

文章编号: 0253-2239(2005)03-396-6

光致聚合物中单体及粘结剂对全息性能的影响*

弓巧侠¹ 黄明举^{1,2} 顾冬红¹ 千福熹¹

(¹ 中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)
(² 河南大学物理与信息光电子学院, 开封 475001)

摘要: 研究了单体及粘结剂等成份对全息光致聚合物薄膜光存储性能的影响。在相同引发条件下,以丙烯酰胺作为单体时,光聚物的衍射效率明显高于以丙烯酸和 N-羟甲基丙烯酰胺作为单体时光聚物的衍射效率。向丙烯酰胺中加入少量 N-羟甲基丙烯酰胺,可以改善膜表面的光学质量,降低散射光强度,并提高膜的保存时间。在聚乙烯醇膜中单体聚合程度明显优于在聚乙烯吡咯烷酮中的程度,在大分子量的聚乙烯醇中的衍射效率及感光灵敏度高于在小分子量中的衍射效率和感光灵敏度,而且大分子量的聚乙烯醇能够制备厚膜,这是实现全息海量存储的一个重要因素。

关键词: 全息术; 光致聚合物; 衍射效率; 丙烯酰胺; 全息存储

中图分类号: TQ597.92 文献标识码: A

Effects of Monomers and Binders in the Photopolymer on Holographic Data Storage Properties

Gong Qiaoxia¹ Huang Mingju^{1,2} Gu Donghong¹ Gan Fuxi¹

(¹ Shanghai Institute of Optical and Fine Mechanics, the Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)
(² School of Physics and Information Optoelectronics, Henan University, Kaifeng 475000)

Abstract: Effects of monomers and binders in the photopolymer on holographic storage properties are studied. Under the same initiator conditions, diffraction efficiency of photopolymer with an acrylamide monomer is significantly larger than that of acrylic acid and N-hydroxymethylacrylamide monomers, respectively. N-hydroxymethylacrylamide can improve optical quality, reduce scattering intensity, and increase the shelf life time of the films. Compared with polyvinylpyrrolidone (PVP), polymerization degree of monomer in the polyvinylalcohol (PVA) is higher. Diffraction efficiency and energetic sensitivity are larger in the PVA with a high average molecular weight than in the PVA with low average molecular weight. The PVA with a high average molecular weight can be used to prepare thick films, and it is an important factor to realize the mass capacity of holographic data storage.

Key words: holography; photopolymer; diffraction efficiency; acrylamide; holographic storage

1 引 言

近几十年来,全息存储受到极大关注,因为理论上它的存储容量是一张光盘(CD)盘的 1000 倍,但随机存储时间只有光盘的 10%^[1]。数字全息存储实用化的关键是缺乏合适的记录材料。卤化银乳胶和重铬酸盐明胶(DCG)是传统的体全息记录材料。然而它们有一些难以克服的缺点,如卤化银的不可克服的颗粒噪声、DCG 苛刻的湿化学处理和较差的

环境抵抗性。为了弥补传统记录材料的不足,光致聚合物作为一种较理想的全息记录材料,具有较高感光灵敏度、高分辨率、高衍射效率及高信噪比,可用完全干法处理及快速显影;产生的全息图像具有高的几何保真度,并且可以长期保存等特点,成为近年来研究的热点^[2~5]。

光聚物一般由粘结剂、单体、光敏剂(染料)及引发剂等组成。光致聚合是以光化学方法产生自由基

* 上海市科委基础重点项目(03JC14073)资助课题。

作者简介: 弓巧侠(1977~),女,陕西咸阳人,中国科学院上海光学精密机械研究所读博士研究生,主要从事光存储材料研究。E-mail: gqx1205@mail.siom.ac.cn.

