



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101743460 B

(45) 授权公告日 2011. 10. 19

(21) 申请号 200880024741. 6

(22) 申请日 2008. 07. 07

(30) 优先权数据

60/959, 931 2007. 07. 18 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010. 01. 14

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2008/008317 2008. 07. 07

(87) PCT申请的公布数据

W02009/011766 EN 2009. 01. 22

(73) 专利权人 萨索特兰公司

地址 美国得克萨斯州

(72) 发明人 李钟 徐光

(74) 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理

有限公司 11262

代理人 吴艳 郑霞

(51) Int. Cl.

G01K 11/12(2006. 01)

(56) 对比文件

US 5217306 A, 1993. 06. 08,

JP 特开平 6-123661 A, 1994. 05. 06,

JP 特开平 8-159882 A, 1996. 06. 21,

CN 2896250 Y, 2007. 05. 02, 全文.

JP 特开 2005-265458 A, 2005. 09. 29,

JP 特开平 8-247858 A, 1996. 09. 27,

审查员 李慧子

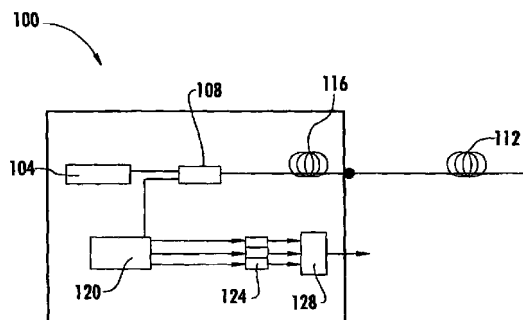
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 4 页

(54) 发明名称

分布式温度系统中的双源自动校正

(57) 摘要

提出一种自动且连续的方法提高从利用具有不同波长的两个光源的拉曼背散射得到的光纤分布式温度测量的精确度, 方式是通过选择两个源的波长使得初级光源的返回的反斯托克斯分量与次级光源的入射波长重叠, 从而抵消了由斯托克斯和反斯托克斯频带之间的波长差异产生的不一致的衰减。



1. 一种使用光纤分布式传感器进行自校准的温度测量的方法,所述方法包括以下步骤:

- a. 使用初级光源将初级光能注入传感器光纤中;
- b. 收集处于所述初级光能的拉曼反斯托克斯波长的背散射的光能并测量其强度;
- c. 使用次级光源将处于所述初级光能的拉曼反斯托克斯波长的次级光能注入所述光纤中;
- d. 收集处于所述次级光能的拉曼斯托克斯波长的背散射的光能并测量其强度;以及
- e. 使用所述初级光能的背散射反斯托克斯信号和所述次级光能的背散射斯托克斯信号来计算温度。

2. 如权利要求 1 所述的使用光纤分布式传感器进行自校准的温度测量的方法,其中所述初级光源具有的波长为 975 纳米并且所述次级光源具有的波长为 940 纳米。

3. 如权利要求 1 所述的使用光纤分布式传感器进行自校准的温度测量的方法,其中所述计算步骤在不测量微分衰减分布或不使用微分衰减分布的情况下执行。

4. 一种使用光纤分布式传感器进行自校准的温度测量的系统,所述系统包括:

- a. 分布式光纤传感器;
- b. 初级光源,其用于从所述分布式光纤传感器提供背散射反斯托克斯频带;
- c. 次级光源,其具有被选择成与所述初级光源提供的所述背散射反斯托克斯频带一致的波长,所述次级光源从所述分布式光纤传感器提供背散射斯托克斯频带;
- d. 光学开关,其用于在所述初级光源和所述次级光源之间选择;

其中,所述系统基于所述初级光源的反斯托克斯频带与所述次级光源的斯托克斯频带的比率来校准并测量沿所述分布式光纤传感器的温度分布。

5. 一种使用光纤分布式传感器进行自校准的温度测量的方法,所述方法包括以下步骤:

- a. 使用初级光源将初级光能注入传感器光纤;
 - b. 收集处于所述初级光源的拉曼斯托克斯波长的背散射的光能并测量其强度;
 - c. 使用次级光源将处于所述初级光源的拉曼反斯托克斯波长的次级光能注入所述光纤;
 - d. 收集处于所述次级光源的拉曼斯托克斯波长的背散射的光能并测量其强度;
 - e. 计算所述初级光源的背散射斯托克斯信号和所述次级光源的背散射斯托克斯信号之间的比率,以在沿所述传感器光纤的一个或多个位置处产生衰减校正因子;以及
 - f. 使用所述衰减校正因子调节所述光纤分布式温度传感器所测量的温度;
- 其中由所述光纤分布式温度传感器所测量的所述温度通过下列操作被测量:
- i. 使用初级光源将初级光能注入所述传感器光纤;
 - ii. 收集处于所述初级光源的拉曼反斯托克斯波长的背散射的光能并测量其强度;
 - iii. 收集处于所述初级光源的拉曼斯托克斯波长的背散射的光能并测量其强度;以及
 - iv. 计算所述背散射拉曼反斯托克斯波长和斯托克斯波长的强度之间的比率。

