



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101617193 B

(45) 授权公告日 2013. 09. 18

(21) 申请号 200880005653. 1

(22) 申请日 2008. 02. 20

(30) 优先权数据

07102818. 7 2007. 02. 21 EP

(85) PCT申请进入国家阶段日

2009. 08. 20

(86) PCT申请的申请数据

PCT/EP2008/052072 2008. 02. 20

(87) PCT申请的公布数据

W02008/101959 DE 2008. 08. 28

(73) 专利权人 爱克发医疗保健公司

地址 比利时莫策尔

(72) 发明人 R·尼博西斯 R·朔伊尼曼

E·-G·科普

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

代理人 汤春龙 刘春元

(51) Int. Cl.

G01B 9/02(2006. 01)

(56) 对比文件

US 5847827 A, 1998. 12. 08,

WO 9533970 A, 1995. 12. 14,

US 2003076506 A1, 2003. 04. 24,

EP 0956809 A, 1999. 11. 17,

审查员 胡跃澜

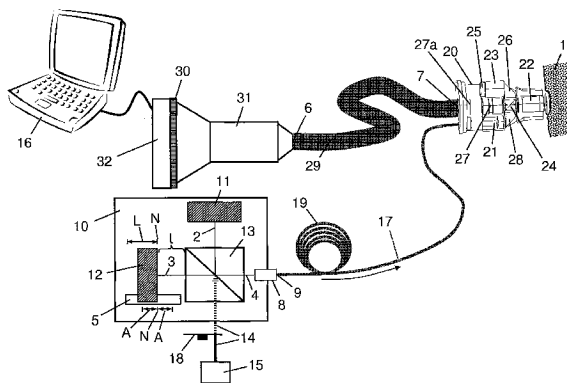
权利要求书2页 说明书20页 附图14页

(54) 发明名称

用于光学相干断层摄影的系统和方法

(57) 摘要

本发明涉及一种用于光学相干断层摄影的系统以及相应的方法,其具有干涉仪(10)和探测器(30),其中该干涉仪(10)用于输出照射样本(1)的光,该干涉仪(10)具有分束器(13)和距分束器(13)的光学距离(I)可变的至少一个反射器(12),其中探测器(30)具有在表面中设置的多个探测元件,由这些探测元件获取由样本(1)反射的光。为简化和加速获得样本(1)的三维图像,设置为反射器(12)距分束器(13)的光学距离(I)改变了光学路程(L),其中该光学路程(L)远远大于耦合到干涉仪(10)中的光(14)的平均波长(λ_0): $L \gg \lambda_0$,其中在将反射器(12)距分束器(13)的光学距离(I)改变光学路程(L)期间,由样本(1)反射的光由探测器(30)的探测元件多次获取,由此获取由样本(1)的不同深度中的多个二维截面反射的光。



1. 一种用于光学相干断层摄影的系统, 具有
 - 干涉仪 (10), 所述干涉仪 (10) 用于输出用以照射样本 (1) 的光 (4), 其中所述干涉仪 (10) 包括分束器 (13) 和至少一个反射器 (12), 所述至少一个反射器 (12) 距所述分束器 (13) 的光学距离 (I) 能够发生变化, 以及
 - 探测器 (30), 所述探测器 (30) 具有多个设置在表面中的探测元件 (80), 通过所述多个探测元件 (80) 获取由所述样本 (1) 反射的光,其特征在于,
 - 能够将所述反射器 (12) 距所述分束器 (13) 的所述光学距离 (I) 改变光学路程 L, 其中所述光学路程 L 远远大于耦合到所述干涉仪 (10) 中的光 (14) 的平均波长 λ_0 : $L \gg \lambda_0$, 以及
 - 在将所述反射器 (12) 距所述分束器 (13) 的所述光学距离 (I) 改变所述光学路程 L 期间, 由所述样本 (1) 反射的所述光由所述探测器 (30) 的所述探测元件 (80) 多次获取, 由此获取由所述样本 (1) 的不同深度 (T1-T3) 中的多个二维截面 (34-36) 反射的所述光。
2. 根据权利要求 1 所述的系统, 其中所述反射器 (12) 距所述分束器 (13) 的所述光学距离 (I) 周期地以幅度 (A) 来改变, 其中所述幅度 (A) 远远大于耦合到所述干涉仪 (10) 中的所述光 (14) 的平均波长 λ_0 : $A \gg \lambda_0$ 。
3. 根据权利要求 1 或 2 所述的系统, 其中将所述光学距离 (I) 改变所述光学路程 L, 其中所述光学路程 L 至少是耦合到所述干涉仪 (10) 中的所述光 (14) 的平均波长 λ_0 的 100 倍: $L \geq 100 \cdot \lambda_0$ 。
4. 根据权利要求 3 所述的系统, 其中将所述光学距离 (I) 改变所述光学路程 L, 其中所述光学路程 L 至少是耦合到所述干涉仪 (10) 中的所述光 (14) 的平均波长 λ_0 的 1000 倍: $L \geq 1000 \cdot \lambda_0$ 。
5. 根据权利要求 1 或 2 所述的系统, 其中所述反射器 (12) 和所述分束器 (13) 之间的所述光学距离 (I) 的所述改变以恒定的速度 (v) 实现。
6. 根据权利要求 1 或 2 所述的系统, 其中在将所述反射器 (12) 和所述分束器 (13) 之间的所述光学距离 (I) 改变所述光学路程 L 期间, 由所述样本 (1) 反射的所述光由所述探测器 (30) 在所述样本 (1) 的至少 100 个不同深度 (T1-T3) 中获取。
7. 根据权利要求 1 或 2 所述的系统, 其中所述反射器 (12) 是可移动的并且将所述反射器 (12) 距所述分束器 (13) 的所述光学距离 (I) 改变所述光学路程 L 是通过所述反射器 (12) 的移动实现的。
8. 根据权利要求 1 或 2 所述的系统, 其中设有样本物镜 (41), 通过所述样本物镜 (41) 使得由所述干涉仪 (10) 输出的光 (4) 在位于所述样本 (1) 中的焦点 (F) 中聚焦, 其中在获取所述样本 (1) 的不同深度 (T1-T3) 中分别反射的所述光期间, 所述样本物镜 (41) 的成像特性以这样的方式控制, 即, 使得所述焦点 (F) 位于所述样本 (1) 的每个深度 (T1-T3) 的范围 (K) 中。
9. 根据权利要求 1 或 2 所述的系统, 其中所述探测器 (30) 构造成二维探测器阵列, 其中所述多个探测器元件 (80) 这样设置在表面中, 即, 使得可同时获取所述样本 (1) 的特定深度 (T1, T2 或 T3) 中平面 (34, 35, 36) 的不同侧向位置中的多个反射, 使得可对所述样本 (1) 的特定深度 (T1, T2 或 T3) 中的每个平面 (34, 35, 36) 获取二维干涉图案 (60)。

10. 一种用于光学相干断层摄影的方法,其中

- 由干涉仪 (10) 输出用以照射样本 (1) 的光 (4),其中所述干涉仪 (10) 包括分束器 (13) 和至少一个反射器 (12),所述至少一个反射器 (12) 距所述分束器 (13) 的光学距离 (I) 能够发生变化,以及

- 由所述样本 (1) 反射的光由探测器 (30) 的多个设置在表面中的探测元件 (80) 获取,其特征在于,

- 将所述反射器 (12) 距所述分束器 (13) 的所述光学距离 (I) 改变光学路程 L,所述光学路程 L 远远大于耦合到所述干涉仪 (10) 中的光 (14) 的平均波长 λ_0 : $L \gg \lambda_0$,以及

- 在将所述反射器 (12) 距所述分束器 (13) 的所述光学距离 (I) 改变所述光学路程 L 期间,由所述样本 (1) 反射的光由所述探测器 (30) 的所述探测元件 (80) 多次获取,由此获取由所述样本 (1) 的不同深度 (T1-T3) 中的多个二维截面 (34-36) 反射的光。

11. 根据权利要求 10 所述的方法,其中由所述干涉仪 (10) 输出的光在位于所述样本 (1) 中的焦点 (F) 中聚焦并且在获取所述样本 (1) 的不同深度 (T1-T3) 中分别反射的光期间这样改变所述焦点 (F),使得所述焦点 (F) 始终位于所述样本 (1) 的每个深度 (T1-T3) 的范围 (K) 中。

12. 根据权利要求 10 或 11 所述的方法,其中通过所述多个在表面中设置的探测元件 (80),同时获取所述样本 (1) 的特定深度 (T1, T2 或 T3) 中平面 (34,35,36) 的不同侧向位置中的多个反射,使得对所述样本 (1) 的特定深度 (T1, T2 或 T3) 中的每个平面 (34, 35, 36) 获取二维干涉图案 (60)。

用于光学相干断层摄影的系统和方法

[0001] 本申请涉及一种根据权利要求 1 和 11 的前序部分的、用于光学相干断层摄影的系统以及相应的方法。

[0002] 光学相干断层摄影 (OCT) 是在其内部测量散光样本的方法。由于其散光特性,生物组织尤其适于通过 OCT 来诊断检查。由于光强度相对较小的 OCT 就足够,并且所应用的光的波长大多数在近红外线范围 (750nm 至 1350nm) 内,与离子化的 X 光诊断相反,OCT 对于生物组织无辐射负担。因而,其对于医学尤其重要并且几乎可与超声波诊断相提并论。代替声波,在 OCT 中应用具有极短相干长度的宽带光。在样本中的不同临界层上反射的光的驰行时间 (Laufzeit) 借助于干涉仪获取。典型地,利用 OCT 可达到比利用超声波高 1 至 2 个数量级的分辨率,然而可达到的测量深度明显更小。由于散光,所获取的横截面图像仅达到组织中的若干毫米深度。目前,OCT 最重要的应用领域是在眼科学、皮肤病学以及肿瘤诊断中。然而,也存在一些非医学应用,例如在材料检验中。

[0003] 由 W. Y. Oh 等在 OPTICS EXPRESS 第 14 卷第 19 (2006) 8675-8684 号中已知一类系统,其中待检测的样本设置在由计算机控制的、移动的平台。为了获得样本的三维图像,在平台的不同位置处获得样本的二维图像。由于随着实现移动平台而来的机械花费以及较高的空间要求,该系统仅在有限情况下适用于内窥镜检查法。此外,在不同的样本位置获得样本的二维图像相对比较耗费时间,这在活体 (其在一定的静止位置上仅能保持极短的时间) 上检测时会使得图像信息模糊。

[0004] 本发明的目的在于,提供用于光学相干断层摄影的系统以及相应的方法,其中可以以简单和快速的方式获得样本的三维图像。

[0005] 该目的通过根据权利要求 1 的系统以及根据权利要求 10 的相应方法实现。

[0006] 根据本发明的系统包括具有分束器和至少一个反射器的干涉仪以及探测器,其中反射器距分束器的光学距离是可变的,探测器具有在一个面中设置的多个探测元件,通过这些探测元件获取由样本反射的光,并且其特征在于,可将反射器距分束器的光学距离改变某光学路程,其中该光学路程远远大于耦合到干涉仪中的光的平均波长,其中在将反射器距分束器的光学距离改变了某光学路程期间,由样本反射的光由探测器的探测元件多次 (也即在多个时间) 获取,由此获取由样本的不同深度的多个二维截面反射的光。

[0007] 本发明基于如下考虑,即实现所谓的深度扫描或 Z 扫描,其中反射器距分束器的光学距离典型地改变 0.1mm 至若干毫米的宏观光学路程并因而利用二维探测器连续地获取由样本反射的光。基于反射器距分束器的光学距离的宏观改变,通过样本的深度范围 (其中满足出现干涉的相干条件) 迁移,使得由样本的深度中的单个平面反射的光可与由参考反射镜反射的光相干涉。分别出现的干涉现象由二维探测器获取、处理并最终组合出样本的三维图像。

[0008] 相干条件尤其指分别由样本和参考反射镜反射的光波必须相互间具有恒定的相位关系,以便可以相互干涉。由于耦合到干涉仪中的光通常具有极短的相干长度 (典型的 $10\ \mu\text{m}$), 仅在样本的特定深度或深度范围中满足恒定相位关系的条件,这也称为相干门 (Kohaerenz-Gate)。在宏观移动期间,反射器的每个位置相应于样本内的特定深度或特定

深度周围的范围,对于该特定深度或该特定深度周围的范围满足相干条件,使得可在由参考反射镜反射的光和样本的此深度中反射的光之间出现干涉。

[0009] 相对于由现有技术已知的系统和方法,可以以简单和快速的方式获取样本的三维图像。可尤其取消用于相对于干涉仪移动样本的平台。

[0010] 耦合到干涉仪中的光的平均波长典型地在红外光谱范围中,优选地在 750nm 和 1350nm 之间。在宽带光源情况下,光的平均波长优选地在这样的光谱范围中,其中光源具有最大强度。备选地,平均波长通过所有由光源发射的波长的平均值给出。优选地,耦合到干涉仪中的光的平均波长在这样的波长范围中,其中探测器具有极高的灵敏度,尤其是最高灵敏度。

[0011] 反射器距分束器的光学距离通过反射器距分束器的空间距离给出,其中该空间距离与位于反射器和分束器之间的介质的折射率相乘。在将干涉仪设计成所谓的自由射流干涉仪 (Freistrahl-Interferometer) (其中空气或真空位于反射器和分束器之间并且折射率大约等于 1) 时,反射器的光学距离以及光学路程(其中将光学距离改变该光学路程)与其空间距离和空间路程相同。在这种情况下,根据本发明的反射器光学距离的宏观改变通过将反射器宏观移动空间路程来实现,其中该空间路程远远大于耦合到干涉仪中的光的平均路程长度。备选地,可在将干涉仪设计为所谓的光纤干涉仪时,在反射器和分束器之间设有导光元件,尤其是设有导光光纤,其根据目的可将光学长度改变了光学路程。这些导光光纤也称作光纤架 (FiberStretcher)。在这种情况下,光学距离以及光学路程(将光学距离改变了该光学路程)通过由空间距离或空间路程(将空间距离改变了该空间路程)以及导光元件的折射率(其典型的在 1.5 范围内)的积给出。

[0012] 在本发明的优选实施中设置为,反射器距分束器的光学距离以一定的幅度周期地变化,其中该幅度远远大于耦合到干涉仪中的光的平均波长。由此,以简单的方式实现根据本发明的光学距离的改变。

[0013] 优选地,将光学距离改变了某光学路程或某幅度,其中该光学路程或幅度比耦合到干涉仪中的光的平均波长大 100 倍,优选地大 1000 倍。由此,在特别大的深度范围中实现待检测的样本的图像的获取。典型的光学路程或幅度在大约 0.1 毫米到若干毫米之间的范围中。

[0014] 有利地,以恒定的速度实现反射器和分束器之间的光学距离的改变。由此保证,二维截面以恒定的速度通过待检测的样本迁移。由此,可实现单个时间点(其中由样本反射的光通过探测器获取)与样本中二维截面的所属深度之间的简单对应关系。

[0015] 在本发明的优选方案中,在改变反射器和分束器之间的光学距离期间,由样本反射的光藉由探测器的探测元件从样本的至少 100 个不同深度中获取。以此方式达到,在光学距离改变时的循环移动期间获取来自待检测样本的不同深度的 100 个或更多个二维图像,这些二维图像最终可组合为样本的三维图像,所谓的断层图。由此,极大地降低了为获得样本的全三维图像而所需的时间。

