



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101466298 B

(45) 授权公告日 2011.08.31

(21) 申请号 200780016266.3

(22) 申请日 2007.04.05

(30) 优先权数据

60/789,739 2006.04.05 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2008.11.05

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2007/066017 2007.04.05

(87) PCT申请的公布数据

WO2007/118129 EN 2007.10.18

(73) 专利权人 通用医疗公司

地址 美国马萨诸塞州

(72) 发明人 尹锡贤 约翰内斯·F·德布尔

吉列尔莫·J·蒂尔尼

布雷特·E·鲍马

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

11227

代理人 朱胜 李春晖

(51) Int. Cl.

A61B 5/00(2006.01)

G01B 9/02(2006.01)

G01N 21/47(2006.01)

(56) 对比文件

US 2003/0174339 A1, 2003.09.18, 说明书第 55-59 段, 附图 1.

Hyle Park B et al.. Real-time fiber-based multi-functional spectral-domain optical coherence tomography at 1.3um. 《OPTICS EXPRESS》. 2005, 第 13 卷 (第 11 期), 3931-3944.

Jun Zhang, et al. Full range polarization-sensitive Fourier domain optical coherence tomography. 《OPTICS EXPRESS》. 2004, 第 12 卷 (第 24 期), 6033-6039.

审查员 彭燕

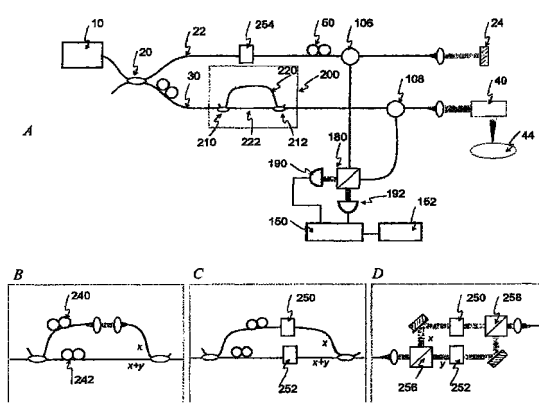
权利要求书 3 页 说明书 8 页 附图 10 页

(54) 发明名称

用于样本的偏振敏感光频域成像的方法、装置和系统

(57) 摘要

提供了用于获取与样本相关联的数据的装置和方法。例如,可以向样本提供至少一个第一电磁辐射并且可以向参考物(例如,无反射参考物)提供至少一个第二电磁辐射。这样的辐射的频率可以以第一特征周期随着时间反复地变化。另外,第一电磁辐射、第二电磁辐射、第三电磁辐射(与第一辐射相关联)或第四电磁辐射(与第二辐射相关联)的偏振状态以短于第一周期的第二特征周期随着时间反复地改变。可以根据偏振状态来提供用于对样本的至少一部分进行成像的数据。另外地或替代地,第三和第四电磁辐射可以被组合以确定样本的至少一部分的轴向反射轮廓。



CN 101466298 B

1. 一种用于提供与样本相关联的数据的设备,包括:

至少一个第一装置,其被配置为向所述样本提供至少一个第一电磁辐射并且向参考物提供至少一个第二电磁辐射,其中由所述至少一个第一装置提供的辐射的频率以第一特征周期随着时间反复地变化;

至少一个第二装置,其被配置为以第二特征周期随着时间反复地改变所述第一电磁辐射、所述第二电磁辐射、第三电磁辐射或第四电磁辐射中的至少一个电磁辐射的偏振状态;以及

至少一个第三装置,其被配置为根据所述偏振状态来提供用于对所述样本的至少一部分进行成像的数据,

其中,所述第三电磁辐射与所述至少一个第一辐射相关联并且所述第四电磁辐射与所述至少一个第二辐射相关联,并且其中所述第二特征周期短于所述第一特征周期。

2. 根据权利要求 1 的设备,其中所述至少一个第一装置是偏振源。

3. 根据权利要求 1 的设备,其中所述至少一个第二装置是延迟干涉仪、移频器或双折射介质中的至少一个。

4. 根据权利要求 1 的设备,其中所述至少一个第一装置是非偏振源,并且所述设备还包括偏振装置,所述偏振装置被配置为使所述第一、第二、第三或第四电磁辐射中的至少一个电磁辐射偏振。

5. 根据权利要求 1 的设备,其中所述第一和第二装置在偏振调制源中提供。

6. 根据权利要求 1 的设备,其中所述第三电磁辐射从所述样本提供,并且其中所述第四电磁辐射从所述参考物提供。

7. 根据权利要求 1 的设备,还包括:

至少一个第四装置,其被配置为在第一偏振状态下检测所述第三和第四电磁辐射之间的第一干涉信号;以及

至少一个第五装置,其被配置为在第二偏振状态下检测所述第三和第四电磁辐射之间的第二干涉信号,其中所述第一和第二偏振状态彼此不同。

8. 根据权利要求 7 的设备,其中所述第四装置或所述第五装置中的至少一个装置被配置为接收所述第一电磁辐射、所述第二电磁辐射或所述第四电磁辐射中的至少一个电磁辐射的一部分,并且其中所述第四电磁辐射从所述参考物被提供。

9. 根据权利要求 7 的设备,还包括至少一个第六装置,所述第六装置被配置为数字化所述第一和第二干涉信号,并确定所述样本的至少一部分的偏振属性。

10. 根据权利要求 7 的设备,其中所述第一和第二偏振状态相对于彼此正交。

11. 根据权利要求 1 的设备,其中所述至少一个第三装置产生所述样本的偏振属性的至少一个图像。

12. 根据权利要求 11 的设备,其中所述偏振属性包括双折射、双折射轴、衰减或衰减轴中的至少一个。

13. 根据权利要求 1 的设备,其中所述参考物是无反射参考物。

14. 根据权利要求 1 的设备,其中所述第一特征周期短于 100 微秒。

15. 根据权利要求 1 的设备,其中由所述至少一个第一装置提供的所述辐射的频率在所述第一特征周期内变化至少 1THz。

16. 根据权利要求 1 的设备,其中由所述至少一个第一装置提供的所述辐射的频率在所述第二特征周期内变化至多 100GHz。

17. 根据权利要求 1 的设备,其中所述第二特征周期短于所述第一特征周期的 1/10。

18. 根据权利要求 1 的设备,其中所述至少一个第二装置包括波导装置且被配置为在所述第一特征周期中组合所述第三电磁辐射和所述第四电磁辐射,以确定所述样本的至少一部分的轴向反射轮廓。

19. 根据权利要求 18 的设备,其中所述数据包括所述样本的偏振属性。

20. 根据权利要求 18 的设备,其中所述波导装置包括至少一个光纤。

21. 一种用于提供与样本相关联的数据的设备,包括:

至少一个第一装置,其被配置为向样本提供至少一个第一电磁辐射并向参考物提供至少一个第二电磁辐射,其中由所述至少一个第一装置提供的辐射的频率以第一特征周期随着时间反复地变化;

至少一个波导第二装置,其被配置为组合第三电磁辐射和第四电磁辐射,以确定所述样本的至少一部分的轴向反射轮廓,其中所述第三电磁辐射与所述至少一个第一电磁辐射相关联,以及所述第四电磁辐射与所述至少一个第二电磁辐射相关联;

至少一个第三装置,其被配置为以第二特征周期随着时间反复地改变所述第一电磁辐射、所述第二电磁辐射、所述第三电磁辐射或所述第四电磁辐射中的至少一个电磁辐射的偏振状态;以及

至少一个第四装置,其被配置为根据所述偏振状态来提供用于对所述样本的至少一部分进行成像的数据,其中所述第二特征周期短于所述第一特征周期。

22. 根据权利要求 21 的设备,其中所述至少一个第一装置是偏振源。

23. 根据权利要求 21 的设备,其中所述至少一个第三装置是延迟干涉仪、移频器或双折射介质中的至少一个。

24. 根据权利要求 21 的设备,其中所述至少一个第一装置是非偏振源,并且所述设备还包括偏振装置,所述偏振装置被配置为使所述第一、第二、第三或第四电磁辐射中的至少一个电磁辐射偏振。

25. 根据权利要求 21 的设备,其中所述第一和第三装置在偏振调制源中提供。

26. 根据权利要求 21 的设备,其中所述第三电磁辐射从所述样本提供,并且其中所述第四电磁辐射从所述参考物提供。

27. 根据权利要求 21 的设备,还包括:

至少一个第五装置,其被配置为在第一偏振状态下检测所述第三和第四电磁辐射之间的第一干涉信号;以及

至少一个第六装置,其被配置为在第二偏振状态下检测所述第三和第四电磁辐射之间的第二干涉信号,其中所述第一和第二偏振状态彼此不同。

28. 根据权利要求 27 的设备,其中所述第五装置或所述第六装置中的至少一个装置被配置为接收所述第一电磁辐射、所述第二电磁辐射或所述第四电磁辐射中的至少一个电磁辐射的一部分,并且其中所述第四电磁辐射从所述参考物被提供。

29. 根据权利要求 27 的设备,还包括至少一个第七装置,所述第七装置被配置为数字化所述第一和第二干涉信号,并确定所述样本的至少一部分的偏振属性。

30. 根据权利要求 27 的设备,其中所述第一和第二偏振状态相对于彼此正交。

31. 根据权利要求 21 的设备,其中所述至少一个第四装置产生所述样本的偏振属性的至少一个图像。

32. 根据权利要求 31 的设备,其中所述偏振属性包括双折射、双折射轴、衰减或衰减轴中的至少一个。

33. 根据权利要求 21 的设备,其中所述参考物是无反射参考物。

34. 根据权利要求 21 的设备,其中所述第一特征周期短于 100 微秒。

35. 根据权利要求 21 的设备,其中由所述至少一个第一装置提供的所述辐射的频率在所述第一特征周期内变化至少 1THz。

36. 根据权利要求 21 的设备,其中由所述至少一个第一装置提供的所述辐射的频率在所述第二特征周期内变化至多 100GHz。

37. 根据权利要求 21 的设备,其中所述第二周期短于所述第一周期的 1/10。

38. 根据权利要求 21 的设备,其中所述轴向反射轮廓在第一特征周期中被确定。

39. 根据权利要求 21 的设备,其中所述数据包括所述样本的偏振属性。

40. 根据权利要求 21 的设备,其中所述至少一个波导第二装置包括至少一个光纤。

41. 一种用于提供与样本相关联的数据的方法,包括:

向所述样本提供至少一个第一电磁辐射并且向参考物提供至少一个第二电磁辐射,其中所述第一和第二电磁辐射中的至少一个电磁辐射的频率以第一特征周期随着时间反复地变化;

以第二特征周期随着时间反复地改变所述第一电磁辐射、所述第二电磁辐射、第三电磁辐射或第四电磁辐射中的至少一个电磁辐射的偏振状态;以及

根据所述偏振状态来提供用于对所述样本的至少一部分进行成像的所述数据,

其中所述第三电磁辐射与所述至少一个第一电磁辐射相关联并且所述第四电磁辐射与所述至少一个第二电磁辐射相关联,并且其中所述第二特征周期短于所述第一特征周期。

42. 一种用于提供与样本相关联的数据的方法,包括:

利用至少一个第一装置向所述样本提供至少一个第一电磁辐射并且向参考物提供至少一个第二电磁辐射,其中由所述至少一个第一装置提供的辐射的频率以第一特征周期随着时间反复地变化;

组合第三电磁辐射和第四电磁辐射,以确定所述样本的至少一部分的轴向反射轮廓,其中所述第三电磁辐射与所述至少一个第一电磁辐射相关联,以及所述第四电磁辐射与所述至少一个第二电磁辐射相关联;

以第二特征周期随着时间反复地改变所述第一电磁辐射、所述第二电磁辐射、所述第三电磁辐射或所述第四电磁辐射中的至少一个电磁辐射的偏振状态;以及

根据所述偏振状态来提供用于对所述样本的至少一部分进行成像的所述数据,其中所述第二特征周期短于所述第一特征周期。

## 用于样本的偏振敏感光频域成像的方法、装置和系统

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请基于 2006 年 4 月 5 日提交的序列号为 60/789,739 的美国专利申请,并且要求该美国专利申请的优先权,该美国专利申请的全部公开内容通过引用结合于此。

[0003] 关于联邦赞助研究的声明

[0004] 导致本发明的研究至少部分地由国家健康协会 -NCRR 的第 R019768 号基金以及国家健康协会 -NEI 的第 EY014975 号基金所支持。因此,美国政府可以享有本发明的某些权利。

### 技术领域

[0005] 本发明涉及利用光学显微镜来获得与解剖结构或样本相关联的信息的方法、装置和系统,更具体地,涉及提供解剖结构 / 样本的偏振敏感光频域成像的方法、系统和装置。

### 背景技术

[0006] 光频域成像 (OFDI) 技术也可以被称为扫描源或傅立叶域光学相干断层扫描 (OCT) 技术,是通常使用扫描激光源的 OCT 过程。例如,光束聚焦到组织内,并且当源激光波长快速地并反复地扫描时,通过检测组织样本和参考物之间的光谱分辨干涉来确定从不同深度的组织微结构反射的光的回波时间延迟和振幅。信号的傅立叶变换通常沿轴线 (例如 A 线) 形成图像数据。当成像束在与轴线正交的一个或两个方向上横向扫描通过组织时,连续地得到 A 线。由此产生的二维或三维数据集可以以任意取向被再现或察看以便进行总体筛查,并且可以在感兴趣的特定位置显示单独的高分辨率的横截面。这个示例过程允许临床医生察看活体病人的组织的微观内部结构,促进或实现从疾病研究和诊断到术中组织鉴定和图像引导治疗的广泛临床应用。

[0007] OFDI 中的对比机制通常是由样本或组织内的空间折射率变化引起的光学背反射 (back reflection)。结果可能是所谓的强度图像 (intensity image),所述强度图像可以以范围通常从 2 到 20  $\mu\text{m}$  的空间分辨率来指示深度达到几个毫米的组织的解剖结构。尽管强度图像可以提供大量的形态信息,但是组织内的双折射可以提供在比如量化组织内的胶原含量和评估涉及组织内双折射变化的疾病等几种应用中更有用的另一种对比。已经使用了所谓偏振敏感 OFDI 或 OCT 的特定方法和装置。在传统的方法中,当探测束横向地扫描通过样本时,探测束的偏振状态在连续轴线 (A 线) 扫描过程中可以在两个状态之间交替。每一对连续偏振测量可以通过矢量分析而形成样本的单轴双折射轮廓。这种传统的方法利用了样本中的探测束在两个 A 线扫描之间的大范围交叠来避免散斑引起的错误。因此,可以探究在双折射测量的精确度和图像获取速度之间的折中。此外,由于 A 线扫描之间的相对长的延迟,传统方法对于样本或导管的机械运动可能是敏感的。

[0008] 示例的用于获取偏振敏感信息的系统和方法在第 6,208,415 号美国专利中描述。示例的 OFDI 技术和系统在第 PCT/US04/029148 号国际申请中描述。确定组织的偏振属性的方法和系统在第 PCT/US05/039374 号国际申请中描述。利用示例的 OFDI 技术,实施

平衡检测可能是所希望的。然而,平衡检测可能使偏振灵敏度和偏振分集 (polarization diversity) 的光纤实现变得复杂,因为两个平衡的信号通道可以具有不同的偏振状态。

[0009] 因此,需要克服在上文描述的不足。

## 发明内容

[0010] 为了处理和 / 或克服上面描述的问题和 / 或不足,可以提供具有例如平衡检测模式能力的系统、装置和过程的示例实施例,其中通道不是通过两个信号传送通道来平衡,而是通过信号传送通道和参考通道来平衡。

[0011] 例如,根据本发明的示例实施例,可以提供用于偏振敏感 OFDI 的方法、系统和装置,所述方法、系统和装置克服了前述的在高速 OFDI 应用中是重要的缺点。具体而言,可能相对于连续波长样本 (successive wavelength sample) 而不是相对于 A 线扫描来快速地交替探测束的偏振状态。这一示例技术可以允许每对偏振测量结果即时地 (每波长地) 被捕获,显著地减轻横向扫描速度和运动伪影的问题。根据本发明的另一示例实施例,可以使用能够独立地控制两个偏振状态之间的相位和群延迟的快速偏振调制器。本发明的示例实施例可以用于冠状动脉、胃肠道以及眼睛的临床体积测量成像。

[0012] 在本发明的一个示例实施例中,可以提供用于通过对来自样本的依赖于偏振的背反射的测量来执行对生物样本的横截面成像的装置、系统和方法。根据一个示例实施例,偏振调制装置可以用于在光源的每个波长扫描期间快速地且周期性地根据波长 (或时间) 来改变成像光束的偏振状态。例如,偏振调制器可以是电或声光调制器和 / 或双折射介质。

[0013] 根据本发明的另一示例实施例,可以提供用于获取与样本相关联的数据的装置和方法。例如,可以向样本提供至少一个第一电磁辐射并且向参考物 (例如,无反射参考物) 提供至少一个第二电磁辐射。这些辐射的频率可以以第一特征周期随时间反复地改变。另外,第一电磁辐射、第二电磁辐射、第三电磁辐射 (与第一辐射相关联) 或第四电磁辐射 (与第二辐射相关联) 的偏振状态可以以短于第一周期的第二特征周期随时间反复地改变。可以根据偏振状态来提供用于对样本的至少一部分进行成像的数据。另外或替代地,可以组合第三和第四电磁辐射以便确定样本的至少一部分的轴向反射轮廓。

[0014] 根据本发明的另一示例实施例,可以通过偏振源来提供第一和 / 或第二电磁辐射。可以利用偏振调制器、延迟干涉仪、移频器和 / 或双折射介质来得到偏振状态。可以提供偏振装置,所述偏振装置可以配置用于使第一、第二、第三和 / 或第四电磁辐射偏振。可通过偏振调制源来提供第一和 / 或第二电磁辐射并获得偏振状态。可以从样本提供第三电磁辐射,并且可以从参考物提供第四电磁辐射。

[0015] 在本发明的另一示例实施例中,可以在第一偏振状态下检测第三和第四辐射之间的第一干涉信号,并且在第二偏振状态下检测第三和第四电磁辐射之间的第二干涉信号,第一偏振状态和第二偏振状态彼此不同。可以将第一和第二干涉信号数字化,并且可以确定样本的至少一部分的偏振属性。第一和第二偏振状态可以相对于彼此近似正交。

[0016] 根据本发明的另一示例实施例,可以生成样本的偏振属性的至少一个图像。偏振属性可以包括双折射、双折射轴、衰减 (diattenuation) 和 / 或衰减轴。

[0017] 根据本发明的另一示例实施例,第一特征周期可以比第二特征周期短大约 100 微秒。第一和 / 或第二电磁辐射扫描的频率在第一特征周期内改变大约至少 1 太赫兹,并且

/ 或者在第二特征周期内改变大约至多 100GHz。第二周期可以是第一周期的大约 1/10。

[0018] 当结合所附的权利要求考虑时,本发明的这些和其它目的、特性和优点可以通过阅读本发明实施例的以下详细描述而变得明显。

#### 附图说明

[0019] 本发明的更多目的、特性和优点将根据结合附图的以下详细描述而变得明显,所述附图示出本发明的示例实施例,其中:

[0020] 图 1 是示例性传统 OFDI 系统的配置的框图;

[0021] 图 2 是采用偏振分集检测装置 / 技术的另一传统 OFDI 系统的框图;

