

# 基于阵列波导光栅光分插复用器的仿真设计

孙太富, 徐 宁

(南京邮电大学 光电工程学院, 江苏 南京 210046)

**摘要:**首先对阵列波导光栅(AWG)进行理论分析,采用高斯光束近似和有效折射率的方法,设计中心波长为1557.63nm,波长间隔为0.8nm的4x4 AWG,通过仿真计算和分析AWG的输出光谱,得到AWG的最小和最大插入损耗分别为2.0dB、3.5dB,小于行业标准5.5dB;相邻信道串扰小于-25dB,接近行业标准;3dB带宽为0.92nm,大于行业标准值0.4nm。通过Optisystem软件对基于4x4AWG的光分插复用器(OADM)进行系统仿真,实现了对传输信道中光信号的上传和下载,每一路光信号的插入损耗为7dB左右,对以后OADM的设计和系统仿真提供了参考。

**关键词:**阵列波导光栅;光分插复用器;系统仿真

**中图分类号:**TN252

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2013)06-0223-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.06.057

## Design on Simulation of OADM Based on AWG

SUN Tai-fu, XU Ning

(College of Opto-electronic Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications,  
Nanjing 210046, China)

**Abstract:**First, the theory of arrayed waveguide grating (AWG) was investigated, and an 4x4 AWG with the central wavelength of 1557.63nm and the channel spacing of 0.8nm was designed by using the effective refractive index method and the Gaussian approximation. The maximum and minimum insertion loss are 2.0dB, 3.5dB, adjacent channel crosstalk is less than -25dB, and 3dB bandwidth is 0.92nm, which is better than industry standard. Then, a systematic simulation of the add-drop multiplexer (OADM) based on 4x4 AWG was made by using optical simulation soft Optisystem, and the upload and download of optical signals in transmission channel were achieved. Based on the assumption of the lossless optical switch, the insertion loss of each channel is 7dB, which is consistent with the simulation result. The reference for the design of OADM and system simulation is provided.

**Key words:**AWG; OADM; system simulation

## 0 引言

由于波分复用(WDM)全光网(AON)具有高传输容量、灵活的波长路由、传输透明性以及与现有系统良好的兼容性<sup>[1]</sup>,对满足急剧增长的带宽需求有重要意义。作为全光网的关键节点和关键器件的光分插复用器(OADM)、阵列波导光栅(AWG)正在得到快速的发展。OADM使光纤通信网具有灵活性、选择性和透明性等优越功能,能够提高网络的可靠性,降低节点成本,提高网络运行效率<sup>[2]</sup>。目前OADM主要有以下几类基本结构:分波器+波长交换单元+合波器型,波长光栅路由器型(WGR),声光可调谐滤波器型(AOTF),解复用器/复用器型,耦合单元+滤波单元+合波器型,阵列波导光栅型<sup>[3]</sup>。基于阵列波导光栅(AWG)实现

OADM是一种新型的分插复用结构,它具有高稳定性和可靠性、易于集成等优点,在成本和综合性能方面有很大的优越性,受到越来越多的关注和研究<sup>[4]</sup>。

## 1 AWG理论分析与设计

阵列波导最早由荷兰的M. K. Smit在1988年提出<sup>[5]</sup>,然后C. Dragone于1991年将AWG从 $1 \times N$ 推广到 $N \times N$ <sup>[6]</sup>,之后AWG得到快速发展,目前已进入商用阶段。AWG具有波长间隔小、信道数多、输出平坦、利于集成等特点,而被广泛应用于复用器、解复用器、滤波器、OXC、OADM等波分复用系统中的光器件<sup>[7,8]</sup>。目前研究热点主要集中在减小尺寸、增加信道数量、降低成本、改善性能、与其他器件集成以扩展功能等几个

收稿日期:2012-08-31

修回日期:2012-12-03

网络出版时间:2013-05-14

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61272084);高等学校博士学科点专项科研基金资助课题(20113223110003)

作者简介:孙太富(1987-),男,硕士研究生,研究方向为光纤通信及其接入技术;徐 宁,副教授,硕士生导师,研究方向为光波导与光器件。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130514.1704.001.html>

方面。例如荷兰的 Y. Barbarin 等人研制的 InP 基质的 4×4AWG 器件芯片尺寸仅为 230×330μm<sup>2</sup><sup>[9]</sup>。日本 NTT 的 K. Takada 等人采用级联技术,先后研制出 1010 个信道、信道间隔为 10GHz 和 4200 个信道、信道间隔为 5GHz 的解复用器 AWG<sup>[10,11]</sup>。