[0016] 此外优选地,可移动地设置反射器并且将反射器距分束器的光学距离改变了光学路程或幅度是通过移动反射器来实现的。由此,以尤其简单的方式实现反射器距分束器的光学距离的改变。

[0017] 在本发明的其它有利变型中,设有样本物镜,通过样本物镜使得由干涉仪输出的

光在位于样本上或位于其中的焦点中聚焦,其中与根据本发明的反射器距分束器的光学距离的宏观改变和同时获得样本不同深度中分别反射的光同步,样本物镜的成像特性以这样的方式控制,即,使得焦点位于样本的各深度范围中。通过该所谓的焦点追踪达到在反射器的光学距离宏观改变期间从样本的不同深度获取的光始终以尽可能大的清晰度成像在设置在表面中的探测器的探测元件上。

[0018] 优选地,探测器构造为二维探测器阵列,其中多个探测元件以这样的方式设置在表面中,即可同时获取样本特定深度中平面的不同侧向位置的多个反射,使得对于样本的特定深度中的每个平面,可空间分辨地(orts aufgelöst)地获取二维干涉图案。优选地,探测器是 CMOS 技术的半导体探测器,典型地具有 640x512 个探测元件(像素)。基于根据本发明同时(“并行”)获取在样本特定深度中平面的不同侧向位置的多个反射,此类 OCT 也可称为“并行 OCT”

[0019] 本发明的另一有利方案是,干涉仪中耦合的光的强度利用调制频率 f_M 来调制,其中该调制频率 f_M 不等于多普勒频率 f_D ,其中多普勒频率 f_D 通过将反射器距分束器的光学距离改变了某光学路程的速度 v 与耦合的光的平均波长 λ_0 的比例的两倍给出: $f_M \neq f_D = 2 \cdot v / \lambda_0$ 。通过上述以与多普勒频率偏离(有利地相差量高达 $\pm 20\%$)的调制频率来将耦合光的强度进行调制,使得在调制和由样本输出的干涉信号之间产生低频差拍(Schwebung)。在通过探测器对差拍信号进行扫描时,基于差拍信号的较低频率,相比在对没有光强度调制的情况下对干涉信号进行扫描时,每个时间单元仅需要明显更少的扫描时间点。以此方式,在固定的、通过选择探测器给出的扫描速率时,相比没有以此方式进行光强度调制的情况时达到明显更高的深度扫描速度。

[0020] 根据本发明,利用干涉仪输出的光来照射样本应理解为由干涉仪(包括移动的反射器)输出的光直接与样本相遇或在通过设置在干涉仪和样本之间的另一干涉仪之后才与样本相遇。

[0021] 根据本发明,通过探测器或探测元件获取由样本(尤其是样本的不同深度)反射的光理解为探测器或探测元件获取干涉现象的光,其中该干涉现象在样本(尤其是在样本的不同深度中)反射的光与参考反射镜(Referenzspiegel)上反射的光叠加时形成。在此,光的叠加可在包括移动的反射器的干涉仪或另一干涉仪中实现。

[0022] 本发明以及本发明的其它有利方案在下文中借助于附图详细说明。其中:

[0023] 图 1 示出了根据本发明 OCT 系统的实施示例;

[0024] 图 2a-b) 示出了具有单个截面的样本的两个空间单元;

[0025] 图 3a-b) 示出了样本和第二干涉仪的样本臂的两个横截面;

[0026] 图 4 示出了第二干涉仪的光学部件的横截面;

[0027] 图 5 示出了自动校准焦点追踪时的干涉信号及其估算;

[0028] 图 6a-c) 示出了耦合到第一干涉仪中光强度未调制时和调制时的干涉信号及其包络线;

[0029] 图 7 示出了用于调制探测器灵敏度的电路的示例;

[0030] 图 8 示出了所谓的林尼克干涉仪的示例性结构;

[0031] 图 9a-c) 示出了样本物镜的 3 个不同位置以及分别得到的干涉图案;

[0032] 图 10a-b) 分别示出了输入平面区域中第一光导体的多模光纤的纵截面的部分;

[0033] 图 11 示出了第二光导体的光纤束的横截面的部分以及此部分的放大显示的部分区域；

[0034] 图 12 示出了探测面的部分；

[0035] 图 13 示出了探测面以及第二光导体的进入面和退出面；

[0036] 图 14a-b) 以横截面示出了第二光导体的设置的两个示例；

[0037] 图 15 示出了干涉图案以及与第二光导体的单根光纤对比的干涉图案的部分；

[0038] 图 16 示出了在进入面区域中第二光导体的光纤束的纵截面的部分；

[0039] 图 17 示出了第一运行模式中的探测面；

[0040] 图 18 使用深度截面示出了样本的空间单元；以及

[0041] 图 19 示出了在特定深度中具有二维断层图的样本的空间单元。

[0042] 图 1 示出了根据本发明用于 OCT 的系统的实施示例。在此系统的单个部件的所选的表示仅是示意性的，并未按照实际的尺寸比例绘制。

[0043] 第一干涉仪 10 具有固定设置的第一参考反射镜 11、移动的第二参考反射镜 12 和第一分束器 13。光源 15 的光 14 耦合到第一干涉仪 10 中，并且由第一分束器 13 分成在固定设置的第一参考反射镜 11 方向上的第一部分光束 2 和在移动的第二参考反射镜 12 方向上的第二部分光束 3。两个部分光束 2 和 3 由固定的第一参考反射镜和移动的第二参考反射镜 11 和 12 反射并且在第一分束器 13 中叠加成第三部分光束 4，该第三部分光束 4 在第一干涉仪 10 的输出部 8 的区域中耦合到第一光导体 17 中，由该第一光导体 17 引导至第二干涉仪 20 并且在此耦合到第二干涉仪 20 的照射臂 21 中。

[0044] 耦合到第一干涉仪 10 中的光 14 通过所述的光路结合第二参考反射镜 12 的移动进行光谱调制并且以第三部分光束 4 的形式离开第一干涉仪 10，其中该第三部分光束 4 耦合在第二干涉仪 20 中。由此，第一干涉仪 10 也可称为预调制器。

[0045] 第二干涉仪 20 用作传感器头或测量头，该传感器头或测量头由使用者（例如医生）手动将其与待检查的样本 1（尤其是生物组织）相结合并在必要时引导至其上。在此，紧凑地构造测量头，使得其长度优选地相应于通常的记录器（诸如钢笔）。

[0046] 为了这样紧凑地设计第二干涉仪 20，照射臂 21 的光轴以及其中固定设置有第三参考反射镜 25 的参考臂 23 的光轴，分别相对于常规垂直设置的两个光轴（见第一干涉仪 10）摆动 90° 并且彼此平行延伸。为了将来自照射臂 21 和参考臂 23 的光线偏转到第二分束器 24 中，设有第一偏转棱镜和第二偏转棱镜 26 和 28。

[0047] 严格意义上讲，第一、第二和第三参考反射镜 11、12 和 25 不一定是反射镜，而仅是通常的面，该面可至少部分反射位于第一干涉仪和第二干涉仪 10 和 20 中的光，因而第一、第二和第三参考反射镜 11、12 和 25 也可称为第一、第二和第三反射器。

[0048] 在第二分束器 24 中叠加的部分光束通过第二干涉仪 20 的样本臂 22 到达样本 1 中，并在此在具有不同折射率的介质（例如膜或细胞层 (Zellschichten)）之间的临界面上反射并且最后通过样本臂 22 和第二分束器 24 到达输出臂 27 中，从该输出臂 27 开始其耦合到第二光导体 29 中并且通过该第二光导体 29 输送至探测物镜 31，该探测物镜 31 将通过光导体 29 引导的光放大成像在二维探测器 30 的面上。

[0049] 探测器 30 优选地是使用 CMOS 技术的半导体探测器并且具有多个设置在面中的探测元件（像素），典型地是 640x512 像素。由于可尽可能同时地（“并行”）获取在样本 1 的

特定深度中平面的不同侧向位置的多个反射,此类 OCT 也可称为“并行 OCT”。

[0050] 在获取探测器 30 的单个探测元件上出现的光时产生的探测器信号将在电路 32 中进行进一步处理并且最后进一步引导至计算机系统 16,以进行图形描述并在必要时进行处理。

[0051] 相对于仅具有干涉仪的 OCT 系统,在此所述的 OCT 系统中,用于耦合光 14 的光谱调制的第二参考反射镜 12 的移动、直接获取由样本 1 反射的光以及图像获取分配到三个空间分离的部件,也即分配到第一干涉仪 10、第二干涉仪 20(其表示测量头)和探测器 30。

[0052] 通过将第二参考反射镜 12 移动以及图像获取设置到分开的部件上,使得第二干涉仪 20 并因而使得测量头可设计成极其紧凑的并且较易手动操作。这使得本 OCT 系统尤其适用于待检查身体的难接近的外部或内部位置。

[0053] 在接下来的段落中,详细介绍根据本发明系统的优选方案以及单个方案的有利组合。

[0054] 1. 通过参考反射镜的宏观移动进行深度扫描

[0055] 第一干涉仪 10 中移动的第二参考反射镜 12 具有距第一分束器 13 的光学距离 I 并且从原始位置 N 开始,在朝着第一分束器 13 的方向上或者远离第一分束器 13 实施线性(优选地周期的)移动,移动的光学路程长度为 L 而幅度为 A ,其中光学路程长度 L 和幅度 A 至少是耦合到第一干涉仪 10 中的光 14 的平均波长 λ_0 的 100 倍,优选是 1000 倍。

[0056] 在此,光学距离 I 通过第二参考反射镜 12 距第一分束器 13 的空间距离以及位于第二参考反射镜 12 和第一分束器 13 之间的介质的折射率的积给出。

[0057] 在此所示的第一干涉仪 13 的优选方案(所谓的自由射流(Freistrah)干涉仪)中,其中第二参考反射镜 12 和第一分束器 13 之间是空气或真空并且折射率大约等于 1 的情况下,第二参考反射镜 12 的光学距离 I 以及光学路程 L (光学距离 I 改变的量为光学路程 L)与其空间距离或空间路程相等。在这种情况下,第二参考反射镜 12 的光学距离的宏观变化通过将第二参考反射镜 12 的宏观移动某个空间路程而实现,该空间路程远远大于耦合到第一干涉仪中光 14 的平均路程长度 λ_0 。

[0058] 备选地,可在第一干涉仪 10 作为所谓的光纤干涉仪(未示出)的方案中,在第二参考反射镜 12 和第一分束器 13 之间设有导光元件,尤其是导光光纤,可将其光学长度有目的地改变光学路程。这类导光光纤也称为光纤架(Fiber Stretcher)。在这种情况下,光学距离以及光学路程(将光学距离改变一定的光学路程)通过空间距离或空间路程(空间距离的改变为空间路程)以及导光元件的折射率(其典型地在围绕 1.5 的范围中)的积给出。

[0059] 耦合到第一干涉仪 10 中的光 14 的平均波长 λ_0 典型地在红外光谱范围中,优选地在 750nm 和 1350nm 之间。

[0060] 在宽带光源 15 的情况下,光 14 的平均波长 λ_0 优选地在这样的光谱范围中,即,其中光源 15 的光 14 具有最大强度。备选地,平均波长 λ_0 通过所有由光源 15 发出的波长的平均值给出。

[0061] 优选地,耦合到第一干涉仪 10 中的光 14 的平均波长 λ_0 在这样波长范围中,即,其中探测器 30 具有极高的灵敏度,尤其是最高灵敏度。在所示的系统中,光 14 具有大约 1300nm 的平均波长 λ_0 以及大约 200nm 的半值宽度(FWHM)。

[0062] 当光 14 的平均波长 λ_0 。例如在 $1\ \mu\text{m}$ 范围中时,参考反射镜 12 的移动的光学路程长度 L 以及幅度 A 至少为大约 0.1mm ,优选地至少为大约 1mm 。

[0063] 与现有技术中常见的参考反射镜移动的微观幅度为耦合光 14 的平均波长 λ_0 的一小部分的数量级(也即典型地至 $1\ \mu\text{m}$)不同,在所述的系统中实现的第二参考反射镜 12 的宏观移动从数量级 0.1mm 至若干毫米。

[0064] 在第二参考反射镜 12 的宏观线性移动期间,由样本 1 反射的光通过第二干涉仪 20、第二光导体 29 和探测器光学组件 31 进一步引导至二维探测器 30 并且由该二维探测器 30 在每个特定的持续时间(其相应于探测器 30 的积分时间)的多个时间点连续地获取并且转变成相应的探测器信号。

[0065] 为了在由第三参考反射镜 25 反射的光和由样本 1 反射的光之间出现干涉,必须满足所谓的相干条件,这尤其表明,分别反射的光波必须彼此具有恒定的相位关系,以可以相互干涉。基于应用具有极短相干长度(典型地 $10\ \mu\text{m}$)的光 14,恒定相位关系的条件仅在样本 1 的特定深度或深度范围中满足,其在此也称为相干门(Kohaerenz-Gate)。

[0066] 在宏观的移动期间,第二参考反射镜 12 的每个位置相应于在样本 1 之内的特定深度或该特定深度周围的深度范围,其中对于该特定深度或深度范围满足相干条件,使得可在由第三参考反射镜 25 反射的光和由样本 1 反射的光之间出现干涉。

[0067] 在第二参考反射镜 12 周期移动的情况下,第二参考反射镜 12 的周期移动的两个半周期可分别用于获得探测器信号。

[0068] 以此方式,通过探测器 30 连续地获得样本 1 的不同深度的二维截面。这如图 2a) 所见,其中 - 代表多个二维截面 - 通过样本 1 的空间单元 33 描述第一、第二和第三二维截面 34、35 和 36。通过样本 1 的所观察的空间单元 33,这种二维截面与第二参考反射镜 12 的宏观移动同步地在方向 a 上“迁移”,而其本身不必移动。

[0069] 每个截面 34、35 和 36 位于分别满足相干条件的样本 1 的深度 T_1 、 T_2 和 T_3 处,使得可在由第三参考反射镜 25 反射的光和由样本 1 反射的光之间出现干涉。第二参考反射镜 12 的宏观移动结合连续二维地获取由样本 1 反射的光而具有三维深度扫描的效果。

[0070] 与此对比,图 2b) 示出了现有技术应用的方法。为了通过所观察空间单元 33 得到不同深度截面 37,样本 1 自身必须在方向 b 上相对于干涉仪移动,而截面 38 在空间上的绝对位置基本上保持不变。

[0071] 上述参考反射镜 12 的宏观线性移动(一方面)与利用二维探测器 30 获取由样本 1 所反射的光(另一方面)的组合使得可与此相比实现简单得多且更快速获得样本 1 的所希望的空间单元 33 的完整的三维数据记录。通过第二参考反射镜 12 的宏观移动,在此可代替特定深度的二维图像得到三维断层图。与根据现有技术的系统不同,在此用于获得三维数据记录的方法中,样本 1 不再需要相对于第二干涉仪 20 移动。这使得所述的 OCT 系统紧凑、可靠且手动操作简单,使得这尤其适用于视频输入输出(vivo)。