分布式温度系统中的双源自动校正

技术领域

[0001] 本发明通常涉及温度传感,更具体地涉及用于分布式温度传感的双源自校准系统和方法。

[0002] 相关申请的交叉引用

[0003] 本申请要求由本发明人在 2007 年 7 月 18 日提交的美国临时序列号 60/951,931 的利益。

[0004] 发明背景

[0005] 光纤分布式温度传感 (DTS) 系统是在 20 世纪 80 年代发展来取代基于热电偶和热敏电阻的温度测量系统的。DTS 技术基于光时域反射法 (OTDR) 并且利用最初源自于电信电缆测试的技术。今天, DTS 提供了获得成百甚至上千个高度精确的高分辨率温度测量的成本有效的方法,今天的 DTS 系统在工业如石油天然气、电力和工艺控制中得到广泛接受。

[0006] 在基于 DTS 的测量中涉及的基本原理是检测自发的拉曼 (Raman) 背散射。DTS 系统发射初级激光脉冲,其产生两个背散射的光谱分量。与所发射的激光脉冲相比,斯托克斯 (Stokes) 分量具有较低的频率和较长的波长的含量,而与所发射的激光脉冲相比,反斯托克斯分量具有较高的频率和较短的波长。反斯托克斯信号通常比斯托克斯信号弱一个数量级 (在室温时) 而且是温度敏感的,而斯托克斯信号几乎与温度完全无关。因此,这两个信号的比率可以用于确定在特定点处的光纤温度。在发出初级激光脉冲与检测到散射信号之间的飞行时间可以用来计算在光纤中的散射事件的特殊位置。

[0007] 在 DTS 系统的操作中涉及的一个问题是正确的校准。DTS 技术从在不同的波长频带中的两个背散射信号得到温度信息。波长较短的信号是拉曼反斯托克斯信号,波长较长的信号通常是拉曼斯托克斯信号。当以 λ_1 的光在温度传感光纤中从初级源发射之后,从光纤中的不同位置出现的包含于斯托克斯 ($\lambda_1^{\text{Stokes}}$) 和反斯托克斯 ($\lambda_1^{\text{Anti-Stokes}}$) 频带中的散射功率向回传播至发射端,并且被一个或多个检测器检测到。当斯托克斯和反斯托克斯信号传播时,由于对这两个信号的波长频带内的差异,它们分别经历不同的衰减分布 (attenuation profile) α^{Stokes} 和 $\alpha^{\text{Anti-Stokes}}$ 。为了获得正确的温度测量,需要进行校正以使这两个信号显示出相同的衰减。

[0008] 一种使用的方式是假定衰减分布作为距离的函数按指数衰减。这产生带有被称作微分衰减因子 (DAF) 的指数的指数函数,该微分衰减因子被乘以斯托克斯信号以将衰减分布调节到反斯托克斯信号的衰减分布。因而形成的两个信号的比率接着用于获得温度。DAF 是在两个不同波长之间的衰减的差别 ($\alpha_{AS} - \alpha_S$)。

[0009] 然而平滑指数衰减的假设并不总是事实。许多因素可使实际衰减偏离指数形式。局部机械应力或应变、光纤卷曲、化学侵袭 (即氢的进入) 都可能引起异常,并且这些中的一些可以随时间变化。在工业中已经认识到,需要一些连续校准形式来减少所有这些不规律。

[0010] Yamate 等人的美国专利 7,126,680 B2 提出使用两个额外的光源 - 一个在初级源的斯托克斯频带内而另一个在初级源的反斯托克斯频带内 - 以产生瑞利 (Rayleigh) OTDR

信号并对背散射信号的衰减分布进行时间校正。因此, Yamate 等人实际上提出的是移除来自期望光源的背散射可用性中的衰减分量, 或者说, 成本问题是对实际实现的障碍。

[0011] 提出了在过去使用瑞利和反斯托克斯频带 (Farries- 英国专利 GB2183821-1987) 的一些单源方法。当前的发明人中的一个在美国申请 11/685, 637 中提出了一种双源方式。这些方案中的每一个具有明显慢的响应而且不是全自动的。

[0012] 双端配置 (传感光纤的两端都连接至 DTS 单元以抵消共同的衰减) 已经被使用。这些配置可能使传感光纤的长度和传感时间加倍, 需要额外的监控信道, 并且不是普遍适用于空间有限的应用。

[0013] 发明简述

[0014] 因而存在对更简单而且全自动的校正方法的需要。本发明提供了用于分布式温度传感的双源自校准系统和方法。更特别地, 使用包括初级源和次级源的双源配置, 其中次级源的波长与初级源的反斯托克斯拉曼波长近似一致。创造性概念的这方面允许精确的温度监控, 而不需要在布置传感光纤后处理微分衰减。

[0015] 在一个实施方式中, 一种使用光纤分布式传感器进行自动校正温度测量的方法至少包括步骤: 使用初级光源将初级光能注入传感器光纤; 收集处在初级光能的拉曼反斯托克斯波长的背散射的光能并测量其强度; 使用次级光源将处在初级光能的拉曼反斯托克斯波长的次级光能注入同一个传感光纤; 收集处在次级光能的拉曼斯托克斯波长的背散射的光能并测量其强度; 以及使用初级光能的背散射的反斯托克斯信号和次级光能的背散射的斯托克斯信号来计算温度。

[0016] 在另一个实施方式中, 使用光纤分布传感器进行自校准的温度测量的系统至少包括: 分布式光纤传感器; 用于从所述分布式光纤传感器提供背散射反斯托克斯频带的初级光源; 具有被选择成与所述初级光源提供的所述背散射反斯托克斯频带一致的波长的次级光源, 所述次级光源从所述分布式光纤传感器提供背散射斯托克斯频带; 用于在所述初级光源和次级光源之间进行选择的光学开关; 其中该系统基于初级光源的反斯托克斯频带与次级光源的斯托克斯频带的比率来校准并测量沿所述分布式光纤传感器的温度分布。

