

文章编号: 0253-2239(2004)08-1099-4

双波长敏感的光致聚合物全息存储材料*

刘学璋 陈仲裕

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘要: 介绍了一种以聚乙烯醇为粘结剂, 丙烯酰胺和亚甲基双丙烯酰胺作为单体, 赤藓红和亚甲基蓝作为光引发剂, 三乙醇胺作为共引发剂的光致聚合物材料。材料能同时对红光和绿光敏感, 用红光和绿光分别对材料曝光, 测得的两种衍射效率分别不低于 30%, 灵敏度不低于 $25 \text{ cm}^2/\text{J}$ 。该材料对红光的最大响应空间频率为 2274 lp/mm, 相应的衍射效率为 27.73%, 响应范围为 1600~2800 lp/mm; 对绿光的最大响应空间频率为 2350 lp/mm, 相应的衍射效率为 25.72%, 响应范围为 1700~3000 lp/mm。在材料的同一点上进行红光和绿光的波长复用全息存储, 当用红光或绿光再现时单幅图像清晰, 信噪比高, 两幅图像之间无任何干扰, 该材料适合双波长全息存储。

关键词: 光学材料; 光致聚合物; 衍射效率; 灵敏度; 双波长全息存储

中图分类号: TN204 文献标识码: A

Photopolymer Holographic Recording Material Sensitized to Two Wavelength

Liu Xuezhang Chen Zhongyu

(Shanghai Institute of Optics & Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

(Received 20 May 2003; revised 21 October 2003)

Abstract: A novel type of photopolymer holographic recording materials sensitive to red light and green light is presented. The photopolymerizable system comprises two monomers, a photoinitiation system, and an inactive component referred to as a binder. Diffraction efficiencies are no less 30%, and sensitivities are no less $25 \text{ cm}^2/\text{J}$ when exposed to red light and green light respectively. Spatial frequencies of red light ranged from 1600~2800 lp/mm, and the best response spatial frequency is 2274 lp/mm and the corresponding diffraction efficiency is 27.72%. Spatial frequencies of green light ranged from 1700~3000 lp/mm, and the best response spatial frequency is 2335 lp/mm and the corresponding diffraction efficiency is 25.72%. There is no crosstalk among reconstruction images when recording in the same point by red and green light, so the photopolymer is promising to two-wavelength multiplexing holographic storage.

Key words: optical materials; photopolymer; diffraction efficiency; sensitivity; two-wavelength multiplexing holographic storage

1 引 言

光全息存储是一种有高冗余度, 能够并行读/写的海量存储技术。在目前的数据传输中, 它是解决计算机传输及存储间瓶颈的技术之一。也是 21 世纪信息互联网中所需的传输速度快, 存储容量大的

技术之一, 有着广阔的发展前景。全息存储技术的应用很大程度上取决于材料的性能。全息存储介质有很多, 如银盐材料、重铬酸盐明胶、光致变色材料、光折变晶体和光聚物等。而光聚物有较好的光学性能, 以及不需要后湿化学处理和对环境有很好的抵抗性, 化学组成范围宽, 性能价格比高和能大规模生产等优点, 使其能制成全息光盘与计算机相连, 商业应用前景十分乐观, 因而成为近几年来研究的热点^[1~5]。

* 国家自然科学基金(60277028)资助课题。

E-mail: lxuezhang@siom.ac.cn

收稿日期: 2003-05-20; 收到修改稿日期: 2003-10-21

角度复用和波长复用等技术^[5]可以提高光致聚合物材料的体全息存储容量。角度复用是通过改变参考光角度实现全息 K 空间的复用,而波长复用是通过改变记录波长实现全息 K 空间的复用。由于光聚物材料具有高角度选择性,因此使其能够比较容易满足角度复用。为了实现波长复用,必须制备一种材料能对多个波长敏感,而且任一波长的衍射效率必须足够高才能达到波长复用的要求。

目前,光聚物材料发展比较迅速,单一波长的存储材料研究较多^[6,7],而多波长存储材料的研究很少,因而在提高全息存储容量方面,尚存不足之处。因此研制一种双波长敏感(同时对红光 633 nm 和绿光 514 nm 都敏感)的光致聚合物全息存储材料显得很重要。

