



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113804402 A

(43) 申请公布日 2021.12.17

(21) 申请号 202110817519.9

(22) 申请日 2021.07.20

(71) 申请人 广东工业大学

地址 510009 广东省广州市东风东路729号

(72) 发明人 喻张俊 汪焱 薛志锋 杨军

徐鹏柏 温坤华 王云才 秦玉文

(51) Int. Cl.

G01M 11/00 (2006.01)

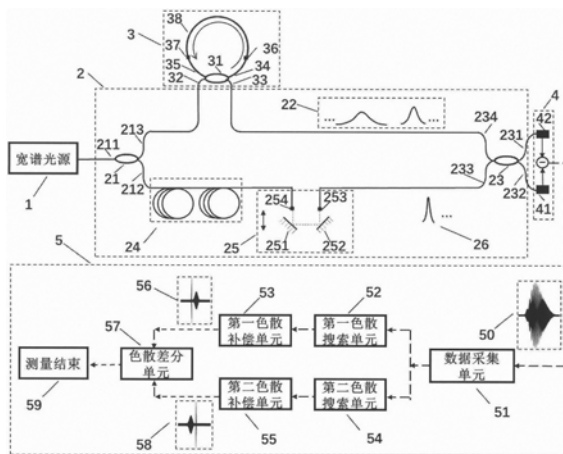
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于环行光路的光纤微量色散高精度测量装置及方法

(57) 摘要

本专利发明了一种基于环行光路的光纤微量色散高精度测量装置及方法,属于光学测量领域。该装置包括宽谱光源、干涉仪、耦合环路结构、差分探测器与色散测量模块五部分。其特征在于,将宽谱光输入到干涉仪待测臂光路后,可以得到一个由一系列等光程差且色散累积量依次倍数增加的波包所构成的波列;在参考光纤与光程相关器的共同作用下,可以使得参考臂中的波包分别与待测臂中波列的光程匹配。然后利用一种闭环迭代的色散测量方法,在色散补偿的色散量与真实色散相等时,判据函数取得最大值,完全补偿后的相邻干涉峰的色散量之差即为待测光纤的真实色散量。本发明解决了现有技术中色散测量精度低的技术问题。



1. 一种基于环行光路的光纤微量色散高精度测量装置及方法,包括宽谱光源(1)、干涉仪(2)、耦合环路结构(3)、差分探测器(4)与色散测量模块(5),其特征在于:

1) 宽谱光源(1)输出宽谱光注入到干涉仪(2)中,在第一光纤耦合器(21)中分为两束光,一束光输入到耦合环路结构(3)中,再从耦合环路结构(3)输出到干涉仪(2)中,干涉仪(2)的输出光信号注入到差分探测器(4),最后经过色散测量模块(5);

2) 在耦合环路结构(3)中,光从第二光纤耦合器第一输入端(32)输入,输入光功率为 $P_{in}$ ,在第二光纤耦合器(31)中分光,一部分光经第二光纤耦合器第二输出端(33)输出,输出功率为 $P_{out}$ ,另一部分光经第二光纤耦合器第一输出端(34),再经第一焊点(36)输出到待测光纤或器件(38),然后经待测光纤或器件(38),再经第二焊点(37)输出到第二光纤耦合器第二输入端(35),最后进入第二光纤耦合器(31)中,再次分光后,一部分光再次经第二光纤耦合器第二输出端(33)输出,另一部分光再次经第二光纤耦合器第一输出端(34)输出到待测光纤或器件(38),然后经第二光纤耦合器第二输入端(35)进入第二光纤耦合器(31)中,如此循环反复,循环次数为 $m$ 次;

3) 在色散测量模块(5)中,数据采集单元(51)采集来自差分探测器(4)的干涉数据,分别由第一色散搜索单元(52)和第二色散搜索单元(54)标定待补偿的区间,然后分别由第一色散补偿单元(53)和第二色散补偿单元(55)对其进行色散补偿,得到第一干涉峰(56)和第二干涉峰(58),最后经过色散差分单元(57),得到待测器件的色散系数。

