

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102564642 B

(45) 授权公告日 2013. 08. 07

(21) 申请号 201210038827. 2

(22) 申请日 2012. 02. 21

(73) 专利权人 中国计量学院

地址 310018 浙江省杭州市下沙高教园区学源街 258 号

(72) 发明人 张在宣 康娟 张文平 李晨霞
余向东 王剑锋 张文生 金尚忠

(74) 专利代理机构 杭州求是专利事务有限公司 33200

代理人 周烽

(51) Int. Cl.

G01K 11/32(2006. 01)

(56) 对比文件

US 5917969 A, 1999. 06. 29, 全文.

US 2010/0187438 A1, 2010. 07. 29, 全文.

CN 102322886 A, 2012. 01. 18, 全文.

CN 202453115 U, 2012. 09. 26, 权利要求 1.

张在宣等. 分布式光纤拉曼光子温度传感器的研究进展. 《中国激光》. 2010, 第 37 卷 (第 11 期), 第 2749-2761 页.

审查员 鲍旭日

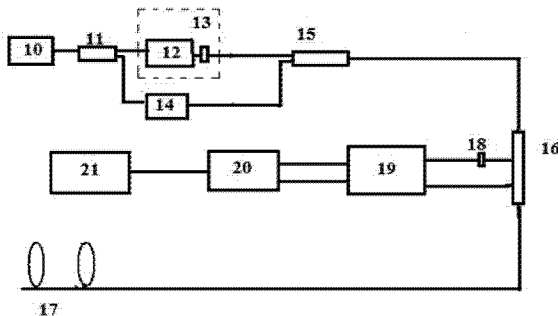
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

融合拉曼放大效应的光纤拉曼频移器的全分布光纤传感器

(57) 摘要

本发明公开了一种融合拉曼放大效应的光纤拉曼频移器的全分布光纤传感器,该传感器用一只 1550nm 光纤脉冲激光器通过光纤分路器分成两束光,一束光经光纤拉曼频移器转换为宽光谱的斯托克斯拉曼光进入传感光纤,另一束光经过延时光纤后与宽光谱斯托克斯拉曼光通过光纤合路器进入同一根传感光纤,两束光在传感光纤相遇处通过非线性相互作用融合,获得一束被拉曼放大的 1660nm 宽光谱带脉冲激光作为全分布光纤传感器的光源,传感光纤中产生的带有温度信息的 1550nm 宽光谱反斯托克斯拉曼光通过光纤窄带反射滤光器扣除 1550nm 激光器瑞利散射光后与带有应变信息的 1660nm 瑞利光,进入光电接收模块,数字信号处理器和工控机,经解调后获得传感光纤上的温度、应变信息。适用于远程 60 公里范围内石化管道,隧道,大型土木工程监测和灾害预报监测。



1. 一种融合拉曼放大效应的光纤拉曼频移器的全分布光纤传感器,其特征在于,它包括:光纤脉冲激光器(10)、光纤分路器(11)、由单模光纤(12)和 1660nm 滤光器(13)组成的光纤拉曼频移器、延时光纤(14)、光纤合波器(15)、光纤波分复用器(16)、传感光纤(17)、光纤窄带反射滤光器(18)、光电接收模块(19)、数字信号处理器(20)和工控机(21);其中,光纤脉冲激光器(10)发出激光脉冲通过光纤分路器(11)分成两束,其中一束 1550nm 波段的激光进入光纤拉曼频移器,经频移 13.2THz 到 1660nm 波段,作为宽光谱探测光源,经光纤合波器(15)的输出端口进入光纤波分复用器(16),另一束 1550nm 波段的激光作为泵浦光源,经延时光纤(14),通过光纤合波器(15)的输出端口进入光纤波分复用器(16),光纤波分复用器(16)具有四个端口,它的输入端口通过光纤合波器(15)与光纤拉曼频移器输出的探测光源和另一束 1550nm 泵浦光源相连,光纤波分复用器(16)的 COM 输出端口与传感光纤(17)相连,两束光在传感光纤(17)相遇处产生拉曼放大的 1660nm 波段宽光谱反向瑞利散射光经光纤波分复用器(16)的一个输出端口与光电接收模块(19)的一个输入端口相连,经光电转换放大后输入数字信号处理器(20)的一个端口;在传感光纤(17)中产生拉曼放大的 1550nm 波段宽光谱反向反斯托克斯拉曼散射光经光纤波分复用器(16)的另一个输出端口与光纤窄带反射滤光器(18)相连,扣除 1550nm 激光的瑞利散射光后与光电接收模块(19)的另一个输入端口相连,经光电转换放大后输入数字信号处理器(20)的另一个端口,数字信号处理器(20)与工控机(21)相连。

