



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 106705856 A

(43) 申请公布日 2017. 05. 24

(21) 申请号 201510463961. 0

(22) 申请日 2015. 07. 31

(71) 申请人 南京理工大学

地址 210000 江苏省南京市孝陵卫 200 号

(72) 发明人 陈磊 郑权 韩志刚 周斌斌

张瑞 宋乐 周舒

(74) 专利代理机构 南京理工大学专利中心

32203

代理人 朱显国 王培松

(51) Int. Cl.

G01B 11/02(2006. 01)

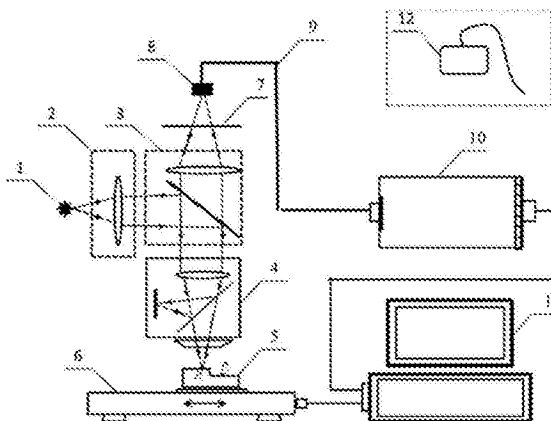
权利要求书2页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

基于宽带光谱域显微干涉术的近红外位移传感装置及微位移量测量方法

(57) 摘要

本发明提供一种基于宽带光谱域显微干涉术的近红外位移传感装置,包括宽带光源、柯勒照明系统、显微镜筒、干涉物镜、精密电控平台、短波截止滤光片、SMA905 光纤接头、光纤、光谱仪、计算机和。光路结构沿光路行进方向依次是宽带光源、柯勒照明系统、显微镜筒,之后进入干涉物镜,经过干涉物镜的半透半反膜分成参考光束和测试光束,两者分别经过干涉物镜的参考板和被测件表面反射,沿原路返回并发生干涉,干涉信号经过显微镜筒的成像透镜和短波截止滤光片投射到像面, SMA905 光纤接头将光纤固定于显微镜筒的像面,干涉信号通过光纤导入光谱仪,光谱仪与计算机连接,输出谱域干涉条纹。



1. 一种基于宽带光谱域显微干涉术的近红外位移传感装置,其特征在于,该近红外位移传感装置包括宽带光源(1)、柯勒照明系统(2)、显微镜筒(3)、干涉物镜(4)、精密电控平台(6)、短波截止滤光片(7)、SMA905 光纤接头(8)、光纤(9)、光谱仪(10)、计算机(11)和 CCD(12),其中:光路结构沿光路行进方向依次是宽带光源(1)、柯勒照明系统(2)、显微镜筒(3),之后进入干涉物镜(4),经过物镜的半透半反膜分成参考光束和测试光束,两者分别经过干涉物镜(4)的参考板和位于精密电控平台(6)上的被测件(5)表面反射,沿原路返回并发生干涉,干涉信号经过显微镜筒(3)的成像透镜和短波截止滤光片(7)投射到像面,SMA905 光纤接头(8)将光纤(9)固定于显微镜筒(3)的像面,干涉信号通过光纤(9)导入光谱仪(10),光谱仪与计算机(11)连接,输出谱域干涉条纹,所述精密电控平台(6)用于调整被测件(5)的空间位置以满足测量需求,所述 CCD(12)用于测量过程中寻找空域条纹。

2. 根据权利要求 1 所述的基于宽带光谱域显微干涉术的近红外位移传感装置,其特征在于,所述宽带光源(1)为高功率宽带光源,光强大小可调。

3. 根据权利要求 1 所述的基于宽带光谱域显微干涉术的近红外位移传感装置,其特征在于,所述光谱仪(10)的光谱范围为近红外波段。

4. 根据权利要求 1 所述的基于宽带光谱域显微干涉术的近红外位移传感装置,其特征在于,所述短波截止滤光片(7)用于滤除近红外谱域干涉条纹中出现的串扰条纹。

5. 根据权利要求 1 所述的基于宽带光谱域显微干涉术的近红外位移传感装置,其特征在于,所述干涉物镜(4)为迈克尔逊型干涉物镜。

6. 一种基于前轮要求 1-5 中任意一项所述的基于宽带光谱域显微干涉术的近红外位移传感装置的微位移量测量方法,其特征在于,该微位移量测量方法包括以下步骤:

