

doi: 10. 3788/gzxb20134204. 0379

## 阵列波导光栅平坦化的研究

张伶俐<sup>1</sup>, 吴远大<sup>1,2</sup>, 安俊明<sup>1,2</sup>, 王玥<sup>1</sup>, 王亮亮<sup>1</sup>, 潘盼<sup>1</sup>,  
张家顺<sup>1,2</sup>, 张晓光<sup>1</sup>, 胡雄伟<sup>1</sup>

(1 中国科学院半导体研究所 集成光电子学国家重点联合实验室, 北京 100083)

(2 河南仕佳光子科技有限公司, 河南 鹤壁 458030)

**摘要:**阵列波导光栅的平坦化在实际应用中有很重要的意义. 本文系统地研究了阵列波导光栅的平坦化. 在输入波导、输出波导、阵列波导输入端与输出端上分别引入了指数型锥形波导. 通过改变锥形波导的形状和尺寸来实现平坦化的优化. 本文首先从理论上论述了引入指数型锥形波导的输出光谱特性, 给出了结构参量的关系表达式, 阐明了输入波导处的锥形波导是影响输出光谱平坦化的主要因素, 阵列波导和输出波导处的锥形波导对输出光谱的平坦化有一定的影响. 其次采用数值模拟的方法模拟了输出光谱, 优化了结构参量, 总结出了指数型锥形波导对平坦化影响的趋势和规律. 模拟结果显示, 输出光谱 1 dB 带宽大于通道间隔的 50%, 插入损耗从 5.2 dB 减小到了 4.0 dB, 串扰小于 -30 dB. 最后, 本文给出了实验结果, 插入损耗减小了 0.87 dB, 串扰减小了 3.67 dB, 1 dB 带宽增加 0.1 nm, 增加了 54.7%. 实验结果表明引入指数型锥形波导提高了阵列波导光栅器件的光谱性能.

**关键词:**阵列波导光栅; 平坦化; 锥形波导; 有限差分光束传播法; 1 dB 带宽

中图分类号: TN256; TN203

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2013)04-0379-7

## Flat Spectral Response of Arrayed Waveguide Grating

ZHANG Li-yao<sup>1</sup>, WU Yuan-da<sup>1,2</sup>, AN Jun-ming<sup>1,2</sup>, WANG Yue<sup>1</sup>, WANG Liang-liang<sup>1</sup>,  
PAN Pan<sup>1</sup>, ZHANG Jia-shun<sup>1,2</sup>, ZHANG Xiao-guang<sup>1</sup>, HU Xiong-wei<sup>1</sup>

(1 State Key Laboratory of Integrated Optoelectronics, Institute of Semiconductors,  
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

(2 Henan Shijia Photons Technology Co., Ltd, Hebi, Henan 458030, China)

**Abstract:** It is significant of the flat spectral response arrayed waveguide grating in practical application. Flat spectral response arrayed waveguide grating is systematically studied. Tapers with exponential type are introduced into input waveguides, output waveguides and arrayed waveguides. Optimal design is achieved by changing the shape and size of the tapers. Firstly, the output spectral characteristic is discussed theoretically for tapers with exponential type and the relational expressions of the structural parameters are given. It is illustrated that the characteristic of the tapered input waveguides is the main factor that affects the output spectrum and that the tapered arrayed waveguides and the tapered output waveguides have a certain impact on the output spectrum. Secondly, numerical simulation method is used to simulate the output spectrum and to optimize the structure. Trend and regularity about flat spectral response affected by the structure of tapers are concluded. Simulation results show that the 1 dB passband width is

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(No. 61090390)、重点项目(No. 60837001)、面上项目(Nos. 61275029, 61274047)、青年科学基金项目(No. 61205044)、国家高技术研究发展计划项目(No. 2011AA010303)和河南省自主创新基金及河南省重大科技专项资助  
第一作者: 张伶俐(1987-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为光波导器件. Email: zhangliyao@semi.ac.cn  
导师(通讯作者): 吴远大(1974-), 男, 硕士研究生导师, 研究员, 博士, 主要研究方向为光波导器件. Email: wuyuanda@semi.ac.cn  
收稿日期: 2012-09-29; 录用日期: 2012-12-03

bigger than 50% of the channel spacing, Insertion loss decreases from 5.2 to 4.0 dB, crosstalk is less than -30 dB. Finally, the experimental results are given, insertion loss reduces 0.87 dB, crosstalk decreases 3.67 dB, and 1 dB bandwidth increases 0.1 nm with an increase of 54.7%. Experimental results show that the introduction of tapered waveguides with the exponential type improves the spectral properties of the arrayed waveguide grating device.

