



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104782063 A

(43) 申请公布日 2015. 07. 15

(21) 申请号 201380053894. 4

G · W · T · 霍夫特 M · J · H · 马雷尔

(22) 申请日 2013. 09. 16

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

(30) 优先权数据

代理人 刘瑜 王英

12188515. 6 2012. 10. 15 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

(51) Int. Cl.

2015. 04. 15

H04B 10/071(2006. 01)

G01M 11/00(2006. 01)

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2013/069083 2013. 09. 16

(87) PCT国际申请的公布数据

W02014/060158 EN 2014. 04. 24

(71) 申请人 皇家飞利浦有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

(72) 发明人 J · J · L · 霍里克斯

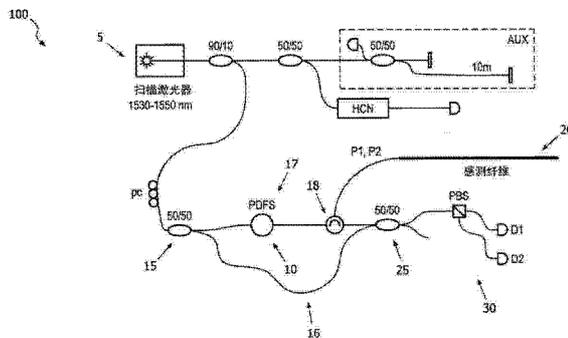
权利要求书3页 说明书13页 附图8页

(54) 发明名称

光学频域反射计 (OFDR) 系统

(57) 摘要

提出了一种光学频域反射计 (OFDR) 系统 (100), 所述光学频域反射计系统包括第一耦合点 (15), 所述第一耦合点被布置为将辐射分裂为两部分, 使得辐射可以被发射到参考路径 (16) 以及测量路径 (17) 中。所述系统还包括光学探测单元 (30), 所述光学探测单元能够经由所述第二耦合点 (25) 获得来自从所述参考路径和所述测量路径组合的光学辐射的信号。所述测量路径 (17) 包括依赖偏振的光学路径长度移位器 (PDOPS、PDFS、10), 所述依赖偏振的光学路径长度移位器可以创建针对在所述测量路径中的所述辐射的第一偏振 (P1) 和第二偏振 (P2), 其中, 对于所述测量路径中的所述第一偏振 (P1) 和所述第二偏振 (P2) 而言, 所述光学路径长度不同。这对于获得改进的光学频率反射计 (OFDR) 系统而言可以是有利的, 在所述光学频率反射计系统中, 例如, 可以在辐射源的不同扫描中执行针对输入偏振的两个测量。



1. 一种光学频域反射计 (OFDR) 系统 (100), 所述系统包括:
  - 光学辐射源 (5), 其能够发射在特定波长带内的光学辐射, 所述辐射源光学连接到第一耦合点 (15), 所述第一耦合点被布置为将所述辐射分裂为两部分,
  - 参考路径 (16), 所述参考路径光学连接到所述第一耦合点,
  - 测量路径 (17), 所述测量路径光学连接到所述第一耦合点, 所述测量路径还包括光学环行器 (18), 所述环行器光学连接到测量分支 (20), 所述测量分支被布置为基于反射的辐射进行测量,
    - 其中, 所述参考路径与所述测量路径光学耦合在第二耦合点 (25) 中,
    - 光学探测单元 (30), 其能够经由所述第二耦合点获得来自从所述参考路径和所述测量路径组合的光学辐射的信号,
      - 其中, 所述测量路径 (17) 包括依赖偏振的光学路径长度移位器 (PDOPS、PDFS、10), 所述移位器具有引起或创建针对在所述测量路径中的所述辐射的第一偏振 (P1) 和第二偏振 (P2) 的功能, 所述第一偏振 (P1) 不同于所述第二偏振 (P2), 并且其特征在于,
        - 所述移位器还具有使得针对在所述测量路径中的所述第一偏振 (P1) 的所述光学路径长度相对于针对在所述测量路径中的所述第二偏振 (P2) 的所述光学路径长度不同的功能, 所述测量分支 (20) 包括光纤, 所述光纤被布置为提供沿所述光纤的感测长度 ( $l_s$ ) 的针对 OFDR 的反射, 并且其中, 所述依赖偏振的光学路径长度移位器 (PDOPS) 还被布置使得在反射谱中的所述第一偏振 (P1) 与所述第二偏振 (P2) 之间的光学路径长度差 ( $\Delta_{PDOS}$ ) 被选择为避免在所述反射谱中的所述第一偏振 (P1) 与所述第二偏振 (P2) 之间的交叠。
2. 根据权利要求 1 所述的光学频域反射计 (OFDR) 系统, 其中, 所述光学探测单元 (30) 能够在频域中执行 OFDR 并且提供反射谱, 所述依赖偏振的光学路径长度移位器 (PDOPS) 被布置使得在所述反射谱中的所述第一偏振 (P1) 与所述第二偏振 (P2) 之间的所述光学路径长度差 ( $\Delta_{PDOS}$ ) 大于纤维的所述感测长度 ( $l_s$ )。
3. 根据权利要求 1 所述的光学频域反射计 (OFDR) 系统, 其中, 当通过内积评估时, 所述第一偏振 (P1) 与所述第二偏振 (P2) 基本上正交。
4. 根据权利要求 1 所述的光学频域反射计 (OFDR) 系统, 其中, 在所述波长带内的所述扫描被执行使得在所述波长带的一个单个扫描期间所述第一偏振 (P1) 和所述第二偏振 (P2) 被创建或引起, 并且在所述光学探测单元 (30) 中被测量。
5. 根据权利要求 1 所述的光学频域反射计 (OFDR) 系统, 其中, 所述依赖偏振的光学路径长度移位器 (PDOPS) 被定位为使得所述参考路径中的偏振不受干扰。
6. 根据权利要求 1 所述的光学频域反射计 (OFDR) 系统, 其中, 所述依赖偏振的光学路径长度移位器 (PDOPS) 定义第一光学子路径和第二光学子路径, 通过射束分裂器以及射束组合器定义所述第一光学子路径和所述第二光学子路径, 所述射束分裂器当所述辐射进入所述移位器时将所述辐射分开到所述第一光学子路径和所述第二光学子路径中, 所述射束组合器被布置为组合来自所述第一光学子路径和所述第二光学子路径的辐射。
7. 根据权利要求 6 所述的光学频域反射计 (OFDR) 系统, 其中, 所述移位器包括在所述第一光学子路径和 / 或所述第二光学子路径中的一个或多个偏振控制器 (PC)。
8. 根据权利要求 6 或 7 所述的光学频域反射计 (OFDR) 系统, 其中, 所述移位器包括光

学连接到法拉第镜的环行器,以创建或引起不同于所述第二偏振(P2)的第一偏振(P1)。

9. 根据权利要求6、7或8所述的光学频域反射计(OFDR)系统,其中,所述移位器包括在所述射束分裂器中和/或在所述射束组合器中的偏振射束分裂器(PBS)。

10. 根据权利要求6、7、8或9所述的光学频域反射计(OFDR)系统,其中,所述移位器包括在所述第一光学子路径中和/或在所述第二光学子路径中的偏振保持(PM)纤维。

11. 根据权利要求6所述的光学频域反射计(OFDR)系统,其中,所述第一耦合点与所述依赖偏振的光学路径长度移位器(PDOPS)的所述射束分裂器光学集成。

12. 一种依赖偏振的光学路径长度移位器(PDOPS、PDFS、10),所述移位器具有引起或创建针对测量路径中的辐射的第一偏振(P1)和第二偏振(P2)的功能,所述第一偏振(P1)不同于所述第二偏振(P2),并且

所述移位器还具有使得针对在测量路径中的所述第一偏振(P1)的光学路径长度相对于针对在所述测量路径中的所述第二偏振(P2)的光学路径长度不同的功能,

其中,所述依赖偏振的光学路径长度移位器适于与相关联的光学频域反射计(OFDR)系统100协同操作,所述系统包括:

光学辐射源(5),其能够发射在特定波长带内的光学辐射,所述辐射源光学连接到第一耦合点(15),所述第一耦合点被布置为将所述辐射分裂为两部分,

参考路径(16),其光学连接到所述第一耦合点,以及

测量路径(17),其光学连接到所述第一耦合点,所述测量路径还包括光学环行器(18),所述环行器光学连接到测量分支(20),所述测量分支被布置为基于反射的辐射进行测量,

其中,所述参考路径与所述测量路径光学耦合在第二耦合点(25)中,

光学探测单元(30),其能够经由所述第二耦合点获得来自从所述参考路径和所述测量路径组合的光学辐射的信号,

其特征在于,

- 所述移位器还具有使得针对在所述测量路径中的所述第一偏振(P1)的所述光学路径长度相对于针对在所述测量路径中的所述第二偏振(P2)的所述光学路径长度不同的功能,所述测量分支(20)包括光纤,所述光纤被布置为提供沿所述光纤的感测长度( $l_s$ )的针对OFDR的反射,并且其中,所述依赖偏振的光学路径长度移位器(PDOPS)还被布置使得在反射谱中的所述第一偏振(P1)与所述第二偏振(P2)之间的光学路径长度差( $\Delta_{PDOS}$ )被选择为避免在所述反射谱中的所述第一偏振(P1)与所述第二偏振(P2)之间的交叠。

13. 一种用于获得光学频域反射计(OFDR)数据的方法(900),所述方法包括:

- 提供(S1)光学辐射源(5)并且发射(S2)在特定波长带内的光学辐射,所述辐射源光学连接到第一耦合点(15),所述第一耦合点被布置为将所述辐射分裂为两部分,

- 提供(S3)参考路径(16),所述参考路径光学连接到所述第一耦合点,

- 提供(S4)测量路径(17),所述测量路径光学连接到所述第一耦合点,所述测量路径还包括光学环行器(18),所述环行器光学连接到测量分支(20),所述测量分支被布置为基于反射的辐射进行测量,

- 其中,所述参考路径与所述测量路径光学耦合在第二耦合点(25)中,

- 提供(S5)光学探测单元(30)并且经由所述第二耦合点获得(S6)来自从所述参考路

径和所述测量路径组合的光学辐射的信号，

- 其中，所述测量路径 (17) 包括依赖偏振的光学路径长度移位器 (PDOPS、PDFS、10)，所述移位器具有引起或创建针对在所述测量路径中的所述辐射的第一偏振 (P1) 和第二偏振 (P2) 的功能，所述第一偏振 (P1) 不同于所述第二偏振 (P2)，并且所述移位器还具有使得针对在所述测量路径中的所述第一偏振 (P1) 的所述光学路径长度相对于针对在所述测量路径中的所述第二偏振 (P2) 的所述光学路径长度不同的功能，

其特征在于，

- 所述移位器还具有使得针对在所述测量路径中的所述第一偏振 (P1) 的所述光学路径长度相对于针对在所述测量路径中的所述第二偏振 (P2) 的所述光学路径长度不同的功能，所述测量分支 (20) 包括光纤，所述光纤被布置为提供沿所述光纤的感测长度 ( $l_s$ ) 的针对 OFDR 的反射，并且其中，所述依赖偏振的光学路径长度移位器 (PDOPS) 还被布置使得在反射谱中的所述第一偏振 (P1) 与所述第二偏振 (P2) 之间的光学路径长度差 ( $\Delta_{PDOS}$ ) 被选择为避免在所述反射谱中的所述第一偏振 (P1) 与所述第二偏振 (P2) 之间的交叠。

