



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104596958 A

(43) 申请公布日 2015. 05. 06

(21) 申请号 201510024712. 1

(22) 申请日 2015. 01. 19

(71) 申请人 电子科技大学

地址 611731 四川省成都市高新区(西区)西源大道 2006 号

(72) 发明人 王玲芳 陈开鑫 张梦若

(74) 专利代理机构 成都宏顺专利代理事务所
(普通合伙) 51227

代理人 周永宏

(51) Int. Cl.

G01N 21/31(2006. 01)

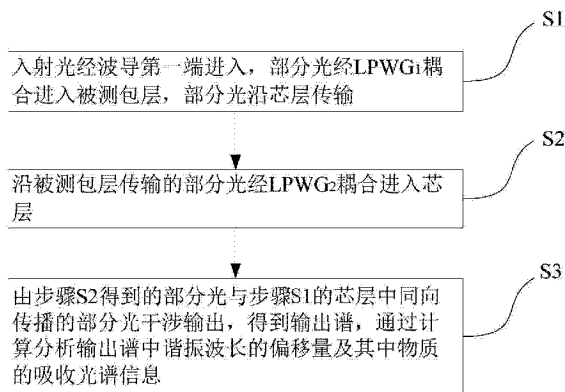
权利要求书3页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

基于串联 LPWG 的生化传感器的分析方法

(57) 摘要

本发明公开一种基于串联 LPWG 的生化传感器的分析方法, 通过利用 LPWG 的耦合特性, 将入射光波中以谐振波长为中心的一定带宽范围的光, 通过 LPWG₁ 耦合进入被测包层, 经过 LPWG₂ 再将此部分光耦合进入波导芯层, 与波导芯层中同向传输的基模干涉输出。当被测物质变化时, 输出谱中的谐振波长会发生偏移, 通过检测偏移量可计算被测物质浓度。分析输出谱中液体的吸收光谱信号, 实现被测物质的定性。本发明的方法一方面解决了传统生化传感器依靠价格昂贵且检测指标单一的特定敏感膜来定性的问题; 另一方面解决了含水液体定量检测中需避开水的吸收波段所带来的带宽受限问题。



1. 基于串联 LPWG 的生化传感器的分析方法,其特征在于,所述传感器包括芯层与被测包层,芯层在与被测包层相接触的一侧向被测包层方向延伸出第一长周期波导光栅 LPWG₁ 和第二长周期波导光栅 LPWG₂,所述方法具体包括以下步骤:

S1:入射光经芯层第一端进入,部分光经第一长周期波导光栅 LPWG₁耦合进入被测包层,部分光沿芯层传输;

S2:沿被测包层传输的部分光经第二长周期波导光栅 LPWG₂耦合进入芯层;

S3:由步骤 S2 得到的部分光与步骤 S1 的芯层中同向传播的部分光干涉输出,得到输出谱,计算分析输出谱中谐振波长的偏移量及其中物质的吸收光谱信息。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,步骤 S1 中,能够经第一长周期波导光栅 LPWG₁耦合进入被测包层的部分光为以谐振波长为中心的一定带宽范围的光。

3. 根据权利要求 2 所述的方法,其特征在于,所述芯层为矩形波导,所述被测包层为矩形波导。

4. 根据权利要求 3 所述的方法,其特征在于,所述步骤 S1 具体为:入射光从波导第一端进入,经过长度为 L₁的第一长周期波导光栅 LPWG₁后,芯层模与被测包层模的输出振幅分别为 A_{co}(L₁) 与 A_{cl}(L₁),

$$\begin{bmatrix} A_{co}(L_1) \\ A_{cl}(L_1) \end{bmatrix} = e^{j\frac{\beta_{co} + \beta_{cl}}{2}L_1} \begin{bmatrix} e^{j\frac{KL_1}{2}} & 0 \\ 0 & e^{-j\frac{KL_1}{2}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} t_1 e^{j\frac{\theta_1}{2}} & jr_1 \\ jr_1^* & t_1 e^{-j\frac{\theta_1}{2}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A_{co}(0) \\ A_{cl}(0) \end{bmatrix};$$

其中, Λ 为第一长周期波导光栅 LPWG₁的周期, L₁为第一长周期波导光栅 LPWG₁ 的长度, $K = \frac{2\pi}{\Lambda}$ 为第一长周期波导光栅 LPWG₁常数, $r_1 = \frac{\kappa_1 \sin(s_1 L_1)}{s_1}$ 为第一长周期波

导光栅 LPWG₁处被测包层模的幅度, κ_1 表示第一长周期波导光栅 LPWG₁的耦合系数,

$t_1 = \sqrt{1 - r_1^* r_1}$ 为第一长周期波导光栅 LPWG₁处芯层模的幅度, $s_1^2 = \kappa_1 \kappa_1^* + \left(\frac{\delta\beta_1}{2}\right)^2$ 中的 s₁

为与第一长周期波导光栅 LPWG₁有关的常数, (·)*表示转置, δ 为第一长周期波导光

栅 LPWG₁自耦合系数, $\theta_1 = 2 \arctan \left[\frac{\delta\beta_1}{2s_1} \tan(s_1 L_1) \right]$ 为光经过长度为 L₁的第一长周期波导