[0072] 以此方式得到的三维数据记录允许进行较精确的诊断,尤其是在生物样本中。在此,软件支持的诊断辅助工具可以尤其高的效率来应用,诸如所谓的“3d 渲染”,其中三维数据记录通过特定的软件如此处理,使得在二维监视器上产生准(quasi)三维图像。为此,例如空腔或组织脱落(Gewebeablosungen)可表示为三维动画 - 可与计算机 X 线断层摄影术(CT)相当。

[0073] 2. 焦点追踪

[0074] 上述 OCT 系统如此设计,使得在整个行程 (hub) (也即指第二参考反射镜 12 的移动的路程长度 L 和双倍的幅度 A) 期间,始终获得具有足够高强度和足够高清晰度的干涉信号。通过下文中详述的焦点追踪确保了对于样本 1 中的所有深度干涉信号以及所获取的干涉图案的清晰度最大。

[0075] 此外,在获取由样本 1 反射的光期间,第二干涉仪 20 的样本侧成像光学组件的焦点 (也即焦点 (Brennpunkt)) 以这种方式调整,即在获得样本 1 的空间单元 33 的断层图期间的所有时间,焦点在样本 1 中的位置,以及在反射光时满足相干条件并且出现干涉的平面在样本 1 中的位置基本上是相同的。这在下文中借助于图 3a) 和 3b) 说明。

[0076] 图 3a) 示出了样本臂 22 的样本物镜 41 (在此仅简化示为透镜) 的焦点 F 位于样本 1 的某深度处而其并未与相干门 K 的位置相一致的情形。因而,在相干门 K 之内、在深度 T_i 中获取的样本 1 的截面并未清晰地成像在探测器 30 (见图 1) 上,使得在获取干涉时经受信息损失。

[0077] 与此相反,图 3b) 示出了样本物镜 41 的焦点 F 调整成使得其在相干门 K 之内、位于该深度 T_i 的情形。此相应于相干门 K 的各深度 T_i 而进行的样本物镜 41 的焦点 F 的追踪称为焦点跟踪。以此方式,使得在深度扫描期间,第二干涉仪 20 精确放置在样本 1 的不同深度 T_i 中、相干门 K 的每个位置上,使得以较高的清晰度得到样本 1 的每个深度的图像。

[0078] 最大光学扫描深度 T_m 给出直至样本 1 表面之下的哪个深度满足结构干涉的相干条件并且得到相应的干涉图案。

[0079] 此外,通过焦点追踪达到,在样本 1 中的每个扫描的深度 T_i 中,第二干涉仪 20 中不移动的第三参考反射镜 25 上的被照射面 (一方面) 与样本 1 中的各深度中的被照射面 (另一方面) 相同。此外,各被照射面的成像通过参考臂 23 和样本臂 22 在参考臂和样本臂 23 和 22 的共同图像平面 27a 中一致精确地叠加。

[0080] 下文中,详细说明用于实现焦点追踪的所述 OCT 系统的优选实施。

[0081] 图 4 示出了第二干涉仪 20 中单个光学组件的设置横截面。优选地,样本臂 22 中的样本物镜 41 包括多个透镜 42,这些透镜 42 单个地和 / 或成组地在朝向样本 1 的方向 R 上或远离该样本 1 移动。为此,设有压电促动器 40,尤其是超声波压电电动机,其与样本物镜 41 或透镜 42 耦合并且样本物镜 41 或透镜 42 沿一个或多个导引装置 38 (尤其是导引棒或导引槽) 移动。

[0082] 优选地,透镜 42 的移动与第一干涉仪 10 中参考反射镜 12 的宏观移动同步 (见图 1)。以此方式,样本物镜 41 的焦点 F 跟随相干门 G,而后者连续地实施样本 1 的不同深度 T_1 、 T_2 和 T_3 ,借助于探测器 30 由这些深度分别获得二维截面 34、35 和 36 (类似于图 2)。

[0083] 参考反射镜 12 的宏观移动与焦点追踪的同步 (一方面) 与二维探测器 30 (另一方面) 组合,确保尤其简单和快速获得样本 1 的不同深度中的多个清晰二维图像截面并因而获取具有较高图像质量的全三维图像数据记录。

[0084] 因为第一干涉仪 10 和样本臂 22 中的光学成像连续地相互调谐,因此由探测器 30 获取的样本 1 中每个深度的干涉信号最大,使得产生极高的信噪比。此外,由此可以保证,样本 1 中所有深度的侧向分辨率是最优的,原因在于成像的焦点 F 始终位于相干门 K 中。由此得到具有较高对比度的详细可信的 OCT 图像。

[0085] 有利地,在方向 R 上,样本物镜 41 的透镜 42 的移动速度 v_2 小于参考反射镜 12 的移动速度 v_1 。优选地,在此参考反射镜 12 和透镜 42 的速度比例 v_1/v_2 选择成近似等于 $2 \cdot n-1$ 或在围绕该值的大约 $\pm 20\%$ 范围内,优选地在围绕该值的大约 $\pm 10\%$ 范围内。由此,如通过下文观点说明的那样,焦点 F 的位置和相干门 G 以较高的可靠性彼此调谐。

[0086] 样本物镜 41 的焦点 F 位于样本 1 中,样本 1 的折射率 n 通常不等于 1。一方面,在样本 1 的方向 R 上将样本物镜 41 移动特定路程,使得样本中的焦点 F 也移动特定量 d_f 。例如在样本 1 的折射率为 1.4 时,样本物镜 41 的 0.78mm 的移位导致样本 1 中焦点大约 $d_f = 1\text{mm}$ 的移位。另一方面,如果参考反射镜 12 移位特定路程,那么相干门 K 同样移位特定量 d_k 。例如,在折射率 $n = 1.4$ 时,参考反射镜 12 的 1.4mm 的移位引起相干门 K 的大约 $d_k = 1\text{mm}$ 的移位。由此,在宏观深度范围上进行深度扫描时,在参考反射镜 12 和样本物镜 41 移位时,相干门 K 和焦点 F 分别驰离相同的路程。

[0087] 通过上述选择参考反射镜 12 和透镜 42 的速度比 v_1/v_2 ,确保相干门 K 和焦点 F 在整个观察深度范围中的深度扫描期间相互叠加。在具有折射率 $n = 1.4$ 的上一样本示例中,速度比 v_1/v_2 在大约 $(2 \cdot 1.4-1) \pm 20\%$ 范围内,也即在大约 1.44 和 2.16 之间,并且优选地为大约 $2 \cdot 1.4-1 = 1.8$ 。

[0088] 同步参考反射镜 12 和透镜 42 的移动优选地以这样的方式实现,即参考反射镜 12 和透镜 42 在特定的时间点以分别恒定的、预定义的且不同的速度 v_1 和 v_2 穿过两个不同的、预定义的空间点。

[0089] 在穿过空间点之后,开始获得直至样本 1 中预定义深度的真正的 OCT 信号。当参考反射镜 12 周期地前向移动和反向移动时,在此既指参考反射镜 12 的前向移动期间也指参考反射镜 12 的反向移动期间,获得 OCT 信号。在此,类似地实现参考反射镜 12 和透镜 42 的同步并且在每个换向之后重新调整。

[0090] 测量头相对于第一干涉仪 10 自由移动,其中样本物镜 41 位于测量头中,第二参考反射镜 12 位于第一干涉仪 10 中。为了同步透镜移动和参考反射镜移动而进行的样本物镜 41 和参考反射镜 12 的机械耦合将引起精确度不足的同步。

[0091] 优选地以电子方式实现参考反射镜 12 的移动和样本物镜 41 的透镜 42 的同步。其中有利的,在参考反射镜 12 的区域和样本物镜 41 的透镜 42 的区域中分别设有位置传感器 5 和 39,这些位置传感器获取实际的参考反射镜位置和透镜位置并且变换成相应的位置信号。两个位置信号输送给控制单元,尤其是计算机系统 16,该控制单元相应地控制参考反射镜 12 和透镜 42 的驱动。

[0092] 参考反射镜 12 和透镜 42 的控制优选地通过藉由所谓的主从系统反馈位置信号来实现。在这种主从系统中,在第一定位单元中测量的位置值是在第二定位单元中的调节回路的额定值的基础。在此情况下,参考反射镜 12 的第一定位单元的测量的位置与小于 1 的因数相乘并且作为新的额定值输送给透镜 42 的第二定位单元。由此,即便是在第一定位单元的绝对定位误差相对较大时,也减小移动的参考反射镜 12 和透镜 42 之间的相对位置误差。由此,两个部件以电子方式如通过机械传动装置那样彼此耦合,由此,这也可称为电子传动装置。

[0093] 备选地或额外地,焦点追踪可这样实现,即在样本物镜 41 中设有适应性透镜,并且可有目的地控制并改变该适应性透镜的成像特性。例如油水透镜 (Öl-Wasser-Linse

)可电气控制成,使得其曲率半径可改变,由此可改变其焦点并且以简单的方式适配到相干门的每个位置上。在这种情况下,适应性透镜的焦点 F 的变化速度和变化开始必须与参考反射镜 12 的移动以类似于上述方法的方式进行同步。

[0094] 3. 焦点追踪的自动校准

[0095] 在构造为测量头的第二干涉仪 20 的样本臂 22 的样本侧端部设有材料层 43(见图 4),该材料层 43 优选地包括蓝宝石玻璃。材料层 43 在内侧 44 上利用抗反射层涂敷并且在样本侧的外侧 45 上优选地未涂敷。

[0096] OCT 系统可运行在诊断模式和校准模式中。在相应于通常的测量操作的诊断模式中,材料层 43 的样本侧外侧 45 利用所谓的匹配胶(Index Matching-Gel)涂抹并且与待检查的样本 1 接触,从该样本 1 获得三维图像。在校准模式中,确定样本物镜 41 的焦点 F 与相干门 K 的相对位置,其中在校准方法期间,优选地将位于空气中的材料层 43 的外侧 45 用作参考面。

[0097] 在校准模式中,测量样本物镜 41 不同位置处 OCT 信号(其由于光从材料层 43 过渡到空气中而由光的反射而引起)的幅度,其中实施下列借助于图 4 和图 5 说明的方法步骤:

[0098] a) 透镜组 42 放至原始位置,其中透镜 42 移至距第二分束器 24 尽可能近;

[0099] b) 透镜组 42 停留在此位置中;

[0100] c) 在第二参考反射镜 12 的宏观移动期间,确定干涉信号的最大幅度 A_i ;

[0101] d) 透镜组 42 移离第二分束器 24 若干微米,典型地 $5\mu\text{m}$ 至 $20\mu\text{m}$,并且保持在此位置中;

[0102] e) 对于透镜 42 的多个不同位置 P1 至 P11 重复步骤 c) 至 d),其中对于透镜 42 的每个位置 P1 至 P11,得到各干涉信号的最大幅度 A_1 至 A_{11} ;

[0103] f) 求得透镜组 42 的幅度 A_9 最大的位置 P_9 ;

[0104] g) 在此最大值的位置 P_9 附近以较小的步长(典型地 $0.5\mu\text{m}$ 至 $5\mu\text{m}$)重复步骤 c) 至 f),其中求得透镜组 42 的幅度 $A_{9'}$ 最大的位置 $P_{9'}$;

[0105] h) 由对应于透镜组 42 的此位置 $P_{9'}$ 的参考反射镜的移动,求得移动的参考反射镜 12 的、其中干涉信号最大的位置 X_m 。

[0106] 备选地,校准也可以这样的方式实施,即样本物镜 41 在校准期间朝着第二分束器 24 移动。

[0107] 如果透镜组 42 位于位置 $P_{9'}$ 中并且参考反射镜 12 位于位置 X_m 中,那么相干门和焦点的位置是相同的。所求得的位置 $P_{9'}$ 和 X_m 在诊断模式中调整为一个或多个透镜和反射器的初始位置。

[0108] 以此方式,自动修正 OCT 系统中的变化,而不需要额外的硬件。甚至当材料层被污染或利用匹配胶涂抹时,所述的方法也会起作用,原因在于使用了光从脏物到空气的过渡或从胶到空气的过渡。该方法极其快速并且仅持续几秒。由此,可经常实施该方法,由此确保系统的较高可靠性。

[0109] 为了进一步提高所述校准方法的精确度,可在材料层上放有包括玻璃或塑料的额外元件,所谓的靶(Target)。对于在额外元件之内的两个或多个深度实施上述方法。由此不仅可以修正偏移量(也即可以移位参考反射镜 12 和透镜 42 的移动基准点)而且也可以

修正出现的非线性。在上述校准方法中,使用多个参考面,其中确定多个位置对,对于这些位置对,焦点位置和相干门是相同的。由此,不仅可修正两个定位单元之间恒定的相对位置误差,而且也可修正两个单元的相对线性或相对速度中可能的误差。例如在位置传感器 5 和 39 发生老化时(这时例如两个位置传感器 5 和 39 的位置灵敏度改变)可能存在这些误差。

[0110] 总而言之,可以确定的是,焦点位置和相干门的动态同步在所述 OCT 系统的诊断模式中引起关于图像质量和可靠性等多种优点。额外地,尤其定期地应用所述校准模式可长时间保证此同步。

[0111] 4. 调制光源的强度

[0112] 在所述 OCT 系统中利用探测器 30 获取形成的干涉图案,其中产生相应的干涉信号。用于对干涉信号扫描的探测器 30 的扫描速率必须选择成使得可以以足够的精确度获取干涉结构的时间变化。当应该实现深度扫描的较高速度时,这通常要求较高的扫描速率。

[0113] 由于干涉结构的单个周期通常必须分别在多个时间点扫描,在样本 1 的深度方向上最大可能的扫描速度依赖于探测器 30 的最大可能扫描速率。在应用具有较高空间分辨率的快速探测器阵列(也即每个长度单元中较大数量的探测元件)时,最大扫描速率典型地在大约 1kHz 范围中。当干涉结构的每个周期获得 4 个点时,这在耦合光 14 的平均波长(例如为 850nm)时导致深度扫描的最大速度大约为 0.1mm/s。

[0114] 图 6a) 示出了利用每周期分别 4 个扫描时间点 P 的扫描速率进行扫描时典型干涉信号的随着时间的变化。在该图中,在干涉信号的周期之内示出了例如 4 个这样的点。

[0115] 为了提高深度扫描的速度,在本 OCT 系统中,在时间上调制耦合在第一干涉仪 10 中的光 14 的强度。此调制实现成周期的,其中其频率大于或小于多普勒频率 f_D 特定的量,优选地大于或小于的量高达 40%,其中该多普勒频率 f_D 通过耦合光 14 的平均波长 λ_0 和移动的参考反射镜 12 的速度 v 给出: $f_D = 2v/\lambda_0$ 。该调制的典型频率在 1kHz 和 25kHz 之间的范围中。

[0116] 备选地或额外地,第三部分光束 4 的、由第一干涉仪 10 输出的光的强度也可利用调制频率 f_M 来调制,以达到上述有利的效果。在此,该调制优选地在第三部分光束 4 的光耦合到第一光导体 17 中期间在第一干涉仪 10 的输出部 8 处实现。但是,强度调制也可在第二干涉仪 10 中、在第三部分光束 4 的光输出之前实现。为了调制由第二干涉仪 10 输出的光的强度,优选地设有光学元件,该光学元件例如设置在第一干涉仪 10 中或第一干涉仪 10 的输出部 8 的区域中并且可有目的地改变其传输特性或成像特性。所以,可例如通过第一干涉仪 10 的输出部 8 区域中的自适应光学元件,将第三部分光束 4 的、由第一干涉仪 10 输出的光的强度周期地由“高”切换到“低”。然而,光学元件也可在第一干涉仪 10 的光路(例如在参考反射镜 11 和 12 以及第一分束器 13 之间)中设置。

