



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113639891 A

(43) 申请公布日 2021. 11. 12

(21) 申请号 202110712461.1

(22) 申请日 2021.06.25

(66) 本国优先权数据

202010913774.9 2020.09.03 CN

(71) 申请人 深圳阿珂法先进科技有限公司

地址 518000 广东省深圳市龙华区民治街道民治社区1970科技园8栋610

(72) 发明人 马森 何丽

(74) 专利代理机构 深圳峰诚志合知识产权代理有限公司 44525

代理人 陈列生 覃业军

(51) Int. Cl.

G01K 11/32 (2021.01)

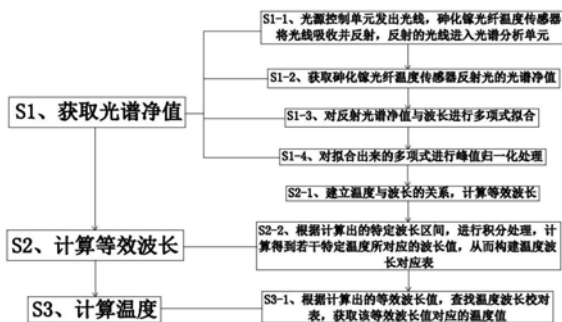
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于等效波长的高速光纤温度传感解调方法

(57) 摘要

本发明提供了一种基于等效波长的高速光纤温度传感解调方法,步骤包括:获取光纤温度传感器归一化反射光谱,对光谱的特征区间进行积分,从而求得等效波长,查找温度与等效波长的校对表,获取与等效波长对应的温度值,实现该方法的系统主要由宽谱光源、光学分支器、碲化镓光纤温度传感器、光谱分析单元和数据采集单元组成,本发明的有益效果在于:本发明提出一种等效波长的概念,并基于该等效波长提出一种新的解调方法,有效避免了因反射光谱叠加产生的计算误差,本方法在去除光谱分析仪的各种噪声,做归一化处理之后,在-20℃~250℃范围内测量精度较高,系统的测温响应速度较快,且整体计算量小,适用于高速以及高精度要求的应用场景。



1. 一种基于等效波长的高速光纤温度传感解调方法,其特征在于,包括如下步骤:

S1、获取砷化镓光纤温度传感器反射光的光谱净值;

S2、根据获取的光谱净值,计算等效波长;

S3、根据计算出的等效波长值,计算温度。

2. 根据权利要求1所述的一种基于等效波长的高速光纤温度传感解调方法,其特征在于:所述S1中获取砷化镓光纤温度传感器反射光的光谱净值的方法包括:获取砷化镓光纤温度传感器的噪声光谱值,具体为当光源控制单元不照射光时,测量砷化镓光纤温度传感器的噪声以及光谱分析单元的暗电流散粒噪声、复位噪声、放大器噪声、光散粒噪声构成的背景噪声,获取砷化镓光纤温度传感器的反射光谱值,具体为利用光谱分析单元测量砷化镓光纤温度传感器的反射光谱值,其中,利用式子1计算出砷化镓光纤温度传感器的反射光谱净值;

$$\text{式子1: } I_R - I_N = R(\lambda_n, T_1) - N(\lambda_n, T_1);$$

式子1中,  $I_R$  表示砷化镓光纤温度传感器反射光的光谱值,  $I_N$  表示砷化镓光纤温度传感器的噪声光谱值,  $R(\lambda_n, T_1)$  和  $N(\lambda_n, T_1)$  分别表示与波长和温度相对应的函数,  $T_1$  表示砷化镓光纤温度传感器所在的环境温度,  $\lambda_n$  表示波长值,  $n$  为正整数。

3. 根据权利要求2所述的一种基于等效波长的高速光纤温度传感解调方法,其特征在于:所述S1中得到的反射光谱净值与波长  $\lambda_n$  进行多项式拟合,得到一个以波长  $\lambda_n$  为参数的多项式  $F(\lambda_n)$ , 满足式子2;

$$\text{式子2: } F(\lambda_n) = a + b\lambda_n + c\lambda_n^2 + d\lambda_n^3 + \dots + n\lambda_n^n = I_R - I_N;$$

