

# 耦合角度对平面波导叠加型光栅解 波分复用性能的影响\*

贾宏志 李 莉 徐 波

(上海理工大学光学与电子信息工程学院, 上海 200093)

**摘 要** 利用玻璃材料的光敏性可在平面波导中制作出具有解波分复用功能的叠加型光栅, 根据耦合模理论对这种平面波导叠加型光栅的解波分复用特性进行研究, 发现了入射角度通过改变耦合系数会对光栅的反射率和带宽产生影响; 当入射角度较大时, 单个光栅的反射率虽稍有增大, 但带宽变宽; 而在入射角度较小时尽管其反射率稍有下降, 但带宽却显著变窄. 因此在光栅设计时必须综合考虑反射率和带宽的要求以获得更好的解波分复用性能.

**关键词** 导波光学; 叠加型光栅; 波分复用; 光敏性

**中图分类号** TN252 **文献标识码** A

## 0 引言

随着互联网的普及, 人们对通信容量和通信速率需求不断提高, 而波分复用(WDM)技术作为目前解决通信网络容量危机的最佳方案, 受到了人们的日益关注. WDM 技术的发展与器件的发展密切相关, 各种 WDM 器件的出现及其快速发展推动了 WDM 技术的发展. 而利用玻璃材料的光敏性制作具有解波分复用功能的叠加型平面波导光栅则是一种较新的 WDM 器件.

所谓玻璃材料的光敏性是指某些玻璃材料受光照后其折射率会发生永久性变化. 最早人们主要利用玻璃材料的光敏性制作光纤光栅, 光纤光栅在色散补偿、光纤传感等领域有着广泛的用途<sup>[1~6]</sup>. 利用玻璃材料的光敏性同样可以在平面波导中写入光栅. 在平面波导中以微小角度间隔重叠写入光栅, 使不同波长的光以不同角度衍射, 可以制作出解波分复用器<sup>[7,8]</sup>. 利用玻璃材料的光敏性制作的平面波导叠加型光栅解波分复用器件, 具有易于集成、便于设计和制作等优点. 本文对影响平面波导叠加型光栅解波分复用器件性能的因素进行了分析. 增大光栅的耦合系数虽然可以提高光栅的反射率以致降低器件的插入损耗, 但同时也会增大光栅的反射带宽从而增大器件的通道间隔, 因此在光栅设计时必须综合考虑反射率和带宽的要求, 以获得更好的解波分复用性能. 而改变光束的入射角可以改变光栅的耦合系数, 从而对光栅的反射率和带宽产生影响: 小角度入射虽然使光栅的反射率有所降低, 但却可

以使光栅的带宽显著减小, 从而可以大大减小通道间隔.

## 1 平面波导光栅的耦合模理论分析

图 1 是一个平面波导光栅的基本结构. 对于这种周期性的介质结构, 通常采用耦合模理论得到其

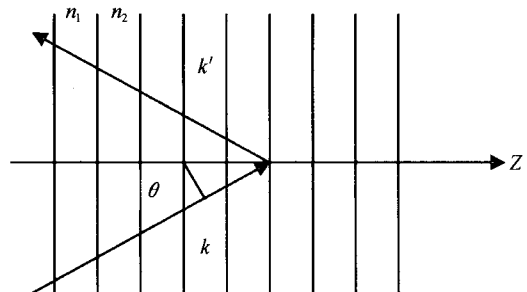


图 1 平面波导光栅结构

Fig. 1 Structure of a planar waveguide gratings

麦克斯韦方程的近似解. 平面波导光栅的耦合属于逆向耦合, 其耦合模方程为<sup>[9]</sup>

$$\frac{dA_1}{dZ} = -i\kappa A_2 e^{i\Delta Z} \quad (1)$$

$$\frac{dA_2}{dZ} = i\kappa^* A_1 e^{i\Delta Z} \quad (2)$$

式中  $A_1$  为入射光波的复振幅,  $A_2$  为反射光波的复振幅,  $\Delta\beta = \beta_1 - \beta_2 - \frac{2\pi}{\Lambda}$  称为相位失配因子,  $\beta_1$  和  $\beta_2$  分别为入射光波和反射光波的传播常量,  $\Lambda$  为光栅间距.  $\kappa$  为耦合系数, 其表示式为

$$\kappa = \begin{cases} \frac{1}{\lambda \cos \theta} \frac{\sqrt{2}(n_2^2 - n_1^2)}{\sqrt{n_2^2 + n_1^2}} & \text{(TE 波)} \\ \frac{1}{\lambda \cos \theta} \frac{\sqrt{2}(n_2^2 - n_1^2)}{\sqrt{n_2^2 + n_1^2}} \cos 2\theta & \text{(TM 波)} \end{cases} \quad (3)$$

