



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106716112 B

(45)授权公告日 2019.08.06

(21)申请号 201580052315.3

(72)发明人 马约·杜朗德热维涅

(22)申请日 2015.09.29

菲利普·加斯塔尔多

(65)同一申请的已公布的文献号

(74)专利代理机构 北京柏杉松知识产权代理事

申请公布号 CN 106716112 A

务所(普通合伙) 11413

(43)申请公布日 2017.05.24

代理人 谢攀 刘继富

(30)优先权数据

(51)Int.Cl.

1459170 2014.09.29 FR

G01N 21/95(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

G01N 21/88(2006.01)

2017.03.28

G01B 11/24(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据

(56)对比文件

PCT/EP2015/072368 2015.09.29

CN 1365445 A, 2002.08.21,

(87)PCT国际申请的公布数据

US 4030830 A, 1977.06.21,

W02016/050738 FR 2016.04.07

WO 02/39099 A2, 2002.05.16,

(73)专利权人 统一半导体公司

US 2009/0195786 A1, 2009.08.06,

地址 法国蒙特邦奥圣马尔坦

CN 1314991 A, 2001.09.26,

审查员 王琴

权利要求书2页 说明书9页 附图10页

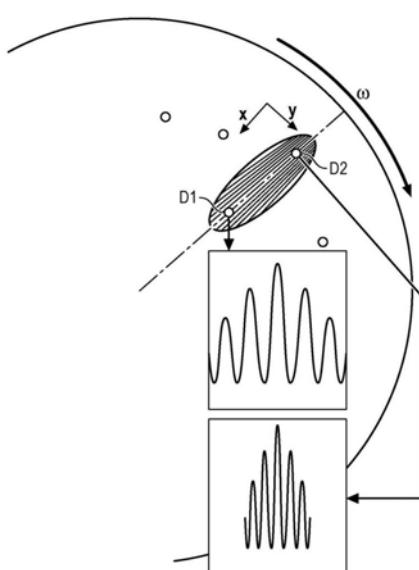
## (54)发明名称

用于检验用于电学、光学或光电子学的透明晶片的方法和系统

## (57)摘要

本发明涉及一种用于检验用于电学、光学或光电子学的晶片的方法，其包括：使晶片绕与所述晶片的主表面垂直的对称轴转动；从与干涉装置(30)耦接的光源(20)发射两条类准直入射光束，以在两条光束之间的交叉处形成包含干涉条纹的测量空间，缺陷通过所述测量空间的时间特征取决于缺陷在所述测量空间中通过的位置处的条纹间距的值，所述干涉装置(30)和所述晶片相对于彼此布置为使得所述测量空间在所述晶片的区域中延伸；收集由所述晶片的所述区域散射的光的至少一部分；捕获所收集的光并发射电信号；在所述信号中检测所述所收集的光的强度变化中的频率分量；从所述缺陷通过的位置处的所述条纹间距的值，确定所述缺陷在径向方向和/或所述晶片的厚度中的位置。

B CN 106716112



1. 一种用于检验用于电学、光学或光电子学的晶片(2)的方法,包括:

-使晶片(2)绕与所述晶片的主表面(S)垂直的对称轴(X)转动,

-从与干涉装置(30)耦接的光源(20)发射两条类准直入射光束,以在所述两条光束之间的交叉处形成包含干涉条纹的测量空间,所述干涉条纹横向于所述晶片的转动路径延伸并且在所述测量空间内具有可变的条纹间距,缺陷通过测量空间的时间特征取决于所述缺陷在所述测量空间中通过的位置处的条纹间距的值,所述晶片在所述光源的波长是至少部分透明的,

所述干涉装置(30)和所述晶片(2)相对于彼此布置为使得所述测量空间在所述晶片的区域中延伸,所述区域的厚度小于所述晶片的厚度,

-收集由所述晶片的所述区域散射的光的至少一部分,

-捕获所收集的光并发射表示所收集的光的光强度随时间的变化的电信号,

-在所述信号中检测所述所收集的光的强度变化中的频率分量,所述频率是缺陷通过所述测量空间的时间特征,

-基于所述缺陷通过的位置处的条纹间距的值来确定所述缺陷在径向方向上和/或所述晶片的厚度中的位置。

2. 根据权利要求1所述的方法,所述干涉装置(30)是集成光学装置,其包括光导,所述光导的输入端与所述光源耦接并且被分成两个分支,所述光导的输出端被定向为在两条光束的交叉处形成所述测量空间。

3. 根据权利要求1或2所述的方法,其中所述条纹间距在所述晶片的径向方向上变化。

4. 根据权利要求1或2所述的方法,其中所述条纹间距在所述测量空间距所述晶片的转动轴最远的端部处的最小距离和所述测量空间距所述晶片的转动轴最近的端部处的最大距离之间变化。

5. 根据权利要求1或2所述的方法,其中在所述测量空间中,所述条纹间距在标称值的±50%的区间内变化。

6. 根据权利要求1或2所述的方法,其中所述测量空间相对于所述晶片的主表面(S)的法线倾斜10°到80°的角度。

7. 根据权利要求1或2所述的方法,其中所述测量空间相对于所述晶片的主表面(S)的法线倾斜0°到40°的角度。

8. 根据权利要求7所述的方法,还包括对信号进行带通滤波,所述滤波器的通带被选择为仅传输所述信号的、具有与在所述晶片的厚度中确定位置相关联的多普勒频率的部分。

9. 一种用于检验用于电学、光学或光电子学的晶片(2)的系统(1),包括:

-用于驱动晶片绕与所述晶片的主表面(S)垂直的对称轴(X)转动的装置(10),

-光源(20),其适配为发射类准直光束,所述类准直光束的波长被选择为使得所述光束的至少一部分透射穿过所述晶片(2),

-干涉装置(30),其与所述光源耦接,以将由所述光源(20)发射的光束分成两条光束并且在所述两条光束之间的交叉处形成包含干涉条纹的相应测量空间,条纹间距在所述测量空间内是可变的,

-用于收集由所述晶片散射的光的装置(40),

-用于捕获所收集的光的装置(50),其配置为发射表示所收集的光的光强度随时间的

变化的电信号，

-处理装置(60)，其被配置为在所述信号中检测所述所收集的光的强度变化中的频率分量并且基于所述频率确定所述条纹间距的值和缺陷在径向方向上和/或所述晶片的厚度中的位置，其中所述频率是所述缺陷通过相应测量空间的时间特征并且取决于所述缺陷在所述测量空间中通过的位置处的所述条纹间距的值。

10. 根据权利要求9所述的系统，其中所述干涉装置是集成光学装置。
11. 根据权利要求9或10中任一项所述的系统，还包括用于沿径向平移移动所述干涉装置(30)和用于收集散射光的装置(40)的臂。

## 用于检验用于电学、光学或光电子学的透明晶片的方法和系统

### 发明领域

[0001] 本发明涉及一种用于检验用于电学、光学或光电子学的晶片的方法和系统，所述晶片在用于进行检验的光源的波长下是部分或完全透明的。

[0002] 发明背景

[0003] 在制造和使用用于电学、光学或光电子学的晶片(根据英语术语为“wafers”)时，通常对每个晶片的表面进行检验以检测其上可能的缺陷。

[0004] 由于要检测的缺陷的尺寸非常小，操作者的目视检验是不够的。

[0005] 此外，检验通常不仅旨在发现是否存在缺陷，而且还旨在提供关于所述缺陷的定性和/或定量信息，例如，比如其位置、其尺寸和/或其性质。

[0006] 因此，已经开发出检验系统以检测越来越小的缺陷并且提供关于所述缺陷的性质、尺寸、位置等的所有所需信息。

[0007] 这些系统还必须允许每个晶片的检验持续时间足够短，以便不会不利地影响生产速度。

[0008] 已知各种检验技术。

[0009] 第一种技术是激光多普勒效应测速仪(英文名称为“Laser Doppler Velocimetry”，缩写为LDV)。

[0010] 文献WO 2009/112704描述一种实施该技术来检验半导体晶片的系统。如能够从图1所见，该系统包括光源20和与光源耦接的干涉装置30，所述干涉装置面向由运动启动的待检验晶片2的表面S布置。所述干涉装置包括光导，其输入端与光源耦接并且包括用于将源自光源的光束分成两条入射光束的两个分支。在光导的输出端，两个分支相对于彼此定向为在两条光束之间的交叉处形成包括多条平行条纹的测量空间。所述系统还包括光纤40，其布置在晶片的表面和检测模块50之间，以将由晶片的表面背向散射的光引导向检测模块。

[0011] 当晶片表面上存在的缺陷穿过干涉条纹时，该缺陷的存在表现为由检测模块测量的多普勒闪烁(bouffée Doppler)的散射。多普勒闪烁是具有双频分量的信号：低频分量，其形成信号包络，对应于由缺陷散射的平均光强度；以及高频分量，其对应于包含关于缺陷速度信息的多普勒频率。多普勒频率 $f_D$ 与缺陷在垂直于干涉条纹的方向上的移动速度 $v$ 以及干涉条纹之间的距离 $\Delta$ (或条纹间距)通过关系式 $v=f_D \cdot \Delta$ 相关联。

