

【文章编号】 1004-1540(2009)04-0324-04

相移光纤光栅透射光谱特性研究

虞倩, 沈常宇

(中国计量学院 光学与电子科技学院, 浙江 杭州 310018)

【摘要】 基于模耦合理论, 利用传输矩阵法系统地分析了相移光纤光栅的透射谱特点. 结果表明, 相移光栅可在透射谱阻带中打开线宽极窄的一个或多个透射窗口, 通过对相移光栅在不同相移量、不同位置、不同相移个数、不同 kL 值时的传输光谱特性进行分析研究, 得到了影响其透射率以及其线宽和位置的主要因素. 这些结果将对相移光纤光栅在滤波、波分复用、光纤激光器和光纤光栅传感系统的实际制作及应用有重要的指导意义.

【关键词】 相移光纤光栅; 传输矩阵; 透射谱

【中图分类号】 TN929.11

【文献标识码】 A

Transmission spectrum of the shifted fibre bragg grating

YU Qian, SHEN Chang-yu

(Institute of Optoelectronic Technology, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: The transmission spectrum of the shifted fibre bragg grating was analyzed systematically based on the coupled-mode theory with an the transfer matrix method. It showed that in the transmission spectrum of the shifted fibre bragg grating, there was one or multiple transmission windowed with an extreme narrowing line width. The spectra characteristics of shifted fibre grating analyzed with the conditions of different phase-shift magnitude, different location of the phase-shift, different phase-shifts number and different KL of the grating. These results are useful for the producing and applications of shifted fibre bragg grating in filtering, wavelength division multiplex, fibre laser and fibre grating sensor systems.

Key words: shifted fibre bragg; transfer matrix method

相移光栅是在常规光纤布拉格光栅(FBG)的某一特定部位引入一定的相移, 产生两个相互异相的光栅, 这两个相互异相的光栅类似于波长选择 Fabry-Perot 谐振腔, 允许谐振波长的光注入

到 FBG 的阻带, 在阻带中打开一个线宽极窄的透射窗口. 相移光纤光栅具有高质量的波长选择性、插入损耗低、并且与偏振态无关, 因而在全光通信中得到重要应用. 它主要应用于窄带滤波器、波分

【收稿日期】 2009-09-06

【基金项目】 浙江省科技厅资助项目(No. 2008C21172)

【作者简介】 虞倩(1987-), 女, 浙江建德人, 硕士研究生. 主要研究方向为光纤光栅.

复用系统、和单频光纤激光器^[1-6].

1 理论分析

应用基于模耦合理论的传输矩阵法^[7-11],将光纤光栅分成 M 个小的均匀周期光栅,每一均匀段都用一 2×2 矩阵表述,然后将所有的矩阵相乘得到一个总的 2×2 矩阵来表示总光栅.

设穿过第 k 段后的电场幅度为 A_k^+ 与 B_k^+ ,因此,当得知光栅的初始边界条件 $A_0^+ = A^+(L/2) = 1, B_0^+ = B^+(L/2) = 0$ 后,就可以求得最终的反射矩阵单元幅值 $A_M^+ = A^+(-L/2)$ 与 $B_M^+ = B^+(-L/2)$. 设第 k 均匀段的传输矩阵为 T_k ,可得到经过第 k 段的幅值传输等式为

$$\begin{bmatrix} A_k^+ \\ B_k^+ \end{bmatrix} = T_k \begin{bmatrix} A_{k-1}^+ \\ B_{k-1}^+ \end{bmatrix} \quad (1)$$

传输矩阵 T_k 的表达式为

$$T_k = \begin{bmatrix} \cosh(\Omega dz) - i \frac{\zeta^+}{\Omega} \sinh(\Omega dz) - i \frac{k}{\Omega} \sinh(\Omega dz) \\ i \frac{k}{\Omega} \sinh(\Omega dz) \quad \cosh(\Omega dz) + i \frac{\zeta^+}{\Omega} \sinh(\Omega dz) \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, dz 表示第 k 均匀的长度; ζ^+ 与 k 是第 k 段的耦合常数; Ω 定义为 $\Omega = \sqrt{k^2 - \zeta^+{}^2}$, 则可以得到总矩阵的表达式为

$$\begin{bmatrix} A_M^+ \\ B_M^+ \end{bmatrix} = T_M T_{M-1} \cdots T_k \cdots T_1 \begin{bmatrix} A_0^+ \\ B_0^+ \end{bmatrix} \quad (3)$$