2. 根据权利要求 1 所述的融合拉曼放大效应的光纤拉曼频移器的全分布光纤传感器,其特征在于,所述脉冲激光器(10)的中心波长为 1550.0nm,光谱宽度为 0.2nm,激光脉冲宽度为 10-30ns 可调,峰值功率为 1-100W 可调,重复频率为 500Hz -1.5KHz 可调。

3. 根据权利要求 1 所述的融合拉曼放大效应的光纤拉曼频移器的全分布光纤传感器,其特征在于,所述光纤拉曼频移器中 1660nm 滤光器(13)的中心波长为 1660nm,光谱带宽 28nm,透过率 98%,对 1550nm 激光的隔离度 >45dB。

4. 根据权利要求 1 所述的融合拉曼放大效应的光纤拉曼频移器的全分布光纤传感器,其特征在于,所述光纤分路器(11)的分支比为 80/20,光纤合波器(15)的分支比为 60/40。

5. 根据权利要求 1 所述的融合拉曼放大效应的光纤拉曼频移器的全分布光纤传感器,其特征在于,所述延时光纤(14)是长度 L 为 1-1.020km 的 G652 通信单模光纤。

6. 根据权利要求 1 所述的融合拉曼放大效应的光纤拉曼频移器的全分布光纤传感器,其特征在于,所述传感光纤(17)是长度为 60km 的 G652 通信单模光纤或 LEAF 光纤。

7. 根据权利要求 1 所述的融合拉曼放大效应的光纤拉曼频移器的全分布光纤传感器,其特征在于,所述光纤窄带反射滤光器(18)的中心波长为中心波长为 1550nm,光谱宽度为 0.5nm,反射率 99%,对 1550nm 激光的隔离度 >45dB。

融合拉曼放大效应的光纤拉曼频移器的全分布光纤传感器

技术领域

[0001] 本发明属于光纤传感技术领域,尤其涉及一种光纤拉曼温度传感器。

背景技术

[0002] 近年来,利用光纤拉曼散射光强度受温度调制的效应和光时域反射(OTDR)原理研制成分布式光纤拉曼温度传感器,它可以在线实时预报现场的温度和温度变化的取向,在线监测现场温度的变化,在一定的温度范围设置报警温度,是一种本质安全型的线型感温探测器,由分布式光纤拉曼温度传感器组成的在线监测传感网已在电力工业、石化企业、大型土木工程和在线灾害监测等领域成功地应用。

[0003] 在分布式光纤传感网的研究和实际应用中,存在长距离、高精度和高分辨率传感的重大需求;还存在多参量传感问题。

[0004] 张在宣于 2009 年提出《全分布式光纤瑞利与拉曼散射光子应变、温度传感器》(中国发明专利:ZL200910099463.7,2010 年 9 月 29 日授权),仅适用于中、短程 100m-15km 在线温度监测,不能完全满足近年来石油管道、传输电力电缆的安全健康监测,对远程、超远程自校正分布式光纤拉曼温度传感器的迫切需求。

