

文章编号: 0253-2239(2009)09-2355-06

光纤光栅法布里-珀罗腔的腔、栅边缘特性分析

李文博¹ 周王民¹ 魏志武¹ 成振龙¹ 魏光虎¹ 史亚龙²

(¹西北工业大学理学院光信息科学与技术研究所陕西省光信息技术重点实验室, 陕西 西安 710072)

²西北工业大学理学院电流变技术研究所, 陕西 西安 710072

摘要 把组成光纤光栅法布里-珀罗腔的两个光纤光栅的初相位纳入了讨论范围,用耦合波方程推导了任意初相位下光纤光栅法布里-珀罗腔的透射和反射率的表达式。其中的相位因子包含了由光传播常数调制的腔长、光纤光栅的相位突变、光纤光栅初相位和由光纤光栅空间频率调制的光栅长度等四部分。分析了光纤光栅初相、由光栅空间频率调制的光栅长度两个因子对反射谱的影响,并提出了一种把光纤光栅法布里-珀罗腔等效为理想法布里-珀罗腔的方法。

关键词 光纤光学; 法布里-珀罗腔; 光纤布拉格光栅; 模式耦合

中图分类号 TN253 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS20092909.2355

Analysis of Edge Characteristics of Grating and Cavity of Fiber Grating-Based Fabry-Pérot Cavity

Li Wenbo¹ Zhou Wangmin¹ Wei Zhiwu¹ Cheng Zhenlong¹ Wei Guanghu¹ Shi Yalong²

¹*Institute of Optical Information Science and Technology, School of Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, Shaanxi 710072, China*

²*Institute of Electrorheological Technology, Department of Applied Physics, School of Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, Shaanxi 710072, China*

Abstract The initial phase of the two fiber Bragg gratings used in Fabry-Pérot cavity was considered and the reflectivity and transmissivity expressions of fiber grating-based Fabry-Pérot cavity at any FBG's initial phase were derived by coupled-wave equation. The phase factors in the expression include cavity length modulated by propagation constant, phase mutation of the fiber Bragg grating, initial phase of the two fiber Bragg gratings and fiber grating length modulated by space frequency of the fiber Bragg grating. The influence of the latter two factors on reflection spectrum was analyzed, and a method to regard a fiber grating-based Fabry-pérot cavity as ideal Fabry-Pérot cavity was presented.

Key words fiber optics; Fabry-Pérot (F-P) cavity; fiber Bragg grating (FBG); coupling-mode

1 引言

光纤布拉格光栅(FBG)经过三十余年的发展,在传感领域得到了广泛应用^[1]。目前,Smart Fibres, Micron Optics 等企业正致力于把光纤光栅传感器商业化,并可能掀起一场传感领域的革命^[2]。由光纤光栅组成的光纤光栅法布里-珀罗腔(FFP),在传感^[3]、选频^[4]、频分复用^[5]、激光^[6,7]以及 FBG

传感器的解调^[8]等方面有着重要的应用。文献[9]用模式耦合理论推导了 FFP 的透射率表达式;文献[10,11]均采用了光束传播法分析了 FFP,文献[10]推导了 FFP 的反射、透射率,并分析了透射谱谱线数目、谱线间距、谱线半宽度及阈值腔长等;文献[11]讨论了 FFP 的纵模特性,及单模传输的条件;文献[12]用传输矩阵法推导了 FFP 的透射、反

收稿日期: 2008-07-17; 收到修改稿日期: 2009-02-11

作者简介: 李文博(1985-),男,硕士研究生,主要从事光纤传感器方面的研究。E-mail: liwenbo111@126.com

导师简介: 周王民(1963-),男,教授,硕士生导师,主要从事光学测量方面的研究。E-mail: quanwangmin@nwpu.edu.cn (通信联系人)