光栅 LPWG₁后的相移, N_{eff^{co}} 为芯层模的有效折射率, N_{eff^{cl}} 为被测包层模的有效折射率,

$\delta\beta_1 = \beta_{co} - \beta_{cl} - K_1 = \frac{2\pi}{\lambda} (N_{eff^{co}} - N_{eff^{cl}} - \frac{\lambda}{\Lambda})$ 为第一长周期波导光栅 LPWG₁的相位失配因子, λ

表示谐振中心波长, A_{co}(0) 表示芯层模初始位置的振幅, A_{cl}(0) 表示被测包层模初始位置的振幅。

5. 根据权利要求 3 所述的方法,其特征在于,所述步骤 S2 还包括步骤 S20:经过长度为 d 的波导,芯层模与被测包层模的输出振幅分别为 A_{co}(L₁+d) 与 A_{cl}(L₁+d);

$$\begin{bmatrix} A_{co}(L_1 + d) \\ A_{cl}(L_1 + d) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{j\beta_{co}d} & 0 \\ 0 & e^{j\beta_{cl}d} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A_{co}(L_1) \\ A_{cl}(L_1) \end{bmatrix};$$

其中, d 为第一长周期波导光栅 LPWG₁ 与第二长周期波导光栅 LPWG₂ 的连接波导的长度。

6. 根据权利要求 3 所述的方法, 其特征在于, 所述步骤 S2 具体为: 经过长度为 L_2 的第二长周期波导光栅 LPWG₂ 后, 芯层模与被测包层模的输出振幅分别为 $A_{co}(L_1+d+L_2)$ 与 $A_{cl}(L_1+d+L_2)$;

$$\begin{bmatrix} A_{co}(L_1+d+L_2) \\ A_{cl}(L_1+d+L_2) \end{bmatrix} = e^{j\frac{\beta_{co}+\beta_{cl}}{2}L_2} \begin{bmatrix} e^{j\frac{KL_2}{2}} & 0 \\ 0 & e^{-j\frac{KL_2}{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_2 e^{j\frac{\theta_2}{2}} & jr_2 \\ jr_2^* & t_2 e^{-j\frac{\theta_2}{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{co}(L_1+d) \\ A_{cl}(L_1+d) \end{bmatrix};$$

其中, Λ 为第二长周期波导光栅 LPWG₂ 的周期, L_2 为第二长周期波导光栅 LPWG₂ 的长度, $K = \frac{2\pi}{\Lambda}$ 为第二长周期波导光栅 LPWG₂ 常数, $r_2 = \frac{\kappa_2 \sin(s_2 L_2)}{s_2}$ 为第二长周期波导光栅 LPWG₂ 处被测包层模的幅度, κ_2 表示第二长周期波导光栅 LPWG₂ 的耦合系数, $t_2 = \sqrt{1-r_2^* r_2}$ 为第二长周期波导光栅 LPWG₂ 处芯层模的幅度, $s_2^2 = \kappa_2 \kappa_2^* + (\frac{\delta\beta_2}{2})^2$ 中的 s_2 为与 LPWG₂ 有关的常数, $\theta_2 = 2 \arctan \left[\frac{\delta\beta_2}{2s_2} \tan(s_2 L_2) \right]$ 为光经过长度为 L_2 的第二长周期波导光栅 LPWG₂ 后相移,

$\delta\beta_2 = \beta_{co} - \beta_{cl} - K_2 = \frac{2\pi}{\lambda} (N_{eff}^{co} - N_{eff}^{cl} - \frac{\lambda}{\Lambda})$ 为第二长周期波导光栅 LPWG₂ 的相位失配因子, λ

表示谐振中心波长。

7. 根据权利要求 3 所述的方法, 其特征在于, 所述步骤 S3 具体为: 将芯层模输出与被测包层模输出进行干涉得到输出谱, 计算分析输出谱中谐振波长的偏移量及其中物质的吸收光谱信息, 同时计算出芯层模输出与被测包层模的输出功率分别为 $T(L_1+d+L_2)$ 与 $R(L_1+d+L_2)$,

$$\begin{bmatrix} T(L_1+d+L_2) \\ R(L_1+d+L_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \|A_{co}(L_1+d+L_2)\|^2 \\ \|A_{cl}(L_1+d+L_2)\|^2 \end{bmatrix};$$

其中, $\|\cdot\|^2$ 表示对矩阵先做“行列式”运算, 然后进行“模”的运算。

8. 根据权利要求 4 至 7 任意一项所述的方法, 其特征在于, 所述传感器参数由以下方法步骤确定:

S01: 用 Marcatili 方法确定出针对谐振波长的入射波长范围内单模工作的矩形波导芯层几何尺寸以及芯层的参数;

所述矩形波导芯层几何尺寸具体包括: 芯层的宽度 a , 芯层的高度 h , 光栅的深度 Δh ;

所述芯层模的参数具体包括: 传输常数 β_{co} , 沿 x 、 y 方向的传输常数 K_x 、 K_y , 并计算出在谐振中心波长 λ 下的芯层模有效折射率 N_{eff}^{co} ;

S02: 用 Marcatili 方法确定矩形波导被测包层的几何尺寸以及被测包层模的参数;

所述矩形波导被测包层几何尺寸具体包括: 被测包层的宽度 b , 被测包层的高度 h ;