[0117] 调制频率的准确选择依赖于光源 15 的耦合光 14 的平均波长 λ_0 、深度扫描的所希望的扫描速度以及探测器 30 的最大扫描速率来进行。

[0118] 优选地,调制频率选择成使得其相应于探测器 30 的最大扫描速率或该最大扫描速率的整数倍。

[0119] 在此,最大扫描速率通过探测器 30 的最小帧时间的倒数值给出。探测器 30 的最小帧时间包括为获得整个图像而至少需要的时间以及探测器 30 的最小的死时间,该时间

延长直至可记录下一图像。随着逐渐增加的记录的图像的尺寸,最小帧时间通常变大。

[0120] 光 14 的强度调制形式优选地是正弦形式的或矩形的。后一种形式可例如简单地通过旋转的斩光器轮 18(见图 1)来实现。其它可能是声光或光电调制器或液晶调制器。也可直接调制光源 15,其中该光源 15 控制成使得其输出具有在时间上调制的强度的光 14。

[0121] 备选地或额外地,可由此实现相应的效应,使得例如在第一分束器 13 之前或之后设置的光学元件(见图 1)在其传输特性或成像特性中切换(geschaltet)。因而,例如通过相应切换的自适应光学元件,可将第三部分光束 4 的耦合效应在第一光导体 17 中周期地由“高”切换到“低”。

[0122] 耦合光 14 的强度的所述调制优选地利用些微偏离于多普勒频率的调制频率在调制和干涉信号之间产生低频差拍(Schwebung)。

[0123] 图 6b) 示出了基于耦合光 14 的所述调制得到的差拍信号的随着时间的变化,其 - 如图 6a) 的示例中的干涉信号 - 利用每个周期分别 4 个扫描时间点 P 的扫描速率来扫描。在对差拍信号进行扫描时,由于其较小的频率,每个时间单元需要比图 6a) 中的干涉信号的扫描时明显更少的扫描时间点,使得在固定的、通过探测器 30 的选择给出的扫描速率时可达到深度扫描的明显更高的速度。

[0124] 此方法的其它优点将在下文中详细说明。

[0125] 探测器 30 的积分时间相应于探测器 30 在其中获取在时间点 P 范围中与探测元件相遇的光并进行积分的持续时间。优选地,探测器 30 如此运行使得积分时间仅略短于帧时间。在此,帧时间选择成使得其正好相应于调制周期的持续时间或是该持续时间的整数倍。图 6b) 中所示的差拍信号通过在两个调制周期的持续时间上进行积分而得到。

[0126] 如果在没有上述光 14 的强度调制的情况下提高扫描速度,那么必须使得探测器 30 的帧时间 - 并因而使得积分时间 - 变得更短,因而多普勒频率变大并且使得不需要时间上紧挨着的扫描时间点 P。然而,更短的积分时间导致每次积分和每个探测元件收集的的光子(Photo)变少,并且由于光子的统计性质产生的所谓肖特基噪声而导致信噪比降低。为了再次改善信噪比,耦合光 14 的强度必须与扫描速度成比例地提高。

[0127] 与此相反,如果借助于上述光 14 的强度调制来提高扫描速度,那么积分时间可保持恒定。由于光 14 的调制,仅产生 50% 的光损失。在优选的调制频率时,其中该调制频率相应于帧时间的倒数值的两倍,速度增加到 8 倍。在这种情况下,为达到此增速仅需要没有调制情况下光强度的四分之一。由此,过补偿由于调制而引起的总数 50% 光损失的效果。

[0128] 在所述方法中,光源 15 的光 14 所需的强度一定 - 与直接扫描而没有差拍相反 - 不会与扫描速度一同提高,因为在这种情况下探测器 30 的积分时间可保持恒定。

[0129] 光调制的其他优点是,减少全三维深度扫描时的数据量。在获得侧向量为 512x640 的像素并且在具有折射率 $n = 1.4$ 的组织中的扫描深度为 1mm 的三维数据记录时,存在大约 6 千兆字节的数据。利用所述的光 14 的强度调制,数据量降低到 750 兆字节。

[0130] 此外,为了表示图像结果,直接获得的数据必须进行额外处理。在此,减少的数据量也是极其有利的,因为由此使得处理时间明显降低并因此使得能够快速呈现图像结果。

[0131] 优选地,多普勒频率和 / 或调制频率选择成使得所给出的差拍信号的周期是探测器 30 的最小帧时间的整数倍,也即探测器 30 的最大扫描速率是差拍信号的频率的整数倍。

[0132] 如果将光 14 的调制周期长度选择成探测器 30 的最小帧时间,那么相对于未调制

的光 14 情况下的扫描速度,扫描速度上升到 4 倍。与此相比,如果将最小帧时间选择成两个调制周期,那么扫描速度上升到 8 倍。

[0133] 图 6c) 示出了在未调制和调制的光 14 的情况下,图 6a) 和 6b) 中所示干涉信号和差拍信号的包络线 E_u 和 E_m 。在此,包络的 E_u 和 E_m 的每个点 P' 与所对应干涉信号和差拍信号的扫描时间点 P 一致。

[0134] 由各包络线 E_u 和 E_m 推导出信息,样本 1 的起初的一维图像、二维图像和最终的三维图像由这些信息组成。如在试验中所示,与传统没有强度调制的系统相比,通过实施强度调制尽管明显降低了测量点 P 和 P' 的数量但却没有相关信息损失。

[0135] 总而言之,通过耦合光 14 的强度的所述调制,在信号估计中没有出现显著的信息损失的情况下,成倍增大了深度扫描的最大可能速度。

[0136] 5. 调制探测器系统的灵敏度

[0137] 上述调制耦合到第一干涉仪 10 中的光 14 的强度和第三部分光束 4 的、由第一干涉仪输出的光的强度的原理类似地转用到包括探测器 30 和探测物镜 31 的探测系统的灵敏度,其中为待获得的光优选地以大于或小于多普勒频率 f_D 特定的量的频率(尤其是大于或小于大约高达 40% 的频率)来调制探测系统的灵敏度,尤其是探测器 30 的灵敏度。

[0138] 在此,由样本 1 反射并且与探测器 30 相遇的光与探测器系统 30、31 的调制的灵敏度叠加,使得探测器 30 在获取与探测器 30 相遇的干涉图案时,代替具有多个周期的高频干涉信号,产生低频差拍信号,该低频差拍信号具有明显少于高频干涉信号的周期。在对此差拍扫描时,在不调制探测系统 30、31 的灵敏度情况下,每个时间单元需要的扫描时间点明显少于高频干涉信号的扫描。

[0139] 探测器 30 的灵敏度例如直接或利用在探测器 30 之前设置的可控电子遮光器来调制。备选地或额外地,可调制探测系统中光学元件的特性,诸如探测物镜 31 相对于由样本 1 反射的光的穿透性。

[0140] 直接调制探测器 30 的灵敏度的工作原理借助于以示意图示出电路的附图 7 来详细说明。CMOS 探测器的探测元件 80 中的每一个可在等效电路图中简化图示为光电二极管 81,对该光电二极管 81 施加电压 U_1 。可选地,欧姆电阻和电容器与光电二极管 81 并联。通过利用光来照射探测元件 80,在光电二极管 81 中产生载流子,该载流子释放电流 I_1 ,该电流 I_1 在电子积分器 83 的电容器 82 中收集。通过藉由开关 84 来周期地接通和断开此积分(其中该开关 84 利用调制频率 f_M 控制),使得电荷量并因而使得分别实际获取的光强度利用调制频率 f_M 调制。通过采样-保持-级(Sample-and-Hold-Stufe)87,捡取(Abgreifen)相应的探测器信号并且引至进一步处理。其它开关 85 和 86 用于控制探测器信号的积分和捡取的复位。

[0141] 与上述耦合或输出的光 14 或 4 的强度调制类似,在此变型中代替高频干涉信号而得到低频差拍信号(类似于图 6a) 或 b)),该低频差拍信号可利用明显更少的扫描时间点 P 来扫描,而不会丢失相关信息。在探测器 30 的给定最大扫描速率时这使得系统的深度扫描的最大速度可提高多倍。

[0142] 如在调制耦合或输出的光 14 或 4(见截面 4) 时那样,在此,通过适当地选择探测系统 30、31 的灵敏度的调制频率,将扫描速度与具有恒定探测器灵敏度的系统相比提高到 4 倍或甚至 8 倍。

[0143] 第二参考反射镜 12 的移动速度与探测器 30 的灵敏度的调制频率成固定关系并且优选地选择成在所形成的差拍信号的周期持续时间中, 整数个扫描时间点 (优选 4 个扫描时间点) 经过 (类似于图 6b))。

[0144] 以此方式扫描的差拍信号必须在可视化之前进行处理, 原因在于在此信号中还包
括干涉信息。应该可视化的基本信息是各干涉的幅度和深度位置, 而不是干涉结构本身。为
此, 必须解调差拍信号, 也即确定差拍信号的包络线 (类似于图 6c 中的 E_m))。

[0145] 由于差拍信号的相位通常是未知的并且对于不同深度的不同差拍信号相位也可
不同, 因而应用独立于相位的数字解调算法。优选地, 对于每个周期以 4 个扫描时间点对干
涉信号进行扫描, 则应用所谓的 90° 相位变换算法。由此, 达到差拍信号的快速解调。

[0146] 6. 具有不对称林尼克干涉仪的测量头

[0147] 下文中, 借助于图 4、8 和 9 详细说明包括第二干涉仪 20 的测量头的结构。

[0148] 在第二干涉仪 20 中, 涉及所谓的林尼克干涉仪。图 8 示出了这种林尼克干涉仪
的典型结构的示例, 其中该林尼克干涉仪具有分束器 77、参考反射镜 78、探测器 79 和样本
70。在这种林尼克干涉仪中, 给小型化设置基本上的界限, 这尤其适用于所应用的光学元件
(诸如物镜 75 和 76 或透镜 71 和 74) 的直径以及几何结构。样本物镜和参考物镜 75 和 76
的结构及其距分束器 77 的距离 q 基本相同。

[0149] 在本 OCT 系统中应用的林尼克干涉仪中, 通常样本物镜和参考物镜 41 和 46 距第
二分束器 24 的距离 (见图 4) 由于焦点追踪并不是对于所有扫描深度都相同。由此, 可在
样本图像和参考图像的图像中心和图像边缘之间会有较大的相对光学路径 (p) 长度差
异 (OPD)。这可使得待获取的干涉结构的空间频率大于二维探测器 30 的分辨率, 由此, 不
能够指示干涉或仅不完全可信地指示干涉。

[0150] 为避免此缺点, 本 OCT 系统的第二干涉仪 20 中, 样本物镜和参考物镜 41 和 46 实
施成不同 (“非对称的”) 并且彼此调谐, 如下文中借助于图 4 详细说明的。

[0151] 样本物镜 41 (尤其是透镜 42) 距第二分束器 24 的距离 p 选择成极小。对于其
中获取由位于样本 1 的表面附近的截面 (类似于图 2a) 所反射的光的上扫描位置 (obere
Scan-Position), 距离 p 优选地在 1mm 和 3mm 之间。由此, 可在较高光输出的同时, 将样
本臂和参考臂 22 和 23 中的透镜 42 和 49 的直径选择成极小。

[0152] 输出臂 27 中另一组透镜 47 与样本物镜或参考物镜 41 或 46 共同构造样本光学组
件或参考光学组件。样本光学组件和参考光学组件在样本 1 或第三参考反射镜 25 侧上是远
心的。远心光学组件的特征在于, 可改变物体距离并且尽管如此而图像大小保持不变。这
通过孔径光阑达到。

[0153] 样本 1 成像的数值孔径相对较大, 优选地大约为 0.3。与此相反, 对样本 1 照射
的数值孔径小于样本 1 成像的数值孔径并且优选地具有值 0.2。由此, 与样本光学组件或参
考光学组件的远心设计一起达到这样的优点, 也即倾斜的样本结构处反射的光还由样本物
镜 41 汇聚, 原因在于样本物镜 41 的接收角大于照射锥体的发散角。与此相反, 如果照射和
成像的数值孔径大小相同, 那么在倾斜的样本结构处反射时汇聚比在垂直于光轴的结构处
反射时更少的光。

[0154] 在样本臂 22 中, 通过选择照射臂 21 中的照射物镜 48 来实现较小的用于照射的
数值孔径。参考臂 23 中的数值孔径等于或大于照射臂 21 的数值孔径。这尤其在应用折叠的

林尼克干涉仪时有优点,原因在于由此参考物镜 46 相对简单地适配所述样本物镜 41,并且可紧凑地实现。

[0155] 通过参考物镜 46 的透镜 49 的光学路程(包括透镜 49 之间的可能的空气距离)短于通过样本物镜 41 的透镜组 42 的光学路程。

[0156] 通过此措施达到,在所用的扫描深度的中心中样本臂和参考臂 22 和 23 的像场弯曲(Bildfeldwölbung)尽可能相同。此外,确保深度扫描的上端或下端的图像中心和图像边缘之间的最大光学路程长度差异(OPD)足够小,以保证干涉结构的空间频率足够小,以从探测器 30 来看满足奈奎斯特条件。由此,所观察的样本 1 的空间单元 33 中不同深度的干涉结构的空间频率始终小于二维探测器 30 的分辨率。由此,始终以较高的可靠性在所观察的样本 1 的空间单元 33 的每个深度中获得干涉结构。

[0157] 这在图 9a) 至 c) 中说明,其中示出了在一个深度扫描期间的 3 个不同的时间点时第二干涉仪 20 的横截面的样本侧的部分。

[0158] 在第一时间点(见图 9a)),相干门 K 在所观察的样本 1 的空间单元 33 的上层 34 中(类似于图 2a))。在此,样本物镜 41 具有距第二分束器 24 较小的距离并且具有距材料层 43 或样本 1 的相对较大距离。在此获得的干涉结构示于图 9a) 的右边部分并且具有相应于在每两个连续亮或暗环之间的距离的周期长度。此周期长度大于探测器 30 的单个探测元件(像素)的中心距(间距),也即干涉结构空间频率小于探测器 30 的分辨率,其中该空间频率相应于周期长度的倒数,该分辨率相应于探测器 30 的像素的中心距的倒数,由此满足所谓的奈奎斯特条件。由此,可确保干涉结构可靠地由探测器 30 获取。

[0159] 在第二时间点(见图 9b)),相干门 K 位于所观察的样本 1 的空间单元 33 的中间层 35 中(类似于图 2a))。样本物镜 41 在相比于图 9a) 中距第二分束器 24 更远并且距材料层 43 更近的位置。在这种情况下,干涉结构具有比图 9a) 中更大的周期长度,这也使得在此时间点满足奈奎斯特条件。