式子2中, 每个  $\lambda_n$  前面的  $a, b, c, d, \dots$  均为实数, 根据应用的实际情况来决定多项式的项数。

4. 根据权利要求3所述的一种基于等效波长的高速光纤温度传感解调方法,其特征在于:所述S1中可利用式子3对上述式子2中得到的多项式进行峰值归一化处理;

$$\text{式子3: } Z_n = \frac{F(\lambda)}{F(\lambda)_{MAX}} = P(\lambda, T);$$

式子3中,  $Z_n$  为同一个温度下不同波长值的反射光谱净值的归一化值,  $F(\lambda)_{MAX}$  为该温度下反射光谱净值的最大值, 即把反射光谱净值控制在0到1之间, 以减小光谱净值对最终计算结果的影响, 同时建立归一化值  $Z_n$ 、波长值  $\lambda_n$ 、温度  $T$  三者之间的函数关系, 满足式子4。

5. 根据权利要求4所述的一种基于等效波长的高速光纤温度传感解调方法,其特征在于:所述S2中要计算得到等效波长, 首先建立温度与波长的关系, 满足式子4, 同时归一化值  $Z_n$  满足  $Z_1 < Z_n < Z_h$ , 则反射光谱净值的特定归一化值区间为  $(Z_1, Z_h)$ , 其中  $Z_1 \in (0, 0.5)$ ,  $Z_h \in (0.5, 1)$ , 这两个边界值根据实际光路决定,  $Z_1$  的常用典型值为0.3,  $Z_h$  的常用典型值为0.75, 将  $Z_1$  和  $Z_h$  代入式子4, 求得  $\lambda_1$  和  $\lambda_h$  即为所需的波长区间;

$$\text{式子4: } \lambda_n = P^{-1}(Z_n, T)。$$

6. 根据权利要求5所述的一种基于等效波长的高速光纤温度传感解调方法,其特征在于:所述S2中, 将在式子4中得到的波长区间  $(\lambda_1, \lambda_h)$ , 按照式子5对反射光谱净值的归一化值  $Z_n$  进行积分处理, 得到对应区间面积的重心所对应的波长值  $\lambda_c$ , 随着温度的改变, 对应区间的面积也会随之移动和改变, 重心位置对应的波长值可用来表示当前光纤温度传感器所在的环境温度, 利用式子5就可以得到若干特定温度所对应的波长值, 从而构建温度波长对应

表;

$$\text{式子5: } \lambda_G = \frac{\iint x dx dy}{\iint dx dy} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_h} \lambda Z(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_h} Z(\lambda) d\lambda} .$$

7. 根据权利要求6所述的一种基于等效波长的高速光纤温度传感解调方法,其特征在于:所述S3中,可利用上述的式子4和式子5确定若干特定波长值,将确定的若干特定波长值之一代入式子6,计算出与该若干特定波长值之一对应的温度值,而后构建由若干特定波长值及对应的若干温度值组成的温度波长校对表,通过计算出的特定波长值,查找温度波长校对表,获取该特定波长值对应的温度值;

$$\text{式子6: } T = f(\lambda_G) = A + B \times \lambda_G + C \times \lambda_G^2 \times \ln(\lambda_G) + D \times \lambda_G^3 + E \times \frac{\ln(\lambda_G)}{\lambda_G};$$

式子6中, $\lambda_G$ 表示特定波长值,T表示与该特定波长值对应的温度值,A、B、C、D和E分别为常数,且A、B、C、D和E与砷化镓光纤温度传感器中砷化镓晶体的厚度、透射膜的透射率、反射膜的反射率因素相关。

8. 根据权利要求1所述的一种基于等效波长的高速光纤温度传感解调方法,其特征在于:实现本高速光纤温度传感解调的温度监测系统主要由宽谱光源、光学分支器、砷化镓光纤温度传感器、光谱分析单元和数据采集单元组成,所述宽谱光源发出光线,光线通过光学分支器进入砷化镓光纤温度传感器,砷化镓光纤温度传感器将光线吸收并反射,被砷化镓光纤温度传感器反射的光通过光学分支器进入光谱分析单元,光谱分析单元解调光谱信息,并将解调后的光谱信息传至数据采集单元进行数据处理,从而得到温度值。