[0017] 在创造性概念的另一个实施方式中, 存在使用光纤分布式传感器进行自校准的温度测量的方法, 该方法至少包括步骤: 使用初级光源将初级光能注入传感器光纤; 收集处在初级光源的拉曼斯托克斯波长的背散射的光能并测量其强度; 使用次级光源将处在初级光源的拉曼反斯托克斯波长的次级光能注入光纤; 收集处在次级光源的拉曼斯托克斯波长的背散射的光能并测量其强度; 计算初级光源的背散射斯托克斯信号与次级光源的背散射斯托克斯信号之间的比率以在沿传感器光纤的一个或多个位置处产生衰减校正因子; 以及使用该衰减校正因子调节由光纤分布式温度传感器测量的温度。在这种方法中, 温度测量和计算通过下列操作进行: 使用初级光源将初级光能注入所述传感器光纤; 收集处在初级光源的拉曼反斯托克斯波长的背散射的光能并测量其强度; 收集处在初级光源的拉曼斯托克斯波长的背散射的光能并测量其强度; 以及计算在背散射拉曼反斯托克斯和斯托克斯波长的强度之间的比率。

[0018] 附图的几个视图的简述

[0019] 为了更彻底地理解本发明, 现在参考以下附图, 其中,

[0020] 图 1 显示了现有技术的 DTS 系统的结构图。

[0021] 图 2 显示了被配置成用于双光校准的 DTS 系统的结构图。

[0022] 图 3 示出了初级光源和次级光源的选择。

[0023] 图 4 示出了来自常规 DTS 迹线的背散射光信号。

[0024] 图 5 示出了来自双光布置的背散射信号。

[0025] 图 6 示出了来自四个不同传感光纤探测器的 OTDR 信号。

[0026] 图 7 示出了在单光系统中没有衰减校正的四个传感光纤探测器的温度测量。

[0027] 图 8 示出了使用了本发明的双光提议的没有衰减调节的温度测量。

[0028] 发明详述

[0029] 在以下的详细描述中,参考示出了本发明实施方式的附图。这些实施方式被足够详细地描述以使本领域的普通技术人员能够在没有过多的试验的情况下实践本发明。然而,应当理解,在此描述的实施方案和例子只作为例证而不是作为限制给出。各种替代、更改、增补、以及重新布置可以在不偏离本发明精神的情况下做出。因此,接下来的描述并不在限制的意义被理解,并且本发明的范围只由附加的权利要求限定。

[0030] 现在转向图 1,其描绘了通常由数字 100 示出的现有技术的单源 DTS 系统。在操作中,具有波长 λ_1 的脉冲激光由初级激光源 104 产生,并通过光学合并器/分离器 108 提供给传感光纤 112。内部基准光纤线圈 116 位于 DTS 之中并且被保持在已知的温度 θ 。由于密度和组成的变化以及分子和整体振动,当脉冲通过光纤 112 传播时光被背散射。在均质光纤中,背散射光的强度随时间以指数形式衰减。

[0031] 因为光在光纤 112 中的传播速度是公知的,从返回的背散射光的飞行时间可以确定距离。背散射光到达光学合并器/分离器 108,并由于在传播的光脉冲和光纤之间的不同的相互作用机制而包含不同光谱分量。这些背散射光谱分量包括瑞利、布里渊 (Brillouin) 和拉曼峰值和频带。光学合并器/分离器 108 将这些混合的光谱分量引导至光学滤波器 120,该滤波器将这些背散射分量分离到可以是瑞利、拉曼斯托克斯和拉曼反斯托克斯波长的所关注的频带内,并且接着将它们送到必要的光检测器 124 中。为了说明的目的,显示了三个光检测器。来自光检测器的信号被送至被编程的信号处理器,其输出作为沿传感光纤 112 的位置的函数的温度。

[0032] 瑞利背散射分量 (λ_R) 是最强的信号并且具有与初级激光脉冲相同的波长 λ_1 。因此,瑞利分量控制强度衰减曲线的主斜率并且可以用来识别沿光纤的破裂或不均匀性。瑞利分量对温度不敏感,即,是温度无关的。

[0033] 布里渊背散射分量由来自传播的光脉冲的晶格振动引起。然而,这些峰值在光谱上如此接近于初级激光脉冲,以致于很难将布里渊分量从瑞利信号中分离出来。

[0034] 拉曼背散射分量由来自传播的光脉冲的分子振动的热影响引起。因此,它们的强度取决于温度。拉曼背散射光具有两个分量,其对称地位于瑞利峰值的两侧:斯托克斯峰值 (λ_S) 和反斯托克斯峰值 (λ_{AS})。

[0035] 反斯托克斯峰值的强度 (I_{AS}) 通常低于斯托克斯峰值的强度 (I_S),但是强烈地与温度相关,而斯托克斯峰值的强度仅仅很弱地与温度相关。通过计算反斯托克斯与斯托克斯信号强度的比率,可以获得精确的温度测量结果。将这个温度测量技术与借助光飞行时间的距离测量相结合,DTS 系统可以提供沿光纤 112 的整个长度逐步渐进的温度测量结果。

