

文章编号: 1001-3806(2002)02-0106-02

光纤光栅的长度对其峰值反射率的影响*

夏光琼^{1,2} 吴正茂^{1,2} 陈建国¹

(¹四川大学光电系,成都,610064) (²西南师范大学物理系,重庆,400715)

摘要: 利用耦合模理论,数值分析了当光纤光栅(FBG)折射率变化为均匀分布、直流切趾高斯分布时,光纤光栅长度对其峰值反射率的影响。研究结果对光纤光栅外腔半导体激光器的设计和性能优化具有重要的意义。

关键词: 光纤光栅;峰值反射率;长度

中图分类号: TN253 **文献标识码:** A

Effect of the fiber grating length on its peak reflectivity

Xia Guangqiong^{1,2}, Wu Zhengmao^{1,2}, Chen Jianguo¹

(¹ Department of Optoelectronics, Sichuan University, Chengdu, 610064)

(² Department of Physics, Southwest Normal University, Chongqing, 400715)

Abstract: Based on the coupled mode theory, the effect of the fiber grating length on its peak reflectivity has been studied for a uniform grating and a DC-apodized Gaussian grating. The obtained results are important for a fiber grating external cavity semiconductor laser.

Key words: fiber grating; peak reflectivity; length

引言

近几年来,基于光纤光栅的各种器件因其在光纤通信和光纤传感领域具有广阔的应用前景,因而倍受国内外学者的关注^[1~4]。就光纤通信而言,密集波分复用(DWDM)是其主要发展方向,这对作为发射光源的半导体激光器提出了很高的要求,即要求它发射波长稳定、准确、线宽窄。目前,光纤通信领域中最常用的发射光源是分布反馈(DFB)半导体激光器,虽然它在稳态下单频特性很好,但是波长的准确控制比较困难,且在高速调制下线宽展宽比较严重。而光纤光栅半导体激光器相比于DFB激光器在这些方面均具有较优越的性能,因而有望成为未来DWDM系统的首选光源。

图1为光纤光栅外腔半导体激光器的结构示意图。由于光纤光栅峰值波长上的强反馈,其发射波长被锁定在光纤光栅反射谱峰值波长上。从图中可知,光是直接通过光纤输出的,因而光纤光栅的反射

率不能太高,至于具体是多少为最佳,则取决于器件本身的特性及运行参数,这就存在峰值反射率的选取问题。而光纤光栅的峰值反射率是由光纤光栅的折射率变化周期、折射率变化量、以及光栅的长度决定的。基于以上考虑,我们将从理论上就光纤光栅折射率变化为均匀分布、直流切趾高斯分布时,光纤光栅长度对其峰值反射率的影响进行研究。

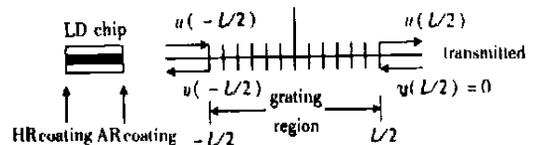


Fig. 1 Schematic of a fiber grating external cavity semiconductor laser

1 理论

人们在研究波在周期性介质中的传播问题大多采用耦合模理论。光纤光栅的工作原理类似于DFB半导体激光器,也可采用耦合模理论进行研究^[3]。光纤光栅是用空间变化的紫外光照射光纤形成的。假定形成光栅的结果仅是对研究的光纤导模折射率的一种微扰,因而对于一长度为L的光纤光栅(如图1所示),其折射率分布可表示为:

$$n(z) = n_0 \{ 1 + \epsilon(z) + 2h(z) \cos[2\pi z/\Lambda + 2\pi \phi(z)] \} \quad (1)$$

式中, n_0 为纤芯原折射率, $\epsilon(z)$ 为本地平均折射率

* 高等学校骨干教师资助计划项目、重庆市信息产业发展基金和重庆市科委项目。

作者简介:夏光琼,女,1970年10月出生。教授。从事激光与非线性光纤光学方面的研究。

收稿日期:2001-01-15;收到修改稿日期:2001-04-24

改变率, $2h(z)$ 为折射率变化的条纹可见度, 为光栅周期, 表征光纤光栅的啁啾。当不随 z 变化时(无啁啾情况), 布喇格反射波长 $\lambda_B = 2n_0\Lambda$ 。

$\Lambda(z)$ 和 $h(z)$ 均为远小于 1 的数, 因而等式右边第 2 和第 3 项均可看成微扰项。

光在光纤光栅中传输的波动方程为:

$$d^2 E/dz^2 + [n(z) - (k_0 n_0)^2] E = 0 \quad (2)$$

式中, $k_0 = 2\pi/\lambda$, $k = k_0 z$, $\lambda = n_0 2\Lambda$, 是入射光波长。定义入射光波长与布喇格反射波长的失谐量

$\delta = \lambda_B/\lambda - 1$, 结合(1), (2)两式, 并利用条件 $\delta \ll 1$ 和 $h(z) \ll 1$ 可得:

$$d^2 E/dz^2 + [1 + 2(\delta + h(z)) + 2h(z)\exp(i\delta z) + 2h(z)\exp(-i\delta z)] E = 0 \quad (3)$$

