



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108760878 B

(45) 授权公告日 2020.12.18

(21) 申请号 201810270116.5

(22) 申请日 2018.03.29

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108760878 A

(43) 申请公布日 2018.11.06

(30) 优先权数据
2017-064905 2017.03.29 JP

(73) 专利权人 株式会社岛津制作所
地址 日本国京都府京都市中京区西之京桑
原町1番地

(72) 发明人 畠堀贵秀 长田侑也 田窪健二

(74) 专利代理机构 上海华诚知识产权代理有限公司 31300

代理人 肖华

(51) Int. Cl.
G01N 29/04 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 103961056 A, 2014.08.06

CN 1749733 A, 2006.03.22

US 2013321823 A1, 2013.12.05

CN 2760550 Y, 2006.02.22

CN 106091974 A, 2016.11.09

WO 2016007950 A1, 2016.01.14

CN 102472608 A, 2012.05.23

US 6882431 B2, 2005.04.19

CN 1710388 A, 2005.12.21

董本涵等. 电子散斑干涉法在振动测量中的
物光位相调制法.《航空动力学报》.1992, 第7卷
(第2期), 第113-116页.

Ngoi, BKA等. Laser scanning
heterodyne-interferometer for micro-
components.《OPTICS COMMUNICATIONS》.2000,
第173卷(第1-6期), 第291-301页.

审查员 尤丰光

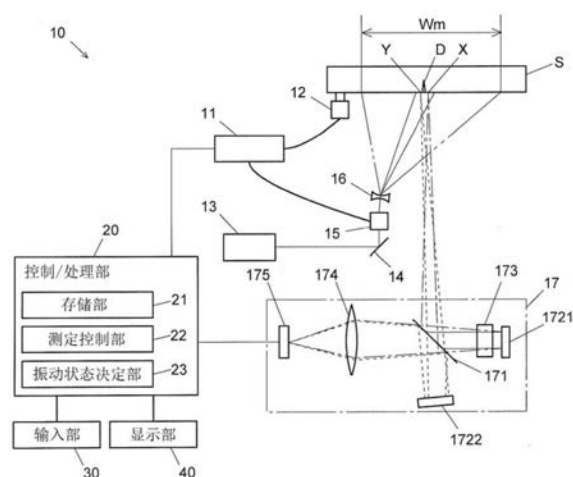
权利要求书3页 说明书11页 附图7页

(54) 发明名称

振动测定装置以及方法、缺陷检查装置以及
方法

(57) 摘要

本发明提供能均匀地检查被检查物体的测定区域的振动测定装置, 具备: 对对象物体激发振动的激发部; 激光源; 将激光源的光照射到测定区域的一部分区域、并使照射区域在测定区域内移动的扫描部; 对测定区域的各点依次照射将照明时间宽度设为了振动的周期的1/3以下的激光的照射控制部; 位移测定部, 其对将来自对象物体的物体光分割成两份而得的两个光束设置角度差而使它们发生干涉, 对测定区域的各点测定由此得到的干涉光, 测定照射区域内的接近的2点间的相对前后方向的位移; 及振动状态决定部, 其基于测定区域的各点的与相位同步的时刻的振动的1个周期内的不同的3点以上的时刻的接近2点间的前后方向的位移, 决定测定区域整体的振动状态。



1. 一种振动测定装置,其特征在于,具备:

a) 激振部,其对对象物体激发振动;

b) 激光源;

c) 扫描部,其将来自所述激光源的光照射到所述对象物体的表面的测定区域的一部分区域,并使该照射区域在该测定区域内移动;

d) 照射控制部,其通过控制所述激振部、所述激光源和所述扫描部,在与所述振动的相位同步的时刻,对所述测定区域的各点依次地照射将照明时间宽度设为了所述振动的周期的 $1/3$ 以下的激光;

e) 位移测定部,其对将从所述对象物体反射来的物体光分割成两份而得到的两个光束设置角度差而使该两个光束发生干涉,针对所述测定区域的各点测定由此得到的干涉光,从而测定该照射区域内的接近的2点间的相对的面外方向的位移;以及

f) 振动状态决定部,其基于所述测定区域的各点的与所述相位同步的时刻的、所述振动的1个周期内的不同的3点以上的时刻的接近的2点间的面外方向的位移,决定所述测定区域整体的振动的状态。

2. 根据权利要求1所述的振动测定装置,其特征在于,

所述照射区域的面积处于所述测定区域的面积的五分之一至八分之一的范围内。

3. 根据权利要求1所述的振动测定装置,其特征在于,

所述扫描部对所述照射区域的扫描频率是所述振动的振动频率的 $1/m$,其中 m 是1以上的自然数。

4. 根据权利要求1所述的振动测定装置,其特征在于,

与所述相位同步的时刻的数量是 $[2n+1]$ 以上,根据所述测定区域的各点的面外方向的位移,检测所述振动的 n 次的高次谐波分量,其中 n 是2以上的自然数。

5. 根据权利要求1所述的振动测定装置,其特征在于,

所述激光源的点亮时间宽度是所述振动的周期的 $1/3$ 以上。

6. 根据权利要求1所述的振动测定装置,其特征在于,

所述激光源有多个,从各个激光源向所述对象物体的表面的测定区域的相互不同的一部分区域照射,并使该照射区域在该测定区域内移动。

7. 一种振动测定装置,其特征在于,具备:

a) 激振部,其对对象物体激发振动;

b) 激光源;

c) 扫描部,其将来自所述激光源的光照射到所述对象物体的表面的测定区域的一部分区域,并使该照射区域在该测定区域内移动;

d) 照射控制部,其通过控制所述激振部、所述激光源和所述扫描部,在与所述振动的相位同步的时刻,对所述测定区域的各点依次地照射将照明时间宽度设为了所述振动的周期的 $1/3$ 以下的激光;

e) 干涉光测定部,其针对所述测定区域的各点,测定在将所述激光照射到所述照射区域之前分割出来的参照光与由于所述照射而从该点反射来的物体光的干涉光;

f) 位移测定部,其针对所述测定区域的各点,使所述参照光与所述物体光的光程差以与所述激光的波长相应的距离发生变化,从而测定该点的面外方向的位移;以及

g) 振动状态决定部,其基于所述测定区域的各点的与所述相位同步的时刻的、所述振动的1个周期内的不同的3点以上的时刻的面外方向的位移,决定所述测定区域整体的振动的状态。

8. 根据权利要求7所述的振动测定装置,其特征在于,

所述照射区域的面积处于所述测定区域的面积的五十分之一至八分之一的范围内。

9. 根据权利要求7所述的振动测定装置,其特征在于,

所述扫描部对所述照射区域的扫描频率是所述振动的振动频率的 $1/m$,其中 m 是1以上的自然数。

10. 根据权利要求7所述的振动测定装置,其特征在于,

与所述相位同步的时刻的数量是 $[2n+1]$ 以上,根据所述测定区域的各点的面外方向的位移,检测所述振动的 n 次的高次谐波分量,其中 n 是2以上的自然数。

11. 根据权利要求7所述的振动测定装置,其特征在于,

所述激光源的点亮时间宽度是所述振动的周期的 $1/3$ 以上。

12. 根据权利要求7所述的振动测定装置,其特征在于,

所述激光源有多个,从各个激光源向所述对象物体的表面的测定区域的相互不同的一部分区域照射,并使该照射区域在该测定区域内移动。

13. 一种缺陷检查装置,其特征在于,

具备权利要求1或者7所述的振动测定装置。

14. 一种振动测定方法,其特征在于,包括:

a) 对对象物体激发振动的工序;

b) 将激光照射到所述对象物体的测定区域的一部分区域,并使该照射区域在所述测定区域内移动,从而在所述测定区域的各点,在与所述振动的相位同步的时刻,照射将照明时间宽度设为了所述振动的周期的 $1/3$ 以下的激光的工序;

c) 对将从所述对象物体反射来的物体光分割成两份而得到的两个光束设置角度差而使该两个光束发生干涉,针对所述测定区域的各点测定由此得到的干涉光,从而测定该照射区域内的接近的2点间的相对面外方向的位移的工序;以及

d) 基于所述测定区域的各点的与所述相位同步的时刻的、所述振动的1个周期内的不同的3点以上的时刻的接近的2点间的相对的面外方向的位移,决定所述测定区域整体的振动的状态的工序。

