

AWG 设计参数对串扰特性的影响*

朱大庆¹ 陆冬生¹ 许振鄂¹ 雷伟¹ 周曼丽²

(华中科技大学¹ 激光技术国家重点实验室)
(² 电子与信息工程系, 武汉 430074)

提要 对一个 16 波长的阵列波导光栅(AWG),用光束传播方法(BPM)进行数值模拟,研究了波导宽度、波导阵列间距和罗兰圆输出端波导间距等设计参数对 AWG 串扰性能的影响。

关键词 阵列波导光栅, 集成光学, 光波导设计

中图分类号 TN2 **文献标识码** A

Impact of the Design Parameters of AWG on Crosstalk

ZHU Da-qing¹ LU Dong-sheng¹ XU Zhen-e¹ LEI Wei¹ ZHOU Man-li²

(¹ State Key Laboratory of Laser Technology, Huazhong University of Sci. & Tech., Wuhan 430074)
(² Department of Electronic & Information Engineering, Huazhong University of Sci. & Tech., Wuhan 430074)

Abstract By simulating an AWG of 16-channels, the impact of the width of waveguides, pitches of the arrayed waveguides and pitches of the output waveguide of the Rowland circle on the crosstalk is studied.

Key words arrayed waveguide grating, integrated optics, design of optical waveguides

1 引 言

在密集波分复用(DWDM)中,波长滤波器是最重要的无源器件。阵列波导光栅(AWG)作为波长滤波器,以其低插损、高稳定性、易于大规模制作、潜在的低制造成本和易于与有源器件集成等优点成为最有竞争力的器件^[1,2]。

串扰是 AWG 最重要的指标。虽然在实际的 AWG 器件中串扰特性主要受到制作误差的限制,但是低串扰必须通过合适的设计才能得到^[3]。在理想制作的情况下,串扰主要由罗兰圆输出端各信道输出场的迭加引起的。有不少文献对此进行了分析和研究^[3,4]。

本文研究了波导宽度、波导阵列间距和罗兰圆输出端波导间距等设计参数对 AWG 串扰性能的影响。

2 模拟计算

在 AWG 设计中,参数很多。对于模拟计算来

说,除了中心波长、波长间隔、通道数和材料性质外,主要相关参数是波导宽度 w , 阵列波导间距 d_g , 输出波导间距 d_{ch} , 阵列波导数目 M , 罗兰圆焦距 f 和自由光谱范围 FSR。这些参数并不是完全独立的,应满足下列关系:

$$d_{ch} d_g n_g \text{FSR} = f \lambda_0 \Delta \lambda_{ch} \quad (1)$$

和

$$\text{FSR} \geq N_{ch} \Delta \lambda_{ch} \quad (2)$$

其中 λ_0 为设计的中心波长, $\Delta \lambda_{ch}$ 为波长间隔, n_g 为波导的有效折射率, N_{ch} 为通道数目。

模拟计算的信道参数和材料性质如表 1 所示。在确定了这些参数后,并忽略材料色散,我们分别对不同的波导宽度 w (对应于不同的 V 值)、阵列波导间距 d_g 、输出波导间距 d_{ch} 和波导数目进行了模拟。

3 结果与分析

3.1 输出波导间距的影响

在相同的阵列波导间距和波导宽度的情况下,不同输出波导间距 d_{ch} 的 BPM 模拟结果见图 1。从

* 教育部国际交流合作司回国留学人员基金 (No. [1999]621) 资助课题。

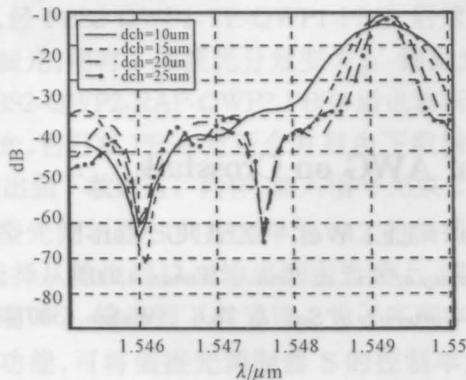
图 1 可看出,增加 d_{ch} 可减少相邻信道间的串扰, d_{ch} 为 $10 \mu\text{m}$ 时相邻信道间的串扰比其他的 d_{ch} 值时大 35 dB 左右。但增加 d_{ch} 有一个限度,超过此限度,

