

材料色散对 LPFG 双峰谐振效应特性的影响^{*}

邓传鲁 顾铮[†]

(上海理工大学学院光电功能薄膜实验室, 上海 200093)

(2007 年 10 月 21 日收到, 2008 年 1 月 30 日收到修改稿)

采用严格的耦合理论, 研究了长周期光纤光栅各层材料色散对双峰谐振效应的影响, 指出芯层和包层材料色散必须同时考虑才能切实地符合实际情况. 分析了材料色散对不同膜层参数下双峰谐振 LPFG 透射特性的影响, 模拟计算了材料色散计及与否时的双峰谐振波长, 两种情形下两峰偏差值分别约在 1.5—2 nm 和 6.5—7.5 nm 浮动. 最后, 讨论了材料色散对双峰 LPFG 传感器灵敏度的影响. 结果表明, 此类传感器对膜层折射率的分辩率高达 10^{-8} , 计及材料色散后的等高线图可为传感器灵敏度设计提供精确的参数选择组合.

关键词: 材料色散, 长周期光纤光栅, 双峰谐振

PACC: 4281D, 4281M, 4281P

1. 引言

长周期光纤光栅(long-period fiber grating, LPFG)虽然只有十几年的历史, 但由于具有许多优越的特性, 目前已被广泛应用于传感和通信领域. 许多学者采用耦合模理论, 致力于 LPFG 透射特性的研究. Guan 等^[1]采用传输矩阵法研究了阶变 LPFG 的传输模, Tong 等人^[2]也研究了长周期光纤光栅中的泄漏模. 两篇文献都理论模拟和实验研究了其透射谱特性曲线, 发现理论模拟和实验透射曲线具有良好的一致性. 随着理论和实验的不断深入, Shu 等实验观察到两包层 LPFG 具有两个谐振峰^[3,4], 且基于双峰间距变化, 制作了一种高灵敏度的液体浓度传感器, 这种传感方案比采用 400 μm 的光栅传感方案灵敏度可提高 20 倍.

近年来, 基于两包层结构, 在光纤光栅包层外镀一层敏感薄膜构成三包层结构的 LPFG 成为研究热点. 这种结构的 LPFG 克服了外界折射率必须小于包层折射率的局限, 因而引起许多学者的极大关注. 我们课题组实验研究制作了溶胶凝胶 SnO_2 薄膜

LPFG 乙醇传感器^[5,6], Wang 等也研究了这种结构的透射特性, 得到了理论和实验透射曲线, 取得了良好的成果^[7]. 另外, 我们对这种结构的 LPFG 的进一步理论研究发现, 它同样具有双谐振效应, 这点可在本文中得到反映.

在上述研究报道^[1,2,7]中, 理论模拟结果和透射谱实验曲线虽然符合得较好, 但观察比较其谐振峰对应的位置, 发现两者还是具有几个 nm 的偏差. 导致这些偏差的因素, 模型理想化、计算中的近似处理等固然有其影响, 但我们认为材料色散是一个不可忽略的重要因素. 目前尚未见有关材料色散对 LPFG 透射特性影响的报道, 而材料色散对 LPFG 中的双峰谐振效应的影响尤为值得关注.

本文采用三包层结构镀膜 LPFG 模型, 针对包层模在特定的条件下所具有的双峰谐振现象, 研究了材料色散对其透射特性和双谐振波长的影响, 指出必须同时考虑芯层和包层的材料色散才能最大限度地符合实际情况. 基于双峰谐振效应的双峰间隔对折射率的灵敏性, 进行 LPFG 传感器优化设计时, 材料色散因素显得更为重要. 本文考察了材料色散考虑前后灵敏度与薄膜参数和光栅参量的关系, 并

^{*} 国家自然科学基金(批准号: 60777035), 上海市教育委员会科研项目(批准号: 07ZZ87), 上海市重点学科建设项目(批准号: T0501)和教育
部科学技术研究重点项目(批准号: 208040)资助的课题.

[†] 通讯联系人. E-mail: zhengtiangu@163.com

给出了高灵敏度的等高线图,为传感器灵敏度设计提供更为精确的参数选择组合方案.

2. 三包层 LPFG 双峰谐振效应

这种光纤光栅包层区域外面镀一层敏感薄膜的传感器结构视为三包层光纤光栅模型.薄膜层和外部介质分别为第二和第三包层.图 1(a)(b)分别是三包层光纤光栅结构和折射率分布示意图.芯层折射率 n_1 ,光栅区域的平均折射率改变量为 σ ,包层折射率 n_2 ,敏感薄膜折射率 n_3 ,周围环境(待测气体)折射率 n_4 .已知纤芯半径为 a_1 ,包层半径为 a_2 ,薄膜层半径 a_3 ,薄膜厚度 $h_3 = a_3 - a_2$.