[0022] 图 3A 是另一传统偏振敏感 OFDI 系统的框图;

[0023] 图 3B 是图 3A 的 OFDI 系统所提供的偏振状态和输出的图;

[0024] 图 4A-4C 是根据本发明示例实施例的使用快速偏振调制技术的偏振敏感 OFDI 系统、方法和装置的状态、时钟输出和信号的图;

[0025] 图 5 是根据本发明示例实施例的信号处理技术和方法的概要流程图;

[0026] 图 6A 是根据本发明的偏振调制装置 / 系统的一个示例实施例的框图;

[0027] 图 6B 是根据本发明的偏振调制装置 / 系统的另一示例实施例的框图;

[0028] 图 6C 是根据本发明的偏振调制装置 / 系统的另一示例实施例的框图。

[0029] 图 6D 是根据本发明的偏振调制装置 / 系统的另一示例实施例的框图;

[0030] 图 7 是具有多于一个信号传送通道的平衡检测装置 / 系统的第一示例实施例的框图;

[0031] 图 8 是具有单个信号传送通道的平衡检测装置 / 系统的第二示例实施例的框图;

[0032] 图 9 是具有单个信号传送通道的平衡检测装置 / 系统的第三示例实施例的框图;

[0033] 图 10 是具有单个信号传送通道的平衡检测装置 / 系统的第四示例实施例的框图;

[0034] 图 11 是具有单个信号传送通道的平衡检测装置 / 系统的第五示例实施例的框图;

[0035] 图 12 是具有单个信号传送通道的平衡检测装置 / 系统的第六示例实施例的框图;

[0036] 图 13 是具有单个信号传送通道和无反射参考物的平衡检测装置 / 系统的第七示例实施例的框图;

[0037] 图 14 是具有单个信号传送通道和无反射参考物的平衡检测装置 / 系统的第八示例实施例的框图;

[0038] 图 15 是具有单个信号传送通道和无反射参考物的平衡检测装置 / 系统的第九示例实施例的框图;以及

[0039] 图 16 是具有单个信号传送通道和无反射参考物的平衡检测装置 / 系统的第十示例实施例的框图;

[0040] 在附图中,除非另有说明,否则同样的参考号和符号用来表示所示出的实施例的相似特征、元件、部件或部分。此外,尽管现在将参考附图来描述本发明,但是也将结合说明性实施例来描述本发明。意图是在不背离通过所附的权利要求所限定的本发明的确切范围

和精神的情况下,可以对所述实施例做出改变和修改。

### 具体实施方式

[0041] 图 1 说明了示例性传统 OFDI 系统的框图,如在 S. H. Yun 等人的“High-speed optical frequency-domain imaging”, Opt. Express 11, 2953-2963 (2003) 中所述,该 OFDI 系统包括光源 10、光纤干涉仪以及检测装置。光源 10 所提供的电磁辐射的输出波长可以在光谱范围内在时间上进行扫描。优选地,该调谐使得输出波数  $k$  作为时间的线性函数而给出。然而,通常  $k$  可以作为时间的非线性函数而给出,但此非线性可以在信号处理过程中被校正。干涉仪可以包括由单模光纤制成的熔接耦合器 (fused coupler) 20。耦合器 20 的一个端口 (port) 可以作为带有参考镜 24 的参考臂 22。耦合器 20 的另一端口可以作为连接到探头 40 的样本臂 30。探头 40 通常分别对去往和来自样本 44 的样本光 42 进行聚焦和采集。例如,光源 10 的输出可以被单独地偏振。

[0042] 偏振控制器 50 可以用于对准从镜 24 返回的参考光和从组织 44 返回的采样光之间的偏振状态。可以利用光检测器 60 来测量参考和样本光之间的干涉信号。检测器信号可以利用模拟到数字板 70 被数字化,并且在计算机 72 上被处理并转换为图像。可以在时间上均匀地采样检测器输出,并且进行对采样数据的插值以在离散傅立叶变换前在线性  $k$  空间生成干涉信号。可替代地,可以以非均匀采样时间间隔来在  $k$  空间中线性地采样检测器信号。图像中的轴线 (A 线) 可以通过对在光源 10 的每个波长扫描期间获取的数字数据进行离散傅立叶变换来获得。通过在探测束 42 横向扫描通过样本 44 时获取多个 A 线,可以生成横截面图像。使用单个图像检测器 60 可能导致主要是样本光中与参考偏振状态对准的偏振分量可以被检测到,而正交偏振分量将可能丢失。然而,偏振分集可以解决这个问题。

[0043] 图 2 示出了另一传统 OFDI 系统,其采用偏振分集方案,在本图中所提供的相同参考号与以上相对于图 1 所描述的这样的部件 / 特征相关联。该传统系统还包括声光移频器 100、102 和磁光环行器 106、108。可以不需要移频器 100、102 中的一个。移频器 100、102 可以消除干涉信号中正和负深度之间的模糊,有效地增大深度范围。可以利用 50/50 熔接耦合器来组合从参考镜 24 和样本 44 返回的光。偏振分集检测在虚线框 120 中示出。耦合器 20 的每个输出端口可以经由偏振控制器 136 和 / 或 138 而连接到偏振束分路器 130 和 / 或 132。偏振控制器 136、138 允许来自耦合器的两个光纤路径的双折射在偏振分路器 130、132 以大约相等的比率与参考光匹配。在分路器之后的标记为  $x$  或  $y$  的相应偏振状态可以被定向到双平衡检测器 140、142。可以用两通道模拟到数字板 150 和计算机 152 对检测器信号进行低通滤波和数字化。两通道数据可以被独立地处理以提供两个强度图像。这两个强度图像可以加到一起以产生其中偏振导致的伪像大大受抑制的偏振分集图像。

[0044] 作为对比,偏振敏感 OCT 是一种可以用于利用组织双折射来获取组织的至少一部分的横截面图像的技术,如在第 6, 208, 415 号美国专利中所述。例如,可以使用偏振调制器,其使进入样本的光的偏振状态在庞加莱球 (Poincare sphere) 中彼此正交的两个状态之间交替,即在下文中被称为“半正交”偏振状态的关系。两状态对的例子可以是相对于彼此呈 45 度角的线性偏振状态,例如  $X$  和  $X+Y$  状态。这使得两个输入偏振状态中的至少一个偏振状态与组织的双折射轴对准,有助于依赖于深度的双折射测量。PS-OCT 的原理和信号



处理算法在本领域是公知的。

[0045] 类似的技术可以与 OFDI 系统一起使用,如在 J. Zhang 等人的“Fullrange polarization-sensitive Fourier domain optical coherencetomography”, Optics Express 12, 6033-6039 (2004) 中所述,利用了如在第 6, 208, 415 号美国专利中提供的扫描激光器。例如,图 3A 示出了以上引用的 Zhang 的发表文章中描述的另一传统系统的框图,在该图中所提供的相同参考号与以上相对于图 1 和图 2 所描述的这样的部件 / 特征相关联。例如,可以在源臂 30 中设置电光偏振调制器 170。该装置 170 可以在时间上周期性地在两个“半正交”偏振状态之间调制源光的偏振状态,如图 3B 所示。调制周期可以同步于波长扫描。检测端口可以包括偏振束分路器 180 和两个或多个光检测器 190、192。可以利用偏振控制器 50 来控制参考光的偏振状态,以在偏振分路器 180 以相等强度分开所述参考光。可以以两通道模拟到数字转换器 150 和计算机 152 来采集干涉信号。在完整的偏振调制周期期间的每对连续偏振测量结果可以通过本领域公知的矢量分析来形成样本的单轴双折射轮廓。该示例技术的一个缺点是其依赖样本中的探测束在两个 A 线扫描之间的大范围交叠来避免散斑导致的错误。此外,由于在 A 线扫描之间相对长的延迟,这种技术可能对样本或导管的机械运动敏感。

[0046] 因此,有益的是在双折射测量的精度和图像获取速度之间取得平衡,以及处理其它不足。

[0047] 根据本发明的一个实施例,至少一些上述不足可以被克服,这在高速 OFDI 应用中是有益的。例如,在每个 A 线扫描期间调制探测束的偏振状态可能是有益的。图 4 描绘了这种构思。如在图 4A 中所示,探测束的偏振状态可以在例如彼此半正交两个状态之间周期性地变化。调制频率可以基本上高于波长扫描或 A 线扫描的频率。调制频率可以优选地是采样率的一半或四分之一,使得两个相邻的采样可以与探测束的两个不同偏振状态相关联。

[0048] 图 4B 示出了另一个可能的示例调制形式,即正弦调制。在庞加莱球中的周期之后,偏振状态可以在 X 和 Y 状态之间变化。在这个示例中,调制频率可以是采样率的四分之一。因而,在一个调制周期中可以获取 4 个样本。如图 4C 的曲线图所示,假设在波长扫描周期或单个 A 线扫描期间总共获取  $4N$  个样本,第一组 4 个样本可以标记为从 1 到  $1''$ ,下一组可以标记为从 2 到  $2''$ ,并且最后一组可以设置为从  $N$  到  $N''$ 。如在图 5 中示出的根据本发明的方法的实施例的流程图中所示,组可以用四个群  $(1, 2, \dots, N)$ 、 $(1', 2', \dots, N')$ 、 $(1'', 2'', \dots, N'')$ 、 $(1''', 2''' \dots, N''')$  来解调。结果可以提供强度和 / 或双折射图像。例如,解调可以在时域或频域中进行。每个群被处理以产生与不同偏振状态相关联的图像。利用公知的矢量分析,可以确定双折射量值、双折射轴线以及衰减的空间映射。