收稿日期: 2004-04-19; 收到修改稿日期: 2004-10-12

或离子引发单体分子发生聚合的反应。作为记录介质,要求只对特定波长的光吸收、分解,能够产生自由基从而引发单体分子发生聚合反应,而且聚合的结果能使光照部分与非光照部分产生较大的物理性质变化,如折射率变化、密度变化、吸收变化等。全息图的质量在很大程度上取决于记录材料的特性。可从三个方面对记录材料进行评价:1) 记录性能。记录性能指材料的感光灵敏度和动态范围,直接决定了材料的存储密度和容量,以及数据输入/输出的速率;2) 光学质量。材料的光学质量可由成像保真度和散射光强度来表示。通过介质记录传输高保真度的数据页是记录低误码率全息图的先决条件。误码率(BER)是数据页再现时探测器判决电路每比特数据错判的几率,即将“0”判为“1”及将“1”判为“0”的几率和。另外要求材料的散射光强度低,因为散射光增加了系统的噪声,因此也限制了存储密度;3) 稳定性,如环境温度、湿度对聚合物干膜的影响以及所记录的全息图的保存时间等。

单体和粘结剂是光聚物中两个重要的组份,对改善材料性能以及最终能否应用于全息存储具有决定作用,本文通过测量材料曝光特性曲线以及透射率随曝光时间变化曲线,研究了不同单体和粘结剂对光聚物记录性能的影响。本实验所制备的光致聚合物以藻红 B(ErB)作为光敏剂,三乙醇胺(TEA)作为光引发剂,研究单体有丙烯酰胺(AA)、N-羟甲基丙烯酰胺(NMA)以及丙烯酸(AAc),粘结剂有聚乙烯醇(PVA)和聚乙烯吡咯烷酮(PVP)。

2 实 验

2.1 材料制备

首先将粘结剂配制成一定百分比的溶液,然后将单体及引发剂三乙醇胺(TEA)加入到粘结剂水溶液中。在红灯下,加入1.2 ml配制好的藻红 B(ErB)溶液。为使溶液混合均匀,在磁力搅拌器上高速搅拌1 h,随后用超声法除去气泡。最后一步操作在暗室中进行。取出4 ml溶液,倒在6.7 cm×6.7 cm×1 mm的平板玻璃上,将玻璃板在暗室中放置36~48 h,样品固化后薄膜厚度约为140 μm。干燥时间依赖所制备膜的厚度及所处环境的温度和湿度。所有的样品都是在普通条件下制备(室温22℃,相对湿度40%~60%)。

2.2 实验光路

实验时,采用透射式光路记录非倾斜光栅(图1),记录光波长为514 nm,空间分辨力为

2751 lp/mm。通过分光镜将光分成两束强度相等的光,这两束光经过相同光程同时到达样品,夹角为90°,记录下全息图。因为藻红 B在650 nm处几乎没有吸收,所以为了降低吸收对实验的影响,再现时用650 nm的激光器从布拉格角入射。用光功率计测量入射光、衍射光及反射光强度,根据下式计算衍射效率:

$$\eta = \frac{I_{\text{dif}}}{I_{\text{inc}} - I_{\text{ref}}}, \quad (1)$$

式中 η 为衍射效率, I_{dif} 为衍射光强度, I_{inc} 为入射光强度, I_{ref} 为反射光强度。

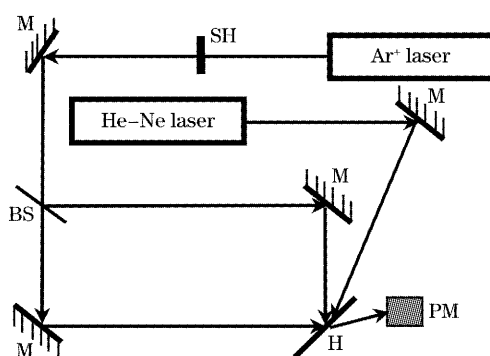


图1 实时全息记录光路图。SH:快门,M:反射镜,BS:分束器,PM:光功率计,H:记录材料

Fig.1 Experimental setup for real-time holographic recording. SH: electronic shutter, M: mirrors, BS: spatial filter, PM: power meter, H: holographic recording materials

对透射光的测量是将一束记录光挡住后,用光功率计直接测量从样品中透过光的强度,透射率定义为透射光强度与入射光强度之比。

3 结果与讨论

3.1 全息图形成机理

全息图是通过光致聚合物曝光后产生的折射率变化形成的,通过两束干涉光来记录全息图。开始曝光,在干涉条纹亮区使得部分单体发生聚合,单体的浓度减小,聚合的程度与曝光的强度有关。由于聚合,在亮区与暗区之间,形成了单体的浓度梯度,从而引起单体从高浓度的暗区向低浓度的亮区扩散。随着进一步曝光,单体不断被消耗,邻近暗区的单体不断向亮区扩散,从而产生了浓度和密度的梯度。当聚合化反应进行到一定程度时,开始为粘性的凝胶变得坚硬,扩散被抑制,进一步的全息记录停止。最后采用均匀曝光处理进行定影,使残余的单体完全聚合,最终在介质内形成相位型全息图。