15. 一种振动测定方法,其特征在于,包括:

a) 对对象物体激发振动的工序;

b) 将激光照射到所述对象物体的测定区域的一部分区域,并使该照射区域在所述测定区域内移动,从而在所述测定区域的各点,在与所述振动的相位同步的时刻,照射将照明时间宽度设为了所述振动的周期的 $1/3$ 以下的激光的工序;

c) 针对所述测定区域的各点,测定在将所述激光照射到所述照射区域之前分割出来的参照光与由于所述照射而从所述点反射来的物体光的干涉光的工序;

d) 针对所述测定区域的各点,使所述参照光与所述物体光的光程差以与所述激光的波长相应的距离发生变化,从而测定该点的面外方向的位移的工序;以及

e) 基于所述测定区域的各点的与所述相位同步的时刻的、所述振动的1个周期内的不

同的3点以上的时刻的面外方向的位移,决定所述测定区域整体的振动的状态的工序。

16.一种缺陷检查方法,其特征在于,

包括权利要求14或者15所述的振动测定方法的各工序。

振动测定装置以及方法、缺陷检查装置以及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种为了以非接触方式检测/测定混凝土、钢铁构造物等物体的表面以及内部的缺陷等而测定该物体的表面的振动的方法以及装置。

背景技术

[0002] 为了以非接触方式检测/测定混凝土、钢铁构造物等物体的表面以及内部的缺陷，在用振动器对它们进行激振的同时，以光学方式测定表面的振动振幅的分布，并进行振动解析。作为振动解析的结果的图像中出现由该物体内部的缺陷引起的不连续性，由此，能够实现内部缺陷的非接触检测。

[0003] 在专利文献1中记载了检查表面为粗糙面的物体的方法。在该方法中，对被检查物体的整个检查区域照射由扩束器将激光束扩大而得到的激光。激光在表面的粗糙面发生散射，相互干涉而生成被称为散斑的明暗图案。使该散斑图案与从照射激光束分支出的参照激光发生干涉，并用CCD摄像机等进行拍摄。在由于所提供的弹性波而在物体处产生位移的前后，拍摄2张该图像，根据该2张图像计算检查区域的位移的分布。由此，能够一次测定整个检查区域的位移。

[0004] 现有技术文献

[0005] 专利文献

[0006] 专利文献1：日本专利特开2004-101189号公报

[0007] 非专利文献

[0008] 非专利文献1：中島俊典，“ホログラフィによる振動解析”，应用物理第41卷第6号（1972）pp.560-573

[0009] 非专利文献2：菅野芳章等，“ホログラフィによる水晶振動子の振動状態の測定”，北海道大学工学部研究報告，第109号（1982）pp.13-20

发明内容

[0010] 发明要解决的技术问题

[0011] 在专利文献1的方法中，散斑图案仅在弹性波的激发前后的2点进行测定，仅能够测定弹性波的某一个相位状态。例如，在弹性波的波长相对于测定区域的大小而言较短的情况下，在测定区域内会存在波的振幅大的部分和小的部分。根据波的状态，缺陷部处的位移会不同，所以，在仅测定1个相位状态的情况下，根据部位的不同，缺陷检查能力会产生不均。

[0012] 本发明要解决的技术问题在于，提供一种能够均匀地检查被检查物体的测定区域的振动测定方法以及装置。

[0013] 解决技术问题的技术手段

[0014] 本案申请人为了解决上述技术问题，在先前的申请（日本专利特开2017-219318）中提出了振动测定方法。该振动测定方法包括：对被检查物体激发弹性波的工序；对所述被

检查物体的表面的测定区域进行频闪照明的工序;通过控制所述弹性波的相位以及所述频闪照明的时机,从而在该弹性波的相互不同的至少3个相位下,一并测定所述测定区域各点的面外方向的位移的工序;以及基于所述至少3个相位下的所述测定区域各点的面外方向的位移,检测该测定区域内的缺陷的工序。

[0015] 在先前申请的方法中,将由连续的周期函数表示时间波形的振动设为测定对象。在测定时,利用激光对进行振动的对象物体的整个测定区域一并进行照明。照明是通过使激光以规定的点亮时间宽度 t_s 与振动的相位同步地点亮、并在多次周期内重复进行该相位同步点亮而进行的。

[0016] 将从被照明的对象物体的表面反射了的光与不照射到对象物体的光引导到相同的面,在那里使两个光发生干涉并进行拍摄,从而得到干涉图像。通过使物体光与参照光的光程差发生变化,测定干涉图像的各像素的亮度变化,由此能够求出投影到各像素的物体光与参照光的光相位差,能够根据该光相位差而求出物体的各点的位移。此时求出的位移是被进行频闪照明的振动的相位时刻的位移。通过使频闪照明与振动的相位时刻的关系发生偏移,能够对不同的相位时刻的位移进行测量。在振动具有单一频率分量的情况下,如果对3点以上的相位时刻的位移进行测量,则能够通过基于最小二乘法的近似来再现原来的振动的时间波形,能够计算出振动的振幅和相位。在振动并非单一频率而是包含第 n 次的高次谐波分量的情况下,通过在 $[2n+1]$ 点以上的相位时刻求出位移,能够求出第 n 次的高次谐波分量的振幅和相位。

[0017] 在进行这样的测定时,如果在一次的点亮时间宽度 t_s 的期间内产生由振动引起的位移,则所得到的图像的清晰度会降低。因此,为了得到清晰度高的测定结果,激光的点亮时间宽度 t_s 需要缩短到能够视为振动近似于静止的程度。另一方面,如果使点亮时间宽度 t_s 过于缩短,则光量就会降低,从而SN比降低。相对于期待的清晰度的适当的点亮时间宽度 t_s 根据振动振幅 a 的大小的不同而不同,所以,需要与想要测定的振动相匹配地研究适当的点亮时间宽度 t_s ,但通常设为振动周期的 $1/8 \sim 1/50$ 左右。

[0018] 在使用先前申请的方法的测定中,如果测定区域变大,则各点的照度、即每单位面积的光量会降低,从而SN比降低。因此,本发明者对先前申请的方法进行改进,研究了即使对象物体的测定区域变大也能够进行清晰度高的测定、并且不使各点的照度降低地进行SN比高的测定的振动测定方法以及装置,其结果,想到了本发明。

[0019] 基于上述事项而完成的本发明的第1振动测定方法包括:

[0020] a) 对对象物体激发振动的工序;

[0021] b) 将激光照射到所述对象物体的测定区域的一部分区域,并使该照射区域在所述测定区域内移动,从而在所述测定区域的各点,在与所述振动的相位同步的时刻,照射将照明时间宽度设为了所述振动的周期的 $1/3$ 以下的激光的工序;

[0022] c) 针对所述测定区域的各点,测定在将所述激光照射到所述照射区域之前分割出来的参照光与由于所述照射而从所述点反射来的物体光的干涉光的工序;

[0023] d) 针对所述测定区域的各点,使所述参照光与所述物体光的光程差以与所述激光的波长相应的距离发生变化,从而测定该点的面外方向的位移的工序;以及

[0024] e) 基于所述测定区域的各点的与所述相位同步的时刻的、所述振动的1个周期内的不同的3点以上的时刻的面外方向的位移,决定所述测定区域整体的振动的状态的工序。

[0025] 在本发明的第1振动测定方法中,在对对象物体激发振动的同时,将激光照射到该对象物体的测定区域的一部分区域,并使该照射区域在测定区域内依次移动。即,用激光扫描测定区域。此时,测定区域内的各点的激光的照明时间设为所述振动的周期的 $1/3$ 以下,该照射时刻设为与该振动的相位同步的时刻。测定区域内的全部照射点的照射相位时刻也可以不一定相同,也可以在各点为不同的照射相位时刻。

[0026] 关于各点,在所述振动的周期的1个周期内的不同的3点以上的照射相位时刻进行这样的测定区域的扫描。为此才将各点的激光的照明时间设为振动的周期的 $1/3$ 以下。在本发明的振动测定方法中,将激光照射到测定区域的一部分,并使该激光在该照射区域内移动,所以,例如在按与所述振动的周期相同的周期进行扫描的情况下,能够使用点亮时间宽度为所述振动的周期的 $1/3$ 以上的激光源、并且将该测定区域的各点的照明时间宽度设为该振动的周期的 $1/3$ 以下。进一步地,在将激光照射到所述测定区域的 $1/3$ 以下的区域并在该测定区域内将其移动的情况下,还能够使用发出连续光的激光源。