2 实 验

2.1 材料的制备

试样是在普通实验室条件下制备的(22 ℃,相对湿度约 40%~60%),制备过程如下:

1) 将 2 g 的聚乙烯醇(PVA)溶解于蒸馏水并加热到 80 ℃,搅拌使其完全溶解,得到质量分数为 0.10 的 PVA 溶液;

2) 将一定量的三乙醇胺(TEA)溶解于蒸馏水中,然后加入到 PVA 溶液中搅拌均匀;

3) 往 PVA 溶液中加入适量的丙烯酰胺(AA)单体和亚甲基双丙烯酰胺(BAA)单体,均匀搅拌使 BAA 充分溶解;

4) 往溶液中分别滴入适量赤藓红溶液和亚甲基蓝溶液,最后得到约 30 ml 的溶液;

5) 取出 4 ml 溶液,倒在 6.7 cm×6.7 cm 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 150 μm。

2.2 实验光路

采用图 1 所示的光路实现双波长复用全息存储。

He-Ne 激光器发出的 633 nm 波长的激光由分色镜 M₂ 反射,经分束器 BS 分束形成物光和参考光,两者的光强比可以通过调节分束器来控制。其中物光经扩束,成像,在傅里叶透镜 L₂ 的后焦面与参考光以相同的光程在记录材料上形成干涉,再现时快门 K₃ 关掉物光,用参考光照射记录材料,经傅里叶透镜 L₃ 反变换,在其后焦面上形成再现像。

Ar⁺ 激光器发射出 514 nm 波长的激光经反射镜 M₁ 反射,通过分色镜 M₂ 耦合,与红光的光路重

合,分束形成物光和参考光,最后在材料上相干涉。快门 K₁, K₂ 可以控制曝光的时间和选择曝光的波长。通过同光路调整,可以保证红绿光在同一点上进行全息存储。通过测量入射光和衍射光的强度可以计算出衍射效率,衍射效率公式如下:

$$\eta = I_{\text{dif}} / (I_{\text{inc}} - I_{\text{ref}}),$$

式中 η 为衍射效率, I_{dif} 为衍射光强度, I_{inc} 为总入射光强度, I_{ref} 为材料表面的反射光强度。在进行衍射效率测量时, L₁, SLM, L₂ 和 L₃ 可以从光路中移走。

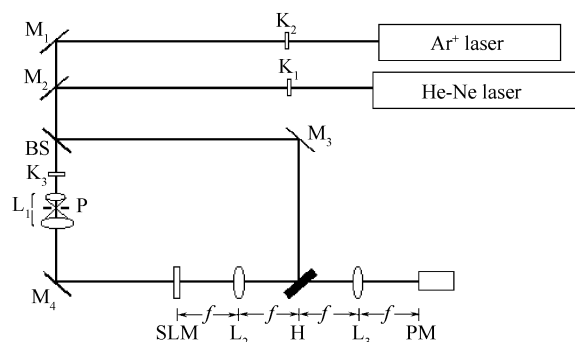


Fig. 1 Experimental setup. M₁, M₃, M₄: mirrors; M₂: 100% reflection to red light, 100% transmission to blue light; BS: beam splitter; H: holographic recording material; SLM: spatial light modulator; L₁: beam expander; L₂, L₃: 4f system; PM: power meter; P: spatial filter; K₁, K₂, K₃: electronic shutters (intensity ratio is 1:1)

3 结果和讨论

3.1 材料的敏感特性

材料的吸收光谱线如图 2 所示,材料有两个明显的吸收峰。分别在 528 nm 和 666 nm 波长,两者之间相距 140 nm 左右,没有重叠。用相应吸收峰处波长的光对材料曝光时,可以引发光致聚合,记录干涉花样。因此该材料能够同时对红光和绿光敏感,适合双波长复用全息存储。

