



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103808692 B

(45) 授权公告日 2015. 11. 11

(21) 申请号 201410025205. 5

(22) 申请日 2014. 01. 20

(73) 专利权人 浙江大学

地址 310027 浙江省杭州市西湖区浙大路  
38 号

(72) 发明人 时尧成 刘鹏浩

(74) 专利代理机构 杭州求是专利事务所有限公  
司 33200

代理人 杜军

(51) Int. Cl.

G01N 21/45(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101825480 A, 2010. 09. 08,

CN 101261222 A, 2008. 09. 10,

CN 1731149 A, 2006. 02. 08,

CN 201589751 U, 2010. 09. 22,

CN 101706424 A, 2010. 05. 12,

WO 0201204 A1, 2002. 01. 03,

CN 203811538 U, 2014. 09. 03,

陈勇 等. “马赫-曾德尔干涉仪的应用研  
究”. 《数字通信》. 2012, (第 12 期),

肖悦娱 等. “一种级联马赫曾德尔滤波器设  
计的新方法”. 《光学学报》. 2004, 第 24 卷 (第 3  
期),

B. E. Little 等. “Microring Resonator  
Channel Dropping Filters”. 《JOURNAL OF  
LIGHTWAVE TECHNOLOGY》. 1997, 第 15 卷 (第 6  
期),

审查员 林梦娜

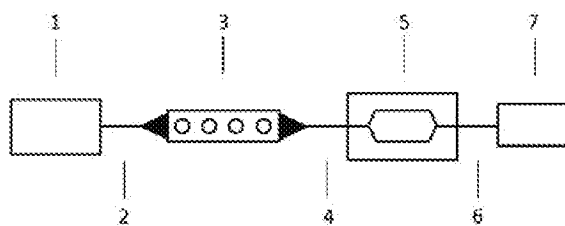
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种马赫-曾德干涉仪与微腔级联的强度探  
测型传感器

(57) 摘要

本发明公开了一种马赫-曾德干涉仪与微腔  
级联的强度探测型传感器。本发明包括宽带光  
源、输入光波导、微腔传感单元、连接光波导、  
马赫-曾德干涉仪型滤波器、输出光波导、光探  
测器；且宽带光源、输入光波导、微腔传感单  
元、连接光波导、马赫-曾德干涉仪型滤波器、  
输出光波导、光探测器自左向右依次耦合连  
接。光探测器为集成式 MSM 型硅基光电探测  
器，用于测量最终输出光强；宽带光源为外  
接的发光二极管所有输入光波导均为单模传  
输平面集成光波导；微腔传感单元为二维光  
子晶体微腔或一维光子晶体纳米梁微腔。本  
发明以强度探测取代频谱探测，避免使用光  
谱仪，结合平面光波导的集成化优势及微纳  
光腔的高灵敏度特性，实现光传感功能。



1. 一种马赫-曾德干涉仪与微腔级联的强度探测型传感器,其特征在于包括宽带光源、输入光波导、微腔传感单元、连接光波导、马赫-曾德干涉仪型滤波器、输出光波导、光探测器;且宽带光源、输入光波导、微腔传感单元、连接光波导、马赫-曾德干涉仪型滤波器、输出光波导、光探测器自左向右依次耦合连接;所述的光探测器为集成式 MSM 型硅基光电探测器,用于测量最终输出光强;所述的宽带光源为外接的发光二极管;输入光波导、连接光波导、输出光波导均为单模传输平面集成光波导;所述的微腔传感单元与待测物质直接接触,微腔传感单元为二维光子晶体微腔或一维光子晶体纳米梁微腔;微腔传感单元随其所处待测环境不同而具有不同的谐振透射峰值波长;当待测物质的浓度引起其有效折射率变化而通过倏逝波作用于微腔传感单元导致其光学长度发生相应变化,从而进一步引起其谐振峰位置的变化;利用级联的马赫-曾德干涉仪型滤波器对不同波长的光能量具有不同透过率的特性,就能够将微腔传感单元的谐振峰的变化,转化为从马赫-曾德干涉仪型滤波器出射的光能量的变化。

