

一种简化的基于 BPM 的 AWG 优化设计方法

潘小龙¹ 赵梓森²

(1 华中科技大学电子信息与工程系, 武汉 430074)

(2 武汉邮电科学研究院, 武汉 430074)

摘要: 根据阵列波导光栅 (AWG) 的结构特点, 提出了一种基于光传播算法的 AWG 简化数值模型。利用简化数值模型研究了 4×4 AWG 的光传输特性, 计算得到的基本参数与设计完全符合, 归一化光谱响应与实验结果也完全一致。设计并研究了一个插入损耗小, 各信道光谱响应幅度均一的 1×4 AWG。

关键词: 阵列波导光栅; 光传播算法

EEACC: 1320

中图分类号: TN814

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2002)01-0078-04

1 引言

阵列波导光栅(AWG)是利用平面光波导技术实现的一个关键器件, 它不仅具有光分波、合波和光上路下路等基本功能, 同时还可以派生出其它许多关键器件, 如路由器、大型光开关等等。

研究 AWG 光传输特性和优化设计 AWG 具体结构, 是研制 AWG 必不可少的重要环节。目前分析 AWG 光传输特性或优化 AWG 局部结构有几种方法: 一是采用傅里叶光学的方法^[1,2]; 另外是 Bloch 函数近似理论^[3,4]; 再就是光传播算法(BPM)。在以上几种方法中, 只有 BPM 能够直接优化波导具体结构, 如 Taper 波导。

本文基于 AWG 的结构特点, 提出了一种简化的基于 BPM 的 AWG 优化设计方法, 本文称之为 AWG 简化数值模型, 并在此基础上研制出优化程序; 利用文献[5]中的设计参数和实验结果来验证本优化程序的基本功能; 最后优化设计了一个 1×4 AWG。

2 数值模型

AWG 结构一般可以划分为 5 个部分, 分别为输

入波导、输入平板波导、阵列波导、输出平板波导和输出波导, 其中输入和输出平板波导的结构相同, 图 1 显示了一个 4×4 AWG 的结构示意图。根据 AWG 的结构特点, 简化数值模型的计算流程用文中的方框图表示, 框图(1)中利用有效折射率方法(EIM)将三维波导转化为等效二维波导, 要保证等效后的有效折射率与等效前的相同; 框图(4)和(6)中的幅度提取和频谱分析都是采用交叠积分来实现。框图(4)中相位处理方法如下: 首先提取阵列波导的入射端相位, 这是输入平板波导对光脉冲相位的贡献, 然后加上阵列波导长度差所引入的相位。

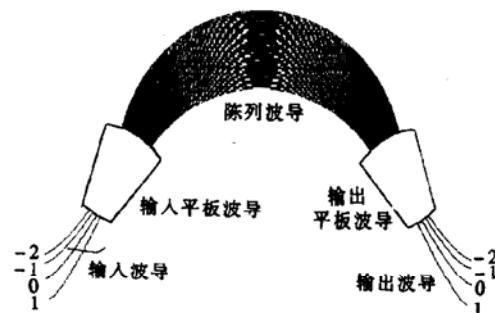
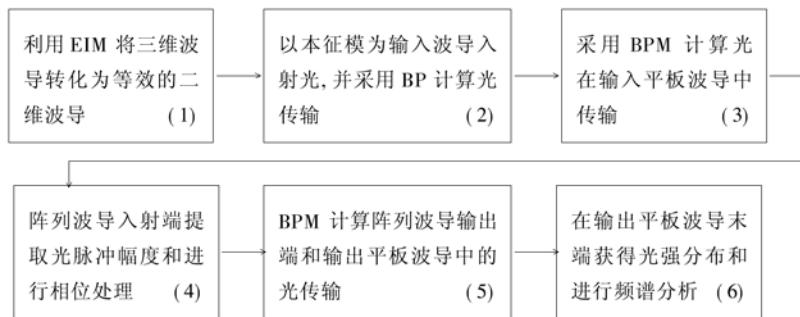