2. 由权利要求1所述干涉仪(2),其特征在于:宽谱光注入第一光纤耦合器第一输入端(211)作为干涉仪(2)的输入光,经过第一光纤耦合器(21)后分为两束光,一束光经第一光纤耦合器第一输出端(213)输入到耦合环路结构(3)中,然后由耦合环路结构(3)输出到第三光纤耦合器第一输入端(234),共同形成干涉仪(2)的待测臂。另一束光经第一光纤耦合器第二输出端(212)输入到待测光纤(24),然后经过参考光纤(24)输入到光程相关器输入端(254),再从光程相关器输出端(253)输入到第三光纤耦合器第二输入端(233),共同形成干涉仪(2)的参考臂。

3. 由权利要求2所述光程相关器(25),其特征在于:光由第一准直透镜(254)输入到第一反射镜(251),然后由第一反射镜(251)输入到第二反射镜(252),最后经第二反射镜(252)反射后输入到第二准直透镜(253)。

4. 由权利要求1所述差分探测器(4),其特征在于:第三光纤耦合器第一输出端(231)输出的光信号输入到第一探测器(42)中,第三光纤耦合器第二输出端(232)输出的光信号输入到第二探测器(41)中,差分探测器(4)最小探测功率为 $P_{BPD}$ 。

5. 由权利要求3所述的光程相关器(25),其特征在于:最大扫描光程至少320cm。

6. 由权利要求1所述的第二光纤耦合器(31),其特征在于:第二光纤耦合器(31)的分光比为 $a:b$ ,即第二光纤耦合器第二输出端(33)输出光功率与第二光纤耦合器第一输出端(34)输出光功率之比,第二光纤耦合器第二输出端(33)的输出功率 $P_{out}$ 满足

$$P_{out} = \left( \frac{a}{a+b} \right)^{m-2} \left( \frac{b}{a+b} \right)^2 P_{in}, \text{第二光纤耦合器(31)的分光比选择应满足 } P_{out} \geq P_{BPD}.$$

7. 由权利要求2所述的参考光纤(24),其特征在于:光程相关器(25)的最大延迟长度为 $L_{25(max)}$ ,第一光纤耦合器第一输出端(213)、第二光纤耦合器第一输入端(32)、第二光纤耦合器第二输出端(33)和第三光纤耦合器第一输入端(234)所组成的光路长度为 $L_1$ ,第二光

纤耦合器第一输出端 (34) 的长度为 $L_{34}$ , 第二光纤耦合器第二输入端 (35) 的长度为 $L_{35}$ , 第一光纤耦合器第二输出端 (212) 的长度为 $L_{212}$ , 参考光纤 (24) 的长度为 $L_{24}$ , 第三光纤耦合器第二输入端 (233) 的长度为 $L_{233}$ , 折射率都为 $n$ , 待测光纤或器件 (38) 的长度为 $L_{38}$ 且折射率为 $n_{38}$ , 根据光程匹配条件可知, 获得在耦合环路结构 (3) 环行 $m$ 次的干涉峰, 参考光纤24的长度 $L_{24}$ 满足:

$$L_1 + m \left( L_{34} + \frac{n_{38}}{n} L_{38} + L_{35} \right) - \frac{L_{25(\max)}}{n} - L_{212} - L_{233} \leq L_{24} \leq L_1 + m \left( L_{34} + \frac{n_{38}}{n} L_{38} + L_{35} \right) - L_{212} - L_{233} \quad (1)$$

8. 由权利要求1所述的第一色散补偿单元 (53) 和第二色散补偿单元 (55) 其特征在于:

第一色散补偿单元 (53) 和第二色散补偿单元 (55) 所用的方法是一种闭环迭代的色散测量方法。

## 一种基于环行光路的光纤微量色散高精度测量装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光纤器件色散测量技术领域,更具体地,涉及一种基于环行光路的光纤微量色散高精度测量装置及方法。

### 背景技术

[0002] 光纤通信具有传输速度快,误码率小,传输距离长,稳定性好等优势,随着当今信息化社会的高速发展,光纤通信已经成为世界上主流的通信方式之一。在光纤通讯系统中光脉冲经过光纤长距离传输后会被展宽,这种展宽现象就称为色散。色散会导致测试结果中的干涉峰幅度下降且包络展宽,从而造成失真。所以,有必要对待测器件或光纤中的色散进行测量。

