



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103063129 A

(43) 申请公布日 2013. 04. 24

(21) 申请号 201210408101. 3

(22) 申请日 2012. 10. 24

(30) 优先权数据

2011-233345 2011. 10. 24 JP

(71) 申请人 佳能株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 山田显宏

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 欧阳帆

(51) Int. Cl.

G01B 9/02 (2006. 01)

G01B 11/00 (2006. 01)

G01B 11/24 (2006. 01)

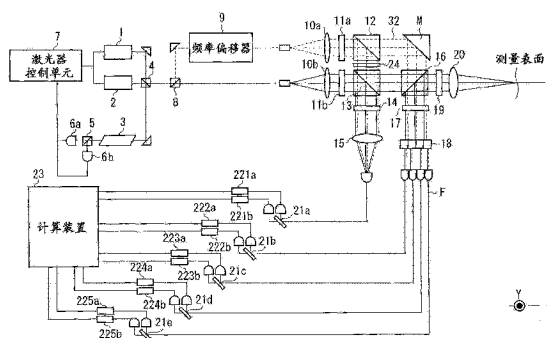
权利要求书2页 说明书8页 附图8页

(54) 发明名称

多波长干涉仪、测量设备以及测量方法

(57) 摘要

本发明涉及多波长干涉仪、测量设备以及测量方法。该多波长干涉仪包括：分束器，被配置为将多个光束分割成基准射束和测量射束；频率偏移器，被配置为偏移基准射束和测量射束中的至少一个的频率，以便使得基准射束和测量射束的频率彼此不同；光学系统，被配置为使得测量射束入射在测量表面上并且使得从测量表面反射的测量射束与基准射束干涉以便获得干涉光；分割单元，被配置为将干涉光分割成多个光束；以及检测单元，被配置为检测通过分割单元分割成的多个光束。



1. 一种多波长干涉仪,使用各具有不同波长的至少两个光束,所述多波长干涉仪包括:

分束器,被配置为将光束分割成基准射束和测量射束;

频率偏移器,被配置为偏移基准射束的频率或者测量射束的频率,或者偏移基准射束和测量射束的频率,以便使得基准射束和测量射束的频率彼此不同;

光学系统,被配置为使得测量射束入射在测量表面上并且使得从测量表面反射的测量射束与基准射束干涉以便获得干涉光,基准射束和测量射束的频率通过频率偏移器而彼此不同;

分割单元,被配置为将干涉光分割成多个光束;以及

检测单元,被配置为对于每个波长检测通过分割单元分割成的所述多个光束。

2. 根据权利要求1所述的多波长干涉仪,还包括处理单元,所述处理单元被配置为根据由检测单元检测的干涉光的信号来获取复振幅,获取多个光束中的每个光束中的对于每个波长的复振幅的复相关性,对于每个波长根据复相关性获取用于计算相位的光瞳位置,以及根据与获取的对于每个波长的光瞳位置中的相位有关的信息来获取波长之间的相位差。

3. 根据权利要求1所述的多波长干涉仪,还包括处理单元,所述处理单元被配置为获取与测量表面的倾斜有关的信息,根据与倾斜有关的信息对于每个波长获取用于计算相位的光瞳位置,以及根据与获取的对于每个波长的光瞳位置中的相位有关的信息来获取波长之间的相位差。

4. 根据权利要求1所述的多波长干涉仪,其中所述分割单元是能移动的。

5. 一种用于测量测量表面的形状或者位置的测量设备,所述测量设备包括:

使用在波长方面彼此不同的多个光束的多波长干涉仪;以及

处理单元,被配置为通过使用利用多波长干涉仪获取的信号来获取测量表面的形状或者位置,

其中多波长干涉仪包括:

分束器,被配置为将光束分割成基准射束和测量射束;

频率偏移器,被配置为偏移基准射束的频率或者测量射束的频率,或者偏移基准射束和测量射束的频率,以便使得基准射束和测量射束的频率彼此不同;

光学系统,被配置为使得测量射束入射在测量表面上并且使得从测量表面反射的测量射束与基准射束干涉以便获得干涉光,基准射束和测量射束的频率通过频率偏移器而彼此不同;

能移动的光阑,布置在位于测量表面的共轭面处的光瞳上;以及

检测单元,被配置为在共轭面上移动光阑时检测经过光阑的基准射束和测量射束之间的干涉光,以及

其中处理单元被配置为通过利用来自检测单元的干涉光的信号来获取波长之间的关于复振幅的信息的相关程度,基于获取的相关程度来获取测量表面的光瞳共轭面上的用于获得干涉光的信号的相位的位置,以及通过利用与获取的位置处的干涉光的信号的相位有关的信息来获取测量表面的形状或者位置。

6. 一种用于测量测量表面的形状或者位置的测量方法,所述测量方法包括:

将在波长方面彼此不同的多个光束分割成基准射束和测量射束,使得基准射束和测量射束的频率彼此不同,并且使得测量射束入射在测量表面上以及使得从测量表面反射的测量射束与基准射束干涉;

对于多个光束的每个波长获取测量射束和基准射束之间的干涉光的信号;

根据获取的信号来获取关于复振幅的信息,并且通过利用在波长之间的关于复振幅的信息在测量表面的光瞳共轭面中偏移的情况下的关于复振幅的信息来获取波长之间的关于复振幅的信息的相关程度;以及

基于获取的相关程度来获取测量表面的光瞳共轭面上的用于获得干涉光的信号的相位的位置,以及通过利用与获取的位置处的干涉光的信号的相位有关的信息来获取测量表面的形状或者位置。

7. 根据权利要求6所述的测量方法,还包括根据与偏移到使相关程度最大化的位置的复振幅有关的信息来获取干涉光的信号的波长之间的相位差,其中使相关程度最大化的位置作为测量表面的光瞳共轭面上的用于获得干涉光的信号的相位的位置。

多波长干涉仪、测量设备以及测量方法

技术领域

[0001] 本发明涉及多波长干涉仪、测量设备以及测量方法。

背景技术

[0002] 一般已经知道外差 (heterodyne) 干涉测量方法作为用于精确地测量测量表面的形状的设备。在单波长干涉仪 (参考日本专利申请公开 No. 10-185529) 中, 如果测量表面粗糙, 则由表面粗糙度引起的斑纹图案 (speckle pattern) 具有随机相位, 该随机相位具有比 2π 大的标准偏差, 从而增大了测量的不精确性, 使得难以执行精确测量。

[0003] 日本专利申请公开 No. 05-71918 讨论了用于解决上述问题的方法, 在该方法中, 在用于利用激光束照射物体表面以便对反射光成像的设备中, 成像透镜的光阑的位置被改变为使斑纹图案的随机相位不相干地平均化。

[0004] 作为另一种解决方法, 已经知道多波长干涉仪, 在该多波长干涉仪中基于对多个不同波长的干涉测量的结果合成波长的相位 (参考文献 1: A. F. Fercher 等人的 “Rough-surface interferometry with a two-wavelength heterodyne speckle interferometer”, Applied Optics, 1985, vol. 24, issue 14, pp 2181-2188)。根据文献 1, 如果两个波长的斑纹彼此相关, 则基于这两个波长之间的相位差获取关于宏观的表面轮廓和微观的表面粗糙度的信息。

[0005] 已经知道两个波长之间的斑纹图案的相关性取决于两个波长被合成的波长 (参考文献 2: U. Vry 和 F. Fercher, “High-order statistical properties of speckle fields and their application to rough-surface interferometry”, J. Opt. Soc. Am. A, 1986, vol. 3, issue 7, pp988-1000)。假设两个斑纹图案越一致, 相关程度就越高。根据文献 2, 合成波长 Λ 越小, 两个波长之间的斑纹图案的相关性就越小。另一方面, 合成波长 Λ 越大, 两个波长之间的斑纹图案的相关性就越大。术语“合成波长 Λ ”指的是由 $\Lambda = \lambda_1 \times \lambda_2 / (\lambda_1 - \lambda_2)$ 表示的量, 其中两个波长为 λ_1 和 λ_2 ($\lambda_1 > \lambda_2$)。因此, 多波长干涉仪能够精确地测量难以用单波长干涉仪来测量的粗糙的测量表面。

[0006] 根据文献 2, 两个波长之间的斑纹图案的相关性取决于合成波长的幅度、测量表面的粗糙度以及测量表面的倾斜度 (参考数值表达式 (1))。

$$[0007] \quad \mu = \exp\left(\frac{4\pi i}{\Lambda} h_0\right) \times \exp\left[-\frac{4\pi^2}{\Lambda^2} (2\sigma_h^2 + s^2 a^2)\right] \quad (1)$$