通常取逆向耦合的边界条件为:  $Z=0$  处,  $A_1 = 1$ ;  $Z=L$  处,  $A_2 = 0$ , 得到其反射率为

\*国家自然科学基金(60207008)和上海市教委重点学科(四期)资助课题

Tel: 021-65683144 Email: hzjia@usst.edu.cn

收稿日期: 2005-04-07

$$R = \left| \frac{A_2(0)}{A_1(0)} \right|^2 = \frac{|\kappa|^2 \sinh^2 sL}{s^2 \cosh^2 sL + (\Delta\beta/2)^2 \sinh^2 sL} \quad (4)$$

### 2 模拟计算结果及分析

图 2 是文献[8]提出的平面波导叠加型光栅的结构,由于入射角度大于 45°,因此入射光和反射光在光栅的两侧. 首先对其进行了数值模拟,参量如下:  $n_1 = 1.5025, n_2 = 1.5028$ , 光栅长度  $L = 3 \text{ mm}$ , 入射角度选在  $\pm 50^\circ$  附近间隔两度, 相邻中心波长的间隔取 2 nm, 得到的结果如图 3.

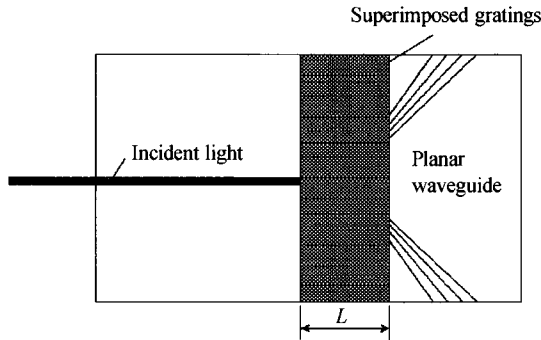


图 2 入射角度较大时平面波导叠加型光栅结构  
Fig. 2 The structure of superimposed gratings in a planar waveguide for large incident angle

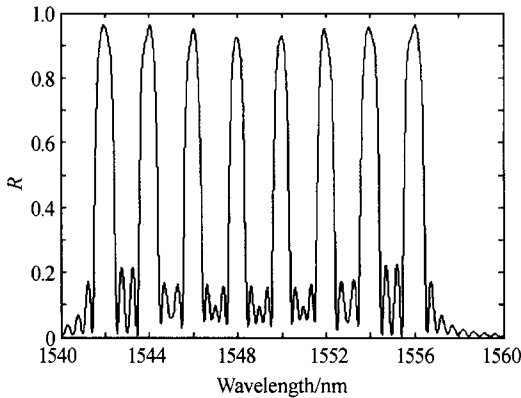


图 3 入射角度在 50°附近时叠加型光栅的反射谱(TE 波)  
Fig. 3 The superimposed gratings reflectivity spectrum near 50° angle of incident light (TE wave)

由图 3 可以看到,入射角度在 50°附近时各个光栅的半峰值带宽约为 1 nm,对于波长间隔为 2 nm 的情况,各信道间不会有串扰,但波长间隔再小时就会产生串扰. 要进一步缩小波长间隔,就必须减小每个光栅的半峰值带宽. 图 4、图 5 分别是最大反射率、半峰值带宽随入射角度变化的关系曲线. 由图 4 可以直观的看出,随着入射角度的增大,最大反射率是增大的. 从图 5 中也可以看出,随入射角度的增大,带宽的增大更加明显. 由此可见,减小入射角可以减小每个光栅的半峰值带宽.

