

文章编号: 0258-7025(2003)06-0521-03

阵列波导光栅数值模拟的一种简单方法

吴粤湘, 鲁 平, 刘德明

(华中科技大学光电子工程系, 湖北 武汉 430074)

摘要 介绍了一种倾斜高斯光束的方法, 并对一个 4×4 路的阵列波导光栅(AWG)设计实例进行了模拟, 将结果与采用 BPM 算法所得的结果进行了对比。此方法简单可行, 可优化器件的设计。

关键词 导波光学; 阵列波导光栅; 高斯光束; 波分复用

中图分类号 TN 256 **文献标识码** A

Simulation of the Arrayed Waveguide Grating with a Simple Method

WU Yue-xiang, LU Ping, LIU De-ming

(Department of Optoelectronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract The method of declining Gaussian beam in AWG is introduced. A 4×4 AWG is simulated with this method, and the result is compared with that using BPM method. This method is simple and feasible. It is helpful to optimize the design of devices.

Key words guide-wave optics; AWG; Gaussian beam; wavelength division multiplexer

1 引 言

阵列波导光栅(AWG)是一种平面波导型器件, 利用它能实现多种功能, 在波分复用(WDM)系统中具有广泛的应用。而对于 AWG 的研究也是目前的一个热点^[1]。目前分析 AWG 传输特性的方法有: 光束传输算法(BPM), 采用傅里叶光学的方法^[2], Bloch 函数近似理论^[3]。本文分析了 AWG 的一种简单方法, 在 AWG 的平板波导区, 采用高斯函数来近似波导的输出光场, 并且根据 AWG 的结构特点, 得到倾斜高斯光束的表达式, 从而能够比较准确地得到聚焦光场的表达式。

2 AWG 的基本结构及工作原理

一般 AWG 的结构如图 1 所示, 由输入/输出波导、输入/输出平板波导、阵列波导等 5 部分组成。当 AWG 工作为解复用器时, 不同波长的光从输入波导进入, 经过平板波导的衍射, 均匀地分布到阵列

波导, 由于相邻的阵列波导之间的长度差为一固定值, 从而引进了固定的相位差。在经过输出平板波导的干涉衍射, 达到了将不同波长的光分离聚焦的目的, 实现了解复用。

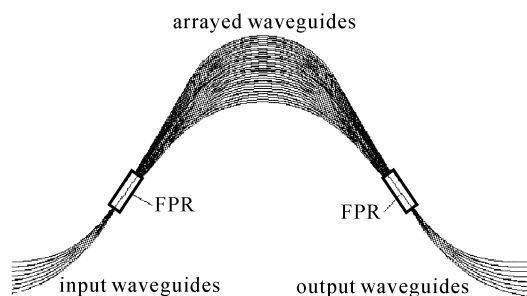


图 1 AWG 结构示意图

Fig. 1 Schematic illustration of AWG

3 理论分析

3.1 输入平板波导区

在平板波导中, 一般可以用二维坐标来近似, 以

收稿日期: 2002-10-30; 收到修改稿日期: 2003-02-21

基金项目: 武汉市科技计划(编号: 2002100513005)和国家 863 计划(编号: 2001AA122023)资助项目。

作者简介: 吴粤湘(1978—), 男, 苗族, 华中科技大学光电系硕士, 主要从事与光通信相关的光电子学的研究。E-mail: yxwu_1978@163.com

光传输的方向即平板波导的中心线为 z 轴, 垂直于 z 的方向为 x 轴, 建立坐标系。输入波导的基模光场分布可以由一模场半径为 w_0 的高斯光斑来模拟

$$E(x, z) = ce^{-(x/w_0)^2} \quad (1)$$

w_0 由波导的结构决定

$$w_0 = a(0.321 + 2.1V^{-3/2} + 4V^{-6}) \quad (2)$$

其中 V 为波导的归一化常数^[4], a 为方形波导的边长。高斯光斑在平板波导中的菲涅耳衍射由一高斯光束来描述。则其中传播的高斯光束可表示为^[5]

$$u(x, z) = \frac{c}{w(z)} e^{-ik\frac{z^2}{2} \left[\frac{1}{R(z)} - i\frac{\lambda}{\pi w^2(z)} \right]} e^{-i(kz - \arctan\frac{z}{z_0})} \quad (3)$$