记录的全息图是由在干涉相长区(亮区)由单体聚合形成的聚合物富含区,以及在干涉相消区(暗区),由于单体从此区域向亮区扩散而形成的粘结剂富含区组成的。由于聚合物和粘结剂折射率的不同,因此,在亮区和暗区,折射率不同,形成了全息图的折射率调制度 Δn 。

全息图形成的本质是由单体的扩散实现的,一个标准的扩散方程^[6]为

$$\frac{\partial u(x,t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D(x,t) \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \right] - F(x,t)u(x,t), \quad (2)$$

(2) 式中 $u(x,t)$ 为单体浓度, $D(x,t)$ 为扩散系数, 单体的扩散系数依赖于温度、成分、条纹间距等, $F(x,t)$ 为聚合系数, 与反应区域光的强度成正比。

在全息图形成的过程中, 关键因素是保持聚合速率与单体扩散速率的平衡。Zhao^[6] 等着重强调了扩散速率与聚合速率之间的比例, 用参量 R 代表。

$$R \propto D(x,0)/(\Lambda^2 \kappa I_0), \quad (3)$$

(3) 式中 $D(x,0)$ 为初始的扩散系数, Λ 为条纹间距, κ 为聚合化速率, I_0 为曝光强度。

如果这个比例过小, 表明由于扩散速率较小, 在亮区的自由基绝大部分因相互结合而终止。在此区域的单体被耗尽, 因为没有充足的时间使暗区的单体扩散到这里, 所以最后的衍射效率较低, 光栅的形成过程受到限制。若此比例较高, 扩散速率快, 能够与光聚合反应相匹配, 将会获得最大衍射效率。扩散速率远远大于聚合速率是全息图形成的最渴望的条件, 也是光栅获得最大衍射效率的必要条件。光栅的形成时间由单体的扩散系数及条纹间距决定。

3.2 单体对全息性能影响

单体是光致聚合物中发生聚合的组分, 直接影响到最终全息图的光学记录性能。为使最终光聚物具有优良的全息特性, 应满足以下条件: 其一为单体的聚合性能, 在引发剂产生的自由基作用下, 能够快速地发生高效光致聚合, 以便提高光存储的传输速度; 其二为单体的折射率与粘结剂的折射率差值较大, 这样聚合后才能得到较大的折射率调制, 达到提高光聚物衍射效率的目的; 其三为单体在高分子介质中的快速迁移能力, 以实现高的传输速度。

丙烯酸和丙烯酰胺是非常容易发生聚合的两种单体, 并且这两种单体也非常容易发生共聚反应, 其共聚物在工业上已经大规模生产并得到广泛的使用^[13]。图 2 比较了丙烯酰胺、丙烯酸及 N-羟甲基丙烯酰胺分别作为单体时, 材料的衍射效率随曝光时

间的变化, 三种单体在膜中的浓度相同, 均为 0.33 mol/L。可以看出, 用丙烯酰胺作为单体, 材料的衍射效率最高, 另外两种单体, 虽然在记录过程中染料也能够发生漂白, 但衍射效率较低。不过以丙烯酰胺作为单体, 材料的保存时间有限, 单体容易从膜表面析出, 使衍射效率大大降低, 另两种单体并不存在这种现象。考虑到 N-羟甲基丙烯酰胺的衍射效率要大于丙烯酸的, 所以我们向丙烯酰胺单体中加入少量 N-羟甲基丙烯酰胺。