[0012] 文献WO 02/39099描述了另一种用于依靠激光多普勒效应测速仪来检验半导体晶片的系统。

[0013] 用于检验晶片的另一种已知技术是暗场(根据英文术语为“dark field”)显微法，其在于从光源沿晶片方向发射光束以及测量由表面背向散射的光的强度。散射强度的变化揭示晶片表面上缺陷的存在。

[0014] 这些不同的技术适用于在光束的波长下不透明的晶片。

[0015] 另一方面，没有已知的技术允许对在光源的波长下至少部分透明的晶片(在下文中所述镜片称为“透明的”)进行满意的检验。

[0016] 事实上,在这种情况下,不仅存在于晶片表面上(在暴露于光束的面和/或相对面上)并且还存在于晶片的厚度中的缺陷使入射光散射,并因此能够被检测到。因此,不可能知道每个检测到的缺陷是否位于待检验的表面上。

[0017] KLA-Tencor公司提出了一种称为Candela<sup>TM</sup>的、激光扫描系统和共焦检测类型的用于检验透明晶片的系统。然而,由于共焦测量所需的定位精度,这种系统特别难以聚焦,因此不提供可重复的结果。

## 发明内容

[0018] 本发明的目的是解决上述问题并设计用于检验透明晶片的系统和方法,其提供比已知技术更高的测量灵敏度和测量可重复性。

[0019] 根据本发明,提出一种用于检验用于电学、光学或光电学的晶片的方法,其包括:

[0020] -使所述晶片绕与所述晶片的主表面垂直的对称轴转动,

[0021] -从与干涉装置耦接的光源发射两条类准直入射光束,以在两条光束之间的交叉处形成包含干涉条纹的测量空间,所述干涉条纹横向于所述晶片的转动路径延伸并且在所述测量空间内具有可变的条纹间距,缺陷通过测量空间的时间特征取决于所述缺陷在所述测量空间中通过的位置处的条纹间距的值,所述晶片在光源的波长下是至少部分透明的,

[0022] 所述干涉装置和所述晶片相对于彼此布置为使得所述测量空间在所述晶片的区域中延伸,所述区域的厚度小于所述晶片的厚度,

[0023] -收集由所述晶片的所述区域散射的光的至少一部分,

[0024] -捕获所收集的光并发射电信号,所述电信号表示所收集的光的光强度随时间的变化,

[0025] -在所述信号中检测所述所收集的光的强度变化中的频率分量,所述频率是缺陷通过测量空间的时间特征,

[0026] -基于所述缺陷通过的位置处的所述条纹间距的值来确定所述缺陷在径向方向上和/或所述晶片的厚度中的位置。

[0027] 根据优选实施例,所述干涉装置是集成光学装置,其包括光导,光导的输入端与光源耦接并且被分成两个分支,光导的输出端被定向成在两条光束的交叉处形成所述测量空间。

[0028] “类准直光束”指的是具有小发散度的非准直光束,即通常小于20°的非零发散度。

[0029] 特别有利地,条纹间距在晶片的径向方向上变化。

[0030] 优选地,所述条纹间距在于测量空间距晶片的转动轴最远的端部处的最小距离和于测量空间距晶片的转动轴最近的端部处的最大距离之间变化。

[0031] 根据实施例,在测量空间中,条纹间距在标称值的±50%的区间内变化。

[0032] 根据本发明的主要专用于确定缺陷的径向位置的实施方式,测量空间相对于晶片的主表面的法线倾斜10°到80°的角度。

[0033] 根据本发明的主要专用于确定缺陷在晶片的厚度中的位置的另一实施例,测量空间相对于晶片主表面的法线倾斜0°到40°的角度。

[0034] 根据实施例,该方法还包括对信号进行带通滤波,所述滤波器的通带被选择为仅传输信号的具有与晶片的厚度中确定位置相关联的多普勒频率的部分。

- [0035] 另一主题涉及一种用于检验用于电学、光学或光电子学的晶片的系统,包括:
- [0036] -用于驱动晶片绕与所述晶片的主表面垂直的对称轴转动的装置,
- [0037] -适配为发射类准直光束的光源,所述类准直光束的波长被选择为使得所述光束的至少一部分透射穿过晶片,
- [0038] -干涉装置,其与所述光源耦接,以将由所述光源发射的光束分成两条光束并且在所述两条光束之间的交叉处形成包含干涉条纹的相应测量空间,条纹间距在所述测量空间内是可变的,
- [0039] -用于收集由所述晶片散射的光的装置,
- [0040] -用于捕获所收集的光的装置,其被配置为发射电信号,所述电信号表示所收集的光的光强度随时间的变化,
- [0041] -处理装置,其被配置为在所述信号中检测所述所收集的光的强度的变化中的频率分量并且基于所述频率确定所述条纹间距的值和所述缺陷在径向方向上和/或所述晶片的厚度中的位置,所述频率是缺陷通过相应测量空间的时间特征并且取决于所述缺陷在所述测量空间中通过的位置处的条纹间距的值。
- [0042] 根据优选实施例,干涉装置是集成光学装置。
- [0043] 特别有利地,该系统还包括用于使干涉装置和用于收集散射光的装置沿径向平移移动的臂。

## 附图说明

- [0044] 根据以下详细描述并且参照附图,本发明的其他的特征和优点将变得明显,在附图中:
- [0045] -图1是在文献WO 2009/112704中描述的、基于激光多普勒效应测速仪的检验系统的原理图,
- [0046] -图2是根据本发明的检验系统的原理图,
- [0047] -图3A和图3B分别以侧视图和俯视图示出根据本发明的第一实施例的、相对于晶片表面的测量空间,
- [0048] -图4A和图4B示意性地示出针对其中的干涉条纹是平行的测量空间和针对根据本发明的第一实施例的、其中的干涉条纹具有在晶片的径向方向上可变间距的测量空间而分别获得的多普勒闪烁,
- [0049] -图5示出针对其中的干涉条纹是平行的测量空间、多普勒频率(以%计)随相对晶片中心的距离r的变化曲线(曲线(a))和针对根据本发明的第一实施例的测量空间的、多普勒频率(以%计)随相对晶片中心的距离r的变化曲线(曲线(b)),
- [0050] -图6A和图6B分别以侧视图和俯视图示出根据本发明的第二实施例的、相对于晶片表面的测量空间,
- [0051] -图7是示出用于定位晶片空间中的缺陷的不同步骤的逻辑图,
- [0052] -图8示出根据第二实施例、实施传统带通滤波器检测晶片厚度中不同位置处的缺陷,
- [0053] -图9示出根据第二实施例、结合高选择性带通滤波器检测晶片厚度中确定位置处的缺陷。

[0054] 为了便于阅读附图,附图不一定是按比例绘制的。

### 具体实施方式

[0055] 本发明涉及旨在用于电学、光学或光电子学领域并且在由光源所发射的光束的波长下至少部分透明的任何晶片。特别地,所述晶片能够包括以下材料中的至少一种:玻璃、蓝宝石、石英、SiC、AsGa、GaN(非限制性列表)。

[0056] 特别有利地,本发明通过使用频率特征来检测缺陷来克服与共焦技术相关的限制,所述频率特征只能缺陷通过由激光多普勒效应测速仪产生的测量空间来发射。

[0057] 在这种系统中,因此必须相对于待检验晶片表面精确地调整干涉装置的定位,使得待检验晶片区域通过所述测量空间的至少一部分;但是由于测量空间的限制和因此的检测通过多普勒频率进行,因此用于收集背向散射光的该装置不需要同样高的定位精度。

[0058] 此外,如下面在一些实施例的描述中将示出的,本发明使得能够在径向方向和/或晶片的厚度方向上以比测量空间的尺寸更高的分辨率来检测缺陷。

[0059] 检验系统1的原理在图2中示出。

[0060] 该系统包括支撑件10,其用于接收待检验晶片2并驱动其绕与所述晶片的主表面S垂直的对称轴X转动。通常,晶片具有圆形形状,但是本发明可应用于任何其他形状。

[0061] 晶片2通过任何合适的部件(比如静电部件、机械部件等)保持在支撑件10上。

[0062] 用于转动支撑件的机构本身是已知的,因此将不再详细描述。

[0063] 支撑件10包括一个或更多个编码器(未示出),使得能够知道晶片在任何时刻的角度位置。

[0064] 检验系统1还包括光源20。

[0065] 光源20通常是DFB(分布反馈,为英文“Distributed Feed Back”的缩写)类型的激光器。

[0066] 光源与将在下面详细描述的干涉装置30耦接。

[0067] 检验系统还包括用于收集由通过测量空间的晶片区域背向散射的光的装置40。该装置40可以包括光纤,其优选地具有大的芯径(即,通常100和1000μm的直径),其输入端布置为面向晶片的表面,靠近测量空间,并且其输出端与用于捕获所收集的光的装置50耦接以发射电信号,所述电信号表示所收集的光的光强度随时间的变化。所述装置50通常包括光检测器。

[0068] 优选地,干涉装置30和用于收集背向散射光的装置40刚性地彼此连结。实际上,收集装置40的输入端必须相对于测量空间以适当的方式定位,以接收由晶片背向散射的光。