由耦合系数的式(3)可见,平面波导光栅的耦合系数除了与折射率差  $\Delta n$  有关外,还与入射角度有关,这一点与光纤光栅不同,因为光纤光栅的入射角

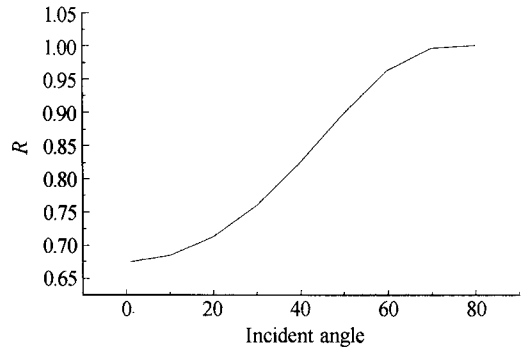


图 4 最大反射率随入射角度的变化关系曲线  
Fig. 4 The relation curve of the change of the maximal reflectivity following the change of incident angle

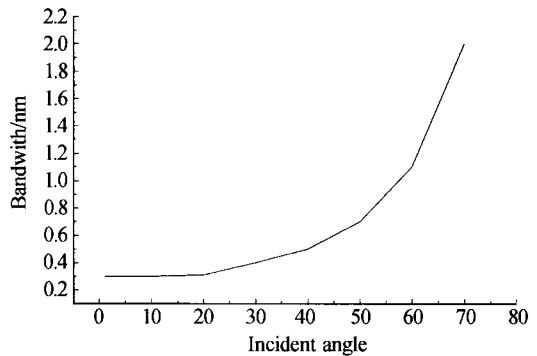


图 5 带宽随入射角度变化的关系曲线  
Fig. 5 The relation curve of the change of the bandwidth following the change of incident light

固定为零度. 改变平面波导光栅的入射角度,其实就是改变了耦合系数,从而影响了光栅的反射率和反射带宽. 写入光纤光栅时,可以通过在线监测光纤光栅的反射光谱以达到合适的反射率和带宽,但在写入平面波导叠加型光栅时,因为要在同一区域重叠写入多个光栅,无法在线监测反射率和带宽,同时为了在写入下一个光栅的过程中不影响上一个光栅,最好在写入光栅时使折射率差达到最大值,这样调整光栅的反射率和带宽的最好方法就是调整入射角度从而获得最佳的反射率和带宽匹配关系.

适当改变入射角度,将入射角度选在 20°附近,相邻波长间隔取 1 nm,其它参量与前面完全相同,此时平面波导叠加型光栅的结构如图 6,由于入射角度小于 45°,因此入射光和反射光在光栅的同一

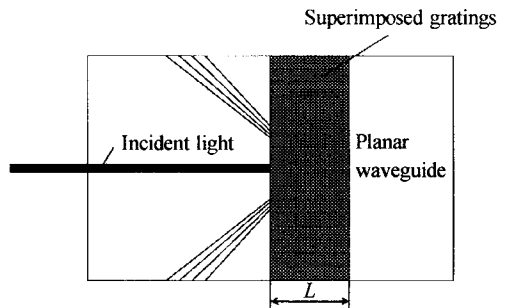


图 6 入射角度较小时平面波导叠加型光栅结构  
Fig. 6 The structure of superimposed gratings in a planar waveguide for small incident angle

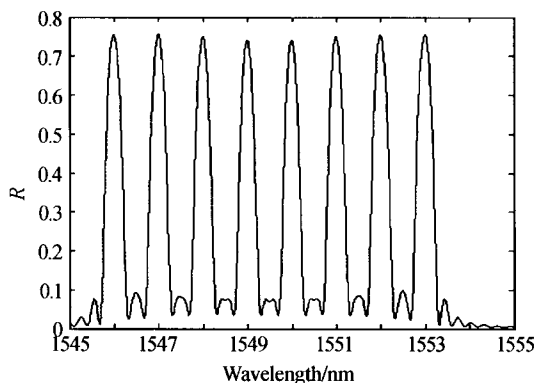


图7 入射角度在 $20^\circ$ 附近时叠加型光栅的反射谱(TE波)

Fig. 7 The superimposed gratings reflectivity spectrum near  $20^\circ$  angle of incident light (TE wave)

侧. 图7是最后得到的反射率合成图.

由图7可以看到,减小入射角度后,尽管光栅的反射率稍有下降,但其带宽却显著减小. 单个光栅的半峰值带宽只有约 $0.4\text{ nm}$ ,在信道间隔为 $1\text{ nm}$ 的情况下各信道无串扰.

