

用光致聚合物全息干版实现光互连*

梁国栋 郑杰 徐迈

(中国科学院长春物理所, 长春 130021)

提要 用全息术在光致聚合物全息干版上制备出全息耦合光栅。将光信号耦合进玻璃光导板中,使其在光导板中全反射,以锯齿形式传播。再经出射光栅耦合出来。在光导板上实现 1 点对 1 点的光互连,互连效率约为 25%。

关键词 光致聚合物,光互连,折射率调制度,全息光栅

1 引 言

传统的电互连受到互连带宽,互连密度、时钟歪斜、能耗、抗干扰差等方面限制^[1~3]。因而用光互连来解决计算机通信中的“瓶颈”效应问题在 80 年代初被提了出来^[4]。光互连接按层次来分有:计算机之间、计算机内部机柜之间、印刷电路板之间、芯片与芯片及芯片内部之间的互连。从光互连种类上又分为自由空间互连、光纤互连及光波导互连。光互连具有信息流量大,避免串音,并行性和扇出数多等优点^[1,5]。这些优点在光纤通信、光存储和激光打印等方面已显示出来。其中使用全息光学元件的光互连是目前研究热点。利用全息术在重铬酸明胶上实现光导板之间 1 点对 1 点的光导板互连已有报道^[6,7]。尽管重铬酸明胶干版具有衍射效率高,但需要临时制备,且防潮性能差。因而使用它制备光互连导板很不方便。

首都师范大学物理系发明的新产品——光致聚合物全息干版与重铬酸明胶一样具有衍射效率和灵敏度高的优点,同时还可存放 8 个月以上,且只对 633 nm 红光敏感,因而可在日光灯下操作。本实验使用该全息干版,在其上制备出 1 点对 1 点的光互连底板。

2 原 理

光互连要求具有较高衍射效率的耦合元件,布喇格耦合元件能满足这一要求。但薄膜的厚度和光栅周期 d 必须满足

$$Q = 2\pi\lambda_2 T / n_f d^2 > 10 \quad (1)$$

式中 λ_2 为光信号的波长, n_f 为薄膜的折射率。在实验中只要适当选取薄膜的厚度及控制曝光量即可满足(1)式。

根据布喇格效应,布喇格衍射角随着波长增长而增大。用较短波长($\lambda_1 = 632.8 \text{ nm}$)的 He-

* 国家 863 科研项目。

收稿日期:1993 年 9 月 27 日;收到修改稿日期:1993 年 11 月 10 日

Ne 激光对全息干版曝光。曝光装置如图 1 所示,形成图 2 所示的条纹光栅。再用较长波长($\lambda_2 = 780 \text{ nm}$)的光再现,布喇格角增大,使光在光导板内发生全反射。在薄膜不同点制备出入射光栅及出射光栅。再现时光信号垂直入射,经入射光栅衍射后,光信号在玻璃光导板中全反射,以锯齿形式传播。再经出射光栅衍射后,光信号垂直出射,如图 3 所示。

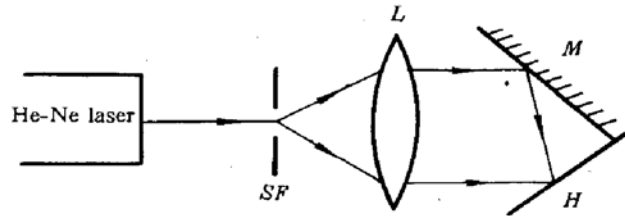


Fig. 1 Experimental setup of exposure

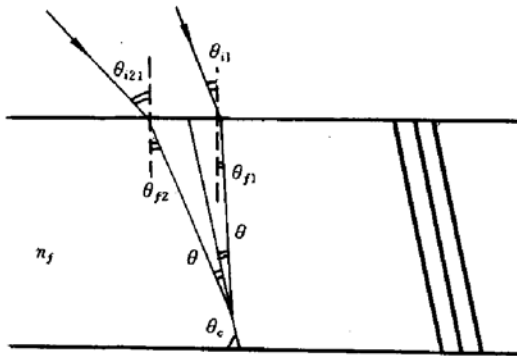


Fig. 2 Scheme of holographic grating created by two optical beams

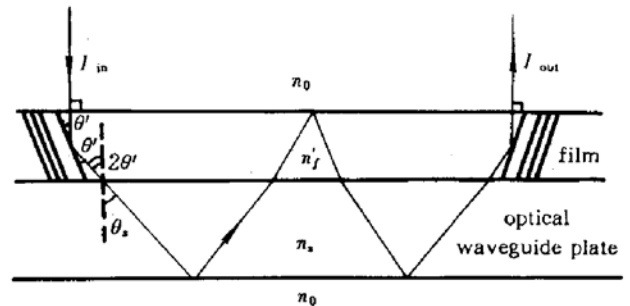


Fig. 3 Scheme of optical interconnection

曝光时制备得到的光栅满足布喇格定律

$$2dn_f \sin \theta = \lambda_1 \tag{2}$$

根据折射定律得到

$$\sin \theta_{i1} = n_f \sin \theta_{f1} \tag{3}$$

$$\sin \theta_{i2} = n_f \sin \theta_{f2} \tag{4}$$

布喇格角

$$\theta = (\theta_{f2} - \theta_{f1}) / 2 \tag{5}$$

n_f 为曝光时全息干版薄膜的折射率, θ_{i1} , θ_{i2} 和 θ_{f1} , θ_{f2} 为两曝光光束的入射角和在薄膜中的折射角。

再现时,同样满足布喇格定律和折射定律

$$2dn_f' \sin \theta' = \lambda_2 \tag{6}$$

$$n_f' \sin 2\theta' = n_s \sin \theta_s \tag{7}$$

且有

$$\theta_{f1} = \theta' - \theta \tag{8}$$

θ' 为再现时布喇格角, n_f' 为再现时薄膜的折射率, n_s , θ_s 为光导板的折射率和折射角。

由 Kogelnik 衍射效率表达式^[8]