[0049] 根据本发明的实施例的该示例方法和技术可以通过以合适的电压驱动器操作偏振调制器 170 来实施。例如,谐振电光调制器可以被用于正弦调制。图 6 描绘了偏振调制的替选方案。图 6A 示出了根据本发明的系统的示例实施例的框图,所述系统在样本臂 30 内使用了正的双折射延迟件 200,在该图中所提供的相同参考号与以上相对于图 1 和图 2 所描述的这样的部件 / 特征相关联。该示例双折射延迟件 200 可以包括光纤干涉仪和 / 或自由空间干涉仪,所述光纤干涉仪和 / 或自由空间干涉仪可以包括两个或多个偏振束分路器 210、212。臂 220、222 的偏振状态可以彼此正交。

[0050] 这一示例装置在源的波长变化时可以有效地导致偏振调制。臂 210、212 之间的延

迟  $\Delta L$  可以被选择成满足等式  $\Delta L * \Delta k = \pi / m$ , 其中  $\Delta k$  表示两个相邻样本或空间采样间隔之间的波数差, 并且  $m$  是整数。对于  $m$  非整数也是可能的, 并且可以使用频域解调。然而, 优选地, 例如  $m = 1$  或  $2$ 。根据本发明的另一示例实施例, 双折射延迟件可以是具有  $\Delta L = \Delta n * L$  的一段高双折射光纤, 其中  $\Delta n$  表示在两个本征偏振状态之间的折射率差, 而  $L$  是该光纤的长度。到双折射延迟件的输入偏振状态可以被调节以使得延迟装置的每个本征状态由相等的功率激励。图 6B 描绘了根据本发明的偏振调制装置的另一示例实施例的示意图, 所述偏振调制装置包括光纤干涉仪。例如, 在图 6B 中示出的偏振控制器 240、242 (其用于图 6A 的双折射延迟件 200) 可以调节成使两个臂的偏振状态彼此半正交。两个半正交状态之间的延迟优选地满足  $\Delta L * \Delta k = \pi / 2$ 。

[0051] 在图 6A 和 6B 中示出的示例实施例中, 偏振调制可以通过在两个偏振状态之间引起群延迟来实现。当扫描源 10 的相干长度有限时 (通常是这种情况), 这些示例装置可以产生显著的信噪比 (SNR) 降级, 因为可见度由于光学延迟而降低。为了处理这个问题, 可以使用根据本发明的另一示例实施例的偏振调制装置, 该偏振调制装置不依赖于群延迟, 而是考虑相位延迟。例如, 如图 3A 中示出的电光调制装置可以根据本发明被使用以引起基本上零或非常小的群延迟。

[0052] 图 6C 示出了本发明的另一示例实施例, 其使用声光移频器 250、252 以在两个偏振状态之间引起连续的相位延迟, 其被用做图 6A 的双折射延迟件 200。例如, 如图 6C 所示, 可以在参考臂 22 中采用另一个移频器 154。使用图 6C 的装置的示例操作模式可以如下: (a) 移频器 250 可以产生上移  $f_s/8$ , 其中  $f_s$  是采样率, 移相器 252 可以产生上移  $f_s/4$ , 而参考移相器 254 可以产生零频移; 和 / 或 (b) 由装置 250、252、254 移动的频率的量值可以分别为零、 $+f_s/8$  和  $-f_s/8$ 。例如, 与两个不同的偏振状态相关联的两个图像可以在傅立叶域被分离并且进一步被处理以获取双折射信息或图像。根据本发明的另外的可选示例处理过程可以包括在频域解复用之前的背景减除 (background subtraction)、插值、开窗或振幅补偿。信号可以可选地被进一步补偿以去除由获取导致的任何伪像。以此方式, 由于移频器或调制装置中两个臂之间的精确长度差导致的信号之间的相位变化可以得到处理。

[0053] 图 6D 示出本发明的另一示例实施例, 其使用声光移频器 250、252 以便在两个偏振状态之间引起连续的相位延迟, 其被用于图 6A 的双折射延迟件 200。可以在参考臂 22 中采用另一个移频器 254。装置 / 系统的示例实施例的该示例部分可以利用第一偏振束分路器 256 来将输入束分为具有相互正交的偏振状态的两个束  $x$ 、 $y$ 。通过移频器 250、252 之后, 利用第二偏振束分路器 258 来组合两个束  $x$ 、 $y$ 。这个装置的组合光输出具有作为波长或时间的函数的快速偏振改变。如先前段落中所述的类似方法可以被用于解调干涉信号。解调可以在时域或频域进行。

[0054] 用于在多于一个偏振的基础上检测干涉信号的各种配置在本领域是公知的。这些配置可以采用偏振束分路器和多个检测器。参考束可以以例如相等的功率被分到检测器中。可实现双平衡检测以抑制光源的强度噪声和自干涉噪声。用于同时偏振敏感和双平衡检测的基于光纤和自由空间的各种方案在本领域也是公知的。

[0055] 如上所述, 利用 OFDI 技术和结构, 实施平衡检测技术可以是所希望的。然而, 平衡检测技术可能使偏振灵敏度和偏振分集的光纤实现变得复杂。这可能是由于利用平衡检测技术和装置, 平衡的两个信号通道可以具有不同的偏振状态。

[0056] 图 7 示出了具有多于一个信号传送通道的平衡检测装置 / 系统的第一示例实施例的框图, 并且更详细地图示了利用具有信号传送通道的平衡检测技术 / 装置的缺点。例如, 从源 10 发射出的电磁辐射或光可以被连接或转发到偏振控制器 400, 所述偏振控制器 400 可以可选地连接到偏振调制器和 / 或双折射材料 405 (和 / 或图 6B 或 6C 中示出的实施例的部分)。环行器 106 可以可选地将电磁辐射 / 光引导到偏振调制器和 / 或双折射材料 410 (和 / 或图 6B 或 6C 中示出的示例实施例的一个或多个部分)。熔接耦合器 20 可以将电磁辐射 / 光引导到经由可选地偏振调制器和 / 或双折射材料 412 (和 / 或图 6B 或 6C 中描绘的实施例的一个或多个部分) 的样本臂 30 和具有可变衰减器和 / 或偏振控制器 430 的参考臂 22。

[0057] 熔接耦合器 420 可以组合从样本臂 30 和参考臂 22 返回的电磁辐射 / 光, 并将该组合的信号 / 光 / 辐射分离为 A、B 两个部分以用于平衡检测。偏振束分路器 130、132 可以将组合的信号 / 光 / 辐射分离到平衡检测器通道对 D1 (140)、D2 (142)。A、B 两段都可以传送参考臂 22 的干涉信号和具有相反相位的样本臂 30 的干涉信号。可以在段 A、B 之后提供的偏振分路器分别将干涉信号分离为正交偏振。在理想的示例情况下, 平衡检测通道 (D1) 140 可以用相反的相位和相同的偏振状态来平衡干涉信号。对于平衡检测通道 (D2) 142 可以出现同样的情况。然而, 由于在段 A、B 中对于段 A、B 来说是不同的偏振状态的可能交替, 平衡检测通道 (D1) 140、(D2) 142 可能在平衡不相同的偏振状态。

[0058] 如图 7 所示及以上所述, 其中不经历不同偏振状态的平衡检测装置 / 系统 / 技术是所希望的。例如图 8-16 和以下相关描述图示和描述了平衡检测装置 / 系统 / 技术的各种示例实施例, 其中通道不必通过两个信号传送通道来平衡, 而是可能通过信号传送通道和参考通道来平衡。在这些示例性的平衡检测实施例中, 来自源的相对强度噪声可以通过这些示例装置 / 系统 / 技术被抑制。

[0059] 例如, 在示出了具有单个信号传送通道的平衡检测装置 / 系统的第二示例实施例的框图的图 8 中, 光源 10 可以连接到偏振控制器 400, 所述偏振控制器 400 连接到可选的偏振调制器和 / 或双折射材料 405 (和 / 或图 6B 或 6C 中示出的示例实施例的一部分)。电磁辐射 / 光可以被引导到环行器 106, 环行器 106 可以将电磁辐射 / 光引导到熔接耦合器 20, 熔接耦合器 20 可以将电磁辐射 / 光分离到样本臂 30 和参考臂 22 中。来自样本臂 30 的电磁辐射 / 光可以通过熔接耦合器 20 传播回来, 其中其可以与从样本臂 30 反射的电磁辐射 / 光相干涉, 并由环行器 106 引导至偏振控制器 400 和偏振分路器 440, 偏振分路器 440 将电磁辐射 / 光分离成正交状态。干涉条纹可以由平衡检测器 (D1) 140、(D2) 142 检测到。

[0060] 参考臂 22 的电磁辐射 / 光可以耦合到熔接耦合器 450, 熔接耦合器 450 可以将大部分电磁辐射 / 光引导到偏振器 460。在反射时, 电磁辐射 / 光可以通过另一偏振器 460 和另一熔接耦合器 450 而传播回来, 并且可以被分离到与熔接耦合器 20 耦合的参考臂部分中, 以便与样本臂 30 相干涉。另外的部分可以是用于平衡检测的无信号传送参考通道, 其可以被引导到可变衰减器和 / 或偏振控制器 430, 并且可以形成用于平衡接收器 (D1) 140、(D2) 142 的平衡信号。如图 8 所示, 平衡接收器接收一个信号传送通道和一个不传送信号但是可能可以平衡源 10 的电磁辐射 / 光的相对强度噪声的参考通道。

[0061] 在示出了具有单个信号传送通道的平衡检测装置 / 系统的第三示例实施例的框图的图 9 中, 熔接耦合器 450 的替选端口可以用于无信号传送参考通道。

[0062] 在示出了具有单个信号传送通道的平衡检测装置 / 系统的第四示例实施例的框图的图 10 中, 无信号传送参考通道可以通过另一熔接耦合器 470 获得, 熔接耦合器 470 可以设置在环行器 106 之前。

