

取样光纤布拉格光栅*

瞿荣辉 丁浩 赵浩 方祖捷

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

倪国权 翟华金

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 量子光学开放实验室, 上海 201800)

摘 要 用传输矩阵法从理论上计算了取样光纤布拉格光栅的反射(传输)谱特性, 提出了几种提高其谱特性的调制方案。用取样掩模版一次成栅的方法首次获得了波长间隔为 0.8 nm 和 1.6 nm 的取样光纤布拉格光栅。

关键词 取样光纤布拉格光栅, 掩模版, 传输矩阵。

光纤布拉格光栅因其具有极好的波长选择性以及与光纤系统天然的兼容性, 在现代光通信和光传感领域中, 单纯的均匀光纤光栅已经有着极其广泛的应用。随着紫外光写栅技术的迅速发展, 各种非均匀周期光纤光栅、变迹或各种结构的调制的光纤光栅呈现出不同的反射谱特性, 由这些特殊结构的光栅构成的新型光子学器件在现代大容量高速率波分复用(WDM)光纤通信网中有着很好的应用前景^[1, 2]。它们的制作和应用研究也不断地提高和深入。

取样光纤布拉格光栅是对均匀光栅按照一定的规律在空间上进行采样, 如图 1 所示。取样函数是周期为 L_A 、采样率 $R = L_B/L_A$ 的矩形函数, L_B 为取样长度。依照耦合模理论, 光栅折射率分布的空间特性决定了光栅的光谱响应, 其空间频谱的每一个傅里叶分量决定了反射

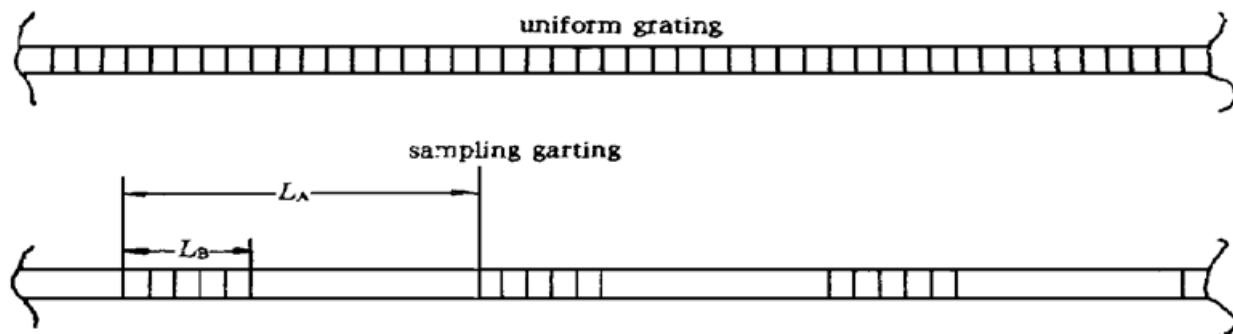


Fig. 1 Schematic show of sampling grating structure

* 国家自然科学基金(69577020)、上海市应用物理中心基金资助课题。

收稿日期: 1997-08-07; 收到修改稿日期: 1998-02-12

谱中对应的反射峰。经过如图 1 的矩形函数采样的光栅区折射率分布可以表示为:

$$\begin{aligned} \Delta n = & \Delta n_0 \left[\frac{2L_B}{L_A} + \sum_{m=-\infty}^{\infty} \left[\frac{2}{m\pi} \sin \left(\frac{m\pi L_B}{L_A} \right) \cos \left(\frac{2m\pi z}{L_A} \right) \right] \right] \left[\cos \left(\frac{2\pi z}{\Lambda} \right) + 1 \right] = \\ & \Delta n_0 \frac{2L_B}{L_A} + \Delta n_0 \frac{2L_B}{L_A} \cos \left(2\pi \frac{z}{\Lambda} \right) + \Delta n_0 \sum_{m=-\infty}^{\infty} \left[\frac{2}{m\pi} \sin \left(\frac{m\pi L_B}{L_A} \right) \cos \left(2m\pi \frac{z}{L_A} \right) \right] + \\ & \Delta n_0 \sum_{m=-\infty}^{\infty} \frac{1}{m\pi} \sin \left(\frac{m\pi L_B}{L_A} \right) \left[\cos \left(2\pi \frac{z}{\Lambda_+} \right) + \cos \left(2\pi \frac{z}{\Lambda_-} \right) \right] \end{aligned} \quad (1)$$