**Key words:** Arrayed waveguide grating; Flat spectral response; Taper waveguides; Finite difference beam propagation method; 1 dB passband width

## 0 引言

阵列波导光栅 (Arrayed Waveguide Grating, AWG) 是波分复用 (Wave Division Multiplexing, WDM) 系统的关键器件之一, 它的光谱传输特性影响着 WDM 系统的传输性能. 按照其对频带的响应可以分为高斯型和平顶型两种 AWG. 高斯型 AWG 对外界环境敏感, 需要在光传输系统中增加严格的波长控制系统, 限制了器件的应用范围. 在实际应用中, 平顶型 AWG 输出光谱顶部平坦, 降低了系统对波长准确性的要求. 因此阵列波导光栅的平坦化在实际应用中有很重要的意义.

目前, 实现阵列波导光栅的平坦化有很多种方法. 比如, 采用多模输出波导<sup>[1]</sup>、多罗兰圆设计<sup>[2]</sup>、在阵列波导输出端引入相移<sup>[3]</sup>、输入波导采用 Y 分支波导<sup>[4]</sup> 和输入端引入多模干涉 (Multimode Interferometer, MMI) 耦合器<sup>[5-7]</sup> 等. 其中, 输入端引入 MMI 耦合器的方法因其制作简单、实用性强等优点而备受青睐. 但是, 引入 MMI 耦合器会增加插入损耗, 影响了器件的传输性能. 文献[8]将 MMI 结构变为锥形波导后, 减小了插入损耗, 从而提高了

器件性能<sup>[8]</sup>.

本文系统地研究了输入波导为指数型 MMI 结构的硅基二氧化硅 AWG 器件的频谱特性, 总结出了锥形波导各个结构参量对器件性能的影响趋势和规律. 此外, 本文还将指数型的锥形波导引入到 AWG 的阵列波导和输出波导中, 通过综合分析优化, 器件性能得到了进一步的提高. 以 40 通道、通道间隔为 100 GHz 的 AWG 器件为例, 模拟结果显示, 其 1 dB 带宽大于通道间隔的 50%, 边缘通道插入损耗从 5.2 dB 减小到了 4.0 dB, 串扰小于 30 dB. 本文给出了实验结果, 插入损耗减小了 0.87 dB, 串扰减小了 3.67 dB, 1 dB 带宽增加 0.1 nm, 增加了 54.7%. 实验结果表明引入指数型锥形波导提高了阵列波导光栅器件的光谱性能.

## 1 理论阐述

阵列波导光栅整体结构如图 1 所示, 由输入波导、输入平板波导、阵列波导、输出平板波导和输出波导几个部分组成. 细节图示意了在输入波导、阵列波导和输出波导中引入的指数型锥形波导结构.

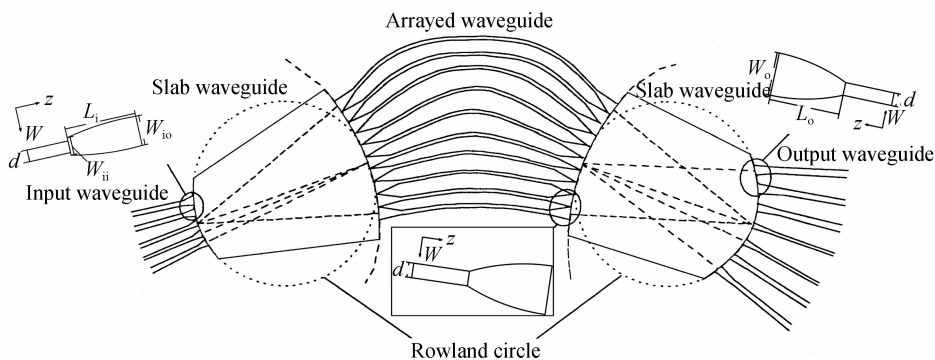


图 1 整体结构

Fig. 1 Overall structure

图 2 为指数型锥形波导的平面结构图. (a)、(b) 和 (c) 分别为输入波导处、阵列波导处和输出波导处的结构图.  $z$  为光传播方向,  $W$  与  $z$  垂直, 为波导宽度扩展的方向. 指数型波导满足

$$W(z) = \frac{W_{\text{end}} - W_{\text{beg}}}{\exp(kL_{\text{taper}}) - 1} \exp(kz) + W_{\text{beg}} \frac{\exp(kz) - 1}{\exp(kL_{\text{taper}}) - 1} \quad (1)$$

式中  $z$  为光波传播方向,  $W(z)$  表示锥形波导宽度;  $W_{\text{end}}$ 、 $W_{\text{beg}}$  分别为锥形波导的最宽处开口宽度和最窄处开口宽度, 对于输入波导分别取  $W_{\text{io}}$  和  $W_{\text{ii}}$ , 阵列波导分别取  $W_a$  和  $d$ , 输出波导分别取  $W_o$  和  $d$ ;  $L_{\text{taper}}$  为锥形波导的长度, 对于输入波导取  $L_i$ , 阵列波导取  $L_a$ , 输出波导取  $L_o$ ;  $k$  是可变参量, 通过调整  $k$  的值改变锥形波导的形状, 对于输入波导取  $k_i$ , 阵

