

互连光栅衍射模式的设计与研究:

1. 矩型位相光栅

孙德贵 黄颖 何丽明** 卢振武 郑宣明 赵晶丽

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

(** 吉林工业大学电子系, 长春 130025)

摘要 根据近年来光互连对光栅衍射模式的要求,对矩型位相光栅进行了结构设计,以产生只含有0级和±1级,或只含有±1级的两种特殊的衍射模式,分别用于实现光学蝶形互连或操纵器网络互连等。论文给出了详细的计算和实验结果。

关键词: 矩型位相光栅; 特殊衍射模式; 衍射效率

1 引言

随着自由空间光互连,尤其规则型光互连在光计算中研究的兴起,光栅互连的优越性与实用性逐渐得到重视^[1-3]。矩型位相光栅做为位相光栅的一种,除具有衍射效率高外,还有结构设计方便,容易产生一些特殊的衍射现象,实现一些特殊互连的目的,尤其它可以通过位相深度和光栅周期两个方面加以设计和研究^[4-5]。本文就是根据光互连在光计算中的应用实例,对矩型位相光栅进行结构设计,分别产生三个等光强衍射点和二个等光强衍射点,以实现操纵器网络互连的蝶形互连,为光计算及信息处理提供一种实用的互连技术的器件。

2 矩形位相光栅的一般理论

如图1所示,设此光栅周期为 d ,分宽度为 a 和 b 两部分($a+b=d$),两部分的位相差为 π ,令宽度为 a 的部分的位相为0,则 b 的部分位相为 $\pi(\Delta=\lambda/2)$,设两部分的光强透射率为1,则光栅的振幅透射率为^[6,7]。

$$t(x_1, y_1) = \frac{1}{d} [\text{rect}(\frac{x_1}{d}) \cdot \text{comb}(\frac{x_1}{d})] + \frac{1}{d} [\text{rect}(\frac{x_1}{d}) \cdot \text{comb}(\frac{x_1 + (d/2)}{d}) \cdot \exp(j\pi)] \quad (1)$$

设单位振幅的单色平面波垂直照射,即

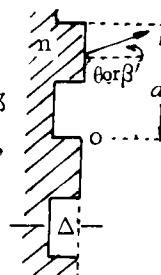


图1 一维矩形位相光栅的位相结构

$$u(x_1, y_1) = t(x_1, y_1) \quad (2)$$

$$U(x_0, y_0) = \frac{1}{j\lambda z} \exp(jkz) \exp[jk(x_0^2 + y_0^2)/2z] \cdot \sum_{-\infty}^{+\infty} \{e \operatorname{sinc}(en) + (1-e) \sin c(1-e)n \exp[j(n+1)\pi]\} \delta(f_x - \frac{n}{d}f_y) \quad (3)$$

其中 $e = a/d, f_x = \frac{x}{\lambda z}, f_y = \frac{y}{\lambda z}$

已知:
$$\sum_{-\infty}^{+\infty} e \operatorname{sinc}(en) = 1$$

$$\sum_{-\infty}^{+\infty} (1-e) \sin c(1-e)n \exp(jn\pi) = 0 \quad \text{于是,}$$

$$U(x_0, y_0) = \frac{1}{\lambda z} \exp(jkz) \exp[jk(x_0^2 + y_0^2)] \delta(f_x - \frac{n}{d}f_y) \quad (4)$$

于是第 m 级衍射归一化相对振幅为

$$U_m = e \operatorname{sinc}(em) + (-1)^{m+1} (1-e) \operatorname{sinc}(1-e)^m \quad (5)$$

则有第 m 级衍射效率为

$$\eta_m = [e \operatorname{sinc}(em) + (-1)^{m+1} (1-e) \operatorname{sinc}(1-e)^m]^2 \quad (6)$$

因为:

$$\operatorname{sinc}(em) = \frac{\sin(em\pi)}{em\pi}, \operatorname{sinc}(1-e)m = \frac{\sin(1-e)m\pi}{(1-e)m\pi}$$

最后得:

$$\eta_m = \left[e \cdot \frac{\operatorname{sinc} \pi}{em\pi} + (-1)^{m+1} (1-e) \frac{\operatorname{sinc} \pi (1-e)m\pi}{(1-e)m\pi} \right]^2 = \begin{cases} (2e-1)^2 & (m=0) \\ \frac{4}{(m\pi)^2} \sin^2 em\pi & (m \neq 0) \end{cases} \quad (7)$$

3 特殊衍射的产生及实验

1. 从(7)式可知,对于零级衍射,若 $e = \frac{1}{2}$ 则 $\eta_0 = 0$ 会出现缺级,这时

$$\eta_{\pm 1} = \frac{4}{\pi^2} \approx 40.53\%$$

因此 $m =$ 偶数为缺级,这时总衍射效率约为 $\eta = 2\eta_{\pm 1} = 81.06\%$,可见 $\pm 3, \pm 5 \dots$ 的衍射效率只占 19%。因此,我们得到了如图 2 所示的实验验证, (a) 是输入信号; (b) 是衍射后信号。

