

与波导表面垂直等量发射的线阵全息波导光互联

官爱玲

巩马理 张书练 金国藩

(昆明理工大学应用物理系, 昆明, 650051)

(清华大学精密仪器与机械学系, 北京, 100084)

摘要: 报道了以玻璃为基、以光致聚合物制造透射体积输出光栅的全息波导光互联, 并通过实验绘制了光栅的衍射效率与曝光时间曲线。通过控制各输出光栅的衍射效率, 可实现用一束与波导表面垂直的入射光, 产生 6 束与波导表面垂直且能量相等的出射光。输出光栅的最大衍射效率仅需趋于 50%。在波长为 632.8nm 的红光下, 测出输出光偏离表面垂直方向的角度为 0.43° , 输出光的相对强度的最大偏差为 11%。

关键词: 光致聚合物 玻璃波导 透射体积光栅 光互联

Transmission volume gratings array with energy-equalized normal-surface outputs for optical interconnect

Gong Ailing

(Department of Applied Physics, Kunming Sci. & Tech. University, Kunming, 650051)

Gong Mali, Zhang Shulan, Jin Goufan

(Department of Precision Instruments and Mechanics, Tsinghua University, Beijing, 100084)

Abstract: In this paper, we report a kind of holographic wave guided optical interconnect based on a glass substrate and transmission volume gratings in photopolymer. An experimental curve of diffraction efficiency for each output grating was plotted. Maximum diffraction efficiency of output grating tends to 50%. The angular deviation of output light from the surface-normal is 0.43° and the relative intensity fluctuation of output light is 11% while the wavelength is 632.8nm.

Key words: photopolymer glass wave guided transmission volume grating optical interconnect

引 言

1984 年, 为了提高超大规模集成电路(VLSI)中的互联速度, 美国 Stanford University 的 J. W. Goodman 教授首先提出了光学互联, 这一问题一经提出就受到了世界各国科技界的重视, 目前已发展成为一个新的研究方向。光学互联能够克服许多电互联无法克服的困难, 随着光通讯技术的发展和计算机网络化进程的加快, 光学互联成为实现不同处理器和存储器间的互联的很好选择。光学互联基本可分为 3 类, 即自由空间光互联, 光纤光互联和以波导为基的薄膜聚合物光互联。波导通常由绝缘材料或半导体材料制成, 目前用玻璃做为导波基底, 用光致聚合物材料记录全息光栅, 将全息光栅贴在玻璃表面做为输入光信号耦合器和输出光信号耦合器, 实现用一束输入光产生多束输出光, 或用多束输入光产生多束输出光, 或用多束输入光产生一束输出光的波导光学全息互联的研制已取得很大进展^[1]。这类光互联要求输入光栅和最后一个输出光栅的衍射效率趋于 100%。由于光致聚合物材料具有衍射效率高、分辨率高、灵敏度高、信噪比高、存储稳定、不需要化学试剂处理等优点, 它已成为制做光学全息元件的一种较理想的记录材料, 但这种材料仅仅经过相干光曝光, 衍射效率远达不到 100%, 需经过 UV 光照射、烘烤及非相干光照等后处理过程, 衍射效率可显著提高, 趋于 100%^[2,3]。但

是后处理过程在显著提高衍射效率的同时,也使聚合物薄膜厚度大幅度收缩,进而导致光栅的衍射光方向偏离设计方向,由于体积光栅的衍射效率对角度响应的灵敏性强,当照明光沿设计方向入射时,将不能满足布喇格条件,光栅的衍射效率很快下降,严重时可使衍射效率下降为 0,使器件不能正常工作甚至完全无法工作。作者报道了新设计的一种光互联,它使用 K9 玻璃做为导波基底,用光致聚合物材料制作的透射体积光栅做为输出光信号耦合器,用一束与波导表面垂直的入射光产生多束与波导表面垂直且能量相等的输出光,并且光栅的衍射效率最大只需达到 50% 即可,这个数值的衍射效率通过相干光曝光即可达到,不需要后处理。

另外,有文献报道光栅的记录光源使用 Ar^+ 激光器,曝光时间在 0~50s 内,光栅衍射效率就可达到最大^[4]。由于制作线阵上 2 个相邻光栅曝光所需的时间差值很短,预期的衍射效率难以控制,因此,我们首次尝试使用小功率二极管泵浦倍频固体激光器作为记录光源。由于曝光时间延长了,衍射效率便于控制,效果较好。

1 器件原理

图 1 是玻璃波导的示意图,光线在波导中弹射传播时,要求弹射角 α 必须大于或等于玻璃到空气中的全内反射临界角,由于 K9 玻璃的折射率 $n = 1.5163$,故全内反射临界角为 41.3° ,我们将弹射角设计为 45° ,为了使输入光和输出光与波导表面垂直,波导的两个侧面必须被磨成 67.5° ,透射体积光栅贴在光线在波导内的弹射点上。