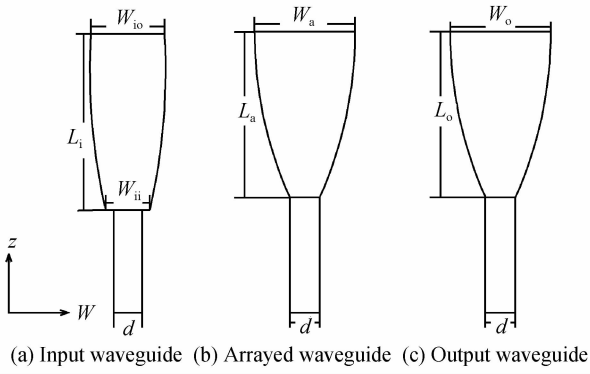


图2 指数型锥形波导结构

Fig. 2 Structure of tapers with exponential type

列波导取  $k_a$ , 输出波导取  $k_o$ .

在输入波导的末端引入 MMI 结构可以实现输出光谱平坦化. 但是, 引入方形的 MMI 结构, 在光的传播方向上波导结构发生了突变, 会增加插入损耗. 本文引入了指数型锥形波导代替方形结构, 可以减小因波导结构上的突变带来的损耗, 而且不带来光谱性能的恶化.

输入端的锥形波导是影响光谱平坦化的主要因素, 在此做详细的理论分析. 根据自映像原理<sup>[9]</sup>, 输入光场可以在 MMI 的输出像面上形成两个像 (如图 3). 这两个像分开的距离  $Y$  约为  $W_e$ ,  $W_e$  为 MMI 多模区域的等效宽度.

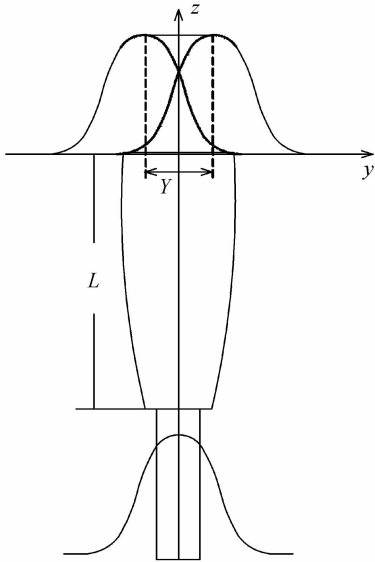


图3 MMI 结构及其光场分布

Fig. 3 MMI structure and field distribution

输入波导和输出波导 (宽度分别为  $w_i$  和  $w_o$ ) 的基模场可以近似表示成高斯分布函数, 即

$$U_i(y) = \frac{1}{\sqrt{w_i}} \left( \frac{2}{\pi} \right)^{1/4} \exp(-y^2/w_i^2) \quad (2)$$

$$U_o(y) = \frac{1}{\sqrt{w_o}} \left( \frac{2}{\pi} \right)^{1/4} \exp(-y^2/w_o^2) \quad (3)$$

在自映像平面上, 总的场分布可以表示成两个

高斯像的叠加, 即

$$U_{\text{image}}(y) = \frac{C_0}{\sqrt{w_i}} \left( \frac{2}{\pi} \right)^{1/4} \left\{ \exp \left[ -\frac{(y-Y/2)^2}{w_i^2} \right] + \exp \left[ -\frac{(y+Y/2)^2}{w_i^2} \right] \right\} \quad (4)$$

式中,  $C_0 = \frac{1}{\sqrt{2} \sqrt{1 + \exp[-2Y^2/(2w_i)^2]}}$ ,  $Y$  是像平面上两个像点峰值之间的距离.

改变 MMI 的宽度可以调节距离  $Y$ , 形成双峰场分布, 从而使输入光谱平坦化.

阵列波导光栅的输出光谱可以表示成为

$$T(\Delta f) = \left| \int_{-\infty}^{+\infty} U_{\text{image}}(y-D\Delta f) U_o(y) dy \right|^2 \quad (5)$$

式中,  $U_o(y)$  是输出波导的基模场,  $\Delta f = f - f_0$  是聚焦点相对中心频率的变化,  $f_0$  是中心频率,  $D$  是色散系数. 在忽略畸变的情况下, 阵列波导光栅可以看成是 1:1 的成像系统, 输出光谱和输入光谱一致, 即:  $U_{\text{end}} = U_{\text{image}}$ . 因此输入波导处的锥形波导结构是影响输出光谱的主要因素.