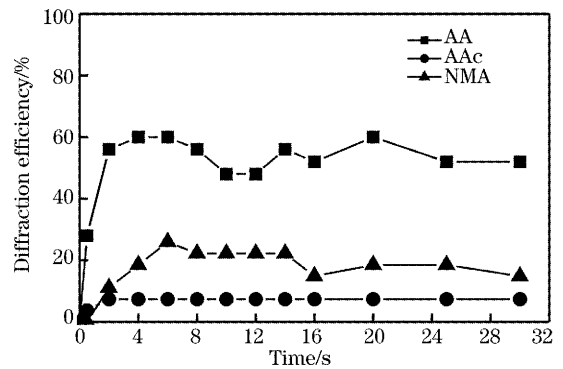


图 2 不同单体下光栅衍射效率随曝光时间变化图。材料基本组成: TEA: 0.3 mol/L, ErB: 2.0×10^{-4} mol/L, PVA: 7%, 曝光强度为 30 mW/cm²

Fig. 2 Diffraction efficiency versus exposure time with different monomers, the basic composition is: TEA: 0.3 mol/L, ErB: 2.0×10^{-4} mol/L, PVA: 7%. The light intensity was 30 mW/cm²

N-羟甲基丙烯酰胺是一种单官能团单体, 由于该分子具有烷基链使分子的极性降低, 从而与高分子的共混性能提高。图 3 表明, 材料的衍射效率随 N-羟甲基丙烯酰胺浓度的增加而在逐渐下降。不过向丙烯酰胺中加入少量 N-羟甲基丙烯酰胺时 (浓度为 0.031 mol/L), 样品的衍射效率及曝光灵敏度均没有多大变化。另外, 若材料中没有加入 N-羟甲基丙烯酰胺, 则过一段时间后, 单体会从膜表面析出, 导致所记录全息图的衍射效率大幅度下降, 或者就根本测不到衍射效率。但加入 N-羟甲基丙烯酰胺后, 材料保存时间大大提高。

图 4 为材料的衍射效率与透射率之和随 N-羟甲基丙烯酰胺浓度的变化图。衍射效率与透射率之和越高, 意味着整个全息过程越稳定, 由吸收和散射引起的损失越小^[7]。可以看出, N-羟甲基丙烯酰胺的加入量有一个最佳值, 当 N-羟甲基丙烯酰胺的浓度为 0.031 mol/L 时, 在整个记录过程中, 衍射率与透射率之和变化较小, 在 58% 左右, 说明记录的全息图稳定。若 N-羟甲基丙烯酰胺加入量过多时, 衍

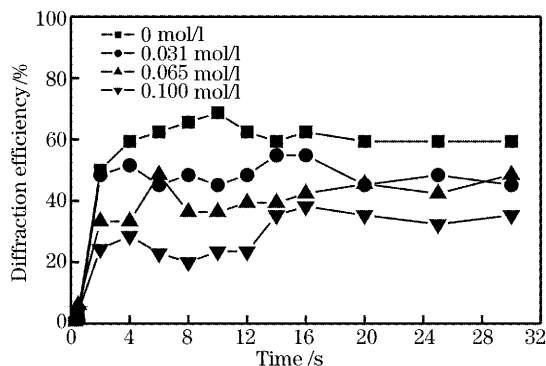


图3 不同 N-羟甲基丙烯酰胺浓度下光栅衍射效率随曝光时间变化图。材料基本组成: AA: 0.33 mol/L, TEA: 0.3 mol/L, ErB: 2.0×10^{-4} mol/L, PVA: 7%。曝光强度为 28 mW/cm^2

Fig. 3 Diffraction efficiency versus exposure time with different NMA concentrations. The basic composition is: AA: 0.33 mol/L, TEA: 0.3 mol/L, ErB: 2.0×10^{-4} mol/L, PVA: 7%. The light density was 28 mW/cm^2

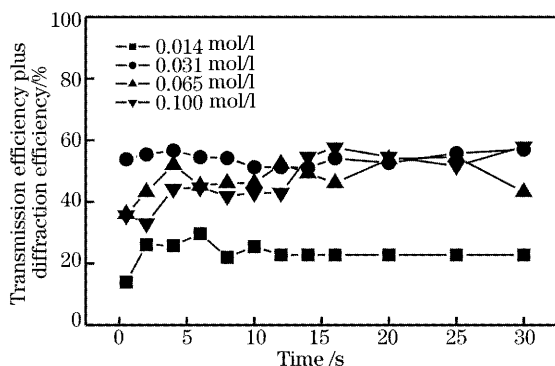


图4 不同 N-羟甲基丙烯酰胺浓度下透射率(TE)与衍射效率(DE)之和随曝光时间变化图。材料基本组成: AA: 0.33 mol/L, TEA: 0.3 mol/L, ErB: 2.0×10^{-4} mol/L, PVA: 7%。曝光强度为 28 mW/cm^2