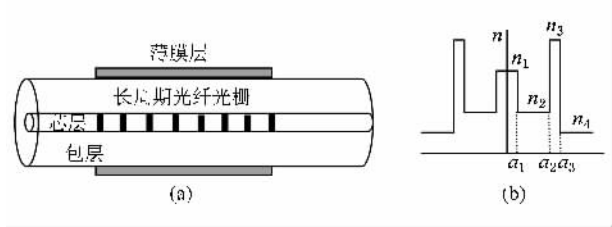


图 1 三包层长周期光纤光栅薄膜传感器模型 (a)结构模型;(b)折射率分布模型

对于单模长周期光纤光栅 根据模式耦合理论,前向传播的纤芯导模与同向传播的一阶包层模式之间的耦合模方程为

$$\begin{aligned} \frac{dA^{\text{co}}}{dz} &= i\kappa^{\text{co-co}} A^{\text{co}} + \frac{i}{2} \sum_{\nu} \kappa^{\text{cl-co}}_{1\nu-11} A^{\text{cl}}_{\nu} \\ &\times \sum_{m=1}^{+\infty} [A_m \exp(-i2\delta^{\text{cl-co}}_{1\nu-11} z)], \quad (1) \\ \sum_{\nu} \left[\frac{dA^{\text{cl}}_{\nu}}{dz} \right] &= +i\kappa^{\text{cl-co}}_{1\nu-11} A^{\text{co}} \\ &\times \sum_{m=1}^{+\infty} [A_m \exp(-i2\delta^{\text{cl-co}}_{1\nu-11} z)] \quad (2) \end{aligned}$$

其中 A^{co} 是纤芯导模的正 z 向振幅, A^{cl}_{ν} 是一阶 ν 次包层的正 z 向振幅. $k^{\text{co-co}}_{11-11}$ 和 $k^{\text{cl-co}}_{1\nu-11}$ 分别为纤芯模的自耦合常数和纤芯模与一阶 ν 次包层模之间的互耦合常数^[8].耦合常数 $k^{\text{cl-co}}_{1\nu-11}$ 决定了长周期光纤光栅中纤芯导模与包层模式之间耦合的强弱,随薄膜有效折射率的变化而变化.

$\delta^{\text{cl-co}}_{1\nu-11}$ 是纤芯导模与一阶 ν 次包层模式间的解调参量,定义如下:

$$\delta^{\text{cl-co}}_{1\nu-11} = \frac{1}{2} \left(\beta^{\text{co}}_{11} - \beta^{\text{cl}}_{1\nu} - \frac{2\pi}{\Lambda} \right), \quad (3)$$

$\delta^{\text{cl-co}}_{1\nu-11} = 0$,即长周期光纤光栅包层模耦合的相位匹配条件

$$\beta^{\text{co}}_{11} - \beta^{\text{cl}}_{1\nu} - 2\pi/\Lambda = 0. \quad (4)$$

根据 $\beta = k_0 \cdot n_{\text{eff}}$ 相位匹配条件也可表示为

$$n_{\text{eff,co}}(\lambda) - n^{\nu}_{\text{eff,cl}}(\lambda) = \frac{\lambda}{\Lambda}, \quad \nu = 1, 2, 3, \dots, \quad (5)$$

式中 $n_{\text{eff,co}}(\lambda)$ 为前向传输导模在波长 λ 处的有效折射率,可由纤芯模式的特征方程求得, $n^{\nu}_{\text{eff,cl}}(\lambda)$ 为 1 阶 ν 次包层模式在波长 λ 处的有效折射率.须由包层模特征方程求出.满足上述等式的波长 λ 为 1 阶 ν 次谐波中心波长,简称谐振波长.在一定的情况下,可能会有两个波长满足(5)式的条件,导致出现两个谐振波长^[3,4].

为了确定双峰谐振波长,利用相位匹配条件(5)计算并描绘了 15—25 阶模式下的镀膜长周期光纤光栅的周期与各次包层模式谐振波长的关系($h_3 = 180 \text{ nm}$, $n_3 = 1.57$)如图 2 所示.图 2 观察可知序数为 15—25 的包层模式均出现了双谐振峰,包层模式序数越低,与芯模产生谐振耦合所需的光栅周期越大,包层模式序数越高,与芯模产生谐振耦合所需的光栅周期越小,可以利用图 2 关系曲线,可进一步选择合适的光栅周期及产生双峰谐振的包层工作模式.