增加 d_{ch} 对减少相邻信道间的串扰没有什么效果。而对非相邻信道之间的串扰,有一个最佳的 d_{ch} 使得串扰最小。

表 1 计算参数

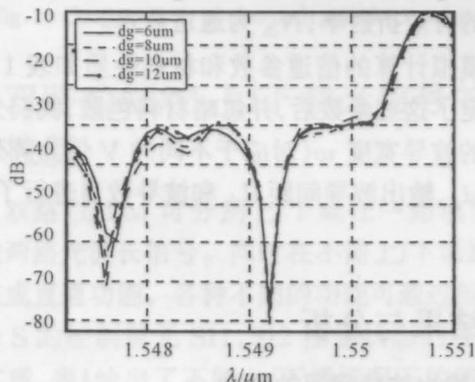
Table 1 Calculation parameters

name	central wavelength	wavelength spacing	number of channels	effective refractive index in slab waveguide	effective refractive index of substrate
symbol	$\lambda_0 (\mu\text{m})$	$\Delta\lambda_{ch} (\text{nm})$	N_{ch}	n_s	n
value	1.55	1.6	16	1.50686	1.5

图 1 不同 d_{ch} 时的 BPM 模拟结果Fig.1 BPM results for different values of d_{ch}

3.2 波导阵列间距的影响

在相同的输出波导间距和波导宽度的情况下,不同阵列波导间距 d_g 的 BPM 模拟结果见图 2。从图 2 可看出, $d_g = 8 \mu\text{m}$ 时,相邻信道的串扰最小。 $d_g = 10 \mu\text{m}$ 和 $d_g = 12 \mu\text{m}$ 时相邻信道的串扰是计算中最大的。最大和最小相邻串扰相差约 5 dB 。对非相邻串扰, $d_g = 6 \mu\text{m}$ 时最大,远远大于其他情况下的非相邻串扰; $d_g = 10 \mu\text{m}$ 时最小。最大和最小非相邻串扰相差约 13 dB 。结果表明对相邻串扰,有一个最佳的 d_g 值,对非相邻串扰, d_g 值越大,

图 2 不同 d_g 时的 BPM 结果Fig.2 BPM results for different values of d_g

串扰就越小。

3.3 波导宽度的影响

在相同输出波导间距情况下,不同阵列波导宽度的 BMP 模拟结果见图 3。波导阵列间距 d_g 保持在 2 倍波导宽度。从图 3 可以看出,宽度为 $4 \mu\text{m}$ 时串扰最小,宽度为 $3 \mu\text{m}$ 时串扰最大,即宽度有一个最佳值。最大和最小相邻与非相邻串扰分别相差 5 dB 和 10 dB 。

3.4 分析与讨论

引起串扰的原因很多,在理想的制作条件下,引起串扰的主要原因有:传输的模场与非选定波导模场之间的耦合、传输模场的边带在非选定波导中产生的模场、阵列波导之间的耦合等。

在输出波导间距 d_{ch} 比较小时,相邻的非选定波导可能处于传输模场主极大半角宽之内,这时相邻信道间的串扰很大;随着 d_{ch} 增大,相邻信道间的串扰降低。在 d_{ch} 增大到一定的值后,相邻非选定波导处于传输模场主极大的半角宽之外,此时,再增加 d_{ch} 对减少相邻信道间的串扰作用不大。非相邻波导一般处于传输模场主极大的半角宽之外,传输