[0008] 其中, “ μ ”表示两个波长之间的复相关性, “ h_0 ”表示测量表面的高度, 并且“ Λ ”表示两个波长的合成波长。“ σ_h ”表示测量表面的粗糙度, “ s ”表示测量表面的倾斜度, 并且“ a ”表示利用高斯射束照射测量表面时的直径。

[0009] 根据数值表达式 (1), 测量表面的粗糙度越大, 两个波长之间的斑纹的相关性就越低。测量表面的倾斜度越大, 两个波长之间的斑纹的相关性就越低。特别地, 测量表面的倾斜度极大地影响两个波长之间的斑纹的相关性的降低。

[0010] 图 1 示出测量表面的倾斜角与长度测量误差之间的关系。图 1 表示在用 $65 \mu\text{m}$ 斑

点大小的射束照射具有 $0.4\text{ }\mu\text{m}$ 的粗糙度 R_a 的测量表面并且通过在 0.02 的数值孔径 (NA) 的范围中接收光的具有 $300\text{ }\mu\text{m}$ 的合成波长的双波长干涉仪执行测量的情况下的长度测量误差的仿真的结果。术语“长度测量误差”指的是测量表面的 100 个样本的长度测量的 2σ 的值。

[0011] 根据图 1, 在 0° 的测量表面的倾斜角处, 长度测量误差小至 $0.6\text{ }\mu\text{m}$ 。然而, 在 10° 的测量表面的倾斜角处, 长度测量误差显著地恶化, 差至 $8.1\text{ }\mu\text{m}$ 。

[0012] 一般, 在粗糙的测量表面倾斜的情况下在测量表面的光瞳共轭面 (与傅里叶变换有关的平面) 上的斑纹图案被形成为如下的图案, 即在测量表面不倾斜的情况下的斑纹图案在光瞳表面中被偏移 (横向偏移)。如果粗糙的测量表面倾斜, 则在测量表面的光瞳共轭面上形成的不同波长 λ_1 和 λ_2 之间的光瞳表面中的斑纹图案的偏移量方面出现差别, 使得两个波长之间的斑纹图案的相关性降低, 从而使长度测量的精度恶化。测量表面的倾斜角越大, 波长之间的光瞳表面中的斑纹图案的偏移量方面的差别就越大, 使得两个波长之间的斑纹图案的相关性进一步降低, 从而导致长度测量精度的显著的恶化。因此, 即使多波长干涉仪被应用于测量粗糙表面, 测量表面的倾斜也降低波长之间的相关性, 这使得难以进行精确测量。

发明内容

[0013] 本发明涉及即使测量表面被倾斜也不使测量精度恶化的多波长干涉仪。

[0014] 根据本发明一个方面, 一种使用各具有不同波长的至少两个光束的多波长干涉仪包括: 分束器, 被配置为将光束分割成基准射束和测量射束; 频率偏移器, 被配置为偏移基准射束的频率或者测量射束的频率, 或者偏移基准射束和测量射束的频率, 以便使得基准射束和测量射束的频率彼此不同; 光学系统, 被配置为使得测量射束入射在测量表面上并且使得从测量表面反射的测量射束与基准射束干涉以便获得干涉光; 分割单元, 被配置为将干涉光分割成多个光束; 以及检测单元, 被配置为对于每个波长检测通过分割单元分割成的多个光束。

[0015] 从以下参考附图的示例性实施例的详细描述中本发明更多的特征和方面将变得清晰。

附图说明

[0016] 被加入说明书且构成说明书一部分的附图示出了本发明的示例性实施例、特征和方面, 并且与描述一起用来解释本发明的原理。

[0017] 图 1 示出测量表面的倾斜角与长度测量误差之间的关系。

[0018] 图 2 是根据第一和第二示例性实施例的测量设备的示意图。

[0019] 图 3 是示出通过偏振分束器分割光束的示意图。

[0020] 图 4 示出根据第一示例性实施例的用于计算长度测量值的流程图。

[0021] 图 5 示出检测器 (像素)、复振幅以及光束光瞳中心坐标之间的关系。

[0022] 图 6 示出像素偏移量和复相关性之间的关系。

[0023] 图 7 示出根据像素偏移的复振幅数据计算原始的检测位置处的复振幅数据。

[0024] 图 8 示出根据第二示例性实施例的用于计算长度测量值的流程图。

具体实施方式

[0025] 下面将参考附图来详细描述本发明的各个示例性实施例、特征以及方面。

[0026] 图 2 是根据第一示例性实施例的测量设备的示意图。如图 2 中所示出的, 根据本示例性实施例的测量设备包括多个固定波长激光器、用于使得测量射束和基准射束彼此干涉的干涉仪(光学系统)以及计算装置(处理单元)。

[0027] 从固定波长激光器 1 发射的光由分束器 4 分割(振幅分割)。固定波长激光器 2 发射在波长方面与从固定波长激光器 1 发射的光不同的光。从固定波长激光器 2 发射的光也入射在分束器 4 上(在分束器 4 中使其光轴与从固定波长激光器 1 发射的光的光轴同轴), 并且由分束器 4 分割(振幅分割)。固定波长激光器 1 和 2 使用类似的分布反馈(DFB) 半导体激光器。在本示例性实施例中, 固定波长激光器 1 和 2 被示出为分离的装置。然而, 多个半导体激光器可以被集成为单个装置, 如在光通信中使用的多波长光源的情况一样。上述集成结构在减少设备的成本和总尺寸方面是有利的。氦-氖(He-Ne) 激光器可以被使用来代替 DFB 激光器。

[0028] 由分束器 4 分割出的光经过作为波长的基准装置的气室(gas cell)3, 并且被分光元件 5(滤光器或者分束器) 分离成从固定波长激光器 1 发射的光和从固定波长激光器 2 发射的光。对于经过气室 3 的光的量, 从固定波长激光器 1 和 2 发射的光分别由检测器 6a 和 6b 检测。

[0029] 激光器控制单元 7 被操作性地连接到固定波长激光器 1 和 2 以及检测器 6a 和 6b。控制单元 7 执行控制以使得通过使用检测器 6a 的信号将固定波长激光器 1 的波长稳定到作为气室的吸收线的波长 λ_1 。通过激光器控制单元 7 调节固定波长激光器 1 的波长以使得例如检测器 6a 的透射强度变得恒定, 来使波长稳定。通过例如调制涌流(inrush current) 或者调整热量来调节波长。类似地, 激光器控制单元 7 执行控制以使得使用检测器 6b 的信号将固定波长激光器 2 的波长稳定到作为气室的吸收线的波长 λ_2 。在本示例性实施例中, 仅仅使用气室来确保波长的精度。然而, 可以使用标准具(etalon) 来代替气室。可替代地, 可以使用气室和标准具两者。

[0030] 由分束器 4 分割出的另一个光被偏振分束器 8 分割为基准射束(第一光束)和测量射束(第二光束)。第一光束入射在频率(波长) 偏移器(shifter)9 上。频率偏移器 9 通过声光器件将一定量的频率偏移施加到从固定波长激光器 1 和 2 输出的入射光的频率。从频率偏移器 9 输出的光入射在准直透镜 10a 上。由偏振分束器 8 分割出的第二光束入射在准直透镜 10b 上。频率偏移器 9 可以被布置在第二光束的光路中, 或者偏移量彼此不同的频率偏移器可以被布置在两个光束中。

[0031] 入射在准直透镜 10a 上的第一光束由准直透镜 10a 准直并且经过 $\lambda/2$ 板 11a, 然后被偏振分束器 12 分割成反射光束 31 和透射光束 32, 如图 3 中所示出的。由偏振分束器 12 分割出的反射光束 31 经过 $\lambda/2$ 板 24, 由此反射光束 31 的偏振被旋转 90 度。反射光束 31 经过偏振分束器 13 和偏振器 14, 被集光透镜 15 集光, 并且随后入射在分光元件 21a 上。

[0032] 入射在准直透镜 10b 上的第二光束被准直透镜 10b 准直并且经过 $\lambda/2$ 板 11b, 然后被偏振分束器 13 分割成反射光束 41 和透射光束 42, 如图 3 中所示出的。由偏振分束器 13 分割出的反射光束 41 经过偏振器 14, 被集光透镜 15 集光, 并且随后入射在分光元件 21a