AWG 可以同时实现解复用和复用的双重功能,并且具有周期性,因此配合光开关可以实现光分插复用功能,并且结构比较灵活多变,主要包括环回和折叠型两种结构。其中折叠型结构主要由 AWG 与光开关组成,由于每个光开关只负责一路信号的上传和下载,而仿真软件中只能提供简单的热光开关,所以选用 2×2 热光开关,热光开关主要特性有:体积非常小,可以实现 μs 级开关速度,采用波导结构适合阵列和大规模生产,串扰和插损较大<sup>[12]</sup>,目前光开关主要研究方向是选择合适的材料和结构,降低损耗,提高开关速度,首先对 AWG 进行理论分析和设计。

AWG 由一对输入波导和输出波导、一对输入和输出平板波导以及阵列波导组成。输入和输出平板为罗兰圆结构,输入与输出波导以及阵列波导的端口在罗兰圆上,阵列波导中的相邻波导的长度差相等,如图 1 所示。其工作原理为:多波长复用光从某一输入波导输入,在平板波导发生衍射,根据罗兰圆原理及凹面光栅效应<sup>[13]</sup>,复合光以相同相位耦合进阵列波导,经长度差为  $L$  的阵列波导后,相同波长的光产生相同的相位差而聚焦到某一特定的输出波导,同时不同波长的光产生不同的相位差而聚焦到不同的输出波导,于是便完成了复合光的解复用。光波反向输入,则完成复用功。

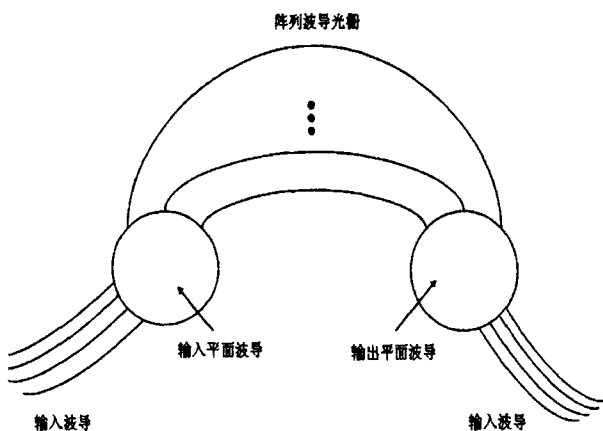


图 1 阵列波导光栅结构图

AWG 的工作原理基于光栅方程,即:

$$n_i d \sin \theta_i + n_c \Delta L + n_o d \sin \theta_o = m \lambda \quad (1)$$

式中  $n_i$  和  $n_c$  分别为平板波导和条形波导的有效折射率; $d$  为相邻阵列波导间隔; $m$  是衍射级数; $\theta_i$  和  $\theta_o$  分别为光波在输入和输出平板波导内的衍射角。

$\theta_i$  和  $\theta_o$  的值均为 0 时,即从中心波导输入从中心

波导输出,对应的波长定义为中心波长  $\lambda_0$ :

$$n_c \cdot \Delta L = m \lambda_0 \quad (2)$$

AWG 的自由光谱范围 FSR:

$$\text{FSR} = \frac{\Delta \theta_m \Delta \lambda}{\Delta \theta_o} = \frac{\lambda_0 n_c}{m n_g} \quad (3)$$

自由光谱范围决定了最大通道数  $N$ :

$$N_{\max} = \text{int} \left( \frac{\text{FSR}}{\Delta \lambda} \right) = \text{int} \left( \frac{\lambda_0 n_c}{m n_g \Delta \lambda} \right) \quad (4)$$

对于  $N \times N$  的 AWG 设计,要实现  $N$  个频率的  $N \times N$  互连必须满足自由谱范围(FSR)是通道间隔的  $N$  倍,即:

$$\text{FSR} = N \Delta \lambda \quad (5)$$

在设计时做如下近似:

- (1) 光在波导传输为高斯分布,做近轴近似;
- (2) 采用有效折射率法对二维波导进行计算;
- (3) 不考虑平板波导有效折射率的色散效应,

$$\sin \theta_i \approx \theta_i, \sin \theta_o \approx \theta_o \quad [14,15]。$$

通过近似可以非常简便地进行设计,并且可以保证器件的性能指标<sup>[16]</sup>。

选定 4×4 路波分复用/解复用器,中心波长  $\lambda_0 = 1557.63\text{nm}$ 、 $\Delta \lambda = 0.8\text{nm}$ ,中心波长和波长间隔选取时,与 ITU 规定的波长标准一致,具体设计参数见表 1。