[0027] 在这样的基于激光照射的测定区域的扫描的期间内,测定在将激光照射到所述照射区域之前分割出来的参照光与由于照射而从对象物体反射来的物体光的干涉光,通过使这些参照光与物体光的光程差以与所述激光的波长相应的距离发生变化,从而测定各点的面外方向的位移。这是基于以往进行的参照光法的位移测定法。通过该方法,能够测定位移的绝对距离。

[0028] 基于这样测定出的测定区域的各点的面外方向的位移,能够决定测定区域整体的振动的状态。

[0029] 当在对象物体的测定区域内存在某些缺陷的情况下,该区域内的各点的面外方向的位移会在该缺陷的地方不连续地变化。通过使用本发明而如上所述地检测对象物体的测定区域内的振动的状态,能够检测该测定区域内的缺陷。

[0030] 通过图1来具体说明该方法。在该例子中,对作为全部测定区域A中的一部分区域的宽度 $W1$ 的区域P进行照射,并使该照射区域P一维地移动。首先,考虑振动频率 f_v 与扫描频率 f_s 相同的情况。此时,通过将作为照明区的照射区域P的宽度 $W1$ 与测定区域A的长度 W_m 之比 $W1/W_m$ 设为例如 $1/8$,从而使得测定区域A的各点的点亮时间宽度 $T1$ 为振动周期 T_v 的 $1/8$ 。在该扫描的期间内,能够使光源连续点亮,所以,与按振动周期 T_v 的 $1/8$ 的时间宽度一并对全部测定区域A脉冲状地进行照射的现有技术情况相比,能够实现8倍的高亮度化。

[0031] 使用这样的线扫描照明,与现有技术同样地进行光干涉测量,对由振动引起的位移进行测量。进一步地,使扫描与振动器的相位关系发生偏移,对3点以上的振动的相位时刻的位移进行测量,求出测定区域内的各点的振动的相位和振幅。下面,将振动器本身的振动的相位时刻表述为“振动器相位时刻”,并将它作为基准。在本方法中,各点的开始照明的振动器相位时刻不同,但通过在各点的初始相位时刻校正所求出的振动的相位,能够在所有点计算出同一振动器相位时刻的振动状态。

[0032] 接下来,考虑振动频率 f_v 与扫描频率 f_s 不同的情况。此时,扫描频率 f_s 是测定对象的振动频率 f_v 的 $1/N$ (N 是2以上的自然数)即可。这在想要测定高频率的振动、但所使用的扫描机构的能够扫描的频率的上限没有达到振动频率的情况下是有效的。例如,在振动频率与扫描频率之比 $f_v/f_s=5$ 时,通过设为 $W1/W_m=1/40$,能够将 $T1/T_v$ 设为 $1/8$ 。在这样进行线扫描时,通过适当地设定照明区与测定区域的长度之比,能够控制各点的点亮时间宽度。

[0033] 上述例子是利用线状的照射区域来一维地扫描测定区域,但也可以利用微小照射区域来二维地扫描。

[0034] 另外,基于上述事项而完成的本发明的第2振动测定方法是作为用于得到干涉光的方法而使用散斑剪切法的方法,包括:

[0035] a) 对对象物体激发振动的工序;

[0036] b) 将激光照射到所述对象物体的测定区域的一部分区域,并使该照射区域在所述测定区域内移动,从而在所述测定区域的各点,在与所述振动的相位同步的时刻,照射将照明时间宽度设为了所述振动的周期的 $1/3$ 以下的激光的工序;

[0037] c) 对将从所述对象物体反射来的物体光分割成两份而得到的两个光束设置角度差而使该两个光束发生干涉,针对所述测定区域的各点测定由此得到的干涉光,从而测定该照射区域内的接近的2点间的相对面外方向的位移的工序;以及

[0038] d) 基于所述测定区域的各点的与所述相位同步的时刻的、所述振动的1个周期内的不同的3点以上的时刻的接近的2点间的相对的面外方向的位移,决定所述测定区域整体的振动的状态的工序。

[0039] 在上述任一方法中,进行位移测定的、与相位同步的时刻的数量都最少为3,但优选为将与相位同步的时刻的数量设为 $[2n+1]$ (n 是2以上的自然数) 以上,由此根据所述测定区域的各点的面外方向的位移,检测对对象物体激发出的弹性波的 n 次的分量。在对象物体存在缺陷的情况下,在产生于该部位的所述的不连续变化中,还包含大量高次谐波分量,缺陷越小,则其比例越高,所以,通过对其进行检测,能够进一步提高缺陷检测的精度。

[0040] 用于实施上述第1振动测定方法的本发明的振动测定装置具备:

[0041] a) 激振部,其对对象物体激发振动;

[0042] b) 激光源;

[0043] c) 扫描部,其将来自所述激光源的光照射到所述对象物体的表面的测定区域的一部分区域,并使该照射区域在该测定区域内移动;

[0044] d) 照射控制部,其通过控制所述激振部、所述激光源和所述扫描部,在与所述振动的相位同步的时刻,对所述测定区域的各点依次地照射将照明时间宽度设为了所述振动的周期的 $1/3$ 以下的激光;

[0045] e) 干涉光测定部,其针对所述测定区域的各点,测定在将所述激光照射到所述照射区域之前分割出来的参照光与由于所述照射而从该点反射来的物体光的干涉光;

[0046] f) 位移测定部,其针对所述测定区域的各点,使所述参照光与所述物体光的光程差以与所述激光的波长相应的距离发生变化,从而测定该点的面外方向的位移;以及

[0047] g) 振动状态决定部,其基于所述测定区域的各点的与所述相位同步的时刻的、所述振动的1个周期内的不同的3点以上的时刻的面外方向的位移,决定所述测定区域整体的振动的状态。

[0048] 另外,用于实施上述第2振动测定方法的本发明的振动测定装置具备:

[0049] a) 激振部,其对对象物体激发振动;

[0050] b) 激光源;

[0051] c) 扫描部,其将来自所述激光源的光照射到所述对象物体的表面的测定区域的一部分区域,并使该照射区域在该测定区域内移动;

[0052] d) 照射控制部,其通过控制所述激振部、所述激光源和所述扫描部,在与所述振动的相位同步的时刻,对所述测定区域的各点依次地照射将照明时间宽度设为了所述振动的周期的1/3以下的激光;

[0053] e) 位移测定部,其对将从所述对象物体反射来的物体光分割成两份而得到的两个光束设置角度差而使该两个光束发生干涉,针对所述测定区域的各点测定由此得到的干涉光,从而测定该照射区域内的接近的2点间的相对的面外方向的位移;以及

[0054] f) 振动状态决定部,其基于所述测定区域的各点的与所述相位同步的时刻的、所述振动的1个周期内的不同的3点以上的时刻的接近的2点间的面外方向的位移,决定所述测定区域整体的振动的状态。

[0055] 发明效果

[0056] 根据本发明的振动测定方法以及装置,使激光的照射区域在测定区域内依次移动而进行测定,所以,即使对象物体的测定区域变大,也能够不使各点的照度降低地进行SN比高的测定。另外,能够缩短各点的照明时间,所以,能够进行不出现由振动引起的模糊的、清晰度高的测定。

附图说明

[0057] 图1是说明在本发明的振动测定装置中在测定区域A内扫描激光的照射区域P的动作的图。

[0058] 图2是作为本发明的振动测定装置的一个实施例的缺陷检查装置的概略构成图。

[0059] 图3是作为本发明的振动测定方法的一个实施例的缺陷检查方法的流程图。

[0060] 图4是用于说明本实施例的缺陷检查方法的原理的曲线图。

[0061] 图5是本实施例的缺陷检查装置的变形例的概略构成图。

[0062] 图6是说明在变形例的缺陷检查装置中用激光扫描测定区域A的动作的图。

[0063] 图7是作为本发明的振动测定装置的另一实施例的缺陷检查装置的概略构成图。

[0064] 图8是说明扫描测定区域A的扫描频率的图。

[0065] 图9是说明用激光二维地扫描测定区域A的例子图。

具体实施方式

[0066] 使用图1~图9来说明本发明的振动测定方法以及振动测定装置的实施例。本实施例的振动测定方法以及振动测定装置被用作以非接触方式检测/测定物体的表面以及内部的缺陷的缺陷检查方法以及缺陷检查装置,但除了缺陷检查装置以外,还能够用于以非破坏性的方式检查构造物的内部构造等各种目的。

[0067] 图2是本实施例的缺陷检查装置10的概略构成图。该缺陷检查装置10具备信号发生器11、振动器12、激光源13、反射镜14、偏转部15、照明光透镜16、散斑/剪切干涉仪17以及控制/处理部20。