上。相对于 $\lambda/2$ 板 11a 的光轴的旋转方向被设定为使得反射光束 31 和透射光束 32 之间的光量的比变得等于预定的比。类似地,相对于 $\lambda/2$ 板 11b 的光轴的旋转方向被设定为使得反射光束 41 和透射光束 42 之间的光量的比变得等于预定的比。此时,反射光束 31 期望地在光量方面与透射光束 32 相当,以便使反射光束 31 和反射光束 41 之间的干涉信号的对比度 (contrast) 最大化。

[0033] 分光元件 21a 使来自固定波长激光器 1 和 2 的同轴入射光分离。检测器 221a 检测其中频率偏移被应用于具有波长 λ_1 的光的反射光束 31 与具有波长 λ_1 的反射光束 41 之间的干涉光,并且从检测器 221a 输出 (获取) 与两个光束之间的频率的差别对应的差拍信号 (beat signal) (干涉信号)。检测器 221b 检测其中频率偏移被应用于具有波长 λ_2 的光的反射光束 31 与具有波长 λ_2 的反射光束 41 之间的干涉光,并且从检测器 221b 输出 (获取) 与两个光束之间的频率的差别对应的差拍信号 (干涉信号)。偏振器 14 被设定为使得反射光束 31 和 41 的共同的偏振成分被提取以便由检测器检测干涉光。在下文中,由检测器 221a 和 221b (检测单元) 经由分光元件 21a 获取的干涉信号被称为“基准信号”。

[0034] 由偏振分束器 12 分割出的透射光束 32 (基准射束) 被反射镜 M 偏转并且然后入射在偏振分束器 16 上。由偏振分束器 13 分割出的透射光束 42 (测量射束) 经过偏振分束器 16, 然后由 $\lambda/4$ 板 19 圆偏振, 由集光透镜 20 会聚, 并且集中 (聚焦) 在测量表面上。透射光束 42 由测量表面反射, 反向地旋转并且圆偏振, 并且再次经过 $\lambda/4$ 板 19, 使得透射光束 42 是线偏振的且具有相对于其中透射光束 42 先前入射在偏振分束器 16 上的偏振波表面旋转 90 度的偏振波表面, 并且然后再次入射在偏振分束器 16 上。然后, 透射光束 42 由偏振分束器 16 反射。偏振分束器 16 将入射在偏振分束器 16 上的透射光束 32 (基准射束) 与由偏振分束器 16 反射的透射光束 42 (测量射束) 合成, 以便使得透射光束 32 和透射光束 42 彼此干涉。基准射束和测量射束之间的干涉光经过偏振器 17, 然后入射在位于相对于测量表面的光瞳共轭面 (与傅里叶变换有关的平面) 上的微透镜阵列 18 (分割单元) 上。

[0035] 经过微透镜阵列 18 的干涉光经受波前 (wavefront) 分割而成为多个光束 (像素)。在图 2 中, 为了描述的简化起见, 示出了其中光束由在一维方向 (x 方向) 上布置有四个透镜的微透镜阵列 18 分割成在一维方向 (x 方向) 上各具有 $\phi=1\text{ mm}$ 的四个像素的示例。在光束由仅仅在一维方向上布置的像素分割的情况下, 可以仅仅在测量表面倾斜到与一维方向对应的特定方向的情况下获得效果。为此, 实际上, 光束需要被分割成二维矩阵的像素以便应付测量表面在任何方向上的倾斜。通过光纤 F 使得由微透镜阵列 18 分割出的光束分别地入射在分光元件 21b、21c、21d 和 21e 上。使用的光纤的数量可以为多个, 或者可以使用光纤束 (bundle fiber)。

[0036] 期望的是, 经过偏振分束器 16 的基准射束在强度方面等于由测量表面和偏振分束器 16 反射的测量射束, 以便在检测器中获得具有高对比度的干涉信号。为此, 偏振器 17 可以被旋转机构 (未示出) 旋转以便调节强度。可替代地, 可以通过中性灰度 (ND) 滤光器 (未示出) 来调节基准光束或者测量光束的强度。

[0037] 通过检测器 222a 到 225a 检测入射在分光元件 21b 到 21e 上并且还是其中频率偏移被应用于具有波长 λ_1 的光的基准射束与具有波长 λ_1 的测量射束之间的干涉光的光。通过检测器 222b 到 225b 检测入射在分光元件 21b 到 21e 上并且还是其中频率偏移被应用于具有波长 λ_2 的光的基准射束与具有波长 λ_2 的测量射束之间的干涉光的光。

[0038] 由检测器 222a 到 225a 以及检测器 222b 到 225b (检测单元) 经由分光元件 21b 到 21e 检测的干涉光的信号 (干涉信号) 被称为“测量信号”。测量信号与基准信号的类似之处在于反射光束 31 和 32 之间的干涉光变为与两个光束之间的频率的差别对应的差拍信号 (干涉信号), 但是测量信号在相位方面不同于基准信号。因此, 可以获取相对于基准信号的相位作为测量信号的相位的测量值。测量信号的相位随测量射束和基准射束之间的光程长度的差别而变化。

[0039] 在本示例性实施例中, 虽然通过使用分光元件 21b 到 21e 将光分离成对于各个波长的测量信号, 但是具有波长 λ_1 的基准射束和具有波长 λ_2 的基准射束可以被设置有不同频率偏移量以便使由检测器检测的干涉信号经受频率分离, 使得光可以被分离成对于各自的波长的干涉信号。在该情况下, 配置不需要分光元件。为由微透镜阵列 18 分割的每个光束设置的两个检测器可以被减少到一个检测器, 以便简化设备的配置。

[0040] 能够通过偏振成分分割光的偏振分束器的使用在可以通过偏振将基准射束和测量射束彼此分离方面是有效的。上述效果的使用通过增加两个正交偏振之间的轻微的频率偏移差别来允许测量射束和基准射束之间的外差检测, 因此实现相位的高精确测量。

[0041] 图 4 示出计算装置 23 (处理单元) 中的用于计算长度测量值的流程图。在步骤 S101 中, 计算装置 23 根据由检测器 222a 到 225a 和检测器 222b 到 225b 检测的干涉信号来获取关于复振幅 (振幅和相位) 的信息 (数据)。例如, 如图 5 中所示出的, 根据其中由检测器 222a 到 225a 检测在相对于测量表面的光瞳共轭面的位置处分割的光的干涉信号而获取的复振幅分别作为 A1、A2、A3 和 A4。由检测器 222a 到 225a 检测的光瞳面像素 (透镜) 的编号作为 p11、p12、p13 和 p14。类似地, 根据其中由检测器 222b 到 225b 检测在相对于测量表面的光瞳共轭面的位置处分割的光束的干涉信号而获取的复振幅分别作为 B1、B2、B3 和 B4。由检测器 222b 到 225b 检测的光瞳面像素 (透镜) 的编号作为 p21、p22、p23 和 p24。计算装置 23 先前存储与在由微透镜阵列 18 分割的光束的中心 (每个透镜的中心) 处的像素平面坐标 x1、x2、x3 和 x4 有关的信息。

[0042] 在步骤 S102 中, 计算装置 23 在使用步骤 S101 中获取的复振幅数据逐个像素地偏移由检测器 222a 到 225a 和检测器 222b 到 225b 获取的信号的相互的检测像素的同时计算复相关性 (相关程度或者相关系数)。具体地, 计算装置 23 使用公式 (2) 计算复相关性 U(1)。

$$[0043] \quad U_+(l) = \left(\sum_{n=1}^{p-1} \mu_{n(n+l)} \right) / (p-l) \quad (l=0, 1, \dots, p-1)$$

$$[0044] \quad U_-(l) = \left(\sum_{n=1}^{p+1} \mu_{|n+1||l|} \right) / (p+1) \quad (l=-p+1, \dots, -2, -1) \quad (2)$$

[0045] 其中, l 表示像素偏移量, 并且 p 表示由微透镜阵列进行的分割的数量。公式 (3) 表示 μ_{nm} 。A 和 B 是复振幅。n 和 m 是整数。

$$[0046] \quad \mu_{nm} = \operatorname{Re} \left\{ \frac{\langle A_n^* B_m \rangle}{((\langle A_n^* B_n \rangle \langle A_m^* B_m \rangle)^{\frac{1}{2}})} \right\} \quad (3)$$

[0047] 图 6 示出像素偏移量和复相关性之间的关系示例。在步骤 S103 中, 计算装置 23 对在步骤 S102 中获取的图 6 中的复相关性 U(1) 执行函数拟合, 从而根据函数拟合的结果来计算使复相关性 U(1) 最大化的像素偏移量 ΔL 。通过测量条件适当地设定在拟合中使用

