

一个集成光波导器件计算机辅助分析系统及其应用

陈 维 友 刘 式 墉

(集成光电子学国家重点联合实验室吉林大学实验区 吉林大学电子科学系 长春 130023)

摘要 本文介绍一个集成光波导器件计算机辅助分析与设计系统——IOCAD，该软件采用标量单向束传播方法及快速傅立叶变换技术，具有波导结构输入简单、菜单提示全面、使用方便、功能强、速度快等特点，只要分析参数适当，IOCAD 具有足够的精度。IOCAD 可对满足 BPM 适用条件的多种折射率分布的任何结构的波导器件进行模拟分析。本文同时给出几个模拟实例。

EEACC: 4140, 1130B, 4130

1 引言

光波导器件在光通讯、光信息处理及光计算中都是很重要的器件。设计出低损耗的器件是很困难的，特别是集成光波导器件尺寸小、制作工艺复杂，设计难度更大。如果采用实验的方法对其进行优化设计，无论是时间还是资源耗费都将是很大的。因此，用计算机对光波导器件进行模拟分析与设计对研制高性能的光波导及其集成器件将是十分必要的。

束传播法 (BPM)^[1-4] 是处理光在折射率缓慢变化，且变化幅度较小的介质中传播的一个重要方法。与其他方法相比，BPM 的优点是可同时处理导波模和辐射模，其算法简单，便于在计算机上实现，且通用性较强，它是开发集成光波导器件计算机辅助分析与设计通用软件的最佳选择。

用 BPM 开发通用 CAD 软件也是近几年的事。国外 1988 年才有报道^[5]，1992 年，National Optics Institute (Ste.-Foy, Que., Canada) 最新推出了微机上运行的集成光学 CAD 软件包^[6]。

目前国内尚未见关于通用集成光波导器件 CAD 软件开发工作的报道。我们开发的 IOCAD 是国内首次推出的。

2 IOCAD 简介

IOCAD 采用的数值方法是标量单向 BPM。

IOCAD 完全用 Sun-FORTRAN77 写成，运行在 SunSPARC 工作站上，由 Sunview

窗口环境支持。它采用模块式结构,移去图形显示模块,IOCAD 可很容易地移植到微机上,但要求有足够大的 RAM 和硬盘空间。在开发 IOCAD 时我们尽力做到面向用户,使用户可以方便顺利地使用它。

IOCAD 采用模块式结构,共有主控 (IOCAD)、输入(READIN)、错误检查(ERRC-HK)、列表输出 (LIST)、波导结构显示 (GUIDE)、模拟分析 (CACULAT)、显示场分布(DISPLAY)、打印场分布(PRNPLT)、服务(SERVICE)、帮助 (HELP) 十个模块。

IOCAD 允许多个高斯光束作为激励场,能处理均匀分布,平方律分布,指数分布,双曲分布等四种折射率分布的满足 BPM 适用条件的任何形状的波导器件。IOCAD 具有波导结构描述简单、菜单提示全面、使用方便、功能强、速度快、结果输出直观等特点。

IOCAD 的限制条件就是标量单向 BPM 的限制条件,只要满足这一条件的问题,IOCAD 都能处理,如低损耗分束器,耦合器,Y-分支,波导弯曲,波长分波器, Taper 等等,及由这些结构组成的复合器件。

3 模拟实例

模拟分析前,用户要首先采用有效折射率方法把三维波导结构简化为等效的二维结构,然后编辑输入文件(包括波导结构描述,分析参数,吸收区参数,入射场参数等),启动 IOCAD 进行模拟分析。

如无特殊说明,以下提到的折射率为有效折射率。

3.1 与 BEAMER^[5] 的比较

为验证 IOCAD 模拟结果的精度,我们与 BEAMER 做了比较,采用[5]中的参数(见表 1),对弯曲波导进行模拟分析,计算了弯曲引起的传输损耗,IOCAD 给出的结果与 BEAMER 完全符合,见表 2。

表 1 弯曲波导的材料及结构参数

衬底折射率	3.29437
波导区折射率	3.29601
外舷区折射率	3.31201
波长	1.55μm
波导宽度	7μm
外舷宽度	2μm
外舷长度	450μm
外舷与波导间隙	3μm
外舷弯曲角度	2°
Z 弯曲的宽度	70μm
Z 弯曲的长度	2000μm
输入输出能量积分窗口宽度	20μm