[0160] 在第三时间点(见图 9c))中,相干门 K 位于所观察的样本 1 的空间单元 33 的最深层 36 中(类似于图 2a))。样本物镜 41 在相比于图 9b) 中距第二分束器 24 更远并且距材料层 43 更近的位置。在这种情况下,干涉结构具有如图 9a) 中所示时间点大约相同的周期长度,这也使得在此深度扫描位置中满足奈奎斯特条件。

[0161] 由于样本物镜和参考物镜 41 和 46 的所述不对称方案,可实现样本物镜和参考物镜 41 和 46 距第二分束器 24 的不同距离和光学路程 p 和 r 。由此在所示示例中,样本物镜 41 可以距离 p 设置成距第二分束器 24 更近,由此可在较高的光输出时实现较小的透镜 42 直径。同时,参考物镜 46 可在距第二分束器 24 明显更大的距离 r ($r > p$) 处设置,由此可折叠第二干涉仪 20,其中参考臂和照射臂 23 和 21 相对于其在未折叠林尼克干涉仪(类似于图 8) 中的位置分别摆动 90° 并由此平行于样本臂 22 延伸。

[0162] 以此方式,达到测量头的极窄形式并且同时确保通过参考光学组件或样本光学组件产生的探测器 30 上的图像对于所有扫描深度大小相同并且叠加良好。

[0163] 通过上述实施的参考物镜 46,可补偿折叠所需的光学路程的一部分。参考物镜 46 光学上短于样本物镜 41。由此,简单地实施第一干涉仪 10,因为由此,第一干涉仪 10 的两个干涉仪臂必须区别不大,以满足出现干涉的相干条件。

[0164] 参考臂或样本臂 23 或 22 中光学路程长度的差异优选地至少是最大扫描深度 T_m

的双倍大（见图 3a）和 b）。最大光学扫描深度 T_m 给出了，直至在本样本 1 的表面之下的哪个深度满足出现干涉的相干条件并且得到相应的干涉图案。由此确保第一干涉仪 10 中参考反射镜 12 位置明确、简单地对应于样本 1 中的特定深度。

[0165] 7. 单模预调制和多模光纤

[0166] 在所谓自由射流光学组件中第一干涉仪 10 的优选构造中，在应用通常使用的空间短相干或不相干的光源时要求第一干涉仪 10 的输出部 8 区域中有相对昂贵的物镜，以使得出来的光尽可能有效地耦合在第一光导体 17 中并因而避免光损失。由此，不仅限制第二干涉仪 20 的光学结构（为应用内窥镜检查法尽可能紧凑地设计该第二干涉仪 20），也限制第一干涉仪 10 的光学组件的结构。此外，在通常使用的空间短相干或不相干的光源中限制必要时所需的光效率提高程度。

[0167] 为避免此缺点，在本 OCT 系统中将具有相应的高空间相干性的一个或多个单模光源应用为光源 15，诸如超辐射发光二极管（SLED）、短脉冲激光或超连续激光。光源 15 的光 14 耦合到第一干涉仪 10 中，其中仅传输所谓的高斯模式，该高斯模式相应于单个模式（单模）。在穿过第一干涉仪 10 之后，耦合光 14 的空间相干性才被破坏，其中第一干涉仪 10 的输出部 8 处的光耦合到具有极长多模光纤的第一光导体 17 中。

[0168] 多模光纤是指如下光纤，即在光的特定波长时其数值孔径以及内径不仅允许构造光纤模式，而且可允许产生多个不同的光纤模式。光纤是单模光纤或是多模光纤，可通过所谓的 V-数 (V-Zahl) V 来评估：

$$[0169] \quad V = \frac{\pi}{\lambda} \cdot d \cdot NA,$$

[0170] 其中 λ 表示耦合到光纤中的光的波长， d 表示光纤的内径并且 NA 表示光纤的数值孔径。在此，耦合到光纤中的光的波长 λ 优选地等于耦合到第一干涉仪 10 中的光 14 的平均波长 λ_0 。如果 V-数大于大约 2.4，那么是指多模光纤。

[0171] 在第一光导体 17 中优选使用的多模光纤具有大约 100m 的数量级的典型长度并且优选地大部分缠绕成卷 (Wicklung) 19，如图 1 中所示。多模光纤的内径优选地在大约 200 μm 和大约 400 μm 之间。

[0172] 极长、极细并且优选地缠绕的多模光纤可在第一光导体 17 中可选地与相对较短、较粗的光纤（未示出）组合，其直径在大约一个毫米范围中并且其长度在若干米范围中。

[0173] 通过破坏单模光源 15 的光的空间相干性，避免由样本 1 中两个不同的位置反射的光进行干涉，这也称为所谓的相干串扰。

[0174] 此外，有效抑制相干串扰会使不希望的散射光得到有效抑制，这在具有高空间相干性的光源情况下同时有助于干涉并且引起模糊、浅淡的图像，类似于毛玻璃片后的图像。以上述方式有效破坏空间相干性，由此极大降低散射光的检测并且最后得到清晰的图像。

[0175] 然而，在第一干涉仪 10 中产生的预调制信息，也即通过第二参考反射镜 12 的移动引起的耦合光 14 的光谱调制，在通过第一光导体 17 的极长的多模光纤传输光时并未改变。这由以下方式确保，即多模光纤中第一干涉仪 10 的两个臂产生具有相同模式分布和相同相位的相同模式。

[0176] 每个模式传输预调制信息，其中单个模式彼此不耦合。这通过以下方式达到，即在进入第一光导体 17 的多模光纤之前，第一干涉仪 10 中的第一部分光束和第二部分光束 2

和 3 (见图 1) 共线性且精确地叠加成第三部分光束 4。

[0177] 在此,光进入第一光导体 17 的多模光纤确定了多模光纤中产生的模式的数量和分布。为了尤其有效地破坏空间相干性,有利地将耦合选择成其中产生尽可能多的模式。这可尤其以这样的方式实现,即 - 如图 10a) 和 10b) 所示 - 光线 (也即第三部分光束 4) 的焦点 55 不在第一光导体 17 的多模光纤的棱面 9 (也即进入平面) 上,和 / 或第三部分光束 4 的光线在第一光导体 17 的多模光纤中倾斜耦合,其中光线的光轴 56 相对于第一光导体 17 的多模光纤的中轴 57 倾斜并且与其成角 ω , 该角优选地在 5° 和 40° 之间。以此方式,一方面最大地抑制空间相干性,另一方面均匀地照射多模光纤的棱面 9。

[0178] 此外,图 10a) 和 10b) 中示出了第一光导体 17 中应用的多模光纤的内径 d 。

[0179] 将高度相干的光 14 耦合在第一干涉仪 10 中与将接下来在第一干涉仪 10 中光谱调制的第三部分光束 4 的光耦合到第一光导体 17 中组合,使得可极其简单地设置第一干涉仪 10 的输出部 8 区域中的光学组件。

[0180] 由于原理上强光干涉光源 (诸如 SLED、短脉冲激光或超连续激光) 可用作光源 15, 因此使得可达到比利用通常使用的空间不相干光源明显更高的功率密度。由此,明显改善所获得图像信息的信噪比。

[0181] 所示和所述自由射流 - 干涉仪的备选,在应用此原理的情况下第一干涉仪 10 也可完全的布设为光纤干涉仪。代替第二参考反射镜 12 的移动,深度扫描可例如通过扭转第一干涉仪 10 的两个臂中的一个中的光纤、借助所谓的光纤架来实施。

[0182] 8. 通过光纤束的图像传输

[0183] 如已详述的那样,在本 OCT 系统中,深度扫描通过第一干涉仪 10 中参考反射镜 12 的宏观移动来实施,而由样本 1 反射的光通过第二干涉仪 20 和第二光导体 29 进一步引导至二维探测器 30 并由此二维探测器 30 获取。

[0184] 包括多个单根光纤的光纤束应用为第二光导体 29。光纤束通常具有较高数值孔径,这是由技术决定的并且在 0.4 范围中或更高。此外,通常的光纤束的棱面的容积效率,也即进入横截面或退出横截面的容积效率相对较小。这两者在传输由样本 1 反射的光时引起从第二干涉仪 20 至探测器 30 不希望的光损失。

[0185] 为在传输由样本 1 反射的光时得到具有较小光损失和信息损失的、尽可能紧凑的 OCT 系统,应用下文中详述的光纤束。

[0186] 图 11 示出了由所应用的光纤束的棱面的部分 50, 该光纤束 - 如借助于放大显示的部分区域 51 所见 - 包括多个单根光纤 52, 这些多个单根光纤 52 具有中心距 d_2 (所谓的光纤间距)。

[0187] 图 12 示出了由所应用的探测器 30 的部分, 该探测器 30 包括多个设置在面中的探测元件 80, 这些探测元件 80 具有中心距 d_1 (所谓的像素间距)。在本 OCT 系统中, 光纤束的单根光纤 52 的光纤间距 d_2 小于探测器 30 的探测元件 80 的像素间距 d_1 。

[0188] 为了在较高空间分辨率时有尽可能大的视界, 光纤束包括至少 100000、优选地大约 300000 根单根光纤 52。探测器 30 的探测元件 80 的数量优选地为大约 328000 并且与单根光纤 52 的数量具有相同的数量级。

[0189] 如图 13 所示, 在进入面和退出面 7 和 6 区域中, 优选地第二光导体 29 的光纤束的横截面的形状与探测器 30 的几何形状适配, 其中尤其是第二干涉仪 20 的侧上进入面 7 的

形状基本上与探测物镜 31 或探测器 30 的侧上的退出面 6 的形状相同（也见图 1）。在此，进入面和退出面 7 和 6 的每个形状（尤其是其边长比），基本上与探测器 30 的形状（优选地矩形形状）相同。

[0190] 图 14a) 中例如示出了光纤束的两个单根光纤 52。单根光纤 52 具有光纤核 65 和光纤护套 66。在优选应用的光纤束的单根光纤 52 中，各光纤核 65 的厚度 d_3 与光纤护套 66 的厚度 d_4 的比例 d_3/d_4 （所谓的纤核 / 涂层比）如此选择，即，使得在由于侧射出光纤 52 的光（所谓的短暂波）而引起的尽可能小的光损失时，存在尽可能高的容积效率。在此，容积效率通过单根光纤 52 的整个横截面面积与光纤核 65 的面积的比例给出。

[0191] 在光 14 的波长例如为 1300nm 时，所应用的光纤束优选地具有 $11\ \mu\text{m}$ 的光纤间距 d_2 、 $1.7\ \mu\text{m}$ 的单根光纤 52 的护套厚度 d_4 以及 $6.8\ \mu\text{m}$ 的内径 d_3 。在这种情况下，包括内径 d_3 和双倍护套厚度 d_4 之和的单根光纤 52 的直径为 $10.2\ \mu\text{m}$ 并因而小于光纤间距 d_2 ，原因在于在光纤束的生产工艺中，还在每个单根光纤 52 上产生第二护套（未示出）。

[0192] 图 14b) 中示出了图 14a) 中所示单根光纤 52 的方案变型。在此变型中，单根光纤 52 的单根光纤核 65 嵌入在由玻璃或塑料制成的基体 (Matrix) 66 中，该基体 66 分别构造每个单根光纤核 65 的光纤护套。在此变型中，每两个相邻的单根光纤 52 共同具有它们光纤护套的一部分。由此，可相对于上述具有各自光纤护套的单根光纤降低相应于护套厚度的相邻光纤核 64 的距离 d_4 ，此外，所述短暂波的出现被有效抑制。由此，光纤核面与整个光纤面的面积比率尤其大。在此，内径 d_3 与护套厚度 d_4 的商在大约 5 和 8 之间的范围中。

[0193] 第二干涉仪 20 构造成使得其对于所有扫描深度具有侧向干涉图案，其空间频率低于光纤束的单根光纤 52 的空间频率，其中尤其必须满足奈奎斯特条件。这在图 15 中说明。如在侧向干涉图案 60 的放大的部分 61 中所见，在干涉图案 60 的两个连续最小干涉 63（暗环）之间的周期长度是光纤束的单根光纤 52 的中心距（光纤间距）的若干倍大，在此，光纤束的进入面 6（也见图 1）部分地、相应放大地图示。相应地，干涉图案 60 的空间频率明显小于光纤束的单根光纤 52 的空间频率。

[0194] 与现有技术中探测器构造在干涉仪中的已知系统相反，通过应用上述光纤束达到下文中详述的多个优点。

[0195] 由于技术原因，InGaAs CMOS 探测器的像素间距 d_1 可不明显小于 $20\ \mu\text{m}$ ，其中 InGaAs CMOS 探测器对于波长在大约 1300nm 左右范围中的光敏感。在本 OCT 系统中优选应用的光纤束具有 $10\ \mu\text{m}$ 的光纤间距 d_2 并因而在相同分辨率时具有比在探测器上小很多的横截面。这相对于探测器构造在测量头中的系统实现了明显紧凑的测量头结构。

[0196] 此外，在现有技术的所述系统中，由于要求探测器的极高扫描速率，要求以极其高的速度将数据从测量头传输到连接的电子器件。此外，必须在测量头中集成 A/D 变换器。此缺点在将样本 1 得到的图像信息通过设置为光纤束的第二光导体 29 进一步引导到与第二干涉仪 20 分离的探测器 30 时出现。

[0197] 因为在本 OCT 系统中无需在测量头中用于图像获取和 / 或图像处理的电子器件，没有会引起不希望的测量头的加热热损失。

[0198] 因为在第二光导体 29 中优选地如此选择光纤间距 d_2 （例如 $11\ \mu\text{m}$ ），即，小于探测器 30 的尽可能小的像素间距 d_1 （大多大于或等于 $20\ \mu\text{m}$ ），因此相对于现有技术的系统，可在相同侧向分辨率的同时降低测量头中由样本 1 得到的图像的放大，这使得可以在第二干

涉仪 20 中有更简单和更小的光学组件。

[0199] 为了在将光或图像信息从样本 1 或第三参考反射镜 25 传输到探测器 30 时提高光输出,适配本 OCT 系统的单独组件的数值孔径,尤其是适配输出臂 27 中样本物镜 41 和透镜 47 的孔径以及参考物镜 46 和第二光导体 29 的光纤束的孔径、探测物镜 31 的孔径以及探测器 30 的孔径。这在下文中借助于图 1、4 和 16 详细说明。

[0200] 图 16 示出了在进入面 7 的区域中、包括多个单根光纤 52 的第二光导体 29 的截面。由第二干涉仪 20 射出、会聚的光束 58 具有孔径角 α 并且与光导体 29 上进入面 7 的法线成入射角 β 。第二光导体 27 的单根光纤 52 具有孔径角 γ ,在该孔径角 γ 之内可获取与该单根光纤 52 相遇的光。孔径角 γ 通过单根光纤 52 的数值孔径给出。

[0201] 为了确保尽可能高的光输出,优选地,光束 58 的孔径角 α 和入射角 β 的总和小于光纤束 29 的单根光纤 52 的孔径角 γ : $\alpha + \beta < \gamma$ 。由此保证,光束 58 的与单根光纤 52 相遇的全部光进入到单根光纤 52 中并且运输至第二光导体 29 的退出面 6。