## 光学频域反射计 (OFDR) 系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及用于光学分析的系统,更具体而言,本发明涉及一种光学频域反射计 (OFDR) 系统,以及用于获得光学频域反射计数据的方法。

### 背景技术

[0002] 在光学频域反射计 (OFDR) 中,来自可调谐激光源的光耦合到测量纤维中,或者更具体而言,耦合到被测设备 (DUT) 中,并且使反射或背散射的光与来自相同的源的已经沿参考路径行进的产生与纤维或 DUT 有关的信息的光进行干涉。

[0003] 对于在纤维上的测量而言,在激光源的频率在时间上被线性扫掠的情况下,在来自测量纤维上的单个固定的散射点的光与参考光之间的干涉创建出具有恒定频率的探测器信号,这一频率与光沿测量路径的行进时间与沿参考路径的行进时间的差成比例。由于光的传播速度以及参考路径的长度是已知的,所以能够从观测的频率计算出散射点的位置。

[0004] 当多个散射体存在于测量纤维中时,探测器信号是不同频率的交叠,每个频率指示各散射体的位置。能够计算探测器信号 (“散射轮廓”) 的傅里叶变换;在经变换的信号的幅度以及相位的曲线图中,存在于探测器信号中的不同频率的幅度以及相位 (其对应于不同散射体位置) 将沿曲线图的横轴被示出在它们各自的位置处。

[0005] 散射的光的幅度以及相位能够受作用于纤维上的外部影响的影响。例如,当外部压力使纤维变形时,或者当纤维的温度被修改时,将看到在散射轮廓的相位和 / 或幅度上的影响。根据纤维的散射轮廓与相同的纤维在参考状态中的散射轮廓的比较,能够获得与纤维上的作为沿纤维的位置的函数的外部影响有关的信息,即,纤维能够用于分布式感测。

[0006] 当压力施加于光纤时,例如当光纤弯曲时,引起双折射,所述双折射通常将导致沿纤维行进的光的偏振状态的变化。在到达探测器后在纤维的不同位置处散射的光的偏振状态也将变化。因此,从感测纤维的特定部分反射的光在探测器处可以具有偏振状态,所述偏振状态 (接近) 正交于经由参考路径到达探测器的光的偏振状态。从而,来自感测纤维的这些特定部分的干涉信号的强度将非常低。针对 “偏振衰落” 的这一问题的已知解决方案是偏振分集探测,通常在具有针对由偏振射束分裂器 (PBS) 发射的两个偏振状态的独立探测器的 PBS 的实施例中。

[0007] 在双折射纤维中,折射率取决于光的偏振状态。从而,在修改被传送到测量纤维中的光的输入偏振状态之后,在偏振分集测量中的探测器信号的傅里叶变换的相位将变化。为了准确评定外部影响在纤维属性上的效应,需要执行两个测量;对于第二测量而言,使被传送到纤维的光的输入偏振状态正交于用在第一测量中的偏振状态。以这一方式,获得四个探测器信号 (针对两个输入偏振状态中的每个有两个探测器信号)。可以从这四个信号的傅里叶变换计算出单个有效散射轮廓,当相比于参考状态的有效散射轮廓时,所述单个有效散射轮廓提供与在纤维上的作为位置的函数的外部影响有关的期望信号。例如查看专利申请 US2011/0109898A1。然而在特定情形下,在第一测量与第二测量之间的中间测量

时间的长度可能不利地影响结果的可靠性。类似地,对两个测量、而不是单个测量的依赖性也能够降低能够可靠地重复测量过程的有效率,例如,如果一个测量(即,扫描)被损坏,由于例如错误探测器信号,波长校准和/或线性化能够是不准确的或不可用的,那么必须重复整个测量过程。

[0008] WO 2007/149230 公开了一种具有被分析的两个偏振状态的偏振保持(PM)光纤。确定了PM纤维部分的第一谱响应和第二谱响应。在优选实施方式中,使用光学频域反射计(OFDR)确定谱响应。PM纤维部分的每个偏振状态具有在第一谱响应中的对应谱分量。使用第一谱响应和第二谱响应执行对PM纤维部分的第一谱分析和第二谱分析。基于对PM纤维部分的这些谱分析,与影响纤维部分的第二不同物理特性有区别的影响PM纤维部分的第一物理特性被确定。与影响纤维部分的第一物理特性有关的输出信号被提供,例如用于显示、进一步处理等。

[0009] 本发明的发明人已意识到,改进的光学频域反射计(OFDR)系统是有益的,并且因此创造出本发明。

## 发明内容

[0010] 实现改进的光学频域反射计(OFDR)系统将是有益的。还期望能够实现工作更加快速和/或更加准确的OFDR系统。总体而言,本发明优选地寻求单独地或以任何组合形式缓解、减轻或消除上述缺点中的一个或多个。具体而言,可以将提供一种解决现有技术的上述问题或其他问题的系统和方法看作本发明的目的。

[0011] 为了更好地解决这些问题中的一个或多个,在本发明的第一方面中,提供了一种光学频域反射计(OFDR)系统,所述系统包括:

[0012] - 光学辐射源,其能够发射在特定波长带内的光学辐射,所述辐射源光学连接到第一耦合点,所述第一耦合点被布置为将所述辐射分裂为两部分,

[0013] - 参考路径,所述参考路径光学连接到所述第一耦合点,

[0014] - 测量路径,所述测量路径光学连接到所述第一耦合点,所述测量路径还包括光学环行器,所述环行器光学连接到测量分支,所述测量分支被布置为基于反射的辐射进行测量,

[0015] - 其中,所述参考路径与所述测量路径光学耦合在第二耦合点中,

[0016] - 光学探测单元,其能够经由所述第二耦合点获得来自从所述参考路径和所述测量路径组合的光学辐射的信号,

[0017] - 其中,所述测量路径包括依赖偏振的光学路径长度移位器(PDOPS),所述移位器具有引起或创建针对在所述测量路径中的所述辐射的第一偏振(P1)和第二偏振(P2)的功能,所述第一偏振(P1)不同于所述第二偏振(P2),并且

[0018] 其特征在于,

[0019] - 所述移位器还具有使得针对在所述测量路径中的所述第一偏振(P1)的所述光学路径长度相对于针对在所述测量路径中的所述第二偏振(P2)的所述光学路径长度不同的功能,所述测量分支包括光纤,所述光纤被布置为提供沿所述光纤的感测长度( $l_s$ )的针对OFDR的反射,并且其中,所述依赖偏振的光学路径长度移位器(PDOPS)还被布置使得在反射谱中的所述第一偏振(P1)与所述第二偏振(P2)之间的光学路径长度差( $\Delta_{PDOS}$ )被选

择从而避免在所述反射谱中的所述第一偏振 (P1) 与所述第二偏振 (P2) 之间的交叠。

[0020] 本发明尤其,但不唯一地对于获得改进的光学频率反射计 (OFDR) 系统而言是有利的,在所述光学频率反射计系统中,例如,可以在辐射源的相同扫描,例如激光扫描中执行针对输入偏振的两个测量。为了使这成为可能,合适的部件被增加到干涉仪的测量分支,在所述分裂器与所述环行器之间,使得 (1) 创建或引起两个偏振状态,并且 (2) 针对这两个偏振状态在所述测量路径中的所述光学路径长度不同,其中,所述分裂器将所述辐射分配在所述参考路径或臂和所述测量路径或臂上,所述测量分支(例如,所述感测纤维)附接于所述环行器。

[0021] 值得一提的是直到现在 OFDR 系统具有若干不足:

[0022] - 第一,测量针对两个正交输入状态的纤维属性需要两个独立测量。因为这些测量在时间中被分开,在纤维的环境中的变化(例如,由于有意的纤维移动、无意的振动、温度变化等)将导致两个测量之间的额外的差。在分析中,假定所述差仅仅由输入偏振的变化引起,从而导致从所述两个分开的测量的信号计算的单个有效散射轮廓中的错误。

[0023] - 第二,另一个不足与在测量值中的一些被损坏的情况下的有效更新率有关。通过针对每个激光扫描在两个正交输入状态之间交替,能够从每个新的激光扫描及先前扫描计算出经更新的单个有效散射轮廓。然而,当单个测量值被任何影响(例如,激光跳模、强振动等)损坏时,必须丢弃两个经更新的有效散射轮廓,从而降低了有效更新率。

[0024] - 第三,相比于现有技术解决方案,本发明的额外优点是在两个输入偏振之间不能够出现校准中的差,从而移除可能的不准确的来源。

[0025] 因为相比于进行 OFDR 测量的先前方式,能够在相对短的时间期间测量在所述测量路径中,尤其是在所述测量分支中的所述第一偏振 (P1) 以及所述第二偏振 (P2) 的效应,所以本发明可以减轻或克服这些不足。

[0026] 在本申请的上下文中,应理解,所述辐射源的所述波长带的扫描可以被认为包括但不限于波长的在适当区间中的基本上连续的变化。在实践状况下,还应理解,扫描还可以被认为是以固定顺序,通常从区间的一端到另一端优选均匀分布、被测量的相当大数量的波长。

[0027] 在本申请的上下文中,应理解,第一偏振与第二偏振的从依赖偏振的光学路径长度移位器 (PDOPS) 得到的偏振差在一些情况中可以例如由偏振控制器 (pc) 引起,并且在其他情况中可以例如由偏振射束分裂器 (PBS) 创建,如将由光学领域的技术人员理解的。

[0028] 在本申请的上下文中,应理解,光学环行器是非可逆光学部件,其中,从第一端口进入的辐射或光从第二端口离开,并且然后,在经由第二端口重新进入光学环行器后,辐射从第三端口离开环行器,从而实现进入所述第一端口的辐射与离开所述第三端口的辐射之间的隔离。光学领域的技术人员将意识到,各种合适的光学环行器可以应用于本发明的上下文中。

[0029] 在本申请的上下文中,应理解,光学路径长度 (OPL) 可以被认为辐射或光通过其传播的介质的几何长度与折射率的乘积。光学路径长度是重要的,因为当其传播时其确定光的相位并且操纵光的干涉和衍射。

[0030] 在本申请的上下文中,应理解,取决于环境及对本发明的应用,偏振,例如第一偏振和第二偏振可以是线性、圆形或椭圆形偏振。

[0031] 因此预想本发明可以方便广谱的使用。

[0032] 本发明可应用于其中使用偏振分集光学频域反射计的方法的分布式感测能够被使用的全部领域中。能够利用这一技术测量的属性例如是应变和温度。尤其感兴趣的领域能够是出于形状感测的目的,尤其是出于医学应用目的的对螺旋多芯纤维的芯中的应变的同时测量。