[0069] 干涉装置30包括光导,其输入端与光源20耦接并且包括用于将源自光源的光束分成两条入射光束的两个对称分支。每个分支在其端部都具有扩宽部分,其用于在保持其高斯分布的同时扩宽光束。在光导的输出端,所述分支相对于彼此定向为在两条个光束之间的交叉处形成包含干涉条纹的测量空间V。

[0070] 特别有利的,干涉装置具有集成光学装置的形式,其由单一器件构成并且同时确保由光源发射的光束的分离和光束的两个分支的传播,以在传感器的输出端形成干涉空间。注意,集成光学装置是通过微电子技术制造的光学装置。

[0071] P.Lemaitre-Auger等人的文章“Integrated Laser Doppler Velocimeter for

Fluid Velocity and Wall Friction Measurements描述了这样的集成光学装置。

[0072] 这种装置特别由A2 Photonic Sensors公司制造并且以名称i-LDA<sup>TM</sup>销售。

[0073] 例如,集成光学装置能够通过在玻璃衬底上的离子交换来制造。这种工艺通常包括:

[0074] -提供玻璃衬底,

[0075] -在所述玻璃衬底上沉积金属掩模层,

[0076] -在金属层上沉积聚合物层,

[0077] -通过光刻将限定光导形状的图案转移到聚合物层上,

[0078] -在由聚合物掩模暴露的区域中借助于化学工艺对金属掩模层进行化学蚀刻,

[0079] -移除聚合物掩模,

[0080] -将覆盖有蚀刻的金属掩模层的衬底浸入离子浴(例如硝酸钾浴)中,

[0081] -通过未被金属掩模层覆盖的衬底区域交换存在于浴中的离子(例如钾离子)和包含在玻璃中的离子(例如钠离子),所述金属掩模层阻挡离子通过。

[0082] 由于存在于浴中的离子和存在于玻璃中的离子之间在尺寸差异,离子交换在玻璃衬底中产生局部机械应力,这增加了玻璃的折射率。由此获得上述波导。

[0083] 然后去除金属掩模层,并且可选地沉积保护层,例如SiO<sub>2</sub>。最后,剪裁衬底的边缘,并将它们精细抛光。

[0084] 存在用于制造集成光学装置的其他工艺,并且本领域技术人员可以自行从微电子技术中进行选择,以设计集成光学装置。

[0085] 可选地,光学装置还可以与光纤结合,使得能够收集背向散射光。

[0086] 这种集成装置的优点是其鲁棒性和其稳定性。特别地,与通过诸如微光学或光纤之类的其他技术实现的系统不同,集成装置的紧凑性质和各种部件的集成使其对振动和温度梯度不敏感。

[0087] 此外,使每个测量空间在其中延伸的区域(该区域包括待检验表面的一部分)都具有小于晶片厚度的厚度。所述区域的厚度优选小于或等于晶片厚度的90%。例如,对于厚度为500μm至1mm的晶片,使测量空间在具有小于或等于100μm的厚度的晶片区域中延伸。

[0088] 测量空间的尺寸是干涉装置的特性,并且的光导的两个分支之间的角度和所述分支的数值孔径来限定,其中由光源发射的光束这两个分支中传播。因此,这些特性在集成光学装置的生产期间被设定,这使得能够确保在批量生产期间对系统性能的良好控制。

[0089] 因此,可以将该测量空间限制到晶片表面或所述表面的邻近区域。

[0090] 由此,确保了检测到的缺陷位于待检验表面上或其紧邻处,而不是位于晶片的相对表面上。

[0091] 在这一背景下,集成光学装置具有另外的优点,因为其稳定性使得能够避免场深误差。因此,集成装置所允许的场深控制便于通过激光多普勒效应测速仪来检验透明晶片。

[0092] 应注意到,相比之下,考虑到测量空间不穿透这种晶片的厚度,晶片表面的一部分通过测量空间就足以允许对所述表面进行检验,因此对于检验不透明晶片而言,对场深的控制较不重要的。

[0093] 最后,检验系统1包括处理装置60,其被配置为检测所述信号中对应于多普勒频率的频率分量。

[0094] 处理装置60有利地与接口(未示出)耦接,使得使用者能够访问检验结果,以便特别是显示、记录和/或打印结果。

[0095] 根据本发明的特别有利的实施例,检验系统被设计成产生包含不平行(即,不具有恒定的条纹间距)的干涉条纹而具有在测量空间内变化的条纹间距的测量空间。

[0096] 如下面将参考图3A和图3B所阐释的,条纹间距的变化选择为足够大,以允许获得从测量空间的一个点到另一个点足够不同的多普勒频率。条纹间距的这种变化通过由光源20发射类准直(即具有非零且小于20°的发散度)的光束来获得。借助于光束的这种特性,条纹间距沿光束传播方向线性增大。

[0097] 如P.Lemaître-Auger的上述文章中所述,条纹间距取决于光源的波长、光导的光学指数以及光导的两个分支之间的角度。对于给定的光源波长,平均条纹间距因此在集成光学装置的生产期间被设定,条纹间距的可变性通过由光源发射的光束的类准直特性来获得。

[0098] 为了检验晶片,将所述晶片2在支撑件10上放置就位,并且驱动支撑件以受控的角速度 $\omega$ 转动。借助于存在于支撑件10上的编码器,晶片的给定点的角位置在每个时刻都是已知的。晶片的转动速度通常约为5000转/min。

[0099] 在检验系统1中,干涉装置30被布置成在适配为沿径向移动所述装置30的臂(未示出)上面向晶片2的主表面。由此,考虑到晶片的转动,可以通过使干涉装置以及用于收集背向散射光的装置径向平移,利用测量空间连续扫描晶片的整个表面。

[0100] 使干涉条纹相对于晶片的转动路径横向延伸,相对于该路径垂直或成非零角度倾斜。

[0101] 根据一个实施例(未示出),测量空间在平行于晶片主表面的法线的方向上延伸。当测量空间内的条纹间距恒定时,情况尤其可能如此。

[0102] 根据另一实施例,如图3A和图6A所示,测量空间相对于晶片2的主表面S的法线以角度 $\theta$ 倾斜。

[0103] 条纹基本径向地定向为优选地使得条纹间距在于测量空间的、距晶片的转动轴最远的端部处的最小距离d<sub>min</sub>和在测量空间的、距晶片的转动轴最近的端部处的最大距离d<sub>max</sub>之间变化。从测量空间的一端到另一端的变化幅度可以约为标称值的±35%,并且可以例如达到标称值的±50%。

[0104] 图3A和图3B分别以侧视图和俯视图示出相对于晶片的表面S的测量空间。距离d<sub>1</sub>和d<sub>2</sub>对应于测量空间与晶片的相交处的条纹间距。

[0105] 通过比较图4A和图4B,可以看出这种测量空间对缺陷的径向位置的检测分辨率的影响。

[0106] 图4A对应于其中在测量空间V内的条纹间距恒定(即条纹平行)的检验方法。在这种情况下,通过所述测量空间V的两个缺陷D1和D2产生相同频率的多普勒闪烁。这些多普勒闪烁在两个矩形中示出。

[0107] 图4B对应于根据本发明的实施方式的检验方法,其中条纹间距通过朝向晶片中心增大而线性变化。在这种情况下,通过测量空间V的缺陷D1和D2穿过具有不同条纹间距的条纹,并且由于多普勒闪烁的频率取决于条纹间距,因此每个缺陷产生不同频率的多普勒闪烁。

[0108] 由此,通过知道多普勒频率和缺陷速度,能够以更高的分辨率确定所述缺陷的位置。

[0109] 例如,测量空间具有以下尺寸: $x*y*z=220*y*80\mu m$ (在所讨论的情况下,尺寸不重要),并且能够以角度 $\theta=30^\circ$ 相对于晶片表面S的法线倾斜。通常,在该实施例中选择相对于晶片的主表面的法线为 $10^\circ$ 到 $80^\circ$ 的角度。条纹间距被选择为长 $1.4\mu m \pm 10\%$ ,在径向方向x上线下性变化。因此,最小条纹间距 $d_{min}$ 等于 $1.26\mu m$ ,最大条纹间距等于 $1.54\mu m$ 。在该配置中,在测量空间的与晶片交叉的部分中,条纹间距在值 $d_1=1.37\mu m$ 和值 $d_2=1.43\mu m$ 之间变化,即从测量空间的该部分的一端到另一端变化 $0.06\mu m$ 。

[0110] 图5示出针对在其中干涉条纹为平行的测量空间、多普勒频率(以%计)相对晶片中心的距离r的变化曲线(曲线(a))和针对根据本发明的第一实施例的测量空间、多普勒频率(以%计)相对晶片中心的距离r的变化曲线(曲线(b))。

[0111] 观察到,在条纹间距恒定的情况下,除了晶片的中心部分之外,多普勒频率的变化非常小。

[0112] 另一方面,在条纹间距径向变化的情况下,从测量空间的一端到另一端的多普勒频率变化为最小4.5%,并且因此能够在晶片的表面的任何点处被测量。假设可以检测百分之一量级的频率差异,使用具有可变的条纹间距的测量空间使得能够将确定缺陷的径向位置的分辨率增加几乎5倍。