[0202] 为此所需的光束 58 的孔径角 α 和入射角 β 通过样本物镜和 / 或参考物镜和 / 或输出物镜 41、46 或 47 的相应方案来实现。这尤其这样达到,即两个物镜组合(样本物镜和输出物镜 41/47 或参考物镜或输出物镜 46/47)放大成像,也即光纤束(“图像侧”)的进入面 7 区域中光束 58 的孔径角小于样本 1 侧(“物体侧”)的孔径角(未示出)。由此,可以以简单的方式在样本 1 侧实现更大的孔径角,由此达到较高的光汇聚效率(Lichtsammleffizienz)。由此,在获得由样本 1 反射的光时,与第二光导体 29 的光纤束中无损失的光耦合一同确保整体极高的光输出并因而达到较高的图像质量。

[0203] 备选地或额外地,为提高光输出,使得探测物镜 31 的光纤束侧的数值孔径与第二光导体 29 的光纤束的数值孔径匹配。在此,探测物镜 31 的孔径角大于光纤束的单根光纤 52 的孔径角 γ 。

[0204] 优选地,探测物镜 31 在光纤束侧上是远心的。由此,可以以简单的方式计算光纤束的反射特性(Abstrahlcharakteristik)。输出面 6 上的场角(Feldwinkel)对于输出面 6 上的每个位置都等于零。

[0205] 随着探测器 30 上光线入射角的增大,由探测器 30 获得的光效率降低。为确保尽可能高的光输出而保持探测器 30 上光线的入射角尽可能小。这优选地通过第二光导体 29 的光纤束在探测器 30 上放大的成像以及探测物镜 31 在探测器 30 侧的远心设计来达到。

[0206] 应用所述的光纤束来传输图像的其它优点在于,系统的整体放大 M 可分成两个步骤,也即在测量头中(也即第二干涉仪 20 中)的第一放大 M_1 和在探测物镜 31 中的第二放大 M_2 。由此,测量头中物镜 41、47 和 47 的第一放大率 M_1 可小于 OCT 系统的额定分辨率所需的整体放大率 M 。下述示例阐明:在 $20 \mu\text{m}$ 的像素间距、 $10 \mu\text{m}$ 的光纤间距以及 $2.5 \mu\text{m}$ 的额定分辨率时,可通过如上所述设置的第二光导体 29 的光纤束实现在测量头中的放大率 $M_1 = 4$ 以及探测物镜 31 中的放大率 $M_2 = 2$,以获得整体放大率 $M = M_1 \times M_2 = 8$ 。与此相反,如果没有通过所述的光纤束进行图像传输,则必须在测量头中产生与整体放大率 $M = 8$ 相同的放大率。

[0207] 因而,应用上述光纤束具有这样的优点,即整体放大率 M 不必仅通过第二干涉仪 20 的物镜实现,可使得测量头的样本物镜和 / 或参考物镜和 / 或输出物镜 41、46 或 47 构造成较简单且节省空间,由此可整体上基本紧凑地设计测量头。

[0208] 因此,如在图 4 所示的第二干涉仪 20 的示例中,在进入面 7 的区域中,优选地将第二干涉仪 20 的输出物镜的样本物镜 41 或透镜 47 的平均直径 $D1$ 选择成小于第二光导体 29 的直径 $D2$: $D1 < D2$ 。

[0209] 9. OCT 系统的运行模式

[0210] 上述 OCT 系统可在 3 种不同的运行模式中运行。运行模式涉及两个实时模式以及静态运行模式,在两个实时模式中以大约每秒 5 至 10 个图像的较高速度产生样本的 OCT 图像。

[0211] 在第一运行模式实时模式 1 中,实时地产生样本 1 的二维深度截面 (Tiefenschnitte) (所谓的片 (Slices))。这通过这样的方式实现,即 CMOS 相机应用为探测器 30,该 CMOS 相机允许调整所谓的感兴趣窗口 (WOI),其中仅探测器 30 的部分面对于光敏感并且该光转变成相应的探测器信号。敏感相机的面的减少与明显提高的相机速度相关;在该调整中每秒可比在全图像模式中产生更多的相机图像。

[0212] 在实时模式 1 中,优选地选择 WOI,其在一个方向上相应于整个相机长度或相机宽度 (例如 640 像素) 并且在另一个方向上具有 - 通过各相机的类型给出的 - 最小可能数量的像素 (例如 4 像素)。由此使得相机的增速到可以实时地拍摄 OCT 图像。

[0213] 这优选地结合耦合到第一干涉仪 10 中或由第一干涉仪 10 输出的光 14 或 4 的强度调制或探测系统 30、31 的灵敏度的调制 (见上面 3 和 4 部分) 而达到。

[0214] 图 17 示出了探测面 F1,该探测面 F1 包括第一数量 $N1$ 的探测元件 80 并且具有长度 $c1$ 及宽度 $b1$ 。在上述调整 WOI 中,光仅由位于探测面 F1 的部分面 F2 中的探测元件 80 获取并且转变成相应的探测器信号。部分面 F2 的探测元件 80 的第二数量 $N2$ 小于整个探测面 F1 的探测元件 80 的第一数量 $N1$ 。探测面 F1 和部分面 F2 的长度 $c1$ 和 $c2$ 为相同大小,而探测面 F1 和部分面 F2 的宽度 $b1$ 和 $b2$ 不同。

[0215] 在所示的示例中,部分面 F2 仅 4 个像素宽,而探测面 F1 却为 512 像素宽。探测面 F1 的敏感面降低到 $1/128$,这极大地缩短了获取干涉图案和将其转变成相应探测器信号所需的持续时间。

[0216] 如图 18 所示,在此示例中代替全三维断层图,仅由所观察的样本 1 的空间单元 33 得到 4 个 (相应于部分面 F2 的 4 个像素排列) 二维深度截面 67。

[0217] 在第二运行模式实时模式 2 中,如图 19 所示,二维断层图 68 由所观察的样本 1 的空间单元 33 的特定深度 T 产生,其中可自由选择深度 T 。在此,使用探测器 30 的整个探测面 F1 来获取由样本 1 反射的光并将其转变成相应的探测器信号,然而,其中每次最大仅引用 5 个相机图像来计算断层图 68。此外,第一参考反射镜 11 在第一干涉仪 10 中以大约 $1 \mu m$ 的幅度周期地移动,直至获得 5 个相机图像,然后将它们计算成 OCT 图像。以此方式,可以较高的重复率产生断层图 68。

[0218] 通过第二参考反射镜 12 的宏观移动 (必要时与焦点追踪组合) (见上面的 1 和 2 部分),可自由选择获得断层图 68 的深度 T 。

[0219] 在第三运行模式静态模式中,借助于第二参考反射镜 12 的宏观移动与焦点追踪的组合获得整个三维数据记录。在此,具体情况参见 1 和 2 部分。

[0220] 通过不同的运行模式,OCT 系统可满足一系列不同的要求。由此,极大地扩展了在检查样本时的功能,例如在找寻样本中的相关位置。

[0221] 10. 用于 OCT 的系统和方法的其它发明方面

[0222] 上面详述的用于 OCT 的系统和方法具有单个特征或特征组合,通过单个特征或特征组合,使得该系统和方法结构尤其简单和紧凑以及使得操纵和图像获取更快更可信,而在此不需要执行所有独立权利要求的前序部分和 / 或特征部分中的特征。这些特征和特征组合同时视为本发明。

[0223] 尤其是,具有下列元件的、用于光学相干断层摄影的系统是本发明:

[0224] - 用于输出光的至少一个干涉仪,其中利用该光照射样本,以及

[0225] - 用于获取由样本反射的光的探测器,其中该系统通过一个或多个特征来表征,这些特征尤其在 1 至 9 部分中和 / 或结合图 1 至 19 详细说明。

[0226] 相应于此系统的方法同时视为本发明。

[0227] 利用由干涉仪输出的光来间接或直接地实现对样本的照射,其中间接也即是指通过干涉仪和样本之间的另一干涉仪,直接也即是指干涉仪和样本之间没有另一干涉仪。

[0228] 通过探测器来间接或直接地获取由样本反射的光,其中,间接也即是通过样本和探测器之间的另一干涉仪,直接也即是在探测器和样本之间没有另一干涉仪。

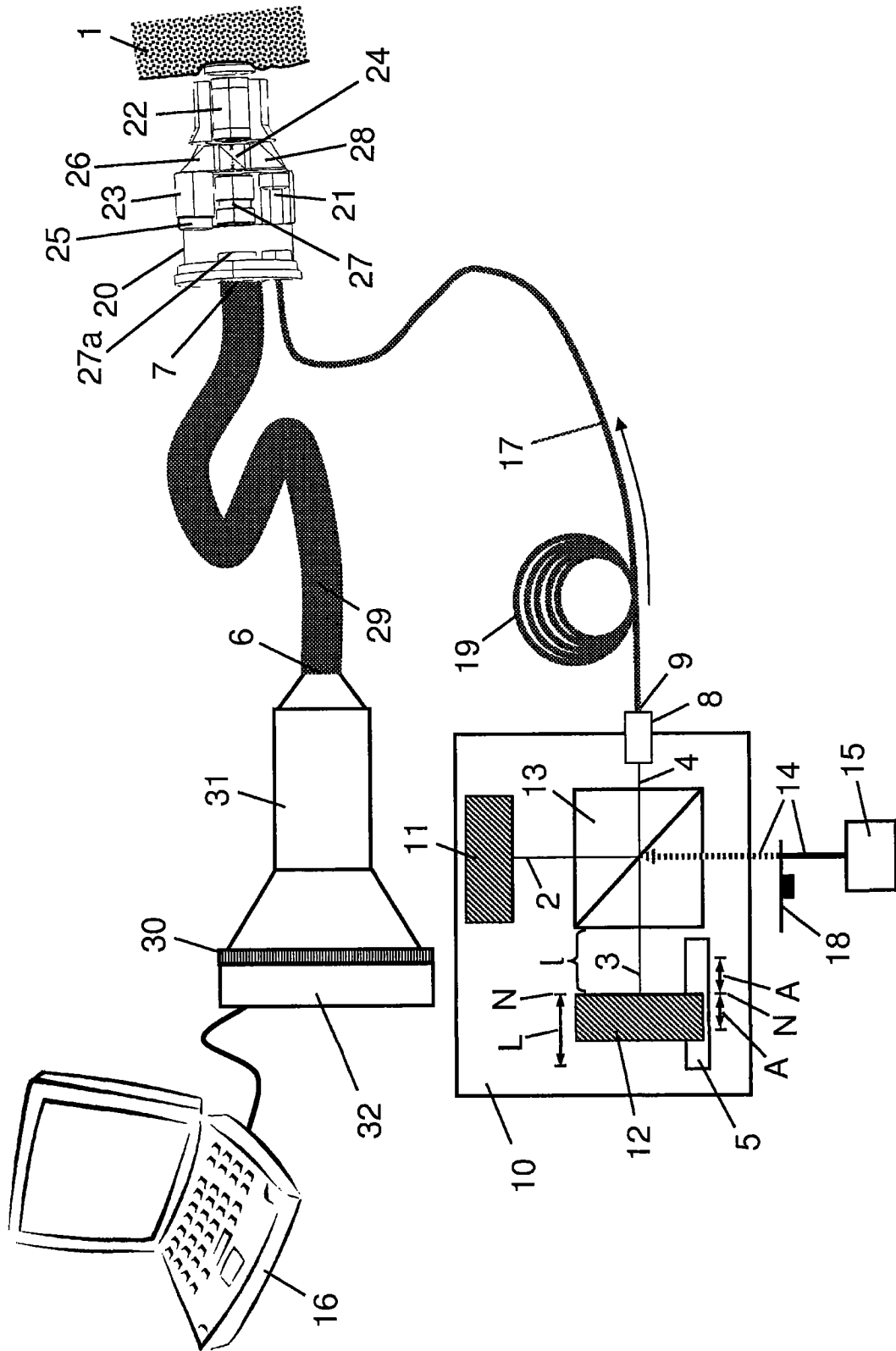


图 1

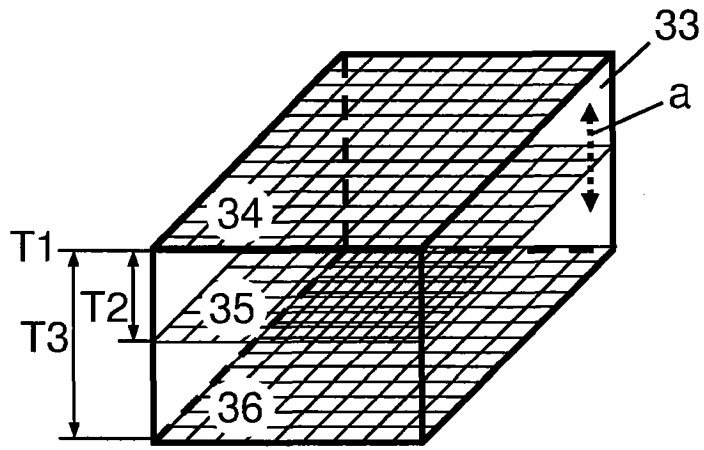


图 2a)

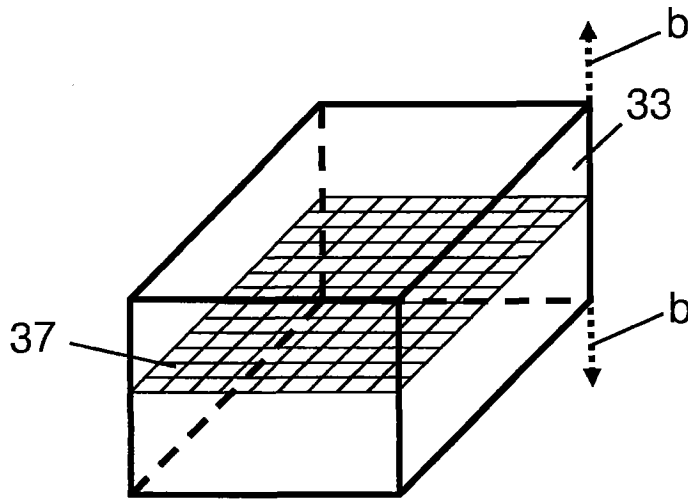


图 2b)

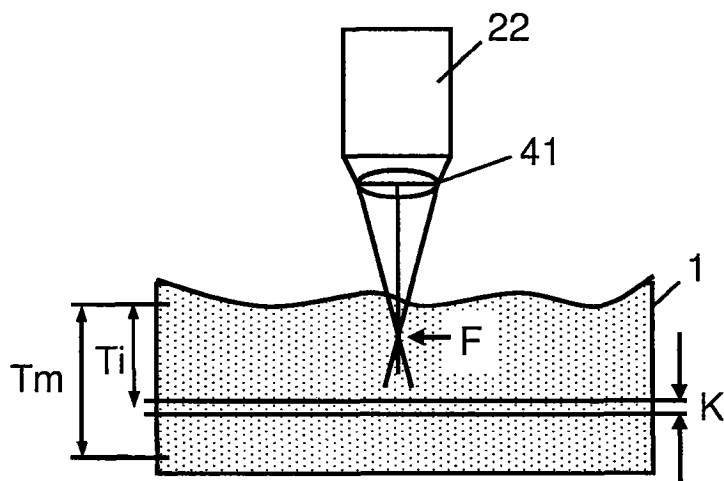


图 3a)