[0063] 在示出了具有单个信号传送通道的平衡检测装置 / 系统的第五示例实施例的框图的图 11 中, 无信号传送参考通道可以通过另一熔接耦合器 480 获得, 熔接耦合器 480 可以设置在环行器 106 之后。

[0064] 在示出了具有单个信号传送通道的平衡检测装置 / 系统的第六示例实施例的框图的图 12 中, 无信号传送参考通道可以通过另一熔接耦合器 490 获得, 熔接耦合器 490 可以设置在偏振调制器和 / 或双折射材料 405 ( 和 / 或图 6B 或 6C 中示出的示例实施例的一部分 ) 之前。

[0065] 图 13 示出了具有单个信号传送通道和无反射参考臂的平衡检测装置 / 系统的第七示例实施例的框图。在这个示例实施例中, 熔接耦合器 500 可以将来自参考臂 22 的电磁辐射 / 光分离到被引导到衰减器和 / 或偏振控制器 430 的无信号传送参考, 以及被引导到偏振控制器 400 和另一熔接耦合器 510 的参考部分, 在具有单个信号传送通道和无反射参考的平衡检测装置 / 系统的第七示例实施例的框图中, 来自参考臂 22 和样本臂 30 的光相干涉。

[0066] 图 14 示出了具有单个信号传送通道和无反射参考臂的平衡检测装置 / 系统的第八示例实施例的框图。其中无信号传送参考通道通过熔接耦合器 470 获得, 熔接耦合器 470 可以设置在环行器 106 之前。

[0067] 图 15 示出了具有单个信号传送通道和无反射参考臂的平衡检测装置 / 系统的第九示例实施例的框图。例如, 无信号传送参考通道可以通过熔接耦合器 480 获得, 熔接耦合器 480 可以设置在环行器 106 之后。

[0068] 图 16 示出了具有单个信号传送通道和无反射参考臂的平衡检测装置 / 系统的第十示例实施例的框图。这一示例实施例中的无信号传送参考通道可以通过熔接耦合器 490 获得, 熔接耦合器 490 可以设置在偏振调制器和 / 或双折射材料 405 ( 和 / 或图 6B 或 6C 中示出的示例实施例的一部分 ) 之前。

[0069] 根据本发明的另一示例实施例, 可以通过自由空间传播或通过光纤例如单模光纤来提供一些、大多数或全部连接。

[0070] 由于这里的教导, 前述内容仅仅说明了发明的原理。对所述实施例的各种修改和选择对本领域技术人员将是明显的。事实上, 根据本发明的示例实施例的装置、系统和方法可以用于任何 OCT 系统、OFDI 系统、SD-OCT 系统或其它成像系统, 以及用于例如在 2004 年 9 月 8 日提交的国际专利申请 PCT/US2004/029148、2005 年 11 月 2 日提交的第 11/266, 779 号美国专利申请和 2004 年 7 月 9 日提交的第 10/501, 276 号美国专利申请中所描述的系统, 这些专利申请的公开内容通过引用而完整地结合于此。因而应理解, 本领域技术人员能够设计出大量的虽然没有明确地被示出或描述于此但实现了本发明的原理、因而也在本发明的精神和范围内的系统、装置和方法。另外, 就没有在以上通过引用明确地结合于此的现有技术知识来说, 其现在完整地结合于此。以上引用于此的全部出版物通过引用完整地结合于此。