光波在锥形波导中的传播可以用模式耦合理论来分析. 因为波导平滑且角度渐变很小, 这里忽略了不同模式之间耦合.

根据波导理论, 第  $\nu$  阶模的传播常量为

$$\beta_\nu \approx k_0 n_r - \frac{(\nu+1)^2 \pi \lambda}{4 n_r W_{ev}^2(z)} \quad (6)$$

$k_0$  是真空中波数,  $\lambda$  是波长,  $n_r$ 、 $n_c$  分别是锥形波导芯层和包层的折射率.

第  $\nu$  阶模式的有效宽度近似为基模的有效宽度

$$W_{ev}(z) = W(z) + C_1 \quad (7)$$

式中  $C_1 = \frac{\lambda}{\pi} \left( \frac{n_c}{n_r} \right)^{2\sigma} (n_r^2 - n_c^2)^{(-1/2)}$ , 对于 TE 模,  $\sigma = 0$ , TM 模  $\sigma = 1$ .

当传播  $L$  段距离后, 第  $\nu$  阶模和基模之间的相位差可以表示成为

$$\Delta\phi_\nu = \int_0^L (\beta_0 - \beta_\nu) dz \quad (8)$$

将式(1)、(6)和(7)带入到式(8)得到

$$\Delta\phi_\nu = \nu(\nu+2) \frac{\pi \lambda}{4 n_r} \int_0^{L_{\text{taper}}} \frac{dz}{W_{ev}^2(z)} = \nu(\nu+2) \frac{\pi \lambda}{4 n_r} \frac{L_{\text{taper}}}{(W_{ii} + C_1)(W_{io} + C_1)} \quad (9)$$

令

$$L_{\text{neff}} = \frac{\pi}{(\beta_0 - \beta_1)_{\text{eff}}} = \frac{4 n_r (W_{ii} + C_1)(W_{io} + C_1)}{3 \lambda} \quad (10)$$

则

$$\Delta\phi_\nu = \frac{\nu(\nu+2) \pi}{3 L_{\text{neff}}} L_{\text{taper}} \quad (11)$$

再由自映像理论,当出现两个像点时,有

$$L_{\text{taper}} = \frac{3}{8} L_{\text{reff}} = \frac{n_r}{2\lambda} (W_{\text{ii}} + C_1)(W_{\text{io}} + C_1) \quad (12)$$

式(1)和(12)确定了输入锥形波导的基本结构参量关系,决定了输出光谱平坦化的关键性能指标.

实际上,阵列波导和输出波导处的锥形波导结构也会对输出光谱有一定程度的影响.光在锥形波导区传播时,基模会受到高阶模的影响,能量从基模转移到相邻的高阶模.当高阶模传播到锥形波导的单模区时,能量便辐射掉了.

根据波导传输理论, $m$ 阶模和 $n$ 阶模之间的能量因子满足

$$P_{mn} = \kappa_{mn}^2 / (\kappa_{mn}^2 + \Delta\beta_{mn}^2), \kappa_{mn} \text{ 是耦合效率, } \Delta\beta_{mn} = (\beta_m - \beta_n) / 2, \kappa_{mn}, \Delta\beta_{mn} \text{ 都与锥形波导形状和尺寸有关.}$$

通常在阵列波导光栅的阵列波导和输出波导插入线性的锥形波导.而实际上,曲线形的锥形波导要比线性波导更光滑,这更有利于减小模式间的耦合,减小损耗和串扰.

输出波导处引入锥形波导可以改善损耗和串扰,也会对带宽有一定影响.研究表明锥形波导的开口宽度是影响带宽的重要参量,可由式(13)决定<sup>[10]</sup>

$$\Delta\lambda_L = 0.77 \frac{\omega_c}{d_0} \Delta\lambda_{\text{ch}} \sqrt{L} \quad (13)$$

$\omega_c$  是高斯场的等效宽度,由波导宽度来决定.

在波导的结构设计上,结构简单的波导可以利用解析法求解,但是对复杂结构的情况就要依靠数值解.本文的研究中采用有限差分光束传播法(Finite Difference Beam Propagation Method, FD-BPM)对波导结构进行了优化.

以上理论为设计结构提供了理论依据,给出了结构参量的范围,下面将采用数值方法进一步分析结构参量的具体取值.

## 2 数值模拟优化

### 2.1 输入锥形波导

#### 2.1.1 MMI输入端口口径 $W_{\text{ii}}$

研究中,最小波导宽度  $d=6 \mu\text{m}$ ,输入端口口径大于等于  $6 \mu\text{m}$ .图4显示了不同 MMI 输入端口口径的输出光谱.从图中可以看到,口径越小,插入损耗越小,串扰也越小.渐变波导使得插入损耗从 5.45 dB 减小到 4.34 dB,能够显著地减小插入损耗.如图4,引入渐变结构也抑制了旁瓣所带来的串扰.输入端口口径还影响输出光谱的陡直程度和平坦程度,口径越小,光谱越陡直,随着口径变小,光谱顶部从内凹变外凸.为了减小插入损耗,需要消除波导结构突变的影响.以下文中结构均取  $W_{\text{ii}}$  为最小波导宽度.

