



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110243729 B

(45) 授权公告日 2022.07.15

(21) 申请号 201910173746.5

(51) Int.CI.

(22) 申请日 2019.03.07

G01N 15/02 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

审查员 赵婉怡

申请公布号 CN 110243729 A

(43) 申请公布日 2019.09.17

(30) 优先权数据

2018-043571 2018.03.09 JP

(73) 专利权人 理音株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 松田朋信 进村正树 齐藤光秋

山川雄生

(74) 专利代理机构 北京信慧永光知识产权代理

有限责任公司 11290

专利代理人 崔迎宾 李雪春

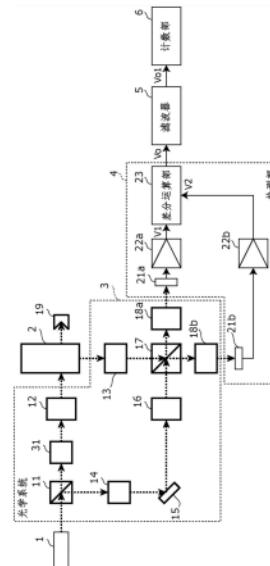
权利要求书1页 说明书10页 附图10页

(54) 发明名称

粒子计数器

(57) 摘要

本发明提供一种粒子计数器，具备：检测部，利用受光元件接收散射光与参照光的干涉光，生成与所述干涉光对应的检测信号，并利用放大器进行放大；计数部，基于用于测定粒子的测定期间的检测信号，进行所述粒子的计数；以及光路长度可变部，使第一光路与第二光路中的至少一方的光路长度以规定速度变化，基于所述流体的流速将所述规定速度设定为，通过使所述光路长度变化，减慢所述散射光与所述参照光的相位差的变化，降低所述检测信号的频率。



1. 一种粒子计数器,其特征在于,
所述粒子计数器具备:
光源,射出光;
光重叠部,将两束光在空间上重叠;
照射光学系统,利用通过对来自所述光源的光进行分支而得到的多束光中的第一光照射在流道内流动的流体,由此形成检测区域;
检测光学系统,使来自所述检测区域内的所述流体所含的粒子的散射光中与所述照射光学系统的光轴不同的方向的散射光向所述光重叠部入射;
参照光学系统,使所述多束光中的第二光作为参照光向所述光重叠部入射;
检测部,利用受光元件接收由所述光重叠部得到的所述散射光与所述参照光的干涉光,生成与所述干涉光对应的检测信号,并利用放大器进行放大;
计数部,基于用于测定所述粒子的测定期间内的所述检测信号,进行所述粒子的计数;
以及
光路长度可变部,在用于测定所述粒子的所述测定期间内,使所述第一光和所述散射光的光路即第一光路、与所述第二光的光路即第二光路中的至少一方的光路长度以规定速度变化,
基于所述流体的流速将所述规定速度设定为,通过使所述光路长度变化,减慢所述散射光与所述参照光的相位差的变化,使得所述检测信号的频率低于所述受光元件的响应频率的上限值、以及所述放大器的频率特性中得到规定放大率的频率的上限值中的较低一方的频率。
2. 根据权利要求1所述的粒子计数器,其特征在于,
所述光路长度可变部具备:
固定反射面,配置于所述第一光路或所述第二光路;以及
滑块,配置有可动反射面,在所述测定期间内使所述可动反射面移动以使所述光路长度以所述规定速度变化。
3. 根据权利要求2所述的粒子计数器,其特征在于,
所述滑块通过在所述测定期间内使所述可动反射面从基准位置移动、以及在非测定期间内使所述可动反射面返回到所述基准位置,使所述可动反射面往复运动,
所述计数部在所述测定期间内进行所述粒子的计数,在所述非测定期间内不进行所述粒子的计数。

粒子计数器

[0001] 本申请以2018年03月09日向日本专利局提交的日本专利申请2018-043571为基础,享受该申请的优先权。本申请通过参照该申请而包含该申请的全部内容。

技术领域

[0002] 本发明涉及粒子计数器。

背景技术

[0003] 作为用于测定药液和水等液体或者空气等气体亦即流体中的粒子的装置,存在粒子计数器。在某一粒子计数器中,将来自光源的光分离为照射光以及参照光,将照射光照射到包含粒子的流体上。然后,使因照射光而产生的粒子的散射光与参照光干涉,基于该干涉光按照每个粒径对粒子进行计数(例如参照日本专利公报特许第5859154号)。

发明内容

[0004] 粒子计数器具备:光源,射出光;光重叠部,将两束光在空间上重叠;照射光学系统,利用通过对来自所述光源的光进行分支而得到的多束光中的第一光照射在流道内流动的流体,由此形成检测区域;检测光学系统,使来自所述检测区域内的所述流体所含的粒子的散射光中与所述照射光学系统的光轴不同的方向的散射光向所述光重叠部入射;参照光学系统,使所述多束光中的第二光作为参照光向所述光重叠部入射;检测部,利用受光元件接收由所述光重叠部得到的所述散射光与所述参照光的干涉光,生成与所述干涉光对应的检测信号,并利用放大器进行放大;计数部,基于用于测定所述粒子的测定期间内的所述检测信号,进行所述粒子的计数;以及光路长度可变部,在用于测定所述粒子的所述测定期间内,使所述第一光和所述散射光的光路即第一光路、与所述第二光的光路即第二光路中的至少一方的光路长度以规定速度变化,基于所述流体的流速将所述规定速度设定为,通过使所述光路长度变化,减慢所述散射光与所述参照光的相位差的变化,使得所述检测信号的频率低于所述受光元件的响应频率的上限值、以及所述放大器的频率特性中得到规定放大率的频率的上限值中的较低一方的频率。

附图说明

- [0005] 图1是表示本发明的实施方式1的粒子计数器的结构的框图。
- [0006] 图2是表示图1中的流动池的一例的立体图。
- [0007] 图3是用于说明图1中的流动池、检测光学系统以及分光镜的配置的图。
- [0008] 图4是用于说明图1中的分光镜中的光的重叠的图。
- [0009] 图5是表示图1中的光路长度可变部的一例的图。
- [0010] 图6是用于说明图5中的滑块的动作速度的图。
- [0011] 图7是说明由图1中的检测部得到的检测信号的时序图。
- [0012] 图8是用于说明因光路长度变化而引起的检测信号的频率变化的图。

[0013] 图9是表示实施方式2的粒子计数器中的光路长度可变部的一例的图。

[0014] 图10是表示实施方式3的粒子计数器中的光路长度可变部的一例的图。

具体实施方式

[0015] 在下面的详细说明中,出于说明的目的,为了提供对所发明的实施方式的彻底的理解,提出了许多具体的细节。然而,显然可以在没有这些具体细节的前提下实施一个或更多的实施方式。在其它的情况下,为了简化制图,示意性地示出了公知的结构和装置。

[0016] 在基于干涉光对粒子进行计数的情况下,通过光电二极管等的半导体受光元件接收干涉光。通过光电转换,生成与干涉光对应的检测信号。检测信号由半导体受光元件的后段的放大器放大。然后,基于放大后的检测信号对粒子进行计数。

[0017] 另一方面,因来自粒子的散射光与参照光而产生的干涉光的强度变化(即,为干涉光的明暗,与检测信号的频率对应)依赖于粒子的移动速度(即,试样流体的流速)。例如,为了在更短的时间内测定规定量的试样流体,试样流体的流速加快,因此检测信号的频率也提高。

[0018] 因而,在试样流体的流速快、检测信号的频率高的情况下,由于半导体受光元件和/或放大器的频率特性,检测信号的振幅电平降低。因此,存在无法准确地对粒子进行计数的可能性。

[0019] 本发明的一个目的在于提供粒子计数器,即使试样流体的流速比较快,也能够进行准确的粒子计数。

[0020] 本发明的一个方式的粒子计数器,具备:光源,射出光;光重叠部,将两束光在空间上重叠;照射光学系统,利用通过对来自所述光源的光进行分支而得到的多束光中的第一光照射在流道内流动的流体,由此形成检测区域;检测光学系统,使来自所述检测区域内的所述流体所含的粒子的散射光中与所述照射光学系统的光轴不同的方向的散射光向所述光重叠部入射;参照光学系统,使所述多束光中的第二光作为参照光向所述光重叠部入射;检测部,利用受光元件接收由所述光重叠部得到的所述散射光与所述参照光的干涉光,生成与所述干涉光对应的检测信号,并利用放大器进行放大;计数部,基于用于测定所述粒子的测定期间内的所述检测信号,进行所述粒子的计数;以及光路长度可变部,使所述第一光和所述散射光的光路即第一光路、与所述第二光的光路即第二光路中的至少一方的光路长度以规定速度变化,基于所述流体的流速将所述规定速度设定为,通过使所述光路长度变化,减慢所述散射光与所述参照光的相位差的变化,降低所述检测信号的频率。

[0021] 本发明的上述方式的粒子计数器,即使试样流体的流速比较快,也能够进行准确的粒子计数。

[0022] 以下,基于附图对本发明的实施方式进行说明。

[0023] 实施方式1.