图 1 4×4 AWG 结构示意图

Fig. 1 Schematic layout of 4×4 AWG



本文简化数值模型的简化方面表现在:没有考虑阵列波导弯曲部分的弯曲损耗.这种简化的前提条件是:阵列波导的弯曲部分应当尽量减小光的损耗,弯曲波导的曲率半径一般都比较大.对于 $8\mu\text{m} \times 8\mu\text{m}$,折射率差为0.5%左右的光波导来说,如果弯曲半径大于1cm,那么由于弯曲带来的损耗相对于波导本身的传输损耗基本可以忽略^[6].另外,对于弯曲波导有效折射率和模场的精确求解尽管可以利用模场匹配的方法或线形方法(line method)^[7,8],但都比较复杂.因此不考虑弯曲波导部分的损耗,只计入相位的影响,不仅使优化程序的研制过程简易了许多,同时节省了模拟计算时间,从下面的计算可以看到,对计算效果也不会带来影响.

3 数值模型应用

首先利用 AWG 简化数值模型研究了一个 4×4 AWG 的光传输特性,它的一些主要设计参数见表 1.

表 1 4×4 AWG 的主要设计参数

Table 1 The main parameters for 4×4 AWG

参量	参量值
N	输入输出波导数 4
L_f	平板波导聚焦长度 2345.25 μm
d	阵列波导间隔 25 μm
ΔL	阵列波导长度差 126.335 μm
m	衍射级数 118
Δx	输入输出波导间隔 25 μm
Δf	信道频率间隔 400GHz
FSR	自由频谱宽度 1600GHz
n_s	平板波导有效折射率 1.4529
n_c	条形波导有效折射率 1.4513
n_g	群折射率(考虑波导色散) 1.4572
λ_0	中心波长 1.55381 μm

表 1 中各参量的选取参考了文献[5]中关于 16×16 AWG 的设计参数,只是将平板波导长度减小

为原来的 $1/4$,信道频率间隔增加了4倍.改变阵列波导长度和信道频率间隔而其他参数保持不变,其优点是模拟计算时间可以大大减少,同时输出波导的间隔保持 $25\mu\text{m}$ 不变,自由频谱范围也不发生变化.表 1 中列出的只是一些基本参数,在波导精细结构方面还要进行有效的设计.为了减小耦合损耗,在阵列波导的入口端与出口端部分都利用了直线形 Taper 结构,长度是 $3000\mu\text{m}$.由于文献[5]没有分别列出 TE 模与 TM 模的有效折射率,本文都当作是 TE 模,计算了 $1.54741 \sim 1.55701\mu\text{m}$,间隔为 3.2nm 的四个波长从中心端口入射(对应图 1 中的 0 端口)的情况,在输出平板波导末端的聚光强分布和光谱分析结果分别如图 2 和图 3 所示.图 2 中上图的光强分布没有取对数,下图取了对数.从图 2 中不难发现输出平板波导末端的干涉峰有明显的距离间隔,恰好为 $25\mu\text{m}$,与波导间隔的设计值相同,同一波长不同干涉峰之间的间隔为 $100\mu\text{m}$,恰好对

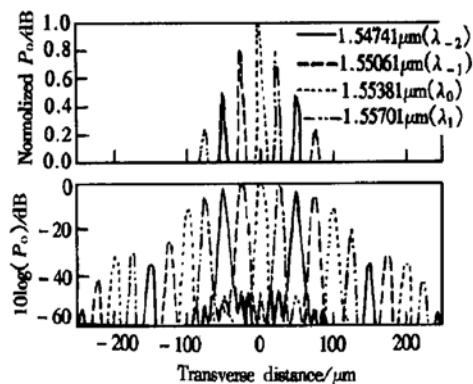


图 2 4×4 AWG 输出平板波导末端聚光强

Fig. 2 Field intensity in the end of output planar waveguide of 4×4 AWG

应同一波长不同干涉级之间的距离间隔.图 2 上图显示,除了 4 个主干涉峰之外还存在其他的次干涉峰,造成了对主干涉峰的分光作用,使 4 个主干涉峰的光强大小不一致.插入损耗的最小与最大值之间

相差约 2~3dB, 这是 $N \times N$ AWG 所存在的问题^[9].