[0033] OFDR 系统的测量分支也可以应用于其中需要这样的探测及分析的其他光学领域,例如远程通信。

[0034] 在特定实施例中,可以有多于一个光纤,例如 2、3、4、5、6、7、8、9 或更多个光纤。在特定实施例中,可以集中地放置一个或多个光纤。在特定实施例中,可以外围地放置,例如螺旋地布置一个或多个光纤。在另一个特定实施例中,可以具有一个中心光纤以及一个或多个、例如三个周围光纤,例如,所述一个或多个周围光纤被螺旋地布置。在一些实施例中,一个光纤可以具有被布置用于例如形状感测的多个光学芯。

[0035] 本发明的一个可能优点是可以容易地辨别对应于第一偏振和第二偏振的得到的光学数据,因为在所述第一偏振 (P1) 与所述第二偏振 (P2) 之间没有交叠。

[0036] 根据另一个实施例,提供了光学频域反射计 (OFDR) 系统,其中,所述光学探测单元能够在频域中执行 OFDR 并且提供反射谱,所述依赖偏振的光学路径长度移位器 (PDOPS) 被布置使得在所述反射谱中的所述第一偏振 (P1) 与所述第二偏振 (P2) 之间的所述光学路径长度差 ( $\Delta_{PDOS}$ ) 大于纤维的所述感测长度 ( $l_s$ )。在特定实施例中,在所述反射谱中的所述第一偏振 (P1) 与所述第二偏振 (P2) 之间的所述光学路径长度差 ( $\Delta_{PDOS}$ ) 至少 1%,例如 5%,例如 10,例如 50%,例如 100%,例如 200%地大于纤维的所述感测长度 ( $l_s$ )。令在所述反射谱中的所述第一偏振 (P1) 与所述第二偏振 (P2) 之间的所述光学路径长度差 ( $\Delta_{PDOS}$ ) 大于纤维的所述感测长度 ( $l_s$ ) 的可能优点是这对应于足以避免交叠的路径长度差。

[0037] 根据另一个实施例,提供了光学频域反射计 (OFDR) 系统,其中,当通过内积评估时,所述第一偏振 (P1) 与所述第二偏振 (P2) 基本上正交。在一些实施例中,所述第一偏振 (P1) 与所述第二偏振 (P2) 的内积的绝对值基本上为零,例如接近于零,例如零。针对非零值,可以定义特定阈值,在所述阈值之上所述系统不能适当地工作。优选地,使所述第一偏振 (P1) 与所述第二偏振 (P2) 的点积归一化。

[0038] 根据另一个实施例,提供了光学频域反射计 (OFDR) 系统,其中,执行在所述波长带内的所述扫描,使得在所述波长带的一个单个扫描期间所述第一偏振 (P1) 和所述第二偏振 (P2) 被创建或引起,并且在所述探测单元中被测量。这是尤其有利的,因为相对于现有技术解决方案节省了时间并且改进了可靠性和 / 或准确性。

[0039] 根据另一个实施例,提供了光学频域反射计 (OFDR) 系统,其中,对所述依赖偏振的光学路径长度移位器 (PDOPS) 进行定位,从而使得所述参考路径中的偏振不受干扰。

[0040] 根据另一个实施例,提供了光学频域反射计 (OFDR) 系统,其中,所述依赖偏振的光学路径长度移位器 (PDOPS) 定义第一光学子路径和第二光学子路径,通过射束分裂器以及射束组合器定义所述第一光学子路径和所述第二光学子路径,当辐射进入所述移位器时所述射束分裂器将辐射分开到所述第一光学子路径和所述第二光学子路径中,并且所述射束组合器被布置为组合来自所述第一光学子路径和第二光学子路径的辐射。

[0041] 根据另一个实施例,提供了光学频域反射计 (OFDR) 系统,其中,所述移位器包括

在所述第一光学子路径和 / 或所述第二光学子路径中的一个或多个偏振控制器 (PC)。

[0042] 根据另一个实施例, 提供了光学频域反射计 (OFDR) 系统, 其中, 所述移位器包括光学连接到法拉第镜的环行器, 以创建或引起不同于所述第二偏振 (P2) 的第一偏振 (P1)。

[0043] 根据另一个实施例, 提供了光学频域反射计 (OFDR) 系统, 其中, 所述移位器包括在所述射束分裂器中和 / 或在所述射束组合器中的偏振射束分裂器 (PBS)。

[0044] 根据另一个实施例, 提供了光学频域反射计 (OFDR) 系统, 其中, 所述移位器包括在所述第一光学子路径中和 / 或在所述第二光学子路径中的偏振保持 (PM) 纤维。

[0045] 根据另一个实施例, 提供了光学频域反射计 (OFDR) 系统, 其中, 所述第一耦合点与所述依赖偏振的光学路径长度移位器 (PDOPS) 的所述射束分裂器光学集成, 例如, 具有一个或多个公共光学元件等, 这可以具有与节省成本有关的益处。

[0046] 根据本发明的第二方面, 提供了一种光学频域反射计 (OFDR) 系统, 所述系统包括依赖偏振的光学路径长度移位器 (PDOPS、PDFS), 所述移位器具有引起或创建针对测量路径中的辐射的第一偏振 (P1) 和第二偏振 (P2) 的功能, 所述第一偏振 (P1) 不同于所述第二偏振 (P2), 并且所述移位器还具有使得针对在所述测量路径中的所述第一偏振 (P1) 的所述光学路径长度相对于针对在所述测量路径中的所述第二偏振 (P2) 的所述光学路径长度不同的功能,

[0047] 其中, 所述依赖偏振的光学路径长度移位器适于与相关联的光学频域反射计 (OFDR) 系统协同操作, 所述系统包括:

[0048] 光学辐射源, 其能够发射在特定波长带内的光学辐射, 所述辐射源光学连接到第一耦合点, 所述第一耦合点被布置为将辐射分裂为两部分,

[0049] 参考路径, 其光学连接到所述第一耦合点,

[0050] 测量路径, 其光学连接到所述第一耦合点, 所述测量路径还包括光学环行器, 所述环行器光学连接到测量分支, 所述测量分支被布置为基于反射的辐射进行测量,

[0051] 其中, 所述参考路径与所述测量路径光学耦合在第二耦合点中,

[0052] 光学探测单元, 其能够经由所述第二耦合点获得来自从所述参考路径和所述测量路径组合的光学辐射的信号,

[0053] 其特征在于,

[0054] - 所述移位器还具有使得针对在所述测量路径中的所述第一偏振 (P1) 的所述光学路径长度相对于针对在所述测量路径中的所述第二偏振 (P2) 的所述光学路径长度不同的功能, 所述测量分支包括光纤, 所述光纤被布置为提供沿所述光纤的感测长度 ( $l_s$ ) 的针对 OFDR 的反射, 并且其中, 所述依赖偏振的光学路径长度移位器 (PDOPS) 还被布置使得在反射谱中的所述第一偏振 (P1) 与所述第二偏振 (P2) 之间的光学路径长度差 ( $\Delta_{PDOS}$ ) 被选择, 从而避免在所述反射谱中的所述第一偏振 (P1) 与所述第二偏振 (P2) 之间的交叠。

[0055] 根据本发明的第三方面, 提供了一种用于获得光学频域反射计 (OFDR) 数据的方法, 所述方法包括:

[0056] - 提供光学辐射源并且发射在特定波长带内的光学辐射, 所述辐射源光学连接到第一耦合点, 所述第一耦合点被布置为将所述辐射分裂为两部分,

[0057] - 提供参考路径, 所述参考路径光学连接到所述第一耦合点,

[0058] - 提供测量路径, 所述测量路径光学连接到所述第一耦合点, 所述测量路径还包括

光学环行器,所述环行器光学连接到测量分支,所述测量分支被布置为基于反射的辐射进行测量,

[0059] - 其中,所述参考路径与所述测量路径光学耦合在第二耦合点中,

[0060] - 提供光学探测单元并且经由所述第二耦合点获得来自从所述参考路径和所述测量路径组合的光学辐射的信号,

[0061] - 其中,所述测量路径包括依赖偏振的光学路径长度移位器,所述移位器具有引起或创建针对在所述测量路径中的所述辐射的第一偏振和第二偏振的功能,所述第一偏振不同于所述第二偏振,并且

[0062] 其特征在于,

[0063] - 所述移位器还具有使得针对在所述测量路径中的所述第一偏振 (P1) 的所述光学路径长度相对于针对在所述测量路径中的所述第二偏振 (P2) 的所述光学路径长度不同的功能,所述测量分支包括光纤,所述光纤被布置为提供沿所述光纤的感测长度 ( $l_s$ ) 的针对 OFDR 的反射,并且

[0064] 其中,所述依赖偏振的光学路径长度移位器 (PDOPS) 还被布置使得在反射谱中的所述第一偏振 (P1) 与所述第二偏振 (P2) 之间的光学路径长度差 ( $\Delta PDOS$ ) 被选择为避免在所述反射谱中的所述第一偏振 (P1) 与所述第二偏振 (P2) 之间的交叠。

[0065] 应理解,其中列出方法步骤的顺序不是必要的。

[0066] 总体而言,可以在本发明的范围内以各种方式对本发明的各个方面进行组合并且耦合。本发明的这些和其他方面、特征和 / 或优点将从下文描述的实施例变得显而易见并将参考下文描述的实施例得到阐述。

## 附图说明

[0067] 将参考附图,仅通过范例的方式描述本发明的实施例,在附图中:

[0068] 图 1 示出了根据本发明的 OFDR 系统的示意性实施例,

[0069] 图 2 示出了根据本发明的依赖偏振的光学路径长度移位器 (PDOPS、PDFS) 的实施例 (a 至 f),

[0070] 图 3 示出了根据本发明的适合于多个感测纤维的 OFDR 系统的示意性实施例,

[0071] 图 4 示出了根据本发明的适合于多个感测纤维的 OFDR 系统的另一个示意性实施例,

[0072] 图 5 示出了经由具有长度  $l_c$  的连接纤维连接到环行器的具有长度  $l_s$  的感测纤维的散射轮廓的示意图,

[0073] 图 6 示出了两个偏振对计算的散射轮廓的贡献的相对位置的一些范例,

[0074] 图 7 示出了针对利用根据图 1 的设置的使用根据图 2(a) 的实施例的 PDOPS 或 PDFS 的测量的傅里叶变换 (功率谱) 的曲线图,以及

[0075] 图 8 示出 PDOPS 或 PDFS 的三个实施例,其中,需要多于两个输出偏振,以及

[0076] 图 9 示出了根据本发明的方法的流程图。

## 具体实施方式

[0077] 图 1 中示出了依赖偏振的光学路径长度移位器 (PDOPS) 10,或者因为功率谱中的

移位而在下面备选地被命名为偏振分集频率移位器 (PDFS), 如何能够被并入在用于分布式感测的测量系统 100 中的范例。

[0078] 出于校准的目的, 激光的部分被传送到波长参考单元, 所述波长参考单元填充有气体 (例如, HCN), 所述气体包含具有在激光在其上被扫描的范围中的非常公知的波长的吸收线。所述激光的部分还被传送到辅助干涉仪 (以 AUX 标记的方框), 所述辅助干涉仪生成用于使扫描线性化的信号。信号采集系统对全部探测器信号进行数字化; 经数字化的信号被传送到计算机以进行进一步处理。