2. 如权利要求 1 所述的一种马赫-曾德干涉仪与微腔级联的强度探测型传感器,其特征在于当宽带光源的光信号耦合入输入光波导并经传播进入微腔传感单元;微腔传感单元输出光强光谱满足洛伦兹线型,即:

$$T_1 = A \frac{\Delta\lambda}{4(\lambda - \lambda_0)^2 + \Delta\lambda^2} \quad (1)$$

式 (1) 中,  $T_1$  为经过微腔传感单元后的透射系数,  $A$  为归一化系数,  $\lambda_0$  为谐振中心波长,  $\Delta\lambda$  为半极大全宽度,  $\lambda$  为入射光波长。

3. 如权利要求 1 所述的一种马赫-曾德干涉仪与微腔级联的强度探测型传感器,其特征在于所述的马赫-曾德干涉仪型滤波器的光强透射系数  $T_2$  为:

$$T_2 = \sin^2(\Delta L n \pi / \lambda) \quad (2)$$

式 (2) 中,  $\Delta L$  为马赫-曾德干涉仪型滤波器两臂之间的光程差,  $n$  为波导折射率,  $\lambda$  为入射光波长。

4. 如权利要求 1 所述的一种马赫-曾德干涉仪与微腔级联的强度探测型传感器,其特征在于微腔传感单元与马赫-曾德干涉仪型滤波器之间通过连接光波导而形成级联,总的透射系数  $T$  表示为:

$$T = T_1 \times T_2 \quad (3)$$

即总的透射系数  $T$  为微腔传感单元透射系数  $T_1$  与马赫-曾德干涉仪型滤波器透射系数  $T_2$  的乘积。

## 一种马赫 - 曾德干涉仪与微腔级联的强度探测型传感器

### 技术领域

[0001] 本发明属于光电子器件领域,具体涉及一种马赫 - 曾德干涉仪与微腔级联的强度探测型传感器。

### 背景技术

[0002] 微型化、集成化、多功能化、智能化、便携式将成为新型光学传感器的发展趋势,针对这些要求,基于集成光学的平面光波导的传感器将在这一领域大有作为。当被测物理量发生变化时,它们所对应的荧光特性、谐振、吸收、拉曼散射、表面等离子体共振等特性就会发生变化,所以可以通过光学方法进行测定。基于光学原理的集成光波导传感器由于其具有灵敏度高、响应时间短、不受电磁干扰、器件尺寸小等特点受到广泛关注。

[0003] 基于平面光波导的集成光子器件在光通信领域中的研究已经很成熟,且在实际应用中取得了突出的成果。利用目前的研究成果,把集成光子技术用于生物传感能够节约大量人力物力,是一个方便快捷的方法。集成光子传感器的感应和传递信息的媒质是直接制作在芯片上的平面光波导结构。对于传统的基于谐振原理的集成光子传感器,一般是通过测量谐振波长的漂移获得被测物理量的大小。因此,对于高灵敏度传感应用,高分辨率(如 0.02nm)光谱仪就往往成为不可或缺的重要检测仪器。但高分辨率光谱仪不仅价格昂贵,而且体积庞大。这极大地阻碍了光学传感系统微型化、便携化和低成本化。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的在于针对现有技术的不足,提供一种马赫 - 曾德干涉仪与微腔级联的强度探测型传感器。以强度探测取代频谱探测,避免使用光谱仪,结合平面光波导的集成化优势及微纳光腔的高灵敏度特性,实现光传感功能。

[0005] 本发明包括宽带光源、输入光波导、微腔传感单元、连接光波导、马赫 - 曾德干涉仪型滤波器、输出光波导、光探测器;且宽带光源、输入光波导、微腔传感单元、连接光波导、马赫 - 曾德干涉仪型滤波器、输出光波导、光探测器自左向右依次耦合连接。

[0006] 所述的光探测器为集成式 MSM 型硅基光电探测器,用于测量最终输出光强。

[0007] 所述的宽带光源为外接的发光二极管;所有输入光波导、连接光波导、输出光波导均为单模传输平面集成光波导。

[0008] 所述的微腔传感单元与待测物质直接相接触,微腔传感单元为二维光子晶体微腔或一维光子晶体纳米梁微腔;微腔传感单元随其所处待测环境不同而具有不同的谐振透射峰值波长;当待测物质的浓度引起其有效折射率变化而通过倏逝波作用于微腔传感单元导致其光学长度发生相应变化,从而进一步引起其谐振峰位置的变化;利用级联的马赫 - 曾德干涉仪型滤波器对不同波长的光能量具有不同透过率的特性,就能够将微腔传感单元的谐振峰的变化,转化为从马赫 - 曾德干涉仪型滤波器出射的光能量的变化。