[0113] 除了改进确定缺陷的径向位置的分辨率的之外,实施具有可变条纹间距的测量空间具有显著简化干涉装置的设计的优点。事实上,在已知的检验系统中寻求获得条纹的完美平行度,以避免测量的不准确。该要求包含对干涉装置的设计和生产的严格约束。与检验领域中的通常做法相反,本发明还使得能够免除设计和生产限制,并且因此能够比用于检验不透明晶片的已知系统更容易实现。

[0114] 图6A和图6B示出本发明的第二实施例。如同第一实施例中,形成包含条纹的测量空间,其中条纹间距是可变的。然而,在这种情况下,测量空间在接近晶片表面的法线的方向上倾斜(角度 $\theta$ 大约为0至 $30^\circ$ )。

[0115] 由于晶片在入射光束的波长下至少部分透明,因此测量空间延伸穿过晶片2。因此,不管缺陷的位置(在位于干涉装置侧上的主表面S上,在相对的主表面S'上或在晶片的厚度E中),该缺陷产生多普勒闪烁并且因此能够被检测。

[0116] 条纹间距的可变性使得能够更精确地确定缺陷在晶片厚度方向上的位置。事实上,如图6B中能够看到的,条纹间距在厚度方向和径向方向上在最小距离( $d_{min}, d_{1b}$ )和最大距离( $d_{3a}, d_{max}$ )之间线性地变化,在测量空间的中心处经过中间距离( $d_{2a}, d_{2b}$ )。因此,存在于表面S上的缺陷不会产生与存在于厚度E中的缺陷或存在于表面S'上的缺陷相同频率的多普勒闪烁。

[0117] 图7是示出用于定位晶片体积中的缺陷的不同步骤的逻辑图。

[0118] 该图中提到的参数定义如下:

[0119] r:由测量空间扫过的表面的点的径向位置,

[0120]  $\Phi$ :由测量空间扫过的表面的点的切向位置,

[0121] F:检测到的多普勒频率(检测到的缺陷的多普勒特征),

[0122]  $F_d$ :在径向距离r处存在于晶片表面上的缺陷的理论多普勒频率,

[0123] x: 测量的多普勒频率和理论多普勒频率之间的比 ( $x=F/F_d$ ) ,

[0124] T: 晶片的厚度 ,

[0125] D: 推导深度 ,

[0126]  $\theta$ : 测量空间与晶片法线之间的夹角 ,

[0127] R: 检测到缺陷在晶片厚度中的实际径向位置。

[0128] 假设条纹间距沿着晶片的厚度线性减小, 则缺陷深度由以下公式给出:

$$[0129] D = \frac{(1-x)}{(1-0.8)} * T$$

[0130] 此外, 考虑到形成测量空间的入射光束相对于晶片表面的法线的倾斜角度 $\theta$ , 在晶片厚度中检测到的缺陷对于其径向位置将不是r, 而是:

[0131]  $R=r+D\tan(\theta)$

[0132] 在该方法中, 假设测量空间的所有点具有相同的线速度, 即不考虑与存在于晶片中不同深度处的缺陷具有不同径向位置的事实相关联的切向速度的变化。然而, 如对于第一实施例所阐释的, 在第二实施例中能够可选地利用该现象, 以进一步提高检测分辨率。

[0133] 如能够在图7中看见的, 用于检测缺陷的方法包括以下步骤。

[0134] 步骤100包括捕获背向散射光并发射电信号, 所述电信号表示随时间变化的散射光的强度, 指示晶片中或晶片上存在缺陷。

[0135] 步骤101包括确定相应的多普勒频率(标记为F)。

[0136] 步骤102包括获得检测到的缺陷的径向位置的编码数据, 以及步骤103包括基于这些数据确定所述检测到的缺陷的径向位置r。

[0137] 步骤104包括获得关于晶片转动的编码数据。

[0138] 这使得能够一方面确定晶片的转动速度(步骤105) 和检测到的缺陷的切向位置(角度 $\Phi$ )(步骤106)。

[0139] 在步骤107中, 缺陷的径向位置和晶片的转动速度的结合使得能够确定缺陷的理论多普勒频率(标记为 $F_d$ )。

[0140] 步骤108、109和110分别是计算缺陷的检测到的多普勒频率和理论多普勒频率之间的比率x的步骤、基于上述公式计算缺陷深度D的步骤以及根据上述公式计算缺陷的实际径向位置R计算步骤。

[0141] 最后, 在步骤111中, 这些计算结果和角度 $\Phi$ 结合使得能够确定缺陷在三个方向上的位置(X,Y,Z)。

[0142] 刚刚描述的检测方法使得能够借助于延伸穿过晶片厚度的测量空间来检测缺陷, 而不管其在晶片厚度方向上的位置如何。

[0143] 然而, 在某些情况下, 寻求限制测量空间在晶片厚度方向上的尺寸可能是有益的。

[0144] 为此, 本发明在特定实施例中包括使用具有高选择性的带通滤波器。

[0145] 如图8所示, 通常使用带通滤波器BP, 以允许仅使电信号中的、与测量空间相关联的多普勒频率和该频率附近的窄范围内的频率通过。如果期望无论缺陷在晶片的厚度中的位置如何都能够检测缺陷, 则该滤波器具有适度的选择性, 以考虑由于从晶片的一个面到另一个面的条纹间距的变化而引起的多普勒频率的变化。因此, 这样的滤波器提供包含各

个缺陷D1、D2、D3的多普勒特征F1、F2、F3的滤波信号,而不考虑其位置。

[0146] 为了仅选择性地检测在晶片的厚度中的确定深度处存在的缺陷,使用高选择性滤波器,即其通带恰好对应于与该深度相关联的多普勒频率并且不允许任何其他频率通过的滤波器。在条纹间距在晶片厚度的方向上是可变的范围内,每个深度实际上与不同的多普勒频率相关联。因此,在所示的示例中,滤波器HS BP选择频率F1,其是与晶片的主表面S相关联的多普勒频率。这意味着滤波器的输出信号将仅包含存在于该表面上的缺陷D1的多普勒频率,而不包括存在于晶片的厚度E中的缺陷D2的多普勒频率或存在于相对表面S'上的缺陷D3的多普勒频率。

[0147] 通过这种滤波,因此在厚度的方向上减小测量空间。

[0148] 此外,在测量空间相对于晶片主表面的法线倾斜的范围内,所述滤波也具有在径向方向上减小测量空间的效果。事实上,如上面已经描述的图6B所示,晶片表面S处的条纹间距在值d1a和值d1b之间变化。通过选择其通带 [ $d_{start}$ - $d_{end}$ ] 为诸如  $d1a < d_{start} < d_{end} < d1b$  的滤波器,测量空间在径向方向上减小。

[0149] 例如,本发明人已经生产了包括如上所述的集成光学装置的系统,使得能够形成深度(晶片厚度方向)为300μm的测量空间并且具有从0.8变化到1.2μm的条纹间距。在缺陷以10m/s的速度穿过该空间的情况下,相关联的多普勒频率为12.5Mhz到8.3Mhz。

[0150] 如果期望集中在1μm的条纹间距上并且具有50μm的深度(其对应于0.95到1.05μm的条纹间距的变化)的测量空间,必须应用具有从9.5MHz到10.5MHz的通带的滤波器。该带通滤波器的斜率越大,滤波器的选择性越高。

[0151] 如果期望10μm的测量空间,则通带从9.9MHz延伸到11MHz。

[0152] 自然地,过滤器的特性取决于缺陷的速度,但是本领域技术人员能够根据晶片的转动速度来确定滤波器的合适的通带,以获得确定的测量空间。

[0153] 参考文献

[0154] WO 2009/112704

[0155] WO 02/39099

[0156] Integrated Laser Doppler Velocimeter for Fluid Velocity and Wall Friction Measurements, P.Lemaitre-Auger、A.Cartellier、P.Benech和Schanelen Duport, Sensors, 2002, IEEE论文集(第1卷),78-82页。