2. 若使

$$(2e-1)^2 = \frac{4 \operatorname{sinc}^2(em\pi)}{(m\pi)^2} \quad (8)$$

当 $m = \pm 1$ 时,有

$$(2e-1)^2 = \frac{4 \operatorname{sinc}^2(e\pi)}{\pi^2} \quad (9)$$

可见其它各级达 46%。

图 3 即是这种光栅的衍射效率实验。

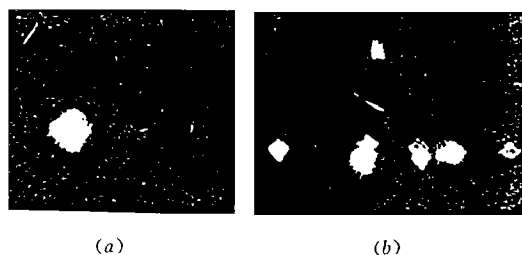


图 3 消除零级的正弦形位相光栅的衍射实验

(a) 输入信号; (b) 衍射现象

当 $m = 2.87$ 时, 0 级和 ± 1 的衍射效率相等, 即

$$\eta_0 = \eta_{\pm 1} \approx 30.12 \quad (12)$$

于是, 三点总的衍射效率为

$$\eta_{\text{总}} = 3\eta_0 = 90.36\% \quad (13)$$

这也是零级与 ± 1 级衍射效率相等, 三点衍射效率最大的情况, 而其它各级之和不足 10%。

4 结 束 语

本论文中, 我们主要对正弦型位相光栅的结构参数, 位相调制度进行了优化, 以产生特殊的衍射模式, 用于各种光互连网络的需要, 这是光栅技术在光互连及光计算中应用研究的基础工作。这种光栅在制做中可以通过曝光, 用光学全息的办法来制做, 因此工艺简单, 成本也较低。

参 考 文 献

- [1] J. J. Cloonan et al., Opt. Eng., 1989, 28 (4): 305-314
- [2] D. R. Langer et al., Appl. Opt., 1988, 27 (20): 4391-4399
- [3] D. G. Sun et al., Chin J. of Laser, 1992, 1 (6): 549-554
- [4] W. L. Lee., Appl. Opt., 1979, 18 (3): 2152-2158
- [5] F. B. McCormick., Opt. Eng., 1989, 28 (4): 299-304
- [6] 谢建平, 张海, 《近代光学基础》. 中国科技大学出版社, 1990
- [7] J. W. 顾德门, 《傅里叶光学导论》. 科学出版社, 1976

为一个参数对衍射效率进行优化。

这样,如果令零级与 ± 1 级相等,由(12)式得:

$$\cos^2\alpha = \sin^2\alpha/(\pi/2)^2 \quad (14)$$

得 $\alpha=1.004$,即相位角 $\Psi_0=2.008$,于是得到光栅牙型厚度 Δ 的优化公式为

$$2\pi(n-1)\Delta/\lambda = 2.008 \quad (15)$$

即:
$$\pi(n-1)\Delta/\lambda = 1.004 \quad (16)$$

这时每一级的衍射效率为

$$\eta = \cos^2(1.004) \approx 0.2883 \quad (17)$$

于是三点的总衍射效率为

$$\eta_{1-D} = 3\eta = 80.49\% \quad (18)$$

$$\eta_{2-D} = \eta_{1-D}^2 = 64.80\% \quad (19)$$

显然,与取位相角 $\Psi=\pi$ 时的衍射效率高得多,并在理论上与前文直接取 $\Psi=\pi$ 时讨论的结果相一致。

4 结 束 语

在本论文中,我们主要对矩型位相光栅的结构参数,如周期和相位进行了优化,产生了特殊的衍射模式,用于各种光互连网络的需要,这是光栅技术在光互连中应用研究的基础性工作。其实,用于光互连的光栅还可以通过变同期等办法设计出能产生更多的等光强的衍射点,以满足光交换系统中的需要。因此,本工作不仅可以继续深入进行下去,同时还可以促进矩型互连位相光栅在光计算系统中的应用与发展。

参 考 文 献

- [1]T. J. Cloonan et al. , Opt. Eng,1989,28(4):305—314
- [2]S. R. Langer et al. , Appl. Opt,1989,27(20):4391—4399
- [3]D. G. Sun,et al. ,Chin. J. of Laser,1982,1(6):549—554
- [4]W. L. Lee,Appl. Opt. ,1979,18(3):2152—2158
- [5]F. B. McComick. Opt. Eng. ,1989,28(4):299—304
- [6]谢建平,明海,《近代光学基础》. 中国科技大学出版社,1990
- [7]J. W. 顾德门,《傅里叶光学导论》. 科学出版社,1976

Design and Study for Diffraction Patterns of Interconnection Grating: 1. Rectangular Phase Grating

Sun Degui, Huang Ying, He Liming*, Lu Zhenwu, Zheng Xuanming and Zhao Jingli

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Academy Sciences, Changchun 130022)

(Dept. of Electronics, Jilin university of Technology, Changchun 130025)*

Abstract

This paper designs rectangular phase grating in structure in terms of interconnection requirements for diffraction patterns to give rise to two types of special diffraction patterns that only include the zeroth order and ± 1 order or only ± 1 order for implementing optical butterfly interconnection and manipulator network. The Paper gives detail calculation and experiment results.

Key words: Rectangular phase grating, Spacial diffraction pattern, Diffraction efficiency