射率及时延的表达式。但文献[9~12]未考虑组成 FFP 的两 FBG 的初相位,本文用模式耦合理论推导了任意 FBG 初相条件下的 FFP 的透射、反射率表达式。所得表达式的相位因子由 βh , φ , $(\phi_1 - \phi_2)/2$, $\Omega L/2$ 等四部分组成。讨论了反应 FFP 栅、腔边缘状态的因子 $(\phi_1 - \phi_2)/2$, $\Omega L/2$ 对反射谱的影响;把由 FBG 空间频率调制下的 FBG 长度这个相位因子“ $\Omega L/2$ ”进行了数学处理,转换成由传播常数 β 调制,从而提出了一种把 FFP 等效为理想法

布里-珀罗腔(IFP)的方法。

2 FFP 透射率与反射率的推导

耦合波方程和光纤光栅的折射率微扰的表达式均来自 Turan Erdogan 的论述^[13]。FBG 中的横向电场可分解为理想模式之和,这些模式可以通过求解无介电微扰的光纤得到,用下标 j 标记,则 FBG 中的横向电场可表示为

$$E_t(x, y, z, t) = \sum_j [A_j(z) \exp(i\beta_j z) + B_j(z) \exp(-i\beta_j z)] \cdot e_{jt}(x, y) \exp(-i\omega t), \quad (1)$$

式中 $A_j(z)$, $B_j(z)$ 分别表示第 j 阶模场的沿 $+z$ 与 $-z$ 方向的慢变化振幅, β_j 表示第 j 阶模的传播常数,横向模场 $e_{jt}(x, y)$ 可表示线偏振(LP)传输、辐射、或包层模。在这些模式正交的情况下,波导中的周期性介电微扰所导致的模式间的耦合可描述为

$$\frac{dA_j}{dz} = i \sum_k A_k (K_{kj}^t + K_{kj}^z) \exp[i(\beta_k - \beta_j)z] + i \sum_k B_k (K_{kj}^t - K_{kj}^z) \exp[-i(\beta_k + \beta_j)z], \quad (2)$$

$$\frac{dB_j}{dz} = -i \sum_k A_k (K_{kj}^t - K_{kj}^z) \exp[i(\beta_k + \beta_j)z] - i \sum_k B_k (K_{kj}^t + K_{kj}^z) \exp[-i(\beta_k - \beta_j)z], \quad (3)$$

式中 $K_{kj}^t(z)$, $K_{kj}^z(z)$ 分别为 j 阶和 k 阶模的横向、纵向耦合系数,一般情况下 $K_{kj}^z \ll K_{kj}^t$, 纵向耦合可以忽略, $K_{kj}^t(z)$ 表示为

$$K_{kj}^t(z) = \frac{\omega}{4} \iint_{\infty} dx dy \Delta \epsilon(x, y, z) e_{kt}(x, y) \cdot e_{jt}^*(x, y), \quad (4)$$

式中 $\Delta \epsilon(x, y, z)$ 表示介电微扰,对于 δn 的折射率微小变化可近似表示为 $2n\delta n$ 。

光敏光纤在紫外光下曝光形成导模有效折射率变化可表示为

$$\delta n_{\text{eff}}(z) = \overline{\delta n_{\text{eff}}}(z) \left\{ 1 + \nu \cos \left[\frac{2\pi}{\Lambda} z + \phi(z) \right] \right\}, \quad (5)$$

式中 $\overline{\delta n_{\text{eff}}}(z)$ 表示直流有效折射率变化, ν 为折射率调制的条纹可见度, Λ 为光栅周期, $\phi(z)$ 描述光栅啁啾。又定义了两个新的系数

$$\sigma_{kj}(z) = \frac{\omega n_{\text{co}}}{2} \overline{\delta n_{\text{co}}}(z) \iint_{\text{core}} dx dy e_{kt}(x, y) \cdot e_{jt}^*(x, y), \quad (6)$$

$$\kappa_{kj}(z) = \frac{\nu}{2} \sigma_{kj}(z), \quad (7)$$

式中 σ_{kj} 为直流耦合系数, κ_{kj} 为交流耦合系数, $\overline{\delta n_{\text{co}}}$ 表示纤芯有效折射率变化,由(6)式和(7)式, K_{kj}^t 可表示为

$$K_{kj}^t(z) = \sigma_{kj}(z) + 2\kappa_{kj}(z) \cos \left[\frac{2\pi}{\Lambda} z + \phi(z) \right], \quad (8)$$