[0079] 需要扫描线性化, 以确保纤维上的散射体位置与探测器信号的频率之间的一对一的对应性。能够以若干方式中的一种实现线性化。借助于反馈环, 来自辅助干涉仪的信号能够用于使激光频率与时间线性相关。另一个可能是使用来自辅助干涉仪的信号来定义信号采集系统的采样时刻。或者, 能够以恒定速率对全部探测器信号进行采样, 但来自辅助干涉仪的经数字化的信号用作对重采样算法的输入, 所述重采样算法计算对应于精确线性扫描的经内插的信号。

[0080] PDFS 10 被并入在干涉仪系统 100 的仅测量臂或分支 17 中, 所以器位于第一分裂器 15 之后, 并且因为其需要通过感测纤维 20 传送两个偏振 P1 和 P2, 所以其位于感测纤维所连接的环行器 18 之前的测量臂中。

[0081] 总体而言, 光学频域反射计 (OFDR) 系统 100 包括光学辐射源 5, 例如激光, 所述光学辐射源能够发射在特定波长带 (例如 1530-1550nm) 内的光学辐射, 所述辐射源光学连接到第一耦合点或分裂器 15, 所述第一耦合点或分裂器被布置为将辐射分裂为两部分:

[0082] - 到参考路径 16 中, 所述参考路径光学连接到第一耦合点 15, 以及

[0083] - 到测量路径 17 中, 所述测量路径光学连接到第一耦合点 15, 所述测量路径还包括光学环行器 18, 所述环行器光学连接到测量分支或感测纤维 20, 所述测量分支或感测纤维被布置为基于反射的辐射进行测量。

[0084] 参考路径和测量路径如图 1 中所示光学耦合在第二耦合点 25 中。

[0085] 光学探测单元 30 能够经由第二耦合点 25 获得例如来自探测器 D1 和 D2 的、来自从参考路径和测量路径组合的光学辐射的信号, 并且相应地获得指示在测量分支 20 中的 (一个或多个) 期望属性的散射轮廓。

[0086] 测量路径 17 包括依赖偏振的光学路径长度移位器 (如图中所示的 PDOPS 或 PDFS) 10, 所述移位器具有引起或创建针对测量路径 17 中的辐射的第一偏振 P1 和第二偏振 P2 的功能, 所述第一偏振 P1 不同于所述第二偏振 P2, 并且移位器 10 还具有使得针对测量路径中的第一偏振 P1 的光学路径长度相对于针对测量路径 17 中的第二偏振 P2 的光学路径长度不同的功能。

[0087] 图 2 示出了根据本发明的依赖偏振的光学路径长度移位器 (PDOPS、PDFS) 10 的实施例 (a 至 f)。现在将给出对图 2 中所示的 PDFS 的不同实施例的属性的简要描述。

[0088] 实施例 (a) 具有 50/50 分裂器, 因其分裂元件将光分开在两个分支上。这一分裂元件不创建两个正交偏振, 所以在这一实施例中, 在分支中的一个中存在用于修改偏振的额外的部件, 使得在这一分支中的偏振在到达组合元件后正交于另一分支的偏振。出于这一目的, 使用在发送中运行的偏振控制器 pc (缩写“pc”用在全部附图中)。这一偏振控制器能够包括取向能够被操控的一个或多个纤维环, 但也能够是其中例如由电压控制电光材

料的双折射率、或者其中由外部压力修改纤维双折射率的（市场上可买到的）偏振控制器。来自两个分支的光在 50/50 组合器中组合。偏振控制器被调整为创建在组合器处正交于来自另一分支的偏振的偏振状态。然而，因为组合器不修改进入偏振的状态，所以两个分支的偏振状态并非必须是正交的，例如，如果的确需要，则能够创建线性状态和圆形状态的组合。组合器具有两个输出纤维；在用于仅单个纤维的测量系统中，将需要这些输出纤维中的仅一个并且一半的光将损失，但在被设计为同时测量多个纤维的系统中，二者输出都能够被使用，如图 4 中所示，作为范例，图 4 示出了能够测量四个纤维（或多芯纤维的四个芯）的系统。

[0089] 实施例 (b) 具有偏振射束分裂器 (PBS) 作为其分裂元件，所述偏振射束分裂器创建了两个线性偏振的正交偏振状态。为了确保这些偏振状态包含近似相等的光学功率，需要调整在 PBS 的输入部的光的偏振，使得情况就是这样。在图 2 中，独立偏振控制器被示为执行这一任务，但当在激光器与 PDFS 之间另一个偏振控制器已经存在于系统中时，可以不需要这一偏振控制器，如图 2 中所示的范例系统中的情况。在实施例 (b) 中，第二 PBS 用于将来自两个分支的光组合到单个输出分支中。偏振保持 (PM) 纤维用于这一实施例的两个分支，从而确保两个分支的偏振状态在组合器 PBS 处与 PBS 轴对齐。使用 PBS 作为组合器意味着输出状态是正交的并且是线性偏振的。

[0090] 实施例 (c) 类似于实施例 (b)，但在实施例 (c) 中，标准单模纤维用于两个分支。由于这些纤维并不保证保持偏振，所以在到达组合器 PBS 之后两个分支的偏振状态可能不再是线性的并且是与组合器 PBS 的偏振轴对齐的。尽管组合器 PBS 清除来自于两个分支的光的偏振状态，使得线性、正交状态结束于输出纤维中，但是功率可能会损失。为了最小化功率损失，两个分支能够装备有偏振控制器（在图中以虚线示出的）。

[0091] 实施例 (d) 具有 50/50 分裂器作为其分裂元件，以把光分开在两个分支上。标准单模纤维用于两个分支。实施例 (d) 使用 PBS 作为组合器，因此确保两个分支的偏振状态总是在输出部中实现两个线性偏振的正交状态。输出状态中的光学功率取决于两个分支的在组合器 PBS 处相对于 PBS 轴的取向的偏振状态；当来自两个分支的光是线性偏振的并且平行于各自的 PBS 轴时，将使功率发送最大化。为了实现最大功率，两个分支能够装备有偏振控制器（在图中以虚线示出的）。或者，能够使用与在分裂器前的偏振控制器相组合的、分支中的仅一个中的偏振控制器（在图中未示出）。在后者情况下，如果在激光器与 PDFS 之间另一个偏振控制器 pc 已经存在于系统中，则能够省略在分裂器前的偏振控制器，如在图 1 所示的范例系统中的情况。

[0092] 实施例 (e) 具有 50/50 分裂器作为其分裂元件，以把光分开在两个分支上。在分支中的一个中，由附接于环行器的法拉第镜将偏振改变到正交状态。在这一实施例中，优选地，在分裂器与环行器之间、在环行器与组合元件之间以及在分裂器与组合元件之间具有短的连接纤维，以使得更易于保持两个分支的偏振状态的正交性。来自两个分支的光组合在 50/50 组合器中。如实施例 (a) 中的情况，组合器具有两个输出纤维；在用于仅单个纤维的测量系统中，将需要这些输出纤维中的仅一个并且一半的光将损失，但在被设计为同时测量多个纤维的系统中，二者输出都能够被使用，如图 4 中所示。

[0093] 实施例 (f) 类似于实施例 (e)，其中，其具有 50/50 分裂器作为其分裂元件，以把光分开在两个分支上，在分支中的一个中，由附接于环行器的法拉第镜将偏振改变到正交状

态。其由于使用 PBS 作为组合元件而不同于实施例 (e)。为了最小化功率损失,没有环行器和法拉第镜的分支的偏振状态在组合器处应是线性的且平行于 PBS 轴中的一个;当分裂器与环行器之间、环行器与 PBS 之间以及分裂器与 PBS 之间的连接纤维被保持为足够短而不明显修改偏振状态时,那么包含环行器和法拉第镜的分支的在组合器处的偏振状态自动地是线性的且平行于其他 PBS 轴。

[0094] 图 3 示出了根据本发明的适合于多个感测纤维的 OFDR 系统 100 的示意性实施例。图 3 中示出了 PDFS 如何能够被并入在用于使用多个干涉仪同时测量长度近似相同的若干纤维的系统中。初级分裂器 15 首先将光分开在两个分支上。分支中的一个将是全部干涉仪的参考臂的公共部分,同时另一分支将是全部干涉仪的测量臂的公共部分。次级分裂器 15a 和 15b 分别插入在由第一分裂器 15 创建的测量分支和参考分支中,以便创建多个干涉仪。PDFS 位于构成全部干涉仪的测量臂的公共部分的分支中,在第一分裂器与全部干涉仪的测量臂中的环行器之间。在图 3 中,PDFS 10 位于初级分裂器 15 与次级分裂器 15a 之间,使得由 PDFS 创建的两个偏振分布于全部感测纤维 20 (仅示出了一个),并且对于全部测量臂而言,两个偏振状态之间的路径长度差是相同的。当全部感测纤维的感测部分的长度相当时,这是期望的情况。当感测纤维的长度非常不同时,可以期望具有用于每个测量臂的独立 PDFS (未在图中示出),以便能够创建测量臂的针对两个偏振的路径长度差,所述路径长度差适合于连接到这一测量臂的感测纤维的长度。在后者情况下,每个 PDFS 在其各自测量臂中的位置能够是在第二分裂器 15A 与环行器 18 之间。

[0095] 图 4 示出了根据本发明的适合于多个感测纤维的 OFDR 系统 100 的另一个示意性实施例。图 4 示出了用于测量多个纤维的设置的一个范例。图 4 所示的设置特别适合于具有两个输出纤维的 PDFS 实施例。在这一情况下,PDFS 10 能够提供次级分裂器的功能的部分。

[0096] 对于在用于一个或多个纤维 20 的测量系统中的一个或多个 PDFS 的全部实施方式而言共同的是每个 PDFS 位于测量臂 17 中,在初级分裂器 15 与 (一个或多个) 环行器 18 之间。

[0097] 能够示出,纤维索引的一个单位改变对应于干涉仪的路径长度差的改变,所述路径长度差等于:

$$[0098] \quad \Delta l = \frac{\lambda_c^2}{n \cdot \Delta \lambda} \quad (1)$$

[0099] 其中,  $n$  是在干涉仪中的群索引,  $\lambda_c$  是激光扫描的期望的波长范围的中心,并且  $\Delta \lambda$  是期望的范围。离散傅里叶变换的输出采取离散条的形式,能够由其索引号指出所述离散条。如之前说明的,这些条对应于沿纤维的位置。零频条对应于纤维上的这样的 (可能是虚拟的) 点: 针对所述点,测量分支和参考分支的长度是相等的,如下面说明的。对于用在反射中的感测纤维而言,  $\Delta l$  的路径长度差等价于为  $\Delta z = \Delta l/2$  的沿感测纤维的位置的改变,所以纤维索引的单位改变对应于沿感测纤维的位置的改变,所述沿感测纤维的位置的改变等于:

$$[0100] \quad \Delta z = \frac{\lambda_c^2}{2n \cdot \Delta \lambda} \quad (2)$$