[0009] 当宽带光源的光信号耦合入输入光波导并经传播进入微腔传感单元;微腔传感单元输出光强光谱满足洛伦兹线型,即:

$$[0010] \quad T_1 = A \frac{\Delta\lambda}{4(\lambda - \lambda_0)^2 + \Delta\lambda^2} \quad (1)$$

[0011] 式(1)中,  $T_1$ 为经过微腔传感单元后的透射系数,  $A$ 为归一化系数,  $\lambda_0$ 为谐振中心波长,  $\Delta\lambda$ 为半极大全宽度,  $\lambda$ 为入射光波长。

[0012] 所述的马赫-曾德干涉仪型滤波器的光强透射系数  $T_2$ 为:

$$[0013] \quad T_2 = \sin^2(\Delta L n \pi / \lambda) \quad (2)$$

[0014] 式(2)中,  $\Delta L$ 为马赫-曾德干涉仪型滤波器两臂之间的光程差,  $n$ 为波导折射率,  $\lambda$ 为入射光波长。

[0015] 微腔传感单元与马赫-曾德干涉仪型滤波器之间通过连接光波导而形成级联, 总的透射系数  $T$ 表示为:

$$[0016] \quad T = T_1 \times T_2 \quad (3)$$

[0017] 即总的透射系数  $T$ 为微腔传感单元透射系数  $T_1$ 与马赫-曾德干涉仪型滤波器透射系数  $T_2$ 的乘积。

[0018] 本发明具有的有益效果是:

[0019] 马赫-曾德干涉仪与微腔级联的强度探测型平面光波导传感器结合平面光波导的集成化优势及微纳光腔的高灵敏度特性, 具有结构紧凑、制作方法简便、方便携带和成本低的特点。

[0020] 利用强度探测取代频谱探测的方案, 通过马赫-曾德干涉仪滤波单元避免采用体积较大的光谱仪, 从而更加凸显了本发明便携与成本低的优点。

[0021] 与传统的测量某一固定波长对应的功率变化的传感器相比, 本发明只需使用普通的外接LED作为宽带光源, 而不需要使用稳定的可调激光器, 从而更具有工程应用价值。

## 附图说明

[0022] 图1是本发明组成示意图;

[0023] 图2(a)是一维光子晶体纳米梁微腔结构俯视图;

[0024] 图2(b)是一维光子晶体纳米梁微腔传感单元的输出响应;

[0025] 图3是马赫-曾德干涉仪型滤波器的输出响应;

[0026] 图4(a)是马赫-曾德干涉仪型滤波器与微腔传感单元级联后的总输出响应;

[0027] 图4(b)是微腔谐振波长随待测折射率环境的变化曲线。

## 具体实施方式

[0028] 下面结合附图对本发明作进一步的说明。

[0029] 参照图1, 一种马赫-曾德干涉仪与微腔级联的强度探测型传感器, 包括宽带光源1、输入光波导2、微腔传感单元3、连接光波导4、马赫-曾德干涉仪型滤波器5、输出光波导6、光探测器7。且宽带光源1、输入光波导2、微腔传感单元3、连接光波导4、马赫-曾德干涉仪型滤波器5、输出光波导6、光探测器7自左向右依次耦合连接。

[0030] 所述的光探测器为集成式MSM型硅基光电探测器, 用于测量最终输出光强。

[0031] 所述的宽带光源为外接的发光二极管; 所有输入光波导、连接光波导、输出光波导均为单模传输平面集成光波导。

[0032] 所述的微腔传感单元与待测物质直接接触,微腔传感单元为二维光子晶体微腔或一维光子晶体纳米梁微腔;微腔传感单元随其所处待测环境不同而具有不同的谐振透射峰值波长;当待测物质的浓度引起其有效折射率变化而通过倏逝波作用于微腔传感单元导致其光学长度发生相应变化,从而进一步引起其谐振峰位置的变化;利用级联的马赫-曾德干涉仪型滤波器对不同波长的光能量具有不同透过率的特性,就能够将微腔传感单元的谐振峰的变化,转化为从马赫-曾德干涉仪型滤波器出射的光能量的变化。