(1) 式说明反射峰出现的位置分别是波长为 $\lambda_B = 2n_{\text{eff}}\Lambda$, $\lambda_+ = 2n_{\text{eff}}\Lambda_+$ 和 $\lambda_- = 2n_{\text{eff}}\Lambda_-$ 的地方, 其中考虑级次较低傅里叶分量时

$$\Lambda_+ = \Lambda \frac{L_A}{L_A - m\Lambda} \approx \Lambda(1 + m\Lambda/L_A), \quad \Lambda_- = \Lambda \frac{L_A}{L_A + m\Lambda} \approx \Lambda(1 - m\Lambda/L_A)$$

由此可以看到取样光纤光栅的反射谱出现周期性的反射峰, 并且波长间隔满足

$$\Delta\lambda = n_{\text{eff}} \frac{2\Lambda^2}{L_A} = \frac{\lambda_B^2}{2n_{\text{eff}}L_A}$$

式中 λ_B 为均匀光栅布拉格波长, Λ 为相位版周期。选用合适的 L_A 值, 可方便地使自由光谱范围在亚纳米到几个纳米之间变化, 这是用其他办法难以实现的。

用传输矩阵法^[3, 4] 计算得到了这种取样光纤布拉格光栅的反射谱。计算中光栅总长度为 2 cm, 光栅耦合系数为 650 m^{-1} , 整个光栅被等分成 20 段, 即 $L_A = 2 \text{ cm}/20$ 。从图 2 可以看出, 其反射(传输)光谱呈现出周期性高反峰(吸收谷), 并且具有以下几个特点: 1) 采样率越低反射峰的均匀性越好, 如图 2(a) 所示; 2) 对于采样率较大的采样光栅, 反射峰随着其波长