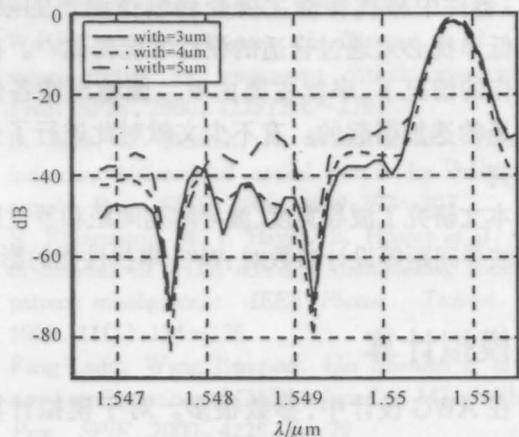


图 3 不同波导宽度时的 BPM 结果

Fig.3 BPM results for different values of width

模场的边带在非相邻波导内激发的场引起非相邻信道间的串扰。传输模场在非相邻波导内的边带强度与许多因素有关,如阵列波导数目、阵列波导间距、输出波导间距、自由光谱范围等。因此,在其他参数一定的情况下,有一个最佳的输出波导间距,使得非相邻信道间的串扰最小。

在阵列波导间距 d_g 比较小时,阵列波导之间发生耦合,影响了波导阵列中的传输相位。这种相位扰动有着随机的性质,对传输模场的边带强度影响较大^[5]。因此,对于小的 d_g 值,非相邻信道之间的串扰有可能比较大。随着 d_g 增加,阵列中波导之间的耦合减小,这种随机的相位扰动逐渐消失。此时,传输模场主极大和次极大的半角宽均随着 d_g 的增加而减小,当 d_g 增大到一定的值后,非选定波导内会出现多个传输模场的次极大,从而增加了串扰。因此,有个最佳 d_g 值,使得串扰最小。对相邻串扰和非相邻串扰来说,这个最佳值不一定相同。

在决定了折射率时,波导宽度决定了波导内模场的大小。在高斯近似和单模条件下,波导宽度为 $3\ \mu\text{m}$, $4\ \mu\text{m}$ 和 $5\ \mu\text{m}$ 时,波导内模场的束腰半径分别为 $3.7\ \mu\text{m}$, $3.5\ \mu\text{m}$, $3.6\ \mu\text{m}$ 。因此,在计算的结果中,波导宽度为 $4\ \mu\text{m}$ 时,串扰最小, $3\ \mu\text{m}$ 时,串扰最大,如图 3 所示。

4 结 论

研究表明,输出波导间距必须大于一定的值,超过此值再增加输出波导间距对减少串扰影响不大。阵列中波导间距也必须大于一定的值以减小波导间的耦合,在波导间的耦合比较小的情况下,有一个最佳的值使得串扰最小。同样,波导宽度也有一个最佳值使得串扰最小。

参 考 文 献

- 1 A. A. M. Staring, Meint K. Smit. Phased-array-based photonic integrated circuits for wavelength division multiplexing applications. *IEICE Trans. Electron.*, 1997, **E80-C(5)**:646~653
- 2 Emil S. Koteles. Integrated planar waveguide demultiplexers for high-density WDM applications. *Fiber and Integrated Optics*, 1999, **18**:211~244
- 3 Meint K. Smit, Cor van Dam. Phasar-based WDM-devices: Principles, design and applications. *IEEE J. Sel. Top. in Quantum Electron.*, 1996, **2(2)**:236~250
- 4 Christoph K. Nadler, Eberhard K. Wildermuth, Michael Lanker *et al.*. Polarization insensitive, low-loss, low-crosstalk wavelength multiplexer modules. *IEEE J. Selected Topics in Quantum Electron.*, 1999, **5(5)**:1407~1412
- 5 H. Yamada, K. Takada, Y. Inoue *et al.*. Statically-phase-compensated 10 GHz-spaced arrayed-waveguide grating. *Electron. Lett.*, 1996, **32(17)**:1580~1582