[0033] 当宽带光源的光信号耦合入输入光波导并经传播进入微腔传感单元;微腔传感单元输出光强光谱满足洛伦兹线型,即:

$$[0034] \quad T_1 = A \frac{\Delta\lambda}{4(\lambda - \lambda_0)^2 + \Delta\lambda^2} \quad (1)$$

[0035] 式(1)中, $T_1$ 为经过微腔传感单元后的透射系数,A为归一化系数, $\lambda_0$ 为谐振中心波长, $\Delta\lambda$ 为半极大全宽度, $\lambda$ 为入射光波长。

[0036] 所述的马赫-曾德干涉仪型滤波器的光强透射系数 $T_2$ 为:

$$[0037] \quad T_2 = \sin^2(\Delta L n \pi / \lambda) \quad (2)$$

[0038] 式(2)中, $\Delta L$ 为马赫-曾德干涉仪型滤波器两臂之间的光程差,n为波导折射率, $\lambda$ 为入射光波长。

[0039] 微腔传感单元与马赫-曾德干涉仪型滤波器之间通过连接光波导而形成级联,总的透射系数T表示为:

$$[0040] \quad T = T_1 \times T_2 \quad (3)$$

[0041] 即总的透射系数T为微腔传感单元透射系数 $T_1$ 与马赫-曾德干涉仪型滤波器透射系数 $T_2$ 的乘积。

[0042] 实施例

[0043] 图示实例中,所有输入光波导、连接光波导、输出光波导均为高度为220纳米宽度(700nm)相同的SOI单模波导。

[0044] 所述的微腔传感单元3与待测物质直接接触,微腔传感单元3为二维光子晶体微腔或一维光子晶体纳米梁微腔。图2(a)是具体的一维光子晶体纳米梁微腔结构俯视图,该结构是在所述的SOI单模波导的中心刻蚀一维周期性圆孔结构而得到,刻蚀深度为220纳米,各个圆孔中心距即一维周期常数a为330纳米,圆孔半径大小自中间向左右两端按与中心距离的平方呈逐步递减,其中中心处最大圆孔半径为121纳米,两端最小圆孔半径为86纳米,圆孔总数为25。当宽带光源1的光信号耦合入输入光波导2并经传播进入微腔传感单元3,微腔传感单元3仅在其特有的波长范围内具有输出光谱,不同的微腔传感单元3其具有输出光谱的波长范围不同;微腔传感单元3输出光强光谱如图2(b)所示。

[0045] 所述的马赫-曾德干涉仪型滤波器5同样基于高度220纳米,宽度700纳米的SOI单模波导,上臂为直通臂,下臂通过增加臂长引入光程差以实现干涉滤波,图3是马赫-曾德干涉仪型滤波器的输出响应。

[0046] 本发明中微腔传感单元3与马赫-曾德干涉仪型滤波器5之间通过连接光波导4而形成级联,总的透射系数T为微腔传感单元3透射系数 $T_1$ 与马赫-曾德干涉仪型滤波器5透射系数 $T_2$ 的乘积。当微腔传感单元3所处环境的折射率发生变化,将会导致其谐振波长发生漂移,该漂移通过工作于线性工作区的马赫-曾德干涉仪型滤波器5转化为整体光

强透过率的变化,如图 4 (a) 所示。

[0047] 在实际进行传感应用时,微腔传感单元 3 随其所处待测环境不同而具有不同的谐振透射峰值波长;当待测物质的浓度引起其有效折射率变化而通过倏逝波作用于微腔传感单元 3 导致其光学长度发生相应变化,从而进一步引起其谐振峰位置的变化,具体谐振波长随待测折射率环境的变化关系如图 4 (b) 所示;利用级联的马赫-曾德干涉仪型滤波器 5 对不同波长的光能量具有不同透过率的特性,就能够将微腔传感单元 3 的谐振峰的变化,转化为从马赫-曾德干涉仪型滤波器 5 出射的光能量的变化,因此利用光探测器 7 测出输出光信号的强度信息,便能够进一步获得待测物质的折射率、浓度等信息。