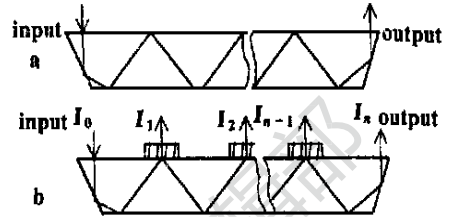


Fig. 1 a—a vertical incident light to a TIR light with a bouncing angle α to a surface-normal output in a glass substrate
b—the gratings converts a bouncing light with respect to the surface-normal outputs

设有 N 束输出光,入射光强度为 I_0 ,各出射光强度依次为 I_1, I_2, \dots, I_N ; 要求 $I_1 = I_2 = \dots = I_N$; 各光栅的衍射效率分别为 $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_N$,由文献[4]可知,当波导内的弹射光不是由波导侧面全反射产生,而是由输入光栅产生时,第 i 个输出光栅的衍射效率为:

$$\eta_i = \eta_M / (N - i + 1) \tag{1}$$

η_M 是输入光栅的最大衍射效率, $\eta_M < 1$ 。

第 i 束输出光的强度为:
$$I_i = I_0 \eta_M (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \dots \eta_i \tag{2}$$

所有输出光栅中第 N 个输出光栅的衍射效率最大, $\eta_N = \eta_M$ 趋于 100%。

不使用输入光栅时,设垂直进入波导玻璃内的光线透射率为 T ,则有:

$$n_i = T / (N - i + 1) \tag{3}$$

第 i 束输出光的强度为:
$$I_i = I_0 T (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \dots \eta_i \tag{4}$$

第 $N - 1$ 个输出光栅的衍射效率最大, $\eta_{N-1} = T/2$,对于 K9 玻璃, $T \sim 95\%$ 。

与波导表面垂直入射的光线进入玻璃后在斜侧面产生全反射,反射光以弹射角 $\alpha = 45^\circ$ 的入射角在波导下界面弹射,以 45° 入射角照射在输出光栅“1”上,一部分光线经光栅衍射,垂直波导表面输出,光强为 I_1 ,另一部分光线在上界面反射,又以 45° 角在下界面弹射,照射在输出光栅“2”上,一部分光线经光栅“2”衍射,垂直波导表面出射,光强为 I_2 ,另一部分光线在上界面反射,又以 45° 角在下界面弹射,照射在输出光栅“3”上,依次类推,光线经光栅“ $N - 1$ ”衍射后,衍射光垂直波导表面出射,光强 I_{N-1} ,另一部分光线经波导下界面弹射,入射在波导斜侧面上,在斜侧面发生全反射,垂直波导表面出射,此为最后一束出射光,光强为 I_N 。只要按(3)

式计算出每一个光栅的衍射效率,并按图3的曝光曲线进行曝光,就可实现用一束与波导表面垂直的入射光,产生 N 束与波导表面垂直且能量相等的出射光。

2 实验步骤及结果

2.1 光致聚合物曝光曲线的测试

图2是记录光路。P为分束镜, F_1, F_2 为针孔滤波器, L_1, L_2 为准直镜, M_1, M_2 为全反镜, H为记录材料。使用 He-Ne 激光器的 632.8nm 线实时监测光栅衍射效率 η 与曝光时间 t 的关系,并定义衍射效率 $\eta = I_D / (I_D + I_T)$, I_D 为衍射光强, I_T 为透射光强,并绘制曝光曲线,见图3。图2中 D 为探测器。记录时参物比取 1:1, 曝光总功率密度为 $0.16\text{mW}/\text{cm}^2$,

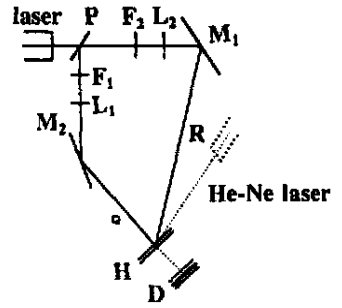


Fig. 2 Setup for making gratings

使用 2 束平面光记录平直条纹透射体积光栅。

2.2 摄制输出光栅

在图2所示的光路中撤去 He-Ne 激光器,按(5)~(7)式计算参考光与物光在空气中的入射角 $\theta_R, \theta_0^{[1]}$, 参物比取 1:1。

$$\theta_R = \sin^{-1}(n \sin \delta / n_r) \tag{5}$$

$$\theta_0 = \sin^{-1}[n \sin(\alpha - \delta) / n_r] \tag{6}$$

$$\delta = \alpha/2 - \sin^{-1}[\lambda_b \sin(\alpha/2) / \lambda_r] \tag{7}$$

式中, $n = 1.52$ 为光致聚合物的折射率, n_r 为靠近聚合物的介质的折射率。对于空气 $n_r = 1$, 对于 K9 玻璃 $n_r =$

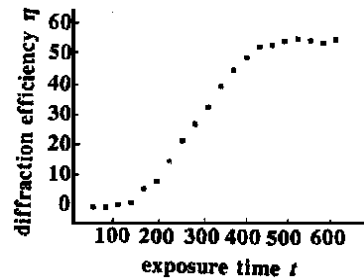


Fig. 3 The experimental curve of diffraction efficiency versus exposure time at $\lambda_r = 632.8\text{nm}$