的函数的系统。在本示例性实施例中,作为示例,在对复相关性 $U(1)$ 执行四次函数拟合从而根据函数拟合来获得使复相关性最大化的 $+0.6\text{mm}$ 的像素偏移量 ΔL 的假定之下,进行以下描述。

[0048] 在步骤 S104 中,计算装置 23 计算在基于步骤 S103 中计算的像素偏移量 ΔL 来偏移复振幅数据时的在原始像素位置(光瞳面坐标 x_1 、 x_2 、 x_3 和 x_4) 处的复振幅。在图 5 中示出的示例中,计算装置 23 通过使用其中复振幅 B_1 、 B_2 、 B_3 和 B_4 的数据在 X 方向上偏移 -0.6mm 的数据来计算在原始像素位置(x_1 、 x_2 、 x_3 和 x_4) 处的复振幅 B'_1 、 B'_2 、 B'_3 和 B'_4 。更具体地说,计算装置 23 将在步骤 S101 中计算的复振幅对于每个检测器分离为实部和虚部。根据在像素偏移实部与虚部时相邻的两个点的数据的线性插值数据,计算装置 23 获得每个点处的数据。计算装置 23 将与基于获取的像素偏移量偏移的实部与虚部有关的信息返回到复振幅并且将复振幅作为 B'_1 、 B'_2 、 B'_3 和 B'_4 。如果在偏移时相邻的两个点处没有数据,则计算装置 23 使像素的数据无效。在该示例中,如图 7 中所示出的,计算装置 23 根据其中复振幅 B_1 在 x 方向上偏移 -0.6mm 的数据($x_1-0.6, B_1$) 和其中复振幅 B_2 在 x 方向上偏移 -0.6mm 的数据($x_2-0.6, B_2$) 的两个值的线性插值来获取光瞳位置 x_1 处的复振幅 B'_1 的实部与虚部。类似地,计算装置 23 根据($x_2-0.6, B_2$) 和($x_3-0.6, B_3$) 的两个值的线性插值来获取光瞳位置 x_2 处的复振幅 B'_2 的实部与虚部,并且根据($x_3-0.6, B_3$) 和($x_4-0.6, B_4$) 的两个值的线性插值来获取光瞳位置 x_3 处的复振幅 B'_3 的实部与虚部。对于光瞳位置 x_4 处的复振幅 B'_4 ,除了($x_4-0.6, B_4$) 之外的另一个点的数据不存在,使得像素的数据无效。虽然复振幅数据 B_1 、 B_2 、 B_3 和 B_4 偏移 -0.6mm ,但是复振幅数据 A_1 、 A_2 、 A_3 和 A_4 可以在相反方向上像素偏移 $+0.6\text{mm}$ 。可替代地,复振幅数据 A_1 、 A_2 、 A_3 和 A_4 可以像素偏移 $+0.3\text{mm}$,并且复振幅数据 B_1 、 B_2 、 B_3 和 B_4 可以偏移 -0.3mm 。换句话说,计算装置 23 偏移对于每个波长检测干涉信号的光瞳位置,以便校正波长之间的斑纹偏移的差别。

[0049] 在步骤 S105 中,计算装置 23 根据复振幅数据 A_1 、 A_2 、 A_3 和 A_4 以及偏移的复振幅数据 B_1 、 B_2 、 B_3 和 B_4 来计算相位,以便计算 A_i 和 B'_i ($i = 1, 2, 3$ 和 4) 之间的相位差(波长 λ_1 和 λ_2 之间的相位差)。此时,如果 A_i 和 B'_i 中的任何一个是无效数据,则相位差数据也被处理作为无效数据。在特定的示例中,具有编号 p_{14} 和 p_{24} 的像素数据是无效的。

[0050] 在步骤 S106 中,计算装置 23 获取排除无效数据的有效数据的波长之间的相位差的平均值(像素平均)。

[0051] 在步骤 S107 中,计算装置 23 基于在步骤 S106 中获取的波长之间的相位差的平均值的数据以及两个波长的值(合成波长)来获取长度测量值(距离)、基准射束和测量射束之间的光程长度的差别或者形状。术语“合成波长 Λ ”指的是由 $\Lambda = \lambda_1 \times \lambda_2 / (\lambda_1 - \lambda_2)$ 表示的量,其中两个波长是 λ_1 和 λ_2 ($\lambda_1 > \lambda_2$)。

[0052] 计算装置 23 可以获取测量信号的相位,或者基于基准射束和测量射束之间的光程长度的差别或者长度测量值(距离)根据该相位来获取其它物理量。例如,测量表面被放置在可在 XY 面中移动的(可驱动的)台上,以便允许计算装置 23 被应用于根据长度测量值来获取关于测量表面的表面形状的信息的这种形状测量。磁气反射镜(galvano mirror)可以被布置在干涉仪和测量表面之间来代替可移动的台。已知的方法可以被应用于用于根据相位来计算光程长度的差别、长度测量值(距离)或者形状的方法。

[0053] 因此,可以获得偏移光瞳位置(在测量表面的光瞳共轭面中偏移)的这种效果,在

该光瞳位置处仅仅通过根据在固定光瞳位置处通过分割单元分割光束的 $\lambda 1$ 和 $\lambda 2$ 的干涉光的信号的计算处理来对于每个波长检测干涉信号。这允许校正波长之间的斑纹偏移的差别以便使得能够进行高速和精确测量。

[0054] 在日本专利申请公开 No. 05-71918 中讨论的用于通过非相干平均化减少斑纹的影响的方法即使测量一个点也需要获取大量数据,并且要求用于使空间的或者时间的斑纹图案的变化平均的处理时间,使得测量时间增大。

[0055] 作为用于获取类似的效果的另一种方法,行进单元被添加,其中使得微透镜阵列 18 可移动并且移动(驱动)到与干涉仪的光轴垂直的面。获取波长 $\lambda 1$ 的干涉信号并且随后在获取波长 $\lambda 2$ 的干涉信号的同时移动微透镜阵列 18。其中使波长 $\lambda 2$ 的复振幅和获取的波长 $\lambda 1$ 的复振幅之间的复相关性最大化的微透镜阵列 18 的位置被搜索(检测),以便允许校正由测量表面的倾斜引起的波长之间的斑纹偏移的差别。在该配置中,用于在光源 1 和 2 之间进行切换的机构的添加消除了对分光元件 21a 到 21e 的需要。不需要为每个波长准备检测器。

[0056] 此外,作为另一种方法,可以添加如下的机构,即在其中光阑被布置在测量表面的光瞳共轭面附近,使得该光阑可移动并且移动(驱动)到与干涉仪的光轴垂直的面。获取波长 $\lambda 1$ 的干涉信号并且随后在获取波长 $\lambda 2$ 的干涉信号的同时移动光阑的位置(光阑孔的位置)。基于波长 $\lambda 2$ 的复振幅与获取的波长 $\lambda 1$ 的复振幅之间的复相关性搜索(检测)使复相关性最大化的光阑的位置,以便允许校正由测量表面的倾斜引起的波长之间的斑纹偏移的差别。在该配置中,去除了用于微透镜阵列 18 在光瞳面处分割光束的机构,以便允许单个检测器检测测量表面的光瞳共轭面的位置处的干涉信号。此外,在该配置中,用于在光源 1 和 2 之间进行切换的机构的添加消除了对分光元件 21a 到 21e 的需要。不需要为每个波长准备检测器。在日本专利申请公开 No. 10-185529 中讨论的技术通过移动光阑或者针孔仅仅检测与来自测量表面的镜面反射对应的最大光量的位置,并且没有提高波长之间的斑纹的相关性。

[0057] 在上述描述中,为了简化起见,在测量表面的光瞳共轭面的位置附近一维地进行光束的分离。实际上,如上所述,如果测量表面在任何方向上倾斜,则需要在测量表面的光瞳共轭面附近以矩阵形式或者二维地分离光束。在该情况下,还需要二维地处理像素偏移。通过将复振幅分离为实部与虚部来处理像素偏移。然而,可以使用相位数据来代替复振幅。对于相位数据,要校正使两个波长之间的斑纹相位的相关性最大化的像素偏移。

[0058] 图 8 示出根据第二示例性实施例的用于计算长度测量值的流程图。第二示例性实施例的测量设备在配置方面与第一示例性实施例类似。

[0059] 在第一示例性实施例中的用于计算相位差的流程图(图 4)中,根据每个波长的复振幅计算使相关性最大化的像素偏移。另一方面,在本示例性实施例中的用于计算相位差的流程图中,根据先前获取的与测量表面的倾斜有关的信息来获取像素偏移量。可以例如根据与测量对象的图画(drawing)和布置测量表面的取向有关的信息来获取与测量表面的倾斜有关的信息。可以通过使用其它测量设备来获取与测量表面的倾斜有关的信息。先前获取的与测量表面的倾斜有关的信息被存储在计算装置 23 中。