[0003] 目前比较常用的色散测量方法是:时延法,相移法,时域干涉法。时延法测量色散是利用不同波长的光在色散介质中的传输速度不同,因此可以分别测量不同波长的光通过相同长度的色散介质后所需的时间,从不同波长的到达时间差来计算色散值。此方法的测量精度不高,原因在于难以准确地获得时延值(CN106596055A)。对比时延法,相移法是将不同波长的调制光信号注入到光纤并测量相位变化通过计算相位差来计算色散值(CN112816180 A),但是易受其他因素的影响使得测量的精度不高。时域干涉法是通过改变两臂间的光程差,从而获得关于时间的干涉信号,对该时域干涉信号进行傅里叶变换,获得相位信息,再对相位求导即得到色散值,但是测量的色散精度不够准确。

[0004] 在2017年,Zhangjun Yu等人在文献“High-Resolution Distributed Dispersion Characterization for Polarization Maintaining Fibres Based on a Closed-Loop Measurement Framework(IEEE Photonics Journal, Vol.9, Issue 3, pp.7103508,2017)”中提出了一种闭环迭代的色散测量方法。该方法可以在干涉峰被噪声淹没的情况下,高精度地测量色度色散。色散对干涉图的影响可以看成是一个全通滤波器,即色散只会改变干涉信号的相位,因此,可以使用另一个全通滤波器来抵消色散所产生的相位变化,然后可以根据该全通滤波器的参数来计算色散值。

[0005] 本发明基于现有技术改进,提供了一种环路结构色散测量装置及方法。本发明具有较大的色散测量量程,可用于解决测量干涉峰重叠后普通方法无法测量色散的问题。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供一种基于环行光路的光纤微量色散高精度测量装置及方法,可以解决由于待测光纤色散量过大导致脉冲展宽信号峰重叠的问题。

[0007] 一种基于环行光路的光纤微量色散高精度测量装置及方法,包括宽谱光源1、干涉仪2、耦合环路结构3、差分探测器4与色散测量模块5,其特征在于:

[0008] 宽谱光源1输出宽谱光注入到干涉仪2中,在第一光纤耦合器21中分为两束光,一束光输入到耦合环路结构3中,再从耦合环路结构3输出到干涉仪2中,干涉仪2的输出光信号注入到差分探测器4,最后经过色散测量模块5。

[0009] 所述的耦合环路结构3,光从第二光纤耦合器第一输入端32输入,输入光功率为 $P_m$ ,在第二光纤耦合器31中分光,一部分光经第二光纤耦合器第二输出端33输出,输出光功率为 $P_{out}$ ,另一部分光经第二光纤耦合器第一输出端34,再经第一焊点36输出到待测光纤或器件38,然后经待测光纤或器件38,再经第二焊点37输出到第二光纤耦合器第二输入端35,最后进入第二光纤耦合器31中,再次分光后,一部分光再次经第二光纤耦合器第二输出端33输出,另一部分光再次经第二光纤耦合器第一输出端34输出到待测光纤或器件38,然后经第二光纤耦合器第二输入端35进入第二光纤耦合器31中,如此循环反复,循环次数为 $m$ 次,可以得到由一系列等光程差且色散量依次倍增的波包所构成的波列50。

[0010] 在色散测量模块5中,数据采集单元1采集来自差分探测器4的干涉数据,分别由第一色散搜索单元52和第二色散搜索单元54标定待补偿的区间,然后分别由第一色散补偿单元53和第二色散补偿单元55对其进行色散补偿,得到第一干涉峰56和第二干涉峰58,最后经过色散差分单元57,得到待测器件的色散系数。

[0011] 所述的干涉仪2,其特征在于:宽谱光注入第一光纤耦合器第一输入端211作为干涉仪2的输入光,经过第一光纤耦合器21后分为两束光,一束光经第一光纤耦合器第一输出端213输入到耦合环路结构3中,然后由耦合环路结构3输出到第三光纤耦合器第一输入端234,共同形成干涉仪2的待测臂。另一束光经第一光纤耦合器第二输出端212输入到待测光纤24,然后经过参考光纤24输入到光程相关器输入端254,再从光程相关器输出端253输入到第三光纤耦合器第二输入端233,共同形成干涉仪2的参考臂。