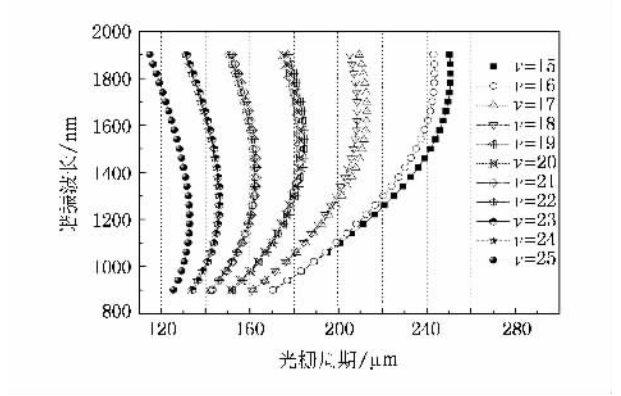


图 2 高阶包层模谐振波长与周期关系图

为了确定在给定光栅周期的条件下的双峰谐振波长及对应的模式序数,根据(5)式,定义 $\Delta n_{\text{eff}} = n_{\text{eff,co}}(\lambda) - n^{\nu}_{\text{eff,cl}}(\lambda) - \lambda/\Lambda$,则对应 $\Delta n_{\text{eff}} = 0$ 的波长即为谐振波长.图 3 是光栅周期 Λ 为 $141 \mu\text{m}$ 时计算得到的几个较高次包层模对应的 Δn_{eff} 曲线.可以看出, $\nu = 23, 24$ 时将产生双峰谐振现象,对应的谐振波长也可由图得知.

若以光栅中点为 z 轴原点,长周期光纤光栅的

边界条件如下：

$$A^{\omega}(z = -L/2) = 1, A^{\omega}_v(z = -L/2) = 0, (6)$$

长周期光纤光栅的透射率定义为

$$T = A^{\omega}(L/2)A^{\omega}(-L/2). (7)$$

在求解模式耦合方程的过程中,由于其中存在数百个一阶包层模式,耦合方程求解工作量巨大,要对应每一波长求解.通过求解给定初值条件的偏微分方程组(1)(2),得到 $A^{\omega}(L/2)$,代入(7)式,即可得到透射率 T .

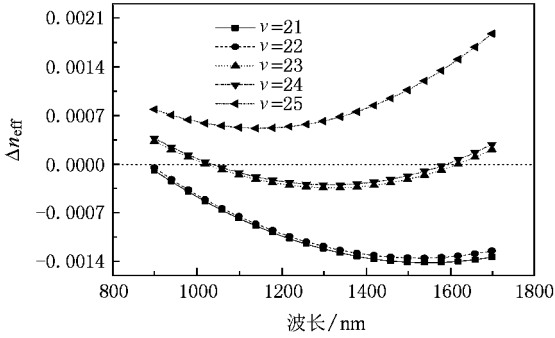


图 3 Δn_{eff} 与光波长之间的关系曲线

3. 三包层 LPFG 各层材料色散对双峰谐振的影响

计算光波导中的透射谱,需要考虑材料色散特性对透射谱的影响.光波导中的色散分为材料色散、波导色散、剖面色散、高阶色散、偏振模式色散和多模式色散,单模光纤中色散主要是材料色散和波导色散,理论和实验研究表明,光纤远离截止模式的波导色散很小,与材料色散相比可忽略不计^[9],因此本文中的三包层 LPFG 只考虑其材料色散.材料色散是指介质的折射率随着波长的变化而变化.光纤光栅第一包层的材料通常是纯石英(二氧化硅),它满足色散公

式: $n_2^2 - 1 = \sum_{j=1}^N \frac{\lambda_j^2 B_j}{\lambda^2 - \lambda_j^2}$ ^[10], 公式中含有一系列波长 λ_j 通常只取 3 个即可,其中 $B_1 = 0.6961663$, $B_2 = 0.4079426$, $B_3 = 0.8974994$, $\lambda_1^2 = 0.004679148 \mu\text{m}^2$, $\lambda_2^2 = 0.01351206 \mu\text{m}^2$, $\lambda_3^2 = 97.934002 \mu\text{m}^2$; 纤芯材料通常是纯石英中掺杂了微量的锗元素,而使其折射率有一定的增大,增大的幅值不但依靠锗元素的掺杂比例^[11],而且通过载氢后的材料折射率变化在 10^{-3} 数量级^[12],文献[12]中显示了折射率的改变量为 0.0050—0.0055,这恰好处于一般光纤光栅芯层

和第一包层折射率差值范围之内,并且,掺锗后纤芯材料的色散特性与纯石英基本保持一致^[11],因此本文中的纤芯材料的色散特性可以近似表示为 $n_1 = n_2 + 0.0052$.

首先考察当考虑色散和未考虑色散时,双谐振波长和周期的关系,图 4 清楚地表明它们的变化规律,虚线和曲线的交点表示对应同一个周期的两个谐振波长.HE 模式代表奇数次模式,EH 模式代表偶数次模式,图中选择一阶 23 次模式($\text{HE}_{1,22}$)为例研究双峰谐振 LPFG 透射谱特性,原因在于 EH 模式耦合强度要比 HE 模式耦合强度小得多^[8],且双谐振波长在 900—1700 nm 内,这是处于常用波段范围内,具有典型代表性和实际应用意义.当不计色散时,对应 1300 nm 波长,芯层、包层、薄膜层和外界环境的折射率分别为 $n_1 = 1.4521$, $n_2 = 1.4469$, $n_3 = 1.57$, $n_4 = 1$.