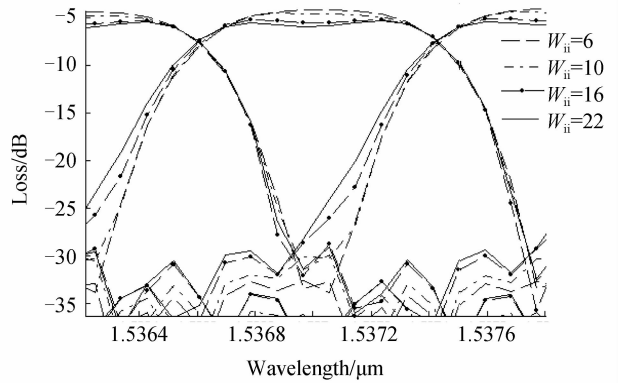


图4 不同 MMI 输入端口口径的输出光谱图  
Fig. 4 The spectral response with different MMI input widths

#### 2.1.2 MMI输出端口口径 $W_{\text{io}}$

根据 MMI 原理,MMI 的宽度影响进入到输入平板波导的波形,进而影响输出光谱. MMI 越宽,光谱就越宽,甚至会使输出光谱中心波长处凹陷.

模拟结果表明,对于锥形波导,输出端口口径  $W_{\text{io}}$  是影响光谱宽窄的主要因素.图5为不同 MMI 输出端口口径的光谱图.从图5中可以看出,口径  $W_{\text{io}}$  越大,光谱越宽,越容易得到顶部平坦的光谱,但是过大的口径  $W_{\text{io}}$  会造成光谱中心凹陷.通过适当调节  $W_{\text{io}}$  的大小可以得到需要的输出光谱.  $W_{\text{io}}$  对光谱形状影响很大,设计和制作时需要精确的控制.

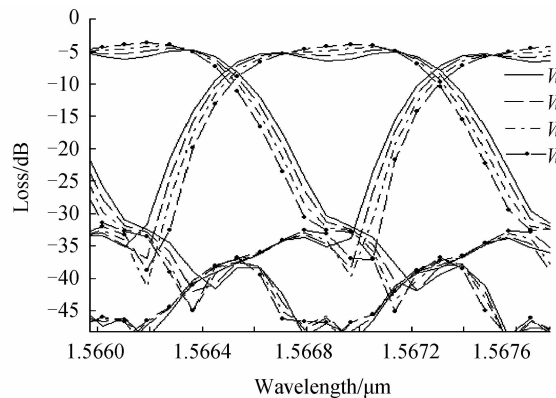


图5 不同 MMI 输出端口口径的输出光谱图  
Fig. 5 The spectral response with different MMI output widths

#### 2.1.3 渐变波导形状

图6为几种典型的指数型锥形波导结构.通过调节式(1)得到了不同形状的锥形波导.

图7为几种不同形状的锥形波导的输出光谱.图中显示,不同形状的渐变波导的输出光谱会有很大的差异.参量  $k_1$  过大,输出光谱虽然得到平坦化,但是中心出现凹陷,如图中  $\exp(-10)$  的谱线;反之,参量  $k_1$  过小,则输出光谱无平坦化效果,如图中  $\exp(0)-t$  的谱线.要获得具有平坦的输出光谱需要精心的设计锥形波导形状.对比  $\exp(0)-s$  和