发明内容

[0005] 本发明的目的是针对现有技术的不足,提供一种融合拉曼放大效应的光纤拉曼频移器的全分布光纤传感器。

[0006] 本发明的目的是通过以下技术方案来实现的,一种融合拉曼放大效应的光纤拉曼频移器的全分布光纤传感器,其特征是包括光纤脉冲激光器,光纤分路器,由单模光纤和 1660nm 滤光器组成的光纤拉曼频移器,延时光纤,光纤合波器,光纤波分复用器,传感光纤,光纤窄带反射滤光器,光电接收模块,数字信号处理器和工控机。光纤脉冲激光器发出激光脉冲通过光纤分路器分成两束,其中一束 1550nm 波段的激光进入光纤拉曼频移器,经频移 13.2THz 到 1660nm 波段作为宽光谱探测光源,经光纤合波器的输出端口进入光纤波分复用器,另一束 1550nm 波段的激光作为泵浦光源,经延时光纤,通过光纤合波器的输出端口进入光纤波分复用器,光纤波分复用器具有四个端口,它的输入端口通过光纤合波器 15 与光纤拉曼频移器输出的探测光源和另一束 1550nm 泵浦光源相连,COM 输出端口与传感光纤相连,在传感光纤中产生拉曼放大的 1660nm 波段宽光谱反向瑞利散射光经光纤波分复用器的一个输出端口与光电接收模块的一个输入端口相连,经光电转换放大后输入数字信号处理器的一个端口;在传感光纤中产生拉曼放大的 1550nm 波段宽光谱反向反斯托克斯拉曼散射光经光纤波分复用器的另一个输出端口经与光纤窄带反射滤光器相连,扣除激光的 1550nm 瑞利散射光后与光电接收模块的另一个输入端口相连,经光电转换放大后输入数字信号处理器的另一个端口,数字信号处理器与工控机相连。经数字信号处理器与工控机解调后得到传感光纤各点的温度和应变信息。

[0007] 本发明中,所说的脉冲激光器的中心波长为 1550nm,光谱宽度为 0.2nm,激光脉冲

宽度为 10-30ns 可调,峰值功率为 1-100W 可调,重复频率为 500Hz-1.5KHz 可调。

[0008] 本发明中,所说的光纤拉曼频移器中 1660nm 滤光器的中心波长为 1660nm,光谱带宽 28nm,透过率 98%,对 1550nm 激光的隔离度 >45dB。

[0009] 本发明中,所说的光纤分路器的分支比为 80/20,光纤合波器(15)的分支比为 60/40。

[0010] 本发明中,所说的延时光纤长度 L 为 1.020km >L>1km G652 通信单模光纤。

[0011] 本发明中,所说的光纤窄带反射滤光片的中心波长为中心波长为 1550nm,光谱宽度为 0.5nm,反射率 99%,对 1550nm 激光的隔离度 >45dB。

[0012] 本发明中,所说的传感光纤是长度为 60km 的 G652 通信单模光纤或 LEAF 光纤。传感光纤既是传输介质又是传感介质,铺设在测温现场不带电,抗电磁干扰,耐辐射,耐腐蚀。

[0013] 本发明中,所说的光纤窄带反射滤光片的中心波长为中心波长为 1550nm,光谱宽度为 0.5nm,反射率 99%,对 1550nm 激光的隔离度 >45dB。

[0014] 工作时,光纤脉冲激光器发出激光脉冲通过光纤分路器分成两束,其中一束 1550nm 波段的激光进入光纤拉曼频移器,经频移 13.2THz 到 1660nm 波段作为宽光谱探测光源,经光纤合波器的输出端口进入光纤波分复用器,另一束 1550nm 波段的激光作为泵浦光源,经延时光纤,通过光纤合波器的输出端口进入光纤波分复用器,光纤波分复用器的 COM 输出端口与传感光纤相连,在传感光纤中产生拉曼放大的 1660nm 波段宽光谱反向瑞利散射光经光纤波分复用器的一个输出端口与光电接收模块的一个输入端口相连,经光电转换放大后输入数字信号处理器的一个端口;在传感光纤中产生拉曼放大的 1550nm 波段宽光谱反向反斯托克斯拉曼散射光经光纤波分复用器的另一个输出端口与光纤窄带反射滤光器相连,扣除 1550nm 激光瑞利散射光后,与光电接收模块的另一个输入端口相连,经光电转换放大后输入数字信号处理器的另一个端口,数字信号处理器与工控机相连。经数字信号处理器与工控机解调后得到传感光纤各点的温度和应变信息。测温精度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$,在 0°C - 300°C 范围内进行在线温度监测,由工控机通过通讯接口、通讯协议进行远程网络传输。