步骤 1、将 SMA905 光纤接头(8)、光纤(9)、光谱仪(10)换成 CCD(12),调整精密电控平台(6)的倾斜和高度,使得 CCD(12)视场中出现数根空域干涉条纹;

步骤 2、将 CCD(12)换成 SMA905 光纤接头(8)、光纤(9)、光谱仪(10),调整精密电控平台(6)高度,使得光谱仪(10)上出现载频数适中的谱域干涉条纹;

步骤 3、根据光谱仪(10)记录的谱域干涉条纹出现串扰的波段范围选择合适的短波截止滤光片(7)加入系统;

步骤 4、调整宽带光源(1)光强和光谱仪(10)积分时间、积分次数,记录多个对比度的谱域干涉条纹;

步骤 5、对获取的单幅谱域干涉图采用傅里叶变换法提取位移量。

7. 根据权利要求 6 所述的微位移量测量方法,其特征在于,前述方法中,采用傅里叶变换法处理单幅谱域干涉图,即可实现位移量传感。

8. 根据权利要求 6 所述的微位移量测量方法,其特征在于,前述步骤 5 中,提取位移量的实现包括:

将光谱仪记录的波长域干涉信号转换至波数域干涉信号;

采用傅里叶变换法,提取谱域干涉信号相位,其过程见式(1):

$$\phi(z, k) = \arctan \frac{\text{Im}\{F^{-1}[B(f-f_0)]\}}{\text{Re}\{F^{-1}[B(f-f_0)]\}} \quad (1)$$

式中  $z$  为位移量,  $k$  为波数,  $F^{-1}$  表示取傅里叶逆变换,  $\text{Im}()$  和  $\text{Re}()$  分别表示取复数的虚部和实部,  $B(f-f_0)$  表示谱域干涉信号傅里叶频谱的一级旁瓣;

对提取的相位进行线性拟合以提取两次测量的位移量, 见式 (2):

$$z = \frac{1}{4\pi} \frac{\partial \phi(z, k)}{\partial k} \quad (2)$$

由两次微位移量计算台阶高度, 见式 (3):

$$h_{\text{step}} = z_1 - z_2 \quad (3)$$

其中  $h_{\text{step}}$  表示台阶高度,  $z_1$ 、 $z_2$  分别为由前述步骤得到的两次测量的微位移量。

## 基于宽带光谱域显微干涉术的近红外位移传感装置及微位移量测量方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光干涉计量测试领域,特别是一种基于宽带光谱域显微干涉术的近红外位移传感装置及微位移量测量方法。

### 背景技术

[0002] 随着机械制造、光学元件加工、电子工业等领域的发展,对于微位移量测量工作的要求越来越高。接触式位移传感方法多由于测头在测量过程中接触表面,因此有划伤被测件表面的危险(例如贾立德,郑子文,戴一帆,李圣怡.摆臂式非球面轮廓仪的原理与试验[J].光学精密工程,2007,15(4):499-504)。对于表面轮廓陡度太大或者存在沟槽的元件,测头无法接触指定点,造成测量误差。非接触式位移传感技术多采用光学探头,测量精度高,不会损伤测量面。白光干涉法作为一种高精度的非接触式位移传感技术被广泛应用于微位移量的测量。传统的白光干涉法多通过参考镜或者测试镜的时域扫描,通过对干涉信号包络极值位置的定位实现位移量传感。但其测量过程需要大量的轴向扫描过程,不仅费时费力,对高精度的移相装置也提出了严格的要求。国外的 U Schnell(U Schnell,E Zimmermann,R Dandliker.Absolute distance measurement with synchronously sampled white-light channeled spectrum interferometry[J].Pure Appl. Opt. 1995, 4:643-651.)等最早报道了白光光谱域干涉位移传感装置,根据载频谱域干涉条纹位相随波长变化的斜率关系实现位移传感,测量过程中无需扫描参考镜或者测试镜,提高了位移量测量的效率。但其装置基于迈克尔逊干涉仪,横向分辨率较低。另一方面,目前用于微位移量测量的位移传感装置多为可见光波段(例如薛晖,沈伟东,顾培夫等.基于白光干涉的光学薄膜物理厚度测量方法[J].光学学报,2009,29(7):1877-1880),对于近红外波段的谱域干涉位移传感装置还未见相关技术。