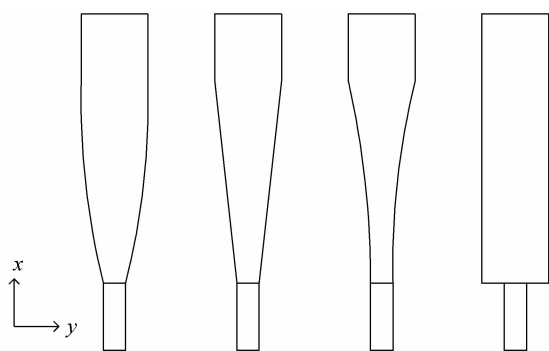


图 6 几种指数型锥形波导结构

Fig. 6 Several kinds of taper with exponential type

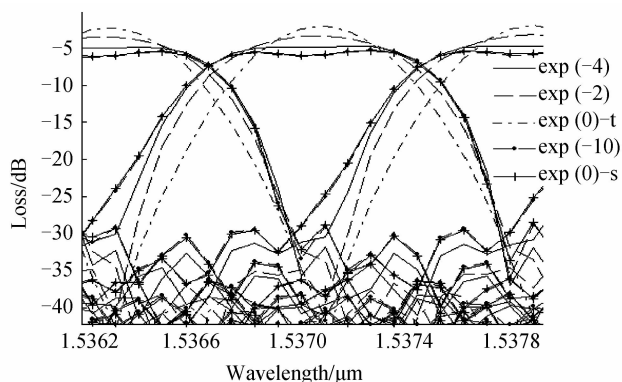


图 7 不同渐变波导形状的输出光谱

Fig. 7 The spectral response with different MMI shapes

exp(-4)的谱线可以看出,通过引入指数型锥形波导能够减小插入损耗,同时保持平坦化的既得效果.对比 exp(0)-s 和 exp(-10)的谱线可以看出,当指数  $k_i$  增大到 10 时,指数型结构已经和方形 MMI 结构的光谱类似,插入损耗较大.

### 2.1.4 MMI 的长度

MMI 长度是影响平坦化的另一个重要的参量.图 8 为不同 MMI 长度的输出光谱.从图中可以看出,长度对平坦化的影响主要体现在:1)长度越长,输出光谱的陡直程度越好,因而通道间的串扰也越小;2)长度影响光谱的对称性,长度太长或者太短都会引起光谱关于通道内中心频率的不对称.具体地说,长度太长时,同一个通道内,长波的光强度高于

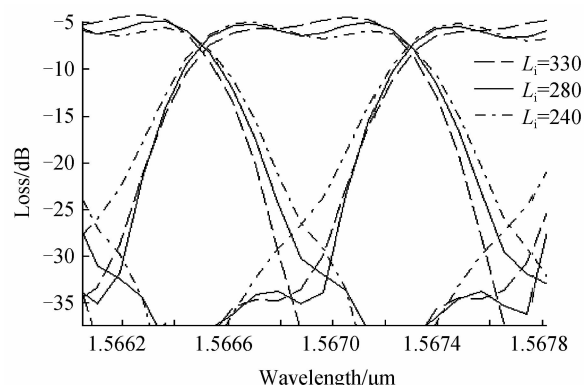


图 8 不同 MMI 长度的输出光谱

Fig. 8 The spectral response with different MMI lengths

短波;反之,短波的光强度高于长波.因而设计器件时要注意对长度的控制,使得同一个通道内的光谱尽量平坦.

## 2.2 输出锥形波导

### 2.2.1 输出波导输入口径 $W_0$ .

图 9 为输出波导输入端口口径  $W_0$ .对输出光谱的影响.研究表明, $W_0$ 对带宽,串扰和损耗都有一定的影响.口径  $W_0$ 越大,损耗越小,但带宽越小.图 9 显示, $W_0$ 从  $7 \mu\text{m}$  变到  $15 \mu\text{m}$  时,损耗从 5.38 dB 减小到 4.41 dB,1 dB 带宽从 5.15 nm 减小到 4.72 nm.

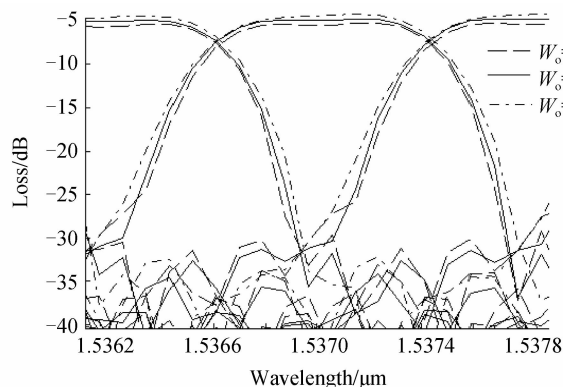


图 9 不同输出波导输入口径的输出光谱图

Fig. 9 The spectral response with different output waveguides

### 2.2.2 输出波导形状

图 10 为输出波导形状对输出光谱的影响.从图 10 中可以看出输出波导的形状影响器件的损耗和串扰.随着  $k_i$  值增大,光谱带宽变大,损耗变小,但同时串扰也会增加.因此为了抑制串扰需要对  $k_i$  值做折中处理.

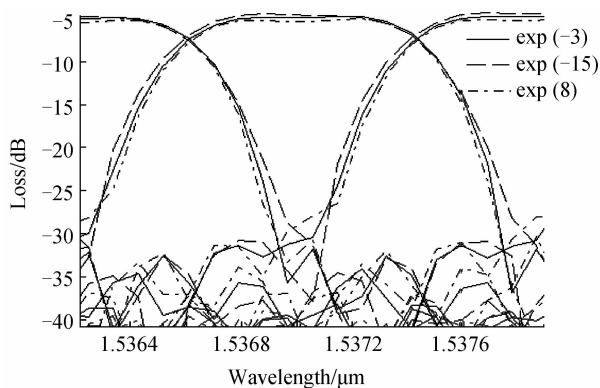


图 10 不同的输出波导端口形状的输出光谱

Fig. 10 The spectral response with different output waveguide shapes

## 2.3 阵列波导形状

阵列波导输入端和输出端可以采用相同的结构,也可以采用不同的结构.研究中分别对两种情况进行了数值模拟.