[0060] 下面描述根据本示例性实施例的用于计算长度测量值的流程图。如第一示例性实施例的情况一样,在步骤 S101 中,计算装置 23 根据由检测器 222a 到 225a 和检测器 222b

到 225b (检测单元) 检测的干涉信号来获取关于复振幅的信息。在步骤 S202 中, 计算装置 23 根据存储在计算装置 23 中的关于测量表面的倾斜的信息来计算像素偏移量 ΔL_x 。更具体地说, 通过以下公式 (4) 计算像素偏移量 ΔL_x 。

$$[0061] \quad \Delta L_x = 2f \times \tan(\theta) \times \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} - 1 \right) \quad (4)$$

[0062] 其中, f 为用于接收从测量表面反射的光的光接收光学系统 (从测量表面到光瞳共轭位置的光学系统) 的焦距, 并且 θ 为关于测量表面的倾斜的信息。

[0063] 在步骤 S202 中, 计算装置 23 计算像素偏移量 ΔL_x , 并且随后以与第一示例性实施例中的用于相位差计算流程的步骤 S104 到 S107 中的处理相同的处理来计算波长之间的相位差以便获取长度测量值。如第一示例性实施例的情况一样, 在本示例性实施例中, 如果测量表面在任何方向上倾斜, 则计算装置 23 在测量表面的光瞳共轭面的位置附近以矩阵形式或者二维地分离光束。在该情况下, 通过公式 (5) 计算在 X 方向上的像素偏移量 ΔL_x 和在 Y 方向上的像素偏移量 ΔL_y 。

$$[0064] \quad \Delta L_x = 2f \times \tan(\theta_x) \times \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} - 1 \right)$$

$$[0065] \quad \Delta L_y = 2f \times \tan(\theta_y) \times \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} - 1 \right) \quad (5)$$

[0066] 其中, f 为用于接收从测量表面反射的光的光接收光学系统的焦距, θ_x 为与测量表面在 X 方向上的倾斜有关的信息, 并且 θ_y 为与测量表面在 Y 方向上的倾斜有关的信息。还需要基于像素偏移量 ΔL_x 和像素偏移量 ΔL_y 二维地处理像素偏移。

[0067] 在上述的示例性实施例中, 描述外差干涉仪。然而, 示例性实施例还可以被应用于其中通过多波长零差干涉仪测量粗糙表面的情况。对于多波长零差干涉仪的情况, 同样, 通过在测量表面的光瞳共轭面上分割干涉信号的光束获取每个波长的相位或者复振幅, 以便允许应用上述的相位差计算流程。在该情况下, 即使通过多波长零差干涉仪也可以以高速和高精度测量倾斜的且粗糙的测量表面。

[0068] 在上述的示例性实施例中, 有限地描述了双波长干涉仪。然而, 例如可以使用具有三个波长或更多波长的不同的多波长干涉仪。可替代地, 示例性实施例可以被应用于允许通过扫描多个波长之一进行绝对长度测量的多波长扫描干涉仪。

[0069] 虽然已经参考示例性实施例描述了本发明, 但是应当理解, 本发明不限于所公开的示例性实施例。以下权利要求的范围将被给予最宽的解释从而包括所有的修改、等同结构与功能。