3.2 Z 形与 S 形弯曲波导传输损耗的比较

Z 形与 S 形弯曲波导结构见图 1,图中 r 为 S 形弯曲的曲率半径, Z 形与 S 形弯曲的

表 2 传输损耗

	波导 1	波导 2	波导 3
IOCAD	9.165dB	5.22dB	1.654dB
BEAMER	9.16dB	5.20dB	1.65dB

注释：波导 1 是 Z 弯曲波导；
 波导 2 是在波导 1 的偏折处削出一个斜面；
 波导 3 是在波导 2 的斜面附近加一个较高折射率的“外舷”。

偏折区长度是相同的。材料及结构参数见表 3。我们对于波导区折射率为 3.284 和 3.264 两种情况，针对不同的曲率半径，计算了 Z 形与 S 形弯曲波导的传输损耗，结果见图 2。

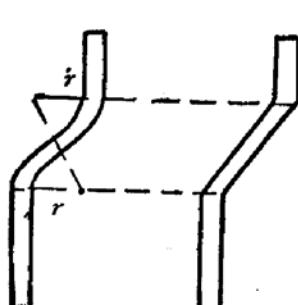


图 1 Z 形与 S 形弯曲波导结构

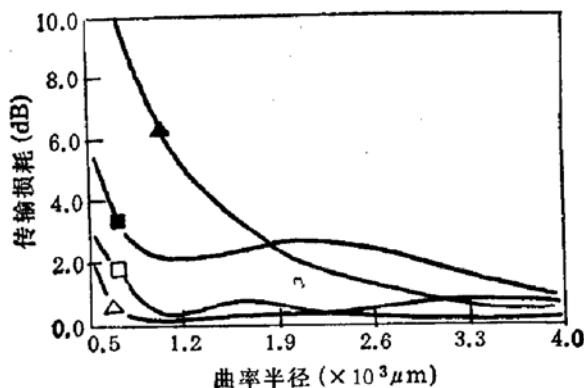


图 2 Z 形与 S 形弯曲波导的传输损耗
 □ $n_b = 3.284$, Z-bend ■ $n_b = 3.264$, Z-bend
 △ $n_b = 3.284$, S-bend ▲ $n_b = 3.264$, S-bend

表 3 Z 形与 S 形弯曲波导材料及结构参数

衬底折射率 (n_s)	3.2536
波导区折射率 (n_b)	3.284, 3.264
波长	1.52 μm
波导宽度	3 μm
偏折区宽度	10 μm
输入输出能量积分窗口宽度	4 μm

由图 2 可见，对于 $n_b = 3.264$ ，当曲率半径较小时（如小于 1800 μm），Z 弯曲的传输损耗比 S 弯曲的传输损耗低，这主要是由于在 S 弯曲的中段，波导的偏折角较大造成的。当曲率半径较大时，S 弯曲的传输损耗要比 Z 弯曲的传输损耗小。对于 $n_b = 3.284$ ，S 弯曲的传输损耗始终比 Z 弯曲的传输损耗小。这就是说，S 弯曲不一定总比 Z 弯曲的传输损耗低，但要获得低损耗器件，S 弯曲比 Z 弯曲更可取。

3.3 Z 形与 S 形弯曲 Y 分支波导传输损耗的比较

Y 分支波导中两分支的中心间隔 20 μm，其它参数同表 3。对于波导区折射率为 3.284 和 3.264 两种情况，针对不同的曲率半径，我们计算了 Z 形与 S 形弯曲 Y 分支波导的传输损耗，结果见图 3。

图 3 给出的结果与图 2 的大致趋势是一样的, 但有几点小的区别, 第一, 对于 $n_b = 3.264$ 的情况, 使 Z 弯曲与 S 弯曲的传输损耗发生“翻转”的曲率半径不同, 对于图 2, r 近似为 $1800\mu\text{m}$, 而对于图 3, r 近似为 $2700\mu\text{m}$; 第二, 对于 $n_b = 3.284$ 的情况, 不是 S 弯曲的传输损耗始终比 Z 弯曲的传输损耗小, 而是, 当 r 较小时 (如小于 $1900\mu\text{m}$), Z 弯曲与 S 弯曲的传输损耗曲线出现交叠。