### 发明内容

[0003] 本发明的第一方面提出一种基于宽带光谱域显微干涉术的近红外位移传感装置,包括宽带光源、柯勒照明系统、显微镜筒、干涉物镜、精密电控平台、短波截止滤光片、SMA905 光纤接头、光纤、光谱仪、计算机和。光路结构沿光路行进方向依次是宽带光源、柯勒照明系统、显微镜筒,之后进入干涉物镜,经过干涉物镜的半透半反膜分成参考光束和测试光束,两者分别经过干涉物镜的参考板和被测件表面反射,沿原路返回并发生干涉,干涉信号经过显微镜筒的成像透镜和短波截止滤光片投射到像面,SMA905 光纤接头将光纤固定于显微镜筒的像面,干涉信号通过光纤导入光谱仪,光谱仪与计算机连接,输出谱域干涉条纹。光源为高功率宽带光源,光强大小可调。

[0004] 根据本发明的改进,还提出一种基于前述近红外位移传感装置的微位移量测量方法,包括:

[0005] 步骤 1、将 SMA905 光纤接头、光纤、光谱仪换成 CCD,调整精密电控平台的倾斜和高

度,使得 CCD 视场中出现数根空域干涉条纹;

[0006] 步骤 2、将 CCD 换成 SMA905 光纤接头、光纤、光谱仪,调整精密电控平台高度,使得光谱仪上出现载频数适中的谱域干涉条纹;

[0007] 步骤 3、根据光谱仪记录的谱域干涉条纹出现串扰的波段范围选择合适的短波截止滤光片加入系统;

[0008] 步骤 4、调整宽带光源光强和光谱仪积分时间、积分次数,记录多个对比度的谱域干涉条纹;

[0009] 步骤 5、对获取的单幅谱域干涉图采用傅里叶变换法提取位移量。

[0010] 本发明与现有技术相比,显著优点为:非接触式位移量传感方法,不会对测量件造成损伤;测量过程无需轴向扫描,测量效率高,时间短;系统横向分辨率高,尤其是在光学元件的高精度检测中能满足需求。

[0011] 应当理解,前述构思以及在下面更加详细地描述的额外构思的所有组合只要在这样的构思不相互矛盾的情况下都可以被视为本公开的发明主题的一部分。另外,所要求保护的的主题的所有组合都被视为本公开的发明主题的一部分。

[0012] 结合附图从下面的描述中可以更加全面地理解本发明教导的前述和其他方面、实施例和特征。本发明的其他附加方面例如示例性实施方式的特征和/或有益效果将在下面的描述中显见,或通过根据本发明教导的具体实施方式的实践中得知。

## 附图说明

[0013] 附图不意在按比例绘制。在附图中,在各个图中示出的每个相同或近似相同的组成部分可以用相同的标号表示。为了清晰起见,在每个图中,并非每个组成部分均被标记。现在,将通过例子并参考附图来描述本发明的各个方面的实施例,其中:

[0014] 图 1 是说明本发明某些实施例的基于宽带光谱域显微干涉术的近红外位移传感装置的示意图。

[0015] 图 2a-2d 是说明本发明某些实施例的位移量提取过程的示意图。

## 具体实施方式

[0016] 为了更了解本发明的技术内容,特举具体实施例并配合所附图式说明如下。

[0017] 在本公开中参照附图来描述本发明的各方面,附图中示出了许多说明的实施例。本公开的实施例不必定意在包括本发明的所有方面。应当理解,上面介绍的多种构思和实施例,以及下面更加详细地描述的那些构思和实施方式可以以很多方式中任意一种来实施,这是因为本发明所公开的构思和实施例并不限于任何实施方式。另外,本发明公开的一些方面可以单独使用,或者与本发明公开的其他方面的任何适当组合来使用。

[0018] 结合图 1 的基于宽带光谱域显微干涉术的近红外位移传感装置的示意,根据本发明的实施例,一种基于宽带光谱域显微干涉术的近红外位移传感装置,其特征在于,该近红外位移传感装置包括宽带光源 1、柯勒照明系统 2、显微镜筒 3、干涉物镜 4、精密电控平台 6、短波截止滤光片 7、SMA905 光纤接头 8、光纤 9、光谱仪 10、计算机 11 和 CCD12。