[0036] 在典型的单光源拉曼 DTS 系统中,通过在反斯托克斯 (I_{AS}) 和斯托克斯 (I_S) 信号

之间的强度比率 $R(T)$ 测量温度, 温度信息可以根据方程 1 得到:

$$[0037] \quad R(T) = \frac{I_{AS}}{I_S} = \left(\frac{\lambda_S}{\lambda_{AS}} \right)^4 \cdot \exp\left(-\frac{hcv}{kT}\right) \text{ 方程 (1)}$$

[0038] 其中 λ_S 和 λ_{AS} 是斯托克斯和反斯托克斯波长, v 是它们距输入波长 λ_1 的波数, h 是普朗克常数, c 是光速, k 是波尔兹曼常数, 以及 T 是在测量中光纤芯的绝对温度。

[0039] 输入信号沿光纤向测量位置传播, 并且散射信号传播回检测器, 这在两个方向上给背散射信号增加衰减效应。另外, 由于当从测量点传播到检测器时波长的差异, 在反斯托克斯信号和斯托克斯信号之间有衰减因子的微小的差异。除了非线性效应之外, 对于较短的波长, 光纤通常还表现出较高的衰减, 并且因此, 与斯托克斯信号相比, 反斯托克斯信号通常有较高的衰减。作为结果, 假设光学信号沿光纤 103 按指数衰减, 方程 1 可被更改以如下得到光纤导致的衰减效应:

$$[0040] \quad R(T) = \frac{I_{AS}}{I_S} = \left(\frac{\lambda_S}{\lambda_{AS}} \right)^4 \cdot \exp\left(-\frac{hcv}{kT}\right) \cdot \exp[l \cdot (\alpha_{AS} - \alpha_S)] \text{ 方程 (2)}$$

[0041] 其中 l 是信号传播的光纤长度, α_{AS} 和 α_S 分别是在反斯托克斯和斯托克斯波长中的衰减因子。

[0042] 在使用该方程导出温度之前, 微分衰减导致的分量可以被移除。典型的方式是将 $(\alpha_{AS} - \alpha_S)$ 因子 (被称作微分衰减因子或 DAF) 移动到方程 2 的左侧。对于给定的光纤类型, DAF 可以被预先确定, 然后通过使斯托克斯数据与 DAF 导致的指数因子相乘来得到温度:

$$[0043] \quad \frac{AS}{S \cdot \exp(l \cdot DAF)} = \left(\frac{\lambda_S}{\lambda_{AS}} \right)^4 \cdot \exp\left(-\frac{hcv}{kT}\right) \text{ 方程 (3)}$$

[0044] 这一运算基于沿光纤传播的所有光学信号的衰减分布作为距离的函数按指数衰减的假设。虽然通常这对大多数物理状态良好的光纤成立, 物理应力 / 应变、非常高 / 低的温度和 / 或氢的进入可能使背散射信号的衰减分布偏离最初测量和校准的形式。在这种情况下, 基于单个静态 DAF 的校正因子不再是足够准确或有效的。

[0045] 通常被示为数字 200 的图 2 显示了供选择的 DTS 系统的结构图, 该系统能够执行根据本发明实施方式的自校准方法。初级光源 204 (波长 λ_1) 和次级光源 206 (波长 λ_2) 可以二择一地将初级光学信号和次级光学信号经由光学开关 205 送到传感光纤 212 和基准光纤线圈 216。当光学开关 205 在第一位置时, 初级源 204 产生来自传感光纤 212 的初级背散射信号。当光学开关 205 在第二位置时, 次级源 206 产生来自传感光纤 212 的次级背散射信号。光学合并器 / 分离器 208 将这些混合的光谱分量引导至光学滤波器 220, 其将这些背散射分量分离到所关注的频带中然后将它们送到光学检测器 124, 这些所关注的频带可以是初级光源或次级光源的瑞利、拉曼斯托克斯和拉曼反斯托克斯频率。为了说明的目的, 显示了三个光学检测器, 但是更多光学检测器也是可能的。来自光学检测器的信号被送给被编程的信号处理器, 该处理器输出作为沿传感光纤 212 的位置的函数的温度。在一个实施方式中, 次级源波长 (λ_2) 被选择成与初级源的反斯托克斯波长 (λ_{2AS}) 一致。这在通常由数字 300 显示的图 3 中示出。如果次级源波长被选择成与初级反斯托克斯波长相匹配, 则次级斯托克斯波长与初级波长 λ_1 紧密匹配。如在以下推导中更加详细讨论的, 这种

配置消除了使用用于调整的任何瑞利信号的需要,并且可仅使用斯托克斯和反斯托克斯信号来测量精确的温度。

[0046] 衰减因子作为波长的函数变化,并且在反斯托克斯和斯托克斯信号之间变化,因为这些信号不在同一波长上。另外,衰减的局部变化不需要被假设为指数形式,并且沿光纤 212 的衰减可以被表达为具有波长和位置的变量的一般函数,如 $f(\lambda, l)$ 。因此,方程 2 可以如下被更改:

$$[0047] \quad R(T) = \frac{I_{AS}}{I_S} = \left(\frac{\lambda_S}{\lambda_{AS}} \right)^4 \cdot \exp\left(-\frac{hcv}{kT}\right) \cdot \frac{f(\lambda_{AS}, l)}{f(\lambda_S, l)} \text{ 方程 (4)}$$