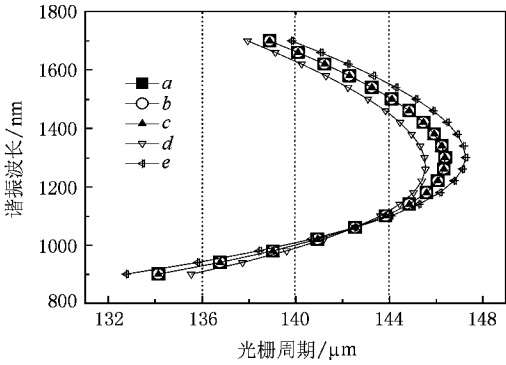


图 4 模 $\text{HE}_{1,22}$ 谐振波长和周期的关系图

图 4 中, a 线是未考虑色散时的双谐振波长和周期的关系曲线; b 线是只考虑环境色散时的关系曲线; c 线是只考虑膜层色散时的关系曲线; d 线是只考虑包层色散时的关系曲线; e 线是只考虑芯层色散时的关系曲线.

图 4 中曲线表明,只考虑第一包层色散和只考虑芯层色散,关系曲线相较未考虑色散时的 a 线向相反方向漂移,并且漂移量相当大;只考虑环境和只考虑膜层色散时的关系曲线和 a 线拟合非常好,漂移量非常小.这充分表明芯层和包层色散对 LPFG 透射特性影响非常大,而环境和膜层色散对 LPFG 透射特性影响非常小,原因在于芯层和包层占据大部分能量,而膜层和环境能量分值则较小.因此,理论计算时,可以忽略膜层和环境色散的影响,但同时考虑芯层和包层的色散特性,才能精确地计算出

LPFG 透射率.

4. 材料色散对三包层 LPFG 双峰谐振特性的作用

4.1. 材料色散对三包层 LPFG 双峰透射特性的影响

以下讨论材料色散在不同薄膜参数时对透射谱中双峰偏移特性的影响,这种影响直接关系到双峰传感器灵敏度等性能,对获得高灵敏度的参数优化设计具有一定的理论支持.

首先考察膜层折射率一定,不同膜层厚度时,材料色散对双峰谐振透射谱的影响.图 5 给出了薄膜

折射率 $n_3 = 1.57$,光栅平均折变量 $\sigma = 4 \times 10^{-4}$,光栅长度 $L = 1\text{ cm}$,周期 $\Lambda = 141\text{ }\mu\text{m}$ 时, $\text{HE}_{1,12}$ 模式在不同薄膜厚度时的透射谱图.为了便于清楚观察到在计色散和不计色散时,谐振峰位置的变化特性,图中已经作了相应的放大,并且只画出了双谐振波长附近波段范围内的透射谱.图中可以看出,在计色散和不计色散时,两个谐振波长都有了几个 nm 的偏差,但其中较小的谐振波长偏差量小,而较大的谐振波长偏差量较大,几个不同薄膜厚度时的透射谱都表现出同样的规律.并且薄膜折射率固定时,随着薄膜厚度的增加,两个谐振峰相互远离,图中清晰地反映了这种趋势.