[0019] 如图 1 所示,光路结构沿光路行进方向依次是宽带光源 1、柯勒照明系统 2、显微镜筒 3,之后进入干涉物镜 4,经过物镜的半透半反膜分成参考光束和测试光束,两者分别经

过干涉物镜 4 的参考板和位于精密电控平台 6 上的被测件 5 表面反射,沿原路返回并发生干涉,干涉信号经过显微镜筒 3 的成像透镜和短波截止滤光片 7 投射到像面, SMA905 光纤接头 8 将光纤 9 固定于显微镜筒 3 的像面,干涉信号通过光纤 9 导入光谱仪 10。

[0020] 光谱仪与计算机 11 连接,输出谱域干涉条纹。

[0021] 所述精密电控平台 6 用于调整被测件 5 的空间位置以满足测量需求。

[0022] 所述 CCD12 用于测量过程中寻找空域条纹。

[0023] 前述实施例的近红外位移传感装置(如图 1 所示),可工作于近红外波段,且能消除不同波段条纹的串扰,增大位移传感范围。

[0024] 在一些例子中,所述宽带光源 1 为高功率宽带光源,光强大小可调。

[0025] 优选地,光谱仪 10 的光谱范围为近红外波段。

[0026] 短波截止滤光片 7 用于滤除近红外谱域干涉条纹中出现的串扰条纹。

[0027] 所述干涉物镜 4 优选为迈克尔逊型干涉物镜。

[0028] 在一些具体的例子中,前述图 1 中,近红外位移传感装置中,其光学结构包括:宽带光源(1)为 150W 石英卤钨灯,光强连续可调;柯勒照明系统(2);显微镜筒(3);迈克尔逊型干涉物镜(4);精密电控平台(6)可实现三维位移调整以及正交方向倾斜调整;短波截止滤光片(7)的截止波段为 200-630nm;SMA905 光纤接头(8)、光纤(9)纤芯直径 600um、光谱仪(10)光谱带宽为 700-1100nm、计算机(11)和 CCD(12)。

[0029] 示例性地,被测件(5)为高度 7.8um 的标准台阶板。

[0030] 本发明的一些实施例还提出一种基于前述近红外位移传感装置的微位移量测量方法,包含以下几个步骤:

[0031] 步骤 1、将图 1 中的 SMA905 光纤接头 8、光纤 9、光谱仪 10 换成 CCD12,调整精密电控平台 6 的倾斜和高度,使得 CCD12 视场中出现数根空域干涉条纹;

[0032] 步骤 2、将 CCD12 换成 SMA905 光纤接头 8、光纤 9、光谱仪 10,调整精密电控平台 6 高度,使得光谱仪 10 上出现载频数适中的谱域干涉条纹;

[0033] 步骤 3、根据光谱仪 10 记录的谱域干涉条纹出现串扰的波段范围选择合适的短波截止滤光片 7 加入系统;

[0034] 步骤 4、调整宽带光源 1 光强和光谱仪 10 积分时间、积分次数,记录对比度良好的谱域干涉条纹;

[0035] 步骤 5、对获取的单幅谱域干涉图采用傅里叶变换法提取位移量。

[0036] 由于微位移量的变化反应为谱域干涉条纹载频量的变化,载频量的信息包含在干涉条纹的相位变化中。因此,通过光谱仪记录对应于一定位移量的谱域干涉条纹,采用傅里叶变换算法提取相位即可实现位移量的传感的目的。

[0037] 通过傅里叶变换算法来提取相位信息的方式,可以采用现有技术中公知的方式进行,在此不再赘述。

[0038] 下面结合图 1 所示,更加具体地说明前述微位移量测量方法的实现。

[0039] 步骤 1:调整空域干涉条纹。将图 1 中的 SMA905 光纤接头 8、光纤 9、光谱仪 10 换成 CCD12,调整电控平台的倾斜和高度,使得 CCD12 视场中出现 1-5 根空域干涉条纹;

[0040] 步骤 2:初次调整谱域干涉条纹。将 CCD12 换成 SMA905 光纤接头 8、光纤 9、光谱仪 10,使测头对准台阶板的  $P_1$  点,调整精密电控平台 6 高度,使得光谱仪 10 上出现载频数