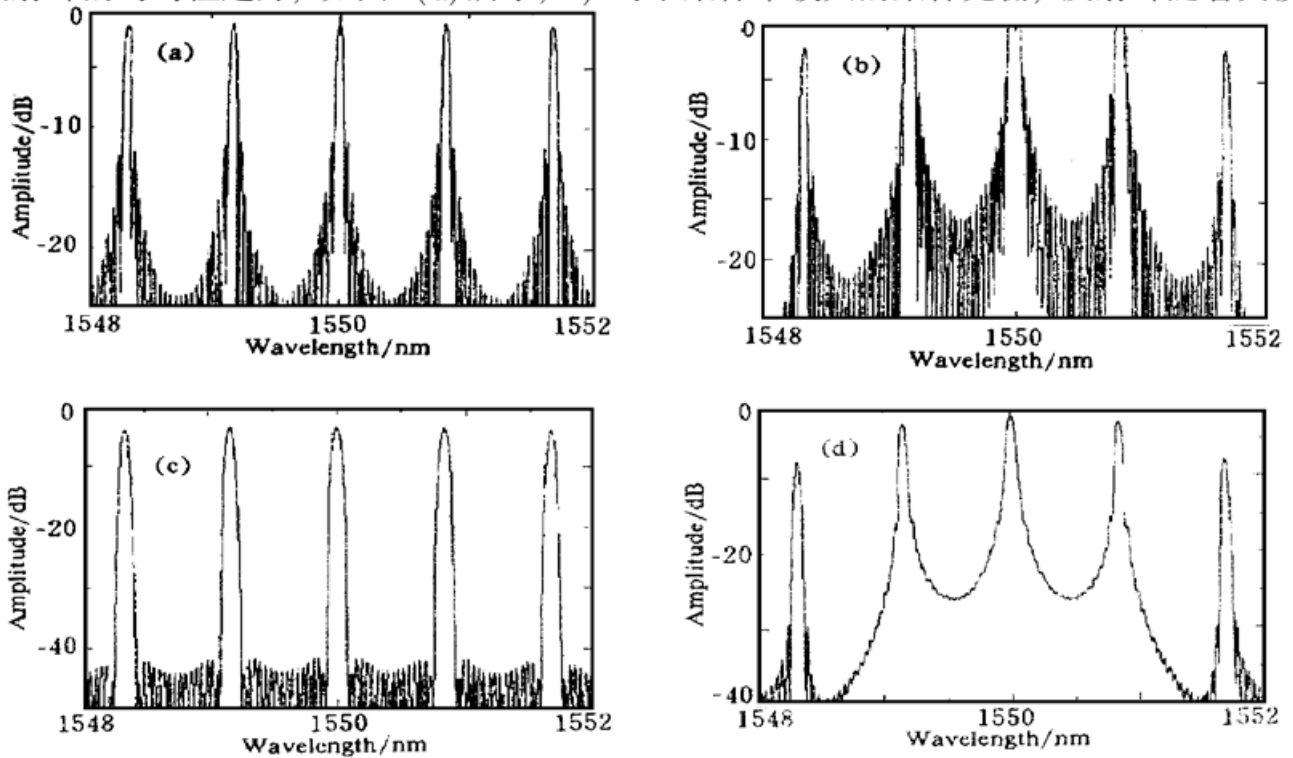


Fig. 2 Reflection spectra of sampled coupling coefficient fiber gratings. (a) With sampling ratio of 1/10; (b) With sampling ratio of 3/8; (c) With sampling ratio of 1/10 and the coupling coefficient is simultaneously modulated by the rise cosine function, (d) With sampling ratio is modulated by linear function

远离布拉格波长而迅速下降，如图 2(b) 所示；3) 每一个反射峰的旁瓣可以采用耦合系数调制的办法来加以抑制，图 2(c) 是用升余弦函数在整个光栅长度范围内对耦合系数进行调制的结果；4) 每一个反射峰的旁瓣还可以用采样率调制的办法来加以平滑，图 2(d) 是在整个光栅长度范围内使采样率 $R = n/40$, ($n = 1 \cdots 20$) 进行调制的结果。

图 3 和图 4 分别是用取样掩模版和均匀周期相位版叠加一次成栅的办法制作取样光纤布

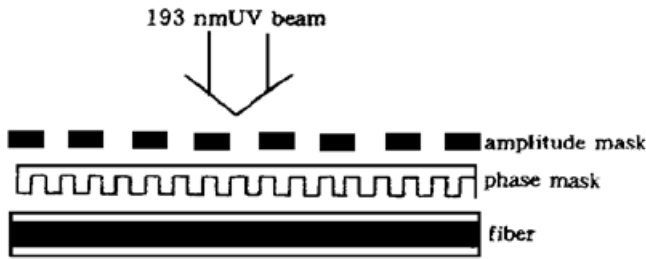


Fig. 3 Scheme of experimental setup

拉格光栅的实验装置示意图和制备得到的取样光纤光栅的传输谱。实验所用光纤为上海 AT&T 生产的普通单模商用通信光纤。为了获得较好的谱响应，光纤经高压载氢敏化。实验中光栅区长度为 2 cm，振幅掩模版的采样率 R 和采样周期 L_A 分别为 10/11、508.8 μm 和 1/11、1017 μm 。

从图 4 可看出，实验制备得到的取样光纤光栅的传输谱出现均匀间隔的周期性反射峰；波长间隔 $\Delta\lambda$ 与采样周期成反比，分别约为 1.6 nm 和 0.8 nm。实验所用相位版是布拉格波长为 1.55 μm 的均匀周期相位版，光纤的有效折射率为 1.46，按上述 $\Delta\lambda$ 表示式可求得波长间隔分别为 1.6 nm 和 0.8 nm，与实验结果吻合较好；而且采样率小制备得到的取样光纤光栅各峰值的均匀性好，这一特点也与理论分析基本相符。由于制备光纤光栅时短波长方向辐射模的存在使得图 4(a) 短波长方向的取样特性被部分掩盖，图 4(b) 显示了 9 个幅度接近的反射峰，明显地呈现出周期性选频特性，但是由于采样率太低，辐照时间不足而使得峰值反射率偏小。进一步的实验结果将另文报道。