## 一种基于等效波长的高速光纤温度传感解调方法

### 【技术领域】

[0001] 本发明属于光纤传感测温领域,涉及砷化镓光纤测温系统,尤其涉及一种基于等效波长的高速光纤温度传感解调方法。

### 【背景技术】

[0002] 随着光纤制造技术、光纤传感技术的飞速发展,光纤温度传感器与测量技术也成为重要的发展方向;半导体晶体光纤温度传感技术是以半导体材料吸收光谱与温度的关系为基础的,主要以砷化镓(GaAs)光纤温度传感器为代表;由于砷化镓吸收式的光纤温度传感器属于点式测温,加上其体积小、重量轻、耐腐蚀、响应快、互换性好、灵敏度高、抗电磁干扰、抗辐射等特点,特别适用于高压开关设备、变压器等输变电设备内部温度的监测,以及微波工业中的微波加热、微波化学辅助等设备。传统的铂电阻温度传感器的响应是十几秒,响应速度太慢;当前基于光纤光栅的全光纤化测温方式能够长时间进行实时、原位测量,但由于封装尺寸的限制导致其响应速度基本在50ms左右;砷化镓光纤温度传感器基于砷化镓光学芯片进行感温,其体积更小、热容更小,能实现更快速的温度响应,对海洋温度测量、电火工品电磁危害评估等需要快速响应的应用场景具有较大的实用价值,由于砷化镓光纤温度测量系统所采用的是光谱分析单元,而现有的技术中利用光电探测器来直接建立光强与温度的关系,可以得到测量温度,但光强度值容易受到光源强度变化、光纤曲折、挤压、含杂质、不均匀、光纤对接等多因素影响,因此会造成温度测量不准确、稳定性差,光纤温度传感器的温度解调数据的处理方法就成了该测温系统快速稳定运行的关键。

### 【发明内容】

[0003] 本发明目的在于解决目前光纤传感测温所存在的上述问题,而提供一种基于等效波长的高速光纤温度传感解调方法。

[0004] 本发明是通过以下技术方案来实现的:一种基于等效波长的高速光纤温度传感解调方法,包括如下步骤:

[0005] S1、获取砷化镓光纤温度传感器反射光的光谱净值;

[0006] S2、根据获取的光谱净值,计算等效波长;

[0007] S3、根据计算出的等效波长值,计算温度。

[0008] 进一步地,所述S1中获取砷化镓光纤温度传感器反射光的光谱净值的方法包括:获取砷化镓光纤温度传感器的噪声光谱值,具体为当光源控制单元不照射光时,测量砷化镓光纤温度传感器的噪声以及光谱分析单元的暗电流散粒噪声、复位噪声、放大器噪声、光散粒噪声构成的背景噪声,获取砷化镓光纤温度传感器的反射光谱值,具体为利用光谱分析单元测量砷化镓光纤温度传感器的反射光谱值,其中,利用式子1计算出砷化镓光纤温度传感器的反射光谱净值;

[0009] 式子1:  $I_R - I_N = R(\lambda_n, T_1) - N(\lambda_n, T_1)$ ;

[0010] 式子1中,  $I_R$  表示砷化镓光纤温度传感器反射光的光谱值,  $I_N$  表示砷化镓光纤温度

传感器的噪声光谱值,  $R(\lambda_n, T_1)$  和  $N(\lambda_n, T_1)$  分别表示与波长和温度相对应的函数,  $T_1$  表示砷化镓光纤温度传感器所在的环境温度,  $\lambda_n$  表示波长值,  $n$  为正整数。

[0011] 进一步地, 所述S1中得到的反射光谱净值与波长  $\lambda_n$  进行多项式拟合, 得到一个以波长  $\lambda_n$  为参数的多项式  $F(\lambda_n)$ , 满足式子2;

[0012] 式子2:  $F(\lambda_n) = a + b\lambda_n + c\lambda_n^2 + d\lambda_n^3 + \dots + n\lambda_n^n = I_R - I_N$ ;

[0013] 式子2中, 每个  $\lambda_n$  前面的  $a, b, c, d, \dots$  均为实数, 根据应用的实际情况来决定多项式的项数。

[0014] 进一步地, 所述S1中可利用式子3对上述式子2中得到的多项式进行峰值归一化处理;