适中的谱域干涉条纹；

[0041] 步骤3:将短波截止滤光片7加入系统。光谱仪10记录的红外波段谱域干涉条纹出现可见光波段的串扰,选择截止波段为200-630nm的短波截止滤光片7加入系统；

[0042] 步骤4:调整并记录 $P_1$ 点测试结果。调整宽带光源1光强和光谱仪10积分时间100ms、积分次数5次,记录谱域干涉信号 $S_1$ ；

[0043] 步骤5:调整被测件。控制精密电控平台6平移被测件,使得测头对准 $P_2$ ；

[0044] 步骤6:重复步骤4,记录谱域干涉信号 $S_2$ ；

[0045] 步骤7:由谱域干涉信号提取位移量。

[0046] 结合图2a-2d,前述步骤7中由谱域干涉信号提取位移量方法,包括以下步骤：

[0047] 步骤1:将光谱仪10记录的波长域干涉信号(图2a)转换至波数域干涉信号,如图2b；

[0048] 步骤2:采用傅里叶变换法,提取谱域干涉信号相位,如图2c,其过程见式(1)：

$$[0049] \quad \phi(z, k) = \arctan \frac{\text{Im}\{F^{-1}[B(f - f_0)]\}}{\text{Re}\{F^{-1}[B(f - f_0)]\}} \quad (1)$$

[0050] 式中 $z$ 为位移量, $k$ 为波数, $F^{-1}$ 表示取傅里叶逆变换, $\text{Im}()$ 和 $\text{Re}()$ 分别表示取复数的虚部和实部, $B(f - f_0)$ 表示谱域干涉信号傅里叶频谱的一级旁瓣。

[0051] 步骤3:对提取的相位进行线性拟合以提取两次测量的位移量,如图2d,见式(2)：

$$[0052] \quad z = \frac{1}{4\pi} \frac{\partial \phi(z, k)}{\partial k} \quad (2)$$

[0053] 步骤4:由两次微位移量计算台阶高度,见式(3)。

$$[0054] \quad h_{\text{step}} = z_1 - z_2 \quad (3)$$

[0055] 其中 $h_{\text{step}}$ 表示台阶高度, $z_1$ 、 $z_2$ 分别为由步骤3得到的两次测量的微位移量。

[0056] 由此,可通过光谱仪记录的对应于一定位移量的谱域干涉条纹,采用傅里叶变换算法提取相位,实现位移量的传感的目的。

[0057] 虽然本发明已以较佳实施例揭露如上,然其并非用以限定本发明。本发明所属技术领域中具有通常知识者,在不脱离本发明的精神和范围内,当可作各种的更动与润饰。因此,本发明的保护范围当视权利要求书所界定者为准。