然后考察膜层厚度一定,不同膜层折射率时,材

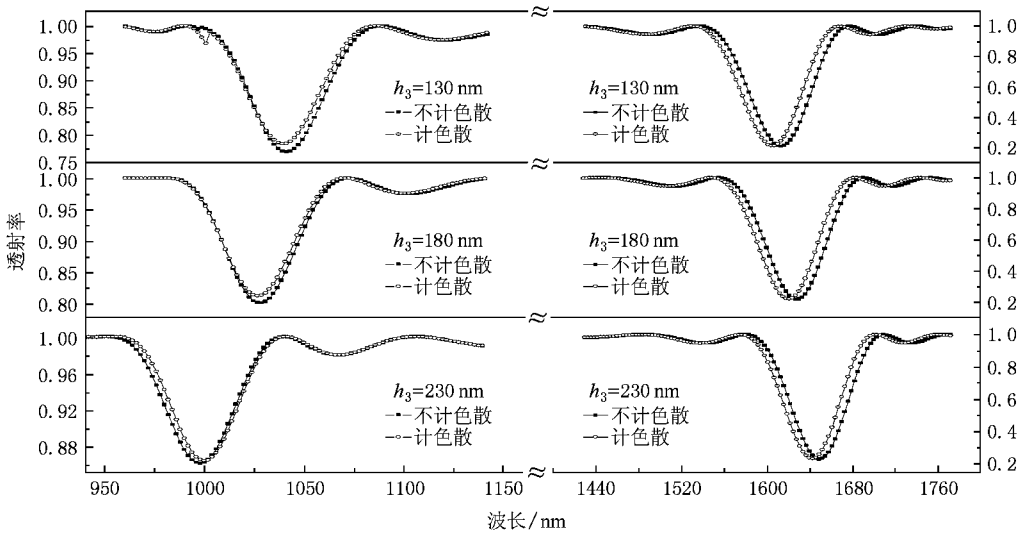


图 5 $\text{HE}_{1,12}$ 模在不同薄膜厚度 h_3 时的透射谱图

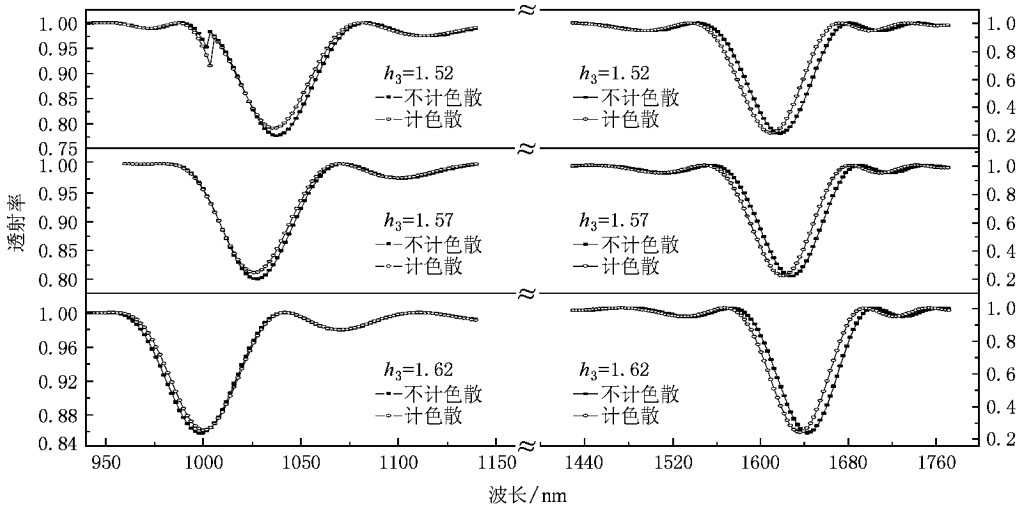


图 6 $\text{HE}_{1,12}$ 模在不同薄膜折射率 n_3 时的透射谱图

料色散对双峰谐振透射谱的影响.图 6 分别给出了薄膜折射率 $h_3 = 180\text{ nm}$,光栅平均折变量 $\sigma = 4 \times 10^{-4}$,光栅长度 $L = 1\text{ cm}$,周期 $\Lambda = 141\text{ }\mu\text{m}$ 时, $\text{HE}_{1,12}$ 模式在不同薄膜折射率时的透射谱图.图中也作了相应的放大,并且只画出了双谐振波长附近波段范围内的透射谱.同样,在膜层厚度一定,计色散和不计色散时,两个谐振波长也都有几个 nm 的偏差,和上述透射谱图具有类似的规律.

表 1 $\text{HE}_{1,12}$ 双谐振波长随薄膜参数变化表

$n_3, h_3/\text{nm}$		考虑色散		不考虑色散		差值	
		λ_1/nm	λ_2/nm	$\lambda_1^\times/\text{nm}$	$\lambda_2^\times/\text{nm}$	$\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_1^\times$	$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_2^\times$
$n_3 = 1.57$	$h_3 = 130$	1031.265	1605.308	1033.440	1613.134	- 2.175	- 7.826
	$h_3 = 180$	1019.734	1622.656	1021.150	1629.013	- 1.416	- 6.357
	$h_3 = 230$	993.670	1642.644	991.457	1649.407	2.213	- 6.763
$h_3 = 180$	$n_3 = 1.52$	1029.189	1610.982	1031.217	1618.720	- 2.028	- 7.738
	$n_3 = 1.57$	1019.734	1622.656	1021.150	1629.013	- 1.416	- 6.357
	$n_3 = 1.62$	994.020	1636.483	992.399	1643.556	1.621	- 7.073

表中数据表明,在两种参数组合下,对应模式 $\text{HE}_{1,12}$ 较小谐振波长的漂移量大约维持在 1.5—2 nm 左右,而较大的谐振波长漂移量在 6.5—7.5 nm 左右浮动,漂移量较大.这几个 nm 的漂移量较好符合了文献 [12, 7] 中所给出的实验和理论模拟的透射峰的偏差量,这说明了计材料色散时的透射谱,向实际情况中的透射特性更进了一步.观察表中的数据,较大谐振波长的偏移量都为负值,说明计色散时的较大谐振波长向短波方向移动;而较小谐振波长的偏移量有正有负,结合图 4 可知,这和光栅周期大小选择有关.

