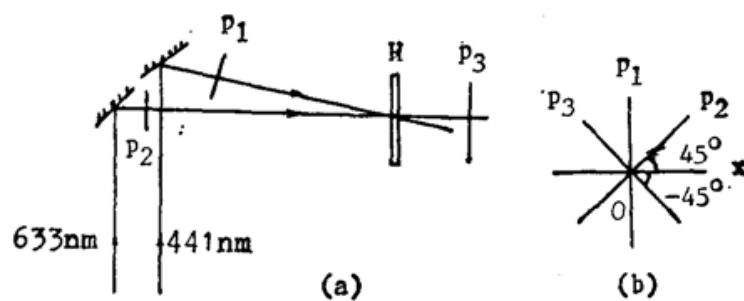


Fig. 2 A setup for birefringence measurement

- (a) Optical transmission spectrum
- (b) The phase difference between ordinary and extraordinary waves vs. wave length

越高，所以有必要先研究这种材料的光致双折射性质。我们测定光致双折射的光路如图2(a)所示。

其中 p_1 、 p_2 、 p_3 为三个偏振片，它们的偏振方向如图2(b)所示， H 为偶氮明胶层，用 Cd-He 激光的 441.6 nm 波长作诱导光，其功率为 100 mW/cm^2 ，它通过 p_1 后变为线偏振光，用 He-Ne 激光的 632.8 nm 波长作探测光，设 I_0 是其通过 p_2 的光强度，根据偏振光的干涉可以导出，通过 p_3 后的光强 I 为：

$$I = I_0 \sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right), \quad (1)$$

式中 φ 为 o 光和 e 光的相位差，有 $\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} h(n_o - n_e)$ ， h 是明胶层厚度， λ 是波长。

利用这一公式我们可以测得 φ 随时间变化的曲线(图3)。图中的负号表明这种材料的光致各向异性为负单轴晶体。本实验中，染料的浓度为 16 wt%，明胶层厚度为 $40 \mu\text{m}$ 。这种体系的 φ 值可达 70° 以上。从实验上证明了这种材料具有获得高衍射效率的可能性。此外，我们在同样浓度的样品上测定了双折射相位差随波长变化的曲线(图1(b))。方法是将经线偏振光诱导过的偶氮染料——明胶介质夹在两片正交偏振片之间，记录介质的光诱导方向与偏振片的通光方向成 $\pm 45^\circ$ 角。将这种组合体置于单色仪中，并消除由于偏振光的光吸收率随波长变化所造成的影响，利用(1)式，就可获得所需曲线。经过实际测量，发现这种材料的二向色性并不明显，所以这里就不予研究了。测量记录介质的双折射值也是优化参数的一种最可靠的方法，图2所示的曲线就是对溶液浓度优化以后的结果。

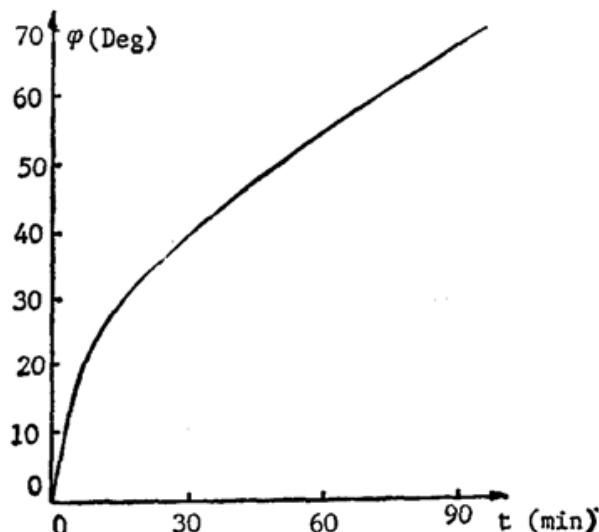


Fig. 3 The phase difference between ordinary and extraordinary waves as a function of time

三、偏振全息光栅的记录特性的研究

对于各向同性记录介质来说，只有在参考光和物光光波的偏振状态有相互平行的分量时，记录面上才会有干涉条纹出现。当再现时，直透光和衍射光的偏振状态是一致的。然而对于光致各向异性记录介质来说，物光波和参考光波的偏振状态即使正交，也会有光栅出现。