[0101] 在范例测量中,  $\lambda_c = 1540\text{nm}$ ,  $\Delta \lambda = 20\text{nm}$  并且  $n \approx 1.48$ , 从而使得  $\Delta z \approx 40 \mu\text{m}$ 。

因此,包含光纤布拉格光栅的近似 50000-100000 的纤维索引范围对应于距离感测纤维上的这样的点 2 至 4 米远的纤维部分:针对所述点,测量臂的长度等于参考臂的长度的。

[0102] 图 5 示出了经由具有长度  $l_c$  的连接纤维连接到环行器的具有长度  $l_s$  的感测纤维的散射轮廓的示意图。这些也能够是相同纤维的不同部分,感测部分仅通过其希望的用途(当使用瑞利散射时)或通过特殊准备(例如,其中具有准备的光纤布拉格光栅(FBG)),而不同于连接部分。

[0103] 测量到的探测器信号的离散傅里叶变换(DFT)用于得到感测纤维的散射轮廓。傅里叶变换的近邻点对应于感测纤维上相距  $\Delta z$  的点, $\Delta z$  由上面的等式(2)给出。

[0104] 计算的傅里叶变换的零频点(纤维索引等于 0)对应于感测纤维上的这样的(可能是虚拟的)点:针对所述点,干涉仪的参考臂和测量臂的长度相等。对于 N 点 DFT 而言,最大频率(纤维索引 N/2)对应于感测纤维上的与零频点相距 L 的(可能是虚拟的)点,其中, L 给定为:

$$[0105] \quad L = \frac{N}{2} \Delta z \quad (3)$$

[0106] 具有在  $N/2+1 \cdots N-1$  的范围中的纤维索引的点对应于负频率。在一个范例中,  $N = 10^6$  并且  $\Delta z = 40 \mu\text{m}$ , 所以  $L = 20\text{m}$ 。

[0107] 考虑了经由长度为  $l_c$  的连接纤维附接于测量系统的环行器的长度为  $l_s$  的感测纤维。这些同样能够是相同纤维的不同部分,感测部分仅通过其希望的用途(当使用瑞利散射时)或通过特殊准备(例如,其中具有记载的光纤布拉格光栅(FBG)),而不同于连接部分。来自感测纤维和连接纤维二者的背散射的光将到达探测器,并将结束于计算的散射轮廓中。没有背散射的光将从位于环行器之前或感测纤维的物理端之后的(虚拟)位置到达探测器。因此,使用环行器将感测纤维连接到测量系统确保来自连接纤维和感测纤维的背散射的光占据在散射轮廓中有限范围的空间。图 5 示意性示出了针对等长点位于距连接纤维的起点的左侧  $l_c$  处的情况,连接纤维和感测纤维对计算的轮廓的贡献。测量臂和参考臂针对其具有相同长度的(虚拟)点位于距连接纤维的起点的左侧  $l_c$  处。

[0108] 图 2 的全部 PDFS 实施例具有两个光学子路径或分支,所述两个光学子路径或分支具有不同长度。PDFS 的两个分支之间的长度的差使得干涉仪的测量臂针对由 PDFS 创建的两个偏振状态具有不同长度。从而,探测器信号的傅里叶变换的零频点针对由 PDFS 创建的第一偏振状态对应于感测纤维上的一个点,并且针对第二偏振状态对应于感测纤维上的另一点,或者等价地,感测纤维的任何部分针对由 PDFS 创建的两个不同偏振状态结束于计算的散射轮廓中的两个不同位置处。这些位置之间的以米表示的距离将被称为  $\Delta_{\text{PDFS}}$  或  $\Delta_{\text{PDOPS}}$ ;PDFS 的两个分支之间的引起这一移位所需的长度差(分支 2 的长度减去分支 1 的长度)等于  $2 \Delta_{\text{PDFS}}$ 。查看针对在纤维索引与位置之间的转换系数的等式(2)。

[0109] 应当以这样的方式选择两个位置之间的移位:使得来自感测纤维的数据不受两个偏振状态中的任一的污染。至少,这意味着针对两个偏振状态的感测纤维数据在散射轮廓中不交叠,从而导致以下条件:

$$[0110] \quad \Delta_{\text{PDFS}} > l_s \quad (4)$$

[0111] 当移位  $\Delta_{\text{PDFS}}$  仅略微大于感测纤维的长度  $l_s$  时,偏振 P1 的感测纤维数据将与偏振 P2 的连接纤维数据交叠。当感测纤维的散射信号比连接纤维的锐利散射强得多时,这能够

是可接受的,但是连接纤维数据常常还包含来自连接器、纤维结合处等的寄生反射,所述寄生反射强到足以污染交叠的感测纤维数据。在这一情况下,或者在感测纤维以及连接纤维的信号是相当强度的情况下,将移位  $\Delta_{PDFS}$  增加到更大值以防止任何交叠将是明智的:

$$[0112] \quad \Delta_{PDFS} > l_s + l_c \quad (5a)$$

[0113] 图 6 示出了两个偏振对计算的散射轮廓的贡献的相对位置的一些范例。

[0114] 上面的情况示出在图 6(a) 中。不能够使移位任意大,因为针对偏振 P2(在图 6 中仅指示为“2”)的感测纤维数据然后将开始与其负频率部分交叠(描述这一情形的等价方式能够是:采样密度变得不足并且开始出现混叠)。因此,还应当满足以下条件:

$$[0115] \quad l_0 + \Delta_{PDFS} + l_c + l_s < L \quad (5b)$$

[0116] 等式 5(a) 和 5(b) 能够组合为单个等式:

$$[0117] \quad l_c + l_s < \Delta_{PDFS} < L - (l_0 + l_c + l_s) \quad (5c)$$

[0118] 还能够将针对偏振 P1(在图 6 中仅指示为“1”)的零频点置于连接纤维中的某处,在这一情况下, $l_0$ 将是负的。为了避免交叠,然后除由等式(5c)表示的条件之外,应当保持以下条件:

$$[0119] \quad l_0 > -l_c/2 \quad (6)$$

[0120] 存在更多可能。能够以这样的方式使移位  $\Delta_{PDFS}$  成为负的:使得对于感测纤维上的全部点而言针对偏振 P1,测量臂比参考臂长,同时针对偏振 P2,测量臂比参考臂短。然后针对偏振 P2 的数据在沿纤维的位置中表现出翻转。取决于  $\Delta_{PDFS}$  的幅值,能够辨别两种情形:

[0121] 第一,当针对偏振 P2 的感测纤维数据出现于针对偏振 P1 的感测纤维数据的右侧时,具有示出在图 6(b) 中的情形。针对这一情况,必须保持以下条件以便避免交叠(记住  $\Delta_{PDFS}$  是负的):

$$[0122] \quad 2(l_s + l_c + l_0) < |\Delta_{PDFS}| < L + l_0 + l_c/2 \quad (7)$$

[0123] 当零频点位于连接纤维中时,此外必须保持由等式(6)表示的条件。

[0124] 第二,提供的  $l_0$  足够大,在负  $\Delta_{PDFS}$  的情况下的另一个可能是将针对偏振 P2 的数据部分放置到在零频点上面的空的空中,如图 6(c) 中所示。然而,由于与将位于此处的探测器上的 DC 密度相关联的各种噪声贡献,应当避免零频点的直接邻近。将通过额外的参数  $\delta$  来计算要被避免的区域的宽度。然后应当保持以下条件:

$$[0125] \quad l_0 > l_s + \delta \quad (8a)$$

$$[0126] \quad l_s + l_c + l_0 + \delta < |\Delta_{PDFS}| < 2l_0 + l_c \quad (8b)$$

[0127] 图 7 示出了针对利用根据图 1 的设置、使用根据图 2(a) 的实施例的 PDOPS 或 PDFS 的测量的傅里叶变换(功率谱)的曲线图。图 7 示出了利用包含根据图 1 的发明的系统执行的单个扫描测量的计算的散射轮廓,其中,使用了根据图 2 的实施例(a)的 PDFS。对于偏振 P1 而言,纤维的感测部分出现在(近似)索引范围 55000-105000 中的散射轮廓中;对于偏振 P2 而言,索引范围是近似 18000-230000。移位  $\Delta_{PDFS}$  是大约 125000 纤维索引,或近似 5 米,对应于 PDFS 的分支之间的 10m 长度差。

[0128] 图 8 示出了 PDOPS 或 PDFS 10 的三个实施例(g 至 i),其中,需要多于两个的输出偏振。在上面中已经假设需要针对仅两个输入偏振测量感测纤维。在期望多于两个偏振,例如除线性偏振的光之外,左侧圆形偏振和右侧圆形偏振的光的情况下,能够将 PDFS 扩展

为创建例如 4 个偏振状态,所述 4 个偏振状态每个具有不同长度。图 8 中示出了可以创建这些状态的实施例的一些范例。当然更多偏振也是可能的,并且技术人员一旦理解了本发明的总体原理就能够实现这点。

[0129] 在图 8(g) 中,在来自图 2 的第一单输出 PDFG 之后是第二 PDFS,所述第二 PDFS 在分支中的一个中通过偏振控制器将出自第一 PDFS 的两个线性偏振修改为左侧圆形偏振和右侧圆形偏振的光,所述偏振控制器有效地充当被合适取向的四分之一波片。如所示的实施例被设计为用于对如图 4 中的 4 个纤维进行同时测量的系统;在更少纤维需要被测量的情况下,能够省略到虚垂直线的右侧的耦合器。

[0130] 图 8(h) 的实施例是根据图 2(a) 的实施例的双输出 PDFS 与在其分支中的一个中充当用于创建左侧圆形偏振光和右侧圆形偏振光的四分之一波片的部分的级联。

[0131] 图 8(i) 的实施例是“粗略近似”法,其中,利用 1x4 分裂器以及如由毗邻的三个圆圈指示独立的偏振控制器,来创建具有不同分支长度的 4 个不同偏振状态(假设其中使用这一实施例的设置包含在 PDFS 前面的偏振控制器;如果情况不是这样,全部四个分支可以包含偏振控制器 pc)。这一实施例的优点是其灵活性,在期望的输出偏振状态不是逐对正交时也能够使用这一实施例。

[0132] 图 9 示出了根据本发明的方法的流程图。更具体而言,图 9 示出了用于获得光学频域反射计 (OFDR) 数据的方法 900,所述方法包括:

[0133] 提供 S1 光学辐射源 5 并且发射 S2 在特定波长带内的光学辐射,所述辐射源光学连接到第一耦合点 15,所述第一耦合点被布置为将辐射分裂为两部分,

[0134] 提供 S3 参考路径 16,所述参考路径光学连接到第一耦合点,

[0135] 提供 S4 测量路径 17,所述测量路径光学连接到第一耦合点,所述测量路径还包括光学环行器 18,所述环行器光学连接到测量分支 20,所述测量分支被布置为基于反射的辐射进行测量,

[0136] 其中,所述参考路径与所述测量路径光学耦合在第二耦合点 25 中,

[0137] 提供 S5 光学探测单元 30 并且经由第二耦合点获得 S6 来自从参考路径和测量路径组合的光学辐射的信号,

[0138] 其中,测量路径 17 包括依赖偏振的光学路径长度移位器 (PDOPS、PDFS) 10,所述移位器具有引起或创建针对在测量路径中的辐射的第一偏振 P1 和第二偏振 P2 的功能,所述第一偏振 P1 不同于所述第二偏振 P2,并且