图 11 为输入、输出结构相同时,采用不同形状的锥形波导的输出光谱对比图.从图中可以看出,随

着指数  $k_a$  的增大,插入损耗先减小再增大,当  $k_a = -3$  时,插入损耗最小为 4.34 dB.  $k_a = 0$  时,插入损耗为 4.68 dB. 可见改变阵列波导形状可有效减小插入损耗约 0.3 dB 左右. 阵列波导形状对带宽和串扰的影响不大.  $k_a$  从 -3 增加到 10 时,损耗变化 1.04 dB,带宽变化为 0.07 nm,串扰变化为 0.6 dB.

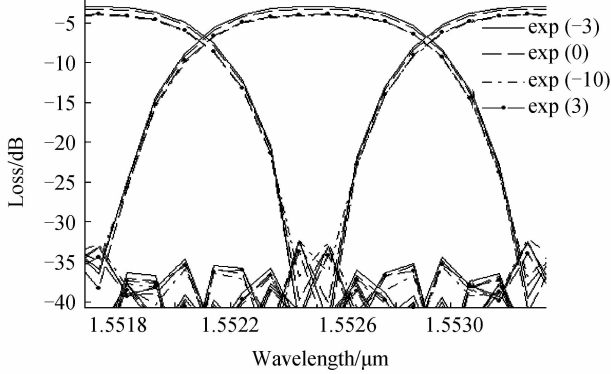


图 11 不同形状的相同结构的输出光谱图

Fig. 11 The spectral response of the same structure with different arrayed waveguide shapes

图 12 为输入、输出结构不相同,不同形状的锥形波导的输出光谱对比图. 从图中可以看出,结构不同会影响光谱的对称性、损耗和带宽等. 对于阵列波导输入端,  $k_a$  增大,光谱左侧上升沿(短波方向)

变陡直;对于阵列波导输出端,  $k_a$  增大,光谱右侧下降沿(长波方向)变陡直,因而引起了光谱带宽的变化.  $k_a$  从 2 到 10,光谱带宽从 4.05 nm 变到 3.92 nm. 损耗影响规律和结构相同时一致,  $k_a$  值增大时,损耗先减小再增大.

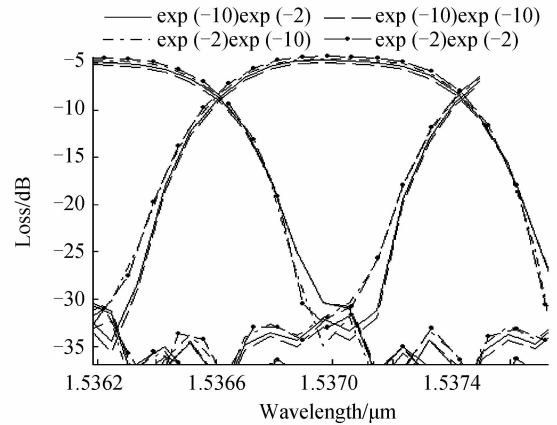


图 12 不同形状的不同结构输出光谱图

Fig. 12 The spectral response of different structures with different arrayed waveguide shapes

### 2.4 影响规律

本文对影响输出光谱的关键结构参量进行了总结,如表 1 所示. 通过表 1 可以方便得出各个参量间的制约关系,为进一步研究提供了可靠的依据.

表 1 结构参量对输出光谱的影响

Table 1 The influence of structure parameters on the spectral response

Region	Structural parameters (decrease)	Insertion loss	Crosstalk	Pass band width	Spectral response
Input tapers	$W_{ii}$	Decrease	Decrease	Decrease	Steep slope, convex
	$W_{io}$	Decrease	Decrease	Decrease	Convex
	$k_i$	Decrease	Decrease	Decrease	Gentle slope, convex
	$L_i$	No effect	Increase	Increase	Light intensity of long wavelength > short wavelength in a channel
Arrayed tapers	$k_a$	Decrease then increase	No effect	No effect	No effect
	The same or different input and output structure	No effect	No effect	No effect	For the input terminal, $k_a$ increases, the left side of the spectrum (the rising edge, short wavelength direction) becomes steep; for the output terminal, $k_a$ increases, the right side of the spectrum (the falling edge, long wavelength direction) becomes steep.
Output tapers	$W_o$	Increase	Decrease	Increase	No effect
	$k_o$	Increase	Decrease	Decrease	Steep slope

### 3 实验结果

根据以上的设计,在硅基二氧化硅材料上制作了 40 通道、通道间隔为 100 GHz 的 AWG 器件.