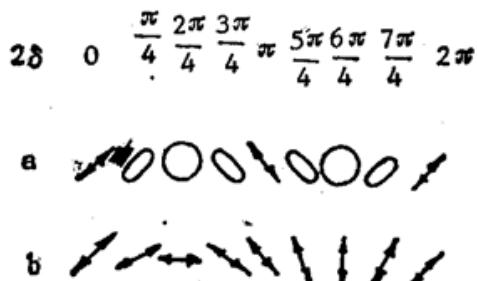


Fig. 4 Polarization state of the resultant vibration generated by two orthogonal polarized waves

当参考光和物光为互相垂直的线偏振光和左右圆偏振光时，记录面上的两光波叠加以后，偏振状态随相位差的变化分别如图 4(a) 和图 4(b) 表示。记录两束左、右旋圆偏振光干涉的光路见图 5 所示，其中 M_1 、 M_2 、 M_3 为三个反射镜， R_1 、 R_2 、 R_3 为 $1/4$ 波片，其快轴方向与水平成 $\pm 45^\circ$ ； R_1 为快轴方向可变的 $1/4$ 波片； S 为分束镜。我们用 632.8 nm 的氦氖激光照明再现，用接收器 D 测量光栅的衍射效率。光栅的衍射效率——时间曲线如图 6 所示，染料浓度为 16 wt\% ，膜厚为

$40\mu\text{m}$ 。我们还研究了染料浓度与衍射效率的关系(图 7)，可以看出，掺入浓度越高，衍射效率越高，因为掺入浓度越高，参与空间异构化反应的分子就越多，诱导出的各向异性值就越大。但是如果掺入浓度过高，染料分子就会结晶析出。

偏振全息的一个重要特性就是衍射效率与再现光的偏振态关系很大，在我们的实验中，变动 $1/4$ 波片 R_1 (图 5) 的主轴方向与通过此波片之前的线偏振光偏振方向的夹角 θ ，就可以得到不同椭圆率的椭偏再现光。从图 8 中可以看到，当再现光偏振态与参考光偏振态一致时($\theta = 135^\circ$)，光的 +1 级衍射效率最大，同时光的 -1 级衍射效率为零，当再现光与参考

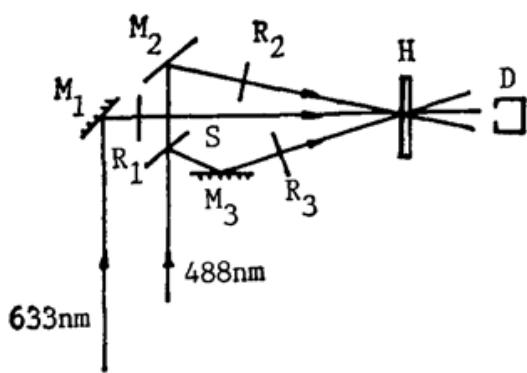


Fig. 5 Setup for holographic recording by two orthogonal circular polarized waves