[0015] 融合拉曼放大效应的光纤拉曼频移器的工作原理:

[0016] 光纤拉曼频移器有单模光纤和宽带 1660nm 滤光器组成。当一束 1550nm 脉冲激光入射到单模光纤,激光与光纤分子的非线性相互作用,入射光子被一个光纤分子散射成另一个斯托克斯光子或反斯托克斯光子,相应的分子完成两个振动态之间的跃迁,放出一个声子称为斯托克斯拉曼散射光子,光纤分子的声子频率为 13.2THz,在传感光纤里产生了频移 13.2THz 的 1660nm 斯托克斯拉曼光,当入射的 1550nm 激光功率达到一定阈值后,大部分入射光转化为斯托克斯拉曼光,当由入射激光源分出的另一束 1550nm 激光与 1660nm 斯托克斯拉曼光入射到同一根传感光纤时,两束光在传感光纤相遇处产生非线性相互作用,在入射功率达到一定值后,产生放大的斯托克斯拉曼散射光,获得了融合拉曼放大效应的宽光谱带 1660nm 波段激光,作为全分布光纤传感器的光源,增益约 17dB,相当于延长传感长度 40km。

[0017] 全分布式光纤传感器测量形变的原理:

[0018] 光纤脉冲激光器发出激光脉冲通过集成型光纤波分复用器射入传感光纤,激光与光纤分子的相互作用,产生与入射光子同频率的瑞利散射光,瑞利散射光在光纤中传输存

在损耗,随着光纤长度而指数式衰减,光纤的反向瑞利散射光的光强用下式表示:

$$[0019] \quad I_{\text{Ray}} = I_0 \cdot \nu_0^4 \exp(-2\alpha_0 L) \quad ; \quad (1)$$

[0020] 上式中 I_0 为入射到光纤处的光强, L 为光纤长度, I 为反向瑞利散射光在光纤长度 L 处的光强, α_0 为入射光波长处的光纤传输损耗。

[0021] 由于将传感光纤铺设在检测现场,当现场环境产生形变或裂纹时,造成铺设在现场的光纤发生弯曲,光纤产生局部损耗,形成光纤的附加损耗 $\Delta\alpha$, 则总损耗 $\alpha = \alpha_0 + \Delta\alpha$, 局域处的光强有一个跌落,光强由 $I(l)$ 减少为 $I'(l)$, 形变造成的附加损耗通过光强的改变进行测量。

$$[0022] \quad \Delta\alpha = \frac{1}{2l} \log \frac{I(l)}{I'(l)} \quad ; \quad (2)$$

[0023] 形变或裂纹大小与光纤损耗的关系采用仿真模型计算并在实验室进行模拟试验测量获得。

[0024] 全分布式光纤传感器测量温度的原理:

[0025] 当入射激光与光纤分子产生非线性相互作用散射, 放出一个声子称为斯托克斯拉曼散射光子, 吸收一个声子称为反斯托克斯拉曼散射光子, 光纤分子的声子频率为 13.2THz。光纤分子能级上的粒子数热分布服从波尔兹曼 (Boltzmann) 定律, 在光纤里反斯托克斯背向拉曼散射光强为:

$$[0026] \quad I_s = I_0 \cdot \nu_s^4 R_s(T) \exp[-(\alpha_0 + \alpha_s) \cdot L] \quad ; \quad (3)$$