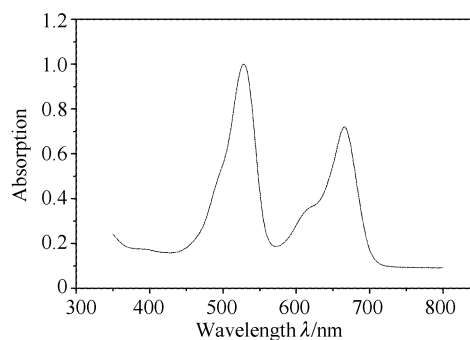


Fig. 2 Absorption spectra of the material

3.2 材料的曝光曲线

采用上述光路,先用红光对材料进行曝光,测量材料的衍射光栅生长曲线,然后再用绿光进行曝光,测量材料的光栅生长曲线,得到的总的光栅生长曲线如图 3 所示。从图中可见,材料在两种波长的曝光下衍射效率都在较短的时间内达到最大值,两者的最大衍射效率比较接近,都超过 30%。对材料进一步曝光,衍射效率有所下降,最后达到饱和。表明材料中的单体逐渐地聚合,单体的浓度减小,而聚合物的浓度迅速增加,因此在材料中形成的亮暗条纹调制区域的折射率调制度也增加;但当记录达到一定时间时,衍射效率达到最大值,表明此时折射率调制度达到了最大值。同文献[6,7]单独掺杂某种染料时相比,材料的最大衍射效率低,且灵敏度也降低,这主要是因为使用的染料浓度只有单独掺杂时的一半。此外,材料中有另外一种染料时,增加了材料对激光的吸收,使透过的激光强度降低,从而降低了激光的利用率。材料的灵敏度定义为 $S = \eta^{1/2}/It$, I 、 t 分别为曝光强度和材料达到最大衍射效率时所需的曝光时间。根据光栅生长曲线数据,可分析得到该材料对两种波长的灵敏度分别不低于 $25 \text{ cm}^2/\text{J}$ 。

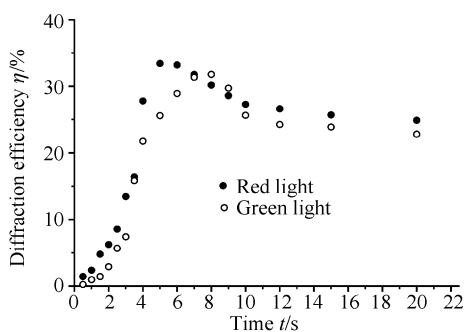


Fig. 3 The real-time growth of gratings (the intensity of exposure is $10 \text{ mW}/\text{cm}^2$ for each light and spatial frequencies are $2235 \text{ lp}/\text{mm}$ for red light, $2750 \text{ lp}/\text{mm}$ for green light)

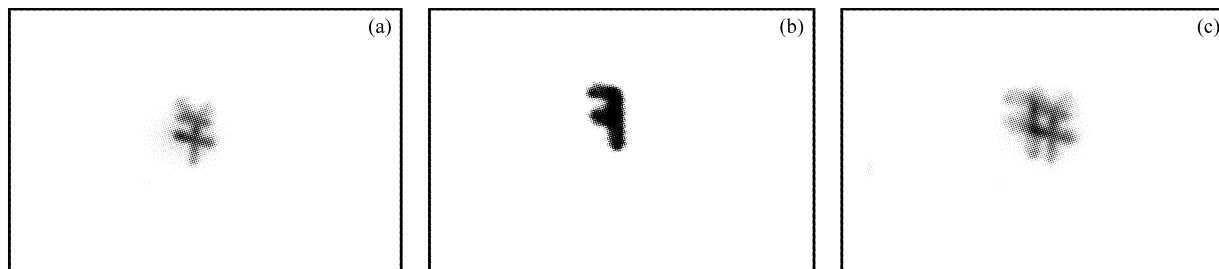


Fig. 5 The reconstruction image of (a) red light, (b) green light, (c) red and green light (exposure time is 0.5 s)