[0015] 式子3:  $Z_n = \frac{F(\lambda)}{F(\lambda)_{MAX}} = P(\lambda, T)$ ;

[0016] 式子3中,  $Z_n$  为同一个温度下不同波长值的反射光谱净值的归一化值,  $F(\lambda)_{MAX}$  为该温度下反射光谱净值的最大值, 即把反射光谱净值控制在0到1之间, 以减小光谱净值对最终计算结果的影响, 同时建立归一化值  $Z_n$ 、波长值  $\lambda_n$ 、温度  $T$  三者之间的函数关系, 满足式子4。

[0017] 进一步地, 所述S2中要计算得到等效波长, 首先建立温度与波长的关系, 满足式子4, 同时归一化值  $Z_n$  满足  $Z_1 < Z_n < Z_h$ , 则反射光谱净值的特定归一化值区间为  $(Z_1, Z_h)$ , 其中  $Z_1 \in (0, 0.5)$ ,  $Z_h \in (0.5, 1)$ , 这两个边界值根据实际光路决定,  $Z_1$  的常用典型值为0.3,  $Z_h$  的常用典型值为0.75, 将  $Z_1$  和  $Z_h$  代入式子4, 求得  $\lambda_1$  和  $\lambda_h$  即为所需的波长区间;

[0018] 式子4:  $\lambda_n = P^{-1}(Z_n, T)$ 。

[0019] 进一步地, 所述S2中, 将在式子4中得到的波长区间  $(\lambda_1, \lambda_h)$ , 按照式子5对反射光谱净值的归一化值  $Z_n$  进行积分处理, 得到对应区间面积的重心所对应的波长值  $\lambda_G$ , 随着温度的改变, 对应区间的面积也会随之移动和改变, 重心位置对应的波长值可用来表示当前光纤温度传感器所在的环境温度, 利用式子5就可以得到若干特定温度所对应的波长值, 从而构建温度波长对应表;

[0020] 式子5:  $\lambda_G = \frac{\iint x dx dy}{\iint dx dy} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_h} \lambda Z(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_h} Z(\lambda) d\lambda}$ ;

[0021] 进一步地, 所述S3中, 可利用上述的式子4和式子5确定若干特定波长值, 将确定的若干特定波长值之一代入式子6, 计算出与该若干特定波长值之一对应的温度值, 而后构建由若干特定波长值及对应的若干温度值组成的温度波长校对表, 通过计算出的特定波长值, 查找温度波长校对表, 获取该特定波长值对应的温度值;

[0022] 式子6:  $T = f(\lambda_G) = A + B \times \lambda_G + C \times \lambda_G^2 \times \ln(\lambda_G) + D \times \lambda_G^3 + E \times \frac{\ln(\lambda_G)}{\lambda_G}$ ;

[0023] 式子6中,  $\lambda_G$  表示特定波长值,  $T$  表示与该特定波长值对应的温度值,  $A, B, C, D$  和  $E$  分别为常数, 且  $A, B, C, D$  和  $E$  与砷化镓光纤温度传感器中砷化镓晶体的厚度、透射膜的透射率、反射膜的反射率因素相关。

[0024] 进一步地, 实现本高速光纤温度传感解调的温度监测系统主要由宽谱光源、光学分支器、砷化镓光纤温度传感器、光谱分析单元和数据采集单元组成, 所述宽谱光源发出光

线,光线通过光学分支器进入砷化镓光纤温度传感器,砷化镓光纤温度传感器将光线吸收并反射,被砷化镓光纤温度传感器反射的光通过光学分支器进入光谱分析单元,光谱分析单元解调光谱信息,并将解调后的光谱信息传至数据采集单元进行数据处理,从而得到温度值。

[0025] 本发明的有益效果在于:本发明提出一种等效波长的概念,并基于该等效波长提出一种新的解调方法,有效避免了因反射光谱叠加产生的计算误差,本方法在去除光谱分析仪的各种噪声,做归一化处理之后,在 $-20^{\circ}\text{C}\sim 250^{\circ}\text{C}$ 范围内测量精度较高,系统的测温响应速度较快,且整体计算量小,适用于高速以及高精度要求的应用场景。

### 【附图说明】

[0026] 图1为本发明的方法流程图;