[0027] 它受到光纤温度的调制, 温度调制函数 R_s :

$$[0028] \quad R_s(T) = [\exp(h\Delta\nu / kT) - 1]^{-1} \quad ; \quad (4)$$

[0029] h 是波朗克 (Planck) 常数, $\Delta\nu$ 是一光纤分子的声子频率, 为 13.2THz, k 是波尔兹曼常数, T 是凯尔文 (Kelvin) 绝对温度。

[0030] 在本发明中采用光纤瑞利通道做参考信号, 用反斯托克斯拉曼散射光和瑞散射光利光强度的比值来检测温度:

$$[0031] \quad \frac{I_s(T)}{I_R(T)} = \left(\frac{\nu_s}{\nu_0}\right)^4 \cdot \exp[(h\Delta\nu / kT) - 1]^{-1} \cdot \exp[-(\alpha_s - \alpha_0) \cdot L] \quad ; \quad (5)$$

[0032] 由光纤拉曼光时域反射 (OTDR) 曲线在光纤检测点的反斯托克斯拉曼散射光和瑞散射光利光强度比, 扣除应变的影响得到光纤各段的温度信息。

[0033] 本发明的有益效果是, 本发明成本低、信噪比好, 稳定性和可靠性好; 适用于远程 60 公里范围内石化管道、隧道、大型土木工程监测和灾害预报监测。

附图说明

[0034] 图 1 是融合拉曼放大效应的光纤拉曼频移器的全分布光纤传感器的示意图;

[0035] 图中, 光纤脉冲激光器 10、光纤分路器 11、单模光纤 12、1660nm 滤光器 13、延时光纤 14、光纤合波器 15、光纤波分复用器 16、传感光纤 17、光纤窄带反射滤光器 18、光电接收

模块 19、数字信号处理器 20、工控机 21。

具体实施方式

[0036] 下面结合附图对本发明作进一步地描述。

[0037] 参照图 1, 本发明融合拉曼放大效应的光纤拉曼频移器的全分布光纤传感器包括: 光纤脉冲激光器 10、光纤分路器 11、单模光纤 12、1660nm 滤光器 13、延时光纤 14、光纤合波器 15、光纤波分复用器 16、传感光纤 17、光纤窄带反射滤光器 18、光电接收模块 19、数字信号处理器 20 和工控机 21。其中, 单模光纤 12 和 1660nm 滤光器 13 组成的光纤拉曼频移器, 光纤脉冲激光器 10 发出激光脉冲通过光纤分路器 11 分成两束, 其中一束 1550nm 波段的激光进入光纤拉曼频移器, 经频移 13. 2THz 到 1660nm 波段作为宽光谱探测光源, 经光纤合波器 15 的输出端口进入光纤波分复用器 16, 另一束 1550nm 波段的激光作为泵浦光源, 经延时光纤 14, 通过光纤合波器 15 的输出端口进入光纤波分复用器 16, 光纤波分复用器 16 具有四个端口, 它的输入端口通过光纤合波器 15 与光纤拉曼频移器输出的宽光谱探测光源和另一束 1550nm 泵浦光源相连, COM 输出端口与传感光纤 17 相连, 在传感光纤 17 中产生拉曼放大的 1660nm 波段宽光谱反向瑞利散射光经光纤波分复用器 16 的一个输出端口与光电接收模块 19 的一个输入端口相连, 经光电转换放大后输入数字信号处理器 20 的一个端口; 在传感光纤 17 中产生拉曼放大的 1550nm 波段宽光谱反向反斯托克斯拉曼散射光经光纤波分复用器 16 的另一个输出端口与光纤窄带反射滤光器 18 相连, 扣除 1550nm 激光瑞利散射光后与光电接收模块 19 的另一个输入端口相连, 经光电转换放大后输入数字信号处理器 20 的另一个端口, 数字信号处理器 20 与工控机 21 相连。