如图 1 所示为相移光栅,其相移矩阵 \bar{T}_k 可表示为:

$$\bar{T}_k = \begin{bmatrix} \exp\left(-\frac{i\varphi_k}{2}\right) & 0 \\ 0 & \exp\left(\frac{i\varphi_k}{2}\right) \end{bmatrix} \quad (4)$$

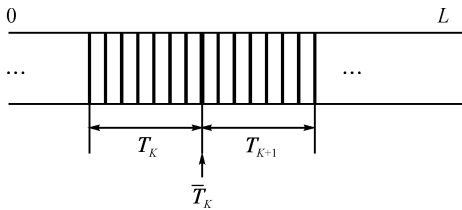


图 1 相移光栅结构示意图

Figure 1 Diagram of the phase shift grating

那么,总矩阵的表达式可写为

$$\begin{bmatrix} A_{out} \\ B_{out} \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} A_m \\ B_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_m \\ B_m \end{bmatrix} \quad (5)$$

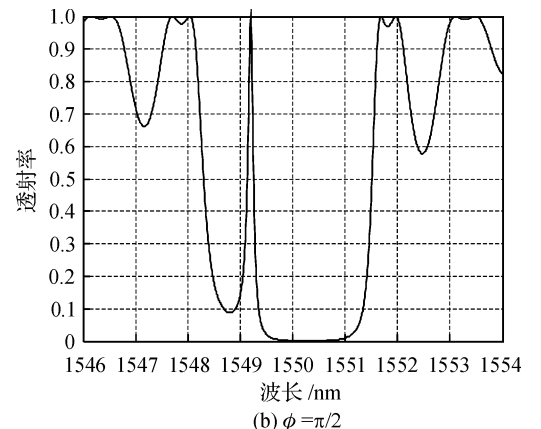
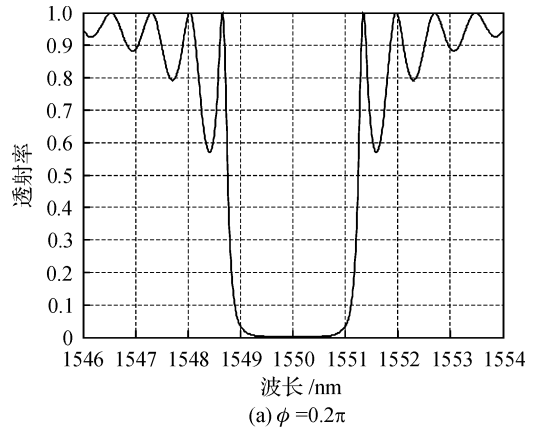
其中 $T = T_M T_{M-1} \cdots T_{k+1} \bar{T}_k T_k \cdots T_1$, 考虑初始边界条件 $A_m = 1, B_m = 0$ 后,可得相移光纤光栅的反射率和透射率:

$$R = \left| \frac{B_m}{A_m} \right|^2 = \left| \frac{T_{21}}{T_{22}} \right|^2 \quad (6)$$

$$T = \left| \frac{A_{out}}{A_m} \right|^2 = \left| T_{11} - \frac{T_{12} T_{21}}{T_{22}} \right|^2 \quad (7)$$

2 结果与讨论

1) 相移大小不同的光谱特性. 首先考虑在 $z = L/2$ 处有单个相移且假设光纤平均有效折射率为 $\bar{n}_{eff} = 1.45$, 光栅周期 $\Lambda = 500 \text{ nm}$, $kL = 4$, $\lambda_B = 1550 \text{ nm}$, 光栅长度 $L = 1 \text{ mm}$. 从图 2 可以看出,相移光栅可以在透射谱阻带中打开一个带宽及窄的透射窗口,不同的相移量在透射谱不同的位置打开透射窗口. 并且,随着相移量的增大,透射窗口逐渐向长波方向移动. 当 $\phi = \pi$ 时,窗口透射窗口正好对应布拉格波长 λ_B , 而且,以 π 为基点,相移量变大或变小相同的量时,所对应的透射窗口位置关于 λ_B 对称.