所述被测包层模的参数具体包括: 传输常数 β_{cl} , 沿 x 、 y 方向的传输常数 K_x 、 K_y , 并计算

出在谐振中心波长 λ 下的被测包层模有效折射率 N_{eff}^{cl} ;

S03:根据芯层模的有效折射率 N_{eff}^{co} 以及被测包层模的有效折射率 N_{eff}^{cl} , 利用 LPWG 的相位匹配条件 $\lambda = \Lambda(N_{eff}^{co} - N_{eff}^{cl})$, 确定 LPWG 的周期 Λ 。

基于串联 LPWG 的生化传感器的分析方法

技术领域

[0001] 本发明属于集成光学领域、生物光子学领域以及光谱分析领域,具体涉及长周期波导光栅的模式耦合与传输特性,以及生化传感机理中定性分析与定量分析模型与方法。

背景技术

[0002] 目前,对于国内外研制的生化传感器,无论是基于电化学原理、微流控技术还是基于光学原理进行检测的生化传感器,通常在器件与被测物质的接触面淀积生化敏感膜,根据通过敏感膜对特定物质的吸附或与其发生物理化学变化来完成被测物质的选择与区分,而且需要体积较大的棱镜与光环形器。这种设计方案,不但增加了器件的设计复杂性,还会增加传感器的尺寸与成本,而且每一种敏感膜通常仅能对一种相应物质进行定性,敏感膜会随着使用时间及使用频率的增加出现选择性变差,并产生交叉敏感性,这样会降低传感器的灵敏度及检测效率,造成定性不准确。

[0003] 精确的折射率 (RI) 传感对于科学研究和工业应用来说非常重要。因为基本所有的生物和化学物质的定量检测都可以通过检测其折射率来实现,所以,对于生化传感来说准确解析被测物质的折射率是一个先决条件。通常被检测物质需要通过水作为溶剂并作为载体被送入检测区域,如果所选检测光源波段包含水的吸收信息,则不能完成定量或是会对定量结果产生较大影响。这样的话就只能选择特定波段的检测光源,这就限制了检测范围。特别是在中远红外波段,基本所有物质(包含生化气体、液体)的基频吸收信息都在中远红外波段,物质的吸收系数要比在近红外波段大 1~2 个数量级,会大大提高检测灵敏度,然而在中远红外波段,水的吸收很强,这种挑战性问题的出现给生化检测带来极大困扰。可见,在生化传感器的研究过程中含水物质对生化传感中定量问题的不利影响进行深入研究将是非常必要的。

发明内容

[0004] 本发明为解决的上述技术问题,提出一种基于串联 LPWG 的生化传感器的分析方法。

[0005] 本发明采用的技术方案是:基于串联 LPWG 的生化传感器的分析方法,所述传感器包括芯层与被测包层,芯层在与被测包层相接触的一侧向被测包层方向延伸出 LPWG₁ 和 LPWG₂,所述方法具体包括以下步骤:

[0006] S1:入射光经芯层一端进入,部分光经 LPWG₁ 耦合进入被测包层,部分光沿芯层传输;

[0007] S2:沿被测包层传输的部分光经 LPWG₂ 耦合进入芯层;

[0008] S3:由步骤 S2 得到的部分光与步骤 S1 的芯层中同向传播的部分光干涉输出,得到输出谱,计算分析输出谱中谐振波长的偏移量及其中物质的吸收光谱信息。

[0009] 进一步地,步骤 S1 中,能够经 LPWG₁ 耦合进入被测包层的部分光为以谐振波长为中心的一定带宽范围的光。

[0010] 更进一步地,所述芯层为矩形波导,所述被测包层为矩形波导。

[0011] 进一步地,其特征在于,所述步骤 S1 具体为:入射光从波导一端进入,经过长度为 L_1 的 LPWG₁后,芯层模与被测包层模的输出振幅分别为 $A_{co}(L_1)$ 与 $A_{cl}(L_1)$,

$$[0012] \quad \begin{bmatrix} A_{co}(L_1) \\ A_{cl}(L_1) \end{bmatrix} = e^{j\frac{\beta_{co} + \beta_{cl}}{2}L_1} \begin{bmatrix} e^{j\frac{KL_1}{2}} & 0 \\ 0 & e^{-j\frac{KL_1}{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_1 e^{j\frac{\theta_1}{2}} & jr_1 \\ jr_1^* & t_1 e^{-j\frac{\theta_1}{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{co}(0) \\ A_{cl}(0) \end{bmatrix};$$

[0013] 其中, Λ 为 LPWG₁的周期, L_1 为 LPWG₁的长度, $K = \frac{2\pi}{\Lambda}$ 为 LPWG₁常数, $r_1 = \frac{\kappa_1 \sin(s_1 L_1)}{s_1}$

为 LPWG₁处被测包层模的幅度, κ_1 表示 LPWG₁的耦合系数, $t_1 = \sqrt{1 - r_1^* r_1}$ 为 LPWG₁处芯层模

的幅度, $s_1^2 = \kappa_1 \kappa_1^* + \left(\frac{\delta\beta_1}{2}\right)^2$ 中的 s_1 为与 LPWG₁有关的常数, $\theta_1 = 2 \arctan \left[\frac{\delta\beta_1}{2s_1} \tan(s_1 L_1) \right]$ 为光经