[0012] 所述的光程相关器25,其特征在于:光由第一准直透镜254输入到第一反射镜251,然后由第一反射镜251输入到第二反射镜252,最后经第二反射镜252反射后输入到第二准直透镜253。

[0013] 所述的差分探测器4,其特征在于:第三光纤耦合器第一输出端231输出的光信号输入到第一探测器42中,第三光纤耦合器第二输出端232输出的光信号输入到第二探测器41中。

[0014] 所述的光程相关器25,其特征在于:最大扫描光程至少320cm。

[0015] 所述的第二耦合器31,其特征在于:第二光纤耦合器31的分光比为 $a:b$ ,即第二光纤耦合器第二输出端33输出光功率与第二光纤耦合器第一输出端34输出光功率之比,第二光纤耦合器第二输出端33的输出功率 $P_{out}$ 满足 $P_{out} = \left(\frac{a}{a+b}\right)^{m-2} \left(\frac{b}{a+b}\right)^2 P_{in}$ 。

[0016] 所述的参考光纤24,其特征在于:光程相关器25的最大延迟长度 $L_{25(max)}$ ,第一光纤耦合器第一输出端213、第二光纤耦合器第一输入端32、第二光纤耦合器第二输出端33和第三光纤耦合器第一输入端234所组成的光路长度为 $L_1$ ,第二光纤耦合器第一输出端34的长度为 $L_{34}$ ,第二光纤耦合器第二输入端35的长度为 $L_{35}$ ,第一光纤耦合器第二输出端212的长度为 $L_{212}$ ,参考光纤24的长度为 $L_{24}$ ,第三光纤耦合器第二输入端233的长度为 $L_{233}$ ,折射率都为 $n$ ,待测光纤或器件38的长度为 $L_{38}$ 且折射率为 $n_{38}$ ,根据光程匹配条件可知,获得在耦合环路结构3环行 $m$ 次的干涉峰,参考光纤24的长度 $L_{24}$ 满足

$$L_1 + m \left( L_{34} + \frac{n_{38}}{n} L_{38} + L_{35} \right) - \frac{L_{25(max)}}{n} - L_{212} - L_{233} \leq L_{24} \leq L_1 + m \left( L_{34} + \frac{n_{38}}{n} L_{38} + L_{35} \right) - L_{212} - L_{233} \quad (1)$$

[0017] 所述的第一色散补偿单元53和第二色散补偿单元55其特征在于:第一色散补偿单

元53和第二色散补偿单元55所用的方法是一种闭环迭代的色散测量方法。

[0018] 由上文所述的闭环迭代的色散测量方法,其特征在于:第一色散补偿单元53和第二色散补偿单元55包括如下步骤:

[0019] (1) 将数据采集单元51采集的原始数据I1进行傅里叶变换得到频域数据I2。

[0020] (2) 使用双折射色散系数 $\Delta D$ 构造相位包,并将其与原始数据的傅里叶变换I2的相位谱相加得到I3。

[0021] (3) 将I3进行傅里叶逆变换,得到补偿后的干涉数据I4。

[0022] (4) 计算判据函数,并判断判据函数是否达到全局最大值,如果达到全局最大值,那么使用的色散系数与真实色散系数相等,色散系数 $\Delta D$ 即为单峰色散系数,完全补偿后的干涉数据如56和58所示。反之,返回第二步,继续提供色散系数 $\Delta D$ 构造相位包,直到判据函数满足全局最大值。

[0023] 闭环迭代的色散测量方法的算法流程图如图2所示:根据先验知识,选取色散系数的迭代初始值,再将其与干涉峰傅里叶逆变换的相位谱相加实现色散补偿功能,然后利用判据函数判断补偿后的干涉峰是否取得极值,若取得极大值,则此时的色散系数就为待测光纤或器件的色散系数;若未取得极大值,则需改变选取的色散系数值并再次对干涉峰进行色散补偿,然后再利用判据函数判断补偿后的干涉峰是否取得极值,若取得极大值,则此时的色散系数就为待测光纤或器件的色散系数;若未取得极大值,则需重复前面步骤,直至取得极大值为止。