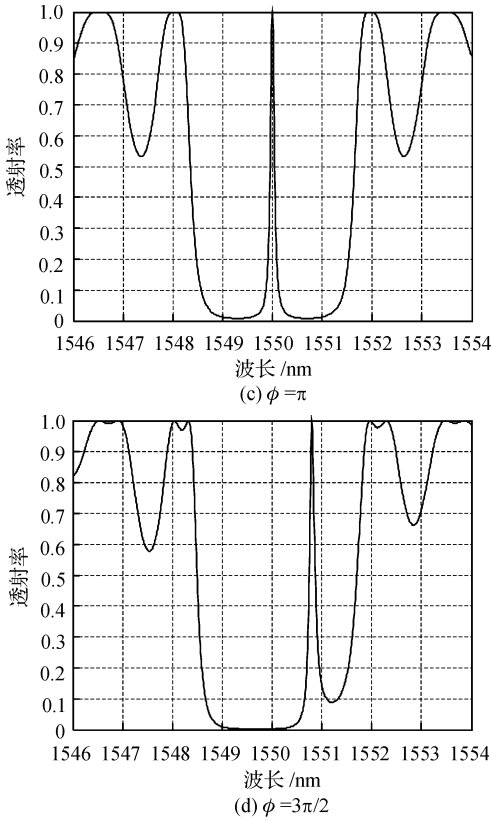


图2 光纤光栅中间插入不同相移时的透射谱
Figure 2 Transmission spectra of FBG with different phase shifts

2) 相移位置不同的光谱特性. 首先考虑相移在 $L/3$ 处时的光栅传输谱, 见图 3. 从图 4 中我们可以看到其光谱形状与相移在光栅中间时是相似的. 但是, 传输峰的透射率比相移在光栅中间时低很多. 我们还分析了相移在不同位置时的光栅传输特性. 令相移量 $\phi = 3\pi/2$ 不变, 改变相移的位置, 使它分别在 $z = L/4, z = L/3, z = 2L/5$ 处, 其透射谱如图 4 所示. 从图中我们可以看出相移的位置对透射窗口的位置没有影响, 而对透射率的影响很大, 离中心位置越远, 透射率越低.

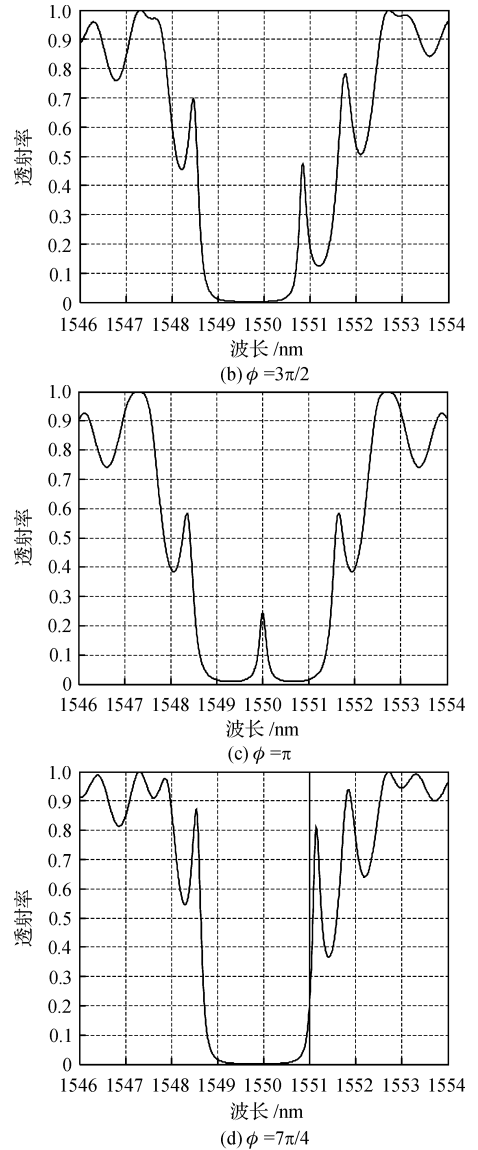


图3 不同相移在 $L/3$ 位置时光纤光栅的透射谱
Figure 3 Transmission spectra of FBG with different phase shifts at $L/3$

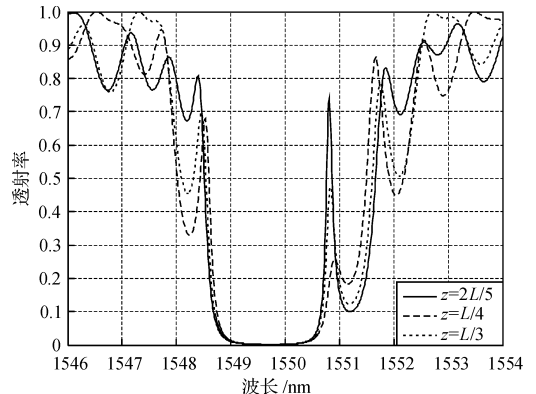
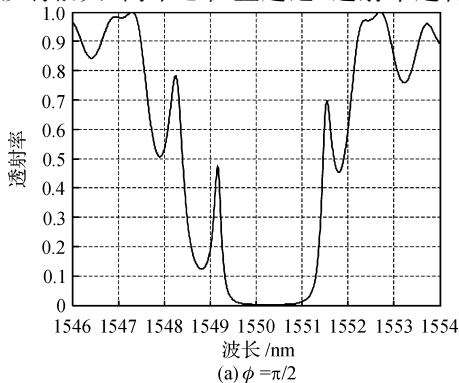