[0139] 所述移位器还具有使得针对测量路径中的第一偏振 P1 的光学路径长度相对于针对测量路径中的第二偏振 P2 的光学路径长度不同的功能。

[0140] 总之,提出了光学频域反射计 (OFDR) 系统 100,所述系统包括被布置为将辐射分裂为两部分的第一耦合点 15,使得可以将辐射发射到参考路径 16 以及测量路径 17 中。所述系统还包括光学探测单元 30,所述光学探测单元能够经由第二耦合点 25 获得来自从参考路径和测量路径组合的光学辐射的信号。测量路径 17 包括依赖偏振的光学路径长度移位器 (PDOPS、PDFS) 10,所述移位器可以创建针对在测量路径中的辐射的第一偏振 (P1) 以及第二偏振 (P2),其中,对于测量路径中的第一偏振和第二偏振而言,光学路径长度不同。这对于获得改进的光学频域反射计 (OFDR) 系统(其中例如可以在相同的辐射源扫描中执行针对输入偏振的两个测量)而言,能够是有利的。

[0141] 尽管已经在附图和前文描述中详细扫描并描述了本发明,但是这样的扫描和描述应被视为说明性或示范性的,而非限制性的;本发明不限于所公开的实施例。本领域技术人员通过研究附图、说明书以及权利要求书,在实践要求保护的本发明时,能够理解并实现对所公开的实施例的其他变型。在权利要求书中,词语“包括”不排除其他元件或步骤,并且量词“一”或“一个”不排除多个。在权利要求书或说明书中,提到“第一实体、第二实体以及第三实体中的至少一个”并不必须意指存在第一实体、第二实体以及第三实体中的每个,因此,可以仅存在第二实体,或者备选地,可以仅存在第一实体和第三实体,以及具有更多实体等。单个处理器或其他单元可以完成权利要求书中所记载的若干项目的功能。在互不相同的从属权利要求中记载了特定措施并不指示不能有利地使用这些措施的组合。计算机程序可以存储/分布在适合的介质上,所述介质例如为与其他硬件一起被提供或作为其他硬件的部分被提供的光学存储介质或固态介质,但是计算机程序也可以以其他形式分布,例如经由因特网或其他的有线或无线的远程通信系统分布。权利要求书中的任何附图标记都不得被解释为对范围的限制。

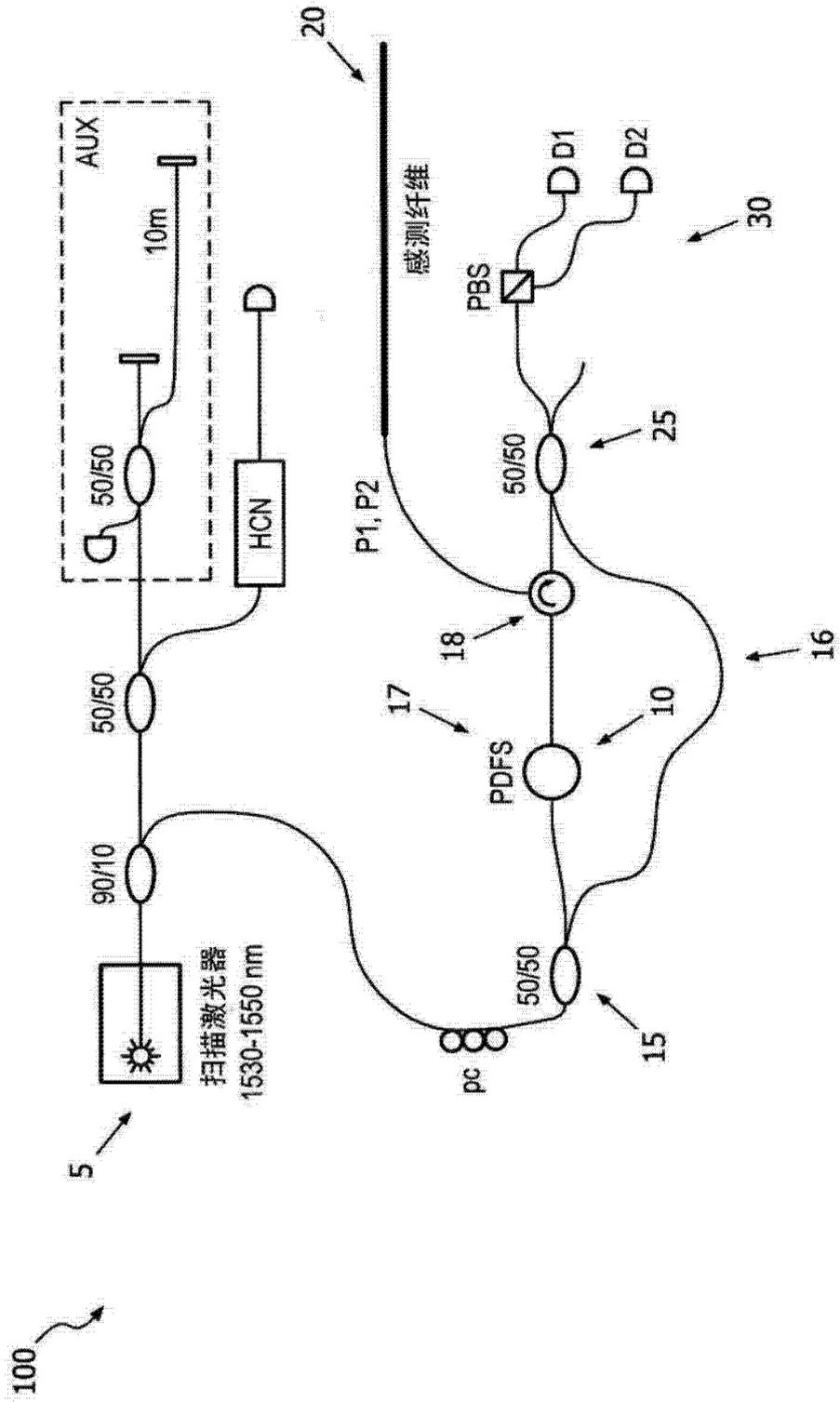


图 1

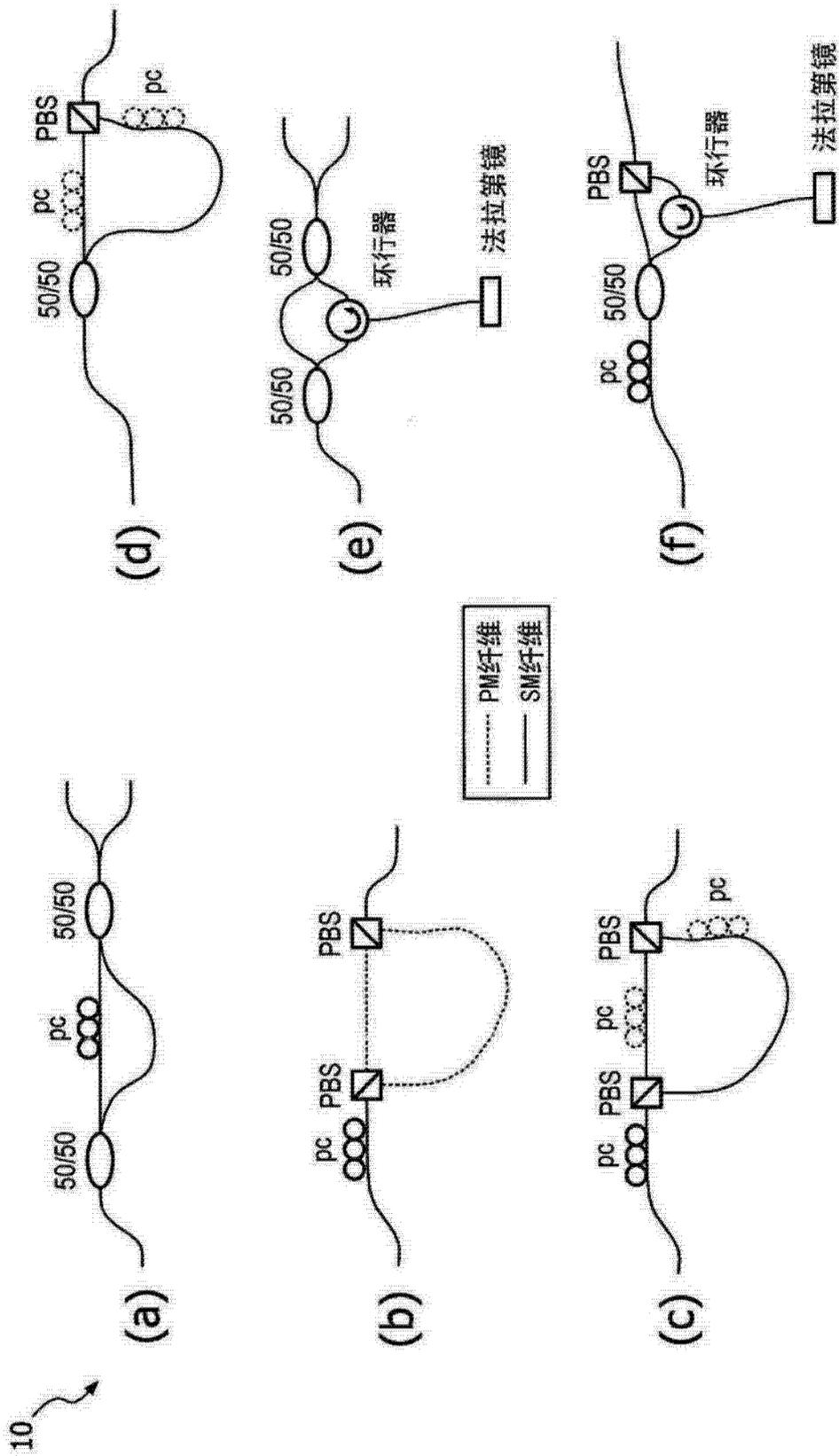
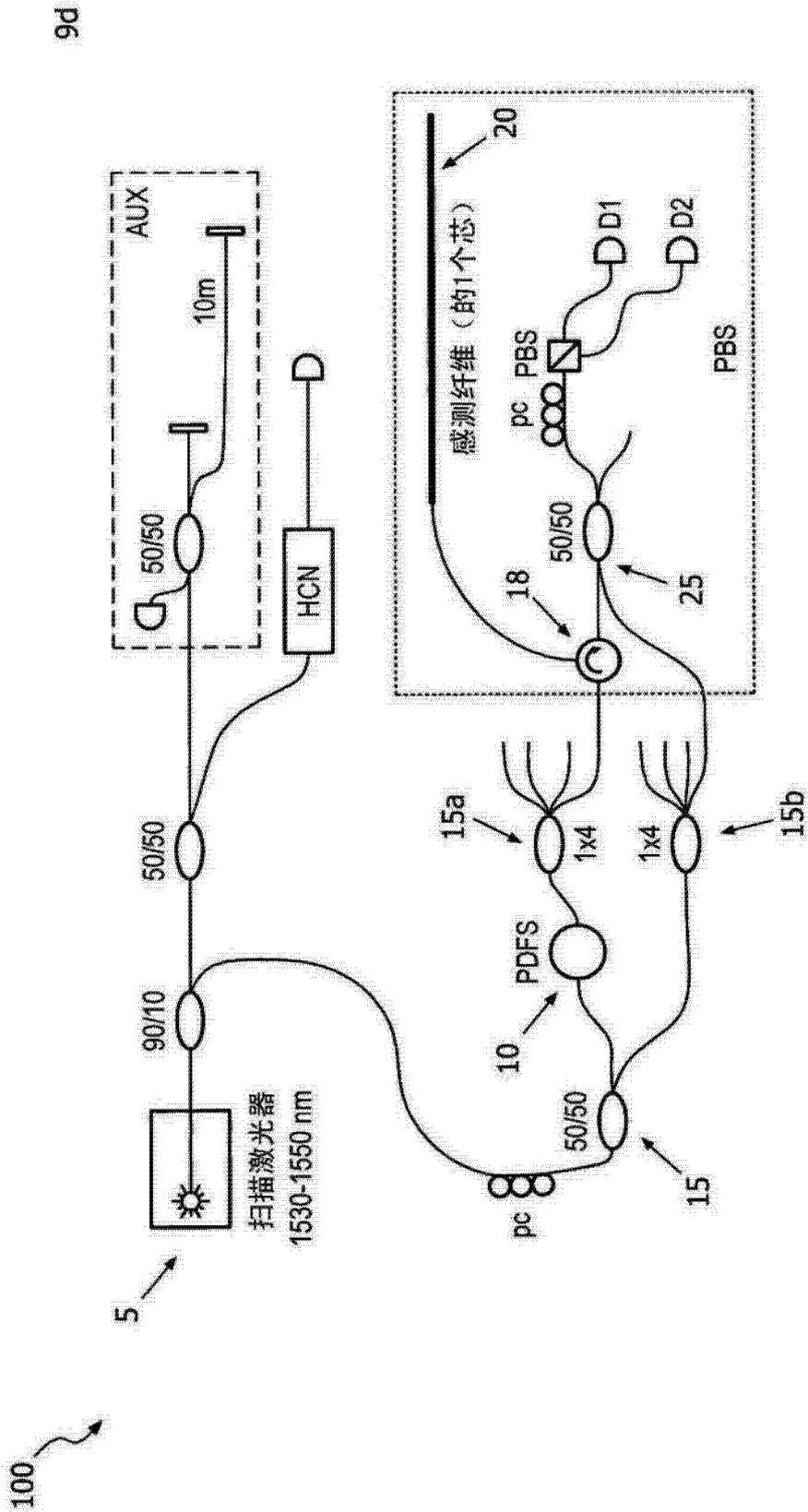