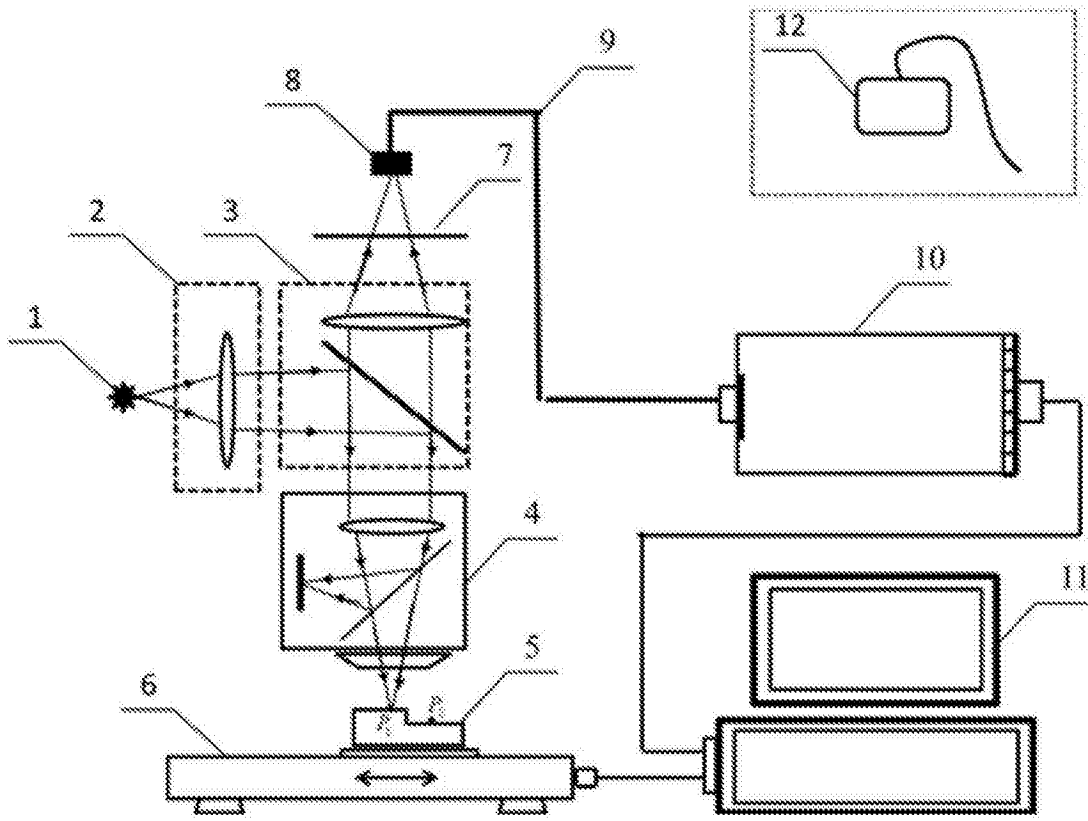


图 1

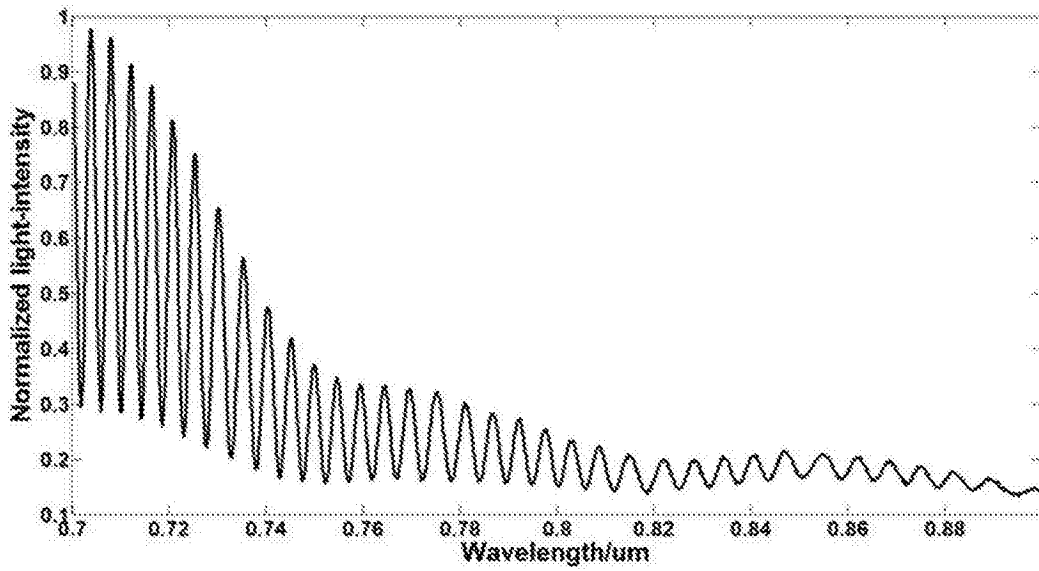


图 2a



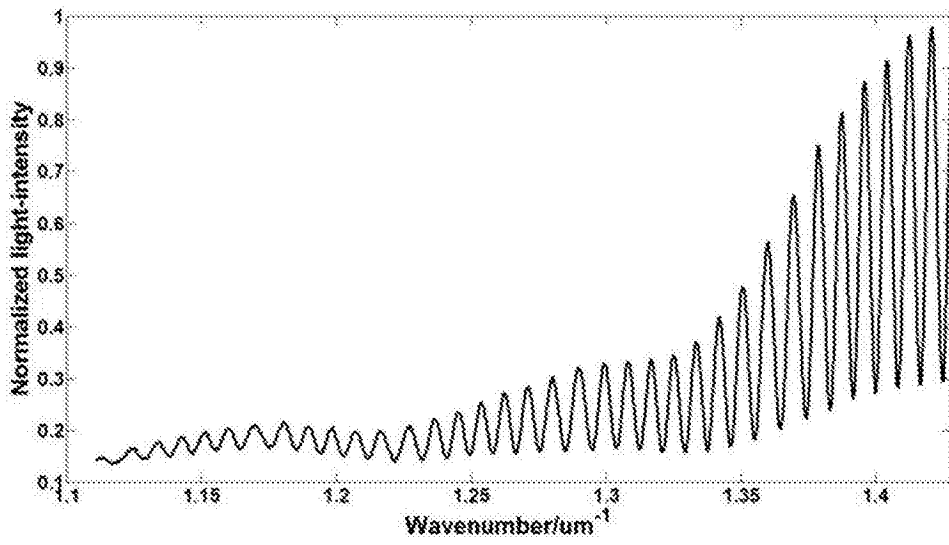