[0024] 图1是表示本发明的实施方式1的粒子计数器的结构的框图。图1所示的粒子计数器具备光源1、流动池2、光学系统3、检测部4、滤波器5以及计数部6。

[0025] 光源1是射出规定波长的光(此处为激光)的光源。在本实施方式中,光源1以纵向单模射出高相干的光。例如,作为光源1,使用波长532nm且输出500mW左右的激光源。

[0026] 流动池2形成包含计数对象的粒子的流体的流道。另外,在本实施方式中,包含计

数对象的粒子的流体是液体。

[0027] 图2是图1中的流动池2的一例的立体图。如图2所示,流动池2弯曲成L形。流动池2是形成弯曲的流道2a的透明管状的构件。另外,在包含计数对象的粒子的流体为强酸性或强碱性等的药液的情况下,流动池2例如为蓝宝石制。

[0028] 在流动池2中,利用通过对来自所述光源的光进行分支而得到的光中的一束光照射在流道2a内流动的流体,由此形成检测区域。

[0029] 光学系统3具备分光镜11、照射光学系统12、检测光学系统13、衰减器14、反射镜15、扩束镜16、分光镜17、聚光部18a和18b以及光路长度可变部31。

[0030] 分光镜11将来自光源1的光分支为两束光(第一光和第二光)。第一光作为测定光向照射光学系统12入射。此外,第二光作为参照光向衰减器14入射。例如,分光镜11以规定的不均等的比例(例如90:10)将来自光源1的光分支。测定光的强度大于参照光的强度。

[0031] 照射光学系统12从与流动池2的流道2a中的流体的行进方向(图2中的X方向)不同的方向(此处是垂直方向、即图2中的Z方向),通过测定光照射在流道2a内流动的流体。另外,照射光学系统12使用例如日本专利公开公报特开2003-270120号所记载的透镜组,对激光进行整形以使能量密度提高。

[0032] 检测光学系统13使通过上述测定光的照射而产生的来自流道2a内的粒子的散射光向分光镜17的规定的入射面入射。例如,检测光学系统13使用聚光透镜,或者具有用于遮蔽背景光的针孔以及分别配置于该针孔的前后的聚光透镜的光学系统。

[0033] 在本实施方式中,测定光从与检测光学系统13的光轴不同的方向向流道2a入射。因此,侧向散射的散射光通过检测光学系统13向分光镜17入射。

[0034] 图3是说明图1中的流动池2、检测光学系统13以及分光镜17的配置的图。具体而言,如图3所示,检测光学系统13使流道2a内的粒子和流体所发出的散射光中的沿着检测区域中的流体(即,粒子)的行进方向发出的散射光向分光镜17入射。

[0035] 在本实施方式中,如图3所示,流体(即,粒子)的行进方向与检测光学系统13的光轴为相同方向。从检测区域的中心到规定的立体角内的散射光向分光镜17入射。

[0036] 另一方面,由分光镜11分支后的参照光向衰减器14入射。

[0037] 衰减器14使光的强度以规定的比例衰减。衰减器14例如使用ND(Neutral Density,中性密度)滤光片。反射镜15反射从衰减器14射出的参照光,并使其向扩束镜16入射。例如,通过分光镜11以及衰减器14,将参照光的强度设为从光源1射出的光的强度的万分之一左右。另外,根据计数对象的粒子的粒径以及散射光强度等设定向分光镜17入射的参照光的强度。将衰减器14的衰减率等设定为实现该参照光的强度。

[0038] 扩束镜16将参照光的光束直径扩大到规定的直径。扩束镜16使光束直径扩大后的参照光作为大致平行光向分光镜17的规定的入射面(与散射光的入射面不同的入射面)入射。

[0039] 在本实施方式中,检测光学系统13、反射镜15以及扩束镜16被设定为,在分光镜17中,粒子的散射光的波面形状与参照光的波面形状大致一致。在本实施方式中,检测光学系统13以及扩束镜16将散射光以及参照光分别以大致平行光射出。另外,散射光以及参照光的波面形状可以是曲面。

[0040] 此外,检测光学系统13、反射镜15以及扩束镜16被设定为,在分光镜17中偏振角一

致。

[0041] 这样,在本实施方式中,为了进一步提高干涉的程度,在参照光的光路中设置对参照光的强度、偏振角以及波面形状进行控制的衰减器14、反射镜15以及扩束镜16等。

[0042] 分光镜17使入射的散射光与入射的参照光在空间上重叠,以相互增强或相互减弱的方式进行干涉。在本实施方式中,分光镜17与分光镜11分开设置。在分光镜17中,根据与检测区域中的粒子的移动相伴的光路长度的变化,散射光与参照光的相位差变化。进而,如后所述,干涉光的强度根据透射分光镜17自身或其反射的光而变化。此外,在与检测区域中的流体(即,粒子)的行进方向上的速度相应的散射光与参照光的相位差的变化的周期(即频率)内,干涉光的强度变化。另外,在未入射因粒子而产生的散射光的期间内,因流体而产生的散射光的透射分量与参照光的反射分量干涉并从分光镜17射出,且因流体而产生的散射光的反射分量与参照光的透射分量干涉并从分光镜17射出。在该情况下,由于流体的分子极小且极多,所以这些散射光是随机的,这些干涉光的强度变化比因粒子而产生的变化小。

[0043] 聚光部18a将从分光镜17的一个射出面射出的光聚光并向受光元件21a入射。聚光部18b将从分光镜17的另一射出面射出的光聚光并向受光元件21b入射。聚光部18a、18b例如使用聚光透镜。

[0044] 图4是用于说明图1中的分光镜17中的光的重叠的图。如图4所示,在分光镜17中,以使散射光S的反射分量S1的光轴与参照光R的透射分量R2的光轴一致、并且散射光S的透射分量S2的光轴与参照光R的反射分量R1的光轴一致的方式,入射散射光S以及参照光R。因而,从分光镜17射出由散射光S的反射分量S1与参照光R的透射分量R2形成的第一干涉光、以及由散射光S的透射分量S2与参照光R的反射分量R1形成的第二干涉光。该第一干涉光和第二干涉光分别经由聚光部18a、18b向检测部4的受光元件21a、21b入射。

[0045] 另外,散射光S以及参照光R分别以大致45度相对于分光镜17的光分支面入射。透射分量S2、R2分别具有与散射光S以及参照光R相同的相位。反射分量S1、R1的相位相对于散射光S以及参照光R分别延迟90度。因此,如后所述,第一干涉光的强度变化与第二干涉光的强度变化相互反相。

[0046] 此外,分光镜17中的透射分量与反射分量的比例优选为50:50。另外,该比例也可以是60:40等的不均等的比例。在分光镜17中的透射分量与反射分量的比例不均等的情况下,根据该比例设定放大器22a、22b的增益,以使电信号V1中的参照光的透射分量与电信号V2中的参照光的反射分量相同。

[0047] 另外,光束收集器19吸收通过流动池2后的光。由此,能够抑制通过流动池2后的光的漫反射以及泄漏等对光学系统3造成的影响。

[0048] 光路长度可变部31在后述的测定期间内,使测定光和散射光的光路(第一光路)的第一光路长度、以及参照光的光路(第二光路)的第二光路长度中的至少一方以后述的规定速度变化。在实施方式1中,光路长度可变部31在测定期间内使第一光路长度以规定速度变化。例如,在不通过光路长度可变部31使第一光路长度变化的情况下,在成为光重叠部的分光镜17中,伴随着粒子的移动而产生粒子的散射光的相位与参照光的相位的相位差。此外,粒子的移动速度与相位的变化速度(即,干涉光的强度的变化速度)成比例。此处,在粒子朝向分光镜17前进的情况下,当通过光路长度可变部31以比粒子的移动速度慢的速度使第一

光路长度变化而变长时,能够减慢粒子的散射光的相位与参照光的相位的相位差的变化速度。或者,当通过光路长度可变部31以比粒子的移动速度慢的速度使第二光路长度变化而变短时,能够减慢粒子的散射光的相位与参照光的相位的相位差的变化速度。