图 2 上图显示, 中心聚焦光脉冲的幅度不为 1, 说明存在一定的损耗, 可能与阵列波导的间隔宽度偏大, 导致阵列波导的耦合效果不太理想有关. 图 2 下图中显示了更多的次干涉峰, 并且在 -100~100μm 范围内还有许多小于 -40dB 的干涉峰. 这些小于 -40dB 干涉峰主要有几个方面的来源: 一是光脉冲在传输过程中激发的高阶模的干涉图形; 二是阵列波导的条数有限, 干涉效果达不到理想情况所致. 从图 3 显示的光谱响应可以看到这些小于 -40dB 干涉峰的影响, 在一定程度上决定了器件的某些极限性能, 如信道间的串扰. 激发高阶模的区域主要是 Taper 波导部分, 另外 Taper 波导与平板波导的耦合也可能激发出高阶模.

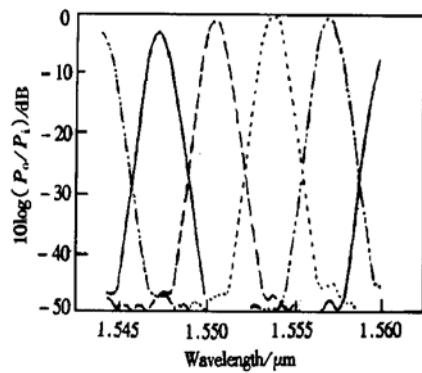


图 3 4×4 AWG 光谱响应

Fig. 3 The spectral response of 4×4 AWG

图 3 显示的光谱响应是典型的高斯型光谱, 光谱响应峰值之间的间隔为 3.2nm; 同一信道光谱响应的周期是自由频谱范围, 即 12.8nm; 各信道光谱响应非常相似, 这符合 AWG 光传输特性与凹面光栅相似的特点. 为了与文献[5]中实验测量得到的归一化光谱响应对比, 利用工具软件 Origin50 拟合得到图 3 中高斯型光谱的 -3dB 带宽为 0.937nm, 相当于 117.1GHz. 文献[5]中测量得到的(0, 0)端口(0 输入波导入射和从 0 输出波导出射)光谱的 -3dB 带宽为 30.2GHz, 乘上 4 后为 120.8GHz, 可见模拟计算的结果相当精确.

$N \times N$ AWG 可以实现 N 个信道的互联, 但是为了使各信道光谱响应的幅度相等, 需要利用额外的光均衡器或其他手段来调节. 当只需要利用 AWG 的光分波/合波等一些基本功能时, 可以用 $1 \times N$ AWG 来代替, 通过增大自由频谱宽度, 不需要

辅助器件可以实现各信道光谱响应幅度相等. 基于局部优化的设想, 设计了一个 1×4 AWG. 相对于 4×4 AWG, 它的设计参数做了以下变化: 一是将自由频谱宽度增加一倍, 相应的有阵列波导的长度差减小一半, 以压缩不需要的次干涉峰; 二是将阵列波导在平板波导的排列间距减小一半, 以改善耦合效果, 可以保证输出波导间隔仍然为 25μm, 其它参数不变. 计算得到的 1×4 AWG 的聚焦光强分布如图 4 所示. 可以看到 4 个主干涉峰的大小几乎相等, 并且衰减也比较小, 不到 0.5dB, 次干涉峰的大小都小于 -10dB.

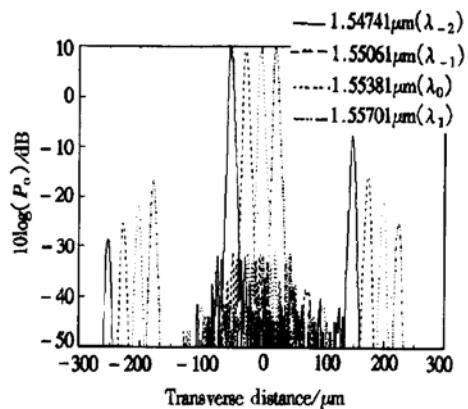


图 4 1×4 AWG 输出平板波导末端聚焦光强

Fig. 4 Field intensity in the end of output planar waveguide of 1×4 AWG

本文利用简化的 AWG 优化程序研究了 1×4 和 4×4 ($N = 4$) AWG 的传输特性. 对于 $N = 8, 16, 32 \dots$ 等情况, 相应地有平板波导的长度增加, 阵列波导的数目也增加, 不过波导细微结构需要进一步的考虑.