图 13 对比了引入指数型锥形波导与没有引入锥形波导的输出光谱. 从图中可以看出,引入指数型

锥形波导后输出光谱性能得到了明显的提高. 插入损耗减小了 0.87 dB,串扰减小了 3.67 dB,1 dB 带宽增加 0.1 nm,增加了 54.7%. 实验结果表明引入指数型锥形波导提高了阵列波导光栅器件的光谱性能.

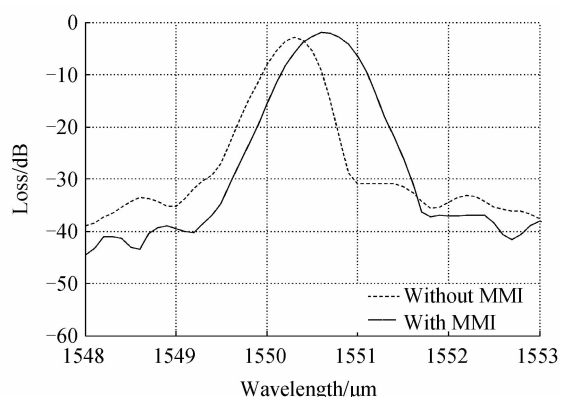


图 13 有无 MMI 输出光谱对比图

Fig. 13 The spectral response with MMI and without it

## 4 结论

阵列波导光栅的平坦化是其走向实际应用的关键步骤. 在众多的平坦化方法中, 输入波导中引入 MMI 的方案由于具有简单易行, 实用性强等优点而被广泛采用. 本文在已报道的 MMI 结构的基础上, 重点针对指数型的锥形波导做了研究. 采用 FD-BPM 数值模拟方法模拟了具有不同锥形结构参量的 AWG 的输出光谱, 总结出了指数型锥形波导结构对输出光谱的影响规律, 为进一步设计和制作提供了依据. 本文根据设计结果制作了器件, 结果表明光谱传输性能得到提高.

输入波导的 MMI 结构是影响光谱平坦化的主要因素, 设计 MMI 结构对取得平坦化性能优异的阵列波导光栅器件起着至关重要的作用. 阵列波导和输出波导的结构对光谱平坦化也有一定的影响, 通过改变二者的结构可以进一步使器件性能优化.

### 参考文献

[1] AMERSFOORT M R, de BOER C R, van HAM F P G M, *et al.* Phased-array wavelength demultiplexer with flattened wavelength response[J]. *Electronics Letters*, 1994, **30**(4): 300-302.

- [2] HO Y P, LI H, CHEN Y J. Flat channel-passband-wavelength multiplexing and demultiplexing devices by multiple-Rowland circle design [J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 1997, **9**(3): 342-344.
- [3] KAMALAKIS T, SPHICOPOULOS T. An efficient technique for the design of an arrayed-waveguide grating with flat spectral response[J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2001, **19**(11): 1716-1725.
- [4] NAKAJIAMA T, KOSHI H, HASHIZUME N. Array waveguide diffraction grating optical multiplexer/demultiplexer; US, 6195481B1[P]. 2001-2-27.
- [5] SOOLE J B D, AMERSFOORT M R, LEBLANC H P, *et al.* Use of multimode interference couplers to broaden the passband of wavelength-dispersive integrated WDM filters[J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 1996, **8**(10): 1340-1342.
- [6] WANG Wen-min, MA Wei-dong, CHEN Guang, *et al.* Optimum design of AWG router with flattened passband and low loss[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(9): 1049-1052.
- 王文敏, 马卫东, 陈光, 等. 低插损平坦谱响应阵列波导光栅解复用器优化设计[J]. *光子学报*, 2003, **32**(9): 1049-1052.
- [7] HUANG Nai-rong, WANG Qian, HE Sai-ling. Study of AWG based on MMI[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(4): 413-416.
- 黄耐容, 王谦, 何赛灵. 基于多模干涉耦合器的阵列波导光栅设计研究[J]. *光子学报*, 2003, **32**(4): 413-416.
- [8] OKAMOTO K, SUGITA A. Flat spectral response arrayed-waveguide grating multiplexer with parabolic waveguide horns [J]. *Electronics Letters*, 1996, **18**(32): 1661-1662.
- [9] SOLDANO L B, PENNINGE S C M. Optical multi-mode interference devices based on self-imaging: principles and applications [J]. *IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology*, 1995, **13**(4): 615-623.
- [10] ZHENG Guo-xing, DU Chun-lei. The design principle and optimization of arrayed-waveguide gratings [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2002, **31**(1): 33-37.
- 郑国兴, 杜春雷. 阵列波导光栅设计原理及优化[J]. *光子学报*, 2002, **31**(1): 33-37.