[0049] 具体而言,在如图3所示那样在与流体(即,粒子)的行进方向相同的方向上接收散射光的情况下,光路长度可变部31使第一光路长度以规定速度增加。另一方面,在与流体(即,粒子)的行进方向相反的方向上接收散射光的情况下,光路长度可变部31使第一光路长度以规定速度减少。另外,在使第二光路长度以规定速度变化的情况下,与上述相反地使第二光路长度增加或减少,由此能够得到同样的效果。

[0050] 图5表示图1中的光路长度可变部31的一例。如图5所示,光路长度可变部31具备配置于第一光路的两个固定反射面41、42、以及具有两个可动反射面43、44的滑块45。

[0051] 在本实施方式1中,固定反射面41、42以及可动反射面43、44分别由平板状的反射镜构件形成。固定反射面41、42以及可动反射面43、44配置成测定光相对于各反射面的入射角为45度。并且,利用各个反射面41、42、43、44的反射,第一光路长度变化。具体而言,如后所述,滑块45在测定期间内使两个可动反射面43、44移动,以使第一光路长度以规定速度变化。

[0052] 图6是用于说明图5中的滑块45的动作速度Vs的图。如图6所示,具体而言,滑块45从基准位置开始可动反射面43、44的移动(时刻To)。滑块45在测定期间内使可动反射面43、44以规定速度+V移动。当测定期间结束时(时刻Te),滑块45在非测定期间内使可动反射面43、44以比规定速度+V快的速度朝相反方向移动,返回到基准位置。这样,滑块45使可动反射面43、44往复运动。

[0053] 此外,检测部4利用受光元件21a、21b分别接收来自分光镜17的干涉光。检测部4生成与这些干涉光的差分对应的检测信号Vo。在本实施方式中,如图1所示,检测部4具备受光元件21a、21b、放大器22a、22b以及差分运算部23。

[0054] 受光元件21a、21b是光电二极管和光电晶体管等的半导体受光元件,分别输出与入射光对应的电信号。放大器22a、22b将从受光元件21a、21b输出的电信号以规定的增益放大。此处,放大器22a、22b是互阻放大器。放大器22a、22b生成与受光元件21a、21b的输出电流对应的输出电压。

[0055] 差分运算部23对由受光元件21a得到的与第一干涉光对应的电信号V1、与由受光元件21b得到的与第二干涉光对应的电信号V2的差分进行运算,并将该差分作为检测信号Vo输出。

[0056] 另外,对放大器22a、22b的增益进行调整,以便在不包含因粒子而产生的散射光分量的状态(因流体而产生的散射光分量以及参照光分量)下,电信号V1的电压与电信号V2的电压相同。取而代之,可以仅设置放大器22a、22b中的一个,对该放大器的增益进行调整以使上述的两者相同。此外,在受光元件21a的电信号的电压与受光元件21b的电信号的电压相同的情况下,也可以不设置放大器22a、22b。

[0057] 图7是说明由图1中的检测部4得到的检测信号的时序图。

[0058] 当某个粒子在从时刻T1到时刻T2的期间通过检测区域时,在该期间内产生因粒子而产生的散射光。并且,与检测区域内的粒子向行进方向的移动相应,从粒子到分光镜17的光分支面的光路长度变化。由此,因粒子而产生的散射光与参照光的相位差变化,干涉光的

强度(振幅)以相互增强或相互减弱的方式变化。

[0059] 因而,如图7所示,电信号V1以没有粒子的状态的电压V1o作为基准,在粒子通过检测区域的期间内,根据干涉的程度相对于基准正负变动。同样地,电信号V2以没有粒子的状态的电压V2o作为基准,在粒子通过检测区域的期间内,根据干涉的程度相对于基准正负变动。但是,该期间的电信号V1、V2的交流分量相互反相。

[0060] 成为从放大器22a、22b输出的电信号V1、V2的基准的电压V1o、V2o彼此相同。因此,如图7所示,由差分运算部23得到的检测信号Vo在粒子通过检测区域的期间内具有交流分量,该交流分量具有比各电信号V1、V2各自的由于干涉而产生的交流分量大(约2倍)的振幅。在所述期间以外,检测信号Vo具有大致为零的电压。

[0061] 另外,在本实施方式中,对沿着检测区域中的流体的行进方向发出的散射光进行检测。由此,粒子通过检测区域时的光路量的变化变大。但是,只要能够检测散射光,就不限定散射光的检测方向。

[0062] 另外,在检测区域的整个区域产生来自流体介质亦即液体的散射光(背景光)。并且,也存在来自不同位置的背景光。但是,该背景光通过差分运算而被抵消。因此,在检测信号Vo中,因背景光的干涉而产生的交流分量小于因来自粒子的散射光的干涉而产生的交流分量。

[0063] 在本实施方式中,计数对象的粒子的粒径小于从光源1射出的光的波长。因此,因瑞利散射而产生的散射光的强度与粒径的6次方成比例。与此相对,该散射光与参照光的干涉光的强度基于光强度I与电场强度E的关系式($I=0.5 \cdot c \cdot \epsilon \cdot E^2$)。即,根据粒径与干涉光的强度Ii的关系式($I_i \propto E_r \cdot E_{D0} (D1/D0)^3$),散射光与参照光的干涉光的强度与粒径的比的3次方成比例。因此,与直接检测散射光相比,在检测干涉光的情况下,减小粒径时的光的强度的减少较少。此处,D0、D1是粒径,E_r是参照光的电场强度,ED0是来自粒子D0的散射光的电场强度。

[0064] 此外,散射光与参照光的干涉光的强度的、最大值与最低值的差(当散射光与参照光的相位差为0时,与该相位差为180度时的干涉光强度的差=2·c·ε·E_s·E_r·单位面积),与参照光的电场强度E_r和散射光的电场强度E_s之积成比例。因而,通过提高散射光以及参照光的强度,能够得到足够强的干涉光。其结果是,能够得到足够大的振幅的检测信号。根据检测部4、滤波器5和计数部6的动态范围,将参照光的强度设为能够良好处理检测信号的值。

[0065] 例如,在粒径20nm的粒子的散射光强度I_s为 $7.0 \times 10^{-6} \mu\text{W}$ 的情况下,将该散射光强度I_s转换成每单位面积的散射光强度I_{s/a},根据光强度与电场强度的关系式($I_{s/a} = 0.5 \cdot c \cdot \epsilon \cdot E_s^2$)求出散射光的电场强度E_s时,约为 $5.8 \times 10^{-3} \text{ V/m}$ 。另一方面,当将参照光强度I_r设为 $1.2 \mu\text{W}$ 时,参照光的电场强度E_r约为 2.4 V/m 。并且,当散射光与参照光在波面整个区域发生干涉时,上述的干涉光强度的差成为散射光强度的约1600倍亦即约 $1.2 \times 10^{-2} \mu\text{W}$,被放大到与粒径70nm的粒子的散射光强度同等的水平。此处,c为光速(m/s),ε为空气的介电常数(F/m)。

[0066] 滤波器5对由检测部4生成的检测信号Vo进行使与上述的干涉光的强度变化对应的频率分量通过的滤波处理。在本实施方式中,滤波器5是使与干涉光的强度变化对应的频率分量以外的频率分量衰减的带通滤波器。在该带通滤波器中,将通过频带设定为,使得与

流道2a内的流体速度(即,粒子的移动速度)对应的检测信号Vo的频率分量(即,与干涉光的强度变化对应的频率分量)通过,而使与流体的行进速度对应的频率分量以外的频率分量衰减。由此,检测信号Vo中的噪声分量被衰减,检测信号Vo的S/N比进一步变高。另外,根据粒子的移动速度以及测定光的波长(即,光源1的波长)等预先确定通过频带频率。另外,在噪声的频率高于与干涉光的强度变化对应的频率的情况下,也可以使用低通滤波器。在噪声的频率低于与干涉光的强度变化对应的频率的情况下,也可以使用高通滤波器。

[0067] 计数部6基于测定期间内的检测信号Vo进行粒子的计数。在本实施方式中,计数部6基于滤波器5所进行的滤波处理后的检测信号Vo1进行粒子的计数。此外,计数部6对基于滑块45的可动反射面43、44的往复动作进行检测,确定测定期间。

[0068] 此外,例如计数部6当检测到检测信号Vo中的遍及上述期间连续的交流分量(即,与干涉光的强度变化对应的频率分量)时,对该振幅与按每个粒径确定的规定的阈值进行比较。计数部6按每个粒径进行区别,对一个粒子进行计数。

[0069] 在本实施方式1中,如图5所示,在光路长度可变部31中,伴随着滑块45的动作,两个可动反射面43、44移动。由此,两个光路区间51、52的长度变化。此处,将在光路长度可变部31内伴随着滑块45的动作而长度变化的光路区间的数量设为光路区间倍数B。在该情况下,在图5所示的光路长度可变部31中,B=2。即,第一光路长度以基于滑块45的可动反射面43、44的移动速度的2倍速度变化。另外,光路区间倍数B通常设为2以上(例如偶数),但也可以为1。