[0027] 图2为砷化镓吸收式光纤温度传感器的反射光谱与温度的关系图;

[0028] 图3为本发明的特征数据选择示意图;

[0029] 图4为本发明的温度监测系统结构示意图;

[0030] 附图标记:1、宽谱光源;2、光学分支器;3、砷化镓光纤温度传感器;4、光谱分析单元;5、数据采集单元。

### 【具体实施方式】

[0031] 下面结合附图及具体实施方式对本发明做进一步描述:

[0032] 如图1、图2、图3所示,一种基于等效波长的高速光纤温度传感解调方法,包括如下步骤:

[0033] S1、获取砷化镓光纤温度传感器反射光的光谱净值;

[0034] S2、根据获取的光谱净值,计算等效波长;

[0035] S3、根据计算出的等效波长值,计算温度。

[0036] 优选地,所述S1中获取砷化镓光纤温度传感器反射光的光谱净值的方法包括:获取砷化镓光纤温度传感器的噪声光谱值,具体为当光源控制单元不照射光时,测量砷化镓光纤温度传感器的噪声以及光谱分析单元的暗电流散粒噪声、复位噪声、放大器噪声、光散粒噪声构成的背景噪声,获取砷化镓光纤温度传感器的反射光谱值,具体为利用光谱分析单元测量砷化镓光纤温度传感器的反射光谱值,其中,利用式子1计算出砷化镓光纤温度传感器的反射光谱净值;

[0037] 式子1: $I_R - I_N = R(\lambda_n, T_1) - N(\lambda_n, T_1)$ ;

[0038] 式子1中, $I_R$ 表示砷化镓光纤温度传感器反射光的光谱值, $I_N$ 表示砷化镓光纤温度传感器的噪声光谱值, $R(\lambda_n, T_1)$ 和 $N(\lambda_n, T_1)$ 分别表示与波长和温度相对应的函数, $T_1$ 表示砷化镓光纤温度传感器所在的环境温度, $\lambda_n$ 表示波长值, $n$ 为正整数。

[0039] 优选地,所述S1中得到的反射光谱净值与波长 $\lambda_n$ 进行多项式拟合,得到一个以波长 $\lambda_n$ 为参数的多项式 $F(\lambda_n)$ ,满足式子2;

[0040] 式子2: $F(\lambda_n) = a + b\lambda_n + c\lambda_n^2 + d\lambda_n^3 + \dots + n\lambda_n^n = I_R - I_N$ ;

[0041] 式子2中,每个 $\lambda_n$ 前面的 $a, b, c, d, \dots$ 均为实数,根据应用的实际情况来决定多项式的项数。

[0042] 优选地,所述S1中可利用式子3对上述式子2中得到的多项式进行峰值归一化处理;

$$[0043] \quad \text{式子3: } Z_n = \frac{F(\lambda)}{F(\lambda)_{MAX}} = P(\lambda, T);$$

[0044] 式子3中,  $Z_n$  为同一个温度下不同波长值的反射光谱净值的归一化值,  $F(\lambda)_{MAX}$  为该温度下反射光谱净值的最大值,即把反射光谱净值控制在0到1之间,以减小光谱净值对最终计算结果的影响,同时建立归一化值  $Z_n$ 、波长值  $\lambda_n$ 、温度  $T$  三者之间的函数关系,满足式子4。

[0045] 优选地,所述S2中要计算得到等效波长,首先建立温度与波长的关系,满足式子4,同时归一化值  $Z_n$  满足  $Z_1 < Z_n < Z_h$ ,则反射光谱净值的特定归一化值区间为  $(Z_1, Z_h)$ ,其中  $Z_1 \in (0, 0.5)$ ,  $Z_h \in (0.5, 1)$ ,这两个边界值根据实际光路决定,  $Z_1$  的常用典型值为0.3,  $Z_h$  的常用典型值为0.75,将  $Z_1$  和  $Z_h$  代入式子4,求得  $\lambda_1$  和  $\lambda_h$  即为所需的波长区间;