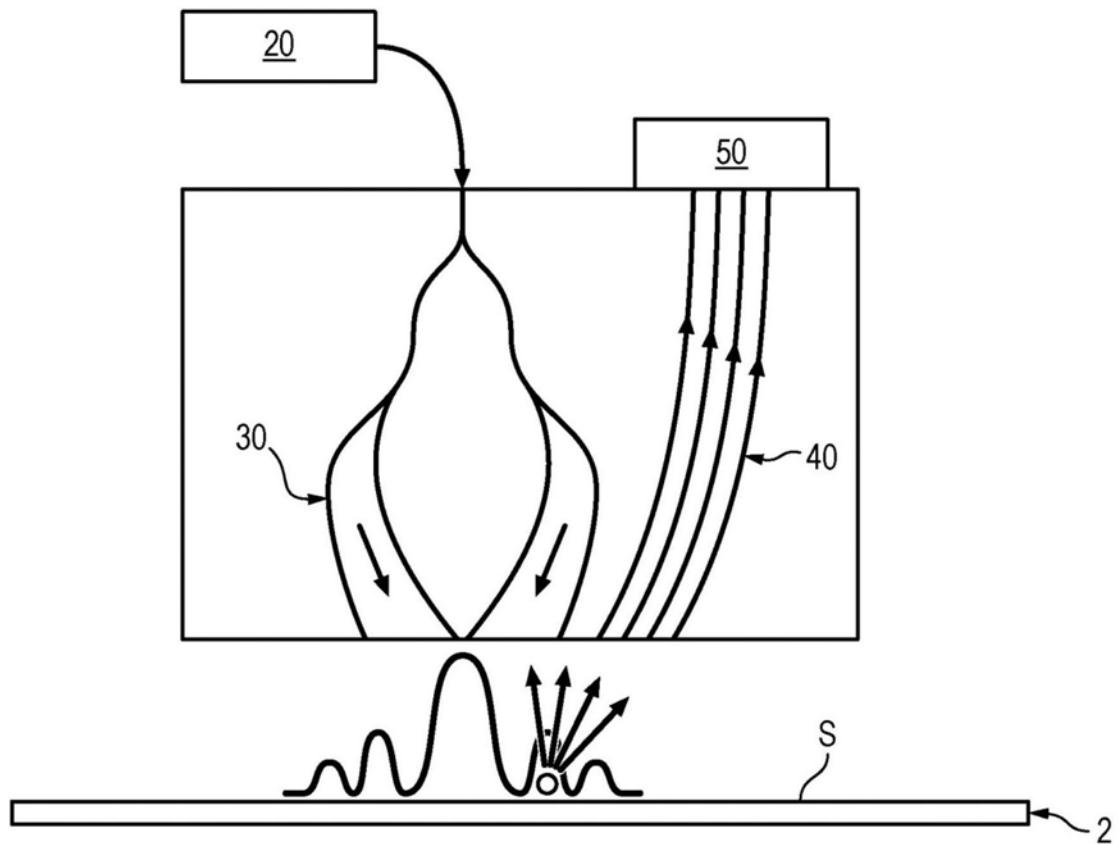


图1

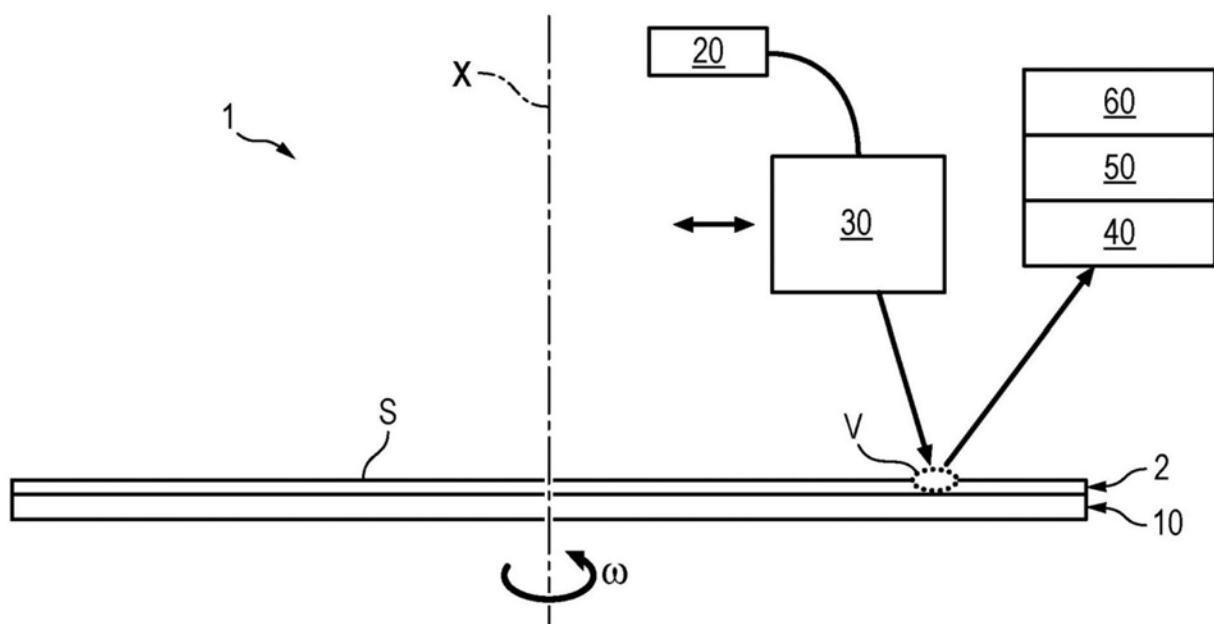


图2

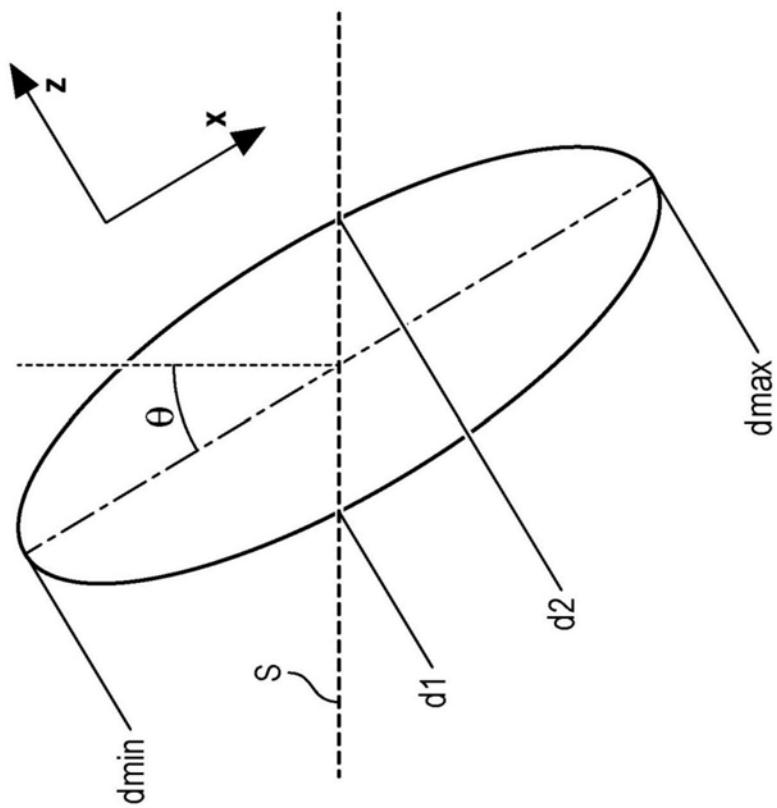


图3A