式中, $\delta = 2\pi(\lambda_B/\lambda - 1)$, 考虑到光栅中同时存在前向(+z 方向)和后向(-z 方向)传播的波, 因而电矢量可表示为: $E = a_+ \exp(i\delta z) + a_- \exp(-i\delta z)$ (4)

把(4)式代入(2)式并利用慢变振幅近似可得:

$$i(d a_+/dz) \exp(i\delta z) - i(d a_-/dz) \exp(-i\delta z) + [(\delta + h(z)) + h(z)\exp(i\delta z) + h(z)\exp(-i\delta z)] \times [a_+ \exp(i\delta z) + a_- \exp(-i\delta z)] = 0 \quad (5)$$

在(5)式中再令代换 $a_+ = u(z) \exp(i\delta z)$ 和 $a_- = v(z) \exp(-i\delta z)$, 化简后令 $\exp(i\delta z/2)$ 和 $\exp(-i\delta z/2)$ 系数项分别相等, 最后可得前向和后向传播波振幅的耦合模方程:

$$\begin{aligned} du/dz &= i[h(z) + \delta - d/dz] u + hv \\ dv/dz &= -i[h(z) + \delta - d/dz] v + hu \end{aligned} \quad (6)$$

定义 $r = v/u$, 则 $r = v/u - u/v/u^2$, 代入(6)式可得:

$$dr/dz = -i[h(z) + 2(\delta - d/dz)r + hr^2] \quad (7)$$

光栅的反射率 $r_g = r(-L/2)$, 利用(7)式从 $L/2$ 到 $-L/2$ 积分, 并根据边界条件 $r(L/2) = 0$, 在给定光栅的各参量条件下, 通过计算机数值求解可得到不同入射波长下光栅的反射率 r_g , 从而求得光栅的强度反射率 $R_g = |r_g|^2$, R_g 的最大值即为光栅的峰值反射率 R_p 。

2 结果与讨论

以下就两种常用的光纤光栅(均匀光栅和直流切趾高斯型光栅), 分析其长度对峰值反射率的影响。为了简便, 此处就只就无啁啾的光纤光栅进行讨论。均匀光栅的折射率分布为:

$$n(z) = n_0 [1 + 2h_0 \cos(2\pi z/\Lambda)] \quad (8)$$

式中, h_0 为常数。直流切趾高斯型光纤的折射率分

布为:

$$n(z) = n_0 \left\{ 1 + 2h_0 \exp\left[-\frac{z^2}{(L/3.33)^2}\right] \cos\frac{2\pi z}{\Lambda} \right\} \quad (9)$$

(9)式描述的光纤光栅其 $h(z)$ 的半极大全宽度为光栅长度 L 的一半。两种光栅的折射率变化如图 2 所示, 其中, 图 2a 表示均匀光栅折射率分布, 图 2b 为直流切趾高斯光栅折射率分布。

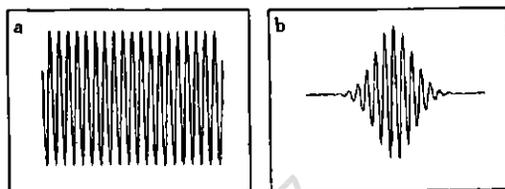


Fig. 2 Schematic of refractive index distribution

图 3 中给出了两种光栅的峰值反射率随光栅长度的变化曲线, 其中曲线 a, b 分别对应均匀分布光栅、直流切趾高斯分布光栅。作图中所用数据为:

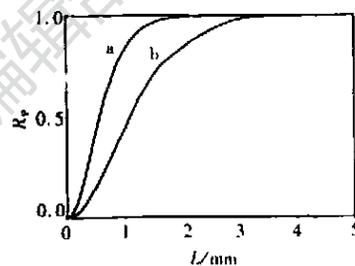


Fig. 3 Variation of the peak reflectivity with the fiber grating length

$\lambda_B = 1550.5 \text{ nm}$, $n_0 = 1.44$, $h = 0.00027$ 。从图中可以看出, 随着长度的增加, 峰值反射率逐渐增大, 均匀光栅增长速度比直流切趾高斯型光栅增长速度快。在实际应用过程中, 可根据不同的需要选择光栅的长度。当光纤光栅用作滤波器时, 此时要求光栅的峰值反射率要尽可能的大, 因而须选择长度较长的光栅。对于我们给定的两种光栅, 当均匀分布光栅的长度为 2mm、直流切趾高斯分布光栅的长度为 3.2mm 时就能实现峰值反射率为 1。而当光纤光栅用作外腔半导体激光器的反馈元件时, 由于光是从光纤端输出, 考虑器件输出功率及边模抑制比的要求, 因而其峰值反射率通常设计在 0.5 ~ 0.9 之间^[4]。在实际设计中, 可根据我们对其输出功率和边模抑制比的要求来确定光栅的峰值反射率, 然后利用本文的结果来确定所应选择的光纤光栅长度。

参 考 文 献

[1] Giles C. J Lightwave Technol, 1997, 15(8): 1391 ~ 1404.
 [2] Carballar A, Muriel M, Azana J. IEEE Photon Technol Lett, 1999, 11(6): 694 ~ 696.
 [3] McCall M. J Lightwave Technol, 2000, 18(2): 236 ~ 242.
 [4] Cheng W, Chiu S, Hong C et al. Opt & Quantum Electron, 2000, 32: 339 ~ 348.