$$[0046] \quad \text{式子4: } \lambda_n = P^{-1}(Z_n, T)。$$

[0047] 优选地,所述S2中,将在式子4中得到的波长区间  $(\lambda_1, \lambda_h)$ ,按照式子5对反射光谱净值的归一化值  $Z_n$  进行积分处理,得到对应区间面积的重心所对应的波长值  $\lambda_G$ ,随着温度的改变,对应区间的面积也会随之移动和改变,重心位置对应的波长值可用来表示当前光纤温度传感器所在的环境温度,利用式子5就可以得到若干特定温度所对应的波长值,从而构建温度波长对应表;

$$[0048] \quad \text{式子5: } \lambda_G = \frac{\iint x dx dy}{\iint dx dy} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_h} \lambda Z(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_h} Z(\lambda) d\lambda};$$

[0049] 优选地,所述S3中,可利用上述的式子4和式子5确定若干特定波长值,将确定的若干特定波长值之一代入式子6,计算出与该若干特定波长值之一对应的温度值,而后构建由若干特定波长值及对应的若干温度值组成的温度波长校对表,通过计算出的特定波长值,查找温度波长校对表,获取该特定波长值对应的温度值;

$$[0050] \quad \text{式子6: } T = f(\lambda_G) = A + B \times \lambda_G + C \times \lambda_G^2 \times \ln(\lambda_G) + D \times \lambda_G^3 + E \times \frac{\ln(\lambda_G)}{\lambda_G};$$

[0051] 式子6中,  $\lambda_G$  表示特定波长值,  $T$  表示与该特定波长值对应的温度值,  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  和  $E$  分别为常数,且  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  和  $E$  与砷化镓光纤温度传感器中砷化镓晶体的厚度、透射膜的透射率、反射膜的反射率因素相关。

[0052] 如图4所示,实现本高速光纤温度传感解调的温度监测系统主要由宽谱光源、光学分支器、砷化镓光纤温度传感器、光谱分析单元和数据采集单元组成,所述宽谱光源发出光线,光线通过光学分支器进入砷化镓光纤温度传感器,砷化镓光纤温度传感器将光线吸收并反射,被砷化镓光纤温度传感器反射的光通过光学分支器进入光谱分析单元,光谱分析单元解调光谱信息,并将解调后的光谱信息传至数据采集单元进行数据处理,从而得到温度值。

[0053] 根据上述说明书的揭示和教导,本发明所属领域的技术人员还可以对上述实施方式适当的变更和修改。因此,本发明并不局限于上面揭示和描述的具体实施方式,对本发明的一些修改和变更也应当落入本发明的权利要求的保护范围内。此外,尽管本说明书