[0070] 滑块45在测定期间内使可动反射面43、44从基准位置移动。此外,滑块45在非测定期间(测定期间与下一测定期间之间的期间)内使可动反射面43、44返回到该基准位置。这样,滑块45使可动反射面43、44往复运动。

[0071] 此处,基于流动池2内的流体的流速、受光元件21a、21b的频率特性以及放大器22a、22b的频率特性,设定上述的“规定速度”。

[0072] 具体而言,根据流速将“规定速度”设定为,使得干涉光的检测信号的频率低于受光元件21a、21b的响应频率的上限值、以及放大器22a、22b的频率特性(即放大率的频率特性)中得到规定放大率的频率的上限值中的较低一方的频率。

[0073] 例如,设流动池2内的中心流速为Vm、流体的折射率为ri、真空中的光源1的波长为λ、滑块45的动作速度(即,可动反射面43、44的移动速度)为Vs。在该情况下,基于干涉光的检测信号的频率σ如下式所示。

$$\sigma = |Vm \times ri - Vs \times B| / \lambda$$

[0075] 例如,基于流速Vm以及流体折射率ri将滑块45的动作速度Vs以及光路区间倍数B设定为,使得如果放大器22a、22b的频率上限值为120kHz左右,则检测信号的频率σ为120kHz以下。

[0076] 接下来,对实施方式1的粒子计数器的动作进行说明。

[0077] 光源1射出激光。分光镜11将该激光分支为测定光以及参照光。参照光在由衰减器14衰减后,经由反射镜15和扩束镜16,作为大致平行光向分光镜17入射。

[0078] 另一方面,测定光经由光路长度可变部31通过照射光学系统12向流动池2内的检测区域入射。当粒子通过检测区域时,在粒子通过检测区域的期间内,产生来自粒子的散射光。检测光学系统13使沿着流动池2的流道2a内的流体的行进方向射出的散射光作为大致

平行光向分光镜17入射。

[0079] 这样,在粒子通过检测区域的期间内,向分光镜17入射参照光以及来自粒子的散射光。两者的干涉光从分光镜17射出。

[0080] 在粒子通过检测区域的期间内,从分光镜17射出的干涉光分别由受光元件21a、21b接收。与干涉光的强度对应的电信号作为检测信号Vo从检测部4输出。尤其地,在实施方式1中,生成基于相互反相的上述的第一干涉光与第二干涉光的差分的检测信号Vo。因此,得到具有交流分量的检测信号Vo,该交流分量具有电信号V1、V2的约2倍的振幅。

[0081] 并且,在测定期间内,光路长度可变部31的滑块45使测定光的光路长度以一定速度动作变化而变大。由此,与滑块45停止的情况相比,能够减慢粒子的散射光的相位与参照光的相位的相位差的变化的速度。另外,当通过光路长度可变部31使参照光的第二光路长度变化而变短时,与上述相同,能够减慢相位差的变化的速度。图8是用于说明因光路长度变化而引起的检测信号的频率变化的图。当相位差的变化的速度变慢时,干涉光的强度变化变慢,如图8所示,检测信号Vo的频率变低。

[0082] 并且,在各测定期间内,计数部6基于滤波器5所进行的滤波处理后的检测信号Vo1,进行粒子的计数。

[0083] 如以上那样,根据上述实施方式1的粒子计数器,照射光学系统12利用通过对来自光源1的光进行分支而得到的多束光中的一束光,从与流体流动的方向不同的方向照射流道2a内的流体,由此形成检测区域。检测光学系统13使来自检测区域内的流体所含的粒子的散射光中与照射光学系统12的光轴不同的方向的散射光向分光镜17入射。另一方面,扩束镜16使该多束光中的另一束光作为参照光向分光镜17入射。检测部4利用受光元件接收由分光镜17得到的散射光与参照光的干涉光,生成与该干涉光对应的检测信号。计数部6在测定期间内,基于该检测信号(此处,通过滤波器5后的检测信号)进行粒子的计数。并且,光路长度可变部31在测定期间内使第一光路长度和第二光路长度中的至少一方以规定速度变化,以便降低第一光和散射光的光路的第一光路长度与第二光的光路的第二光路长度的光路差的变化速度,并减慢粒子的散射光的相位与参照光的相位的相位差的变化速度。

[0084] 由此,通过光路长度可变部31降低干涉光的强度变化的速度。因此,检测信号的频率降低。因而,即使试样流体的流速比较快,也能够抑制由受光元件和放大器的频率特性引起的检测信号的振幅电平的降低,并能够进行准确的粒子计数。

[0085] 实施方式2。

[0086] 图9表示实施方式2的粒子计数器中的光路长度可变部31的一例。如图9所示,在实施方式2中,光路长度可变部31具备配置于第一光路的4个固定反射面61~64、以及具有4个可动反射面65~68的滑块69。滑块69在测定期间内使4个可动反射面65~68移动,以使第一光路长度以规定速度变化。

[0087] 因而,在图9所示的光路长度可变部31中,由于滑块69的动作而长度变化的光路区间71~74为4个(即,B=4)。因而,与图5所示的光路长度可变部31(B=2)相比,产生以下的(a)~(c)的优点。

[0088] (a) 用于得到第一光路长度的相同的变化速度的滑块69的动作速度+V为滑块45的动作速度+V的一半即可。

[0089] (b) 用于得到相同长度的测定期间的滑块69的移动范围的宽度为滑块45的移动范

围的宽度的一半即可。

[0090] (c) 也能够使试样流体的速度更快。

[0091] 在本实施方式2中,固定反射面61~64以及可动反射面65~68分别由平板状的反射镜构件形成。

[0092] 滑块69在测定期间内使可动反射面65~68从基准位置移动。进而,滑块69在非测定期间内使可动反射面65~68返回到该基准位置。这样,滑块69使可动反射面65~68往复运动。

[0093] 另外,对于实施方式2的粒子计数器的其他结构和动作,与实施方式1相同,因此省略其说明。

[0094] 实施方式3.

[0095] 图10表示实施方式3的粒子计数器中的光路长度可变部31的一例。如图10所示,在实施方式3中,光路长度可变部31具备4个直角棱镜81~84、以及滑块85。直角棱镜81~83具有配置于第一光路的6个固定反射面81a、81b、82a、82b、83a、83b。直角棱镜84具有配置于第一光路的两个可动反射面84a、84b。滑块85在测定期间内使可动反射面84a、84b(即,直角棱镜84)移动,以使第一光路长度以规定速度变化。

[0096] 即,在实施方式3中,测定光在直角棱镜81与直角棱镜84之间一边全反射一边往复多次(在图10中往复三次)。由此,光路区间倍数B变大(在图10中B=6)。

[0097] 固定反射面81a、81b、82a、82b、83a、83b以及可动反射面84a、84b配置成测定光相对于各反射面的入射角为45度。

[0098] 另外,对于实施方式3的粒子计数器的其他结构和动作,与实施方式1相同,因此省略其说明。

[0099] 实施方式4.

[0100] 在实施方式1~3中,光路长度可变部31设置于第一光路。另一方面,在实施方式4中,光路长度可变部31设置于第二光路(即,参照光侧),或者设置于第一光路和第二光路的双方。

[0101] 在光路长度可变部31设置于第二光路的情况下,上述的固定反射面和可动反射面配置于第二光路。如实施方式1~3所示,与光路长度可变部31设置于第一光路的情况相反,光路长度可变部31在测定期间内使第二光路长度减少。

[0102] 此外,在光路长度可变部31设置于第一光路和第二光路的双方的情况下,设置于第一光路的光路长度可变部31在测定期间内使第一光路长度增加。另一方面,设置于第二光路的光路长度可变部31在测定期间内使第二光路长度减少。

[0103] 另外,对于实施方式4的粒子计数器的其他结构和动作,与实施方式1~3的任意一个相同,因此省略其说明。

[0104] 另外,针对上述的实施方式的各种变更和修正,对本领域技术人员而言是显而易见的。可以在不脱离本发明的主旨和范围且不削弱预期效果的情况下进行这样的变更和修正。即,这样的变更和修正旨在包含在权利要求的范围内。

[0105] 例如,在上述实施方式1~4中,在参照光的光路设置有扩束镜16。也可以取而代之或者追加性地在分光镜11的前段设置扩束镜。此外,在上述实施方式1~4中,如图1所示,使用一个反射镜15。也可以取而代之,使用3个反射镜三维地调整光路的方向。此外,在上述实