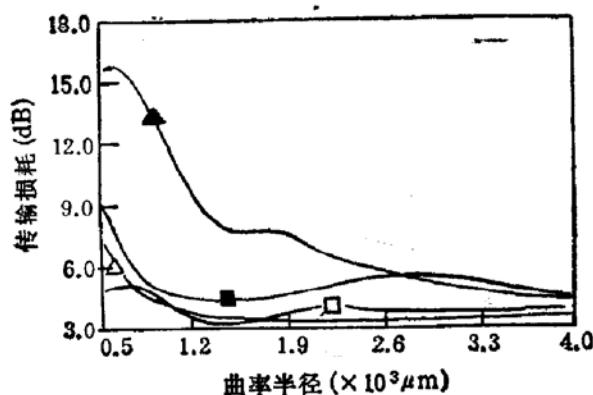


图 3 Z 形与 S 形弯曲 Y 分支波导的传输损耗
 □ $n_b = 3.284$, Z-bend ■ $n_b = 3.264$, Z-bend
 Δ $n_b = 3.284$, S-bend ▲ $n_b = 3.264$, S-bend

滤波器由两个非对称波导组成(见图 4), 结构参数: 衬底折射率为 2.1453, 耦合长度 9mm, 中心波长 $1.52\mu\text{m}$, 宽波导 Ti 膜厚 600 \AA , 宽度 $10\mu\text{m}$, 窄波导 Ti 膜厚 900 \AA 宽度 $6\mu\text{m}$, 能量积分窗口宽度 $20\mu\text{m}$ 。

关于扩散波导的有效折射率的计算参见[7], 对于波长为 $1.52\mu\text{m}$ 和 $1.3\mu\text{m}$, 宽(窄)波导的有效折射率分别为 2.1463 (2.1468), 2.1467(2.1477)。

该滤波器的工作过程为: 波长为 $1.52\mu\text{m}$ 和 $1.3\mu\text{m}$ 的光都从宽波导的同一端入射, 要求 $1.52\mu\text{m}$ 波长的光从窄波导输出, $1.3\mu\text{m}$ 的光从宽波导输出。