[0068] 信号发生器11通过缆线连接于振动器12,产生交流电信号,并发送到该振动器12。振动器12接触到被检查物体S地使用,从信号发生器11接收交流电信号而转换成机械振动,并将该机械振动赋予给被检查物体S。由此,对该被检查物体S激发弹性波的振动。这些信号发生器11以及振动器12相当于上述激振部。

[0069] 信号发生器11还通过不同于与振动器12连接的缆线的缆线而连接于偏转部15,偏转部15与所述交流电信号的周期同步地,使从激光源13发出的光在被检查物体S的测定区域内移动。这些信号发生器11以及偏转部15相当于上述扫描部。

[0070] 激光源13是连续地发出激光的光源,来自该激光源13的光在由反射镜14反射并由偏转部15偏转之后,进一步地由照明光透镜16进行成形而照射到被检查物体S的测定区域A。照明光透镜16具有使来自激光源13的光扩大到在被检查物体S的表面的测定区域A内进行扫描的照射区域P的大小的作用,由例如在正交的2个方向上具有不同的曲率的凹透镜构成。在本实施例中,测定区域A和照射区域P均为矩形形状,照射区域P的一方的长度与测定区域A相同,照射区域P的另一方的长度 W_1 是测定区域A的长度 W_m 的八分之一。即,照射区域P的面积是测定区域A的八分之一。

[0071] 散斑/剪切干涉仪17相当于上述位移测定部,对将从被检查物体S反射来的物体光分割成两份而得到的两个光束相互附加微小的角度差而使该两个光束相互干涉。散斑/剪切干涉仪17具有分束器171、第1反射镜1721、第2反射镜1722、移相器173、聚光透镜174以及图像传感器175。分束器171是配置于在被检查物体S的表面的测定区域A中反射了的照明光所入射的位置的半透半反镜。第1反射镜1721配置于由分束器171反射的物体光的光路上,第2反射镜1722配置于透过分束器171的物体光的光路上。移相器173配置于分束器171与第1反射镜1721之间,使通过该移相器173的光的相位变化。图像传感器175配置于由分束器171反射之后由第1反射镜1721反射并透过分束器171的物体光以及在透过分束器171之后由第2反射镜1722反射并由分束器171反射的物体光的光路上。聚光透镜174配置于分束器171与图像传感器175之间。

[0072] 第1反射镜1721配置成其反射面相对于分束器171的反射面成 45° 的角度。与此相对地,第2反射镜1722配置成其反射面相对于分束器171的反射面成自 45° 稍微倾斜后的角度。通过这些第1反射镜1721以及第2反射镜1722的配置,在图像传感器175上,在被检查物体S的表面的某个点X以及第1反射镜1721处反射的物体光、和在该表面上的处于自点X稍微错开了的位置的点Y以及第2反射镜1722处反射的物体光入射到图像传感器175的相同位置而发生干涉。图像传感器175上二维地配置有多个检测元件,用不同的检测元件分别检测从分布于被检查物体S的表面的各点起通过第1反射镜1721以及移相器173入射到图像传感器175的光。针对所述的点Y,也同样地用不同的检测元件分别检测从多个点起通过第2反射镜1722入射到图像传感器175的光。图像传感器175的视野调整成捕捉整个测定区域A。

[0073] 控制/处理部20除了存储部21之外,作为功能模块,还具备测定控制部22以及振动状态决定部23。测定控制部22控制信号发生器11。另外,振动状态决定部23基于从图像传感器175的各检测元件得到的检测信号进行数据处理。存储部21存储从图像传感器175的各检测元件得到的检测信号、由振动状态决定部23进行处理后的数据。控制/处理部20的实体是个人计算机,上述功能模块通过由计算机的CPU执行振动测定用软件而具现化。另外,将由键盘、鼠标构成的输入部30和显示部40连接于控制/处理部20。

[0074] 下面,使用图3的流程图以及图4的曲线图,说明本实施例的缺陷检查装置10的动作。在本实施例中,从被检查物体S的测定区域A的一个端部向另一个端部以扫描频率 f_s 扫描激光的照射区域P。在这里,扫描频率 f_s 与从振动器12赋予、并在被检查物体S中传播的机械振动的振动频率 f_v 相同。由于是测定区域A的长度 W_m 的八分之一,所以,在本实施例中,测

定区域A的各点的照明时间宽度为机械振动的周期的1/8。此外,如后所述,它们也可以不一定相同。在激光在测定区域A移动的期间内,使图像传感器175的光闸敞开,对激光在测定区域A移动的期间内入射到图像传感器175的各检测元件的光的强度进行累计。

[0075] 在本实施例中,在振动器12的振动的相位不同的、 $m_{\max} \geq 3$ 的时间点下进行测定。在这里,“振动器12的振动的相位”是指从信号发生器11发送到振动器12的交流电信号的相位,相当于对被检查物体S激振出的弹性波的、振动器12所接触的点的相位。下面,使用数值 k ($1 \sim m_{\max}$ 中的某一个自然数),将各次的测定表示为“第 k 次振动器相位时刻的测定”。另外,在以下说明中,首先,关于作为最简单的例子而设为 $m_{\max} = 3$ 的情况,说明全部的步骤,其后,说明 m_{\max} 为更大的值的情况。

[0076] 首先,将 k 的值设定为1(步骤S1),通过从信号发生器11将交流电信号发送到振动器12,从而开始从振动器12向被检查物体S赋予振动(步骤S2)。由此,对被检查物体S激发弹性波。

[0077] 接下来,在使用规定的初始值 ϕ_0 而由 $[\phi_0 + 2\pi(k-1)/m_{\max}]$ 表示振动器12的振动的相位的时机(振动器相位时刻 $[\phi_0 + 2\pi(k-1)/m_{\max}]$)下,信号发生器11将脉冲信号发送到偏转部15。在该阶段中 $k=1$,所以,发送脉冲信号时的振动器12的振动的相位是 ϕ_0 。偏转部15当接收到脉冲信号时,使照射区域P的激光从测定区域A的一方开始移动(步骤S3)。如上所述,该激光由照明光透镜16进行扩径,照射到相当于被检查物体S的测定区域A的八分之一的面积的照射区域P。

[0078] 照明光在被检查物体S的表面反射,来自该表面的物体光入射到散斑/剪切干涉仪17的分束器171。该物体光的一部分由分束器171反射并通过移相器173之后,由第1反射镜1721反射,再次通过移相器173之后,一部分通过分束器171而入射到图像传感器175。另外,入射到分束器171的物体光的剩余部分透过分束器171,在第2反射镜1722上反射,一部分由分束器171反射而入射到图像传感器175。如上所述,在图像传感器175上,用不同的检测元件分别检测在被检查物体S的表面上的多个点反射了的物体光。另外,在图像传感器175中,对激光在测定区域A移动的期间内入射的光的强度进行累计。由此,得到整个测定区域A的散斑图像。但是,形成在这里得到的散斑图像的各点的强度信号是不同的振动器相位时刻的信号。也就是说,散斑图像反映了如下光强度,即:测定区域A中的激光的移动开始侧的端部的振动器相位时刻为 $\phi_0=0$,在从那里到移动结束侧的端部为止的期间以1个周期的方式变化的振动器相位时刻的光强度。这样,在散斑图像中,在各点开始照明的振动器相位时刻不同,但通过在各点的初始相位时刻校正所求出的振动的相位,能够在所有点计算同一振动器相位时刻的振动状态。

[0079] 当使照明区域P按规定时间在测定区域A内进行扫描时,使移相器173移动预先确定的距离 Δd ,使通过该移相器173的物体光的相位变化,再次进行上述相同的测定。由此,来自点X的物体光与来自点Y的物体光的相位差就发生变化。接下来,进一步地,使移相器173移动预先确定的距离 Δd ,使通过该移相器173的物体光的相位变化,再次进行上述相同的测定。由此,关于形成测定区域A的各点,得到3个不同的相位偏移量(在图4中用黑圆表示的3点)下的干涉光强度。基于这3点的强度,如图4的(a)所示,得到在振动器12的振动的相位是 ϕ_0 时的、由移相器173实施的相位的偏移量与由图像传感器175的检测元件检测到的干涉光的强度的曲线图。在图4中,用连续的曲线表示检测强度相对于相位偏移量正弦波状