施方式1～4中,为了使来自粒子的散射光与参照光重叠而使用了分光镜17。也可以取而代之而使用偏光棱镜。

[0106] 此外,在上述实施方式1～4中,优选光源1是以纵向单模射出高相干的激光的光源。此外,优选使用在检测区域的任意位置处都会产生来自粒子的散射光与参照光的干涉那样的能量分布的光源。进而,光源1并不限于射出激光的光源,也可以构成为射出激光以外的例如LED光。光源1只要构成为能够射出参照光侧与粒子散射光侧的光路长度差(即,通过光路长度可变部31使光路长度变化时的光路长度差的最大值)为从光源1射出的光的相干长度以内那样的光即可。

[0107] 此外,在上述实施方式1～4中,滤波器5和计数部6可以是模拟电路,也可以是数字电路。在滤波器5和计数部6为数字电路的情况下,在滤波器5的前段进行针对检测信号Vo的模拟一数字转换。

[0108] 此外,在上述实施方式1～4中,如图1所示,采用光的分支与光的重叠通过不同的分光镜11、17进行的所谓马赫-曾德型的干涉光学系统。也可以取而代之,采用迈克耳孙型或者其他干涉光学系统。

[0109] 此外,在上述实施方式1～4中,如图3所示,从检测区域中的流体的行进方向实施检测。也可以取而代之,从与检测区域中的流体的行进方向相反的方向实施检测。进而,可以使流体的行进方向反向来实施检测。在该情况下,在光路长度可变部中,与上述实施方式1～4的光路长度可变部31的动作相反,设置于第一光路的光路长度可变部31在测定期间内使第一光路长度减少。此外,设置于第二光路的光路长度可变部31在测定期间内使第二光路长度增加。

[0110] 此外,上述实施方式1～4的粒子计数器为液体中粒子计数器。上述实施方式1～4的粒子计数器也可以应用于空气中粒子计数器。

[0111] 本发明的实施方式可以应用于粒子计数器。

[0112] 出于示例和说明的目的已经给出了所述详细的说明。根据上面的教导,许多变形和改变都是可能的。所述的详细说明并非没有遗漏或者旨在限制在这里说明的主题。尽管已经通过文字以特有的结构特征和/或方法过程对所述主题进行了说明,但应当理解的是,权利要求书中所限定的主题不是必须限于所述的具体特征或者具体过程。更确切地说,将所述的具体特征和具体过程作为实施权利要求书的示例进行了说明。