下面的推导是以(1)式~(8)式为基础的。

FBG 中的模式耦合主要发生在基模的正向与反向模之间,由(2)式,(3)式可得

$$\frac{dA}{dz} = iBK^t(z) \exp(-i2\beta z) + iAK^t(z), \quad (9)$$

$$\frac{dB}{dz} = -iAK^t(z) \exp(i2\beta z) - iBK^t(z), \quad (10)$$

式中 A, B 分别为正、反向基模的振幅, $K^t(z)$ 为基膜间的横向耦合系数, β 为基模的传播常数, $\beta = 2\pi n_{\text{eff}}/\lambda$, n_{eff} 为有效折射率, λ 为真空中的波长。当 FBG 纵向均匀,且无啁啾 ($d\phi/dz = 0$ 或 $\phi \equiv \text{常数}$) 时, σ, κ 与 z 无关。考虑包含 FBG 初相位的 FFP,假设两 FBG 的 σ, κ 相同,并建立图 1(a)所示坐标系,参照(5)式、(8)式, $K^t(z)$ 可表示为

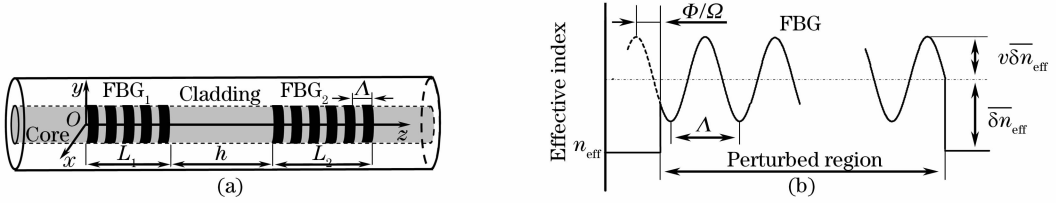


图 1 FFP 结构示意图。(a) 坐标系示意图；(b) FBG 初相位的定义

Fig. 1 Schematic diagram of FFP structure. (a) Coordinate diagram; (b) definition of FBG's initial phase

$$\begin{aligned}
 K'(z) &= \sigma + 2\kappa\cos(\Omega z + \phi_1), & (0 < z < L_1) \\
 K'(z) &= \sigma + 2\kappa\cos[\Omega(z - L_1 - h) + \phi_2], & (L_1 + h < z < L_1 + L_2 + h) \\
 K'(z) &= 0, & \text{other}
 \end{aligned} \tag{11}$$

式中 $\Omega = 2\pi/\Lambda$, ϕ_1, ϕ_2 分别为 FBG_1 和 FBG_2 的初相位, 如图 1(b) 中 ϕ/Ω 所示, 并规定 $0 \leq \phi_1, \phi_2 < 2\pi$, L_1, L_2 分别为 FBG_1, FBG_2 的长度, 两 FBG 的间距为 h 。把(11) 式代入到(9) 式,(10) 式并忽略弱耦合项^[14] 可得

$$\begin{cases} dA/dz = iB\kappa\exp[-i(2\delta z - \phi_1)] + iA\sigma, \\ dB/dz = -iA\kappa\exp[i(2\delta z - \phi_1)] - iB\sigma, \end{cases} \quad 0 < z < L_1 \tag{12a}$$

$$\begin{cases} dA/dz = iB\kappa\exp\{-i[2\delta z + \Omega(L_1 + h) - \phi_2]\} + iA\sigma, \\ dB/dz = -iA\kappa\exp\{i[2\delta z + \Omega(L_1 + h) - \phi_2]\} - iB\sigma, \end{cases} \quad (L_1 + h) < z < (L_1 + L_2 + h) \tag{12b}$$

$$\begin{cases} dA/dz = 0, \\ dB/dz = 0, \end{cases} \quad \text{other} \tag{12c}$$