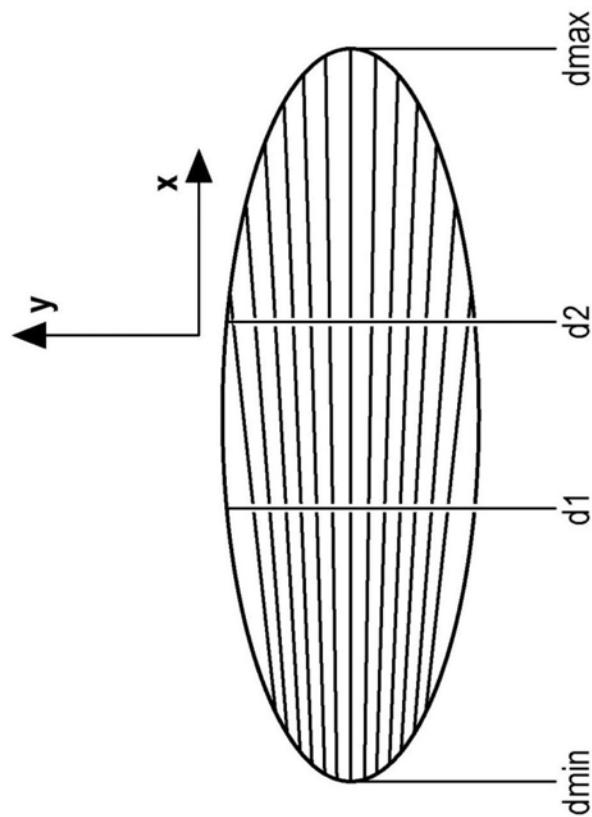


图3B

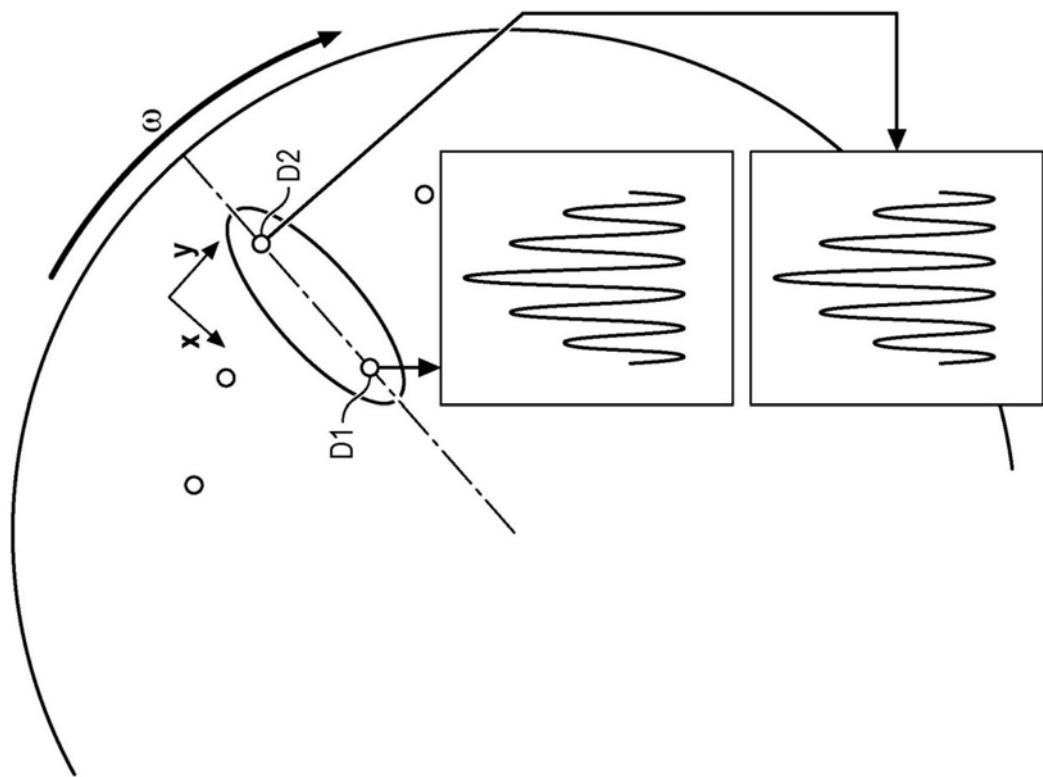


图4A

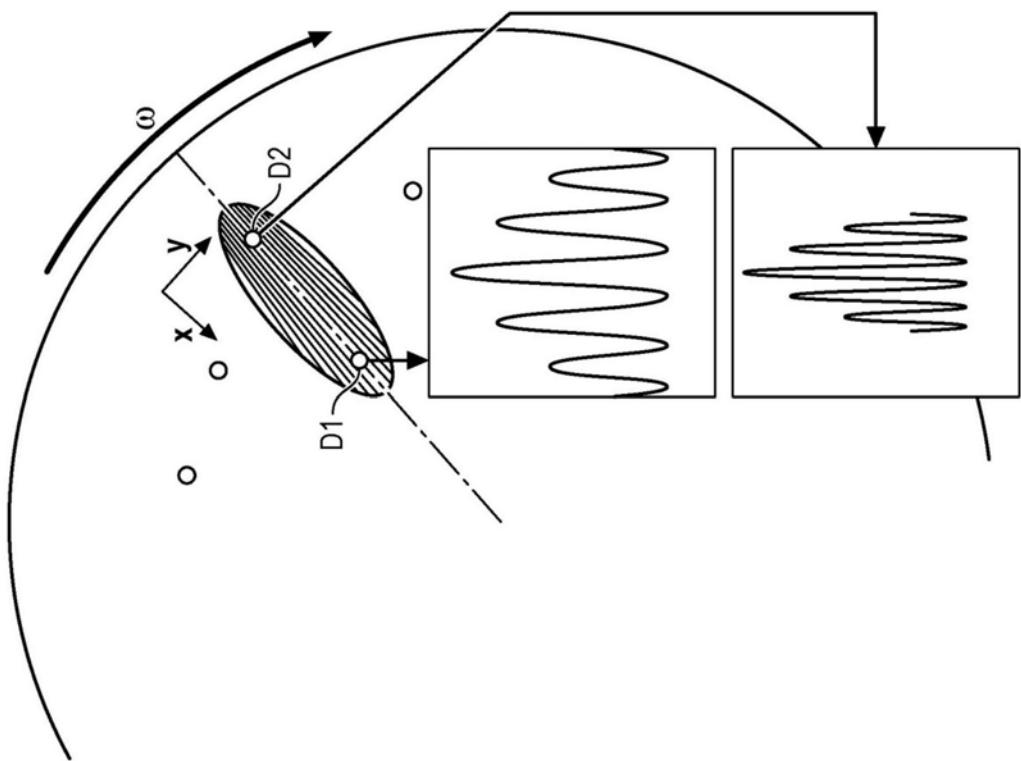


图4B