Fig. 4 Transmission efficiency (TE) plus diffraction efficiency (DE) versus exposure time for different NMA concentrations. The basic composition is: AA: 0.33 mol/L, TEA: 0.3 mol/L, ErB: 2.0×10^{-4} mol/L, PVA: 7%. The light density was 28 mW/cm^2

射率与透射率之和值开始增加,接着比较平稳,最后又增加,在 30%到 60%之间起伏,变化较大。当 N-羟甲基丙烯酰胺浓度为 0.031 mol/L 时,衍射率与透射率之和值大,而且在整个记录过程比较稳定,说明与其它浓度相比,在这个浓度下,由吸收和散射所引起的损失最小,因此向丙烯酰胺中掺杂 N-羟甲基丙烯酰胺的这个浓度最佳。

光聚物膜不能有太高的光散射,因为散射光增加了系统的噪声,从而限制了存储密度。我们研究了 N-羟甲基丙烯酰胺浓度对散射的影响,如图 5 所示。散射光为探测光($\lambda = 632.8 \text{ nm}$)强度减去透射光与衍射光强度,散射率为散射光强度与入射光强度的比值^[8]。散射率随 N-羟甲基丙烯酰胺浓度的增加先是急剧下降,然后趋于平缓。当 N-羟甲基丙烯酰胺在膜中浓度为 0.014 mol/L,散射率超过 60%,散射光较大,将 N-羟甲基丙烯酰胺浓度增加,散射大大降低,当 N-羟甲基丙烯酰胺浓度为 0.031 mol/L 时,散射率降至 40%。随着 N-羟甲基丙烯酰胺浓度的进一步增加,散射率并没有多大变化。说明向光聚物中加入少量 N-羟甲基丙烯酰胺可以改善膜表面的光学质量,这对存储图像很有利。

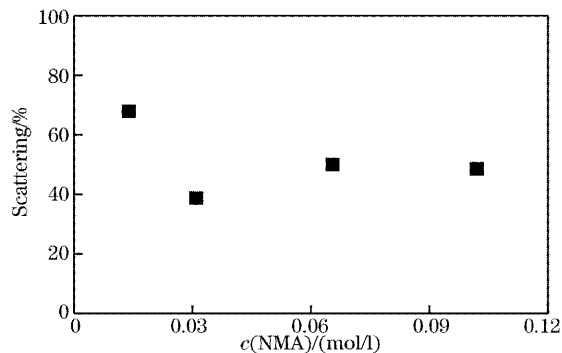


图5 N-羟甲基丙烯酰胺浓度对在光栅最大衍射效率时材料的散射的影响。曝光强度为 30 mW/cm^2

Fig. 5 Scattering at the maximum diffraction efficiency as a function of the concentration of N-hydroxymethylacrylamide (NMA) as light intensity is 30 mW/cm^2

3.3 粘结剂对全息性能影响

粘结剂在光致聚合物体系中也是一个很重要的成份,聚合物中加入粘结剂后,有许多优点,能提供稳定的光致聚合化膜,使它能应用于各种各样的基底上;另外还能使记录材料具有高的分辨率、高的折射率调制度、宽的光谱灵敏范围、高的光化学反应速度以及优良的环境稳定性。粘结剂的分子量、折射率及其它性质均影响材料的全息特性。例如,改变聚合物的折射率,能够影响最终全息图的折射率调制度及衍射效率^[9]。粘结剂粘度影响单体在膜中的扩散速率,进而影响全息图的感光灵敏度。

聚乙烯吡咯烷酮是一种水溶性高分子化合物,不需要加热可直接溶于水,具有优异的溶解性和成膜性。实验中聚乙烯吡咯烷酮的质量分数为 10%,以聚乙烯吡咯烷酮作为粘结剂时,膜表面的光学质量很好,表面光滑,但不能成为干膜,即使在干燥几十天