式中 $\delta = \beta - \pi/\Lambda = 2\pi n_{\text{eff}}(1/\lambda - 1/\lambda_D)$, $\lambda_D = 2n_{\text{eff}}\Lambda$ (称为设计波长)。给定合适的边界条件, 便可得到 A, B 的解。设在 $z = -\infty$ 处有向右传播的光注入, 在 $z \geq (L_1 + L_2 + h)$ 没有反射光, 即 $B(L_1 + L_2 + h) = 0$ 。当光场达到稳态, 由(12c) 式知, 在 $z \leq 0, L_1 \leq z \leq (L_1 + h), z \geq (L_1 + L_2 + h)$ 范围, A, B 分别为常数。不妨设在 $L_1 \leq z \leq (L_1 + h)$ 范围, $A(z) = a$, 则 $A(L_1) = A(L_1 + h) = a$, 由 $B(L_1 + L_2 + h) = 0, A(L_1 + h) = a$ 能得到(12b) 的解, 然后可得到 $B(L_1 + h)$, 由 $B(L_1 + h) = B(L_1)$ 和 $A(L_1) = a$ 便能得到(12a) 式的解。经过繁琐计算, 得到 $A(z), B(z)$ 在 $(L_1 + h) < z < (L_1 + L_2 + h)$ 范围的解为

$$A(z) = a \frac{-\hat{\sigma}\sinh[s(z - L_1 - L_2 - h)] + i\text{scosh}[s(z - L_1 - L_2 - h)]}{\hat{\sigma}\sinh(sL_2) + i\text{scosh}(sL_2)} \cdot \exp[-i\delta(z - L_1 - h)], \tag{13a}$$

$$B(z) = a\kappa \frac{\sinh[s(z - L_1 - L_2 - h)]}{\hat{\sigma}\sinh(sL_2) + i\text{scosh}(sL_2)} \cdot \exp\{i[\Omega(L_1 + h) + \delta(z + L_1 + h) - \phi_2]\}, \tag{13b}$$

(13) 式中 $\hat{\sigma} \equiv \delta + \sigma, s^2 = \kappa^2 - \hat{\sigma}^2, \sigma = 2\pi \bar{\delta}n_{\text{eff}}/\lambda, \kappa = \pi\nu \bar{\delta}n_{\text{eff}}/\lambda$ 。 $A(z), B(z)$ 在 $0 < z < L_1$ 范围的解为

$$A(z) = \left\{ C_A \frac{\sinh[s(z - L_1)]}{\sinh(sL_1)} + \tilde{a} \frac{\sinh(sz)}{\sinh(sL_1)} \exp(i\delta L_1) \right\} \exp(-i\hat{\sigma}z), \tag{14a}$$

$$B(z) = \left\{ C_B \frac{\sinh[s(z - L_1)]}{\sinh(sL_1)} + \tilde{b} \frac{\sinh(sz)}{\sinh(sL_1)} \exp(-i\delta L_1) \right\} \exp(i\hat{\sigma}z), \tag{14b}$$

(14) 式中, C_A, C_B 分别表示为

$$C_A = \frac{\exp(i\delta L_1)}{s} \{ \tilde{a} [i\hat{\sigma}\sinh(sL_1) - \text{scosh}(sL_1)] + i\tilde{b}\kappa\sinh(sL_1)\exp[-i(2\delta L_1 - \phi_1)] \}, \tag{15a}$$

$$C_B = -\frac{\exp(-i\delta L_1)}{s} \{ \tilde{b} [i\hat{\sigma}\sinh(sL_1) + \text{scosh}(sL_1)] + i\tilde{a}\kappa\sinh(sL_1)\exp[i(2\delta L_1 - \phi_1)] \}, \tag{15b}$$