中使用了一些特定的术语,但这些术语只是为了方便说明,并不对本发明构成任何限制。



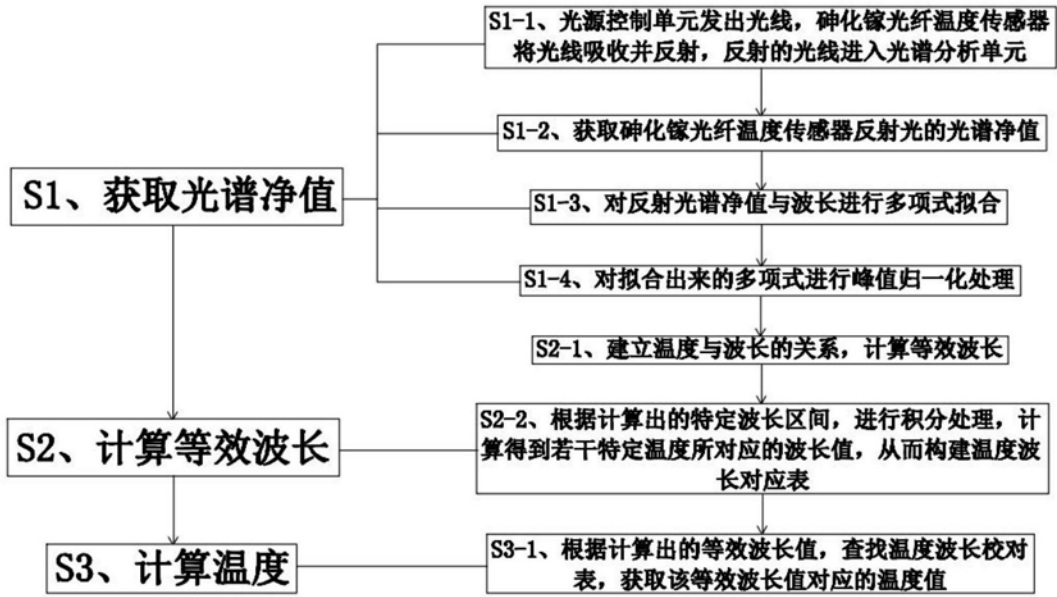


图1

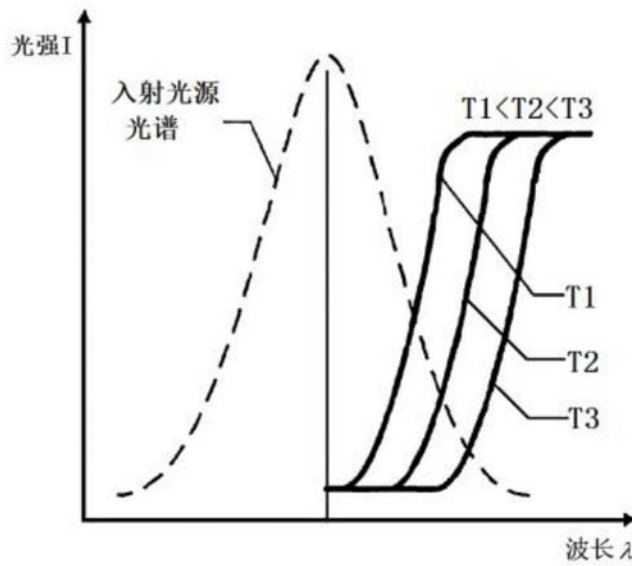


图2

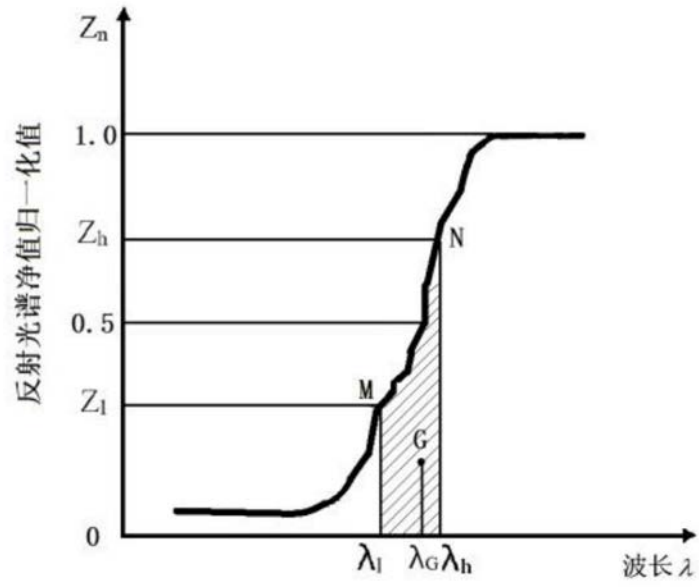


图3

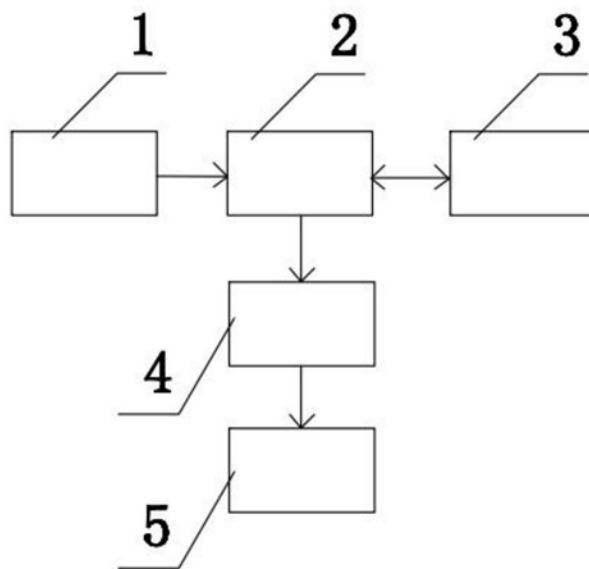


图4