上述可得出,材料色散对 LPFG 谐振波长和透射特性的影响还是比较明显的,尤其在 LPFG 双峰传感器灵敏度优化设计时,则是必须要考虑的.

5. 材料色散对 LPFG 双峰传感特性的影响

基于双谐振峰间距变化进行传感机理,可以设计一种 LPFG 双峰传感器.定义 LPFG 传感器的灵敏度为

$$S_n = \frac{(\lambda_2' - \lambda_1') - (\lambda_2 - \lambda_1)}{\lambda_2 - \lambda_1} \bigg/ \frac{\Delta n_3}{n_3}$$
$$= \left| \frac{\text{d}\lambda_2}{\text{d}n_3} \frac{n_3}{\Delta\lambda} - \frac{\text{d}\lambda_1}{\text{d}n_3} \frac{n_3}{\Delta\lambda} \right|, \tag{8}$$

4.2. 材料色散对三包层 LPFG 双谐振波长的影响

为了清楚地了解 $\text{HE}_{1,12}$ 模式在不同薄膜参数,且计材料色散和不计材料色散时,两个谐振波长的偏移量的变化规律,作了一个简表,来清楚地说明材料色散对谐振波长位置的具体影响.表 1 分别是膜层折射率确定、不同膜层厚度时,和膜层厚度确定、不同膜层折射率时的两个谐振波长变化表.

其中, $\lambda_2 - \lambda_1$ 及 $\lambda_2' - \lambda_1'$ 分别为传感器与待测物作用前后双谐振峰的波长间隔, $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$. S_n 表征了双谐振峰中心波长间距的变化率与薄膜折射率变化率的比值.在 LPFG 双峰传感器实用中,双峰间距的改变量可以通过两块窄带滤光片和探测器获得.图 7 为双谐振波长检测示意图.选取宽带光源作检测用光源,光纤光栅输出端经 1×2 光纤耦合器分出两路,再分别通过中心波长为双峰漂移前的谐振波长的两个滤光片后,由红外探测器分别对双谐振峰进行探测.当传感器与待测物接触后,双峰间距的变化将引起透过滤光片光强的单调增加,透射光的强度则由探测器检测.