[0048] 只要斯托克斯和反斯托克斯信号是来自同一输入光源,这个方程就保持成立。使用两个输入源,我们可以指定它们的波长对初级源为 λ_1 而对次级源为 λ_2 。另外,通过设定次级源的波长与初级源的反斯托克斯波长近似一致,使得 $\lambda_2 = \lambda_{1AS}$, 则次级源的斯托克斯波长可与初级源的输入波长近似一致, $\lambda_{2S} = \lambda_1$ 。

[0049] 使用从次级源背散射的斯托克斯信号代替从初级源背散射的斯托克斯信号允许方程 4 如下被更改:

$$[0050] \quad R(T) = \frac{I_{1AS}}{I_{2S}} = \frac{I_1}{I_2} \cdot \left(\frac{\lambda_{2S}}{\lambda_{1AS}} \right)^4 \cdot \exp\left(-\frac{hcv}{kT}\right) \cdot \frac{f(\lambda_1, l) \cdot f(\lambda_{1AS}, l)}{f(\lambda_S, l) \cdot f(\lambda_{2S}, l)}$$

$$[0051] \quad R(T) = \frac{I_{1AS}}{I_{2S}} = \frac{I_1}{I_2} \cdot \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right)^4 \cdot \exp\left(-\frac{hcv}{kT}\right) \cdot \frac{f(\lambda_1, l) \cdot f(\lambda_2, l)}{f(\lambda_2, l) \cdot f(\lambda_1, l)} \text{ 方程 (5)}$$

$$[0052] \quad R(T) = \frac{I_1}{I_2} \cdot \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right)^4 \cdot \exp\left(-\frac{hcv}{kT}\right)$$

[0053] 该代数操作证明:由于对初级光源和次级光源的创造性选择,现在不必处理微分衰减就可以得到温度信息。

[0054] 在利用初级光源和次级光源的创造性选择的另一个实施方式中,在初级源的斯托克斯信号和次级源的斯托克斯信号之间的衰减差异可以用作校正因子,其可以表达为

$$[0055] \quad \frac{I_{1AS}}{I_{2S}} = \frac{I_{1AS}}{I_{1S}} \cdot \frac{I_{1S}}{I_{2S}} \text{ 方程 (6)}$$

[0056] 用这种方式,初级光源和次光源都可以用于产生校正因子 (I_{1S}/I_{2S}), 然后单个源可以用于温度测量,同时,所述校正因子应用于来自该源的反斯托克斯/斯托克斯比率。用户可以因此周期地或在要求时使用初级光源和次级光源产生一组新的校正因子。

[0057] 本发明的优点包括其配置的精确和使用的方便。本发明的实施方式利用单个额外的源作为用于自校准的次级源,与两个额外的源相反,它们使用拉曼散射而不是瑞利散射来执行波长调整,并且只需要斯托克斯和反斯托克斯信号之间的比率而不考虑用微分衰减来产生温度信息。此外,在此描述的较简单的处理导致更精确和可靠的温度测量。

[0058] 为了计算绝对温度,位于 DTS 单元(图 1 中的 116 或图 2 中的 216) 中的基准光纤线圈被保持在已知的温度 θ 。于是沿传感光纤的任意部分的未知温度 T 可以通过重新排列以上方程被计算为:

$$[0059] \quad T = \left[\frac{1}{\theta} - \frac{k}{hcv} \ln \left(\frac{R(T)}{R(\theta)} \right) \right]^{-1} \text{ 方程 (7)}$$

[0060] 其中 $R(T)$ 和 $R(\theta)$ 分别是在传感光纤的任意部分和基准光纤线圈上所测量的背散射比率。在方程 5 中的强度项 I_1 和 I_2 合并入方程 7 中的 $R(T)$ 和 $R(\theta)$ 中。

[0061] 实验验证

[0062] 在与图 2 相类似的实验设置中,975nm(初级)和 940nm(次级)的两个激光源以脉冲模式操作并且可选地使用光学开关被选择,且散射信号通过硅 APD(雪崩光电二极管)被依次收集。收集所选择的 975nm 激光连接的反斯托克斯信号,收集所选择的 940nm 激光的斯托克斯信号。单源系统的背散射光谱在图 4 中示出,并且所提出的双源系统的背散射拉曼强度在图 5 中示出。位于 940nm 和 975nm 的两实线指示了次级光源和初级光源的瑞利频带。并且包含实线的两条虚线分别指示了初级光源和次级光源的反斯托克斯和斯托克斯频带。

[0063] 四个不同的多模光纤被用作测试探测器 - 来自不同制造商的在正常状态下的三个光纤,以及在油井中的氢-暗(hydrogen-darkened)的一个光纤(都以 50/125/250G1 MM 光纤:OFS 5km、Spectran 4.5km、Corning2km 以及氢-暗 800m)。所有的光纤线轴被保持在室温,并且相继获取每个光纤的常规 DTS 操作和自校正模式的 30 秒 OTDR 迹线和 2 分钟温度迹线。图 6 显示了由单源模式中的光纤产生的 OTDR 迹线中的比较,该图清楚地显示了各光纤间的不同的衰减,并且还显示了在暗光纤中(探测器 4)局部产生的非线性衰减。依次连接所有探测光纤,并且不需要采取任何校正微分衰减的行动就可以得到温度迹线。由正常单源模式操作产生的因而形成的温度分布被绘制图 7 中。由于微分衰减,不同的光纤之间的计算误差很明显。然而,图 8 显示了通过双光自校正模式测量的温度迹线。这些迹线显示所有光纤的正确的温度迹线,与它们的固有衰减分布无关。该双光模式易于被编程为自动系统。

