

互连光栅衍射模式的设计与研究：

2. 正弦型位相光栅

孙德贵 黄颖 何丽明** 卢振武

(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 根据光栅互连在光计算及信息处理中应用的研究与发展, 对正弦型位相光栅进行了结构设计, 以便产生只含有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: 正弦型位相光栅; 特殊衍射模式; 衍射效率

1 引言

随着自由空间光互连, 尤其是规则型光互连在光计算中应用研究的不断深入, 光栅互连的优越性及实用性逐渐受到重视^[1-3], 正弦型位相光栅做为位相光栅的一种, 除具有衍射效率高和互连密度高外, 还具有工艺简单, 易于加工与制做等优越性。同时, 这种光栅也可以通过对其结构进行设计与研究而产生一些特殊的衍射现象以适合光互连的要求^[4,5]。本文就是根据光计算及信息处理的要求, 对正弦型位相光栅进行设计, 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和蝶互连, 为光计算及信息处理提供一种实用的互连技术和器件。

2 正弦型位相光栅的一般理论

如图1所示, 设正弦型位相光栅的总宽度为 l , 其透射率函数为^[6,7]

$$t(x_1, y_1) = \exp\left[j \frac{m}{z} \sin 2\pi f_0 x_1\right] \text{rect}\left(\frac{x_1}{l}\right) \text{rect}\left(\frac{y_1}{l}\right) \quad (1)$$

其中 m 为峰一峰值的位相延迟, 也称为位相调制度, f_0 为光栅的空间频率。

我们用单位振幅的单色平面波垂直照射, 则其振幅透过率为

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

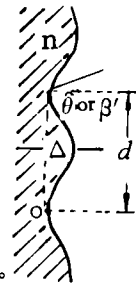


图1 正弦型位相光栅的位相

用恒等式

$$\exp\left[j \frac{m}{2} \sin(2\pi f_0 x_1)\right] = \sum_{q=-\infty}^{\infty} J_q\left(\frac{m}{2}\right) \exp(j2\pi q f_0 x) \quad (3)$$

所以得

$$F\left\{\text{rect}\left(\frac{x_1}{l}\right)\text{rect}\left(\frac{y_1}{l}\right) \cdot \exp(j2\pi q f_0 x_1)\right\} = \delta(f_x - q f_0, f_y) \quad (4)$$

其中, $f_x = \frac{x_1}{\lambda z}, f_y = \frac{y_1}{\lambda z}$, 利用卷积定理得

$$\begin{aligned} F\{u(x_1, y_1)\} &= F(t_1, y_1) \\ &= [l^2 \text{sinc}(l f_x) \text{sinc}(l f_y)] \cdot \left[\sum_{q=-\infty}^{+\infty} J_q\left(\frac{m}{2}\right) \delta(f_x - q f_0, f_y) \right] \\ &= \sum_{q=-\infty}^{+\infty} l^2 J_q\left(\frac{m}{2}\right) \text{sinc}[l(f_x - q f_0)] \cdot \text{sinc}(l f_y) \end{aligned} \quad (5)$$

于是夫琅和费衍射图样中的场强为

$$\begin{aligned} U(x_0, y_0) &= \frac{l^2}{j\lambda z} \exp(jkz) \exp\left[j \frac{k}{2z} (x_0^2, y_0^2)\right] \\ &\cdot \sum_{q=-\infty}^{+\infty} J_q\left(\frac{m}{2}\right) \text{sinc}\left[\frac{l}{\lambda z} (x_0 - q f_0 \lambda z)\right] \cdot \text{sinc}\left(\frac{l y_0}{\lambda z}\right) \end{aligned} \quad (6)$$

相应的强度图样为

$$I(x_0, y_0) = \left(\frac{l^2}{\lambda z}\right)^2 \sum_{q=-\infty}^{+\infty} J_q^2\left(\frac{m}{2}\right) \text{sinc}^2\left[\frac{l}{\lambda z} (x_0 - q f_0 \lambda z)\right] \cdot \text{sinc}^2\left(\frac{l y_0}{\lambda z}\right) \quad (7)$$

已知 $\sum_{q=-\infty}^{+\infty} J_q(x) = 1$, 得第 q 级衍射归一化相对强度为 $J_q^2\left(\frac{m}{2}\right)$, 则第 q 级衍射效率理论值为:

$$\eta_q = J_q^2\left(\frac{m}{2}\right) \quad (8)$$

3 特殊衍射的产生及实验

根据贝塞耳函数的性质: $J_{-1}(x) = (-1)^n J_n(x)$, 则 $J_{-1}(x) = -J_1(x), J_{-2}(x) = J_2^2(x)$, 而我们所要涉及的正是 0 级和 ±1 级的衍射效率。因此, 我们用微机分别给出了 $J_0(x)$ 和 $J_1(x)$ 的函数图形如图 2 所示。

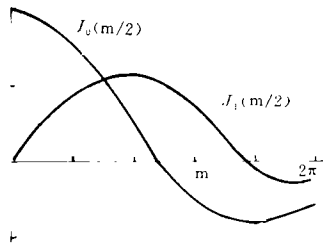


图 2 $J_0\left(\frac{m}{2}\right)$ 和 $J_1\left(\frac{m}{2}\right)$ 曲线

这样, 从图 2 即可以看出, 当 $m \approx 3.70$ 时, $\eta_{\pm 1}$ 取最大值, 有 $\eta_{\pm 1 \max} = J_1^2(1.85) \approx 33.9\%$, 这时的 0 级衍射效率为

$$\eta_0 = J_0^2(1.85) \approx 6.3\% \quad (9)$$

当 $m = 4.80$ 时, 0 级衍射率为 $J^2(2.4) = 0$, 这时 ±1 级的衍射效率为

$$\eta_{\pm 1}^2(2.4) \approx 27\% \quad (10)$$

于是, 二点总衍射效率为

$$\eta \approx 2\eta_{\pm 1} \approx 54\% \quad (11)$$

可见其它各级达 46%。

图 3 即是这种光栅的衍射效率实验。

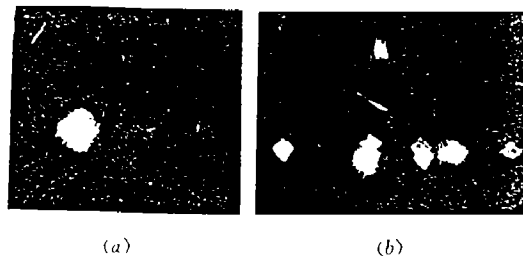


图 3 消除零级的正弦相位光栅的衍射实验

(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

Design and Study for Diffraction Patterns of Interconnection Grating: 2. Sinusoidal Phase Grating

Sun Degui, Huang Ying, He Liming* and Lu Zhenwu

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

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

Abstract

In terms of the research and development of applications of grating interconnection in optical computing and information processing, this paper designs the sinusoidal phase grating in structure to give rise to two types of special diffractions which only include the zeroth and ± 1 order, or only ± 1 order for implementing Optical butterfly interconnection and manipulator network. paper gives detail calculation and experiment results.

Key words: Sinusoidal phase grating, Special diffraction, Diffraction efficiency