地变化的关系,但实际上观测的是离散的数据,根据观测到的数据,通过最小二乘法等再现上述连续的正弦波形。因此,如本实施例所示,需要检测至少3个不同的相位偏移量下的强度。在本实施例中,在3个不同的相位偏移量下测定干涉光强度,但也可以在4个以上的相位偏移量下测定干涉光强度。

[0080] 接下来,确认 k 的值是否达到 m_{\max} (步骤S5)。在该阶段中仍是 $k=1$,未达到 m_{\max} ,所以,步骤S5中的判定为“否”。在“否”时前进到步骤S6,使 k 的值加1而设为“2”(关于步骤S5中的判定为“是”的情况,在后面叙述)。

[0081] 接下来,返回到步骤S3,在振动器12的振动的相位为 $[\phi_0+2\pi(k-1)/m_{\max}]$ 的情况下,在 $k=2$ 、即 $[\phi_0+2\pi/3] \equiv \phi_1$ 的每个时机(振动器相位时刻 ϕ_1),信号发生器11将脉冲信号发送到偏转部15,偏转部15在接收到该脉冲信号的时机,开始在被检查物体S的测定区域A中进行激光的扫描。然后,图像传感器175的各检测元件检测在点X处反射并通过了移相器173等的物体光与在点Y处反射的物体光的干涉光的强度,与先前的测定同样地,在激光的扫描过程中,对入射到图像传感器175的各检测元件的光的强度进行累计,并保存到存储部21。在这里,也与上述同样地,针对形成测定区域A的各点,测定3个不同的相位偏移量下的干涉光强度,得到振动器相位时刻 ϕ_1 下的、由移相器173实施的相位的偏移量与由图像传感器175的检测元件检测到的干涉光的强度的曲线图。

[0082] 在图4的(b)中,用曲线图表示振动器相位时刻 ϕ_1 下的、由移相器173实施的相位的偏移量与由图像传感器175的检测元件检测到的干涉光的强度。如果对比该图4的(b)与前面提到的图4的(a),则干涉光的强度的波峰位置在两图中错开了 $\delta\phi_0-\delta\phi_1$ 。该错开表示从点X起的光与从点Y起的光的相位差由于检测时的振动器12的振动的相位的差异而发生了变化。该光的相位差的变化表示点X与点Y的面外方向的相对位移发生了变化。

[0083] 在执行 $k=2$ 时的测定的时间点下,尚未达到 m_{\max} ,所以,在步骤S6中,使 k 的值加1而设为“3”。其后,返回到步骤S3,在振动器12的振动的相位为 $[\phi_0+2\pi(k-1)/m_{\max}]$ 的情况下,在 $k=3$ 、即 $[\phi_0+4\pi/3] \equiv \phi_2$ 的每个定时(振动器相位时刻 ϕ_2)下,偏转部15在被检查物体S的测定区域A中扫描激光,通过图像传感器175的各检测元件来测定干涉光的强度。在这里,也与上述同样地,针对形成测定区域A的各点,测定3个不同的相位偏移量下的干涉光强度,得到振动器相位时刻 ϕ_2 下的、由移相器173实施的相位的偏移量与由图像传感器175的检测元件测定的干涉光的强度的曲线图(图4的(c)、步骤S4)。

[0084] 其后,在步骤S5中, k 的值是3,达到了 m_{\max} ,所以,转移到步骤S7。在步骤S7中,停止从信号发生器11向振动器12发送交流电信号,由此,振动器12停止振动。至此为止的一系列的动作是在由测定控制部22实施的控制之下进行的。在本实施例中,按固定初始相位时刻而在3点的不同的相位偏移量下取得干涉数据这样的程序进行测定,但也能够按固定相位偏移量而使初始相位时刻变更这样的程序进行测定。即,也能够当在步骤S5中判定为“是”之后,进行步骤S4,同时使 k 的值返回到1,返回到步骤S3。

[0085] 接下来,振动状态决定部23在步骤S8以及S9中,通过以下操作来求出测定区域的各点的弹性波的振动状态。

[0086] 首先,通过在各点的初始相位时刻校正图像传感器175的各检测元件的测定信号,从而将全部的测定信号校正成同一振动器相位时刻的测定信号。其后,关于图像传感器175的各检测元件,在各振动的相位 ϕ_0 、 ϕ_1 以及 ϕ_2 下,分别求出在使由移相器173实施的相位

的偏移量变化的期间内检测元件的输出成为最大的最大输出相位偏移量 $\delta\phi_0$ 、 $\delta\phi_1$ 、 $\delta\phi_2$ (参照图4的(a)~(c)的曲线图)。进一步地,求出振动的相位不同的最大输出相位偏移量之差($\delta\phi_1-\delta\phi_0$)、($\delta\phi_2-\delta\phi_1$)以及($\delta\phi_0-\delta\phi_2$)。关于这3个最大输出相位偏移量之差,通过振动器12的振动的相位不同的2个数据来表示3组点X与点Y的面外方向的相对位移。基于这3组的相对位移,得到测定区域A的各点的振动的振幅、振动的相位以及振动的中心值这3个参数的值。

[0087] 基于这样得到的各点的振动的振幅的值,制作被检查物体S的图像(步骤S10)。例如,测定点的振幅越大,则使与该测定点对应的像素的亮度越高,从而能够用图像的明暗的差异来表示振动的振幅的差异。

[0088] 针对这样制作的图像,使用已知的图像处理技术来进行处理,从而检测被检查物体S的表面的缺陷D。例如,伴随着图像上的位置的移动,将像素的明暗突变的地方检测为缺陷。此外,该缺陷的检测也可以不通过图像处理来进行,而由检查者目视观察图像来进行(步骤S11)。或者,也可以不制作图像,例如通过检测不连续点等来检测该测定区域内的缺陷。如果该步骤S11的处理结束,则本实施例的缺陷检查装置10的动作以及缺陷检查方法的全部工序结束。

[0089] 本发明不限于上述实施例。

[0090] 在上述例子中设为 $m_{\max}=3$,但能够构成为将 m_{\max} 设为由 $[2n+1]$ (n 是2以上的自然数)表示的数以上,由此检测直到对被检查物体S激发出的弹性波的 n 次的分量为止。即,得到 $(2n+1)$ 组以上的点X与点Y的面外方向的相对位移,所以,得到基波的振幅、基波的相位、第2次高次谐波的振幅、第2次高次谐波的相位、...第 n 次高次谐波的振幅、第 n 次高次谐波的相位以及弹性波的DC分量这样的 $(2n+1)$ 个参数的值。

[0091] 另外,在上述实施例中,用缆线连接信号发生器11与振动器12以及信号发生器11与偏转部15,但也可以以无线方式连接它们。特别是,信号发生器11与振动器12优选以无线方式连接。通过以无线方式连接信号发生器11与振动器12,从而在使振动器12接触到被检查物体S的基础上,即使振动器12以外的缺陷检查装置10的构成要素配置于远离被检查物体S的位置,也不需要准备长的缆线。使用这样的无线的构成例如在检查桥梁等基础设施构造物那样的大规模的被检查物体S的情况下是有益的。

[0092] 在上述实施例中,使用接触到被检查物体S的表面地使用的振动器12,但作为替代,也可以将放置于不接触到被检查物体S的表面的位置的强有力的扬声器等用作振动器。

[0093] 另外,在上述实施方式中的来自被检查物体S的反射光入射到图像传感器为止的光路上,出于保护光学零件、提高装置的SN比等的目的,也可以配置窗口、各种光学滤光片。各种光学滤光片例如是指偏振片、波片、带通滤光片、短波通滤光片、长波通滤光片等。

[0094] 进一步地,在上述实施方式中,聚光透镜174配置于分束器171与图像传感器175之间,但不限于该配置。另外,聚光透镜174也可以由多个透镜或者多个透镜组构成。例如,能够由第1透镜组和第2透镜组构成聚光透镜174,将第1透镜组配置于被检查物体S与分束器171之间,将第2透镜组配置于分束器171与图像传感器175之间。此时,在做成无需分散斑/剪切干涉仪17的框体就能够装卸第1透镜组的构成的基础上,将第1透镜组更换为焦距不同的其他透镜组,从而能够简便地变更视场角。由此,例如根据被检查物体S与分散斑/剪切干涉仪17之间的距离而调整视场角,设定适当的测定区域的大小,从而能够针对处于各种

