

文章编号: 0258-7025(2002)12-1093-03

掺镱相位位移光纤光栅的全光开关

郭 勇, 黄永清, 陈 雪, 任晓敏

(北京邮电大学电信工程学院, 北京 100876)

提要 阐述了光纤光栅实现光开关的原理。从结构和材料两方面着手, 采用掺镱的相位位移光纤光栅来降低对光功率的要求。应用传输矩阵法计算了相位位移光纤光栅的透射特性, 表明相位位移光纤光栅用于光开关可降低光功率的要求。计算了不同抽运光功率下的消光比, 结果表明利用掺镱的相位位移光纤光栅可以实现低抽运光功率的全光开关。

关键词 相位位移, 掺镱光纤光栅, 全光开关, 非线性

中图分类号 TH 744 **文献标识码** A

All-optical Switching in Yb-doped Phase-shifted Fiber Bragg Grating

GUO Yong, HUANG Yong-qing, CHEN Xue, REN Xiao-min

(School of Telecom. Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunication, Beijing 100876)

Abstract The principle of all-optical switching in fiber Bragg grating (FBG) is illustrated. Yb-doped phase-shifted FBG is adopted to decrease the need for the power of pump from the aspects of structure and material. The transmittivity of phase-shifted FBG is computed using the method of transfer matrix. The result shows the availability of decreasing the power of pump by using the phase-shifted FBG. The extinction ratios are computed under different pump powers. Theoretically, low power all-optical switching in phase-shifted FBG is promising.

Key words phase-shifted, Yb-doped FBG, all-optical switching, nonlinearity

1 引 言

光开关是未来的光网络实现动态的路由选择的基本器件, 理想的光开关应该是调制和波长透明的, 具有低损耗、低开关功率和高可靠性等特点。采用光纤光栅可以实现光开关^[1], 其原理是利用光纤光栅的非线性, 通过抽运光的非线性效应来改变光纤的有效折射率, 进而改变光纤光栅的反射波长, 从而达到对信号光的开关。它还具有一些独特的优点: 插入损耗低、可调谐、体积小等。由于光纤本身的非线性系数比较小, 所以要求开关功率比较高, 因此降低光纤光栅光开关的开关功率是当务之急。

光纤光栅光开关所采用的光栅有普通的光纤光栅、长周期光纤光栅^[2]及相位位移光纤光栅^[3]。其中相位位移光栅利用了较陡峭的反射特性曲线, 反

射和透射比随波长变化比较敏感。另外还可以对光纤进行有效的掺杂如铒、镱等稀土元素。这些掺杂引起的非线性效应的增强在理论上和实验上都有报道, 而掺杂对光栅赖以形成的光敏特性没有影响。Chu 等利用掺铒光纤来提高光纤的非线性在双芯的掺铒光纤中实现光开关^[4]。Janos 等利用普通的光纤光栅掺杂 Yb₂O₃ 来提高非线性, 实现了较低的抽运(980 nm, 20 mW)下 63% 的调制深度^[5]。张远程、张颖利用在一段掺铒光纤上制作一对光栅来实现光双稳, 计算结果显示可以实现微瓦级的光双稳运转^[6]。以上的结果都说明了掺杂可以有效地提高光纤的非线性。

由此想到可以利用掺杂的相位位移光纤光栅来进一步降低光开关所需抽运光功率。我们选用掺镱

收稿日期: 2001-09-10; 收到修改稿日期: 2001-12-26

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 60077027)资助项目。

作者简介: 郭勇(1974—), 男, 黑龙江省人。现在北京邮电大学光通信中心攻读博士学位, 主要研究领域为光通信器件。

E-mail: guoybupt@263.net

的光纤光栅, 如果选用掺铒的光纤光栅, 由于 Er^{3+} 在 1550 nm 处有共振跃迁, 信号光可能会因抽运光而产生一定的增益, 并且信号光也会使处于亚稳态的粒子数减少, 从而使器件的性能恶化。由于 Yb^{3+} 引起的非线性增强远离任何共振跃迁, 并且不会对波长大于 1100 nm 的信号光产生增益^{17,81}。