[0064] 虽然本发明的某些实施方式和它们的优点已经在这里被详细描述,应当理解,可进行各种变化、替换和变更,而不偏离如附加权利要求限定的本发明的精神和范围。此外,本发明的范围没有被规定为限制到此处所描述的工艺、机器、产品、设备、方法以及步骤的特定实施方式。正如从这个公开中本领域的普通技术人员可以很容易认识到的,根据本发明可利用执行与此处所描述的相应实施方式实质上相同的功能或者实现与这些相应实施方式实质上相同的结果的目前存在的或以后将发展的其他工艺、机器、产品、设备、方法或者步骤。因此,附加权利要求旨在将这样的工艺、机器、产品、设备、方法或者步骤包括在其范围内。

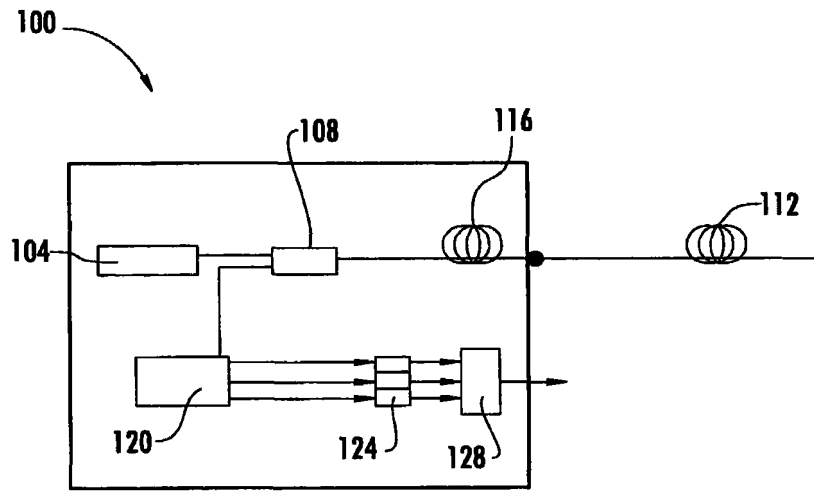


图 1

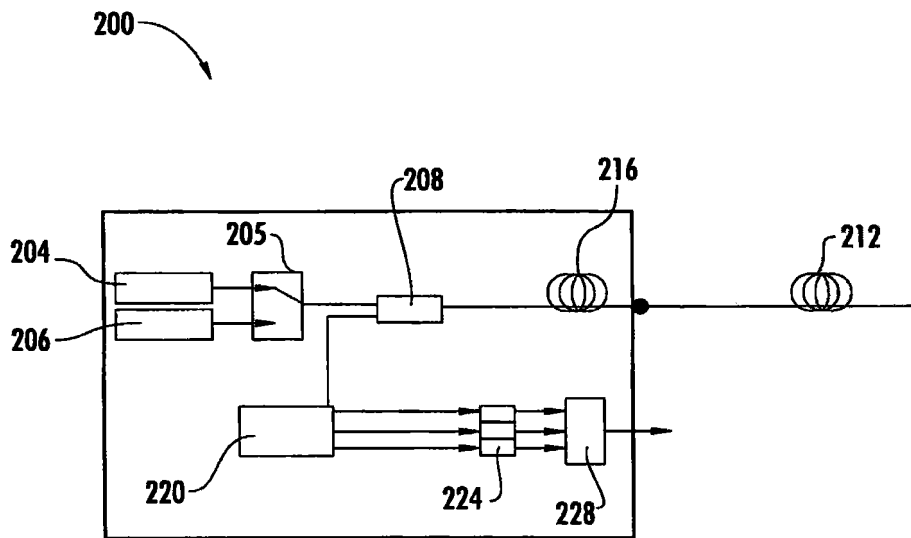


图 2

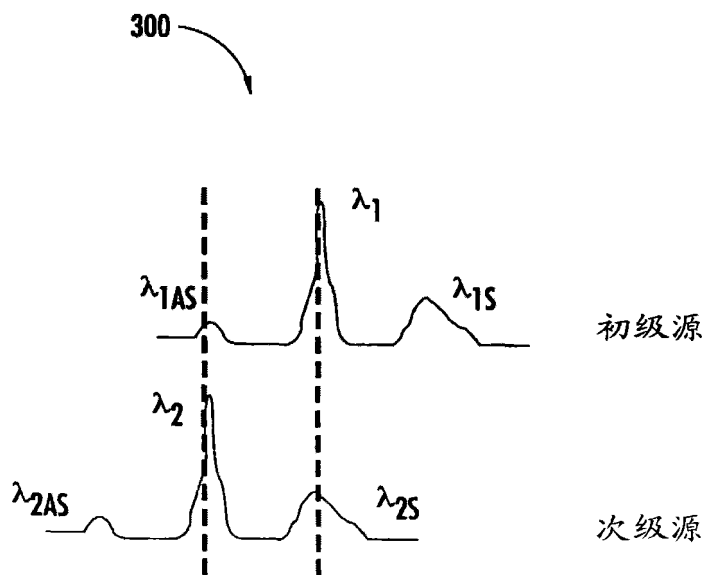


图 3