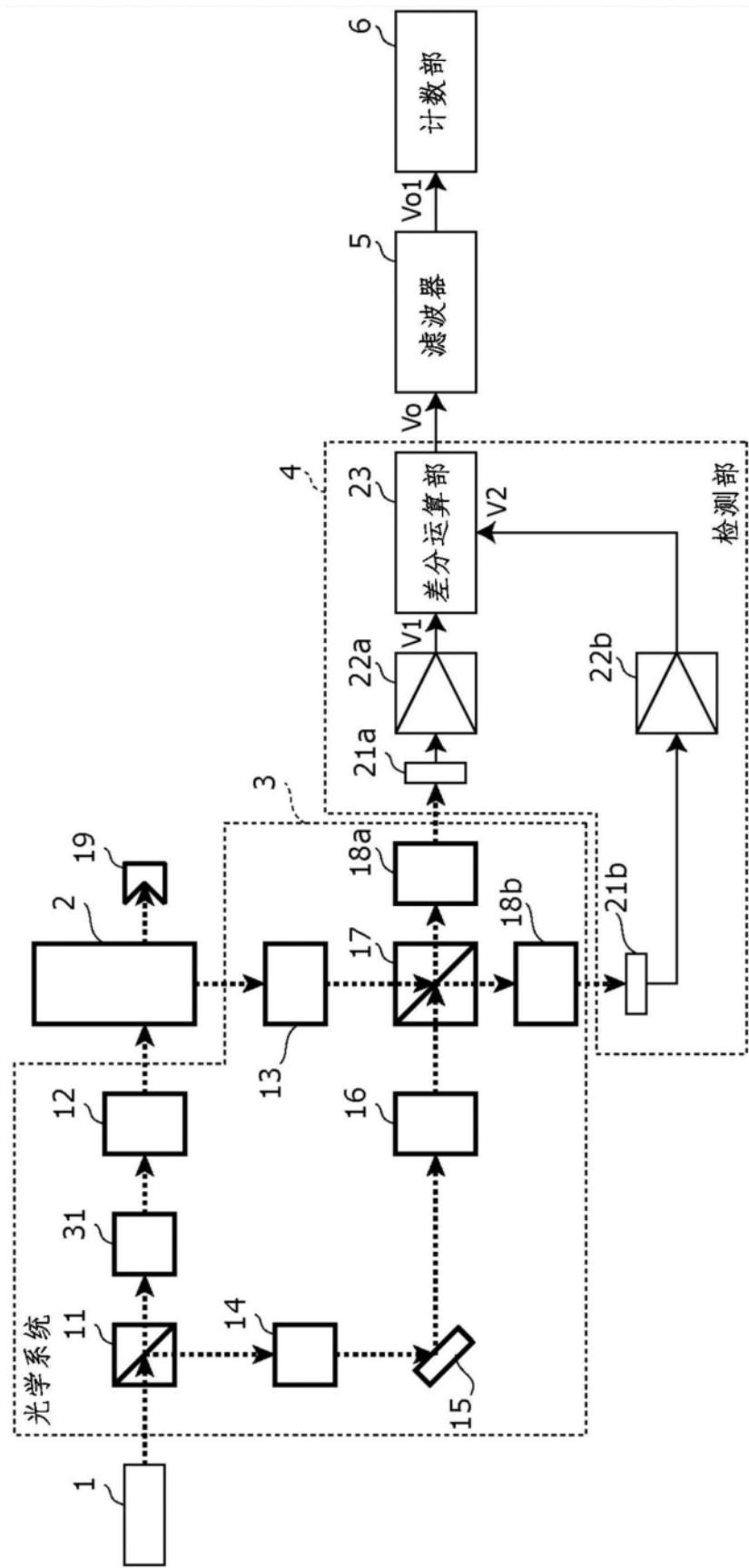


图1

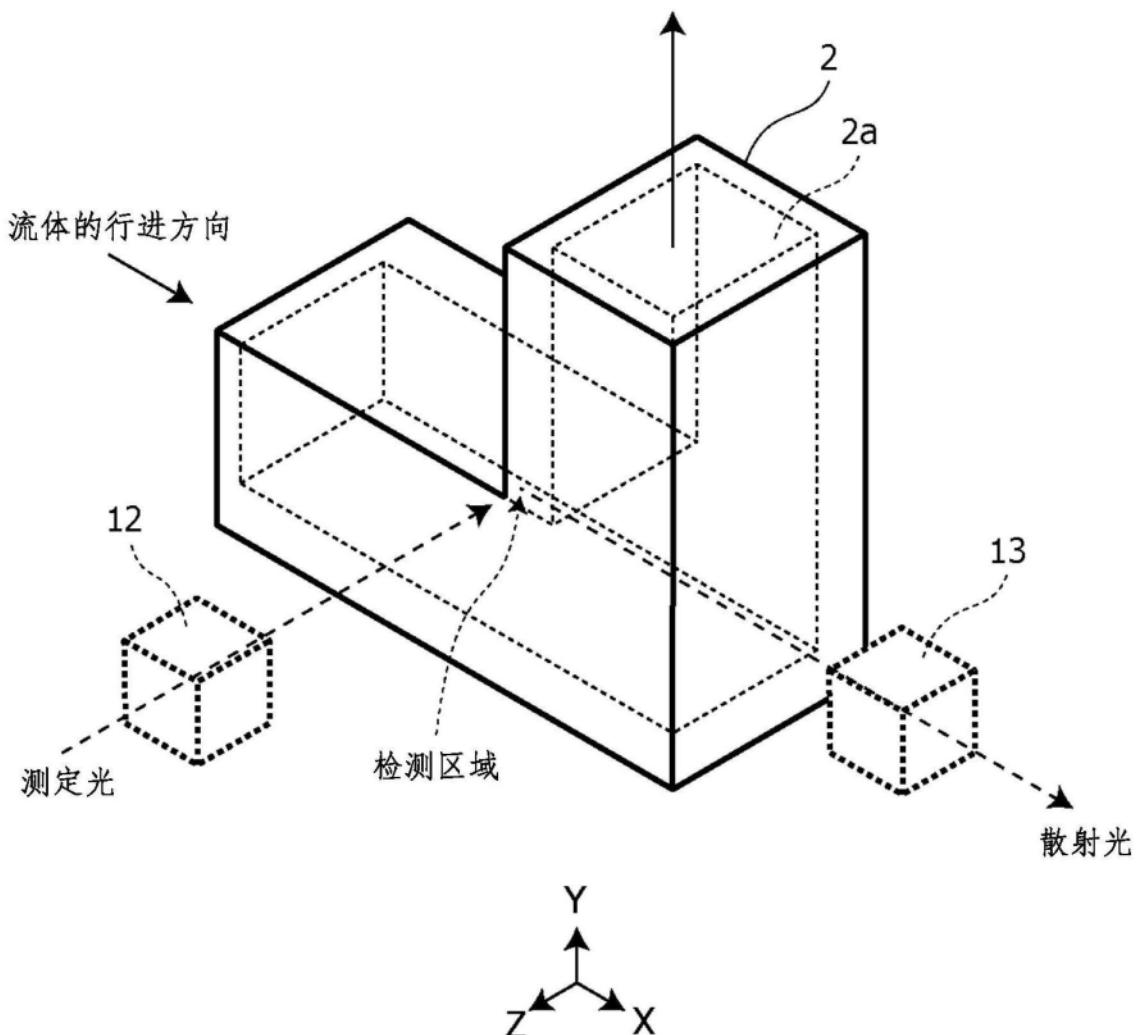


图2

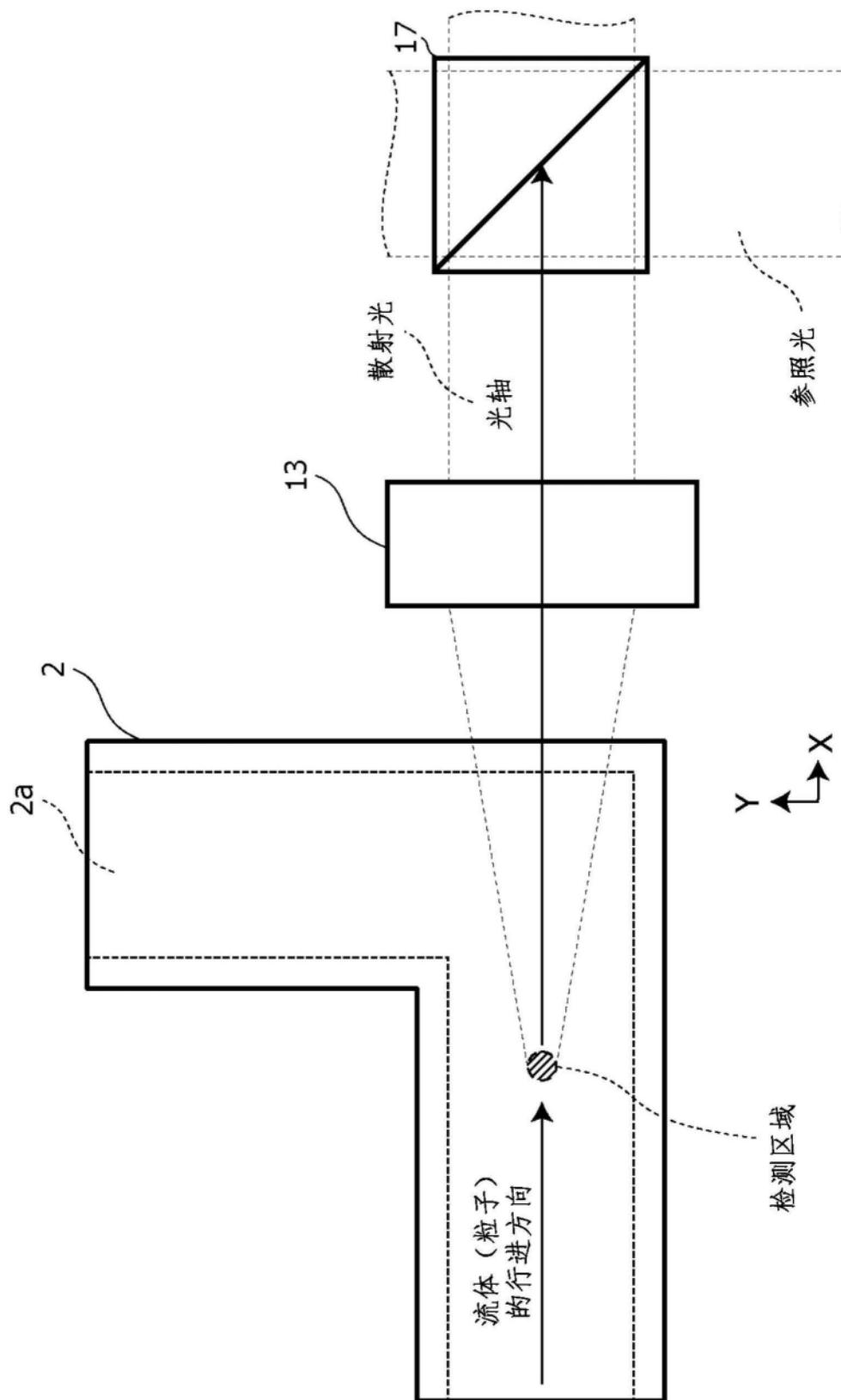


图3