3.4.2 模拟结果

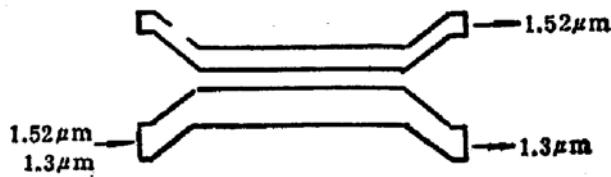


图 4 Ti:LiNbO₃ 直接耦合滤波器结构

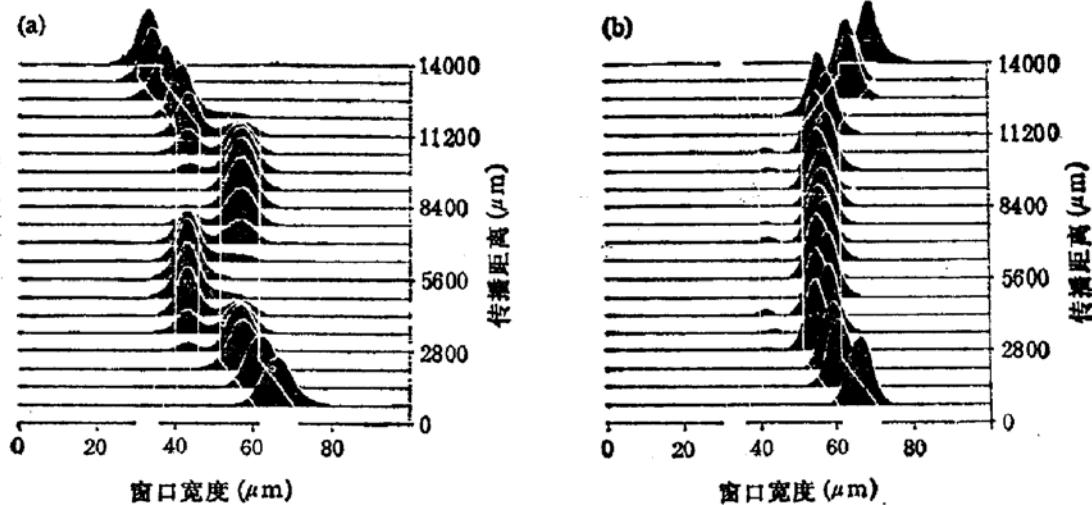


图 5 波导中的光强度分布 (a) $1.52\mu\text{m}$ (b) $1.3\mu\text{m}$

模拟中发现, 要达到最佳滤波效果, 两分支波导的有效折射率的差要满足一定要求, 对应前面给出的参数及 $1.52\mu\text{m}$ 波长的光, 近似有

$$n_{\text{eff}_2} = 2.1460 + 1.2(n_{\text{eff}_1} - 2.1458),$$

其中, n_{eff_1} 为宽波导有效折射率, n_{eff_2} 为窄波导有效折射率。上面给出的有效折射率基本满足这一关系。要实现这一最佳滤波效果, 还要适当选择耦合长度和两波导间的耦合距离, 我们这里固定耦合长度 9mm, 耦合距离是需要通过模拟分析确定的参数。

我们模拟了耦合距离在 3—8μm 之间, 对应波长 1.52μm 和 1.3μm 的光的传播情况, 得到的最好结果是: 耦合距离 5.4μm, 对应该耦合距离, 1.3μm 的光的串音损耗为 -21.99 dB, 1.52μm 的光的串音损耗为 -12.48dB。图 5 给出波长 1.52μm 和 1.3μm 的光在波导中的分布情况。

4 结论

1. 本文给出一个通用集成光波导器件计算机辅助分析系统——IOCAD, 该软件可对满足标量单向 BPM 的多种折射率分布的任何波导器件进行二维模拟分析, 它具有波导结构输入简单、菜单提示全面、使用方便、功能强、速度快等特点。

2. S 弯曲不一定总比 Z 弯曲的传输损耗低, 但要获得低损耗器件, S 弯曲比 Z 弯曲更可取。

3. 对于非对称有间距直接耦合滤波器来说, 可达到的最佳耦合效果与两分支波导的有效折射率的差有直接关系, 只有在两分支波导的有效折射率的差满足一定要求的基础上, 才可通过选择耦合长度和两波导间的耦合距离获得最佳耦合效果。

参 考 文 献

- [1] J. V. R., J. V. Donk and P. E. Lagasse, *J. Opt. Soc. Am.*, 1981, **71**(7): 803.
- [2] L. Thylen and D. Yevick, *Appl. Optics*, 1982, **21**(15): 2751.
- [3] L. Thylen, *Optical and Quantum Electron.*, 1983, **15**: 433.
- [4] J. J. Gribble and J. M. Arnold, *IEE Proc. J. Optoelectron.*, 1988, **135**(5): 343.
- [5] T. P. Young, S. N. Radcliffe, A. J. Davies and P. Smith, *GEC J. Res. Inc. Marcani Rev.*, 1988, **6**(3): 152.
- [6] G. B. Hocker and W. K. Burns, *IEEE J. Quantum Electron.*, 1975, **11**(6): 270.
- [7] Laser Focus World, Review and Forecast: Laser Markets and Technology 1992, "The National Optics Institute Introduces BPM-CAD".

CAA System for Integrated Optics Waveguide Devices and Applications

Chen Weiyu and Liu Shiyong

(Department of Electronics Science, Jilin University, Changchun 130023)

Abstract A CAA system for integrated optics——IOCAD is presented. The effective index method and FFT technology are used in the system. The advantages are simple description of waveguide structure, complete menus, convenient interface, power functions and fast speed, IOCAD can give higher precision when the analysis parameters is proper. IOCAD can be used to simulate any waveguide of four index distribution, when the limits of scalar and singledirection BPM are satisfied.

EEACC: 4140, 1130B, 4130

Received 13 November 1992, revised manuscript received 10 February 1993