用 WDM\_Phase 软件进行仿真,当复合光从 AWG 第 2 通道输入,根据表 1 参数计算 AWG 输出光谱特性如图 2 所示。从仿真结果可以得到 AWG 的最小和最大插入损耗分别为 2.0dB 和 3.5dB,小于行业标准值 5.5dB;相邻信道间串扰小于 -25dB,接近行业标准水平;3dB 带宽为 0.92nm,大于行业标准值 0.4nm<sup>[17]</sup>。

表 1 4×4 AWG 设计参数表

Central wavelength	$\lambda_0$	1557.63nm
Channel spacing	$\Delta \lambda$	0.8nm
Diffraction order	$m$	73
Length difference of the adjacent arrayed waveguides	$\Delta L$	78.6um
Number of arrayed waveguides	$2M+1$	96
Length of slab region	$f$	3688.739um
Channel waveguide Separation	$d$	14.5um
Refractive of the slab waveguide	$n_s$	1.4675
Refractive of the channel waveguide	$n_c$	1.4678
Free Spectral Range	FSR	3.2nm

## 2 基于 AWG 的 OADM 设计

文中采用折叠型的基于一对 4×4 的 AWG 的 OADM 结构进行系统仿真设计,将上节设计的 4×4AWG 导入到 OptiSystem 里,整个测试系统包括:光发送机、序列信号发生器、分路器、复用器、光谱分析仪、双端口波分复用分析仪以及由 AWG 和热光开关组成

的 OADM 单元。

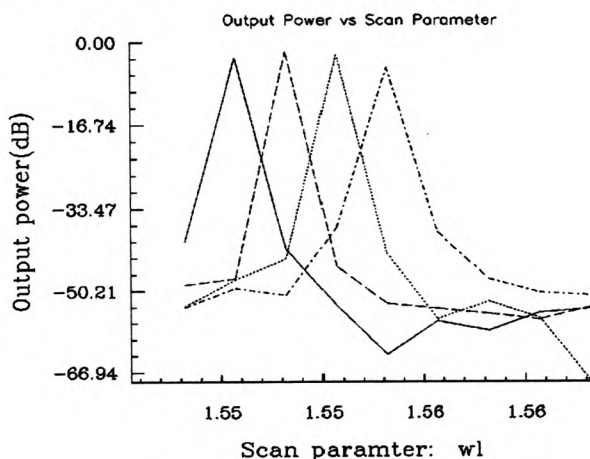


图2 输出波导功率分布图

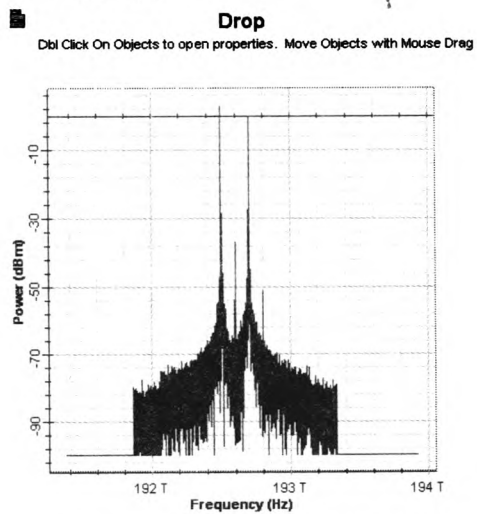
根据 AWG 的设计参数,  $\lambda_0 = 1557.63\text{nm}$ 、 $\Delta\lambda = 0.8\text{nm}$ , 选定输入端和上传端的四路信号的频率分别为:  $f_1 = 192.8\text{THz}$ ,  $f_2 = 192.7\text{THz}$ ,  $f_3 = 192.6\text{THz}$ ,  $f_4 = 192.5\text{THz}$ 。

OADM 单元由一对  $4 \times 4$  的 AWG 和 4 个  $2 \times 2$  的光开关组成, 光开关通过序列信号发生器产生的 0 和 1 控制开关来实现光路的选择, 分别对四路光信号的光开关的开关状态进行设置来进行仿真, 并根据下载端和输出端的光谱图进行分析。当四个光开关控制信号为 0000 时, 四个通道的下载通路接通, 输出通路断开, 从光谱中可以得到实现了四路光信号下载, 而输出端的光信号强度基本为 0。当四个光开关控制信号为 1111, 四个通道的下载通路断开, 输出通路接通, 从光谱中可以得到实现了四路光信号在输出端的输出, 而下载端口的四路光信号强度为  $-40\text{dB}$  左右。图 3 的四个光开关控制信号为 1010, 则由上往下第一、三路下载通路断开, 输出通路接通, 第二、四路下载通路接通, 输出通路断开, 从图 3(a) 中光谱可以看到第一、三路光信号在输出端实现光路输出, 分别为  $f_1 = 192.8\text{THz}$ ,  $f_3 = 192.6\text{THz}$ , 从图 3(b) 中光谱可以看到第二、四路光信号在输出端实现光路输出,  $f_2 = 192.7\text{THz}$ ,  $f_4 = 192.5\text{THz}$ 。