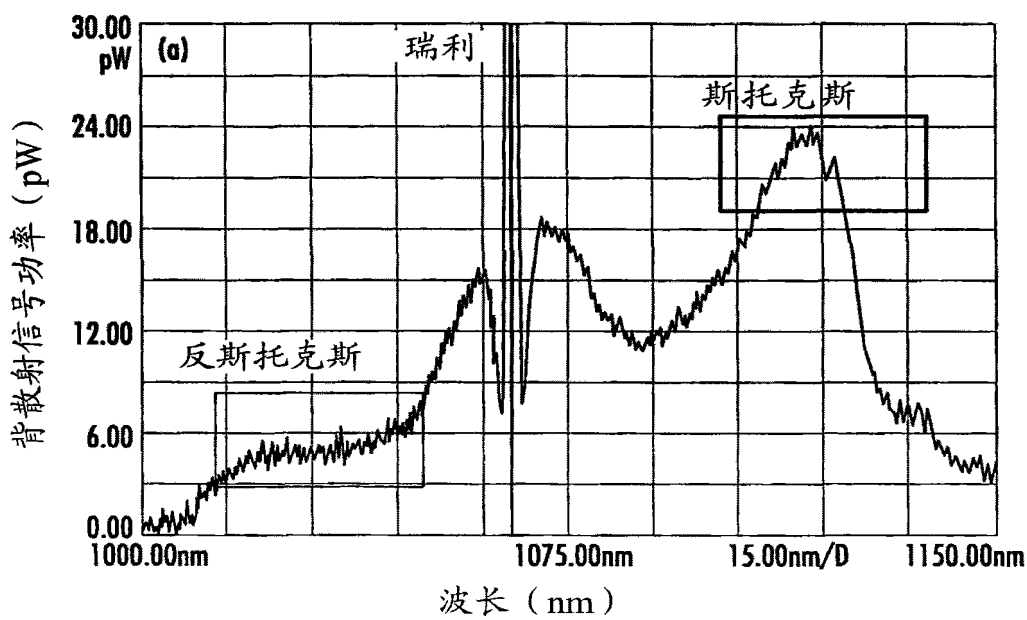


图 4

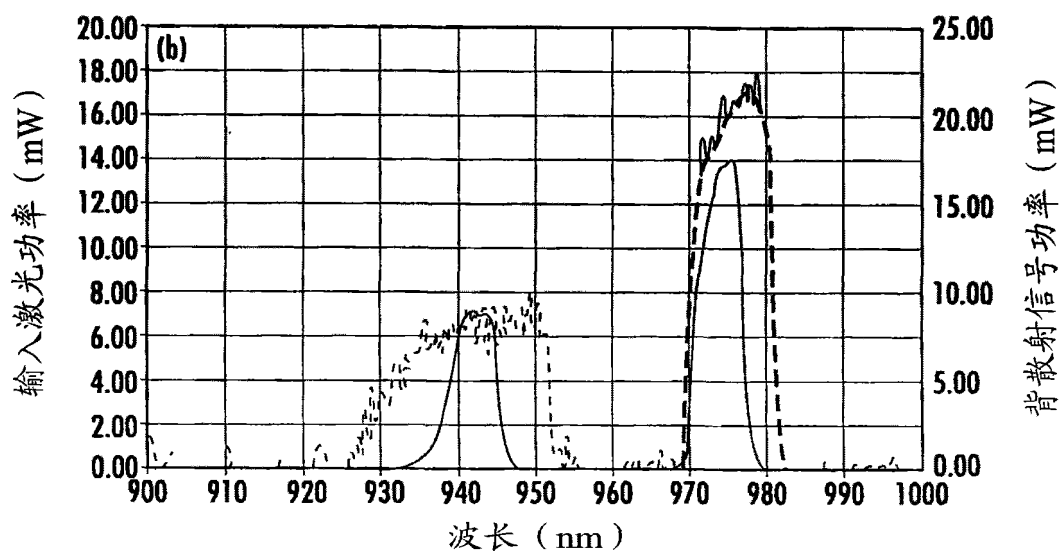


图 5

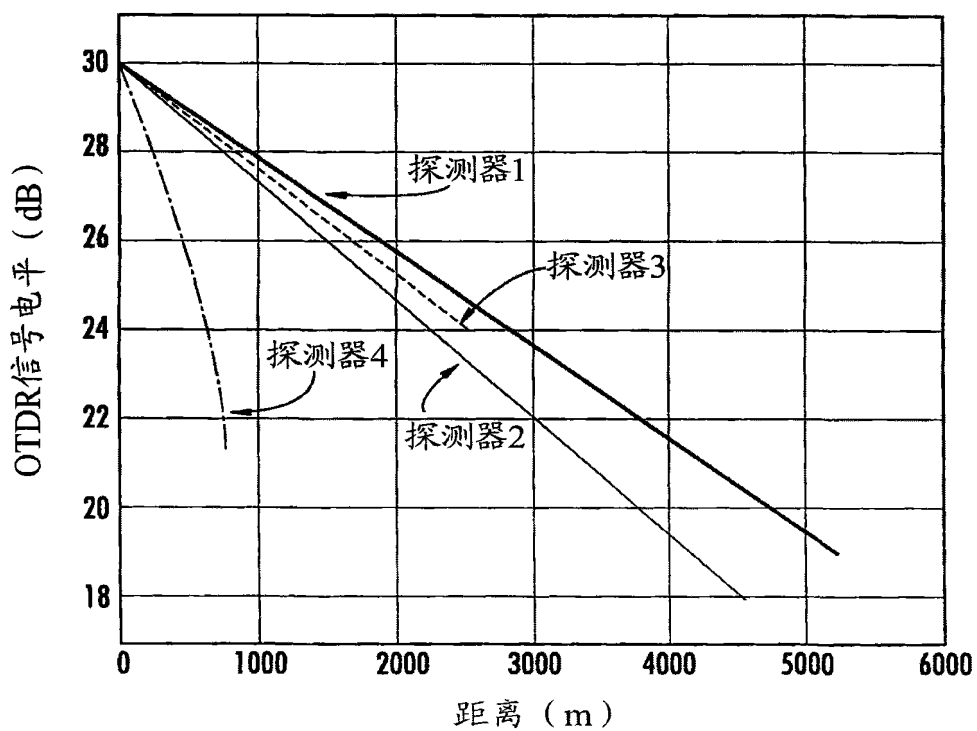


图 6

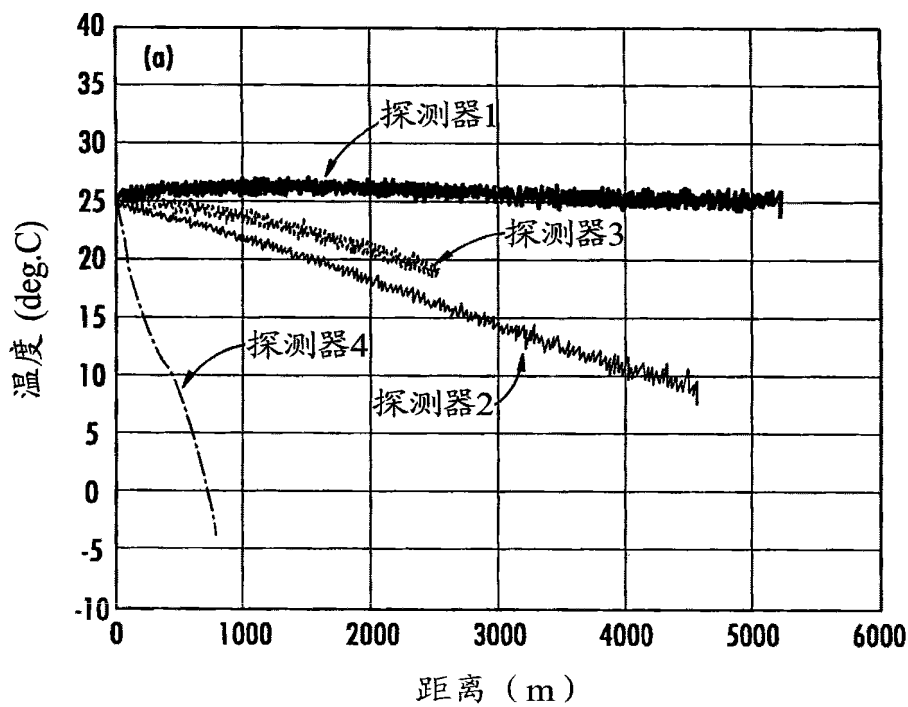


图 7

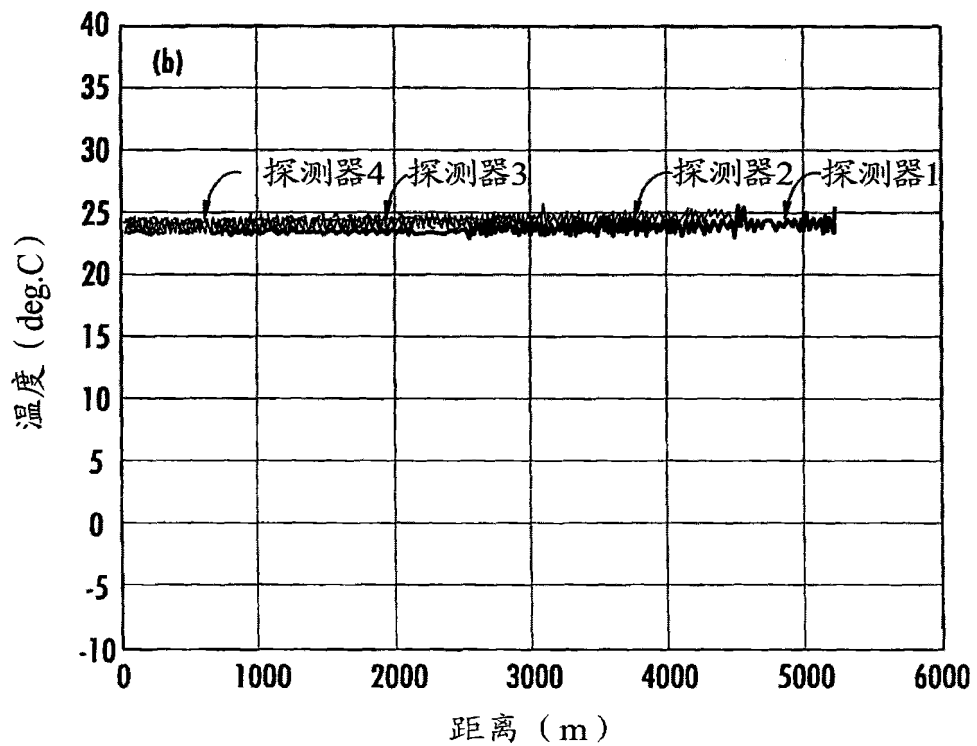


图 8