图 2



9d

图 3

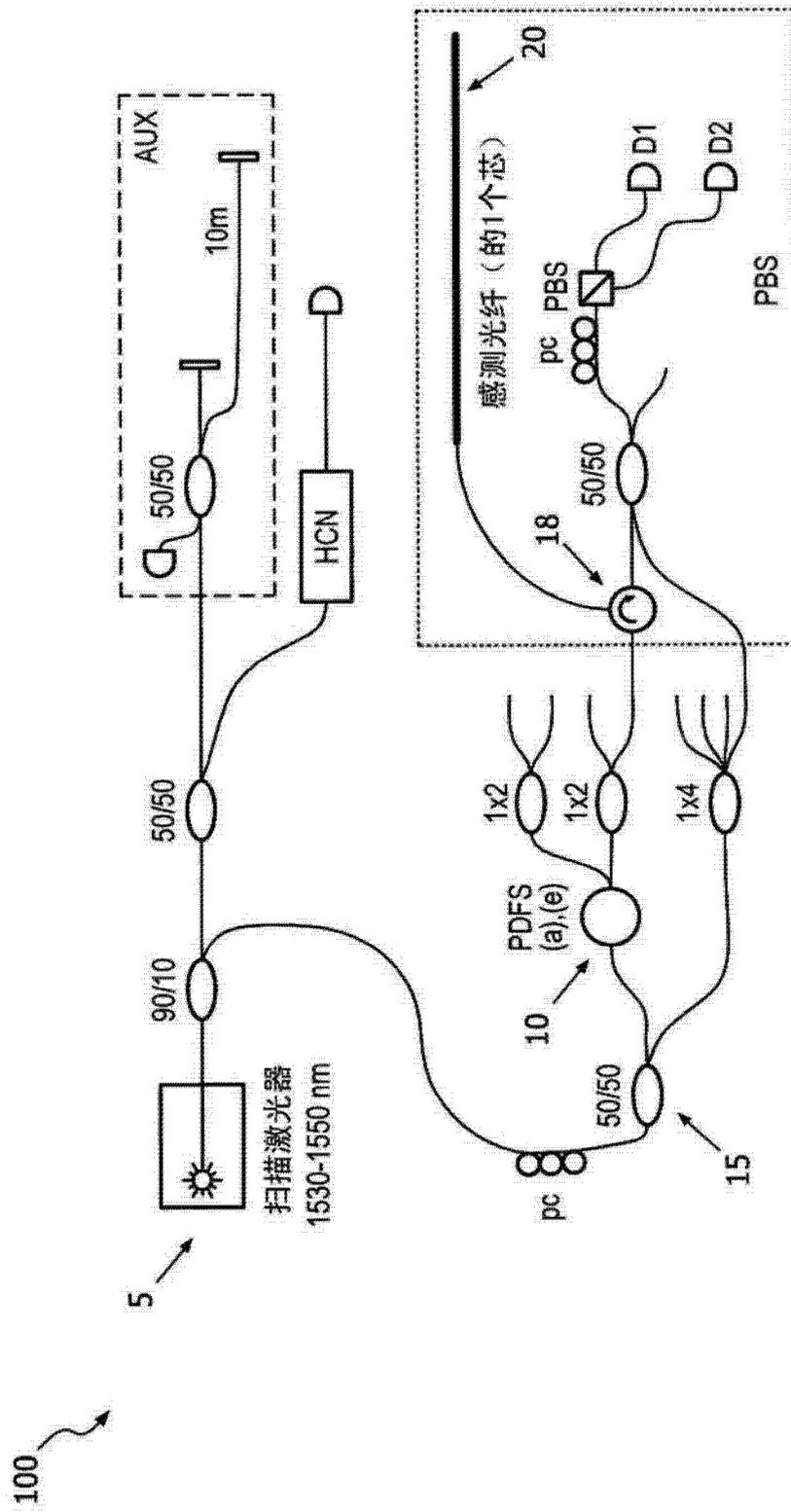


图 4

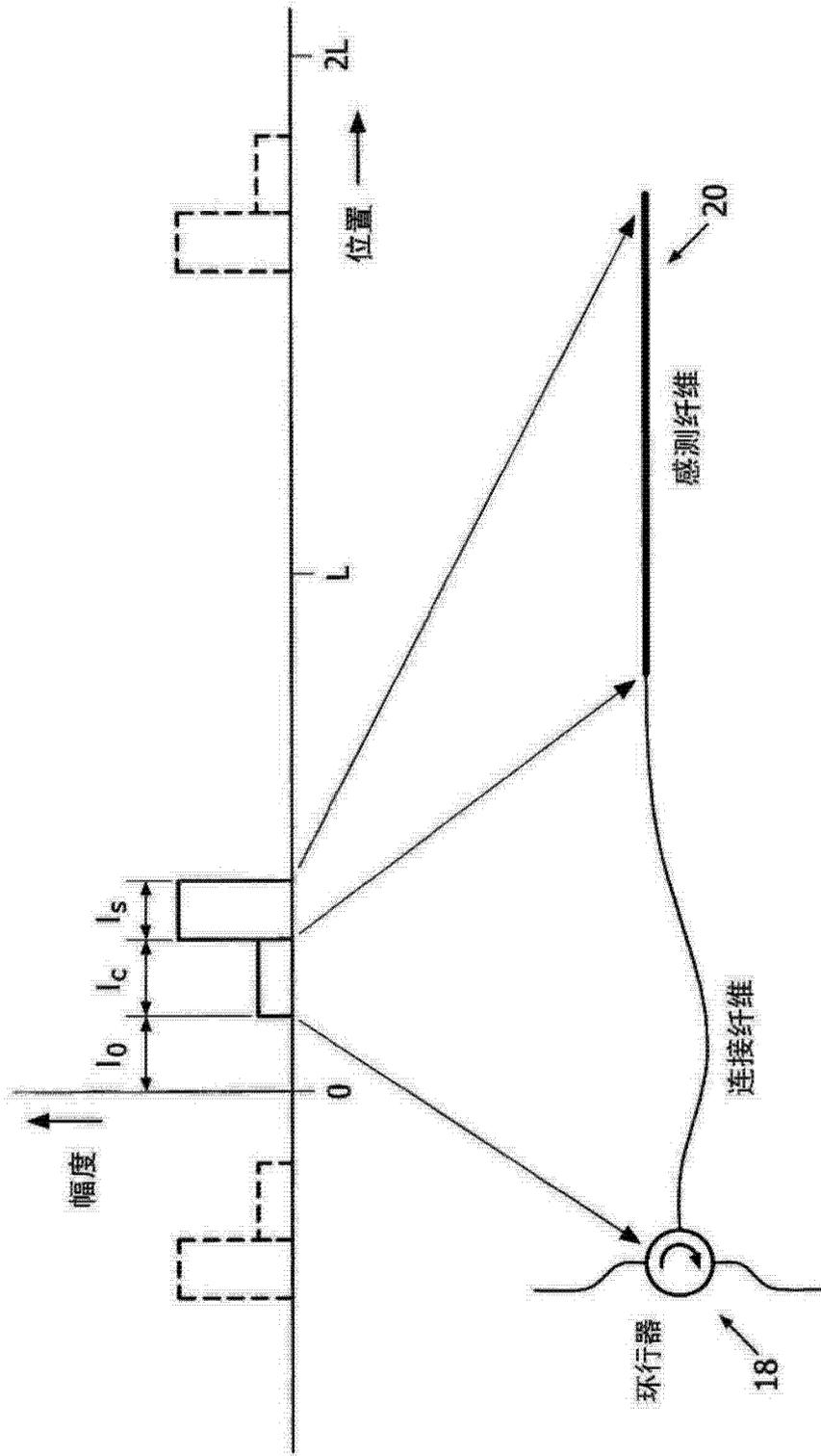


图 5

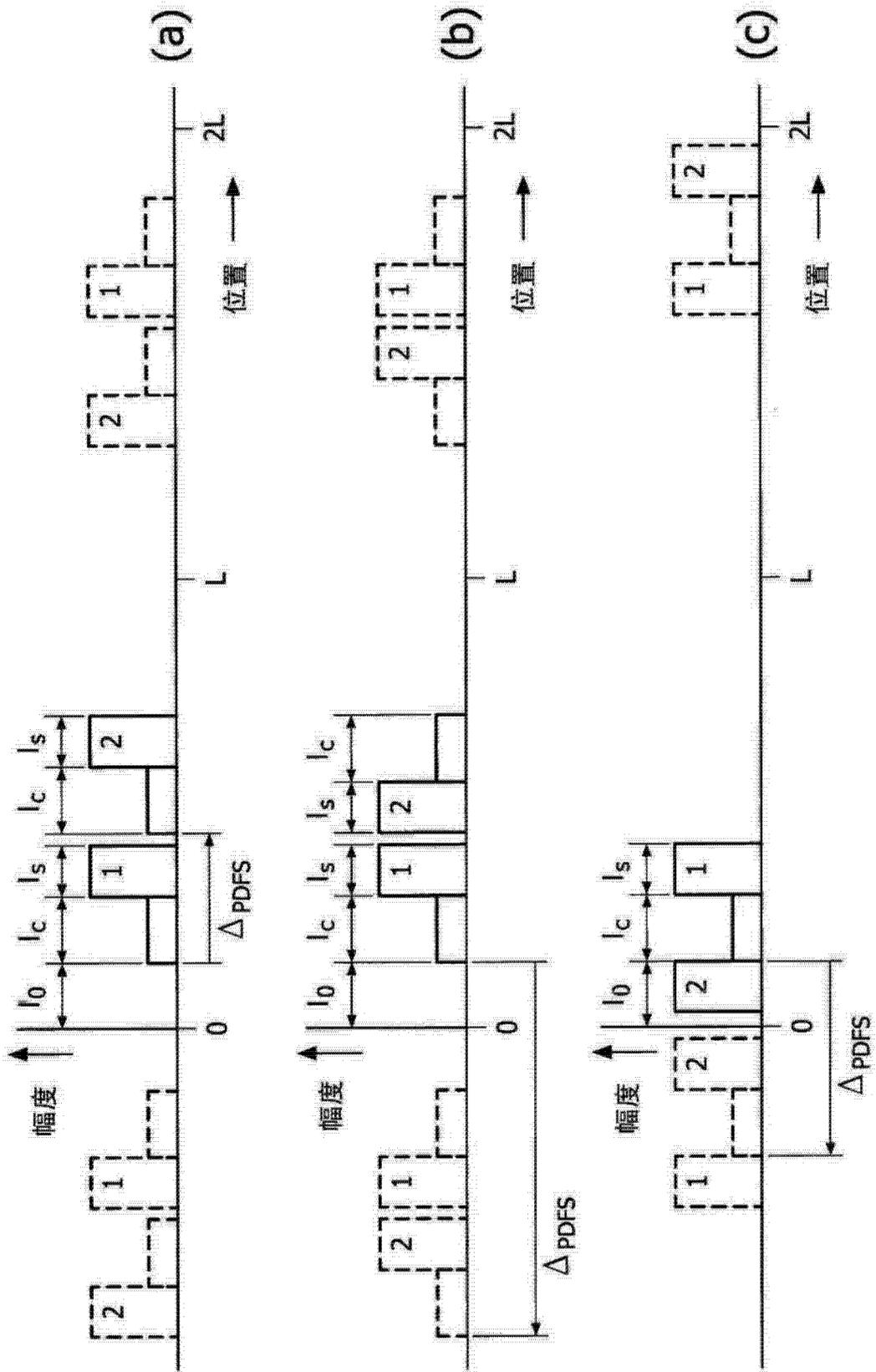