现有技术

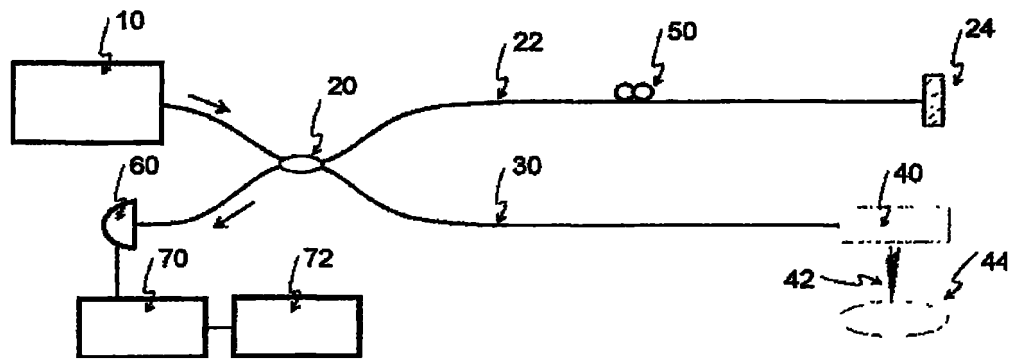


图 1

现有技术

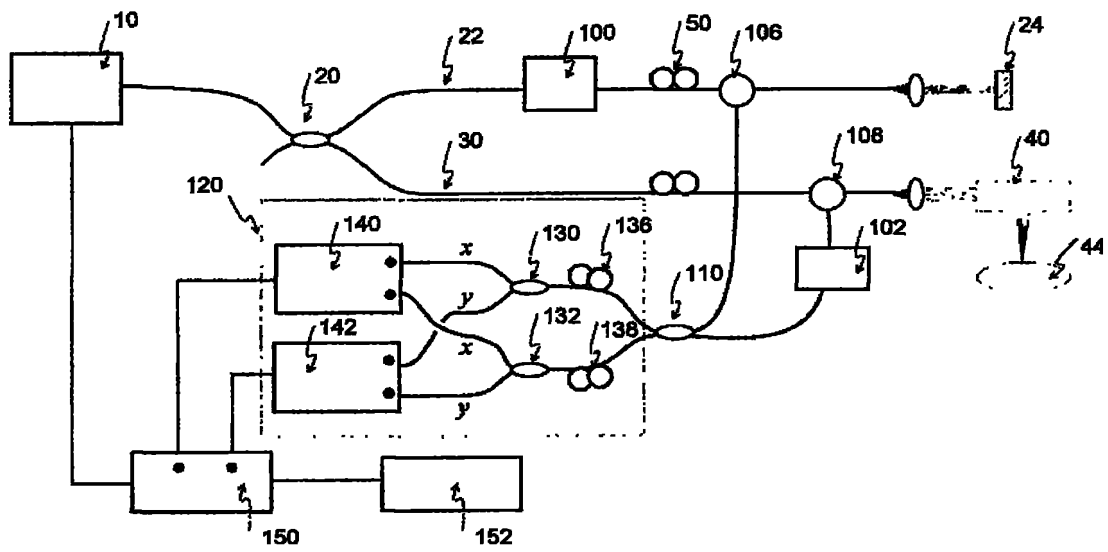


图 2

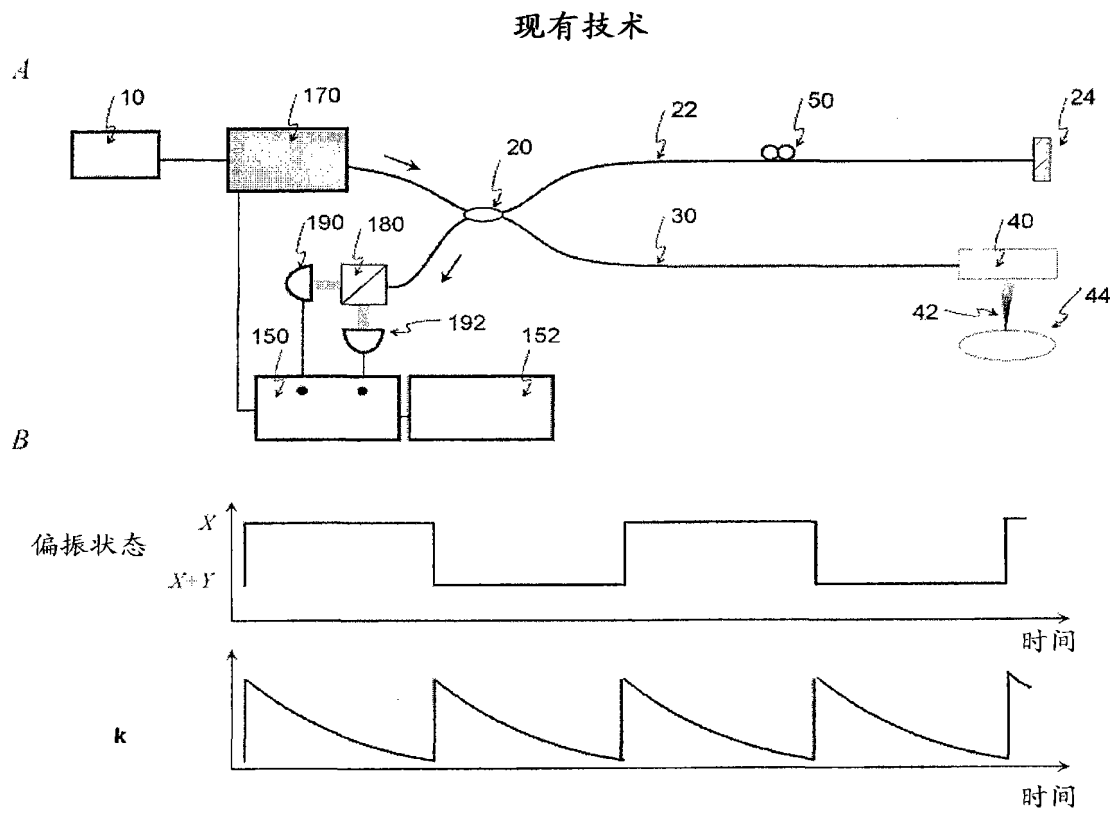


图 3

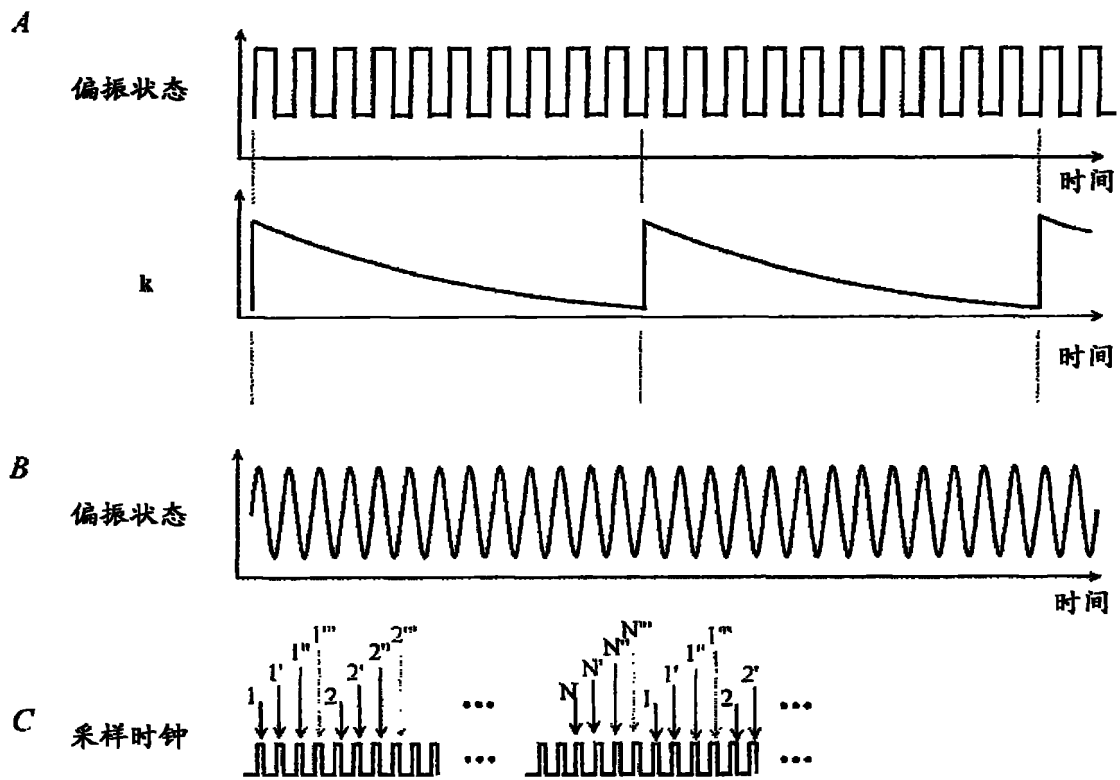


图 4

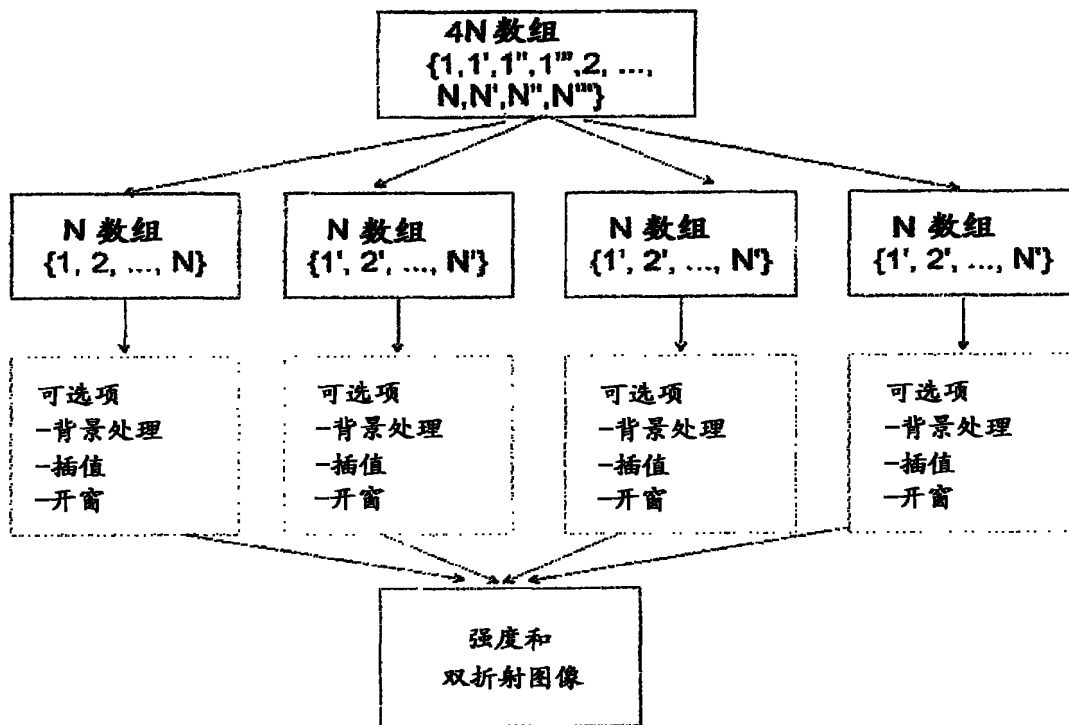


图 5