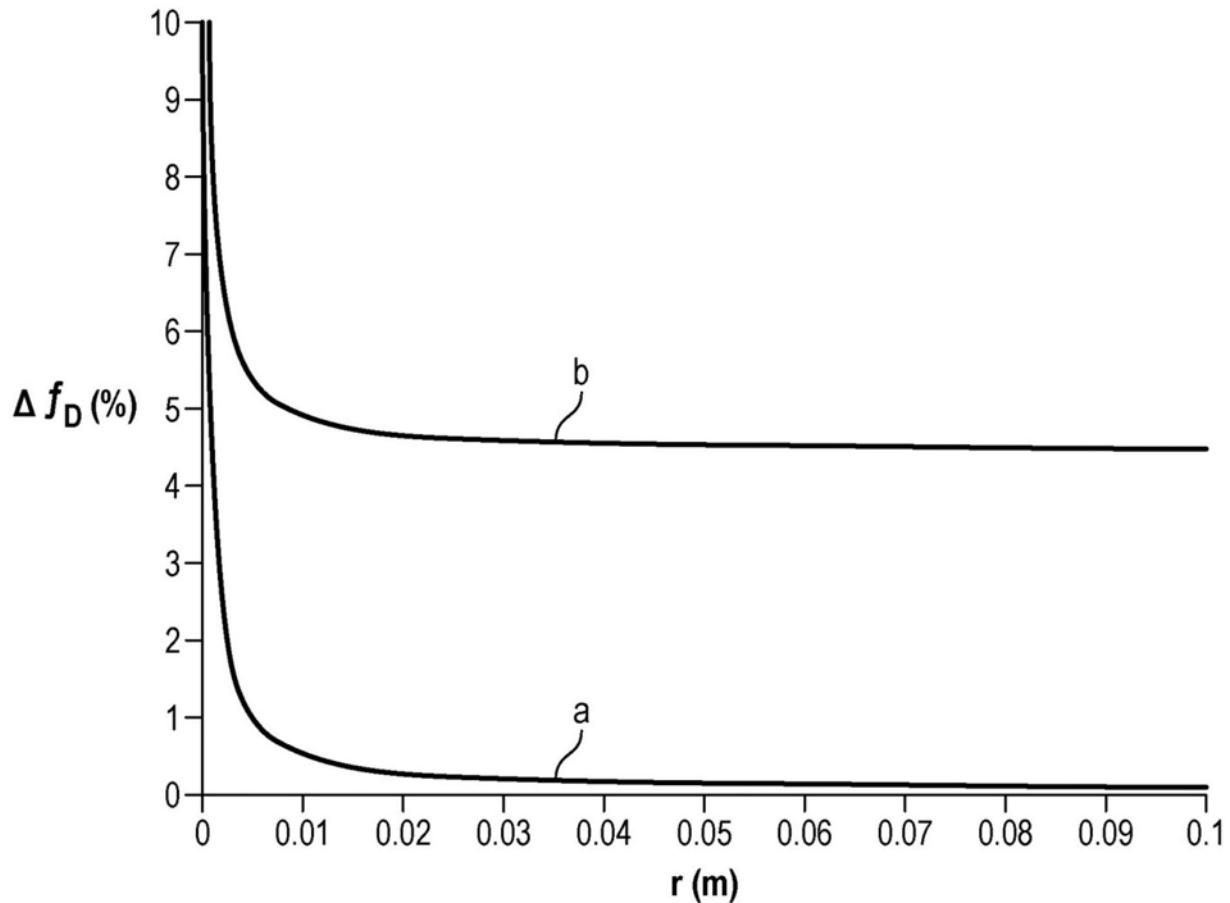


图5

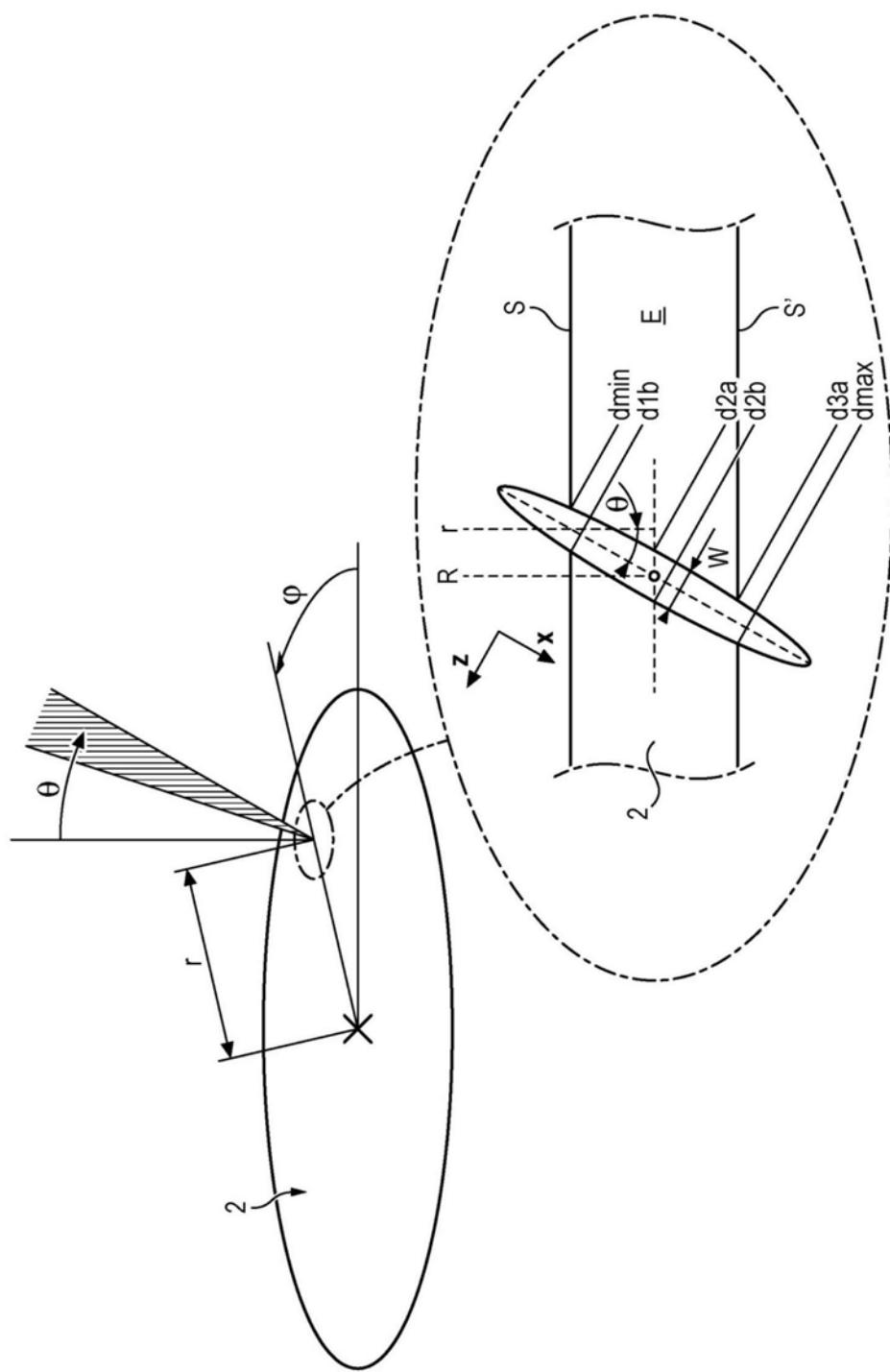


图6A

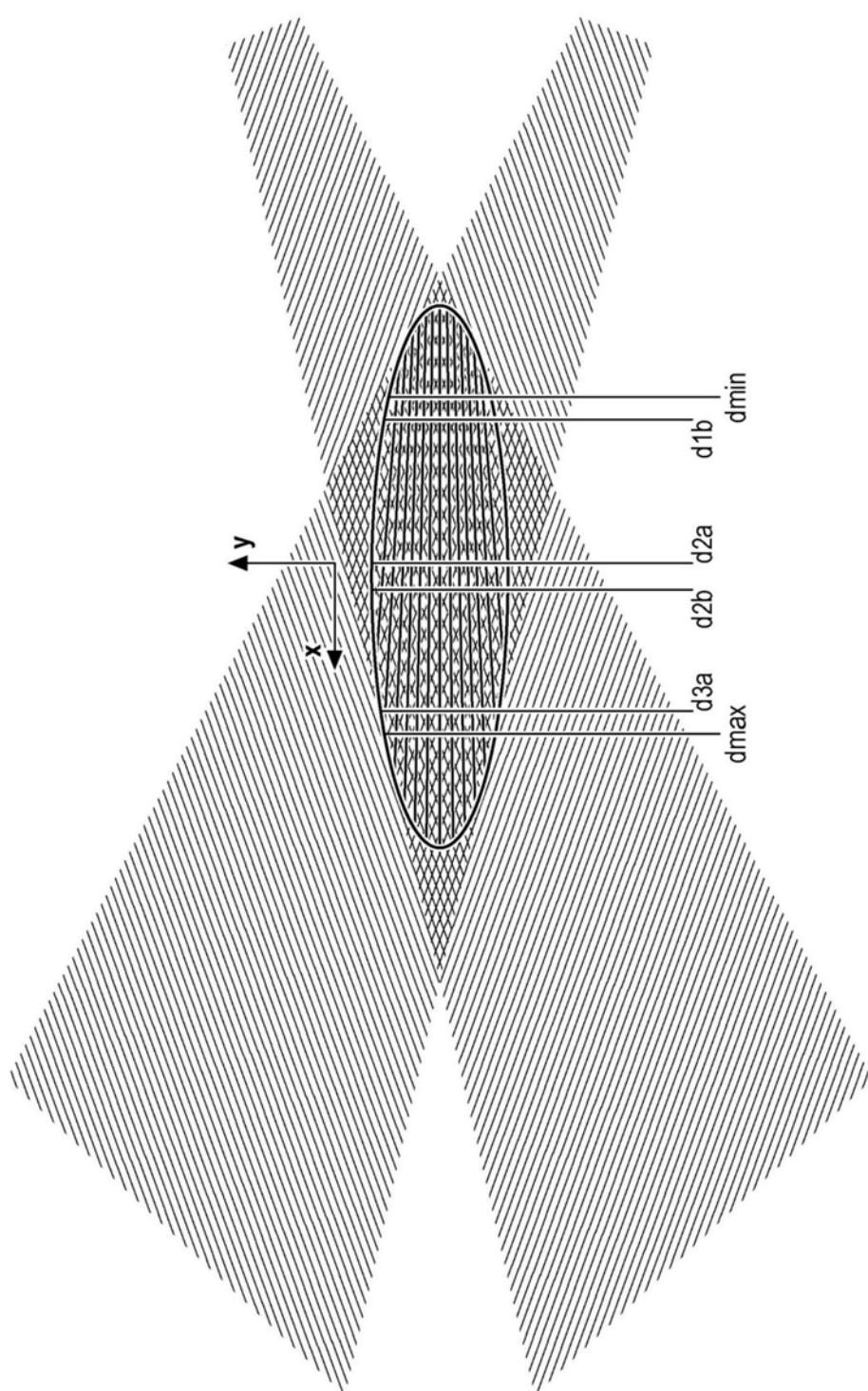