图 2b

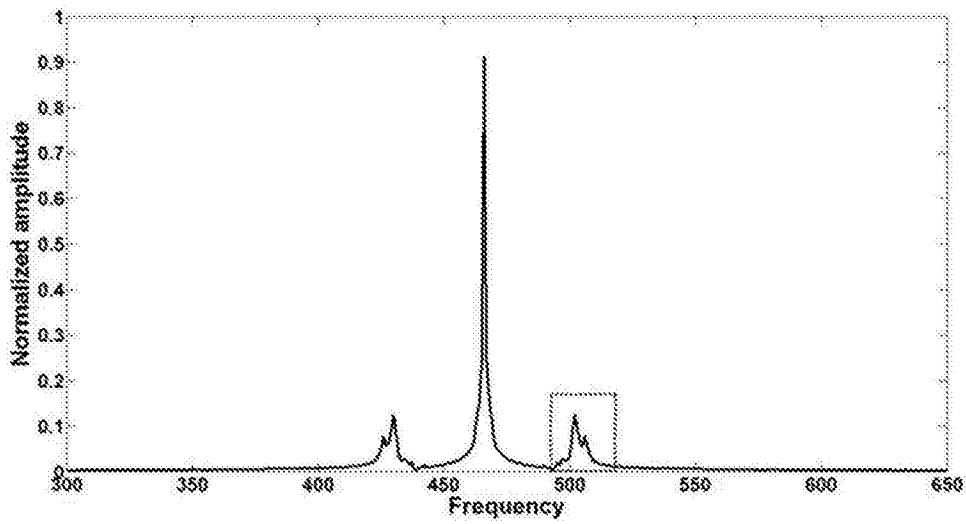


图 2c

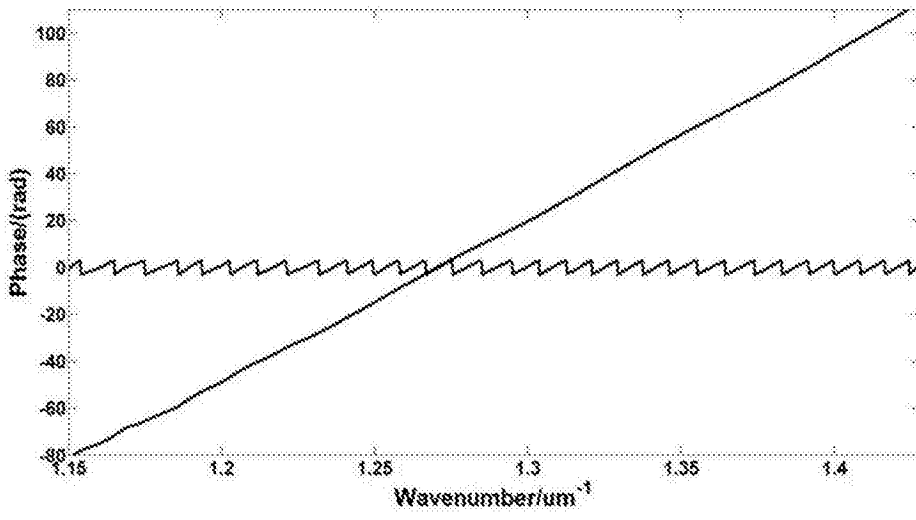


图 2d