2 实验装置及原理

实验装置如图 1 所示。980 nm 抽运光和信号光耦合进四分之一相位位移光纤光栅, 通过抽运光

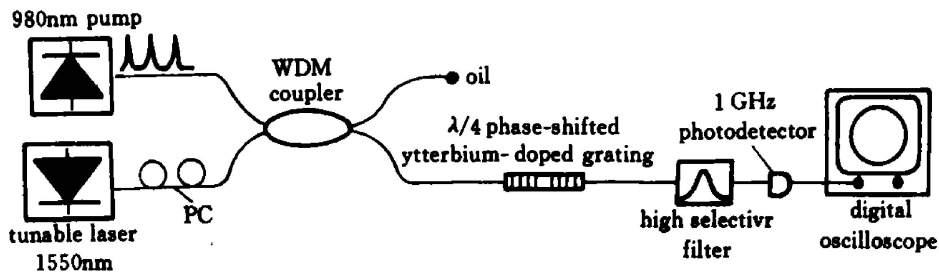


图 1 实验装置

Fig. 1 Experimental setup

引起的折射率变化来改变布拉格波长, 从而实现对信号光的开关作用。信号光经光探测器、滤波器输入到数字示波器, 通过示波器的输出波形可以观察光开关的作用。选择 980 nm 的光作为抽运光是因为 980 nm 对应 Yb^{3+} 从基态 ($^2F_{7/2}$) 到亚稳态 ($^2F_{5/2}$) 的跃迁, 在吸收介质中的吸收中心波长附近折射率会发生很大变化, 而折射率的变化在远离吸收中心的光通信波段也是非常大的, 折射率的变化与吸收的关系可以通过克喇末-克朗尼格(Kramers-Kronig)关系求得。

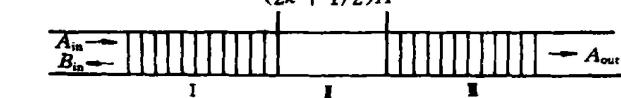


图 2 四分之一波长相位位移光纤光栅

Fig. 2 $\lambda/4$ phase-shifted fiber Bragg gratings

相位位移光纤光栅频谱特性曲线采用传输矩阵法计算获得。所谓传输矩阵法是指把光纤光栅分成一些具有相同传输特性的部分。而总的传输特性由各部分的传输矩阵相乘获得。以四分之一波长相位

$$\begin{bmatrix} A_{in} \\ B_{in} \end{bmatrix} = T_{iv} T_{\oplus} T_{\ominus} \begin{bmatrix} A_{out} \\ B_{out} \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} A_{out} \\ B_{out} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$T = T_{iv} T_{\oplus} T_{\ominus}$$

$$T_{iv} = \begin{bmatrix} \cosh(\Omega_1) - i \frac{\zeta}{\Omega} \sinh(\Omega_1) & -i \frac{\kappa}{\Omega} \sinh(\Omega_1) \\ i \frac{\kappa}{\Omega} \sinh(\Omega_1) & \cosh(\Omega_1) + i \frac{\zeta}{\Omega} \sinh(\Omega_1) \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$T_{\oplus} = \begin{bmatrix} \exp(i\beta_2) & 0 \\ 0 & \exp(-i\beta_2) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$T_{\ominus} = T_{iv}$$

位移光纤光栅为例, 如图 2 所示。由传输矩阵法有¹⁹⁾ l_1, l_2 分别为 iv 部分和 \oplus 部分的长度; 这里考虑简单情况: iv 部分和 \ominus 部分完全相同; 其中 $\Omega = \sqrt{\kappa^2 - \zeta^2}$; $\zeta^+ = \delta_t + \zeta$; $\delta_t = 2\pi n_{eff}(1/\lambda - 1/\lambda_B)$ 为失谐系数; $\zeta = \frac{2\pi}{\Lambda} \delta n_{eff}$, δn_{eff} 为光纤光栅周期平均的直流折射率变化; $\kappa = \kappa^* = \frac{\pi}{\Lambda} s \delta n_{eff}$, s 为光纤光栅的可见度; $\delta n_{eff} = \delta n_{eff} \left| 1 + s \cos \left| \frac{2\pi}{\Lambda} z + \varphi(z) \right| \right|$, Λ 为光栅周期; $\lambda_B = 2n_{eff} \Lambda$ 。

由上述公式出发, 我们计算了四分之一相位位移光纤光栅在 $\kappa = 2$ 时的透射曲线(如图 3 所示)。

归一化频率 $\frac{\delta_t}{\kappa} - 1 \sim +1$ 原本对应着没有相位位移的光纤光栅的禁带, 但现在中间出现了一个较窄的通带。从图 3 可以得到结论, 如果利用这个陡峭的通带, 相位位移光纤光栅用来实现光开关要求移动的波长要小很多, 但同时光栅的不稳定性对器件的影响也越大(主要是温度的敏感性), 为了保证器件的性能需要对光栅加温控装置。

通带的中心对应布拉格波长, $\lambda_B = 2n_{eff} \Lambda$ 。所以全光开关的实现是靠抽运光来改变 n_{eff} , 从而改变布拉格波长来实现的。而相位位移等于波矢乘以光程为 $2\pi n_{eff} l_2 / \lambda_B$, 由 $\lambda_B = 2n_{eff} \Lambda$ 和 $l_2 = (2k +$

$1/2$) Λ 可以得到, 对布拉格波长来说相位位移是和折射率无关的, 即保持四分之一波长相位位移。所以, 上面的特性曲线形状不会发生变化。只是中心发生移动而已。光开关即是通过光致折射率变化来达到开关的作用。对光纤掺镱即是为了减少对光功率的要求。