从以上的计算和论述可以看到, 本文提出的 AWG 简化数值模型能够正确描述 AWG 的光传输特性, 如聚焦干涉峰的位置、强度、信道频率间隔、自由频谱范围以及光谱响应等; 另外可以利用简化模型来优化 AWG 的局部结构, 如 Taper 波导, 因此本文得到的简化数值模型是用来研究和优化 AWG 光传输特性的一种非常有效的方法.

由于本文的简化数值模型只考虑了阵列波导的相位, 如果对阵列波导采取特殊设计, 如添加附加波导, 在阵列波导之间穿插附加波导等等, 以改变阵列中的光强和相位分布, 本简化数值模型不能处理, 这需要将阵列波导独立出来作进一步研究, 关于这个问题将另作探讨.

4 结论

本文利用 AWG 简化数值模型分别研究和优化了 4×4 、 1×4 AWG 的光传输特性, 计算得到的基本参数, 如设计波长的聚焦位置、自由频谱范围等与设计完全一致, 计算得到的光谱响应与实验测量结果也非常一致, 表明本文得到的 AWG 简化数值模型是用来研究和优化 AWG 光传输特性的一种非常有效的数值工具.

参考文献

- [1] Parker M C, Walker S D. A fourier-fresnel integral-based transfer function model for a near-parabolic phase profile arrayed-waveguide grating. *IEEE Photonics Technol Lett*, 1999, 11(8): 1018
- [2] Ou Haiyan, Lei Hongbing, Yang Qingqing, et al. Optimization of a 1×8 arrayed waveguide grating multi/demultiplexer.
- [3] Dragone C. Efficiency of aperiodic array with nearly ideal element pattern. *IEEE Photonics Technol Lett*, 1989, 1(2): 238
- [4] Dragone C. Optimum design of a planar array of tapered waveguides. *J Opt Soc Am A*, 1990, 7(11): 2081
- [5] Takahashi H, Oda K, Toba H. Transmission characteristics of arrayed waveguide $N \times N$ wavelength multiplexer. *J Lightwave Tech*, 1995, 13(3): 447
- [6] Suzuki S, Shuto K, Takahashi H, et al. Large-scale and high-density planar lightwave circuits with high- Δ GeO₂-doped silica waveguides. *Electronics Lett*, 1992, 28(20): 1863
- [7] Pascher W, Pregla R. Analysis of curved optical waveguides by the vectorial method of lines. in: Proc IOOC-ECOC 1991, 1991: 237
- [8] Wang Weyl-kuo, Muehlner D J. Phase compensation of bent silica-glass optical channel waveguide devices by vector-wave mode-matching method. *J Lightwave Technol*, 1997, 15(3): 538
- [9] Li Y P, Herry C H. Silica-based integrated circuits. *IEE Proc-Optoelectron*, 1996, 143(5): 263

An Optimization Method for Designing AWG Based on BPM

Pan Xiaolong¹ and Zhao Zisen²

(1 Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

(2 Wuhan Research Institute of Post and Telecommunication, Wuhan 430074, China)

Abstract: To develop arrayed waveguide grating (AWG), an important step is to describe and optimize its optic transmission by theory. It is found the loss caused by bend of arrayed waveguide could be neglectable. So a simplified computation method based on beam propagation method (BPM) is suggested, which can accurately describe the optic transmission of AWG, such as full scale response (FSR), spectral response and so on. It is employed to design a 1×4 AWG with low inserted-loss and equal spectral amplitude. So it is a powerful tool to describe and optimize the optic transmission of AWG.

Key words: arrayed waveguide grating; beam propagation method

EEACC: 1320

Article ID: 0253-4177(2002)01-0078-04