后,膜面还是有一定的粘性,因为聚乙烯吡咯烷酮膜从相对湿度为 70% 的空气中吸湿时,就会有一定的粘性^[10]。聚乙烯吡咯烷酮的衍射效率远远小于在聚乙烯醇中的衍射效率。一方面是因为聚乙烯吡咯烷酮的折射率小于聚乙烯醇的折射率,聚乙烯吡咯烷酮的折射率为 1.53,聚乙烯醇的为 1.55。我们知道最后单体聚合后的折射率与粘结剂的折射率差决定了形成全息图的折射率调制度,从而影响了衍射效率。另一方面是聚乙烯吡咯烷酮的粘性较大,单体在膜中的扩散系数小,不易迁移,聚合程度较小,故衍射效率较小。

聚乙烯醇也是一种水溶性高分子聚合物,它具有化学性能稳定、溶解性能良好、粘着力大等优点,为一种性能优良的成膜剂,在一定的时间范围内,在室温条件下,粘度会随放置时间的延长而逐渐升高^[10]。实验中聚乙烯醇的质量分数均为 7%。图 6 表明,衍射效率与感光灵敏度在大分子量聚乙烯中(PVA1)均大于在小分子量聚乙烯醇(PVA2)中。随着粘结剂分子量增加,感光灵敏度增加,这与 Weiss 等^[11]得到结果是一样的。这可能与膜的柔软程度有关,大分子量的聚乙烯醇的成膜性更好,其结构更适合单体在膜中扩散。目前,对于这个机理人们还不是很清楚,可能是聚乙烯醇分子量增加影响了光致聚合化聚丙烯酰胺的形态,最终导致了聚合物相的分离。制备厚膜是

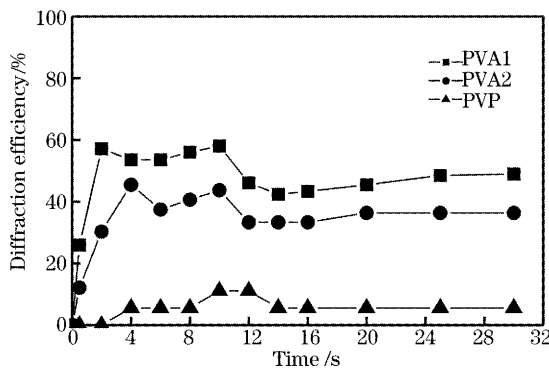


图 6 不同粘结剂下光栅衍射效率随曝光时间变化图。材料基本组成:AA:0.33 mol/L, TEA:0.3 mol/L, ErB: 2.0×10^{-4} mol/L, PVA: 7%, PVP 为 10%。曝光强度为 30 mW/cm^2 。PVA1: 大分子量聚乙烯醇, PVA2: 小分子量聚乙烯醇

Fig. 6 Diffraction efficiency versus exposure time with different binders. The basic composition is; AA: $0.33 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, TEA: 0.3 mol/L , ErB: $2.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$, PVA: 7%, but PVP is 10%. The power density was 31 mW/cm^2 . PVA1: high molecular weight, PVA2: low molecular weight

实现全息海量存储一个重要的因素,为了获得高的存储密度($\geq 100 \text{ bits}/\mu\text{m}^2$),要求全息存储介质的厚度大于等于 $500 \mu\text{m}$ ^[12]。而且在这些薄膜里,全息图的角度选择性受到限制,因为角度选择 $\Delta\theta_b \approx \Delta/L$ 。 Δ 为干涉条纹的间距, L 为全息图的有效厚度。因此这种大分子量的聚乙烯醇更适合于做粘结剂。

4 结 论

单体和粘结剂是光致聚合物中两个重要的组份,我们研究了它们对全息特性的影响。以三乙醇胺作为引发剂,在丙烯酰胺、丙烯酸及 N-羟甲基丙烯酰胺三种单体中,丙烯酰胺的衍射效率及感光灵敏度最高,但膜的保存时间较短。向丙烯酰胺中加入少量 N-羟甲基丙烯酰胺提高了膜的保存时间,改善了膜表面的光学质量,有利于进行数字全息存储。聚乙烯醇和聚乙烯吡咯烷酮作为粘结剂都有良好的成膜性,不过在聚乙烯醇中,全息图的衍射效率及感光灵敏度均大于在聚乙烯吡咯烷酮中的,因为聚乙烯醇的折射率及溶液的粘度均小于聚乙烯吡咯烷酮。在大分子量聚乙烯醇中衍射效率及感光灵敏度大于在小分子量聚乙烯醇中的,这与膜的柔软程度有关,其分子结构更适合单体在其中扩散,而且大分子量聚乙烯醇能够制备厚膜,提供了一种全息存储实现海量信息存储的参考依据。