图4 相同相移在不同位置时的透射谱
Figure 4 Transmission spectra of FBG with same phase shift at different location

3) kL 值不同的传输特性. k 为传播常数,因此 kL 代表的是不同的光栅的长度. 图5所示为相移在中心为 $3\pi/2$, kL 值不同的透射光谱. 可以看出,通过改变 kL 的取值,就可以得到窗口的不同锐度. 随着 kL 值的增大,阻带宽度越来越宽,透射窗口越来越窄.

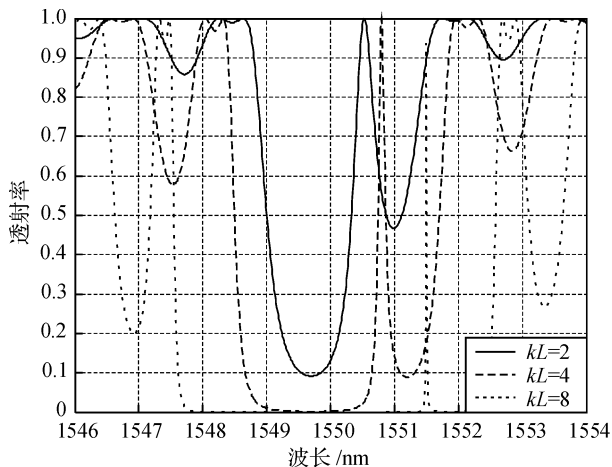


图5 不同 kL 值的光谱特性

Figure 5 Transmission spectra of FBG with different value of kL

3 结 语

运用基于耦合模理论的传输矩阵方法分析了相移光纤光栅的传输光谱特性. 结果表明单相移量的大小影响透射波长的输出,其相移量的大小与输出波长具有良好的线性关系,相移光纤光栅能在反

射阻带中打开一个或几个透射窗口,且窗口的位置和线宽可以通过相移大小,相移的位置来进行调整. 单个相移量放置的位置不影响波长的输出,但影响窗口的通透率以及线宽. 因此,可以根据不同的需要设计具有不同反射谱响应的相移光栅.

【参 考 文 献】

- [1] MELLONI A, CHINELLRO M, MARTINELLI M. All-optical switching in phase-shifted fiber bragg grating[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2000,12(1):42-44.
- [2] GOVIND P, Agrawal and stojan radic. phase-shifted fiber bragg gratings and their application for wavelength demultiplexing [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 1994,6(8):995-997.
- [3] 鲁韶华,许 鸥,董小伟,等. 啁啾相移光纤光栅的反射谱特性[J]. 中国激光,2008,35(4):577-581.
- [4] 赵东晖,样秀峰,刘志国,等. 相移光纤光栅特性分析及其应用[J]. 光电子·激光,1998,9(3):870-872
- [5] 黄 娟,姜德生,周次明,等. 相移光纤光栅的反射光谱特性及应用[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版),2005,27(5):66-69.
- [6] 冯春媛,金永兴,金尚忠,等. 聚合物光纤光谱损耗特性的研究[J]. 中国计量学院学报,2004,15(3):206-209.
- [7] 余华清,姜向东. 相移光纤光栅分析方法的比较研究[J]. 激光与红外,2005,35(5):352-355.
- [8] 毕卫红,张 闯. 光纤 Bragg 光栅的反射特性研究[J]. 传感器技术,2003,22(8):18-20.
- [9] 肖永良. 相移光纤光栅光谱特性分析[J]. 科学技术与工程,2008,8(9):2462-2476.
- [10] 饶云江,王义平,朱 涛. 光纤光栅原理及应用[M]. 北京:科学出版社,2006,110-123.
- [11] 李 川,张以谟,赵永贵,等. 光纤光栅:原理、技术与传感器应用[M]. 北京:科学出版社,2005:79-102.