$$\eta = \sin^2 \left(\frac{2\pi n_1 T}{\lambda_2 (C_s C_R)^{1/2}} \right) \tag{9}$$

可知,最高衍射效率 $\eta = 100\%$ 时有

$$\frac{2\pi n_1 T}{\lambda_2 (C_s C_R)^{1/2}} = \frac{\pi}{2} \quad (10)$$

其中 $C_R = \cos\theta_i$, $C_s = \cos\theta_i - (K/\beta)\cos\phi$, θ_i 为再现时的入射角(本实验中 $\theta_i = 0$), ϕ 为光栅矢量与光传播方向的夹角, K 为光栅常数, $\beta = 2\pi n_f / \lambda_2$ 为光传播常数, n_1 为薄膜折射率的调制度, 它和薄膜的曝光量有关。

本实验采用的光致聚合物全息干版参数为: $n_f = 1.5026$, $n_f' = 1.5840$, $n_s = 1.5089$, $T = 12 \mu\text{m}$, 取光信号在光导板传播时的反射角 $\theta_s = 43^\circ$ 。由(1)~(8)式可求得: $\theta_{i1} = 4^\circ 34'$, $\theta_{i2} = 66^\circ 7'$ 及 $Q = 73 > 10$ 。

3 实 验

由于光致聚合物干版薄膜的厚度在曝光后显影、脱水、吹干过程中发生收缩,使斜光栅条纹倾斜度增大,造成曝光制得的光栅条纹与再经过显影、脱水、吹干处理后的光栅条纹不一致^[9]。按理论计算数据曝光制备光栅,再现光偏离垂直入射方向约为 8° 。实际上,实验采用曝光的两光束入射角为 $\theta_{i1} = 49^\circ 57'$ 和 $\theta_{i2} = 6^\circ 3'$, 两光束位于表面法线两侧。曝光量为 50 mJ/cm^2 。先掩膜曝光制得入射光栅,再将曝光位置移动 5 mm ,然后将干版旋转 180° ,掩膜曝光制得出射光栅。制得的两光栅倾斜角相反。再把曝光后的干版显影、脱水、吹干即得到光互连导板。

4 实验结果和讨论

实验测得光互连导板的总效率为 25% ,入射光栅的衍射效率约为 80% ,则出射光栅的衍射效率约为 30% 。造成出射光栅效率低的原因是从光导板射入出射光栅的光不严格满足布喇格定律,亦即是入射光栅倾斜角和出射光栅倾斜角未严格反向。影响入射光栅和出射光栅衍射效率低的因素有: 1) 曝光时,在薄膜内的两束光强未能完全相等,使薄膜折射率调制度下降; 2) 由于每块干版厚度有一定差别,要获得高衍射效率,要求相应不同的折射率调制度,亦即是不同的曝光量和显影时间。这给实验制备高的衍射效率光栅带来了困难。3) 再现光为波长 780 nm 的半导体激光,它的频带较宽,且有部分扩散,因此有部分光偏离严格的布喇格入射角。

为了提高光栅的衍射效率,应改善实验工艺,尽可能消除上述降低光栅衍射效率低的因素。

参 考 文 献

- 1 D. A. B. Miler. *Opt. Lett.*, 1989, 14: 146
- 2 P. S. Ho. *Proc. Electrochemical Society*, 1985, 85(5): 146
- 3 A. Husain. *Proc. SPIE*, 1984, 448: 10~20
- 4 J. W. Goodman. *Proc. IEEE*, 1984, 72(7): 850
- 5 L. A. Bergman. *Opt. Eng.*, 1986, 25(10): 1109~1118
- 6 H. J. Haumann. *Opt. Eng.*, 1991, 30(10): 1620~1623
- 7 F. Sauer. *Appl. Opt.*, 1989, 28(2): 386
- 8 H. Kogelnik. *Bell Sys. Tech. J.*, 1969, 48: 2909~2947

9 梁国栋等. 第七届全国集成光学学术讨论会论文集, CCIO '93, 1993. 99

Realization of Optical Inteconnection on the Holographic Plate of the Red Sensitive Photopolymer

Liang Guodong Zheng Jie Xu Mai

(*ChangChun Institute of Physics, Academy of Sciences, Changchun 130021*)

Astract Holographic coupling gratings have been frabricaed on the Red Sensitive Photopolymer (RSP) holographic plate with holographic technology. Optical signal is coupled along the total internal reflection angle inside the light-guiding plate and conpled out by the coupling gratings. The one by one point optical interconnections has been realized, its coupling efficiency is 25%.

Key words Red Sensitive Photopolymer, optical interconnections, refractive idex modulation, holographic grating