其中

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 + (z/z_0)^2}$$

$$R(x) = z(1 + z_0^2/z^2)$$

$$z_0 = \pi w_0^2 n / \lambda$$

式中 $k = 2\pi n / \lambda$, n 为波导的折射率, w_0 为束腰处的模场半径, 而高斯光束的束腰就在波导输出端面, 故束腰的半径等于波导的模场半径, 由(2)式计算可得。由输入波导出来的光, 经过平板波导的衍射, 耦合进第 i 个阵列波导的光场大小可由下式表示为

$$a_i = \left| \int_{-\infty}^{+\infty} E_i(x - id, z) u(x, z) dx \right| \quad (4)$$

式中 $E_i(x - id, z)$ 表示第 i ($-N/2, -N/2 + 1, \dots, 0, \dots, N/2$) 个波导的基模模场, a_i 为实数。

3.2 输出平板波导区

由(4)式得到各个阵列波导的耦合系数, 在输出平板波导区第 i 个阵列波导输出端的光场可表示为

$$u_i = a_i E_i \quad (5)$$

在输出平板波导建立如图 2 所示的坐标, 即以平板

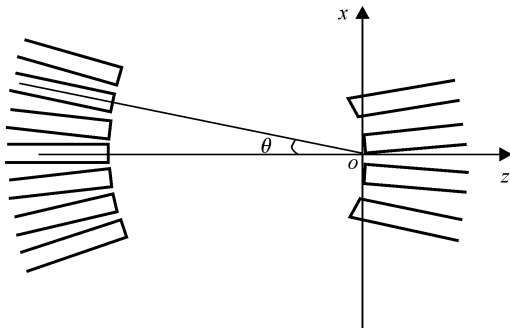


图 2 平板波导区的结构图

Fig. 2 Diagram of the FPR

波导的中心线为横坐标, 原点在罗兰圆弧的中点上, 在此坐标系中, 中心波导的输出光场在平板波导区的菲涅耳衍射可以表示为

$$u(x, z + R) = \frac{c}{w(z + R)} e^{-ik\frac{z^2}{2} \left[\frac{1}{R(z+R)} - i\frac{\lambda}{\pi w^2(z+R)} \right]} \times e^{-i \left[k(z+R) - \arctan\frac{z+R}{z_0} \right]} \quad (6)$$

其中 R 为阵列波导输出端所在圆弧的半径。其他阵列波导输出的光场则是倾斜的高斯光束, 由于平板波导采用罗兰圆结构, 同时利用坐标旋转, 第 i 个波导输出的光场的菲涅耳衍射可以表示为

$$u_i(x, z + R) = \frac{a_i}{w(x \sin\theta + z \cos\theta + R)} \times e^{-ik \frac{(x \cos\theta - z \sin\theta)^2}{2} \left[\frac{1}{R(x \sin\theta + z \cos\theta + R)} - i\frac{\lambda}{\pi w^2(x \sin\theta + z \cos\theta + R)} \right]} \times e^{-i \left[k(x \sin\theta + z \cos\theta + R) - \arctan\frac{x \sin\theta + z \cos\theta + R}{z_0} \right]} \quad (7)$$

其中 $\theta = id/R$, d 为阵列波导之间的间隔。则 N 个阵列波导对聚焦场的总贡献是

$$U(x, z) = \sum_i u_i(x, z) \quad (8)$$

而 AWG 的平板波导一般采用罗兰圆结构, 即阵列波导端所在的圆弧的半径是输入/输出波导端所在圆弧半径的两倍, 故在坐标系中输出波导的端口所在位置满足下面的关系

$$(z + R/2)^2 + x^2 = (R/2)^2 \quad (9)$$

所以由(9)式可有关系式 $z = g(x)$, 代入(7)式得到关于 x 的函数。这样在罗兰圆的聚焦光谱线上的具体的场强大小为

$$I(x) = |U(x)|^2 \quad (10)$$

4 数值模拟结果

利用所介绍的方法对一个 4×4 路 AWG 器件进行模拟, AWG 的参数如表 1 所示。

计算所得的结果, 即光场聚焦位置和光波场响应曲线分别如图 3 和图 4 所示, 其中图 3(a) 和图 4(a) 是利用 Matlab 采用本方法模拟计算所得结果, 而图 3(b) 和图 4(b) 则是采用 BPM 算法的软件所得的结果。从两图可以看出二者计算所得到的结果: 除了聚焦位置有一定的差别外, 其他如自由光谱范围、信道间隔等参数是基本吻合的, 也说明这种方法的可行性。和 BPM 算法相比, 本方法优点是简单、计算速度快。主要存在的不足是: 不能计算损耗、波导间的耦合串扰等。因此本方法主要用于对 AWG 的设计进行简单快速的模拟, 并对所得结果进行评价, 对于器件的设计优化有一定的指导意义。