图6B

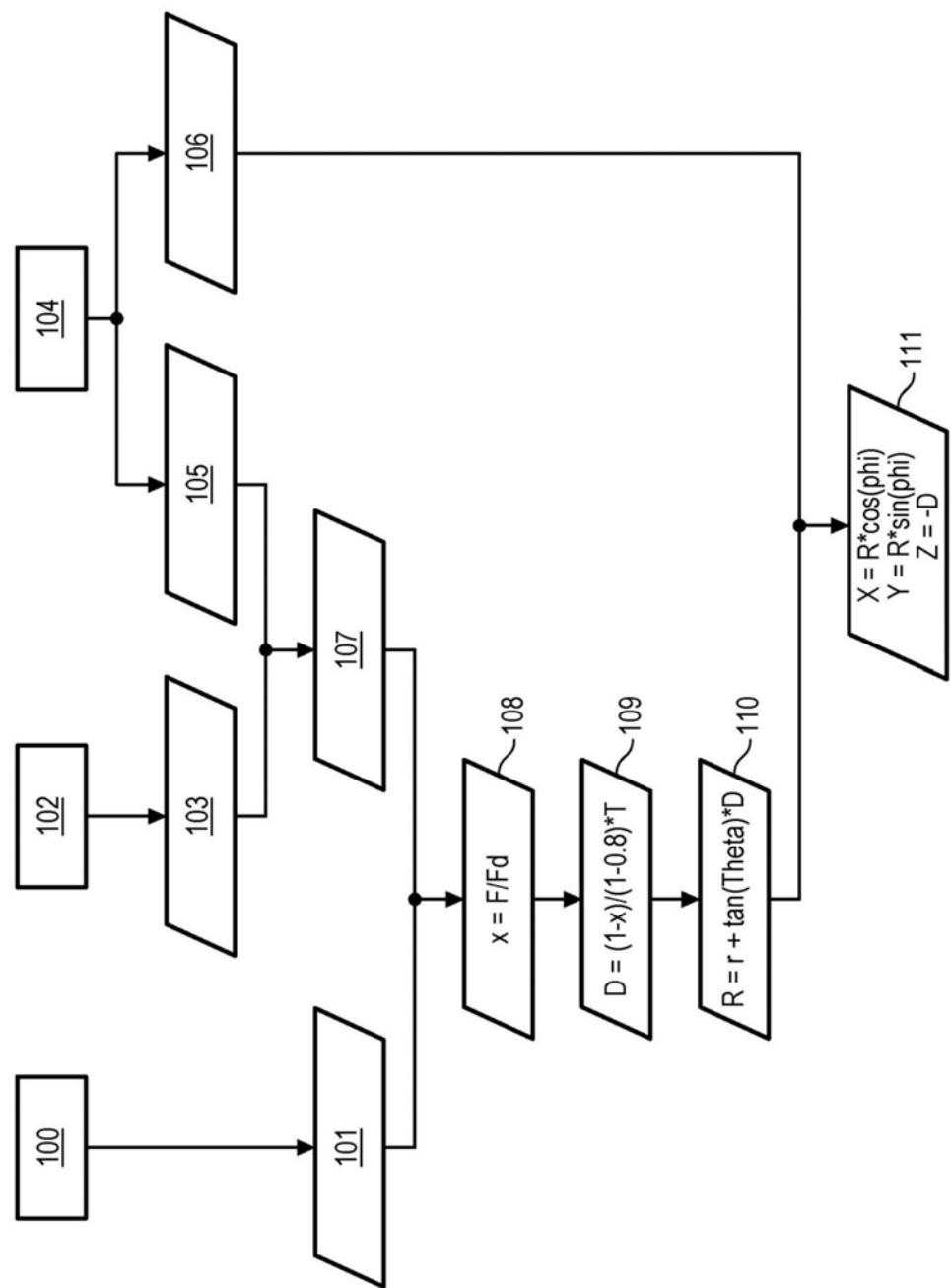


图7

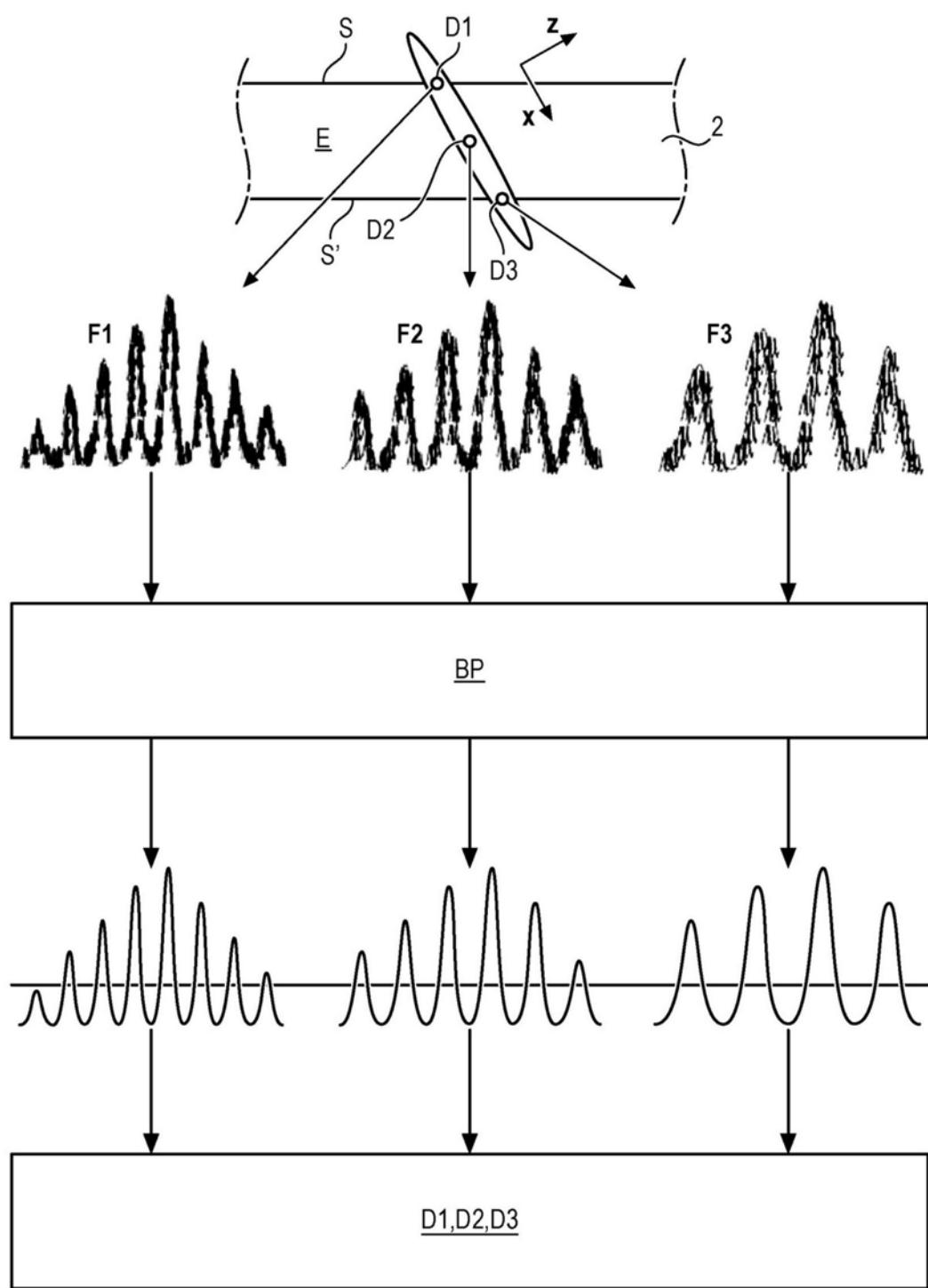


图8

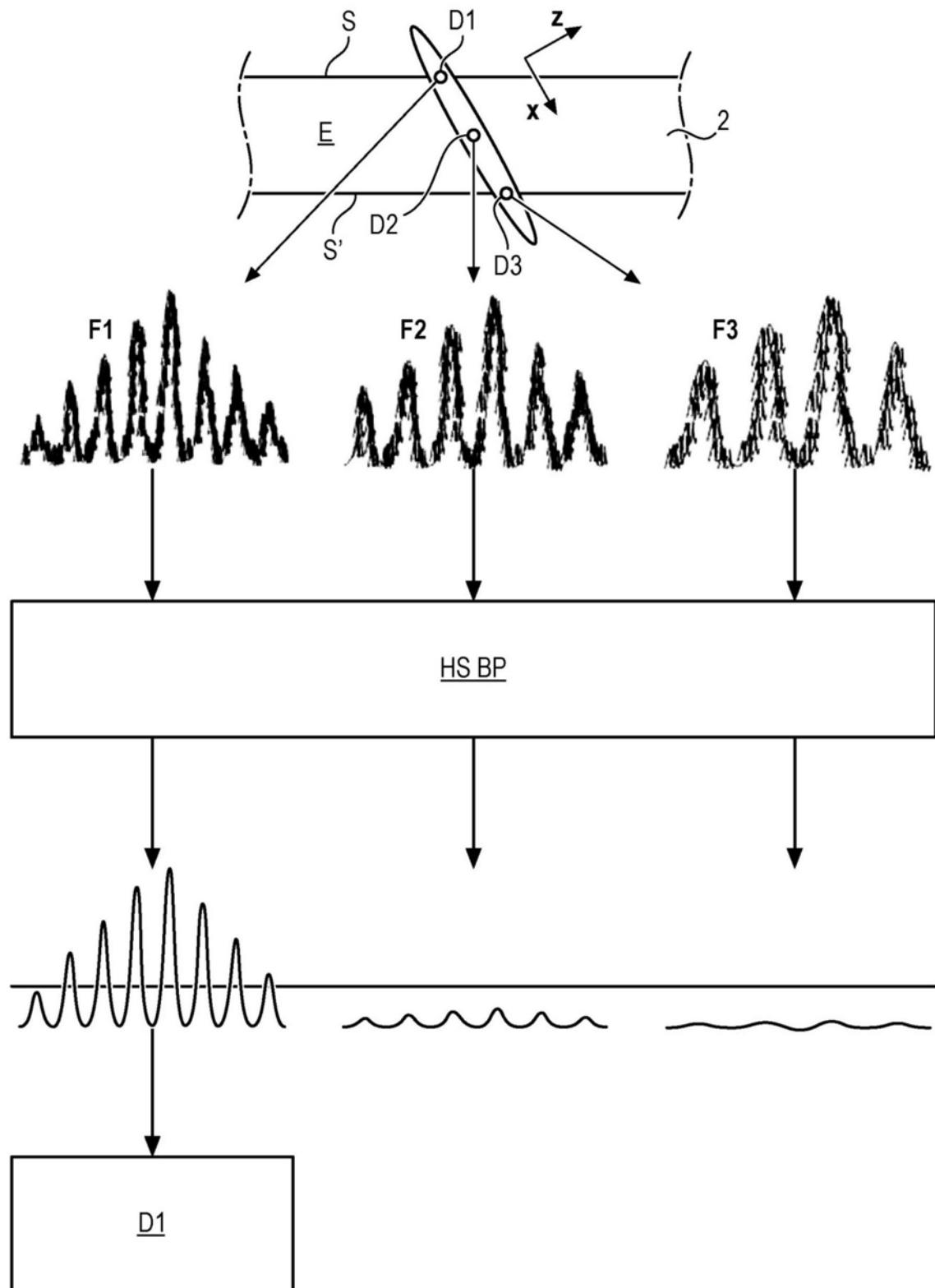


图9