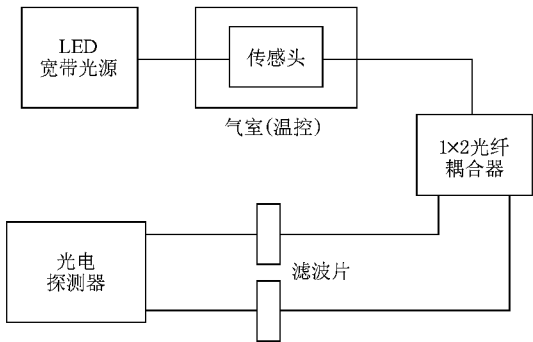


图 7 双谐振波长检测示意图

为了更直观地表征此类传感器对薄膜折射率微

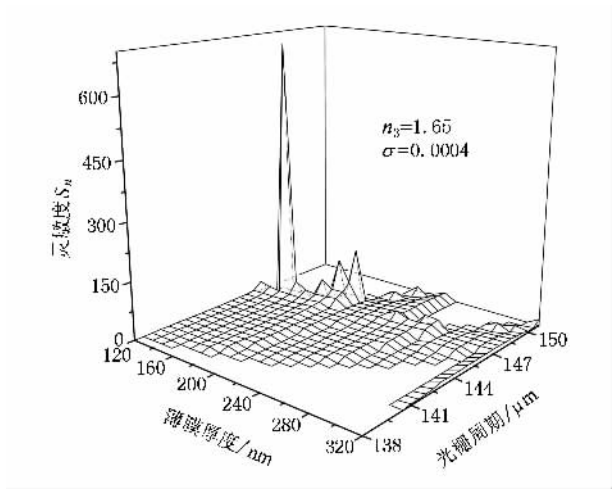


图8 不计色散,膜厚120—320 nm、光栅周期138—151 μm 时的灵敏度 S_n

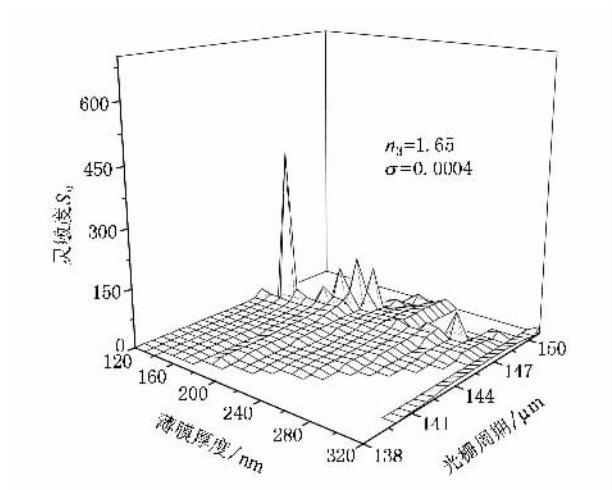


图9 计色散,膜厚120—320 nm、光栅周期138—151 μm 时的灵敏度 S_n

小变化的响应,通常采用膜层折射率的最小分辨率 σ_n 来表征, σ_n 与 S_n 关系可由公式 $\sigma_n = S_n^{-1} n_3 \frac{\Delta\lambda^*}{\lambda}$ 表示,式中 $\Delta\lambda^*$ 是常用光谱仪对波长的分辨本领,取值为 0.01 nm.

图8和图9分别是不计和计材料色散,双峰传感器灵敏度在膜厚120—320 nm、光栅周期138—151 μm 范围内三维分布图,所用到的光纤参数为薄膜折射率 $n_3 = 1.65$,平均折变量 $\sigma = 0.0004$. 图中空白区域对应灵敏度为零,即双谐振波长在 900—1700 nm波段范围内没有出现,画线部分则为灵敏度分布区域. 图中观察可知,不计色散和计色散时的灵敏度分布区域有一定变化,其相同参数组合下的灵敏度幅度大小也有一定的变化,甚至在某特定组合

下灵敏度幅度大小变化急剧,达到了高于 200 的差值,图中清晰表明这一点,这也恰恰是实际设计高灵敏度传感器所重点考虑的. 由此可以看出,材料色散对双峰传感器灵敏度有一定的影响,甚至在某些组合条件下影响极大.

图10和图11分别是不计和计材料色散且灵敏度为 30 时的双峰传感器灵敏度等高线图,等高线所围部分即是灵敏度大于 30 的分布组合. 图中可清晰观察到,计材料色散后的等高线较不计材料色散的等高线变化明显,计材料色散的等高线甚至在其他一些组合区域都有一定分布.

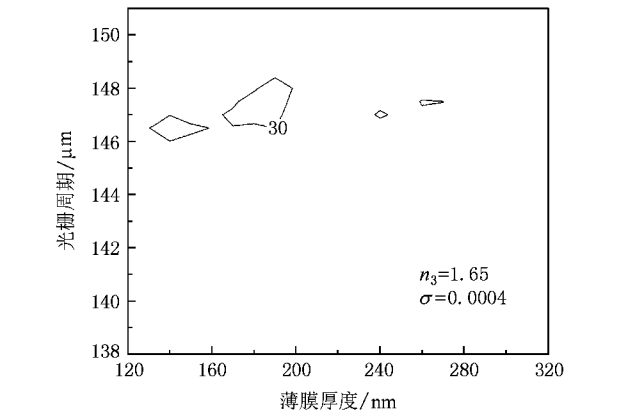


图10 不计色散,灵敏度 $S_n = 30$ 的等高线

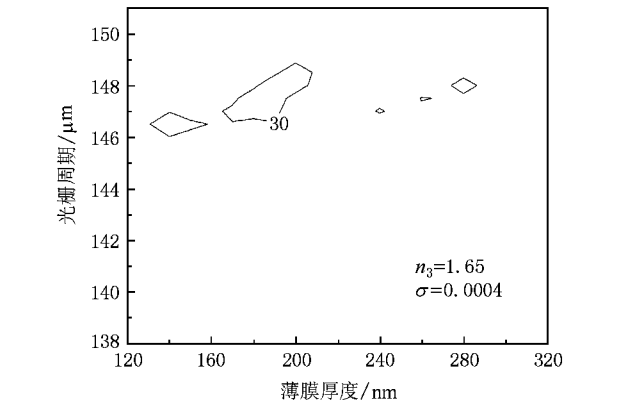


图11 计色散,灵敏度 $S_n = 30$ 的等高线

在实际设计高灵敏度传感器时,不仅要考虑灵敏度的大小,而且要考虑所需要的特定灵敏度的参数组合分布. 图8显示了最高灵敏度为 679.697,对应参数组合为 $h_3 = 140 \text{ nm}$, $\Lambda = 146.5 \mu\text{m}$,在相同参数组合条件下,计材料色散图9的最高灵敏度却只有 411.195,两者差别极大,其最小分辨率分别是 1.87×10^{-8} 和 3.08×10^{-8} . 如果设计最小分辨率低

于 2×10^{-8} 传感器,则计材料色散后的这个特定参数组合并不符合实际要求.图 11 计材料色散后的等高线图,可以为一般传感器灵敏度设计时提供更为精确的参数选择组合.总之,计材料色散后的传感器灵敏度三维分布图更符合实际情况,特别为高灵敏度传感器的设计提供了较为重要的理论支持.