[0024] 与现有技术相比,本发明的优点在于:

[0025] (1) 本装置采用全光纤光路设计,使得该装置体积小且易搭建,适合于仪器化。

[0026] (2) 本发明可以解决由于待测光纤或器件色散量过大而导致干涉峰展宽后重叠在一起后普通方法无法解决的问题。

[0027] (3) 本装置可以用于微量色散的高精度测量。

## 附图说明

[0028] 图1是基于环路结构的色散测量装置及方法

[0029] 图2是基于闭环迭代的色散测量方法流程图

[0030] 图3是色散测量实验结果对比图

## 具体实施方式

[0031] 为清楚地说明本发明一种环路结构色散测量装置及方法,结合实施例和附图对本发明作进一步说明,但不应以此限制本发明的保护范围。

[0032] 实施例1:

[0033] 选取宽谱光源1的中心波长为1550nm,谱宽50nm,光功率范围0~10mW;

[0034] 第一光纤耦合器21、第三光纤耦合器23均为单模耦合器,工作波长均在1550nm,其中第一光纤耦合器21和第三光纤耦合器23的分光比为50:50,光程相关器的光程扫描范围为320cm;

[0035] 待测光纤选用单模光纤,其余各连接光纤均为单模光纤,折射率n均为1.456;

[0036] 选取环路结构中第二光纤耦合器31的分光比为90:10,第二光纤耦合器第一输入

端32输入的光信号为5mW,计算出环路结构输出环行10次的光信号的输出功率0.0215mW;

[0037] 光程相关器25的最大延迟长度为 $L_{25(\max)}$ ,单位为米。由第一耦合器输出端213、第二耦合器输入端32、第二耦合器输出端33和第三耦合器输入端234所组成的光路长度为 $L_1$ 且折射率为 $n$ ,第二耦合器输出端34的长度为 $L_{34}$ 且折射率为 $n$ ,第二耦合器输入端35的长度为 $L_{35}$ 且折射率为 $n$ ,待测光纤或器件38的长度为 $L_{38}$ 且折射率为 $n_{38}$ ,第一耦合器输出端212的长度为 $L_{212}$ 且折射率为 $n$ ,参考光纤24的长度为 $L_{24}$ 且折射率为 $n$ ,第三耦合器输入端233的长度 $L_{233}$ 为且折射率为 $n$ ,根据光程匹配条件,要获得在环路结构30环行 $m$ 次的干涉峰,参考光纤24的长度 $L_{24}$ 在如下范围:

$$L_1 + m \left( L_{34} + \frac{n_{38}}{n} L_{38} + L_{35} \right) - \frac{L_{25(\max)}}{n} - L_{212} - L_{233} \leq L_{24} \leq L_1 + m \left( L_{34} + \frac{n_{38}}{n} L_{38} + L_{35} \right) - L_{212} - L_{233}$$

[0038] 在选定参考光纤24的长度后,调整光程相关器25的延迟长度 $L_{25}$ ,可获得干涉峰50;取 $L_{25(\max)} = 3$ 、 $L_1 = 3$ 、 $L_{34} = 0.5$ 、 $L_{35} = 0.5$ 、 $L_{38} = 0.034$ 、 $L_{212} = 1$ 、 $L_{233} = 1$ ,根据上面分析,要获得第8次环行的干涉峰,参考光纤24的长度选择范围应在 $7.21 \leq L_{24} \leq 9.27$ ,要获得第7次环行的干涉峰,参考光纤24的长度选择范围应在 $6.17 \leq L_{24} \leq 8.24$ ,这里选取参考光纤的长度为7.5米。再配合光程相关器25的扫描,可以得到第8次和第7次环行的干涉峰。