过长度为 L_1 的 LPWG₁后的相移, N_{eff}^{co} 为芯层模的有效折射率, N_{eff}^{cl} 为被测包层模的有效折射

率, $\delta\beta_1 = \beta_{co} - \beta_{cl} - K_1 = \frac{2\pi}{\lambda} (N_{eff}^{co} - N_{eff}^{cl} - \frac{\lambda}{\Lambda})$ 为 LPWG₁的相位失配因子, λ 表示谐振中心波长。

[0014] 进一步地,所述步骤 S2 还包括步骤 S20:经过长度为 d 的波导,芯层模与被测包层模的输出振幅分别为 $A_{co}(L_1+d)$ 与 $A_{cl}(L_1+d)$;

$$[0015] \quad \begin{bmatrix} A_{co}(L_1+d) \\ A_{cl}(L_1+d) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{j\beta_{co}d} & 0 \\ 0 & e^{j\beta_{cl}d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{co}(L_1) \\ A_{cl}(L_1) \end{bmatrix};$$

[0016] 其中, d 为 LPWG₁与 LPWG₂的连接波导的长度。

[0017] 进一步地,所述步骤 S2 具体为:经过长度为 L_2 的 LPWG₂后,芯层模与被测包层模的输出振幅分别为 $A_{co}(L_1+d+L_2)$ 与 $A_{cl}(L_1+d+L_2)$;

$$[0018] \quad \begin{bmatrix} A_{co}(L_1+d+L_2) \\ A_{cl}(L_1+d+L_2) \end{bmatrix} = e^{j\frac{\beta_{co} + \beta_{cl}}{2}L_2} \begin{bmatrix} e^{j\frac{KL_2}{2}} & 0 \\ 0 & e^{-j\frac{KL_2}{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_2 e^{j\frac{\theta_2}{2}} & jr_2 \\ jr_2^* & t_2 e^{-j\frac{\theta_2}{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{co}(L_1+d) \\ A_{cl}(L_1+d) \end{bmatrix};$$

[0019] 其中, Λ 为 LPWG₂的周期, L_2 为 LPWG₂的长度, $K = \frac{2\pi}{\Lambda}$ 为 LPWG₂常数,

$r_2 = \frac{\kappa_2 \sin(s_2 L_2)}{s_2}$ 为 LPWG₂处被测包层模的幅度, κ_2 表示 LPWG₂的耦合系数,

$t_2 = \sqrt{1 - r_2^* r_2}$ 为 LPWG₂处芯层模的幅度, $s_2^2 = \kappa_2 \kappa_2^* + \left(\frac{\delta\beta_2}{2}\right)^2$ 中的 s_2 为与 LPWG₂

有关的常数, $\theta_2 = 2 \arctan \left[\frac{\delta\beta_2}{2s_2} \tan(s_2 L_2) \right]$ 为光经过长度为 L_2 的 LPWG₂后相移,

$\delta\beta_2 = \beta_{co} - \beta_{cl} - K_2 = \frac{2\pi}{\lambda} (N_{eff}^{co} - N_{eff}^{cl} - \frac{\lambda}{\Lambda})$ 为 LPWG₂的相位失配因子, λ 表示谐振中心波长。

[0020] 进一步地,所述步骤 S3 具体为:将芯层模输出与被测包层模输出进行干涉得到输

出谱,计算分析输出谱中谐振波长的偏移量及其中物质的吸收光谱信息,同时计算出芯层模输出与被测包层模的输出功率分别为 $T(L_1+d+L_2)$ 与 $R(L_1+d+L_2)$,

$$[0021] \quad \begin{bmatrix} T(L_1+d+L_2) \\ R(L_1+d+L_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \|A_{co}(L_1+d+L_2)\|^2 \\ \|A_{cl}(L_1+d+L_2)\|^2 \end{bmatrix};$$

[0022] 其中, $\|\cdot\|^2$ 表示对矩阵先做“行列式”运算,然后进行“模”的运算。

[0023] 更进一步地,所述波导参数由以下方法步骤确定;

[0024] S01:用 Marcatili 方法确定出针对谐振波长的入射波长范围内单模工作的矩形波导芯层几何尺寸以及芯层的参数;

[0025] 所述矩形波导芯层几何尺寸具体包括:芯层模的宽度 a ,芯层模的高度 h ,光栅的深度 Δh ;

[0026] 所述芯层模的参数具体包括:传输常数 β_{co} ,沿 x 、 y 方向的传输常数 K_x 、 K_y ,并计算出在谐振中心波长 λ_R 下的芯层模有效折射率 N_{eff}^{co} ;

[0027] S02:用 Marcatili 方法确定矩形波导被测包层的几何尺寸以及被测包层模的参数;

[0028] 所述矩形波导被测包层几何尺寸具体包括:被测包层模的宽度 b ,被测包层模的高度 h ;

[0029] 所述被测包层模的参数具体包括:传输常数 β_{cl} ,沿 x 、 y 方向的传输常数 K_x 、 K_y ,并计算出在谐振中心波长 λ_R 下的被测包层模有效折射率 N_{eff}^{cl} ;