6. 结 论

LPFG 理论模拟和实验得到透射谱,其谐振波长的偏差值主要是受到材料色散的影响,并且膜层和环境的材料色散对其偏差值影响很小,但芯层和包层的材料色散对其影响较大,因此,计材料色散时,应同时考虑芯层和包层的影响.

材料色散对 LPFG 某个包层模式的两个谐振波

长影响的偏移程度不相同,较小谐振波长的漂移量大约维持在 1.5—2 nm,而较大的谐振波长漂移量在 6.5—7.5 nm 浮动,漂移量相对较大.在两种情况下,理论数值模拟得到的漂移量,和文献中所示的实验和理论模拟的谐振峰的偏差量大体相符.

基于 LPFG 双峰距离变化进行传感的机理,在设计 LPFG 双峰传感器时,材料色散对此类传感器灵敏度影响较大,甚至在某些特定参数组合下影响极大,计和不计材料色散的灵敏度达到了高于 200 的差值,传感器对薄膜折射率最小分辨率分别是 1.87×10^{-8} 和 3.08×10^{-8} ;计材料色散后的等高线图,可以为传感器灵敏度设计提供更为精确的参数选择组合.因此,此类传感器在光纤参数优化设计时,计材料色散影响,才能最大限度地符合实际应用.

- [1] Guan B O, Zhang A P, Tam H Y, Helen L W C, Choy C L, Tao X M, Demokan M S 2002 *IEEE Photo. Tech. Lett.* **14** 657
- [2] Tong Z, Wei H, Wang M G, Wang Z, Jian S S 2002 *Acta Opt. Sin.* **22** 1088 (in Chinese) [童治、魏淮、王目光、王智、简水生 2002 光学学报 **22** 1088]
- [3] Shu X W, Zhu X M, Jiang S, Shi W, Huang D X 1999 *Electron Lett.* **35** 1580
- [4] Shu X W, Huang D X 1999 *Opt. Commun.* **171** 65
- [5] Gu Z T, Xu Y P, Gao K 2006 *Opt. Lett.* **31** 2405
- [6] Gu Z T, Xu Y P 2007 *Meas. Sci. Technol.* **18** 3530
- [7] Wang Z Y, Heflin J R, Stolen R H, Ramachandran S 2005 *Opt. Exp.* **13** 2808

- [8] Erdogan T 1997 *J. Opt. Soc. Am. A* **14** 1760
- [9] Li M, Liao Y B, Shi C Z 2000 *Acta Photon. Sin.* **29** 171 (in Chinese) [黎敏、廖延彪、施纯峥 2000 光子学报 **29** 171]
- [10] Wu C Q 2005 *Optical Waveguide Theory* (2nd Version) (Tsinghua University Press) p89 (in Chinese) [吴重庆 2005 光波导理论(第二版)(清华大学出版社)第 89 页]
- [11] Li Y Q, Cui M 2002 *Optical Waveguide Theory And Technology* (People's Posts Publishing House) p160 (in Chinese) [李玉权、崔敏 2002 光波导理论与技术(人民邮电出版社)第 160 页]
- [12] He W, Li J Z, Mei J C 2005 *J. Inorg. Mater.* **20** 210 (in Chinese) [何伟、李剑芝、梅家纯 2005 无机材料学报 **20** 210]

The influence of the material dispersion on the dual-peak resonance effect^{*}

Deng Chuan-Lu Gu Zheng-Tian[†]

(*Laboratory of Photo-electric Functional Films ,College of Science ,University of Shanghai for Science and Technology ,Shanghai 200093 ,China*)

(Received 21 October 2007 ; revised manuscript received 30 January 2008)

Abstract

Based on rigorous coupling theory the influence of the dispersion of the core ,cladding ,film and surrounding material on the dual-peak resonance effect is studied. The result shows that the theoretical model which considers both the core and cladding material dispersion is necessary and feasible. Further the influence of the material dispersion on the transmission characteristics of LPFG is analyzed for different film parameters. The deviation value between the dual resonant peaks is calculated before and after considering the material dispersion. The result shows that the deviation value is 1.5—2 nm and 6.5—7.5 nm , respectively. Finally ,the influence of the material dispersion on the sensor sensitivity is studied for the dual-peak LPFG sensor. The result indicates that the minimum resolution for the film refractive index is 10^{-8} ,and the contour line figure after considering the material dispersion supplies accurate parameter combinations in the design of this kind of sensor.

Keywords : material dispersion , long period fiber grating , dual peak resonance

PACC : 4281D , 4281M , 4281P

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 60777035) , the Research Project (Grant No. 07ZZ87) of Education Committee of Shanghai , Shanghai Leading Academic Discipline Project (Grant No. T0501) and the Scientific Research Key Project Fund (Grant No. 208040).

[†] E-mail : zhengtiangu@163.com