位置的被检查物体而实现缺陷的检查。能够用于第1透镜组的透镜例如是望远透镜、广角透镜、微距镜头、变焦透镜等。

[0095] 此外,在上述实施例中,做成仅使用1组光源部(激光源13、反射镜14、偏转部15以及照明光透镜16)来扫描测定区域A的构成,但也能够采用具备2组以上的光源部的构成。例如,如图5所示,能够采用使用2组光源部(由激光源13a、反射镜14a、偏转部15a以及照明光透镜16a构成的一组以及由激光源13b、反射镜14b、偏转部15b以及照明光透镜16b构成的一组)的构成。在该情况下,如图6所示,能够用2个激光扫描测定区域A,将测定所需的时间缩短成一半。

[0096] 进一步地,在上述实施例中,做成使用散斑/剪切法来取得干涉图像的构成,但也能够使用如下参照光法来取得干涉图像,即:将激光分成2份,仅将其中一方照射到被检查物体S而取得反射光,并将其引导到与不照射到被检查物体S的光相同的面而发生干涉。

[0097] 图7中示出使用参照光法的振动测定装置的概略构成。针对与图2共同的构成要素,在后2位或者3位附加相同的符号,省略说明。

[0098] 在该振动测定装置中,用分束器118将通过了偏转部115以及照明光透镜116的光分割成两份,将其中一方的光照射到被检查物体S。照射到被检查物体S的照射区域P并反射了的光由分束器118反射而入射到图像传感器1175。通过照明光透镜116并由分束器118反射了的另一方的光由可动反射镜119反射,通过分束器118而入射到图像传感器1175。来自被检查物体S的照射区域P内的点Z的反射光与未照射到被检查物体S的、来自可动反射镜119上的点Z'的反射光的干涉光通过聚光透镜174而入射到图像传感器1175的检测面的1点。通过这样,在图像传感器1175的检测面上形成照射区域P的干涉图像。此外,用激光扫描被检查物体S的测定区域A的程序与上述实施例相同,另外,使用可动反射镜119来使相位偏移量变化的程序是以往已知的,所以,省略它们的说明。

[0099] 在上述各实施例中,如图8的中部所示,将激光的扫描频率 f_s 设为与从振动器12赋予、在被检查物体S中传播的机械振动的振动频率 f_v 相同($f_v = f_s$),但不一定需要使它们一致。例如,如图8的下部所示,也可以将激光的扫描频率 f_s 设为振动频率 f_v 的一半,也就是说,使得在用激光一次扫描测定区域A的期间内,机械振动推进2个周期。当在偏转部15的构成上、激光的扫描频率 f_s 存在上限而难以使其与机械振动的频率 f_v 一致的情况下,能够采用该构成。此时,测定区域A内的各点的激光的点亮时间宽度 T_l 和振动周期 T_v 用下式表示。

[0100] 【式1】

$$[0101] \quad \frac{T_l}{T_v} = \frac{W_l \cdot f_v}{W_m \cdot f_s} \quad \dots(1)$$

[0102] 在式(1)中, W_m 是测定区域的扫描方向的长度, W_l 是照明区域的向扫描方向的长度, f_v 是振动频率、 f_s 是扫描频率。

[0103] 在上述实施例中,将激光的照射面积P设为测定区域A的八分之一,将在测定区域A的各点照射激光的时间设为振动周期的八分之一,但向各点的照射时间是振动周期的三分之一以下即可。照射时间越短,则干涉图像的清晰度越提高,另一方面,照明光的光量越低,所以,兼顾这些来适当地确定即可,优选设为八分之一~五十分之一左右。另外,在上述实施例中,利用线状的照射区域一维地扫描测定区域,但也可以如图9所示那样二维地扫描照射区域 P_c 。

- [0104] 符号说明
- [0105] 10、10a、110…缺陷检查装置
- [0106] 11、111…信号发生器
- [0107] 12、112…振动器
- [0108] 13、13a、13b、113…激光源
- [0109] 14、14a、14b、114…反射镜
- [0110] 15、15a、15b、115…偏转部
- [0111] 16、16a、16b…照明光透镜
- [0112] 17…散斑/剪切干涉仪
- [0113] 171…分束器
- [0114] 1721…第1反射镜
- [0115] 1722…第2反射镜
- [0116] 173…移相器
- [0117] 174…聚光透镜
- [0118] 175、1175…图像传感器
- [0119] 118…分束器
- [0120] 119…可动反射镜
- [0121] 20…控制/处理部
- [0122] 21…存储部
- [0123] 22…测定控制部
- [0124] 23…振动状态决定部
- [0125] 30…输入部
- [0126] 40…显示部
- [0127] D…缺陷
- [0128] S…被检查物体。