[0038] 上述的脉冲激光器的中心波长为 1550nm, 光谱宽度为 0. 1nm, 激光脉冲宽度为 10-30ns 可调, 峰值功率为 1-100W 可调, 重复频率为 500Hz-1. 5KHz 可调。

[0039] 上述的光纤拉曼频移器中 1660nm 滤光器的中心波长为 1660nm, 光谱带宽 28nm, 透过率 98%, 对 1550nm 激光的隔离度 >45dB。

[0040] 上述的光纤分路器的分支比为 80/20, 光纤合波器的分支比为 60/40。

[0041] 上述的延时光纤长度 L 为 1. 020km >L>1km G652 通信单模光纤。

[0042] 传感光纤是长度为 60km 的 G652 通信单模光纤或 LEAF 光纤。传感光纤既是传输介质又是传感介质, 铺设在测温现场不带电, 抗电磁干扰, 耐辐射, 耐腐蚀。

[0043] 上述的光纤窄带反射滤光片的中心波长为 1550nm, 光谱宽度为 0. 5nm, 反射率 99%, 对 1550nm 激光的隔离度 >45dB。

[0044] 上述的数字信号处理器可采用杭州欧忆光电科技有限公司的双通道 100MHz 带宽, 250MS/s 采集率的 HZOE-SP01 型信号处理卡。

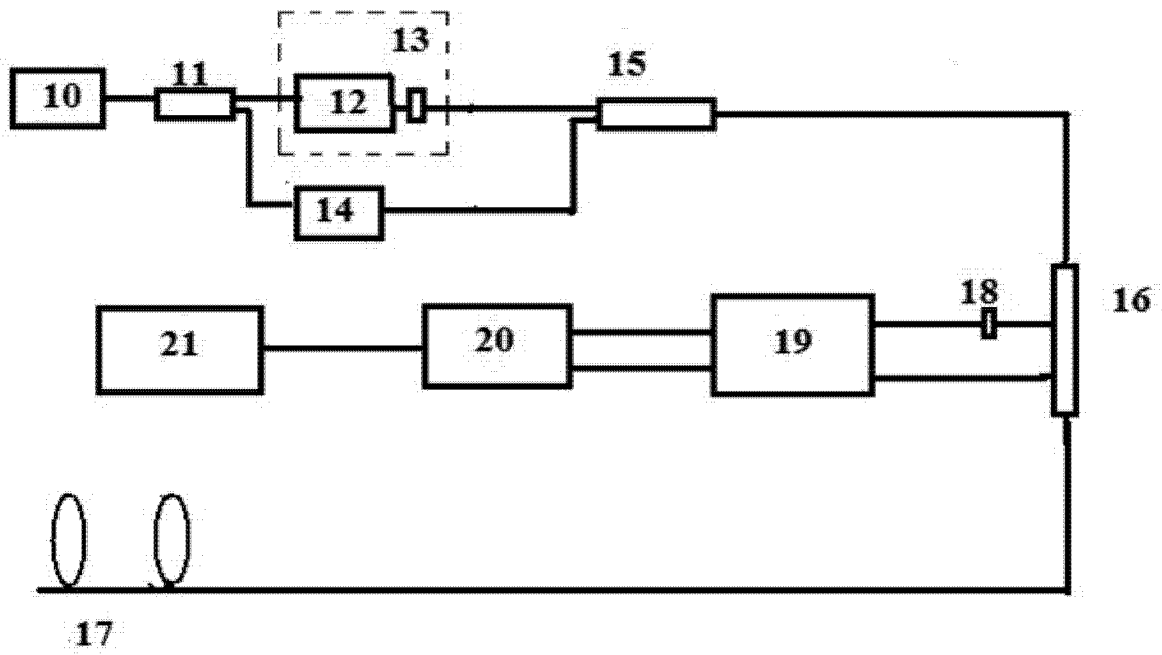


图 1