(15) 式中

$$\tilde{b} = -a\kappa \frac{\sinh(sL_2)}{\hat{\sigma}\sinh(sL_2) + i\text{scosh}(sL_2)} \exp\{i[2\beta(L_1 + h) + \sigma L_1 - \phi_2]\}, \tag{16a}$$

$$\tilde{a} = a\exp(-i\delta L_1), \tag{16b}$$

(13a)式,(13b)式分别为 FBG₂ 中正、反向行波的振幅;(14a)式,(14b)式分别为 FBG₁ 中正、反向行波的振幅。FFP 的透射和反射率可分别表示为

$$T_{\text{F-P}} = P_A(L_1 + L_2 + h)/P_A(0) = |A(L_1 + L_2 + h)|^2/|A(0)|^2, \quad (17a)$$

$$R_{\text{F-P}} = P_B(0)/P_A(0) = |B(0)|^2/|A(0)|^2, \quad (17b)$$

式中 P_A, P_B 分别表示正、反向光波的传输功率。由(13)式~(17)式可得当 $L_1 = L_2 = L$ 时 FFP 的透射率和反射率为

$$T_{\text{F-P}} = 1/(1 + F\sin^2\Phi), \quad (18a)$$

$$R_{\text{F-P}} = F\sin^2\Phi/(1 + F\sin^2\Phi), \quad (18b)$$

(18)式中

$$\Phi = \beta h + \Omega L/2 + (\phi_1 - \phi_2)/2 + \varphi \quad (19)$$

$$\varphi = -\arctan \frac{s\cosh(sL)}{\delta\sinh(sL)}, \quad (20)$$

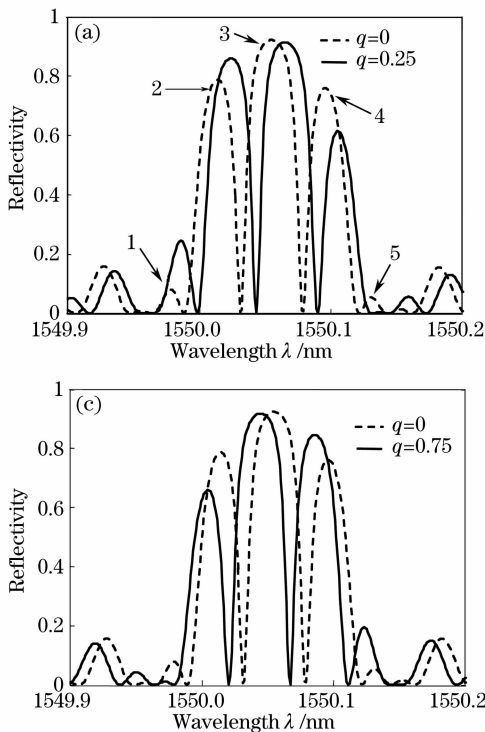
$$F = 4R_g/(1 - R_g)^2, \quad (21)$$

式中 F 为 FFP 的锐度系数, R_g 为 FBG 的反射率, 表示为^[13]

$$R_g = \frac{\kappa^2 \sinh^2(sL)}{\kappa^2 \cosh^2(sL) - \delta^2}. \quad (22)$$

3 讨 论

在(19)式中出现了 $\Omega L/2$, 这与文献[9]一致,



若 $\Omega L/2 + (\phi_1 - \phi_2)/2 = n\pi$, 则有

$$R_{\text{F-P}} = \frac{F\sin^2(\beta h + \varphi)}{1 + F\sin^2(\beta h + \varphi)}, \quad (23a)$$

$$T_{\text{F-P}} = \frac{1}{1 + F\sin^2(\beta h + \varphi)}, \quad (23b)$$

在满足 $\phi_1 - \phi_2 = 0, L = N\lambda$ 的条件下, 亦得(23)式, 若再忽略 FBG 折射率微扰直流分量便与文献[10]一致。(19)式中, βh 为腔长 h 造成的相位延迟, 反应了 FFP 的“F-P”特性; $\varphi, (\phi_1 - \phi_2)/2, \Omega L/2$ 均为 FBG 所引起, φ 为 FBG 的相位突变, $(\phi_1 - \phi_2)/2$ 反应了两 FBG 的初相失配程度, $\Omega L/2$ 反应了 FBG 的整周期程度, 也是光在组成 FFP 的 FBG 内传播的体现。

文献[10~12]已对 FFP 谐振峰数目与腔长的关系、阈值腔长、谱线半宽、时延特性等进行了详细的论述, 3.1 节和 3.2 节将重点讨论描述 FFP 栅、腔边缘状态的参数 $(\phi_1 - \phi_2)/2, \Omega L/2$ 对反射谱的影响, 并提出一种把 FFP 等效为 IFP 方法。