[0030] S03:根据芯层模的有效折射率 N_{eff}^{co} 以及被测包层模的有效折射率 N_{eff}^{cl} ,利用 LPWG 的相位匹配条件 $\lambda_R = \Lambda(N_{eff}^{co} - N_{eff}^{cl})$,确定 LPWG 的周期 Λ 。

[0031] 本发明的有益效果:本发明提出的基于串联 LPWG 的生化传感器的分析方法,通过利用 LPWG 的耦合特性,将入射光波中以谐振波长为中心的一定带宽范围的光,通过 LPWG₁ 耦合进入被测包层,经过 LPWG₂ 再将此部分光耦合进入波导芯层,与波导芯层中同向传输的基模干涉输出。当液体变化时,输出谱中的谐振波长会发生偏移,通过检测偏移量可计算液体浓度。分析输出谱中液体的吸收光谱信号,实现被测液体的定性。本发明的方法一方面解决了传统生化传感器依靠价格昂贵且检测指标单一的特定敏感膜来定性的问题;另一方面解决了含水液体定量检测中需避开水的吸收波段所带来的带宽受限问题。以期实现大于 2000nm/RIU 的高灵敏度、小尺寸、低成本的 LPWG 生化传感技术研究,将在军用生化战剂检测方面具备广阔的应用背景,能够在现今越来越严重的关乎国计民生的食品、药品安全等民用领域问题的解决中提供重要的技术支持,具有重要的科学意义和深远的现实意义。

附图说明

[0032] 图 1 为本发明实施例提供的新型聚合物 LPWG 生化传感器的立体结构图;

[0033] 其中,1 是 LPWG₁,2 是两个 LPWG 之间的级联波导,3 是 LPWG₂,4 是液体包层,5 是聚合物波导芯层,6 是 SiO₂ 包层,7 是 Si 基底,8 是液体进出微孔。

[0034] 图 2 为本发明实施例提供的传感机理的模式耦合与传输特性示意图;

[0035] 其中, (a) 为俯视图, (b) 为横截面图。

[0036] 图 3 为本发明实施例提供的生化传感器的理论计算结果输出谱。

[0037] 图 4 为本发明的方案流程图。

具体实施方式

[0038] 为便于本领域技术人员理解本发明的技术内容, 下面结合附图对本发明内容进一步阐释。

[0039] 如图 1 所示为本发明的新型聚合物 LPWG 生化传感器的立体结构图, 参见图 1 的立体结构图, 本发明的传感器由两串联长周期波导光栅, 即 LPWG₁ 与 LPWG₂, 以及被测液体作为侧面包层组成。入射光经波导一端进入 LPWG₁ 将部分光信号耦合进入被测包层 4, 芯层中的光经过一段直波导 2 进入 LPWG₂。芯层采用聚合物材料, 除被测包层 4 外的其它包层采用二氧化硅。整个传感器由芯层 5、SiO₂包层 6、基底 7 和微孔 8 组成。

[0040] 如图 2 所示为发明的传感机理的模式耦合与传输特性示意图, 如图所示利用 LPWG 的耦合特性, 将入射光中以谐振波长为中心的一定带宽范围的光, 所述一定带宽范围通过具体的光栅设置决定, 其求解方法可参考文献《电光调谐的铌酸锂长周期波导光栅. 陈开鑫, 李俊慧. 2012》, 通过 LPWG₁ 耦合进入被测包层, 经过 LPWG₂ 再将此部分光耦合进入芯层, 与芯层中同向传输的芯层模干涉输出。当被测物质变化时, 输出谱中的谐振波长会发生偏移, 例如, 当被测物质为液体时, 通过检测偏移量计算液体浓度, 分析输出谱中液体的吸收光谱信号, 实现被测液体的定性。

[0041] 本发明的基于串联 LPWG 的生化传感器的分析方法, 具体包括以下步骤:

[0042] 首先进行关键参数计算, 所述关键参数计算包括以下分步骤:

[0043] S01: 用 Marcatili 方法确定出针对谐振波长的入射波长范围内单模工作的矩形波导芯层几何尺寸以及芯层模的参数;

[0044] 所述矩形波导芯层几何尺寸具体包括: 芯层的宽度 a , 芯层的高度 h , 光栅的齿高 Δh ;

[0045] 所述芯层模的参数具体包括: 传输常数 β , 沿 x 、 y 方向的传输常数 K_x 、 K_y , 并计算出在谐振中心波长 λ 下的芯层模有效折射率 N_{eff}^{co} , 具体的计算方法为本领域的常用方法, 此处不再做详细说明。

[0046] S02: 用 Marcatili 方法确定步骤 1a 中矩形波导被测包层的几何尺寸以及被测包层模的参数;

[0047] 所述矩形波导被测包层几何尺寸具体包括: 被测包层的宽度 b , 被测包层的高度 h ;

[0048] 所述被测包层模的参数具体包括: 传输常数 β , 沿 x 、 y 方向的传输常数 K_x 、 K_y , 并计算出在谐振中心波长 λ 下的被测包模有效折射率 N_{eff}^{cl} 。

[0049] S03: 根据芯层模的有效折射率 N_{eff}^{co} 以及被测包层模的有效折射率 N_{eff}^{cl} , 利用 LPWG 的相位匹配条件 $\lambda = \Lambda(N_{eff}^{co} - N_{eff}^{cl})$, 由此确定 LPWG 的周期 Λ 。