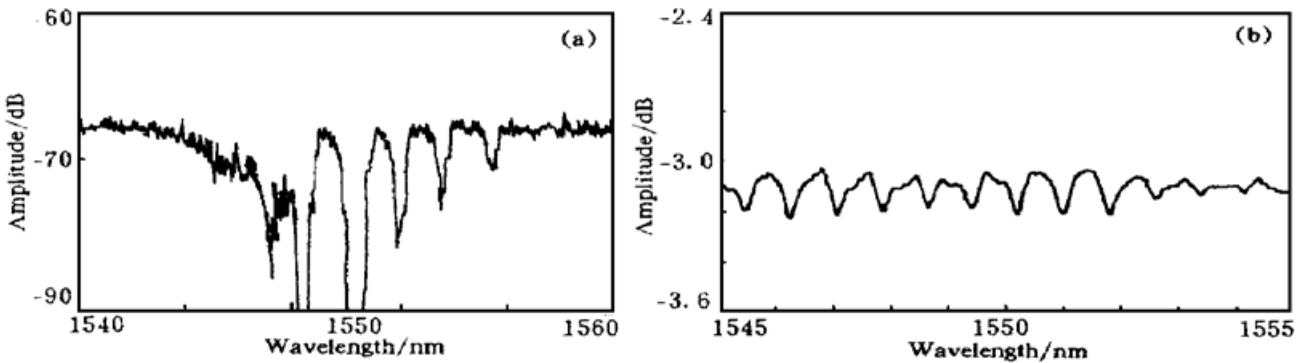


Fig. 4 Measured transmission spectra of sampled fiber Bragg grating with (a) $R = 10/11$, $L_A = 508.8 \mu\text{m}$, (b) $R = 1/11$, $L_A = 1017 \mu\text{m}$

这种具有周期性反射特性的光纤光栅在多波长激光稳频^[5]，制作密集波分多路复用通信光源^[6-8]和大范围调谐^[8,9]等方面有美好的应用前景。

参 考 文 献

[1] Hao Ding, Shenping Li, Zujie Fang *et al.*. Wavelength switching of semiconductor laser pulses by self-seeding from a chirped fiber bragg grating. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1997, **9**(7) : 901~ 903
 [2] G. P. Agrawal. Phase-shifted fiber Bragg gratings and their application for wavelength demultiplexer. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1994, **6**(7) : 839~ 841
 [3] H. Ding. Influence of shifted phase value on the output spectra of DFB lasers with phase shifter. *Chinese J. Lasers*, 1992, **B1**(6) : 503~ 508
 [4] 瞿荣辉, 丁浩, 赵浩等. 光栅子结构对光纤光栅特性的影响. *光学学报*, 1998, **18**(5) : 567~ 572

- [5] T. Mizuochi, K. Shimomura, T. Kitayama. Frequency stabilization of optical FDM signals by using a fiber-Bragg-grating Fabry-Perot interferometer. *OFC'95*, 1995, paper W12
- [6] F. Bilodeau, K. O. Hill. An all fiber dense-wavelength-division multiplexer/demultiplexer using photoim-printed Bragg gratings. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1995, 7(4) : 388~ 390
- [7] Poul Varming, Jorg Hubner, Martin Kristensen. Five wavelength DFB fiber laser source. *OFC'97*, 1997, pa-per TuH4
- [8] Beck Mason, San-Liang Lee, Mark E. Heimbuch *et al.*. Widely tunable lasers for wavelength-division multi-plexed communications. *OFC'97*, 1997, paper ThM2
- [9] M. Ibsen, B. J. Eggleton, M. G. Sceats *et al.*. Broadly tunable DBR fiber laser using sampled fiber Bragg gratings. *Electron. Lett.*, 1995, 31(1) : 37~ 38

Sampled Fiber Bragg Grating

Qu Ronghui Ding Hao Zhao Hao Fang Zujie

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Ni Guoquan Zhai Huajin

(Laboratory of Quantum Optics, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics,
The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

(Received 7 August 1997; revised 12 February 1998)

Abstract Sampled fiber bragg grating (SFBG) is numerically analyzed by using the transfer matrix methods. Some new tapped schemes to improve the characteristic of reflection (transmission) spectrum are proposed. And the sampled grating with a reflection peak separation of 0.8 nm and 1.6 nm is demonstrated.

Key words sampled fiber bragg grating, amplitude mask, transmission matrix.