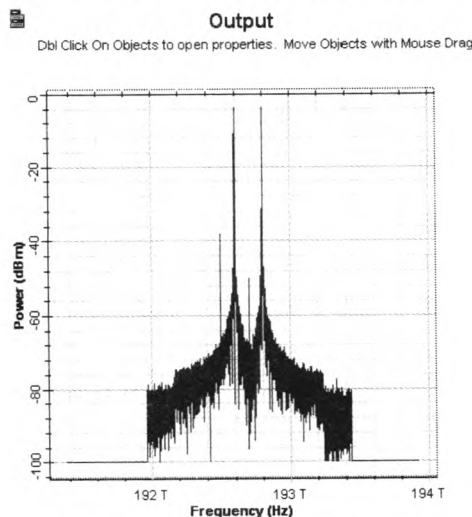
假设光开关损耗忽略不计, 从图 3 的光谱图中也可以得到, 在经过 AWG 的复用后会产生  $3.5\text{dB}$  左右的损耗, 仿真计算得到整个系统的输入端到输出端的损耗约为  $7\text{dB}$ , 而 OADM 由 AWG 和光开关组成, 所以结果与前面  $4 \times 4$  AWG 仿真计算结果相一致。从图 3(a)、(b) 可知, 在下载端除了输出信号  $f_1$  和  $f_3$ , 还有  $f_2$  和  $f_4$  的串扰信号输出, 在输出端口除了输出信号  $f_2$  和  $f_4$ , 还有  $f_1$  和  $f_3$  的串扰信号输出。

折回结构的 OADM, 由于 AWG 的存在, 每一路光信道均存在  $(N-1)$  路异频串扰,  $N$  路复用光信道存在

$N(N-1)$  路串扰, 每一路光信号上加一窄带滤波器可以减小异频串扰, 加入  $N$  路滤波器可以完全消除串扰对于主光信道的影响。一般的  $2 \times 2$  热光开关的插损在  $-5\text{dB}$  左右, 串扰在  $-20\text{dB}$  左右, 插损和串扰水平与 AWG 的相近, 而 OADM 由 AWG 和光开关组成, 由此可知通过降低 AWG 的串扰和插损的水平, 可以有效改善 OADM 的性能。



(a) 光开关处于 1010 时下载端口光谱图



(b) 光开关处于 1010 时输出端口光谱图

图3 端口光谱图

### 3 结束语

在文中, 首先采用高斯场来近似波导的基模场并结合有效折射率的简便方法对阵列波导光栅进行设计与模拟, 并研究和优化了  $4 \times 4$  AWG 的光传输特性。然后对基于 AWG 的 OADM 进行系统仿真, 并对模拟结果进行分析, 包括 OADM 的插损和串扰, 得出影响 OADM 性能的主要因素, 并提出改善建议。通过对不同软件间的系统仿真进行研究, 为以后基于 AWG 的 OADM 更为复杂的结构的设计以及系统仿真提供了参考。