[0050] 其次, 根据得出的关键参数, 进行输出谱计算, 如图 4 所示为本发明的方案流程

图,具体包括以下分步骤:

[0051] S1:如图2的俯视图(a)和横截面图(b)所示,LPWG的周期为 Λ ,即LPWG₁和LPWG₂的周期均为 Λ ,LPWG₁和LPWG₂的长度分别为 L_1 和 L_2 ,本实施例中 $L_1=L_2=L$,LPWG₁和LPWG₂的连接波导的长度为 d ,光波导的宽度为 a ,高度为 h ,光栅的深度为 Δh ,芯层的折射率为 n_{co} ,被测包层的折射率为 n_{cl1} ,波导上下包层的折射率为 n_{cl2} 。

[0052] 光从波导第一端,即A端,经过LPWG₁后芯层模与被测包层模的输出振幅分别为 $A_{co}(L_1)$ 与 $A_{cl}(L_1)$,通过耦合模理论与传输矩阵法。得出两者的值如公式(1)所示,

$$[0053] \quad \begin{bmatrix} A_{co}(L_1) \\ A_{cl}(L_1) \end{bmatrix} = e^{j\frac{\beta_{co} + \beta_{cl}}{2}L_1} \begin{bmatrix} e^{j\frac{KL_1}{2}} & 0 \\ 0 & e^{-j\frac{KL_1}{2}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} t_1 e^{j\frac{\theta_1}{2}} & jr_1 \\ jr_1^* & t_1 e^{-j\frac{\theta_1}{2}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A_{co}(0) \\ A_{cl}(0) \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0054] 其中, Λ 为LPWG₁的周期, L_1 为LPWG₁的长度, $K = \frac{2\pi}{\Lambda}$ 为LPWG₁常数, $r_1 = \frac{\kappa_1 \sin(s_1 L_1)}{s_1}$

为LPWG₁处被测包层模的幅度, κ_1 表示LPWG₁的耦合系数, $t_1 = \sqrt{1 - r_1^* r_1}$ 为LPWG₁处芯层模

的幅度, $s_1^2 = \kappa_1 \kappa_1^* + \left(\frac{\delta\beta_1}{2}\right)^2$ 中的 s_1 为与LPWG₁有关的常数, $\theta_1 = 2 \arctan \left[\frac{\delta\beta_1}{2s_1} \tan(s_1 L_1) \right]$ 为光经

过长度为 L_1 的LPWG₁后的相移, N_{eff}^{co} 为芯层模的有效折射率, N_{eff}^{cl} 为被测包层模的有效折射

率, $\delta\beta_1 = \beta_{co} - \beta_{cl} - K_1 = \frac{2\pi}{\lambda} (N_{eff}^{co} - N_{eff}^{cl} - \frac{\lambda}{\Lambda})$ 为LPWG₁的相位失配因子, λ 表示谐振中心波长。

[0055] S20:经过长度为 d 的波导,芯层模与被测包层模的输出振幅分别为 $A_{co}(L_1+d)$ 与 $A_{cl}(L_1+d)$;

$$[0056] \quad \begin{bmatrix} A_{co}(L_1+d) \\ A_{cl}(L_1+d) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{j\beta_{co}d} & 0 \\ 0 & e^{j\beta_{cl}d} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A_{co}(L_1) \\ A_{cl}(L_1) \end{bmatrix}; \quad (2)$$

[0057] 其中, d 为LPWG₁和LPWG₂的连接波导的长度。

[0058] S2:再经过长度为 L_2 的LPWG₂后芯层模与包层模的振幅为,

[0059]

$$\begin{bmatrix} A_{co}(L_1+d+L_2) \\ A_{cl}(L_1+d+L_2) \end{bmatrix} = e^{j\frac{\beta_{co} + \beta_{cl}}{2}L_2} \begin{bmatrix} e^{j\frac{KL_2}{2}} & 0 \\ 0 & e^{-j\frac{KL_2}{2}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} t_2 e^{j\frac{\theta_2}{2}} & jr_2 \\ jr_2^* & t_2 e^{-j\frac{\theta_2}{2}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A_{co}(L_1+d) \\ A_{cl}(L_1+d) \end{bmatrix} \quad (3)$$

[0060] 其中, Λ 为LPWG₂的周期, L_2 为LPWG₂的长度, $K = \frac{2\pi}{\Lambda}$ 为LPWG₂常数,

$r_2 = \frac{\kappa_2 \sin(s_2 L_2)}{s_2}$ 为LPWG₂处被测包层模的幅度, κ_2 表示LPWG₂的耦合系数,

$t_2 = \sqrt{1 - r_2^* r_2}$ 为LPWG₂处芯层模的幅度, $s_2^2 = \kappa_2 \kappa_2^* + \left(\frac{\delta\beta_2}{2}\right)^2$ 中的 s_2 为与LPWG₂有

关的常数, $\theta_2 = 2 \arctan \left[\frac{\delta\beta_2}{2s_2} \tan(s_2 L_2) \right]$ 为光经过长度为 L_2 的 LPWG₂ 后相移,

$\delta\beta_2 = \beta_{co} - \beta_{cl} - K_2 = \frac{2\pi}{\lambda} (N_{eff}^{co} - N_{eff}^{cl} - \frac{\lambda}{\Lambda})$ 为 LPWG₂ 的相位失配因子, λ 表示谐振中心波长。