参 考 文 献

- 1 P. J. Van Heeden. Theory of optical information storage in solids[J]. *Appl. Opt.*, 1963, **2**(4): 393~400
- 2 Tao Shiquan, Wang Dayong, Jiang Zhuqing *et al.*. *Optical Holographic Storage* [M]. Beijing: Beijing Industrial University Press, 1998. 88~89 (in Chinese)
陶世基,王大勇,江竹青等. 光全息存储[M]. 北京:北京工业出版社, 1998. 88~89
- 3 Yao Huawen, Huang Mingju, Chen Zhongyu *et al.*. preparation of green sensitive photopolymer and investigation of its holographic data storage characteristics[J]. *Acta Optica Sinica*, 2002, **22**(8): 1021~1024 (in Chinese)
姚华文,黄明举,陈仲裕等. 绿敏光致聚合物的制备及其光全息存储性能研究[J]. 光学学报, 2002, **22**(8): 1021~1024
- 4 Yao Huawen, Huang Mingju, Chen Zhongyu *et al.*. Optimization of a monomers based photopolymer used for holographic recording[J]. *Acta Optica Sinica*, 2002, **22**(5): 632~635 (in Chinese)
姚华文,黄明举,陈仲裕等. 多种单体的全息光聚合物材料组分的优化[J]. 光学学报, 2002, **22**(5): 632~635
- 5 Huang Mingju, Yao Huawen, Chen Zhongyu *et al.*. Optimization of recording method and optical setup of photopolymer disk-type holographic memory[J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(4): 402~406 (in Chinese)
黄明举,姚华文,陈仲裕等. 光聚合物全息光盘记录方法和光路的优化[J]. 光学学报, 2003, **23**(4): 402~406
- 6 G. Zhao, P. Mouroulis. Diffusion model of hologram formation in dry photopolymer materials[J]. *J. Mod. Opt.*, 1994, **41**(10): 1929~1939

- 7 M. Ortuno, S. Gallego, C. Garcia *et al.*. Optimization of a 1mm thick PVA/acrylamide recording material to obtain holographic memories; method of preparation and holographic properties[J]. *Appl. Phys. (B)*, 2003, **76**(8): 851~857
- 8 C. Garcia, A. Fimia, I. Pascual. Holographic behavior of a photopolymer at high thickness and high monomer concentrations: mechanism of photopolymerization[J]. *Appl. Phys. (B)*, 2001, **72**(3): 311~316
- 9 W. K. Smothers, B. M. Monroe, A. M. Weber *et al.*. Photopolymers for holography[C]. *Proc. SPIE*, 1990, **1212**: 20~29
- 10 Yan Ruixuan. *Water Soluble Macromolecule* [M]. Beijing: Chemical Industry, 1998. 88~89 (in Chinese)
- 严瑞宣. 水溶性高分子[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998. 88~89
- 11 V. Weiss, A. A. Friesem, V. A. Krongauz. Organic materials for real-time holographic recording[J]. *J. Imaging Science and Technology*, 1997, **41**(4): 371~382
- 12 H.-Y. S. Li, D. Psaltis. Three-dimensional holographic disks [J]. *Appl. Opt.*, 1994, **33**(17): 3764~3774
- 13 Li Shanjun, Ji Caigui, Li Tong *et al.*. *Photochemical Mechanism and Application of Macromolecule* [M]. Shanghai: Fudan University Press, 1998. 108 (in Chinese)
- 李善君, 经才圭, 于同隐等. 高分子光化学原理及应用[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1998. 108



(上接封四)

3.7 参考文献 参考文献应是公开出版物,以便审者、编者、读者查证。文后参考文献以 GB/T 7714-1987 顺序编码制列出,每条内容应包括:作者(或译者,论文集编者,多于3人者用等或 *et al.*),文题,期刊名(或书名,会议名),出版年、卷、期(书或会议文集应相应列出版次、出版地、出版者、出版年、会议地点时间),起止页码。专利需列出专利性质及专利号。引用的网上出版物必须是固定的、可一直查阅的文献。中文参考文献应分别用中英文写出所有项目,并都须加上参考文献类型的标识:

参考文献类型	期刊	专著	论文集	学位论文	标准	专利	报告	报纸
文献类型标识	J	M	C	D	S	P	R	B

具体格式实例如下:

(1) 期刊:

Zhang Juan, Liu Liren, Zhou Yu *et al.*. Design of a new type interleaver[J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(12):1424~1428 (in Chinese)

张娟,刘立人,周煜等. 一种新型的光交错复用器的设计[J]. *光学学报*, 2003, **23**(12):1424~1428

(2) 专著:

Jin Guofan, Li Jingzhen. *Laser Metrology*[M]. Beijing: Science Press, 1998, 162~165 (in Chinese)

金国藩,李景镇. 激光测量学[M]. 北京:科学出版社, 1998. 162~165

(3) 译著:

Born M, Wolf E. *Principles of Optics*[T]. Yang Jiasun Transl. Beijing: Science Press, 1978. 182~190 (in Chinese)

玻恩,沃尔夫. 光学原理[T]. 杨葭孙译. 北京:科学出版社, 1978. 182~190

(4) 学位论文:

Zhang Jing. *LD Sensor for Weak Vibration Measurement and its Application in Muscle Vibration Measurement* [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2000, 21~30 (in Chinese)

张景. 激光二极管微振动传感器及其在肌肉振颤测量中的应用[D]. 武汉:华中科技大学, 2000. 21~30

(5) 技术标准:

National Standardization Technical Committee. GB 3100~3102-93. *Quantities and Units* GB3100~3102-93[S]. Beijing: China Standard Press, 1994

国家标准化技术委员会. 量和单位 GB3100~3102-93[S]. 北京:中国标准出版社, 1994

为了避免漏引,并扩大您的论文及《光学学报》、《中国激光》、《Chinese Optics Letters》等中国光学类期刊的国际、国内影响,希望增引您自己和同行近二年在《光学学报》、《中国激光》、《Chinese Optics Letters》等中国光学类期刊上发表的文章作为参考文献。

3.8 基金项目: 所投文章项目受到资助的,应标明资助名称及批准号。

作者简介: 出生年月,出生地,职务/职称,熟悉的学科和课题——不超过3个。

此两项置于文章首页页脚。

3.9 投寄要求 为了加速期刊的电子化、网络化,加快稿件处理速度,一律采用 E-mail 投稿。稿件需附一份显示来稿创新点的说明(附在文章后, 100~300 字); 请不要交寄个人,以免延误稿件的受理时间。本刊收到稿件后在 2~3 个工作日内 E-mail 发出收稿通知告知其他事项。稿件录用后,须提供文章修改定稿后的电子版(包括图)。

3.10 本刊现已进入《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》、《中国光学期刊网》等,不再另行通知作者,对版权有特殊要求者,请事先声明。

4 审稿程序 稿件收到评审费后分送两位同行评议、主编终审、择优录用;编辑部自收稿日起 4 个月内将初审意见函告作者,逾期,作者可另行处理原稿,但需告知编辑部。

5 版权转让 在审稿通过后,作者须转让著作权人作品版权(包括各种介质、媒体的版权)给编辑部,并把全部作者签名附单位盖章的版权转让函。

6 录用与否 录用稿作者应遵照中国科协有关文件精神,支付适量版面费以聊补期刊的高额亏损。由于近年来来稿量猛增,为了缩短发表周期,请作者精炼文章内容,更不要加附录,否则,超过 4 页的文章将加收版面费。编辑部有权对录用稿件作编辑意义的增删加工。录用稿一经本刊刊登,本刊享有版权,并向作者酌付稿酬,寄送该期期刊一册和抽印本 10 份。

7 投稿及回复时,请告知作者的有效联系方式 除“姓名、通讯地址、邮政编码”外;E-mail、电话(办公室及家庭或宿舍)、手机等是必不可少的。并用 E-mail 回复修改意见和修改稿(修改部分请划线)。最好注明通讯作者(作者单位相对稳定)。

8 请推荐 3~5 位同行专家(包括海外华人研究人员)作候选审稿人 (给出他们从事研究的学科和课题,通讯地址和 E-mail)。