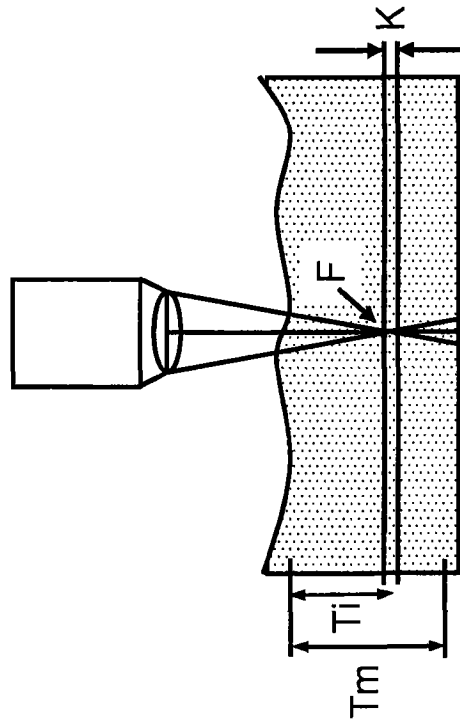


图 3b)

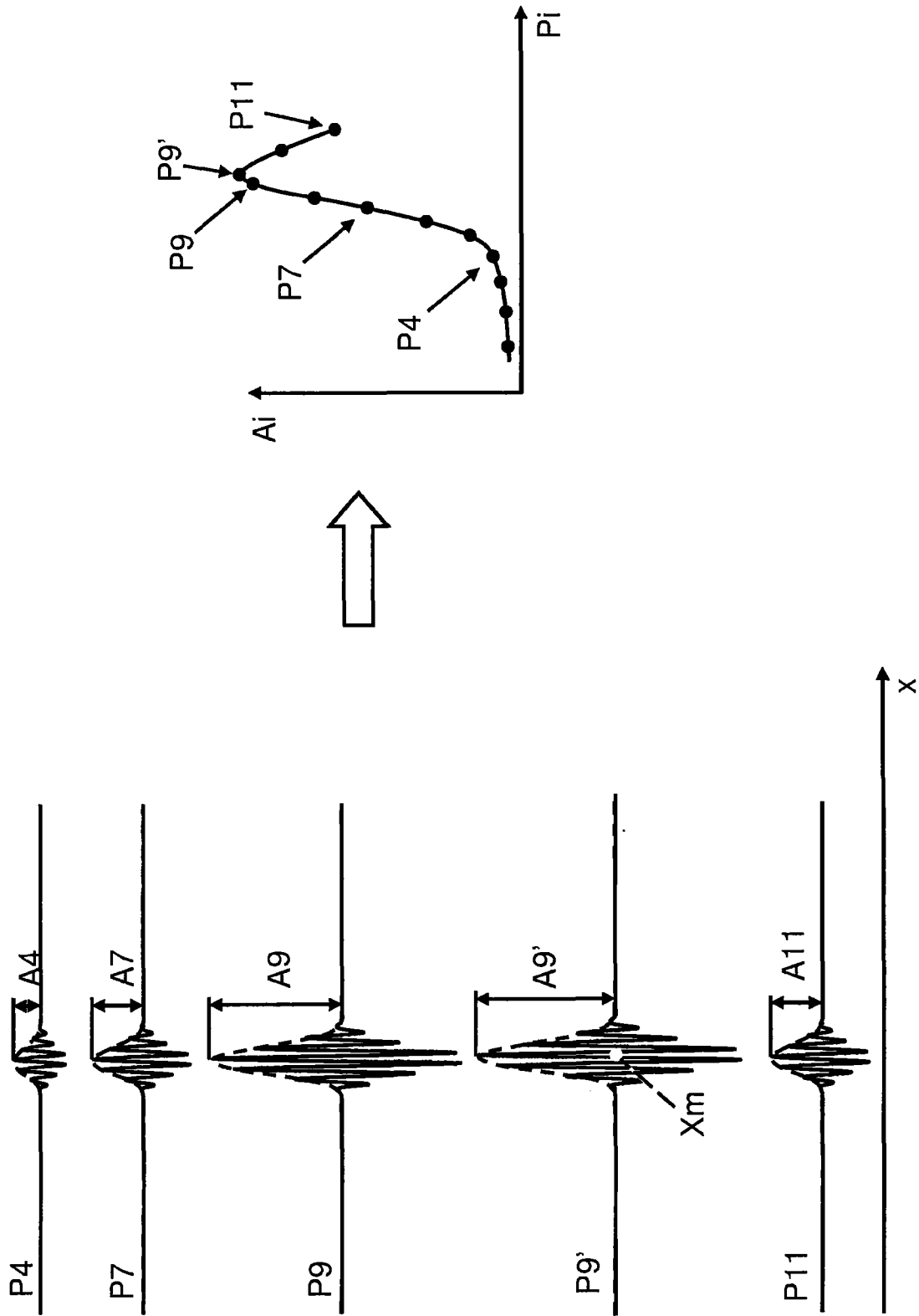


图 5

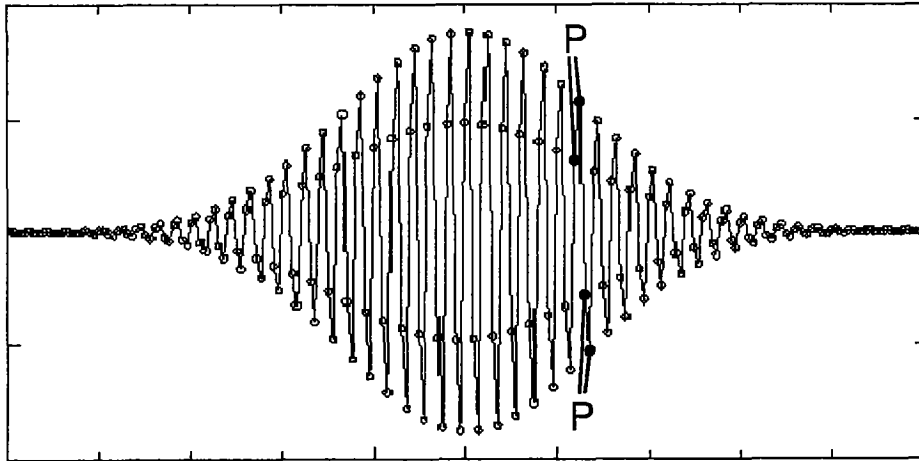


图 6a)

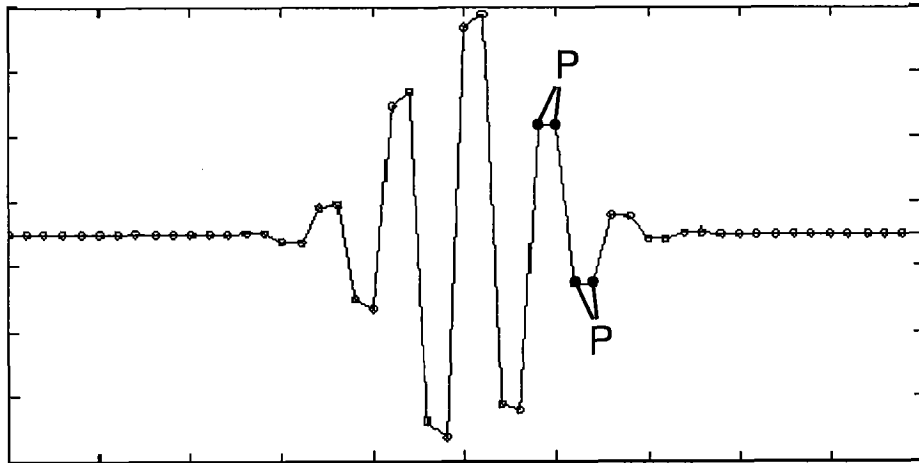


图 6b)

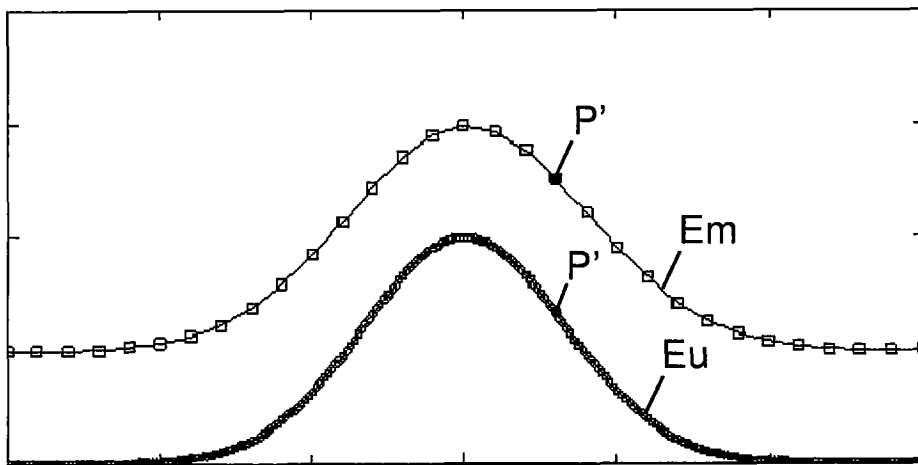


图 6c)

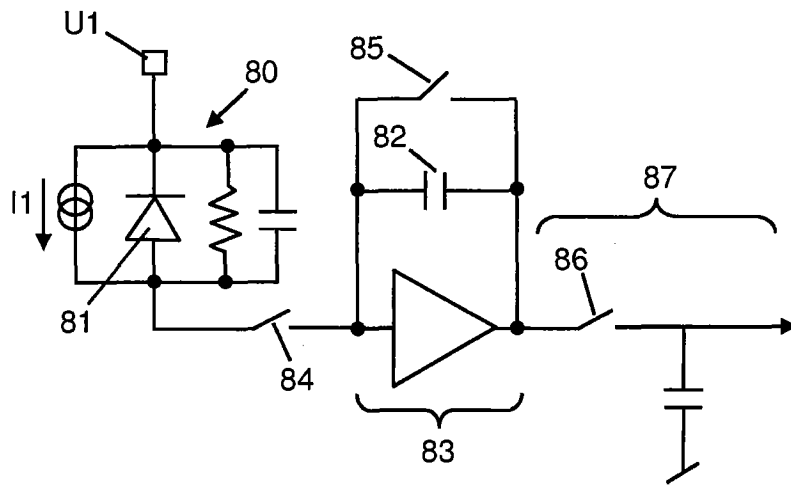


图 7

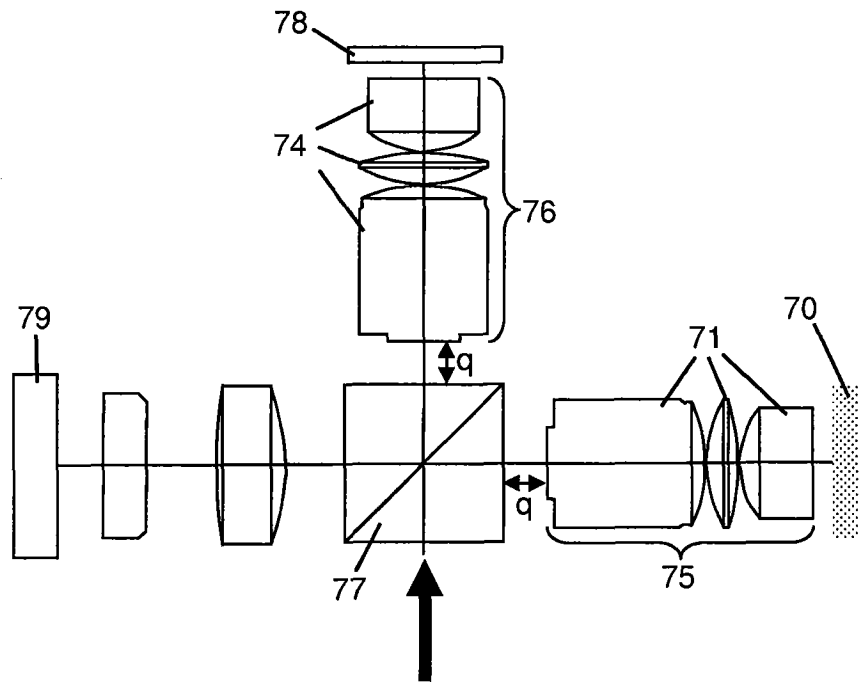


图 8

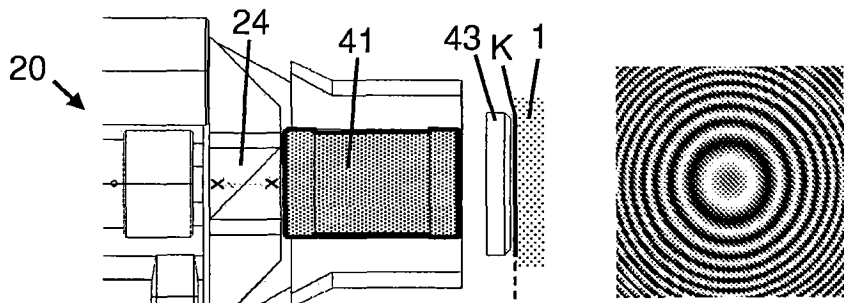


图 9 a)

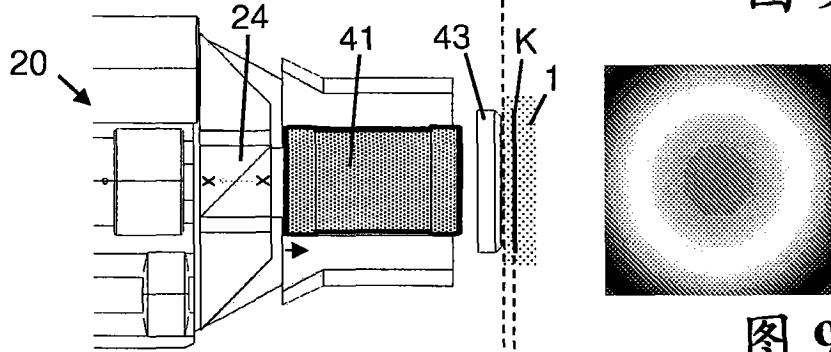


图 9 b)

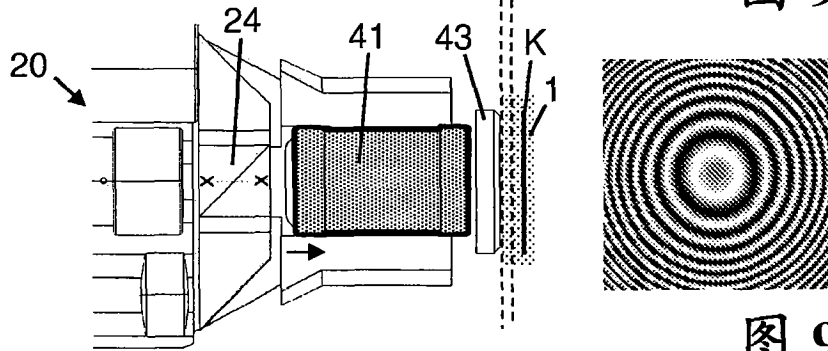


图 9 c)