### 3 结论

通过对影响平面波导叠加型光栅解波分复用器件性能的因素进行分析,发现在其它参量不变的情况下,改变入射光的入射角度会影响耦合系数从而影响光栅的峰值反射率和带宽:当入射光的入射角度较大时会增大光栅的峰值反射率,但同时也会增大带宽,从而增大解波分复用器件的通道间隔. 而适当减小入射角度尽管会减小峰值反射率,但同时也会使带宽显著减小,从而减小解波分复用器件的通道间隔,因此在光栅设计时必须综合考虑反射率和带宽的要求以获得更好的解波分复用性能. 对于平面波导叠加型光栅来说,写入时无法在线监测其反射带宽和反射率,同时为了在写入下一个光栅的过程中不影响上一个光栅,最好在写入光栅时使折射率差达到最大值,因此通过调整入射角度是获得合适的反射率和带宽的较好途径.

感谢上海理工大学光电学院学生创新基金的支持.

### 参考文献

- 1 Reid M B, Ozcan M. Temperature dependence of fiber optics Bragg gratings at low temperatures. *Opt Eng*, 1998, **37**(1):237~240
- 2 郭团, 乔学光, 贾振安, 等. 基于光纤 Bragg 光栅反射带宽展宽的的压力传感研究. 光子学报, 2004, **33**(3):288~290  
Guo T, Qiao X G, Jia Z A, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(3):288~290
- 3 杨德兴, 张鹏, 赵建林, 等. 平面波导阵列布喇格光栅及其光辐照制作方法. 光子学报, 2004, **33**(2):1433~1435  
Yang D X, Zhang P, Zhao J L, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(2):1433~1435
- 4 张自嘉, 施文康, 高侃, 等. 长周期光纤光栅(LPFGs)的谱结构研究. 光子学报, 2004, **33**(11):1308~1312  
Zhang Z J, Shi W K, Gao K, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(11):1308~1312
- 5 Hjelme D J, Bjerkan L, Neegard S, et al. Application of Bragg grating sensors in the characterization of scaled marine vehicle models. *Appl Opt*, 1997, **36**(1):328~336
- 6 曹召良, 卢振武, 李凤有, 等. 亚波长介质光栅的制作误差分析. 光子学报, 2004, **33**(1):76~80  
Cao Z L, Lu Z W, Li F Y, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(1):76~80
- 7 Othonos A, Bismuth J, Sweeny M, et al. Superimposed grating wavelength division multiplexing in Ge-doped SiO<sub>2</sub>/Si planar waveguides. *Opt Eng*, 1998, **37**(2):717~720
- 8 Fu X, Fay M, Xu J M. Supergrating wavelength-division demultiplexer in a silica planar waveguide. *Opt Lett*, 1997, **22**(21):1627~1629
- 9 Moharam M G, Gaylord T K. Rigorous coupled-wave analysis of planar grating diffraction. *J Opt Soc Am*, 1981, **71**(7):811~818

## The Influence of Coupling Angle to the Characteristics of Wavelength-division Demultiplexer Based on Planar Waveguide Supergratings

Jia Hongzhi, Li Li, Xu Bo

*College of Optical and Electronic Information Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093*

Received date: 2005-04-07

**Abstract** Utilizing the glass photosensitivity. The supergratings can be fabricated with the function of wavelength-division demultiplexing in the planar waveguide. Through the study of the demultiplexing characteristics of planar waveguide supergratings based on the theory of mode coupling, the authors found that by influencing the coupling index, the angle of incident light can affect the reflectivity and bandwidth of gratings. When the incident light angle is large, although the reflectivity of the grating becomes large slightly, the bandwidth becomes wide. When the incident angle is small, although the reflectivity decreases slightly, the bandwidth becomes narrow obviously. In order to achieve the better demultiplexing performance, the requirements of reflectivity and bandwidth must be considered synthetically when designing the supergrating.

**Keywords** Waveguide optics; Supergrating; Wavelength division multiplex; Photosensitivity



**Jia Hongzhi** was born in 1968. He received his B. S. Degree from Beijing Institute of Technology in 1990 and his Ph. D Degree from Xi'an Institute of Optics & Precision Mechanics, Academia Sinica in 2000. From 2000 to 2002, he worked in Department of Optical Science and Engineering, Fudan University as a postdoctoral. Now he works in College of optical and electronic information engineering, University of Shanghai for Science and Technology. His research interests include optical communication and waveguide gratings.