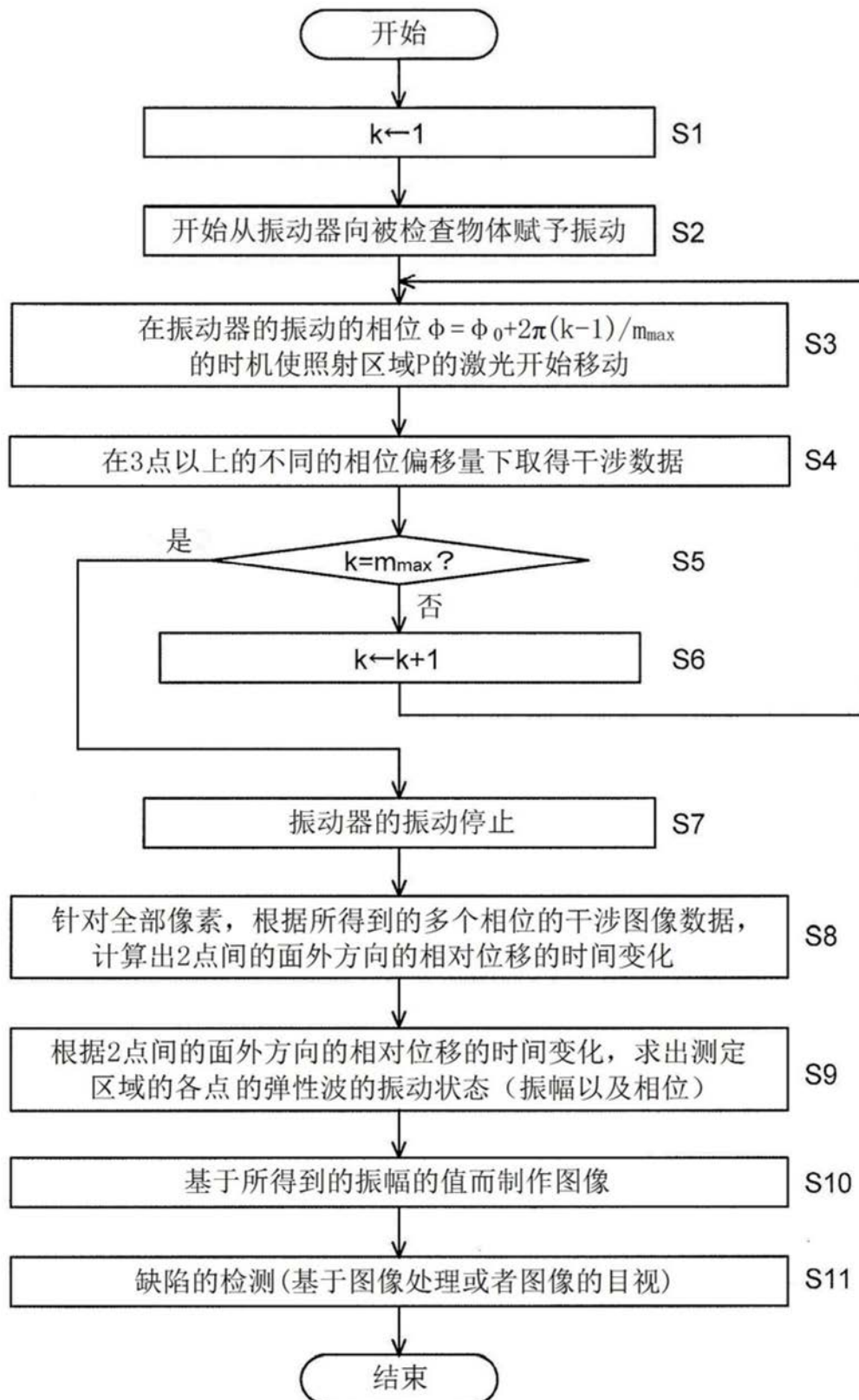


图3

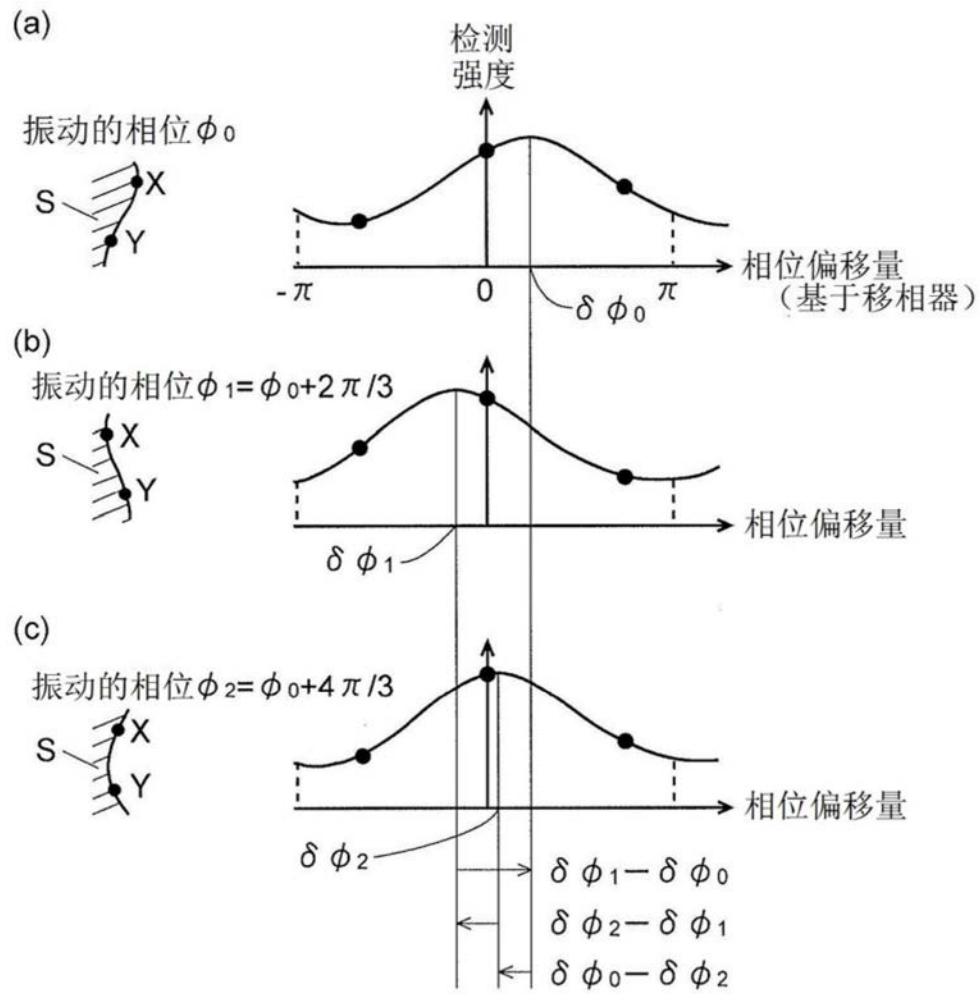


图4

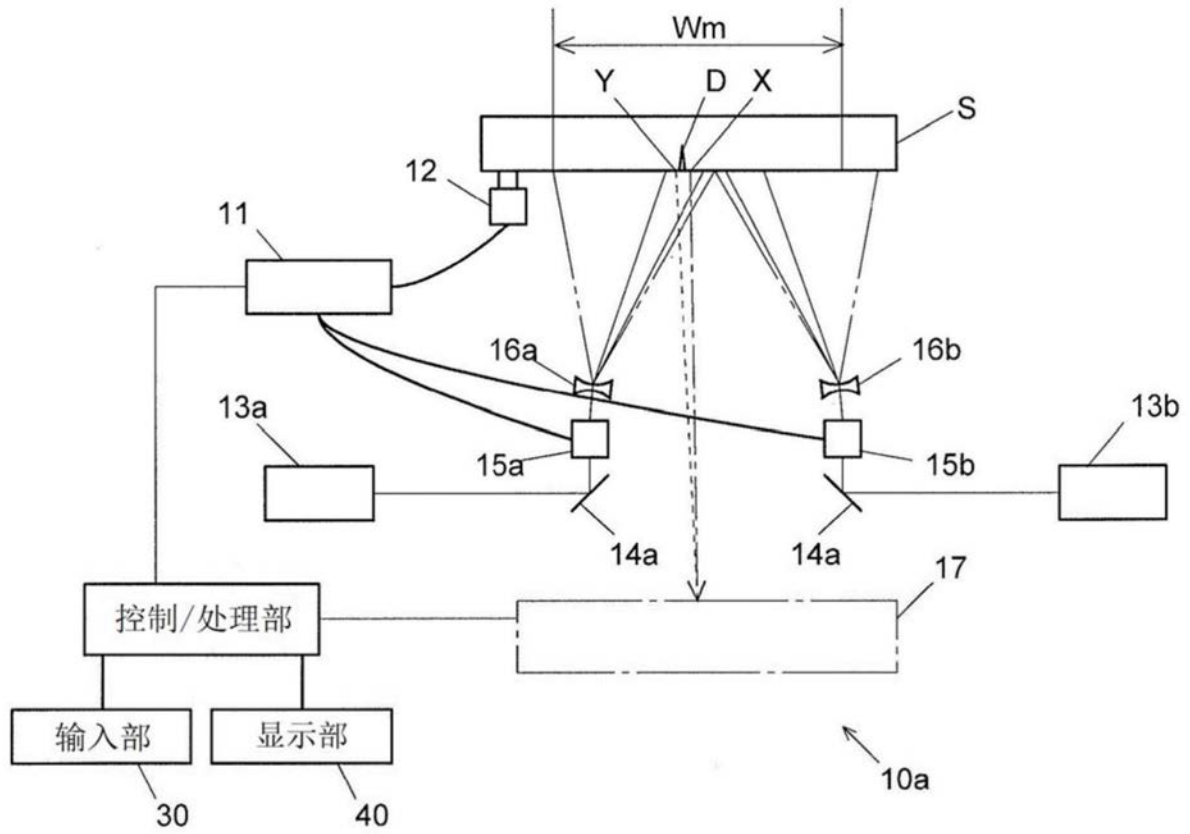


图5

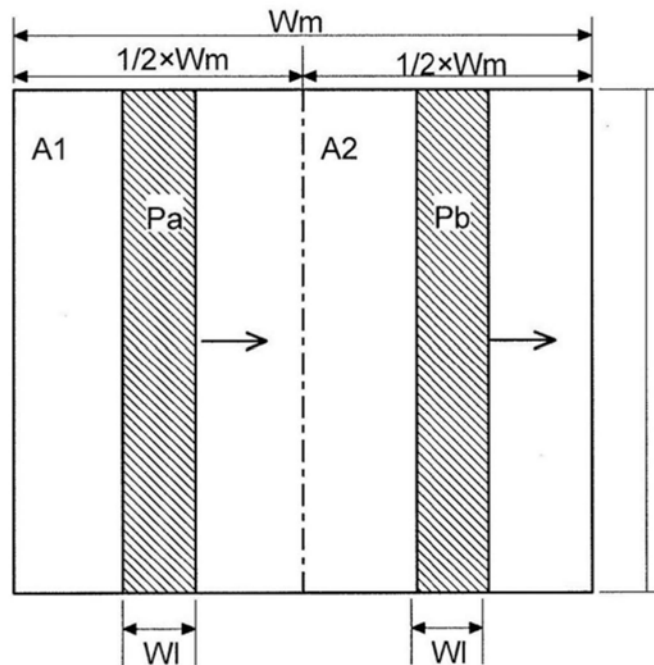