3.1 $(\phi_1 - \phi_2)/2, \Omega L/2$ 对反射谱的影响

考虑(19)式中的 $(\phi_1 - \phi_2)/2$ 一项, 前文已规定 $0 \leq \phi_1, \phi_2 < 2\pi$, 故 $-\pi < (\phi_1 - \phi_2)/2 < \pi$, 令 $q = (\phi_1 - \phi_2)/2\pi$, 则 $-1 < q < 1$ 。参数为 $\lambda_D = 1550 \text{ nm}, n_{\text{eff}} = 1.45, \overline{\delta n_{\text{eff}}} = 5 \times 10^{-5}, \nu = 1, N = 18000, h = 1 \text{ cm}, q$

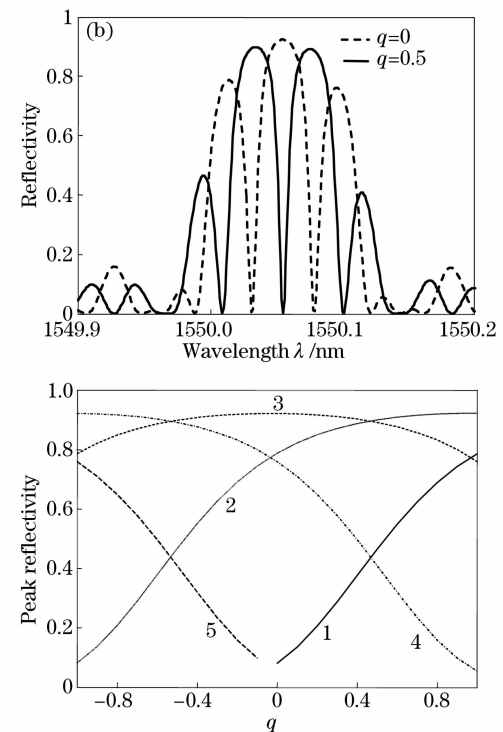


图 2 FBG 初相对 FFP 反射谱的影响。(a), (b), (c) 不同 FBG 初相位下的 FFP 反射谱; (d) 峰值反射率与 q 的关系
Fig. 2 Influence of FBG's initial phase on FFP's reflection spectrum, (a), (b), (c) Reflection spectra of FFP at different FBG's initial phases; (d) influence of q on peak reflectivity

为 0, 0.25, 0.5, 0.75 的 FFP 反射谱如图 2(a)~图 2(c) 所示(图中虚线为 $q=0$ 时的情况, 以便于参考), q 由 0 变化到 1, 反射谱逐渐向右移动, $q \rightarrow 1$ 的反射谱趋近 $q=0$ 时的反射谱。当 q 由 0 变化到 -1 时的情况完全类似, 只是反射谱向左移动。图 2(d) 为随着 q 变化, FFP 的五个主要反射峰的峰值变化图, 五个反射峰在图 2(a) 中标记。 q 由 0 变化到 1, 反射峰 1 由小变大, 反射峰 4 由大变小, 反射峰 2 变为主反射峰, 反射峰 3 则由主反射峰变为次反射峰。 q 由 0 变化到 -1 的情况和 q 由 0 变化到 1 类似, 不再重复叙述。

通常 $L=N\Lambda$, 故 $\Omega L/2=N\pi$, 由(19)式知 $L=N\Lambda$ 时 $\Omega L/2$ 对反射谱无影响。当 $L \neq N\Lambda$ 时, 令 $L=N\Lambda+p\Lambda$, 其中 $0 \leq p < 1$ 。从影响光谱的移动角度, $\Omega L/2$ 和 $(\phi_1 - \phi_2)/2$ 对反射谱的影响类似, p 由 0 变化到 1, 反射谱逐渐向右移动, 只是由于 R_g , φ 也发生了变化, $p \rightarrow 1$ 和 $p=0$ 时的光谱不会完全重合。