[0048] 在本实例中,微腔传感单元 3 的灵敏度为 103nm/RIU,马赫-曾德干涉仪型滤波器 5 在线性工作区的透过率斜率为 0.027/nm,线性工作区范围为 20nm,则系统可测折射率变化范围为 0.194,若探测器的探测精度为 0.01dB,则最小可测折射率变化达到  $8.2 \times 10^{-4}$ 。

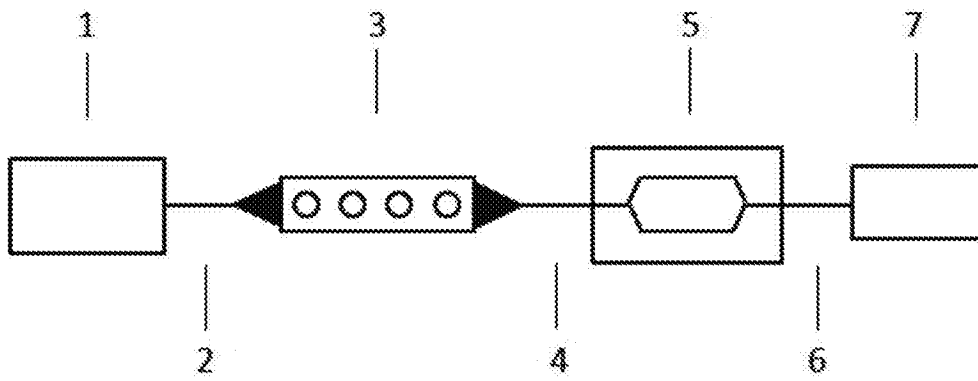


图 1

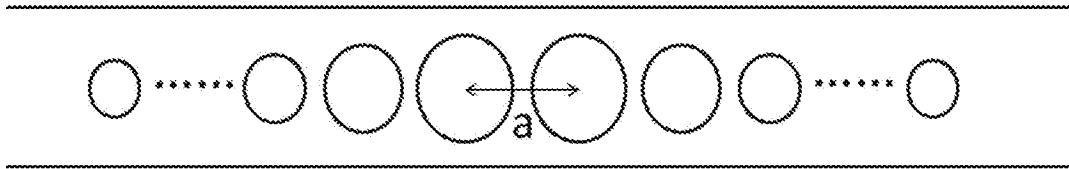


图 2 (a)

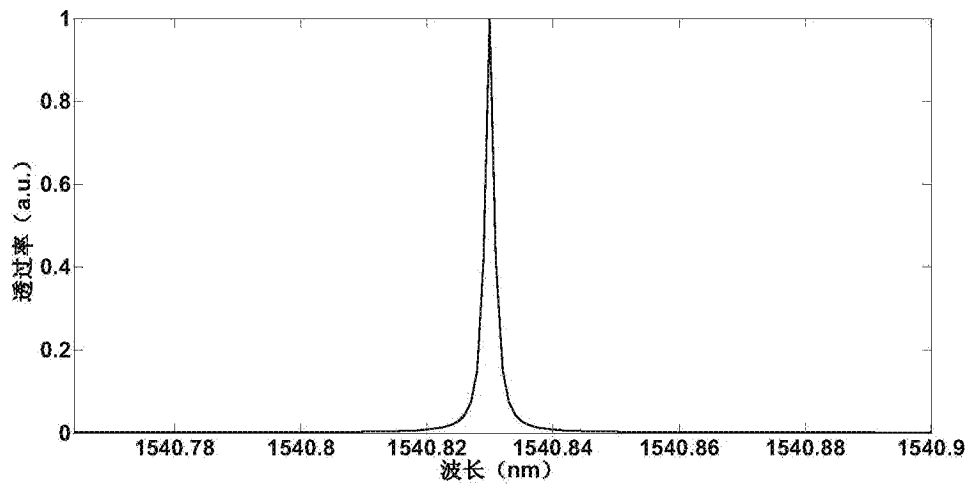


图 2 (b)