1.5163。 $\lambda_b = 532.0\text{nm}$ 为记录波长, $\lambda_r = 632.8\text{nm}$ 为衍射波长。 K 为波矢, Λ 为光栅的空间频率。按图3选择合适的曝光时间,摄制透射体积光栅,并将所摄制的光栅依次贴在波导玻璃表面。

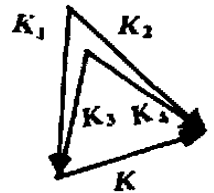


Fig. 4 Bragg diffraction diagram of the holographic gratings before and after processing

$$K_1 = K_2 = 2\pi / \lambda_b$$

$$K_3 = K_4 = 2\pi / \lambda_r$$

$$K = 2\pi / \Lambda$$

实验中,我们取 $N = 6$, 制作用一束与波导表面垂直的入射光,产生 6 束与波导表面垂直且能量相等的出射光的光互联,已知 $T \approx 95\%$, 由(3)式得到 $\eta_1 = 15.9\%$, $\eta_2 = 19.0\%$, $\eta_3 = 23.8\%$, $\eta_4 = 31.6\%$, $\eta_5 = 47.5\%$ 。

2.3 实验结果

图5是 CCD 记录的输出光的像。各输出光束的相对能量值依次是 $I_1 = 1.02, I_2 = 1.08, I_3 = 1.04, I_4 = 1.06, I_5 = 0.96, I_6 = 0.89$ 。各光束相对于平均值的最大偏差为 11%。



Fig. 5 CCD image for 1~6 outputs result at $\lambda_r = 632.8\text{nm}$

造成输出光能量偏差的原因主要是:

- (1) 记录过程中由于曝光量的波动,导致光栅衍射效率波动。
- (2) 聚合物薄膜厚度收缩,使光栅矢量的方向发生改变,当入射光沿布喇格角入射时,不能严格满足布喇格条件,导致衍射效率下降。
- (3) 由于各输出光栅串联

小型热传导冷却(Nd, Ce): YAG 激光器热稳定性研究

陈肖燕

赵 刚

(西南交通大学应用物理系, 成都, 610031) (西南技术物理研究所, 成都, 610041)

摘要: 在小型 Cr^{4+} : YAG 被动调 Q 热传导冷却(Nd, Ce): YAG 激光器中, 采用定向反射器取代平行平面腔中的全反射镜, 大大提高了器件的热稳定性, 获得了重复频率 5pps 的激光输出, 单脉冲激光能量输出 20~ 25mJ, 调 Q 激光脉宽 15ns, 束散 3~ 5mrad, 工作温度范围- 40°C~ + 55°C, 激光器总长度小于 130mm。

关键词: 热传导冷却 (Nd, Ce): YAG 激光器 热稳定性 被动调 Q

Study on thermal stability characteristic of miniature conductive cooling repetitive(5pps) (Nd, Ce): YAG laser

Chen Xiaoyan

(Department of Applied Physics, Southwest Jiaotong University, Chengdu, 610031)

Zhao Gang

(Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu, 610041)

Abstract: In the miniature Cr^{4+} : YAG passive Q-switched conductive cooling repetitive (Nd, Ce): YAG lasers, replacement of the 100% reflector of its plane-parallel resonator with a TIR (total internal

排列, 前面光栅的衍射效率有偏差, 直接导致后面的弹射光能量值改变, 使后续输出光能量改变。(4) 薄膜在波导表面难以贴得严格平整, 膜与玻璃间可能有气隙存在。(5) 采用 Nd: YAG 作激光介质、KTP 作倍频材料、腔内倍频的二极管泵浦倍频固体激光器的绿色噪声的影响。实际制作中, 可针对造成误差的原因, 进行修正, 减小误差。

3 结 论

笔者所述的方法, 不仅可以与波导表面垂直的输入光, 产生与波导表现垂直的输出光, 还可通过改变记录时参物光的入射角, 制作干涉条纹面与聚合物表面成任意倾斜度的体积光栅, 并将其用于制作输入光、输出光与波导表面成任意夹角的光互联。由于使用光致聚合物制作的光栅, 具有高的衍射效率, 且体积小、重量轻, 因此, 全息光互联的应用前景非常广阔。

参 考 文 献

- 1 Chen R T, Tang S, Li M M *et al.* A P L, 1993; 63(14): 1883~ 1885
- 2 于美文. 光全息学及其应用. 北京: 北京理工大学出版社, 1994: 255~ 258
- 3 张存林, 于美文. 光学学报, 1993; 13(8): 728~ 733
- 4 Liu J, Fu Zh H, Chen R T. Opt Engng, 1998; 37(2): 660~ 665

* * *

作者简介: 宫爱玲, 女, 1965 年 5 月出生。副教授。现主要从事物理教学和全息技术研究。