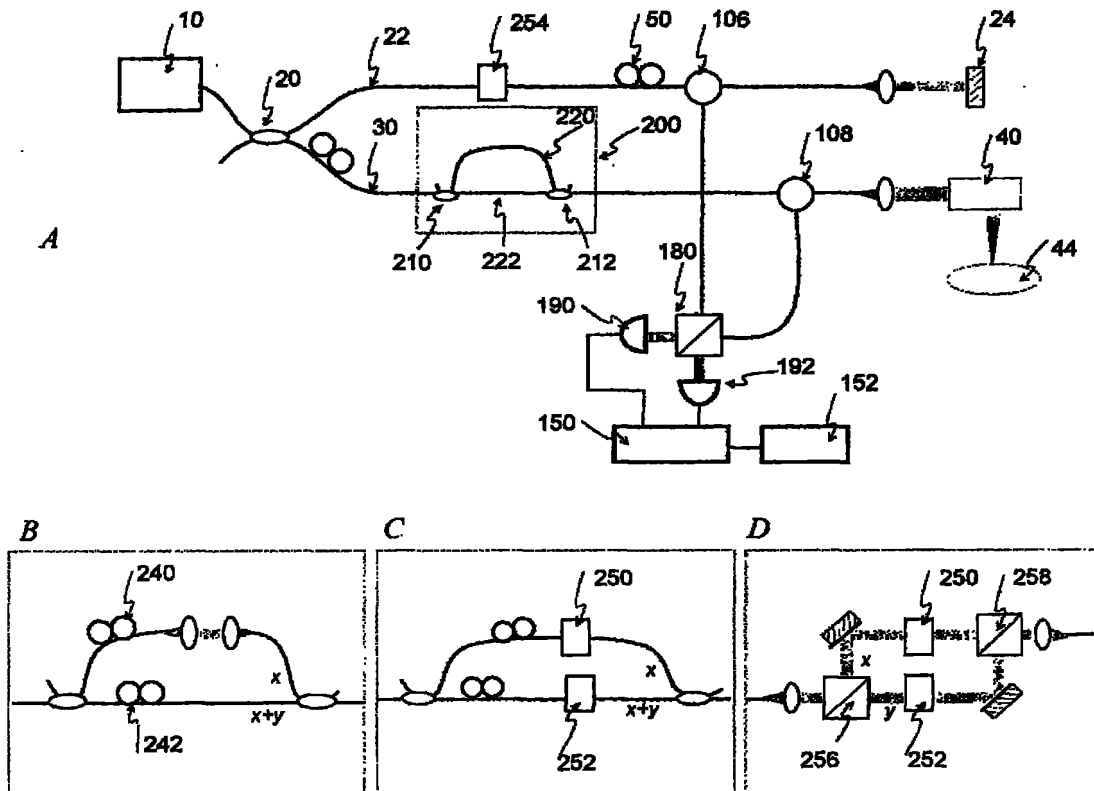


图 6

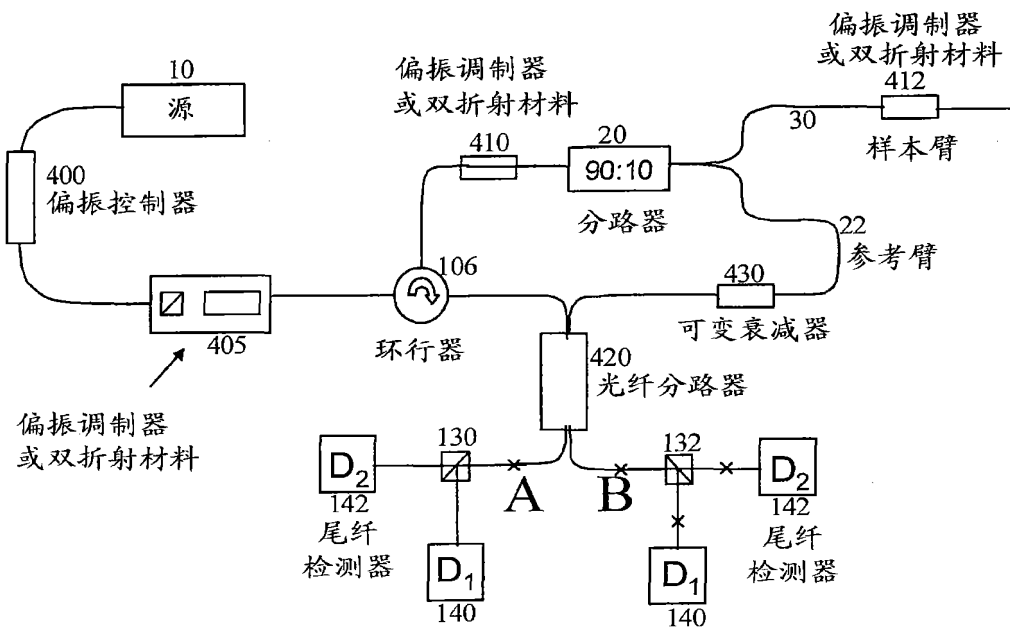


图 7

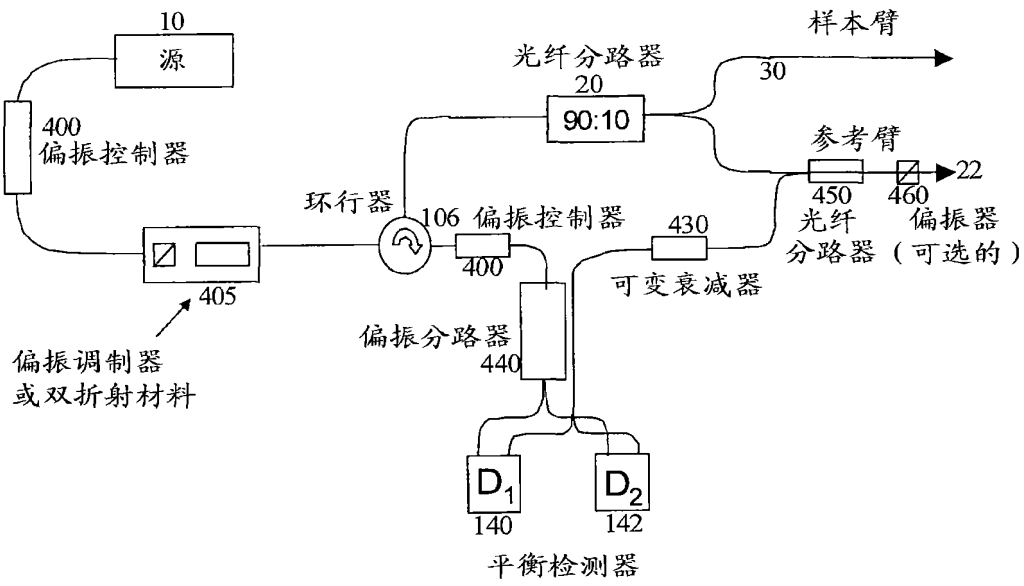


图 8

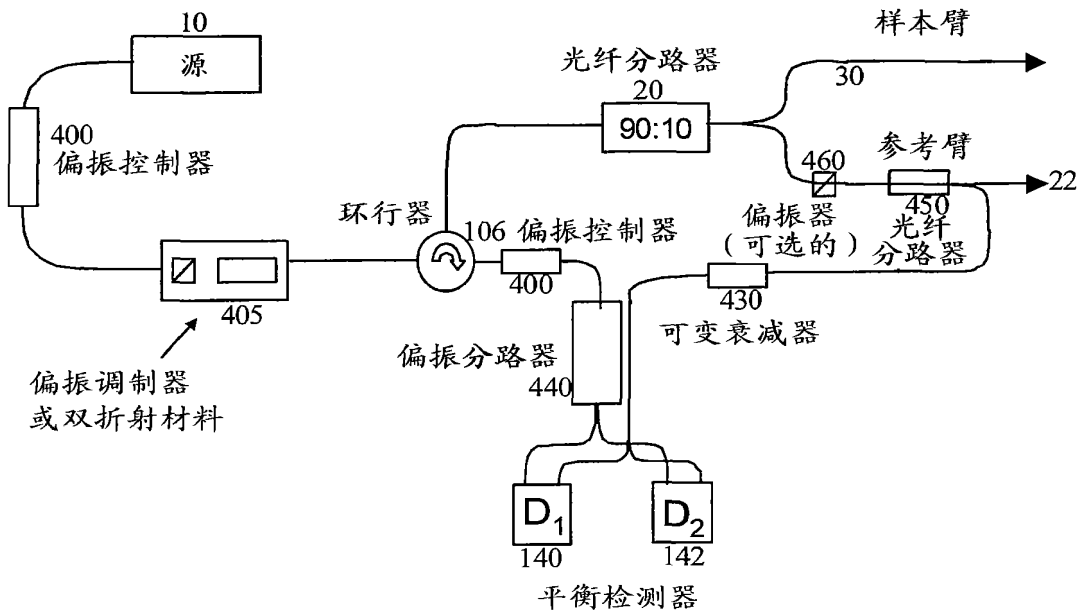


图 9

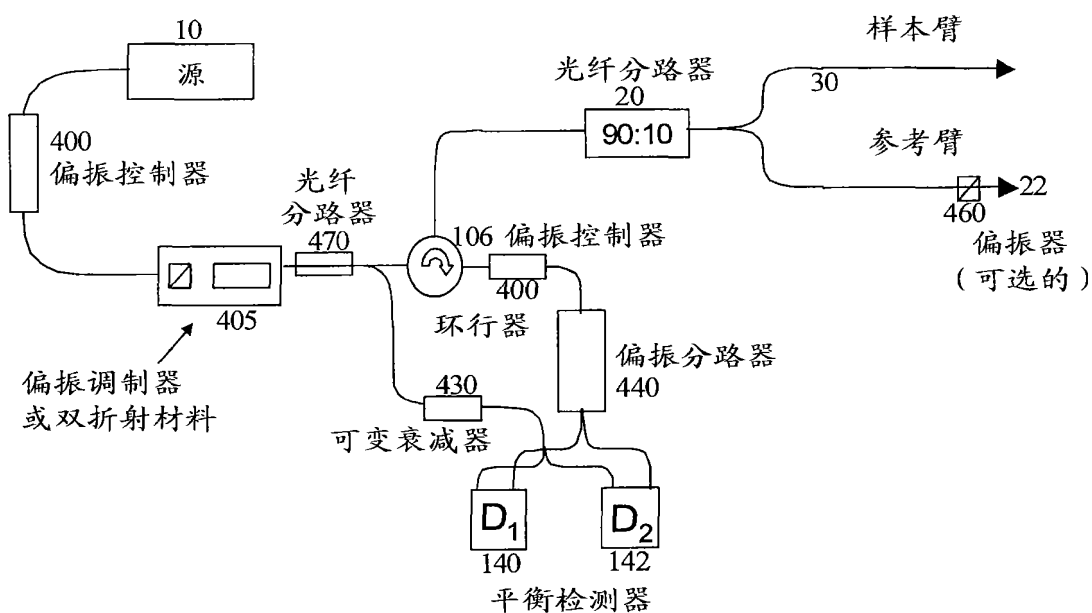


图 10

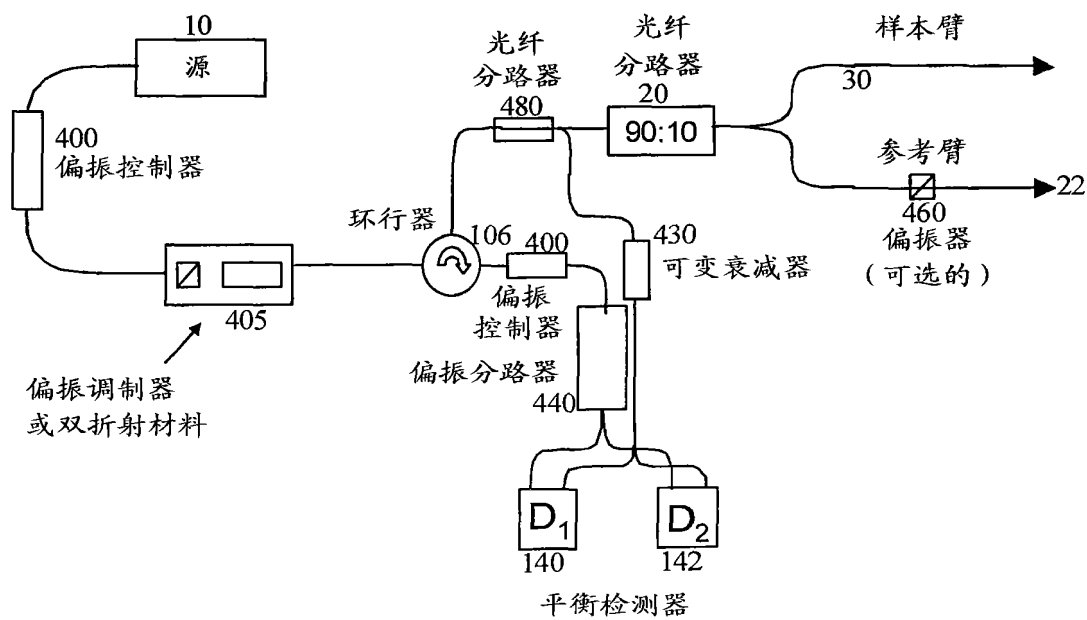