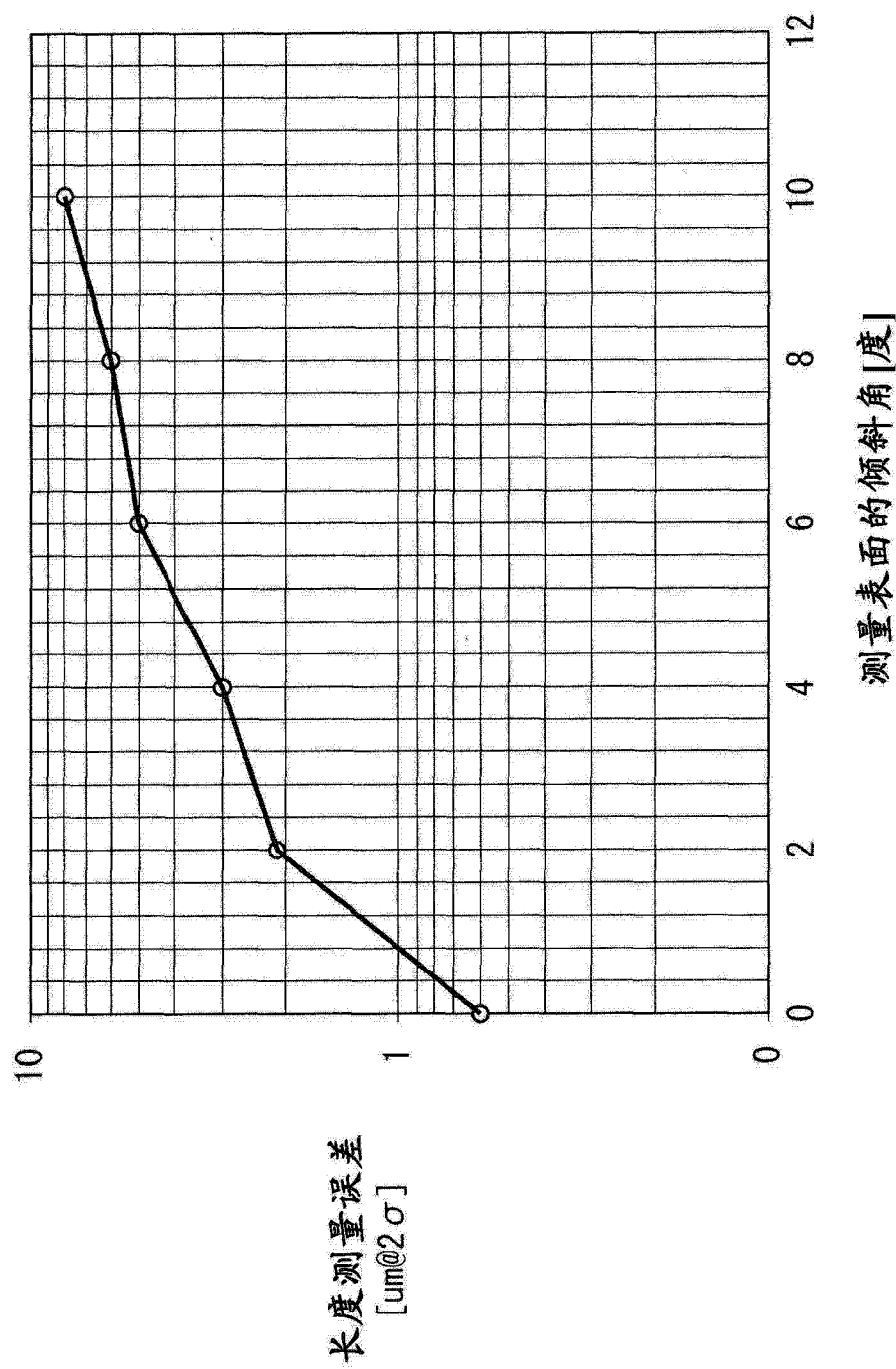


图 1

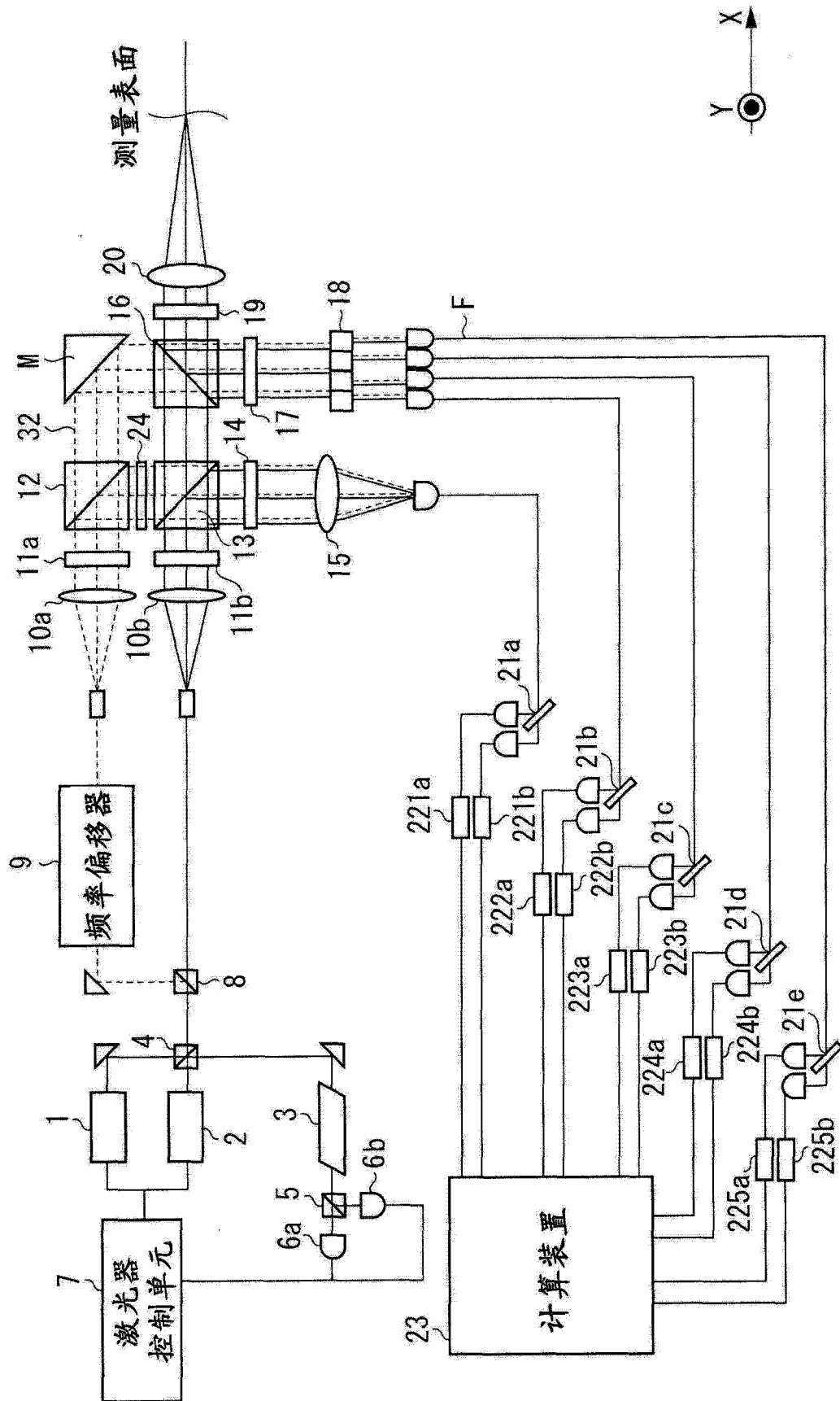


图 2

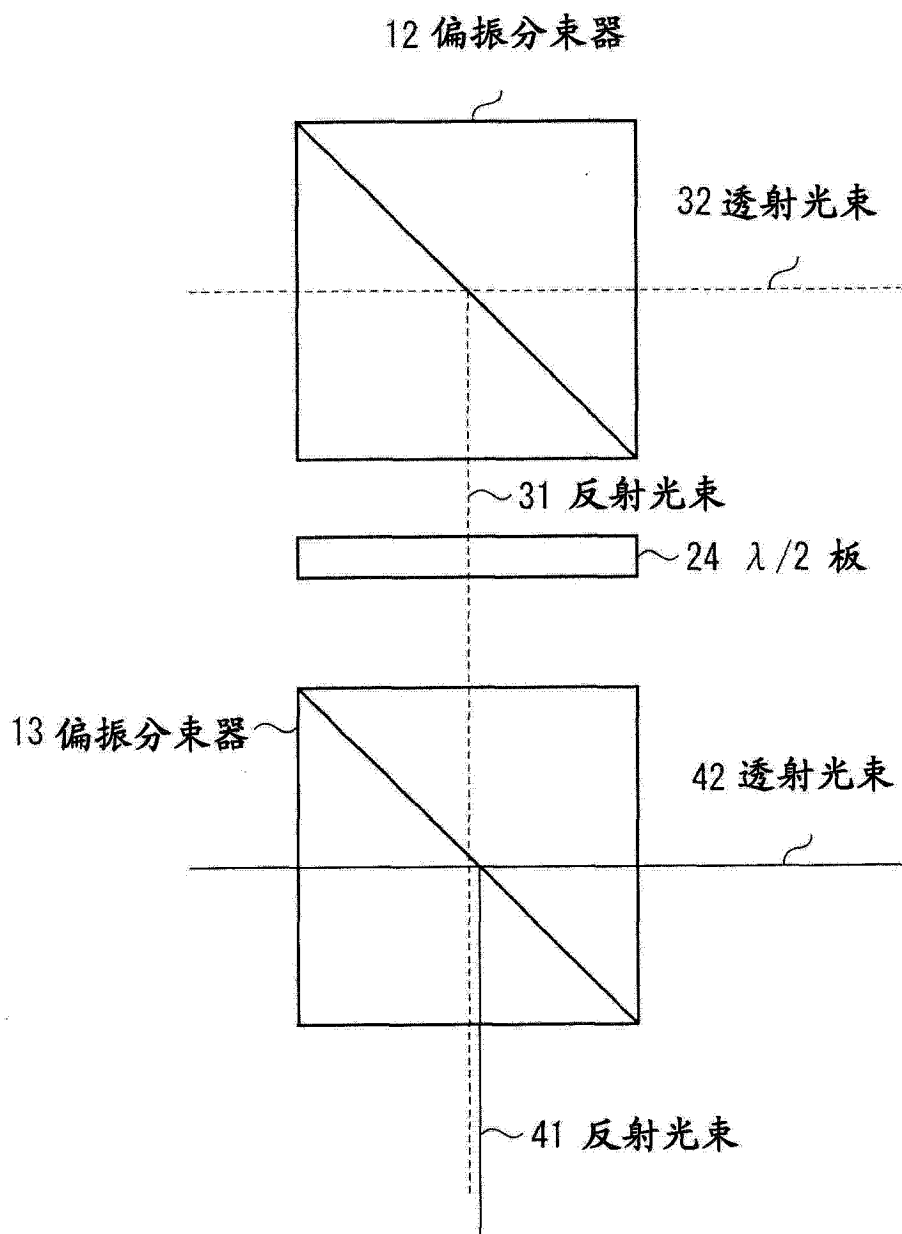