[0039] 数据采集单元51采集完差分探测器4中的干涉峰信号数据之后,首先经过第一色散搜索单元52和第二色散搜索单元54标定待补偿的干涉峰所在的区间,区间标定之后的干涉峰信号如图3(a)所示,然后分别经过第一色散补偿单元53和第二色散补偿单元55,对已经标定好的单峰分别进行补偿。此单元是利用基于闭环迭代的色散补偿方法,算法流程如图2所示,将数据采集单元51采集的原始数据I1进行傅里叶变换得到频域数据I2,使用色散系数 $\Delta D$ 构造相位包,并将其与原始数据的傅里叶变换I2的相位谱相加得到I3。将I3进行傅里叶逆变换,得到补偿后的干涉数据I4,计算判据函数,并判断判据函数是否达到全局最大值,如果达到全局最大值,那么用于色散补偿的色散参数与真实色散系数相等,即色散系数 $\Delta D$ 即为单峰色散系数,反之,返回第二步,继续提供色散系数 $\Delta D$ 构造相位包,直到判据函数满足全局最大值。色散第一补偿模块完全补偿的干涉峰信号如图3(b)所示,色散第一补偿模块完全补偿的干涉峰信号如图3(c)所示。

[0040] 最后将所得到的色散量值相减,即为待测光纤或器件的色散量,此色散量为0.00058ps/nm。

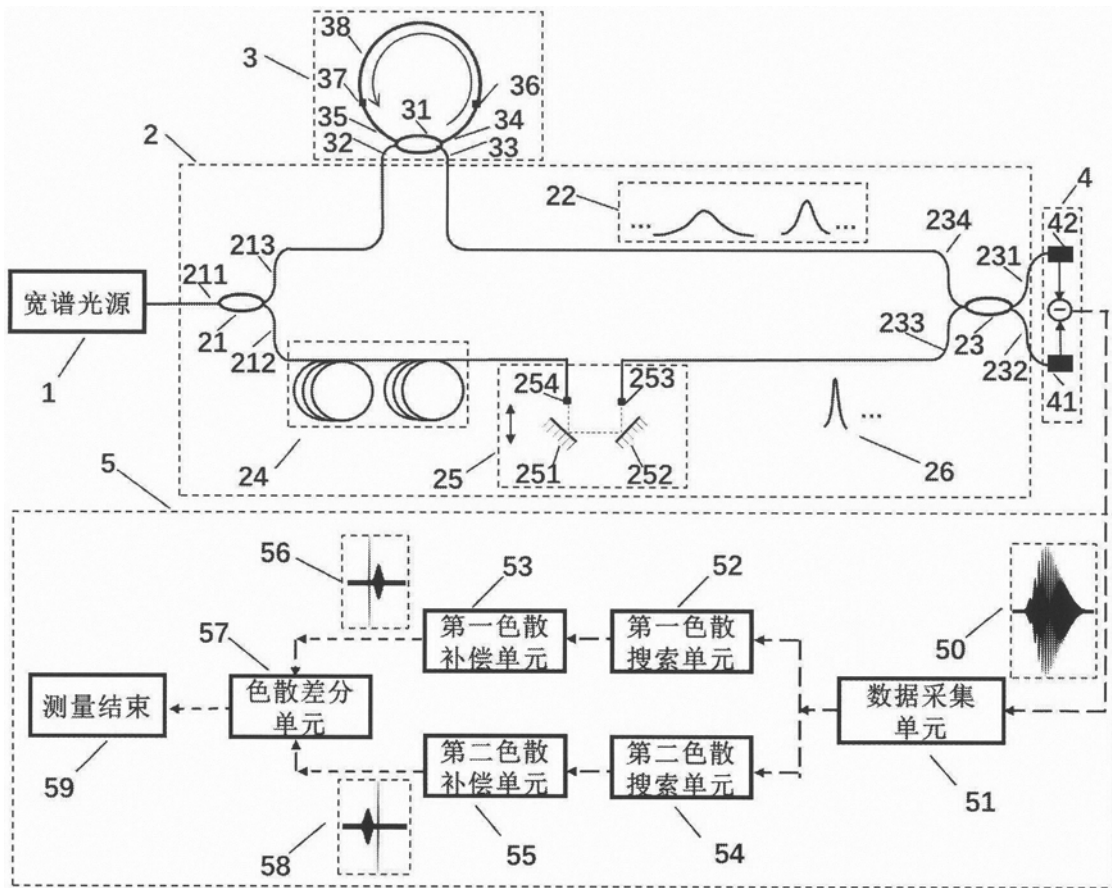


图1



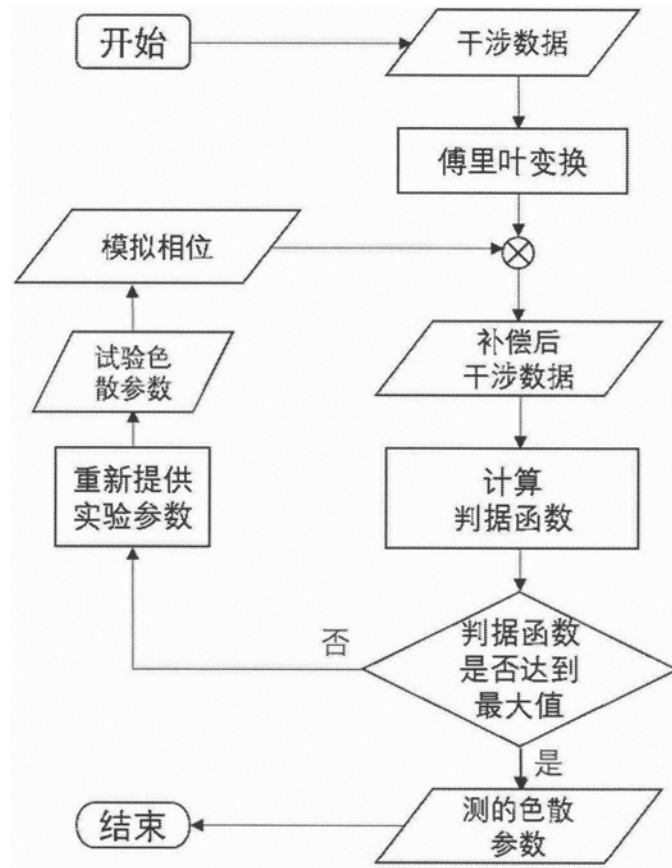


图2

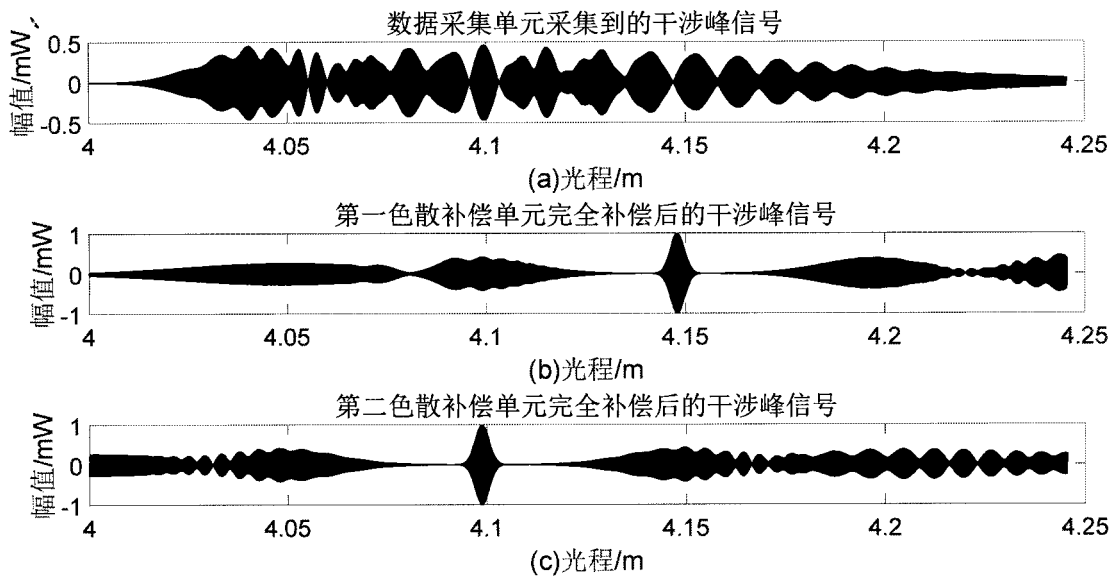


图3