图6

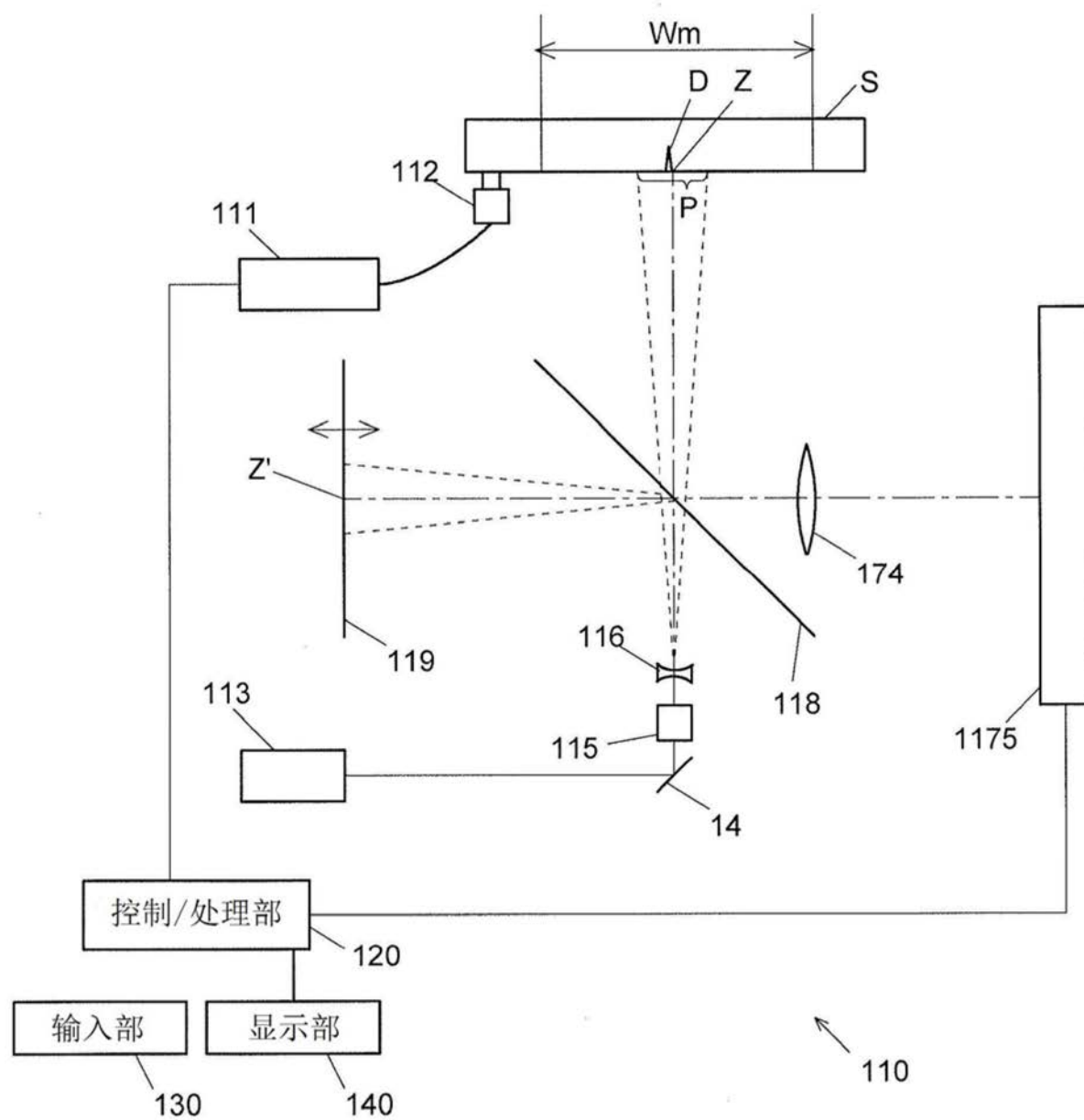


图7

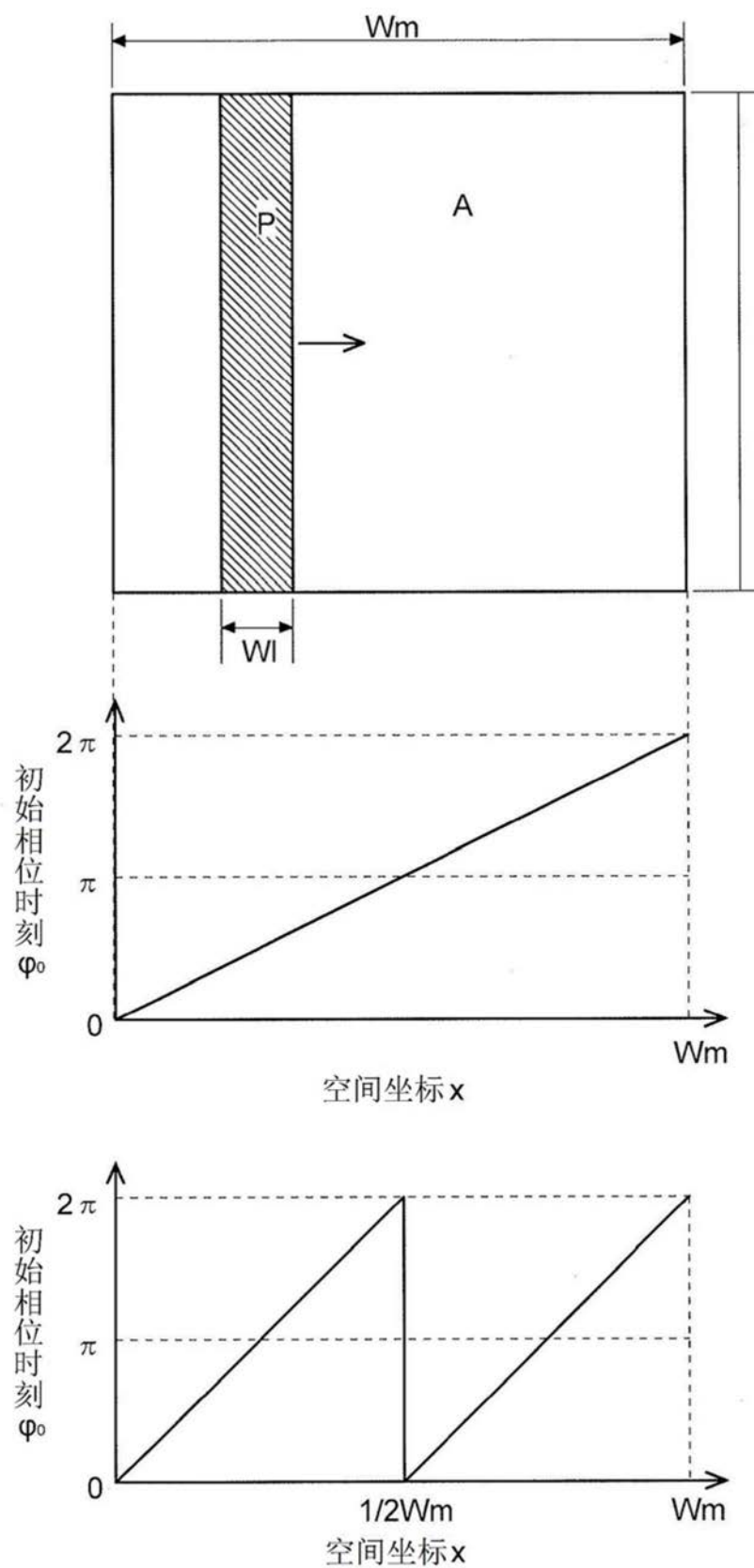


图8

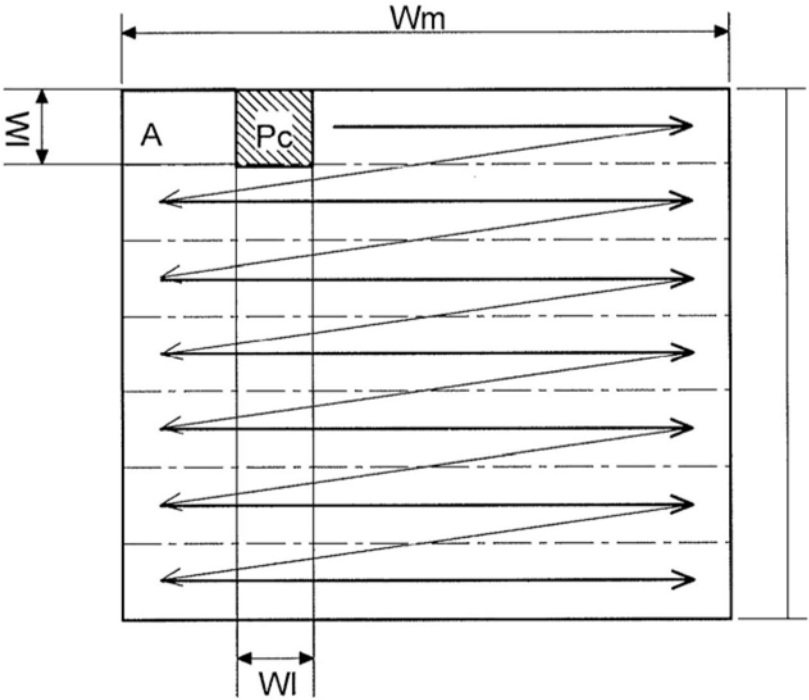


图9