3.3 材料的空间频率响应

为满足全息记录,要求材料有较大的空间频率响应范围。同时对该范围内的空间频率有均匀的衍射效率,才能无失真的记录信息。我们分析该材料在两种波长条件下不同频率的衍射效率,测定了其频率响应曲线(图 4)。实验中未把曝光量调节至衍射效率最大处。由图 4 可见,该材料的对红光的最大响应空间频率为 $2274 \text{ lp}/\text{mm}$,相应的衍射效率为 27.73% ,频率响应范围为 $1600 \sim 2800 \text{ lp}/\text{mm}$ 。对绿光的最大响应空间频率为 $2350 \text{ lp}/\text{mm}$,相应衍射效率为 25.72% ,频率响应范围为 $1700 \sim 3000 \text{ lp}/\text{mm}$ 。超过频率的响应范围,则材料的衍射效率会大大降低。这是由光聚物材料本征特性决定的,过高或过低的干涉条纹间距都会降低光聚物材料中单体的扩散速度和材料的折射率调制,从而使衍射效率降低。

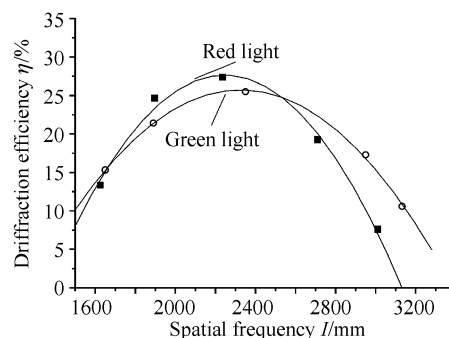


Fig. 4 Diffraction efficiency curves for different spatial frequency interference patterns

3.4 双波长存储

用上述成分优化制得光致聚合物薄膜材料,进行双波长复用的全息记录实验。先用 $20 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 的绿光对材料曝光,记录一副图像,然后,不改变材料的位置,用同样光强的红光对材料曝光,记录另一幅图像,记录完毕,用紫外灯对材料均匀曝光,消耗掉剩余的单体,固定全息图像。重现时关掉物光束,由参考光照射记录材料,在反傅里叶变换透镜 L_3 的后焦面呈现再现像,用 CCD 捕捉,结果如图 5 所示:

图 5(a)是绿光再现的像,图 5(b)是红光再现的像,图 5(c)是红绿光波共同再现的像。用红光或绿光再现时单幅图像清晰,信噪比高。两幅图像之间没有串扰,说明该材料有较好的存储性能,适合红绿光双波长复用全息存储。

结论 光致聚合物材料能够同时对红、绿光敏感,对红、绿光的两种衍射效率分别不低于 30%,灵敏度不低于 $25 \text{ cm}^2/\text{J}$ 。同时该材料有较大的空间频率范围,分别为 $1600 \sim 2800 \text{ lp/mm}$ (红光), $1700 \sim 3000 \text{ lp/mm}$ (绿光)。通过全息存储实验表明记录信息重现清晰,信噪比高,相互间无串扰,有较好的存储性能,适合多波长复用全息存储记录。

参 考 文 献

- 1 Blaya S, Mallavia R, Garretero L *et al.*. Highly sensitive photopolymerisable dry film for use in real time holography. *Appl. Phys. Lett.*, 1998, **75**:1628~1630
- 2 Yao Huawen, Huang Mingju, Cheng Zhongyu *et al.*. Optimization of a monomers-based photopolymer used for holographic recording. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2002, **22**(5):632~635 (in Chinese)
- 3 Huang Mingju, Yao Huawen, Cheng Zhongyu *et al.*. Relationship of bragg-mismatch and recording angles of holographic photopolymer. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2002, **22**(5):975~978 (in Chinese)
- 4 Huang Mingju, Yao Huawen, Cheng Zhongyu *et al.*. Study of high-density holographic characteristics of a novel green-sensitive photopolymer. *Chin. J. Lasers* (中国激光), 2002, **29**(8):748~750 (in Chinese)
- 5 Rhodes W T, Metz. *Holographic Data Storage*. Germany:Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2000. 21~59
- 6 Blaya S, Carretero L, Mallavia R *et al.*. Optimization of an acrylamide-based dry film used for holographic recording. *Appl. Opt.*, 1998, **37**(32):7604~7610
- 7 Boyd J, Trentler T J, Wahi R K *et al.*. Effect of film thickness on the performance of photopolymers as holographic recording material. *Appl. Opt.*, 2000, **39**(10):2353~2358