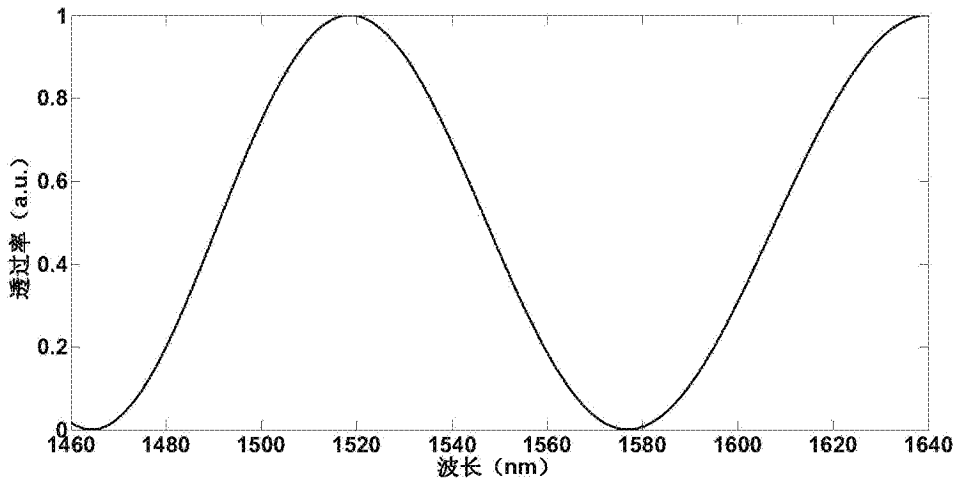


图 3

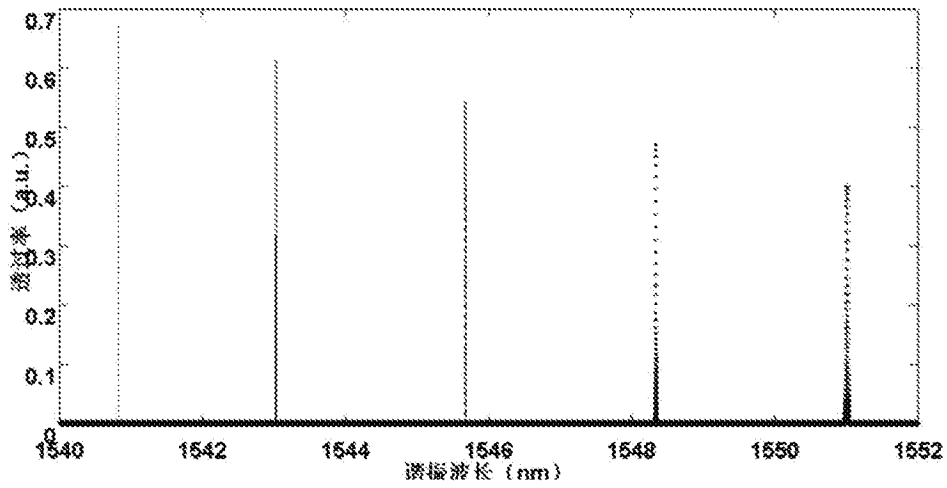


图 4 (a)

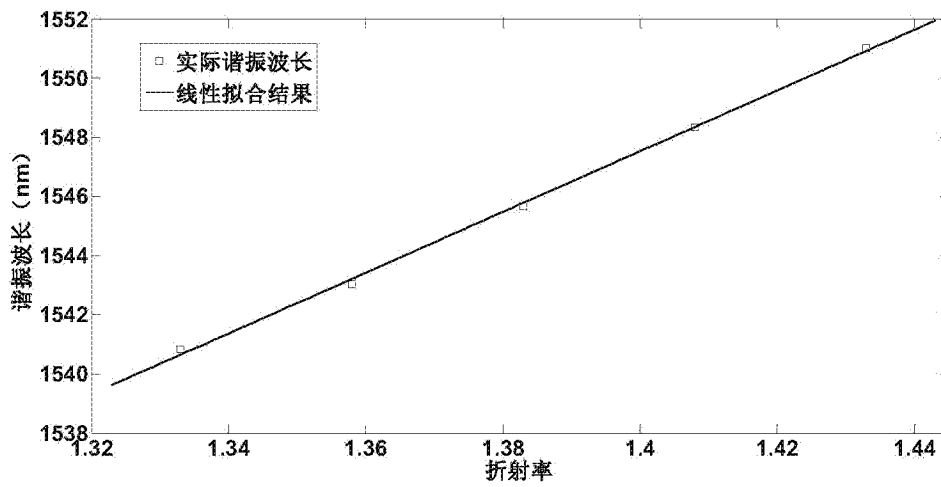


图 4 (b)