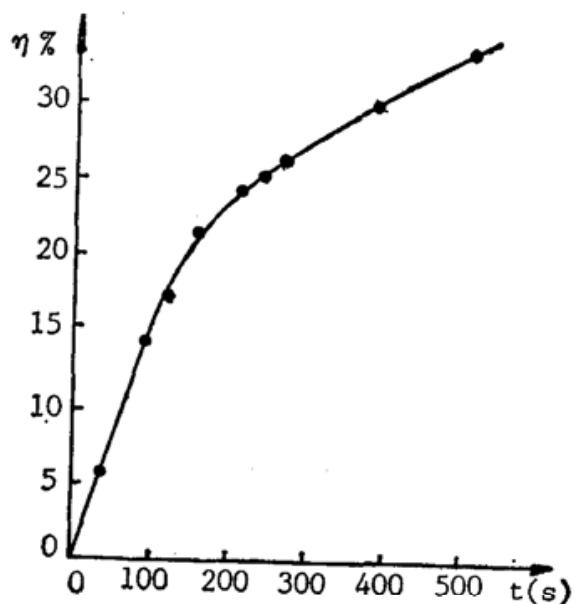


Fig. 6 Diffraction efficiency as a function of time

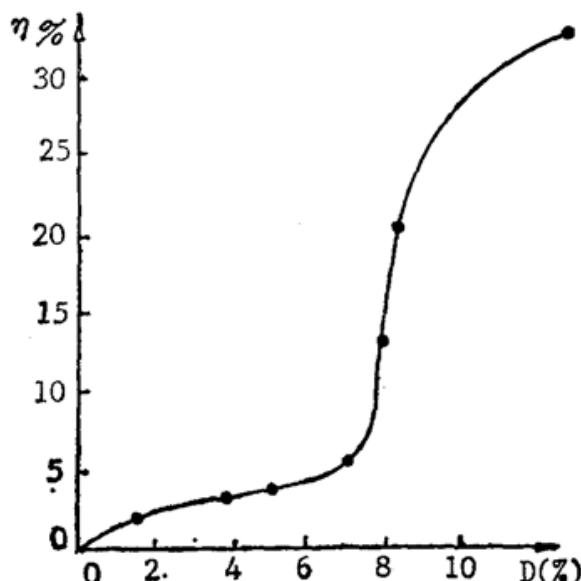


Fig. 7 Dependence of diffraction efficiency on dye concentration

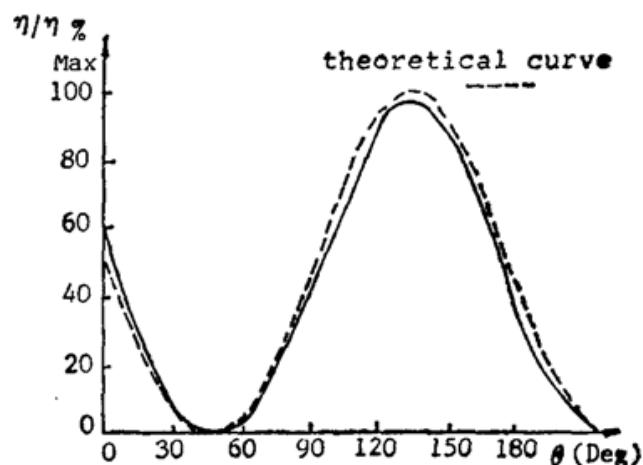


Fig. 8 Dependence of the diffraction efficiency on the polarization state of reconstruction wave

光的偏振态正交时，则 +1 级衍射效率为零，而 -1 级衍射效率达到了极大。在同一图上，我们还画出了由理论计算得出的曲线(图 8 中虚线)^[8]，两者是较为吻合的。其误差来源估计有两个，一个是物光和参考光不是严格的圆偏振光，二是 1/4 波片 R_1 在转动时透过率产生了变化。

我们对偶氮染料——明胶记录介质的记录光偏振态变化与再现的 +1 级衍射光偏振态变化关系做了研究，其光路如图 9 所示，其中 R 为旋光器； M_1, M_2, M_3 为三个反光镜， S 为分束镜， P_1 为检偏器，用来测定衍射光的偏振方向。旋转旋光器 R ，我们就能得到偏振方向夹角 θ_R 不同的线偏振参考光与物光波，在记录面后面测量 +1 级衍射光与线偏振再现光偏振方向的夹角 θ ，就能得到 $\theta-\theta_R$ 曲线，在理想情况下， $\theta=\theta_R$ (图 10，虚线为理想曲线)。但由于各向异性记录介质中仍有只对光强敏感的成份，所以曲线出现了弯曲。

伴随着 θ_R 的变化，衍射效率也发生变化，当两束记录光的偏振方向相互垂直时，衍射效率约为 10%；当两束记录光的偏振方向相互平行时，衍射效率约 1%。这是因为当两束记录光的偏振方向垂直时，整个记录面上偏振态变化较大，所以记录介质对光各向异性的调制作用就比较明显，衍射效率就较高；两束记录光的偏振方向平行时，对光栅结构的形成起主要