图 3

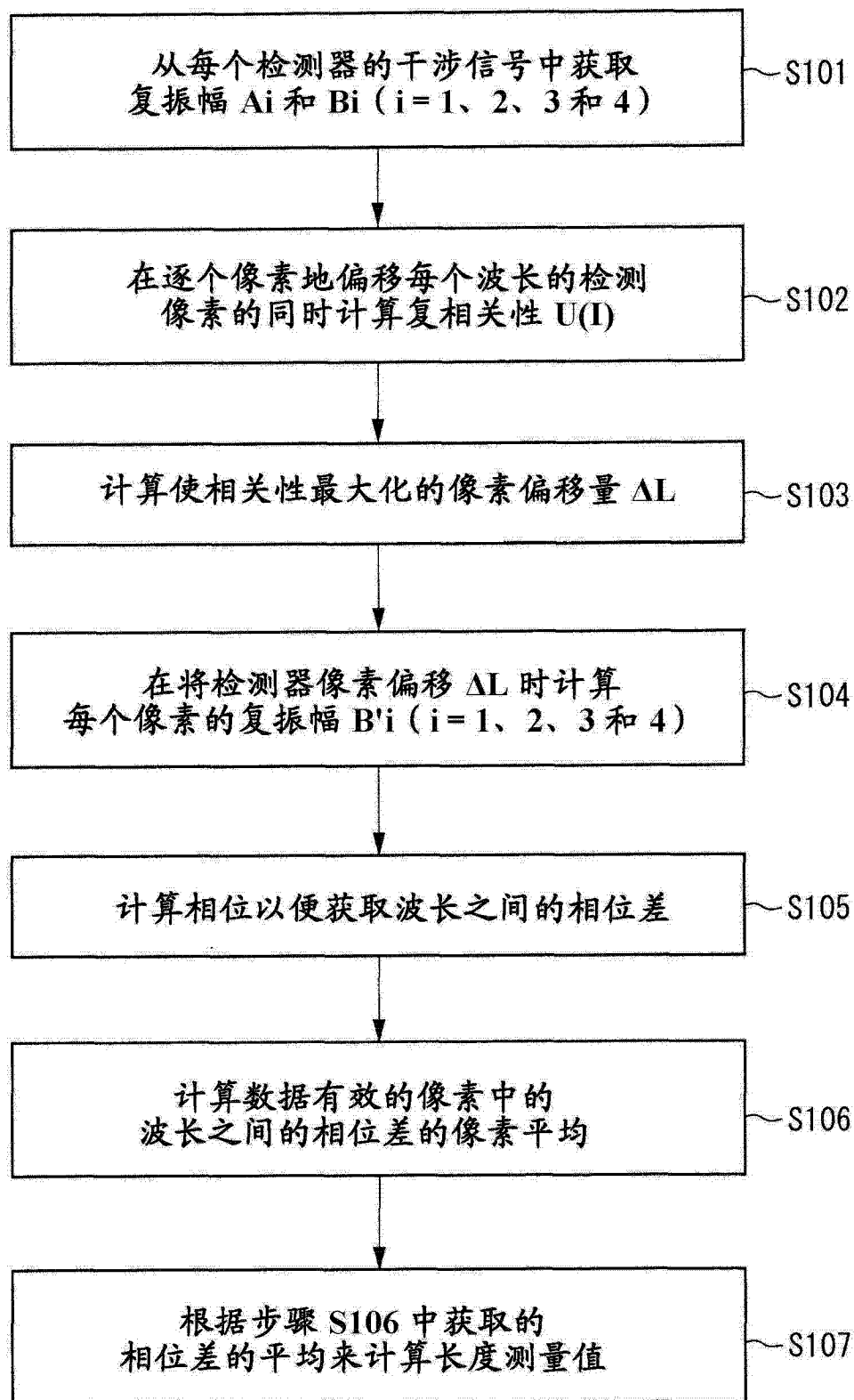


图 4

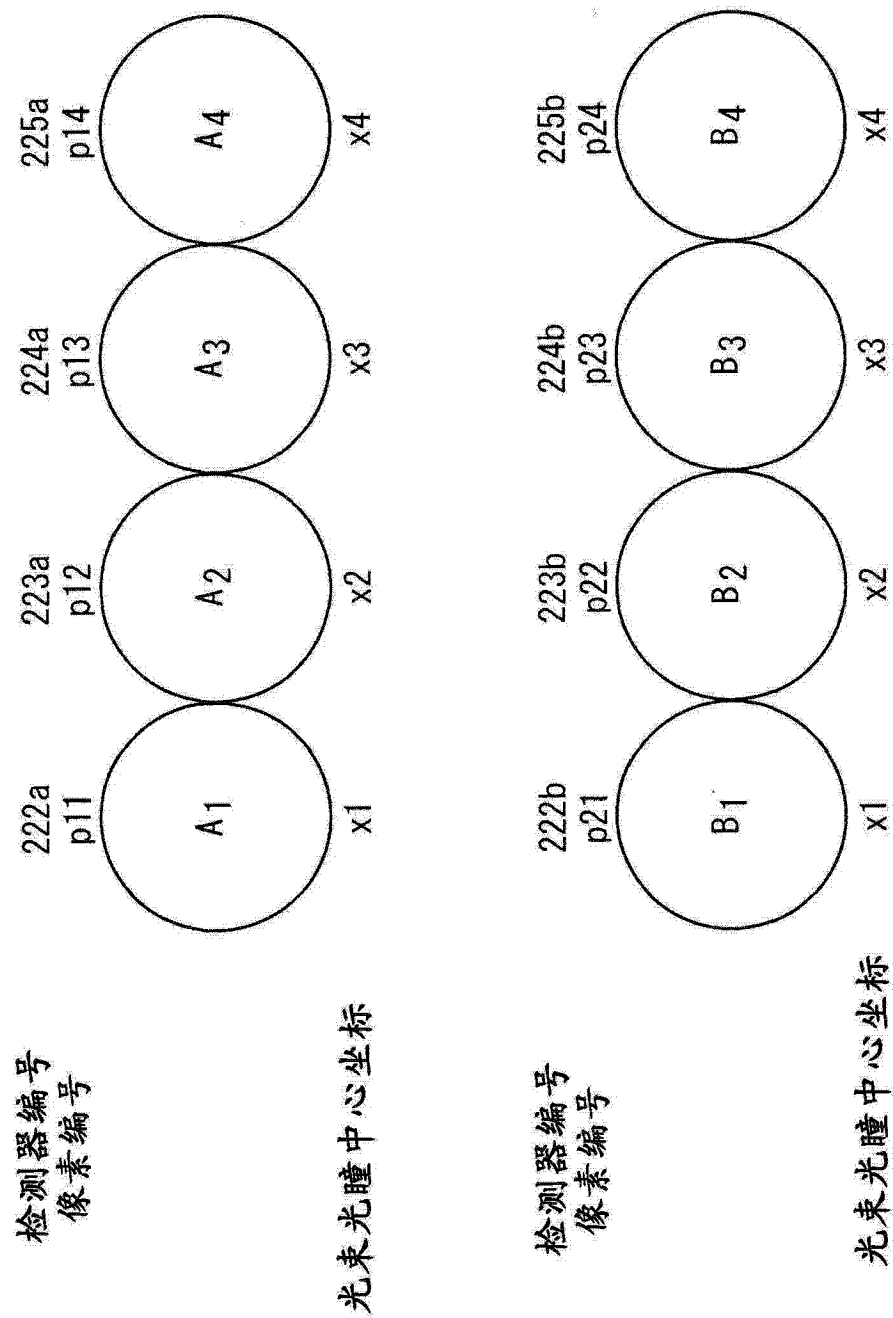


图 5