## 参考文献:

- [1] Yuan Rong. Arrayed waveguide grating component and its applications[J]. Optical Communication Technology, 2010, 34(1):265-278.
- [2] 王天枢,郭玉彬,袁国民,等. 全光通信网中的光分插复用器[J]. 吉林大学学报(信息科学版),2003,21(1):47-53.
- [3] 胡国庆,孙超,王钰,等. 光分插复用器原理及应用[J]. 中国新通信(技术版),2008(1):55-61.
- [4] Saleh A A M, Simmons J M. All-Optical Networking-Evolution, Benefits, Challenges, and Future Vision[J]. Proceedings of the IEEE, 2012, 100(5):1105-1117.
- [5] Smit M K. New focusing and dispersive planar component based on an optical phased array[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 1988, 24(7):385-386.
- [6] Dragone C. An N×N optical multiplexer using a planar arrangement of two star couplers[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 1991, 3(9):812-815.
- [7] Segawa T, Matsuo S, Kakitsuka T, et al. All optical wavelength routing switch with monolithically integrated filter free tunable wavelength converters and an AWG[J]. Optics Express, 2010, 18(5):4340-4345.
- [8] Lazzeri E, Nguyen A T, Kataoka N, et al. All Optical Add and Drop Multiplexing Node for Hybrid Topology Networks[J]. Journal of Lightwave Technology, 2011, 29(24):3676-3682.
- [9] Barbarin Y, Leijtens X J M, Bente E A J M, et al. Extremely small AWG demultiplexer fabricated on InP by using a double-etch process[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2004, 16(11):2478-2480.
- [10] Takada K, Abe M, Shibata T, et al. 10-GHz-Spaced 1010-Channel Tandem AWG Filter Consisting of One Primary and Ten Secondary AWGs[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2001, 13(6):577-578.
- [11] Takada K, Abe M, Shibata T, et al. 5 GHz-spaced 4200-channel two-stage tandem demultiplexer for ultra-multi wavelength light source using supercontinuum generation[J]. Electronics Letters, 2008, 38(12):572-573.
- [12] 胡军武,吴涛. 光开关和光开关阵列技术的发展研究[J]. 光通信研究, 2002(1):58-62.
- [13] 张振杰. 罗兰凹面光栅及其工作原理的论证[J]. 西北大学学报(自然科学版), 1997, 27(1):25-28.
- [14] Seyringer D. Design and simulation of 128-channel 10 GHz AWG for ultra-dense wavelength division multiplexing[C]//Proc of 2012 14th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON). [s. l.]:[s. n.], 2012.
- [15] Chiang K S. Effective-index method for the analysis of optical waveguide couplers and arrays: an asymptotic theory[J]. Lightwave Technology, 2010, 9(1):62-72.
- [16] 欧海燕,雷红兵,杨沁清,等. 1×8 阵列波导光栅型波分复用/解复用器设计的一种简单方法[J]. 半导体学报, 2000, 21(8):798-802.
- [17] 中华人民共和国工业和信息化部. 平面光波导集成光路器件-第 2 部分:基于阵列波导光栅(AWG)技术的密集波分复用(DWDM)滤波器[S]. YDT 2000. 2-2009, 2009.

(上接第 222 页)


签、标签和表格共存;打印格式有套打、非套打两种;内容及格式基于后台数据库;根据数据库中表的数据或查询结果在报表中自动添加控件;表头、细节、注脚等可以是任何字体、任何字号、是否有下划线、删除线、粗体、斜体等;当前报表定义了六种样式,以后根据需要进行任意增加样式;可以自动使用任何已安装的打印机,可以事先定义好任何类型、任何尺寸的纸张,可以事先定义好打印方向,打印时不用操作员选择任何打印机及纸张信息;可以统计任何列的任何值等。运用《通用水晶报表自动生成技术研究》、SQL 语句自动生成技术<sup>[11]</sup>及文中的研究内容,能够实现通用水晶报表平台,以适应用户需求的变化、提高软件开发效率。

## 参考文献:

- [1] 马燕,王文发,许淳,等. 基于 Web 的生产统计报表的设计与实现[J]. 计算机技术与发展, 2012, 22(2):213-216.
- [2] 维基百科. 水晶报表[EB/OL]. 2012-08-16. <http://zh.wikipedia.org/wiki/>.

- [3] 任永昌,邢涛,鄂旭. 软件项目开发过程管理[M]. 北京:北京交通大学出版社, 2010.
- [4] 富君,兆文忠,米小珍,等. .NET 平台下水晶报表的应用[J]. 中国水运, 2006, 7(6):168-169.
- [5] 章立民. 用实例学 Crystal Report[M]. 北京:电子工业出版社, 2004.
- [6] 常红光. 网络环境下船厂报表系统研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学, 2007.
- [7] 郑火国. .NET 平台下水晶报表的应用[J]. 电脑编程技巧与维护, 2007, 14(11):44-46.
- [8] 徐祥涛. 在 .NET 平台下实现水晶报表的查询功能[J]. 济宁学院学报, 2010, 31(3):59-61.
- [9] Ganz C. Programming the Report Application Server[M]. [s. l.]:Apress, 2007.
- [10] Ganz C. Crystal Reports and Business Objects XI[M]. [s. l.]:Apress, 2007.
- [11] Ren Y C, Xing T, Xing Z F, et al. Design on Data Manipulation Class Based on ADO. NET[J]. Applied Mechanics and Materials, 2011, 109(11):603-607.

## 基于阵列波导光栅光分插复用器的仿真设计

作者: [孙太富](#), [徐宁](#), [SUN Tai-fu](#), [XU Ning](#)  
作者单位: [南京邮电大学光电工程学院, 江苏南京, 210046](#)  
刊名: [计算机技术与发展](#)   
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)  
年, 卷(期): 2013, 23(6)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjfz201306057.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201306057.aspx)