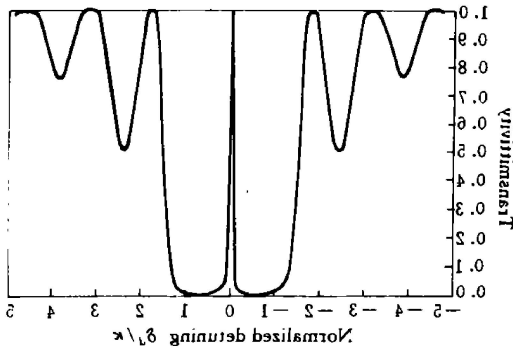


图 3 四分之一波长相位位移光纤光栅的透射特性曲线
Fig. 3 Calculated transmission response of the $1/4$ phase-shifted fiber Bragg gratings

3 计算结果

对掺镱相位位移光纤光栅的开关实现进行模拟, 采用与图 3 一样的参数, 即 $Q = 2$ 。光纤掺杂为 0.2 wt.-% 的 Yb_2O_3 , 在此掺杂浓度下, 在 1.55 μm 波段处取 $n_2 = 2.1 \times 10^{-15} m^2/W^{[7]}$ 。 $n_{eff} = n_0 + n_2 I$, n_0 为线性折射率, n_2 为非线性折射率系数, I 为引起折射率变化的光强度, 即为本文中的抽运光的强度, n_2 取抽运光在 1.55 μm 波段处的值。光纤的芯径取 5 μm 。

首先计算在不同抽运光功率下的消光比, 图 4 的三条曲线分别对应: 信号光与抽运光的偏振方向一致、偏振方向相互垂直、信号光和抽运光的偏振均匀分布。

从图 4 可以看出, 如果抽运光和信号光的偏振方向不一致, 获得同样的消光比需要更大的抽运功率, 而偏振一致的情况下需要的抽运功率则是最小的, 而实际情况则是信号光和抽运光的偏振在光纤横界面内均匀分布, 实际情况的曲线介于以上两种情况之间。从图 4 可以看出消光比首先是随着光功率的增加而减小, 达到最低点之后随着光功率的增加而增加, 这可以从图 3 推得, 当没有抽运光时, 信号光处于中心通带, 随着抽运光功率的增加, 信号光进入了禁带, 当抽运光功率进一步增大, 信号光又进入了通带, 这是和非相位位移光纤光栅的不同之处,

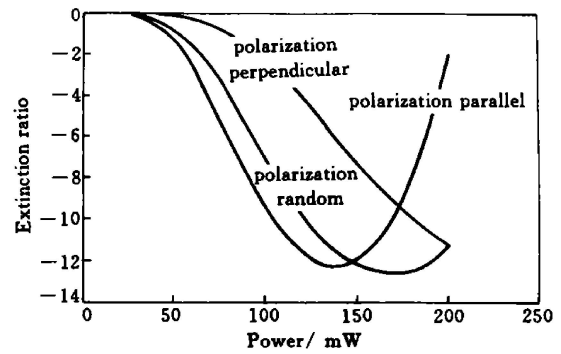


图 4 不同功率下的消光比
Fig. 4 Extinction ratios under different power

普通的光纤光栅因为只有一个通带, 所以消光比是随着光功率的增大而减小的。这也就要求合适地选择抽运光的功率, 尤其是考虑到光的偏振。从图 4 可以看出抽运光的功率选择在 100~200 mW 之间对上述的三条曲线都有比较好的消光比。

参 考 文 献

- 1 C. M. de Sterke, N. G. R. Broderick, B. J. Eggleton *et al.*. Nonlinear optics in fiber gratings [J]. *Opt. Fiber Technol.*, 1996, **2**(3): 253~268
- 2 B. J. Eggleton, R. E. Slusher, J. B. Judkins *et al.*. All-optical switching in long-period fiber gratings [J]. *Opt. Lett.*, 1997, **22**(12): 883~885
- 3 Andrea Melloni, Marco Chinello, Mario Martinelli. All-optical switching in phase-shifted fiber Bragg grating [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2000, **12**(1): 42~44
- 4 P. L. Chu, B. Wu. Optical switching in twin-core erbium-doped fibers [J]. *Opt. Lett.*, 1992, **17**(4): 255~257
- 5 M. Janos, J. Arkwright, Z. Brodzeli. Low power nonlinear response of Yb^{3+} -doped optical fiber Bragg gratings [J]. *Electron. Lett.*, 1997, **33**(25): 2150~2151
- 6 Zhang Yuancheng, Zhang Ying. Optical bistability devices with fiber-optical gratings [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1998, **A25**(9): 809~812 (in Chinese)
- 7 J. W. Arkwright, P. Elango, T. W. Whitebeard *et al.*. Nonlinear phase change at 1310 nm and 1545 nm observed far from resonance in diode pumped ytterbium doped fibre [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1996, **8**(3): 408~410
- 8 M. J. F. Digonnet, R. W. Sadowski, H. J. Shaw *et al.*. Contribution of UV transition to the strong third order nonlinearity of doped fibres [C]. *SPIE*, 1996, **2481**: 183~188
- 9 A. Othonos, K. Kalli. Fiber Bragg Gratings [M]. Artech House, Jan 1, 1999