表 1 阵列波导光栅设计参数表

Table 1 Designing parameters of arrayed-waveguide grating

Waveguide width	a	$5 \mu\text{m}$
Relative refractive index difference between guide core and cladding	Δn	0.55%
Effective refractive index of slab waveguide	n_s	1.4627
Effective refractive index of arrayed waveguides	n_c	1.4625
Wavelength spacing	$\Delta\lambda$	0.8 nm
Number of output waveguides	N	4
Pitch of I/O and arrayed waveguides	d	$15.5 \mu\text{m}$
Path length difference of arrayed waveguides	ΔL	$422.577 \mu\text{m}$
Diffraction order	m	398
Free spectral range	FSR	3.9 nm
Number of arrayed waveguides	$2M+1$	31
Central wavelength	λ_0	$1.55 \mu\text{m}$

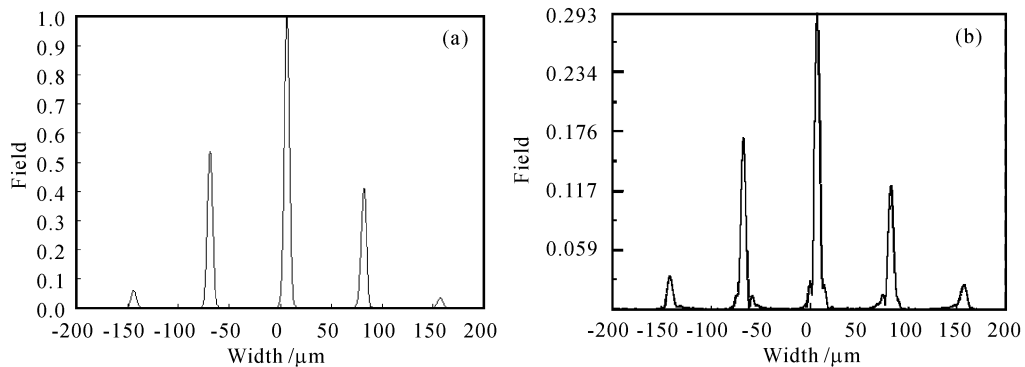


图 3 采用本方法(a)和采用 BPM 算法(b)所得的输出光场

Fig. 3 Output optical field diagram with our method (a) and BPM method (b)

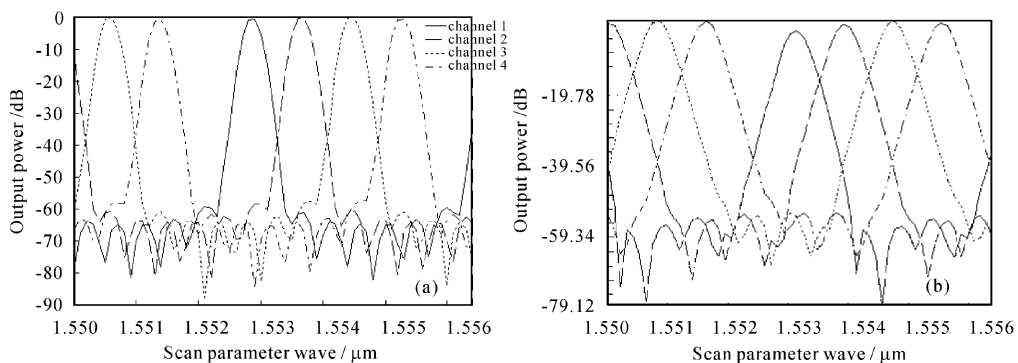


图 4 采用本方法(a)和采用 BPM 算法(b)的光谱响应曲线

Fig. 4 Output power vs wavelength with our method (a) and BPM method (b)

参 考 文 献

- 1 Lu Ping, Liu Deming, Huang Dexiu *et al.*. Wave analysis of arrayed-waveguide grating and its structure design [J]. *J. Huazhong Univ. of Sci. & Tech. (Nature Science Edition)* (华中科技大学学报(自然科学版)), 2002, **30**(8):15~17 (in Chinese)
- 2 P. Munoz, D. Pastor, J. Capmany. Modeling and design of arrayed waveguide gratings [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2002, **20**(4):661~674
- 3 C. Dragone. Efficiency of a periodic array with nearly ideal element pattern [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1989, **1**(8):238~240
- 4 G. P. Agrawal. *Fiber-optic Communication Systems* [M]. 2nd edition, New York: Wiley, 1997. Chap. 3
- 5 Zhao Chunhua, Zhu Zuhua, Chen Kangsheng *et al.*. Scalar wave analysis of a wavelength demultiplexer based on concave gratings [J]. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1998, **18**(3):308~313 (in Chinese)