3.2 FFP 等效为 IFP

把(19)式进行如下处理

$$\beta h + \frac{1}{2}\Omega L = \beta \left(h + \frac{\lambda}{2n_{\text{eff}}\Lambda} L \right), \quad (24)$$

$$\varphi_e = \frac{\phi_1 - \phi_2}{2} + \varphi, \quad (25)$$

即把由 FBG 长度直接决定的相位因子 $\Omega L/2$ 转化成由光的传播常数 β 调制, 把 $(\phi_1 - \phi_2)/2, \varphi$ 均看成 FBG 的相位突变, 令(24)式中 $h_e = h + \lambda L/2n_{\text{eff}}\Lambda$, 由(24)式、(25)式, (19)式可表示为

$$\Phi = \beta h_e + \varphi_e, \quad (26)$$

由(26)式, FFP 可等效为 IFP(如图 3 所示), 两 FBG 被分别等效为两个理想薄片, 两个薄片的间距为 h_e , 薄片透射和反射系数分别表示为

$$t_m^l = \frac{s}{s \cosh(sL) - i\delta \sinh(sL)} \exp[-i(l\phi_m)], \quad (27a)$$

$$r_m^l = -\frac{\kappa \sinh(sL)}{\delta \sinh(sL) + i s \cosh(sL)} \exp[-i(l\phi_m)], \quad (27b)$$

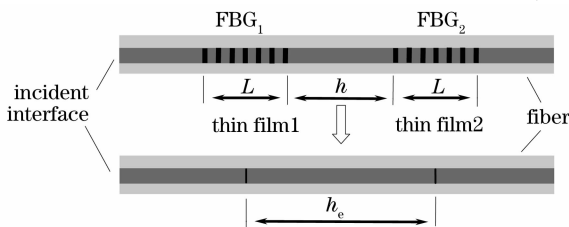


图 3 FFP 等效为 IFP 示意图

Fig. 3 Schematic diagram of FFP equivalent to IFP

式中 $m=1, 2$, 分别对应薄片 1, 2; l 为“±”, 分别代表“正向”和“反向”。例如: r_1^+ 代表薄片 1 对向右(正向)传播光的反射系数。入射光在 FFP 中的行为可等效地描述为(如图 3 所示): 入射光被薄片 1, 2 反射和透射并在两薄片之间振荡, 并形成反射和透射谱。当 $\lambda = \lambda_D$ 时, $h_e = L + h$, 即为 FBG 长度 L 与腔长 h 之和, 化成了较为简洁的形式。

4 结 论

FBG 初相位对 FFP 的透射和反射谱的影响显著; 当 FBG 长度不是光栅周期整数倍时, $\Omega L/2$ 对光谱的影响和 FBG 初相位对光谱的影响相似; 把 FFP 等效为 IFP, 使其更加形象、直观。文中得到的 FFP 反射和透射率的表达式, 相对更为精细, 对 FFP 的制作及其应用有一定的参考意义。