图 11

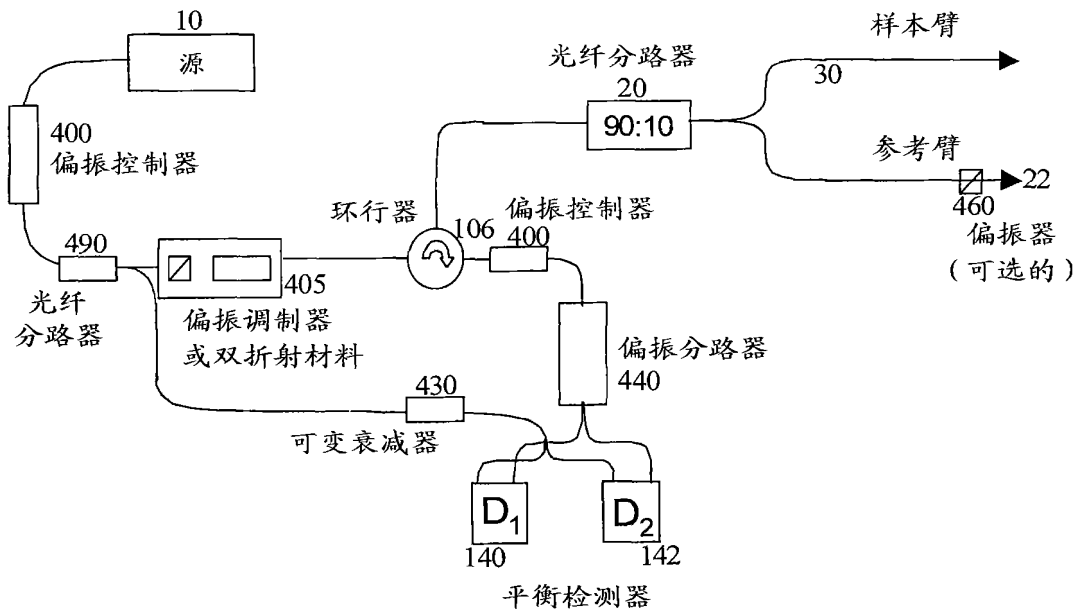


图 12

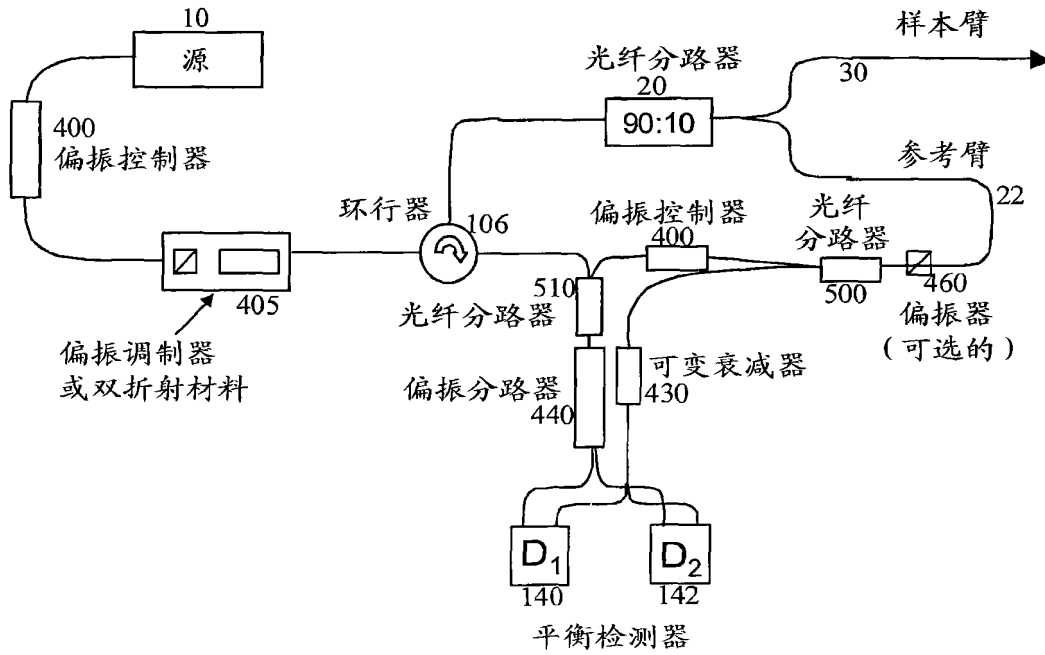


图 13

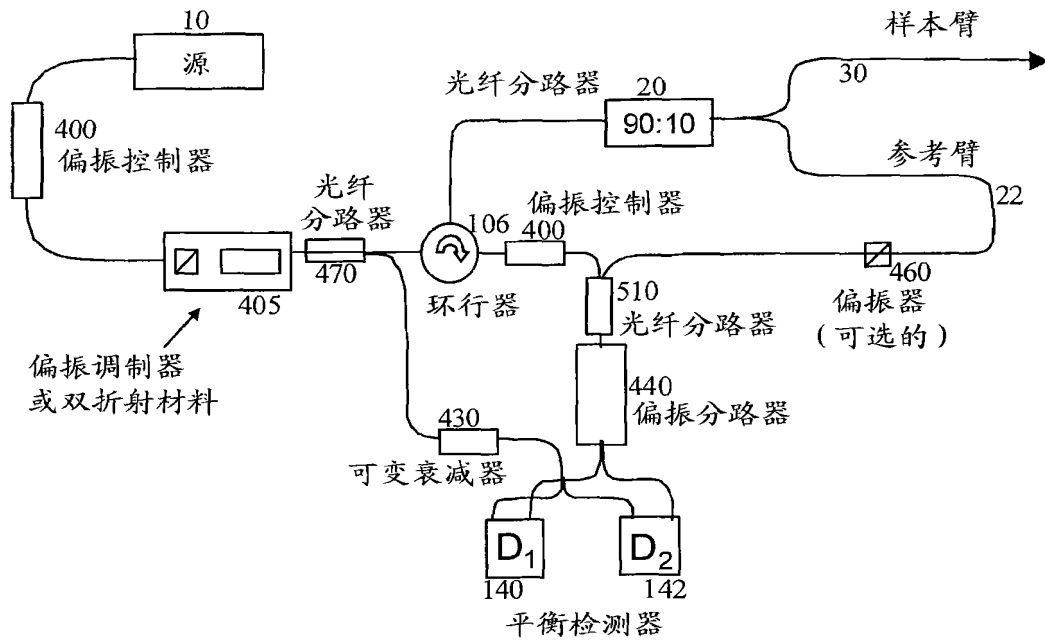


图 14

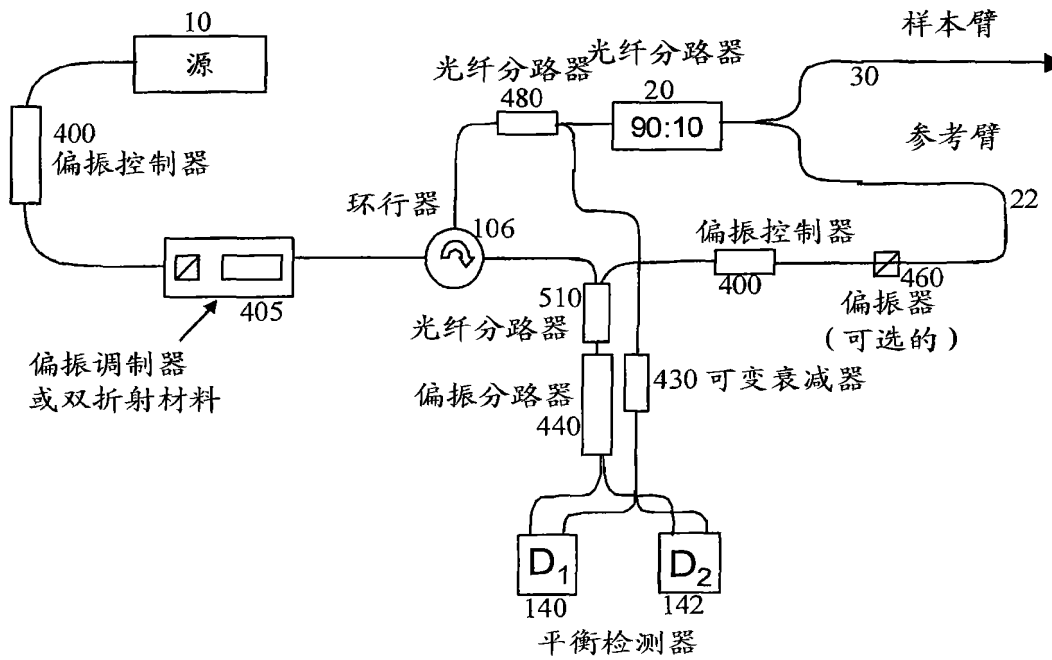


图 15

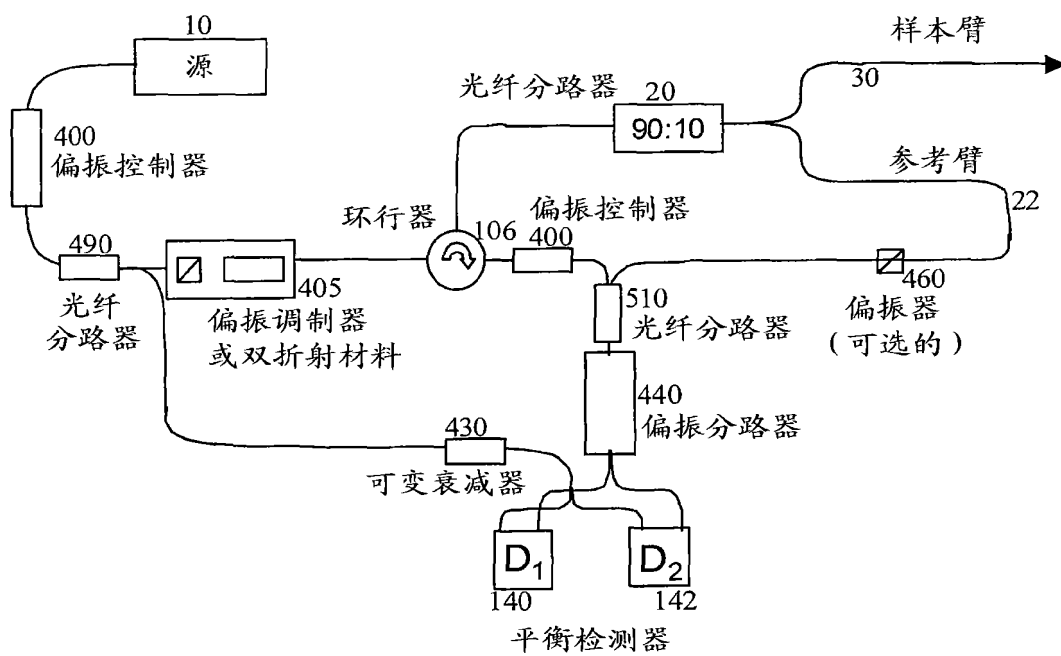


图 16