[0061] S3: 将芯层模输出与被测包层模输出进行干涉得到输出谱如图 3 所示, 图中分别给出 3 种不同折射率, 即折射率分别为: n_{c1-1} 、 n_{c1-2} 、 n_{c1-3} , 的被测物质的输出谱, 通过计算分析输出谱中谐振波长的偏移量及其中物质的吸收光谱信息, 实现物质的定量与定性, 同时计算出芯层模输出与被测包层模的输出功率分别为 $T(L_1+d+L_2)$ 与 $R(L_1+d+L_2)$,

$$[0062] \quad \begin{bmatrix} T(L_1+d+L_2) \\ R(L_1+d+L_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \|A_{co}(L_1+d+L_2)\|^2 \\ \|A_{cl}(L_1+d+L_2)\|^2 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

[0063] 其中, $\|\cdot\|^2$ 表示对矩阵先做“行列式”运算, 然后进行“模”的运算。

[0064] 本发明的生化传感器在硅基上采用聚合物材料作为波导芯层, 并在波导芯侧壁制作两个串联的 LPWG, 以被测物质作为波导包层。上述被测物质可以为生化液体、生化气体或者是符合条件的固态物质等。通过两条 LPWG 将波导中传输的部分光耦合进入液体包层, 在传输一段距离后再经 LPWG 将光耦合进入芯层, 最后得到含有因被测物质折射率改变所致的谐振波长的偏移量以及被测物质吸收信息的光谱信号。

[0065] 本发明提出的基于串联 LPWG 的生化传感器的分析方法, 通过利用 LPWG 的耦合特性, 将入射光波中以谐振波长为中心的一定带宽范围的光, 经过 LPWG₁ 耦合进入被测包层, 经过 LPWG₂ 再将此部分光耦合进入芯层, 与芯层中同向传输的基模干涉输出。当被测物质变化时, 输出谱中的谐振波长会发生偏移, 通过检测偏移量可计算液体浓度。分析输出谱中被测物质的吸收光谱信号, 实现被测物质的定性。本发明的方法一方面解决了传统生化传感器依靠价格昂贵且检测指标单一的特定敏感膜来定性的问题; 另一方面解决了含水液体定量检测中需避开水的吸收波段所带来的带宽受限问题。以期实现大于 2000nm/RIU 的高灵敏度、小尺寸、低成本的 LPWG 生化传感技术研究, 将在军用生化战剂检测方面具备广阔的应用背景, 能够在现今越来越严重的关乎国计民生的食品、药品安全等民用领域问题的解决中提供重要的技术支持, 具有重要的科学意义和深远的现实意义。

[0066] 本领域的普通技术人员将会意识到, 这里所述的实施例是为了帮助读者理解本发明的原理, 应被理解为本发明的保护范围并不局限于这样的特别陈述和实施例。对于本领域的技术人员来说, 本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内, 所作的任何修改、等同替换、改进等, 均应包含在本发明的权利要求范围之内。