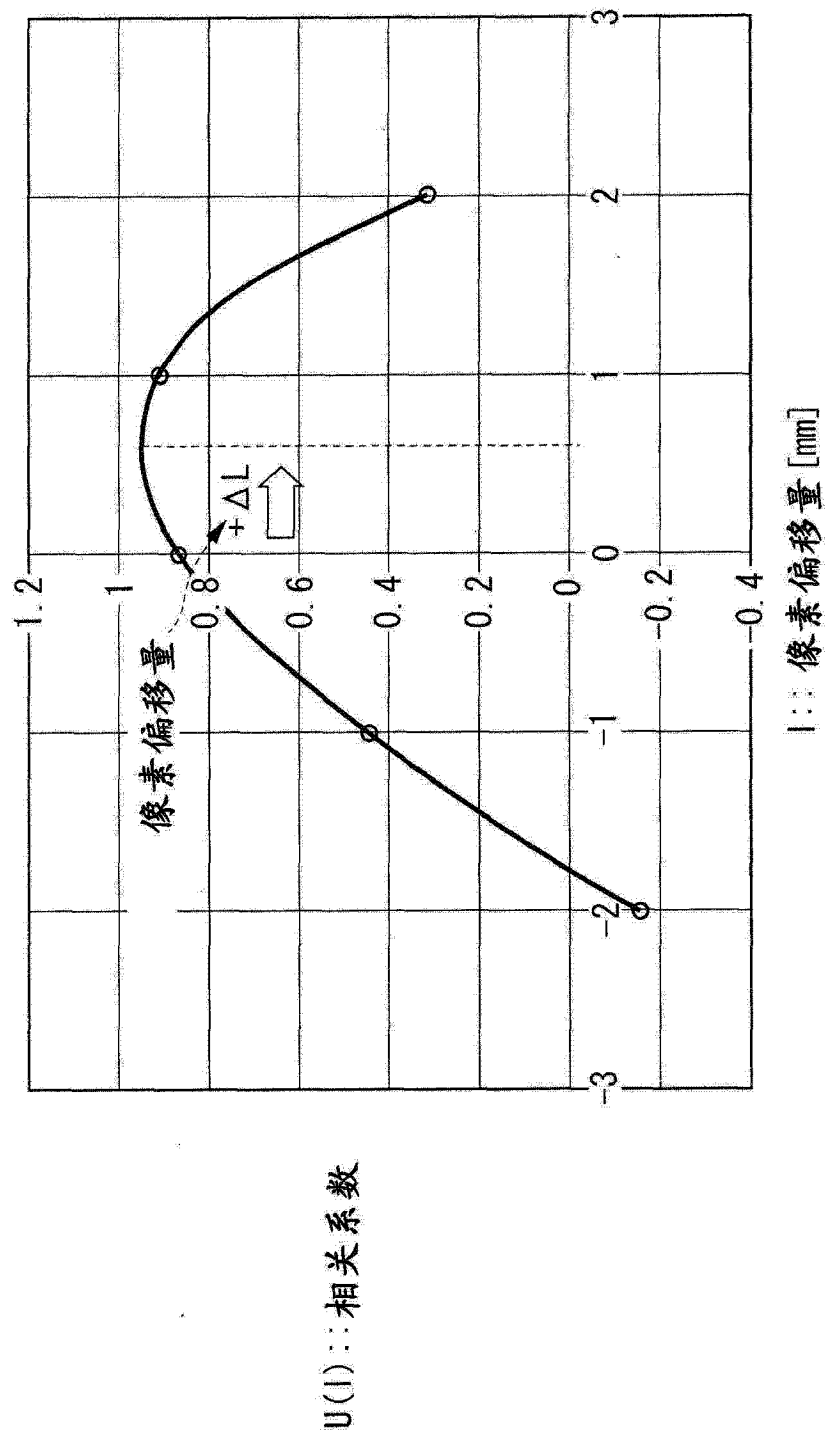


图 6

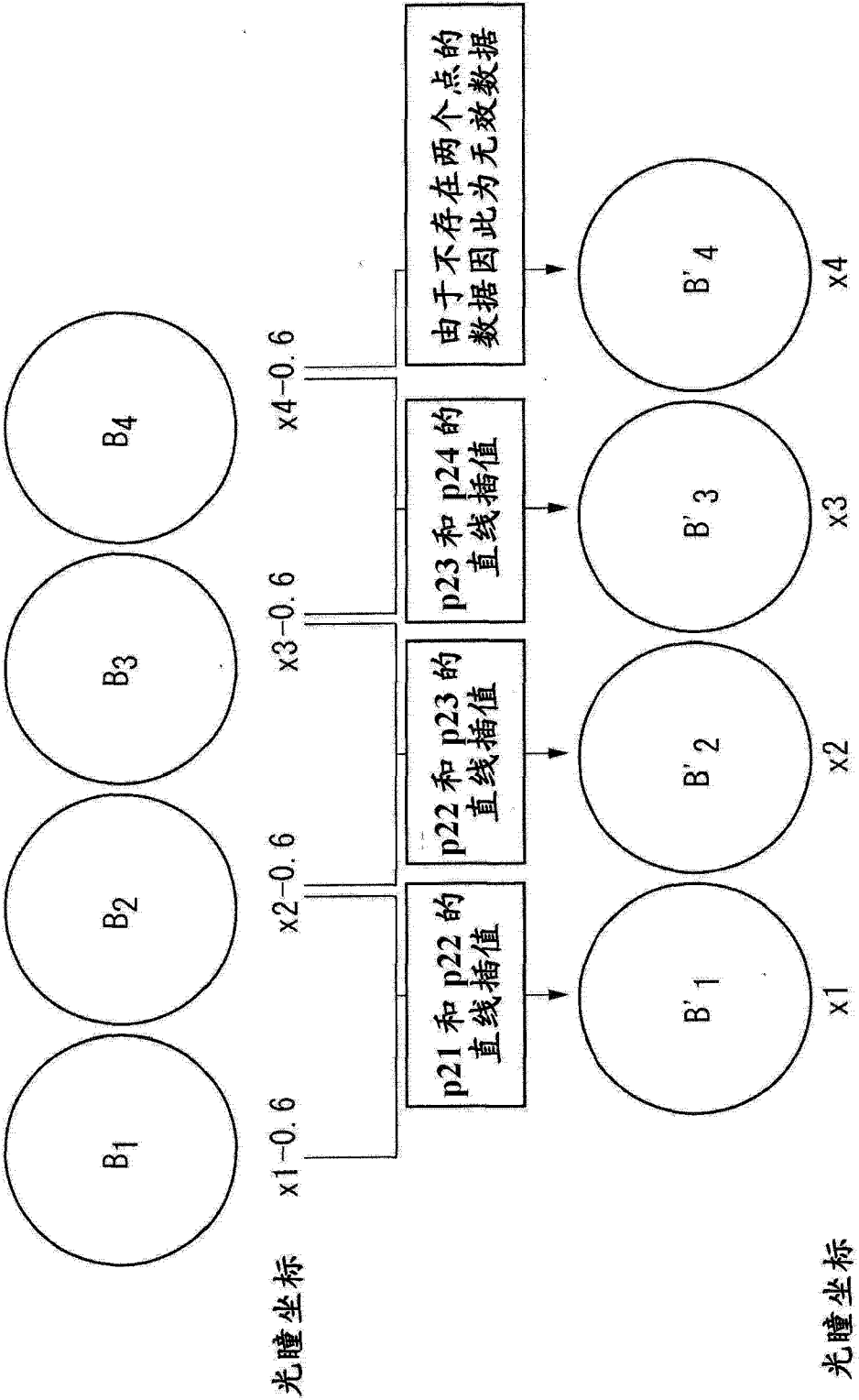


图 7

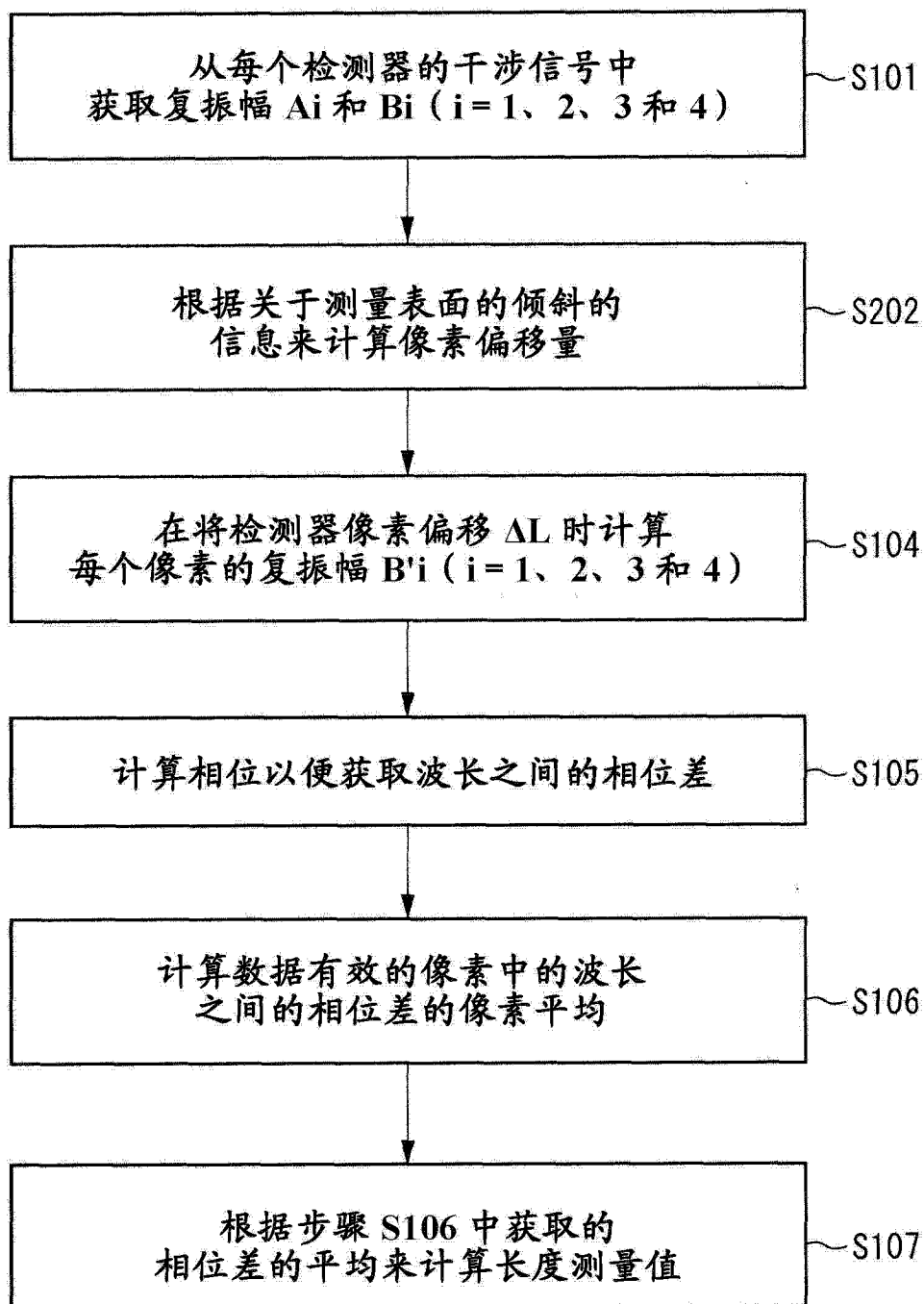


图 8