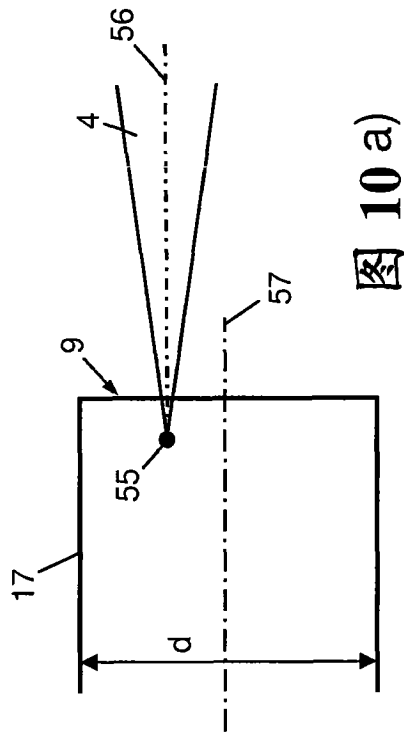


图 10 a)

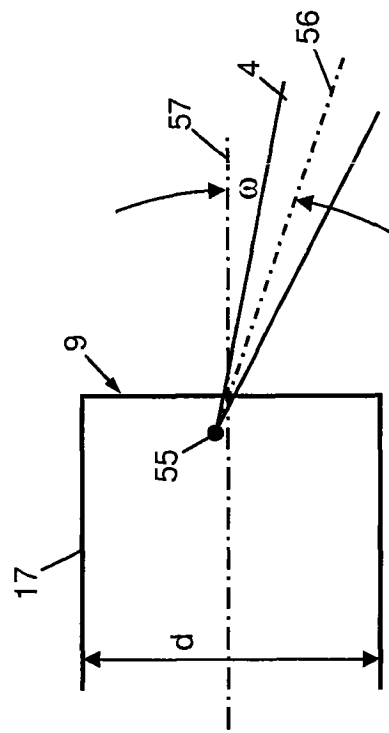


图 10 b)

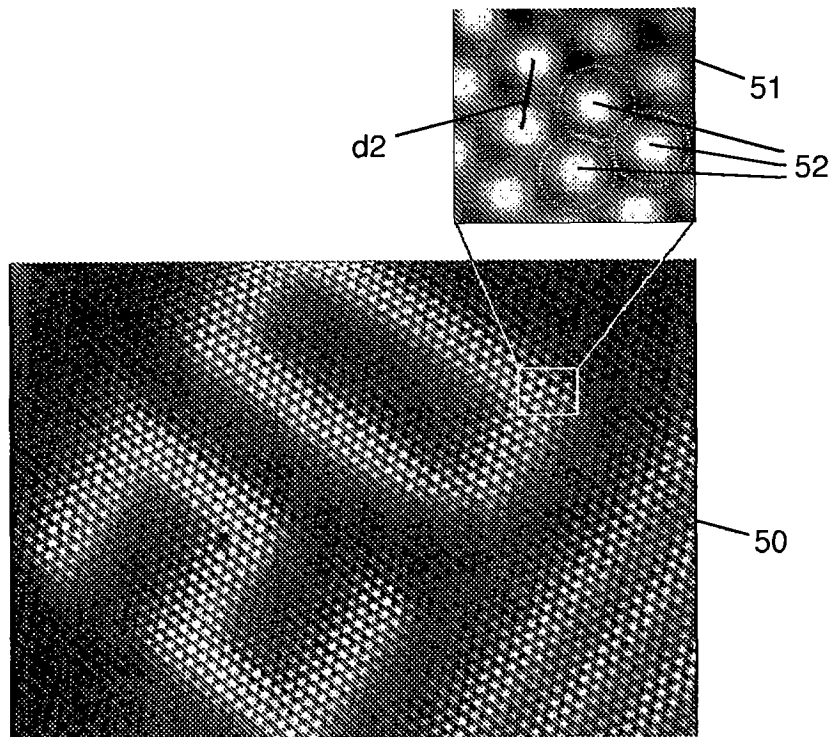


图 11

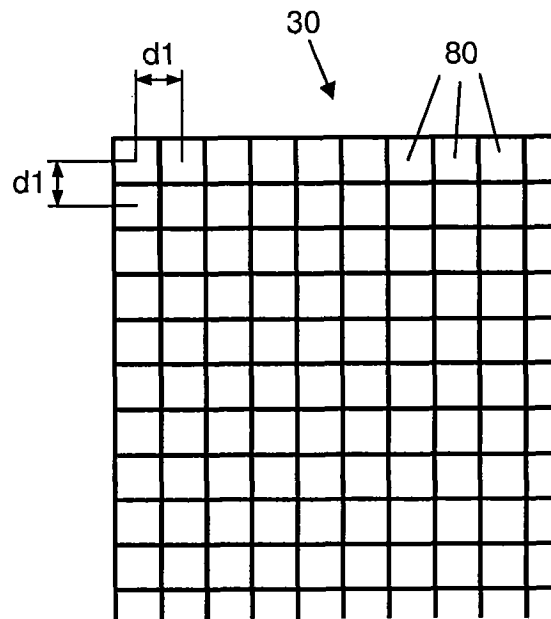


图 12

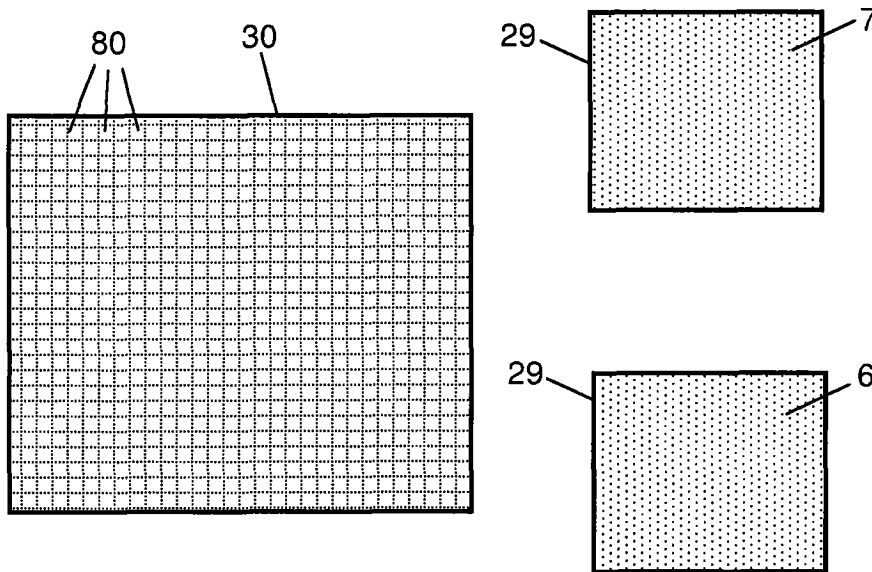


图 13

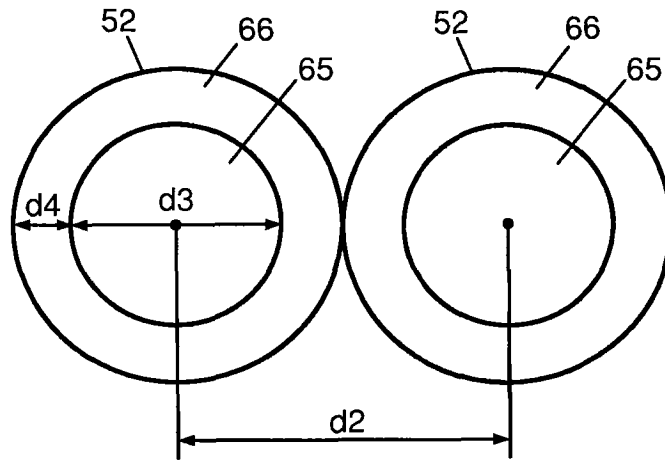


图 14a)

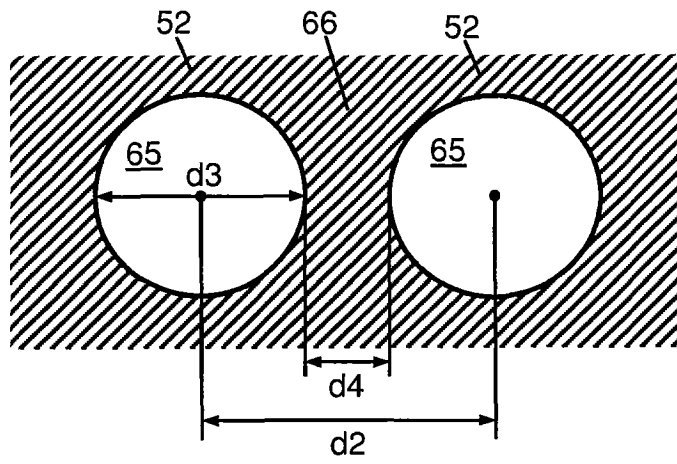


图 14b)

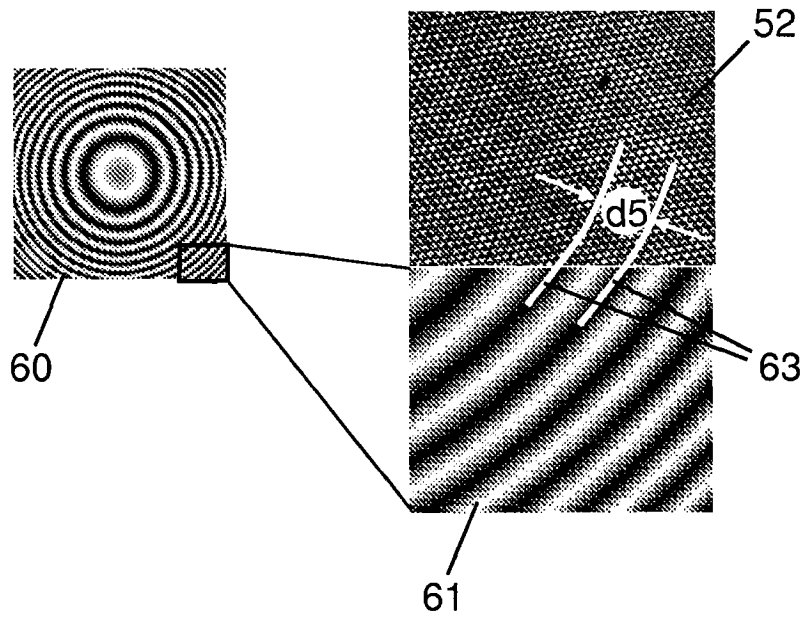


图 15

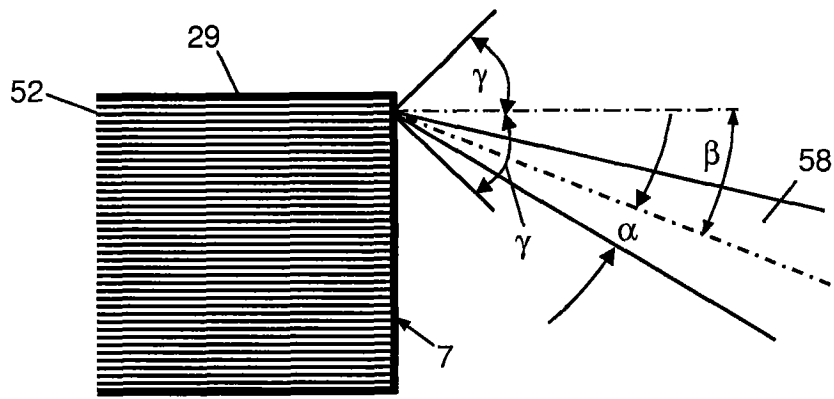


图 16

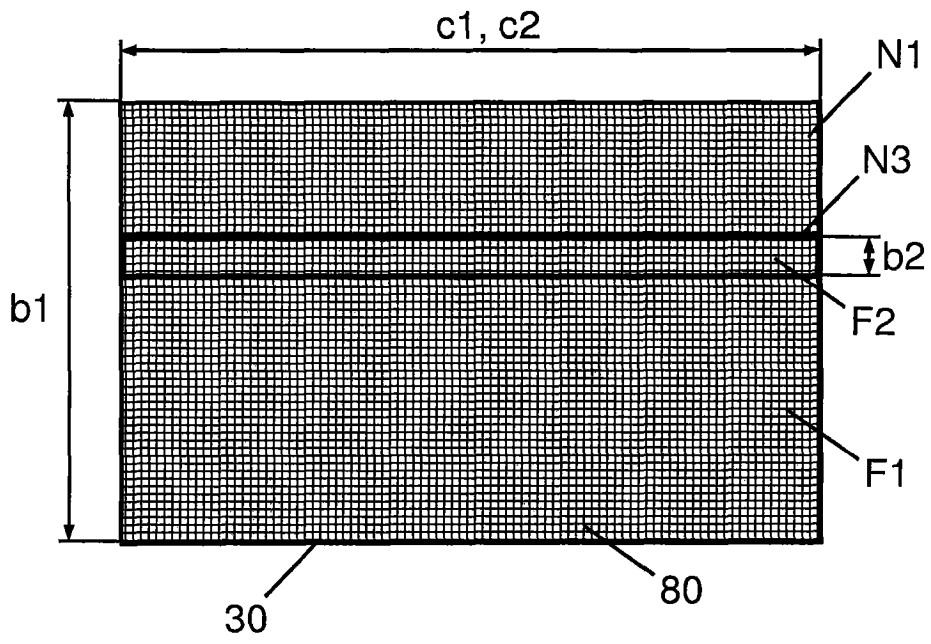


图 17

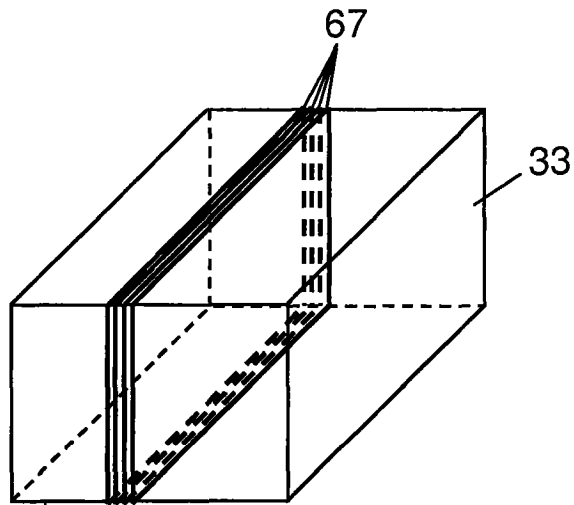


图 18

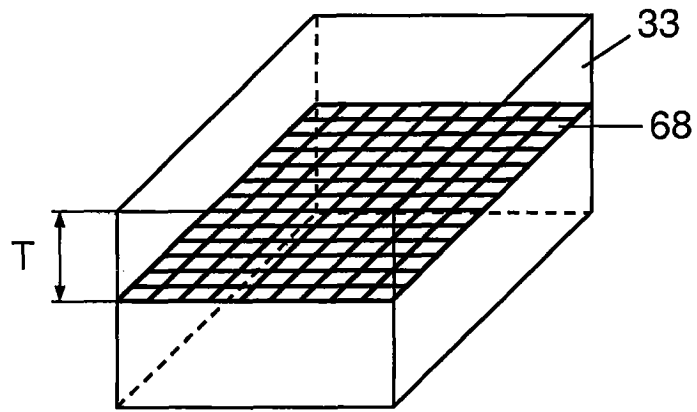


图 19