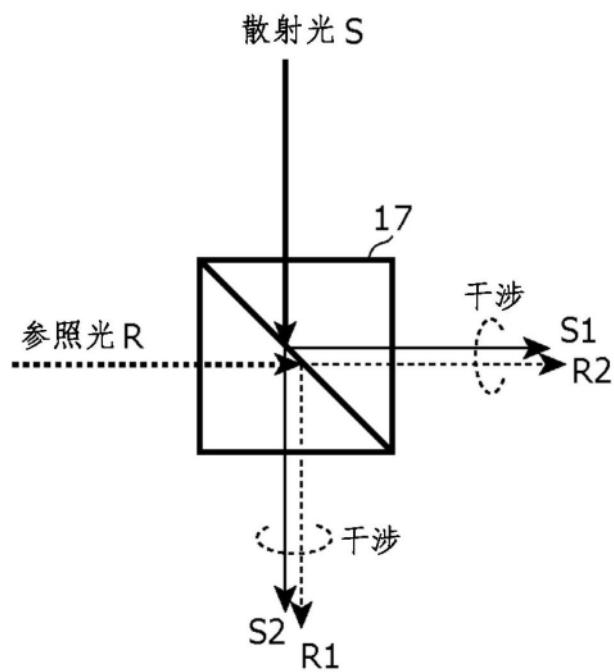


图4

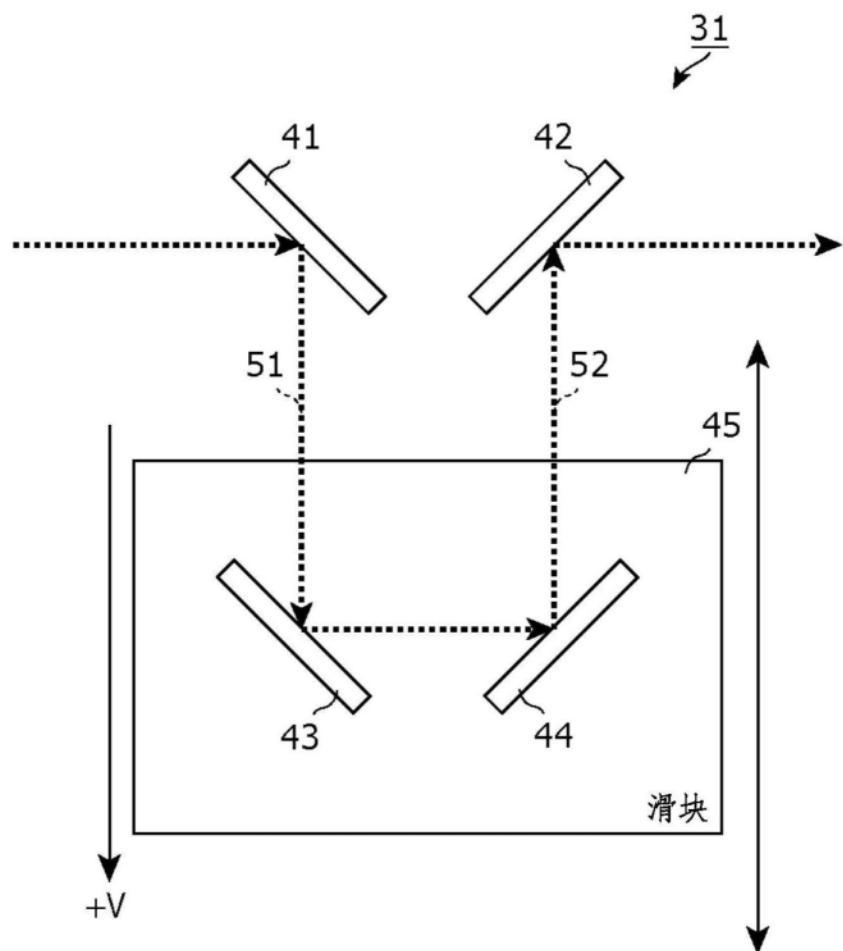


图5

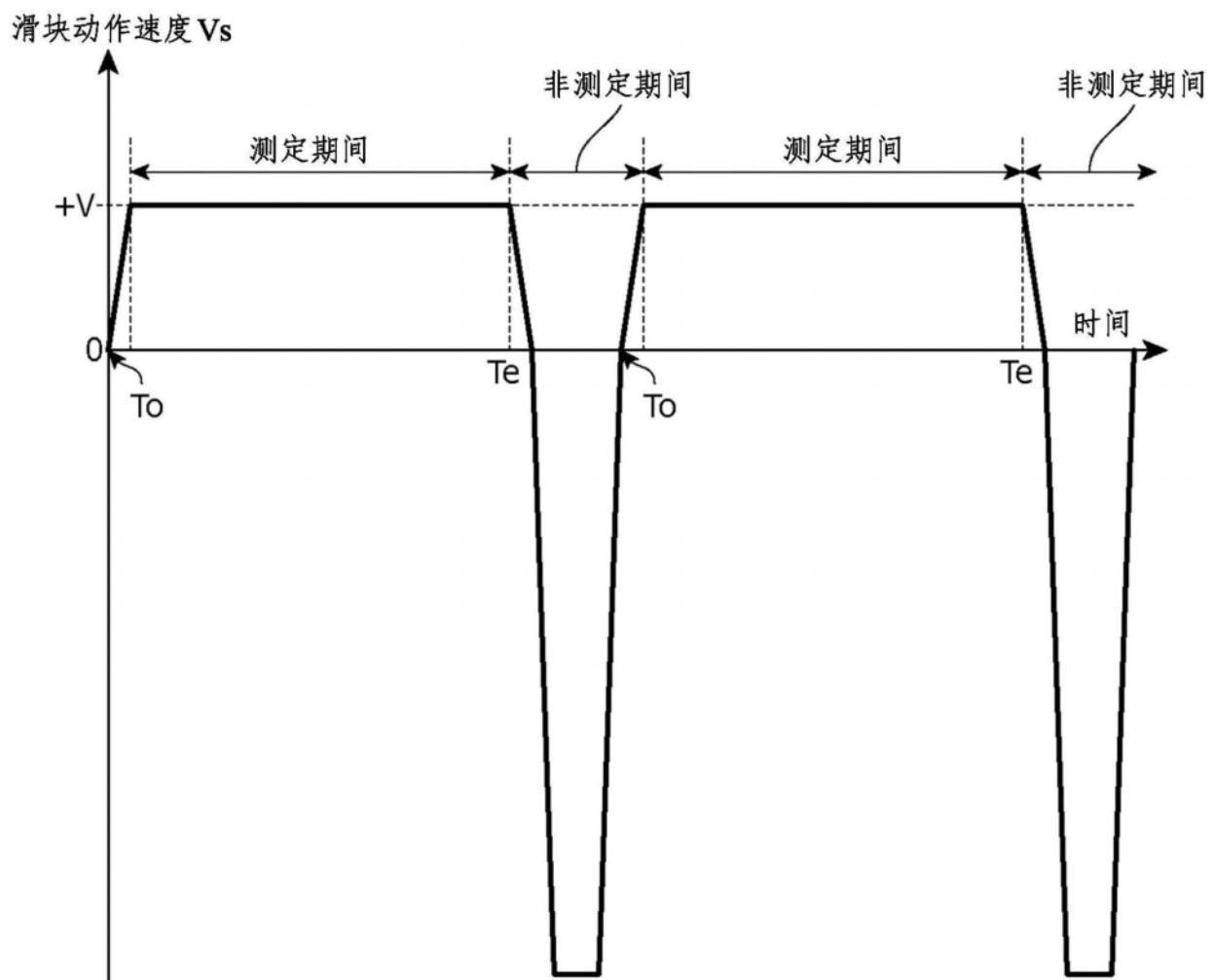


图6

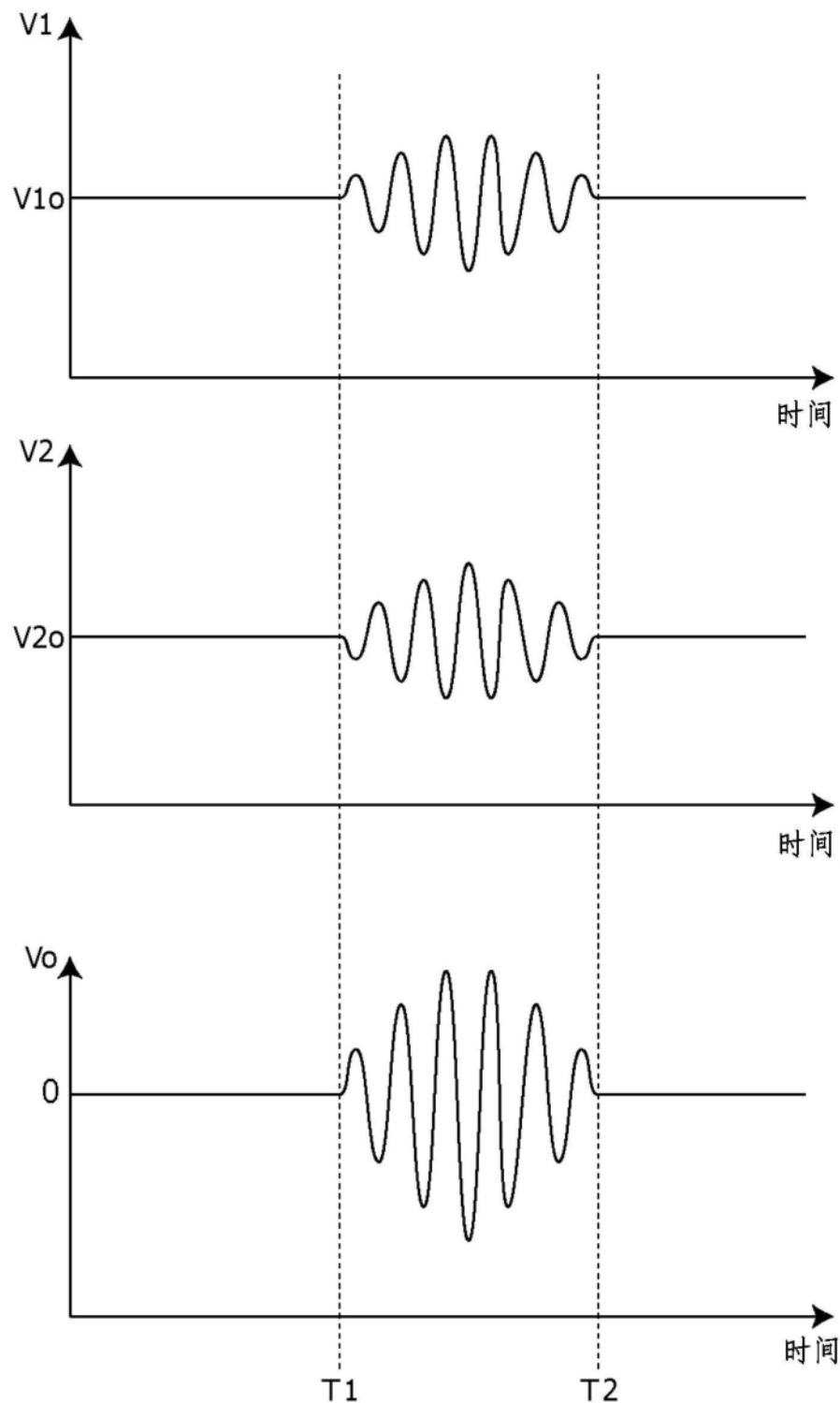