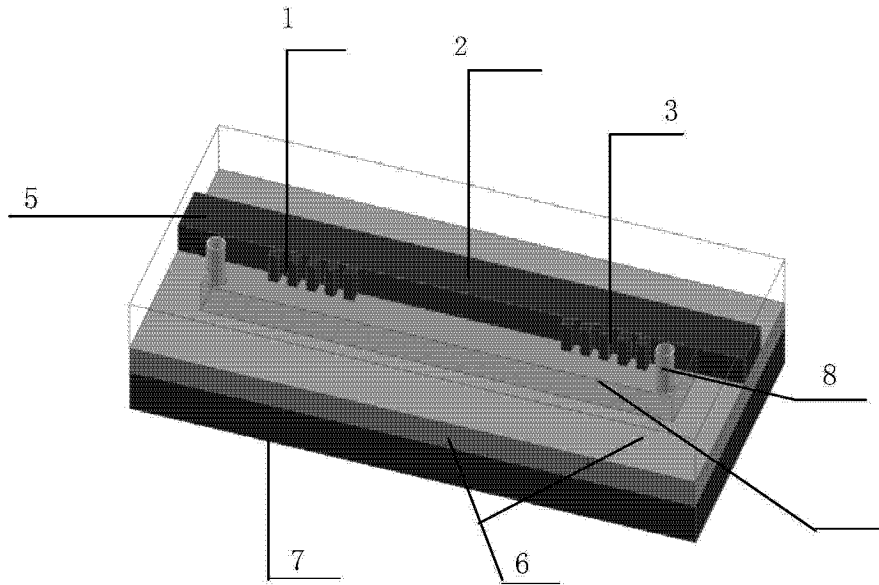


图 1

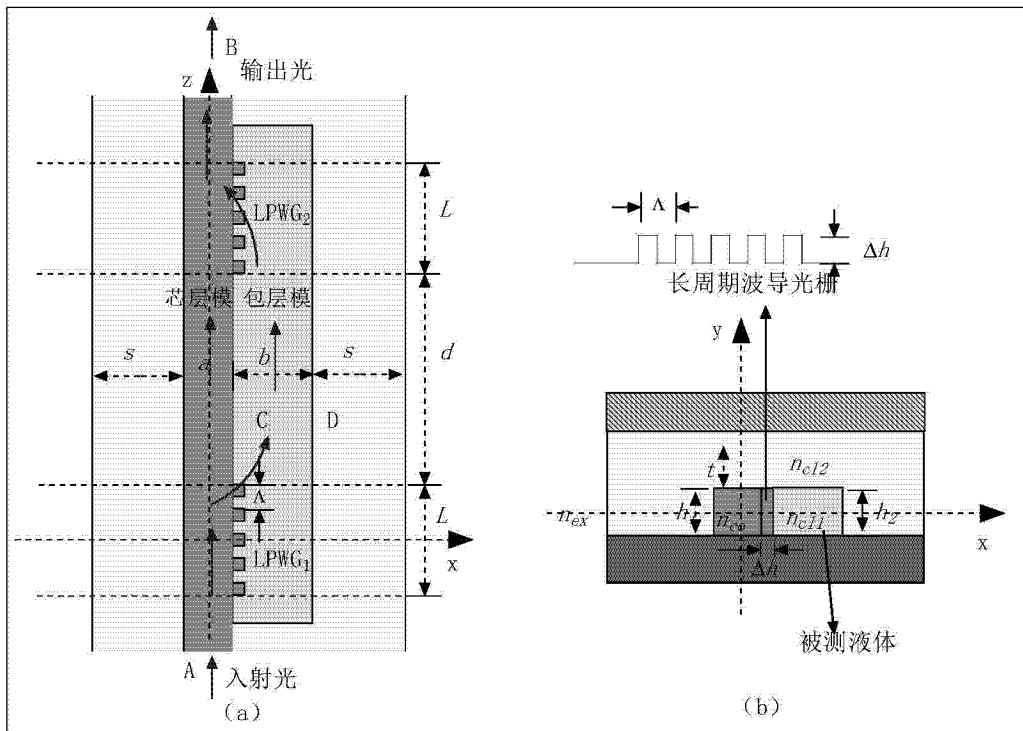


图 2

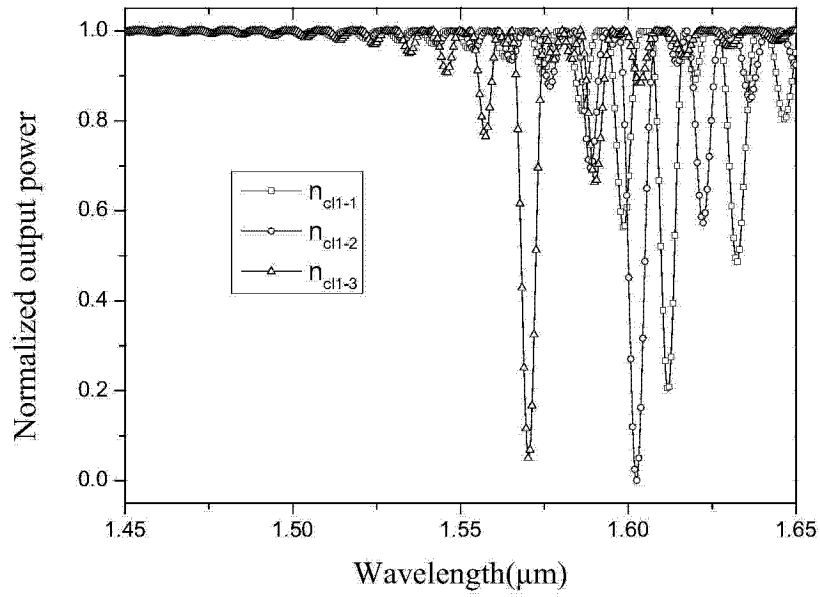


图 3

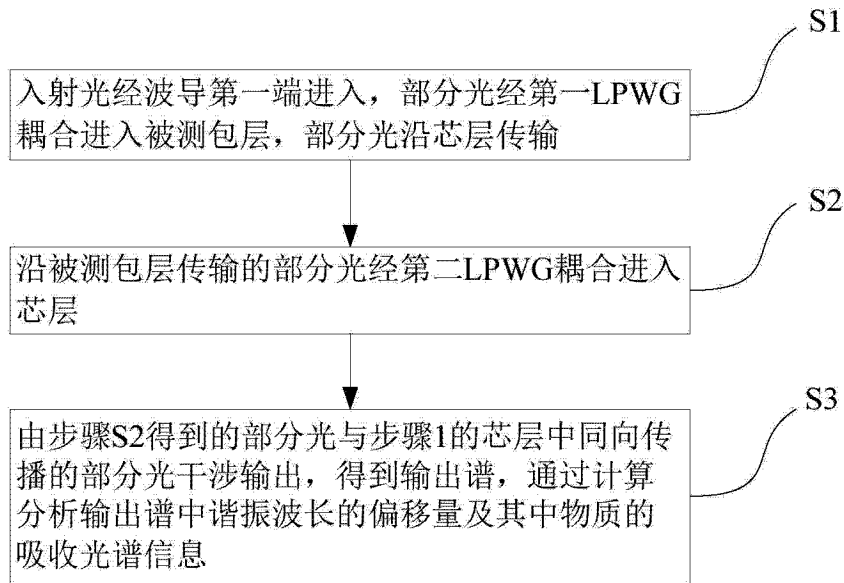


图 4