参 考 文 献

- Alan D. Kersey, Michael A. Davis, Heather J. Patrick *et al.*. Fiber grating sensors [J]. *J. Lightwave Technology*, 1997, **15**(8): 1442~1463
- Duncan Graham-Rowe. Sensors take the strain [J]. *Nature Photonics*, 2007, **1**: 307~309
- Xiaoke Wan, Henry F. Taylor. Intrinsic fiber Fabry-Pérot temperature sensor with fiber Bragg grating mirrors [J]. *Opt. Lett.*, 2002, **27**(16): 1388~1390
- Y. H. Ja. Optical vernier filter with fiber grating Fabry-Pérot resonators [J]. *Appl. Opt.*, 1995, **34**(27): 6164~6167
- Shen Zhenqiang, Zhao Jianlin, Zhang Xiaojuan. Frequency-division multiplexing technique of fiber grating Fabry-Pérot sensors [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(7): 1173~1177
- 沈震强, 赵建林, 张晓娟. 光纤光栅法布里-珀罗传感器频分复用技术 [J]. *光学学报*, 2007, **27**(7): 1173~1177
- J. L. Zyskind, V. Mizrahi, D. J. DiGiovanni *et al.*. Short single frequency erbium-doped fibre laser [J]. *Electron. Lett.*, 1992, **28**(15): 1385~1387
- Wu Bo, Liu Yongzhi, Zhang Qianshu *et al.*. High efficient narrow linewidth fiber laser based on fiber grating Fabry-Pérot cavity [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(3): 350~353
- 伍波, 刘永志, 张谦述等. 基于光纤光栅法布里-珀罗腔的高效窄线宽光纤激光器 [J]. *中国激光*, 2007, **34**(3): 350~353
- Qiao Xueguang, Wang Yu, Fu Haiwei *et al.*. High accuracy real time calibration of tunable Fabry-Pérot filter on large range [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(5): 852~855
- 乔学光, 王瑜, 傅海威等. 可调谐法布里-珀罗滤波器的高精度大范围实时定标 [J]. *光学学报*, 2008, **28**(5): 852~855
- S. Legoubin, M. Douay, P. Bernage *et al.*. Free spectral range variations of grating-based Fabry-Pérot filters photowritten in optical fibers [J]. *J. Opt. Soc. Am. A*, 1995, **12**(8): 1687~1694
- Guan Baiou, Yu Youlong, Ge Chunfeng *et al.*. Theoretical studies on transmission characteristics of fiber grating Fabry-Pérot cavity [J]. *Acta Optica Sinica*, 2000, **20**(1): 34~38
- 关柏鸥, 余有龙, 葛春风等. 光纤光栅法布里-珀罗腔透射特性的理论研究 [J]. *光学学报*, 2000, **20**(1): 34~38
- Lü Changgui, Cui Yiping, Wang Zhuyuan *et al.*. A study on the longitudinal mode behavior of Fabry-Pérot cavity composed of fiber Bragg grating [J]. *Acta Physica Sinica*, 2004, **53**(1):

145~150

吕昌贵,崔一平,王著元等. 光纤布拉格光栅法布里-珀罗腔纵模特性研究[J]. 物理学报, 2004, **53**(1): 145~150

12 Liang Meng, Fang Gang, Wang Yongchang. Theoretical analysis on characteristics of fiber Bragg grating Fabry-Pérot cavity[J]. *J. Optoelectronics · Laser*, 2001, **12**(8): 821~824

梁 猛,方 强,王永昌. 光纤光栅 F-P 腔特性分析[J]. 光子·激光, 2001, **12**(8): 821~824

13 Turan Erdogan. Fiber grating spectra [J]. *J. Lightwave Technology*, 1997, **15**(8): 1277~1294

14 Wu Chongqing. Optic Waveguide Theory[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005. 130~131
吴重庆. 光波导理论[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005. 130~131

《中国激光》“激光制造”专题征稿启事

激光制造技术是国家重点支持和推动的一项高新技术,近年来在涉及国家安全、国防建设、高新技术产业化和科技前沿等领域已取得多项重大研究成果。《中国激光》计划于2009年12月正刊(EI核心收录)上推出“激光制造”专题栏目,现特向国内外广大专家学者征集“激光加工”方面原创性的研究论文和综述,旨在集中反映该领域最新的研究成果及研究进展。

征稿范围包括:

- 激光强化与材料制备
- 激光直接制造与微纳加工
- 激光器与激光加工系统
- 激光冲击与强化
- 激光焊接与切割
- 激光烧结与沉积
- 激光新应用与过程模拟
- 其他

特邀组稿专家:

钟敏霖 教授 清华大学机械工程系 E-mail: zhml@tsinghua.edu.cn 010-62772993

截稿日期: 2009年9月30日

投稿方式以及格式:

可直接将稿件电子版发至“激光制造”专题组稿专家、《中国激光》常务编委、清华大学钟敏霖教授邮箱: zhml@tsinghua.edu.cn(主题标明“激光制造专题”投稿),或通过中国光学期刊网网上投稿系统直接上传稿件(主题标明“激光制造专题”投稿),详情请参见 <http://www.opticsjournal.net/zgjj.htm>。本专题投稿文体不限,中英文皆可,其电子版请使用 MS-word 格式,有任何问题请咨询马沂编辑, E-mail: CJL@siom.ac.cn; 电话:021-69918427。

《中国激光》编辑部