图7

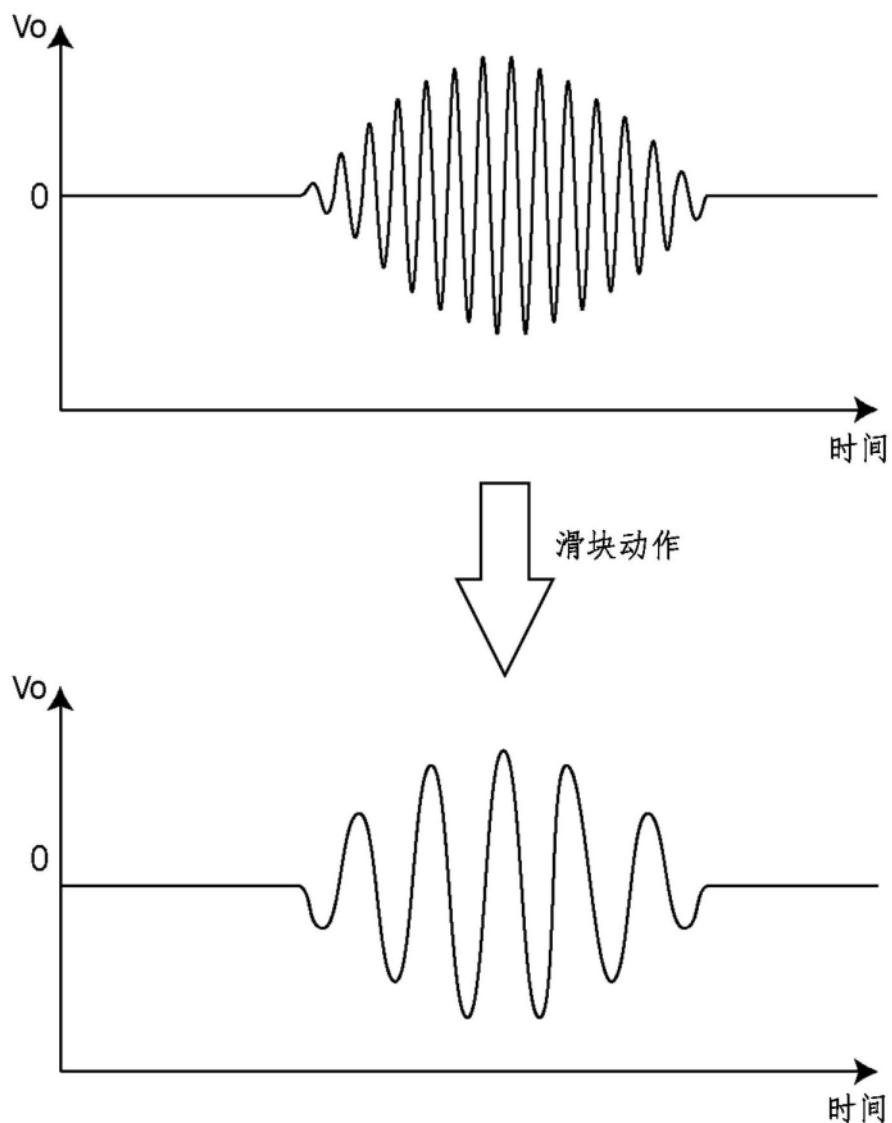


图8

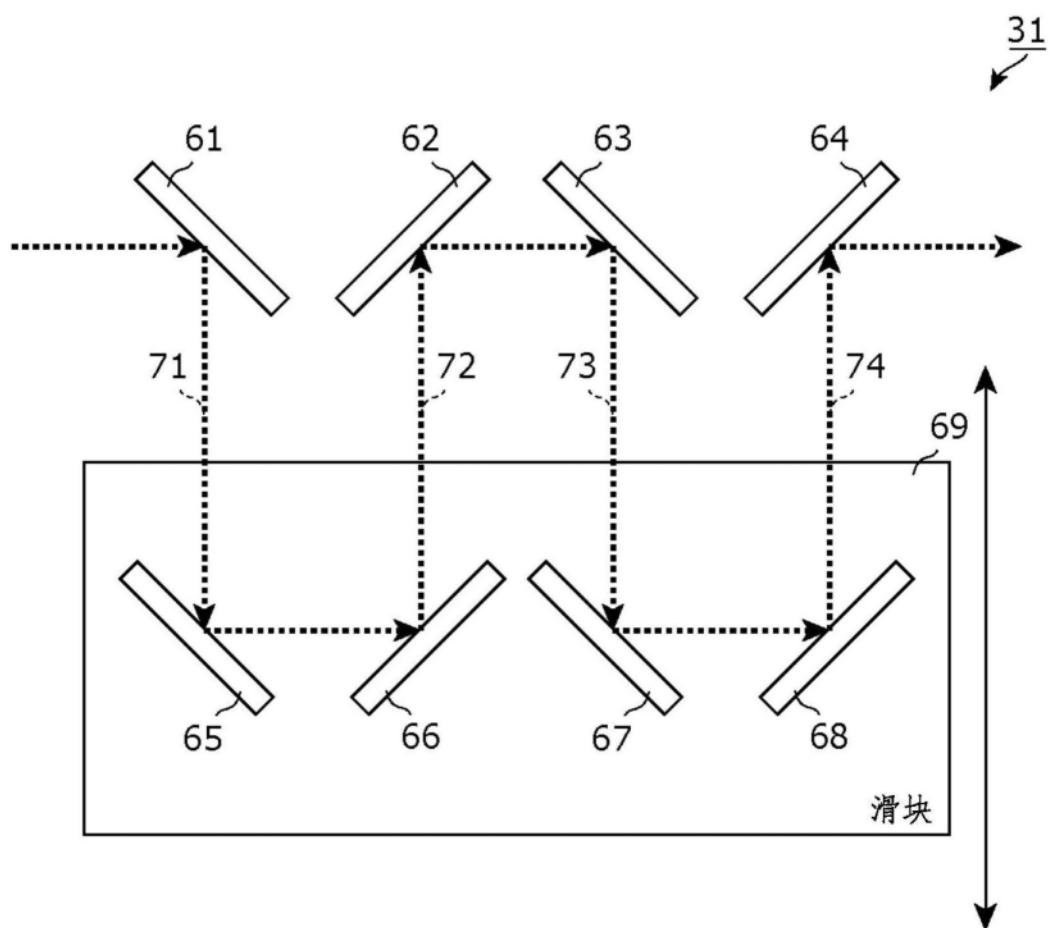


图9

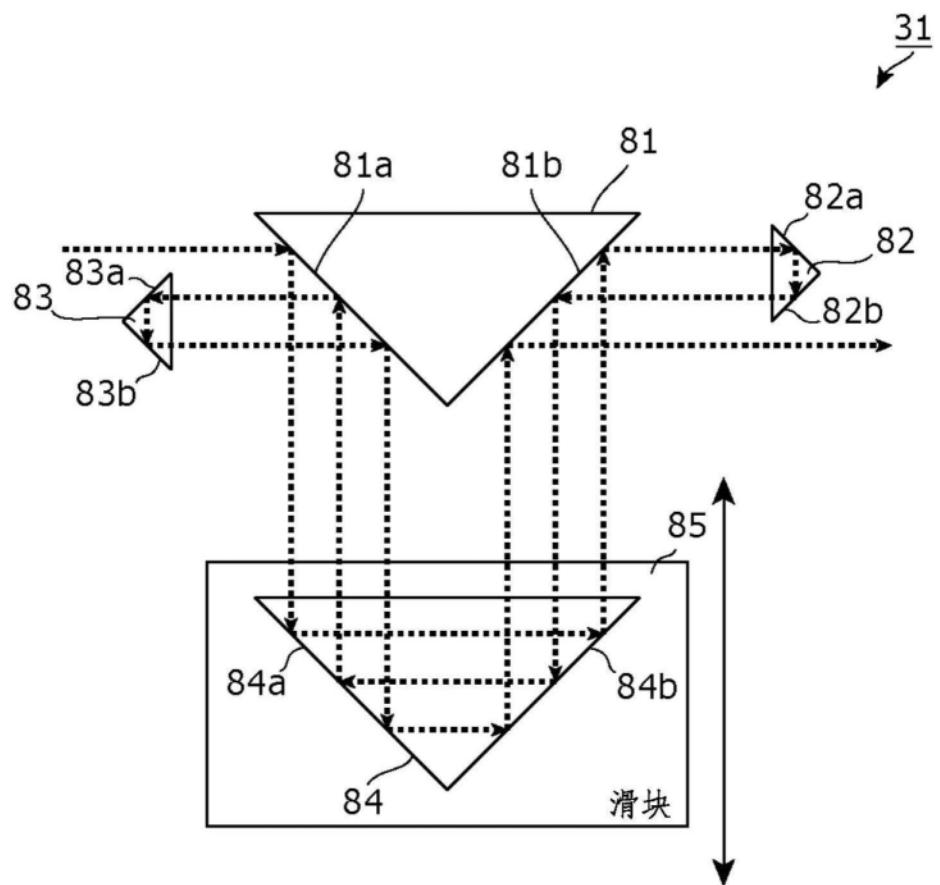


图10