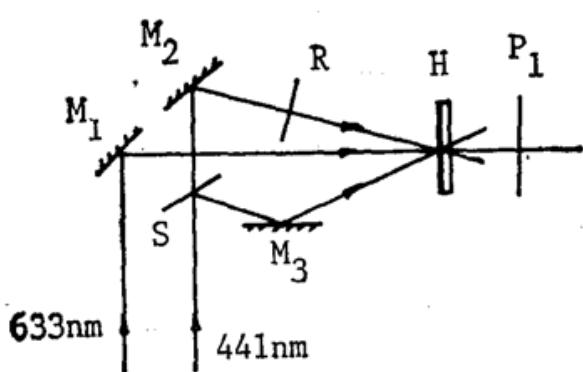


Fig. 9 Setup for holographic recording by two linear polarized waves

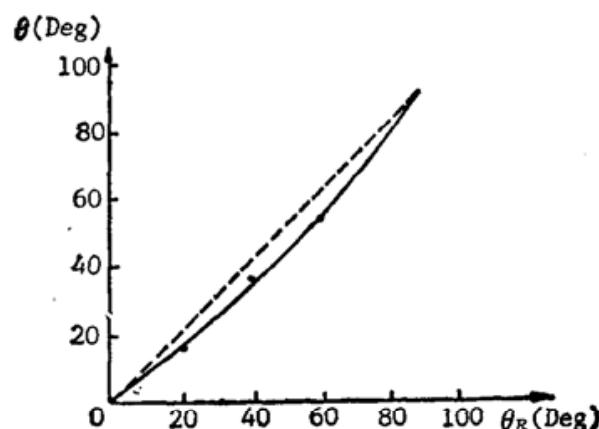


Fig. 10 Diffracted orders polarization angle (degree) vs. angle (degree) between the polarization of recording beams

作用的是受光强调制的部分,而这部分机制在记录介质中所起作用不大,所以这时光栅的衍射效率就较低,进一步的理论推导和证明我们也将以后报道。

四、结 论

从上述研究结果可以看出,我们研制的这种记录介质确实是一种较为理想的偏振全息记录材料,它具有较高的衍射效率,而且能够任意地将信息写入,保存及擦除;用这种材料所记录的偏振全息光栅能较理想地体现出这种光栅的各种特殊性质。

参 考 文 献

- [1] III. П. Какичашвили; *Опт. и Спектр.*, 1972, **33**, Вып. 2 (Авг), 324~327.
- [2] L. Nikolova et al.; *Opt. Commun.*, 1978, **24**, No. 1 (Jan), 44~47.
- [3] N. F. Borelli et al.; *J. Appl. Phys.*, 1979, **50**, No. 9 (Sep), 5978~5987.
- [4] J. M. C. Fonathan and M. May; *Opt. Commun.*, 1979, **29**, No. 1 (Apr), 7~12.
- [5] T. Todorov et al.; *Opt. Commun.*, 1983, **47**, No. 2 (Aug), 123~126.
- [6] T. Todorov et al.; *Appl. Opt.*, 1984, **23**, No. 23 (Dec), 4309~4312.
- [7] C. Solano et al.; *Appl. Opt.*, 1987, , **26**, No. 10 (May), 1989~1996.
- [8] L. Nikolova and T. Todorov; *Opt. Acta*, 1984, **31**, No. 5 (Sep), 579~588.

A new high-efficiency material for polarization holographic recording*

ZHANG QI, YU MEIWEN AND MA CHUNRONG

(Department of Optical Engineering, Beijing Institute of Technology)

(Received 8 February 1988; revised 22 June 1989)

Abstract

The property of azo-dye-gelatin for polarization holographic recording is investigated. Besides the characteristics of real time recording and reversibility, it possesses the properties of high diffraction efficiency, long-storage time and comparative low laser power needed for recording. The dependence of diffraction efficiency on polarization state is studied in detail.

Key words: holographic recording media; polarization holograms; photoinduced birefringence.

* This work was supported by the Bulletin of National natural Science Foundation of China.