图 6

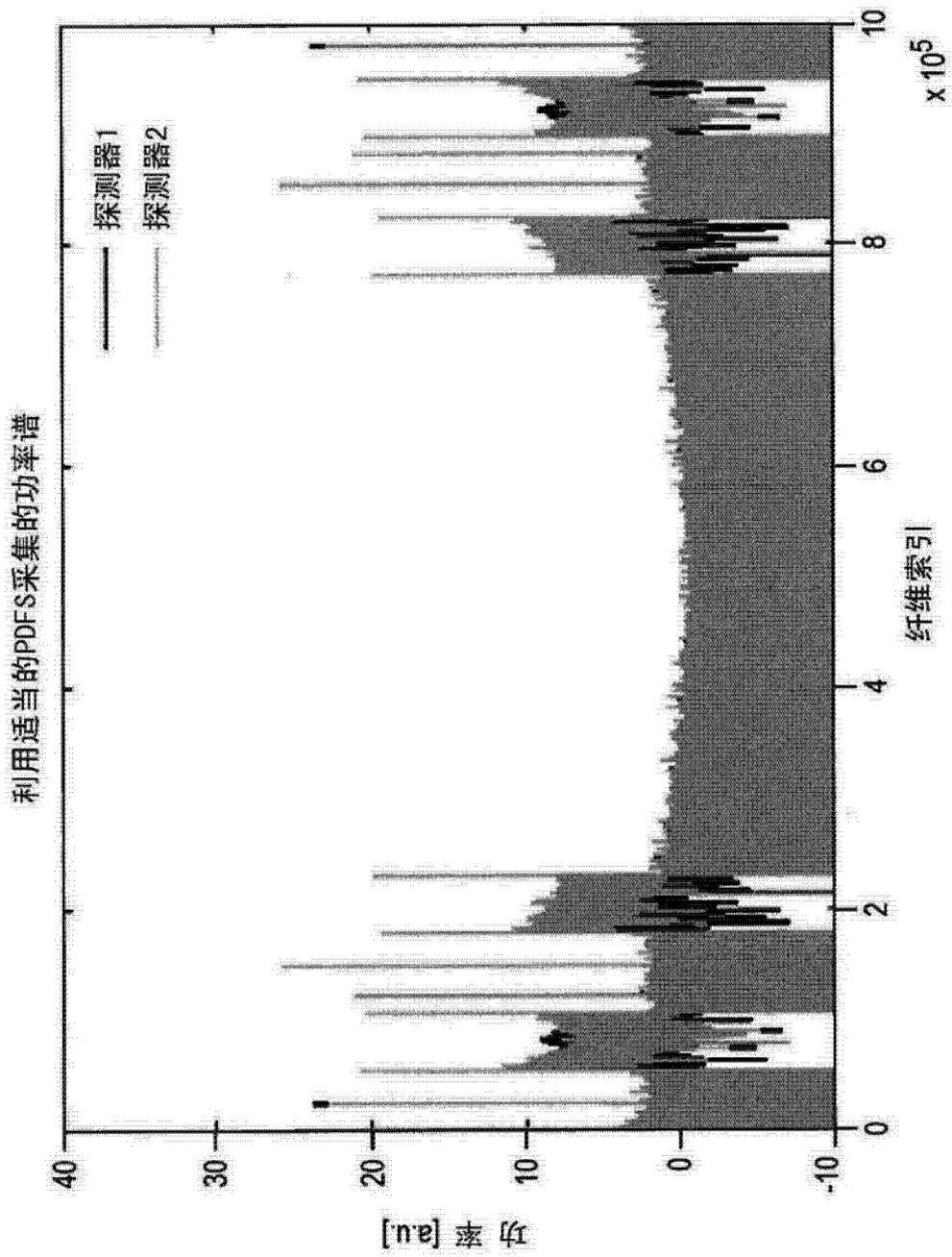


图7

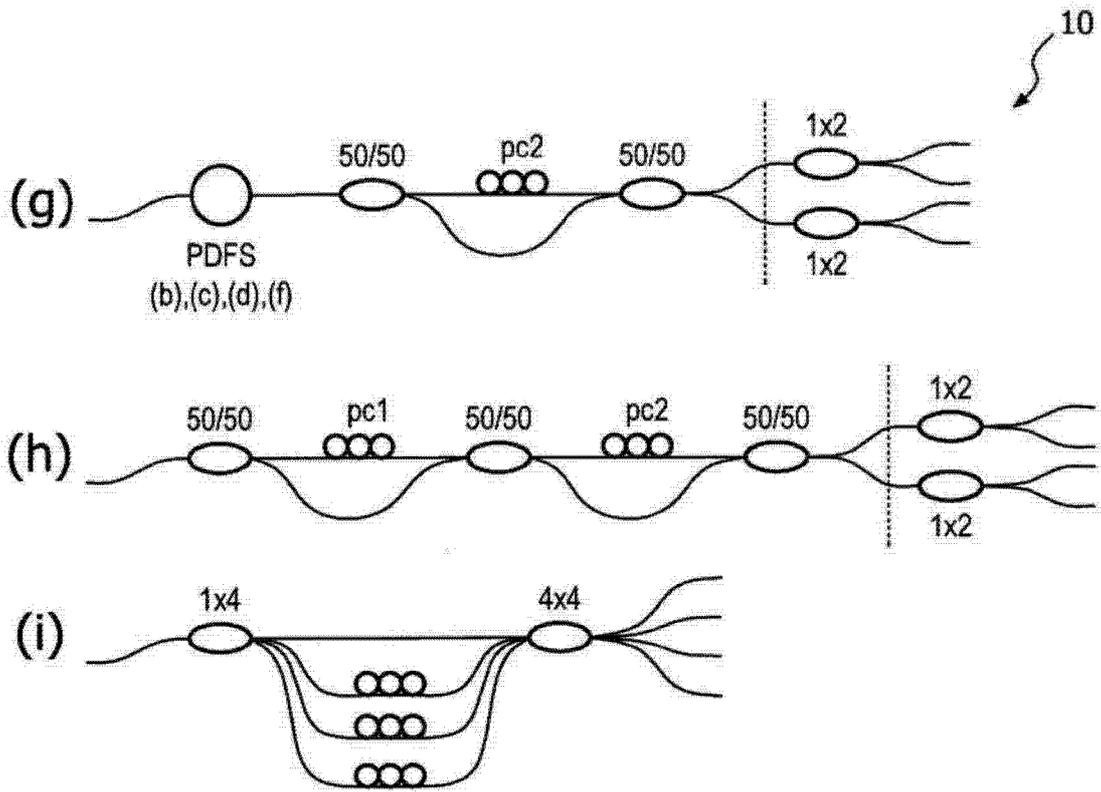


图 8

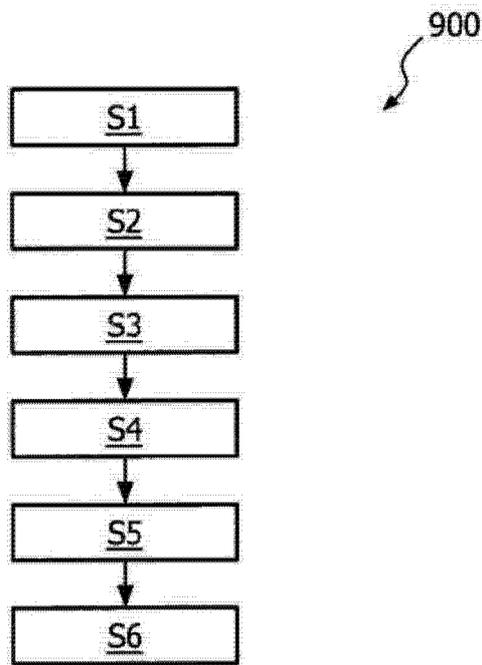


图 9