



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112525490 A

(43) 申请公布日 2021.03.19

(21) 申请号 202010909823.1  
 (22) 申请日 2020.09.02  
 (30) 优先权数据  
 2023747 2019.09.02 NL  
 (71) 申请人 苏斯微技术光刻有限公司  
 地址 德国加兴  
 (72) 发明人 伊莎贝尔·阿格林  
 卡特琳·辛德勒  
 威尔弗里德·诺埃尔  
 索菲安妮·图尔诺伊斯  
 苏珊娜·韦斯特恩赫费尔  
 (74) 专利代理机构 北京品源专利代理有限公司  
 11332  
 代理人 谭营营 胡彬

(51) Int.Cl.  
 G01M 11/02 (2006.01)  
 G06K 9/62 (2006.01)  
 G06N 3/04 (2006.01)  
 G06N 3/08 (2006.01)  
 G06T 7/00 (2017.01)

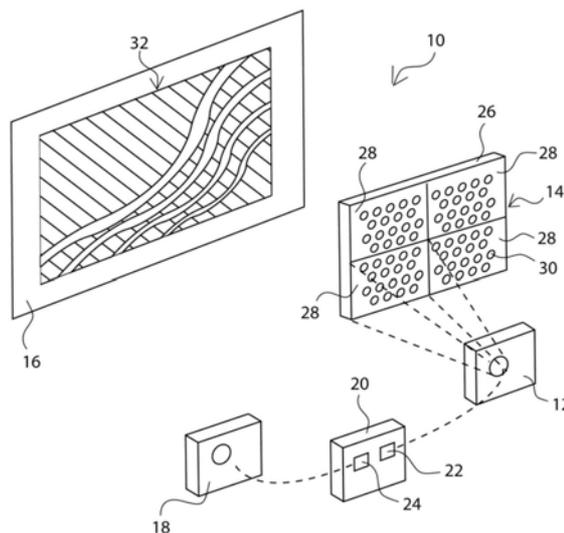
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

(54) 发明名称

评估多通道微和/或亚波长光学投影单元的质量的方法和测试系统

(57) 摘要

公开了一种用于评估多通道微和/或亚波长光学投影单元 (28) 的质量的方法。该方法包括以下步骤:对光学投影单元 (28) 的至少预定义部分进行照明,以便通过多通道光学投影单元 (28) 的预定义部分的至少两个通道来生成图像。基于对图像的分析,确定至少一个特征量,其中,该特征量的值与投影单元 (28) 的特性特征、投影单元 (28) 的缺陷和/或投影单元 (28) 的缺陷类别相关。基于至少一个特征量来评估投影单元 (28) 的质量。此外,公开了一种用于评估多通道微和/或亚波长光学投影单元 (28) 的质量的测试系统 (10) 和计算机程序。



1. 一种用于评估多通道微和/或亚波长光学投影单元(28)的质量的方法,包括以下步骤:

-对微和/或亚波长光学投影单元(28)的至少预定义部分进行照明,以便通过所述多通道微和/或亚波长光学投影单元(28)的预定义部分的至少两个通道来生成图像;

-捕获由投影单元(28)的预定义部分生成的图像;

-分析所述图像;

-基于对所述图像的分析,确定至少一个特征量,其中,所述特征量的值与所述投影单元(28)的至少一个特性特征、所述投影单元(28)的至少一个缺陷和/或所述投影单元(28)的缺陷类别相关联;和

-基于所述至少一个特征量来评估所述投影单元(28)的质量。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述至少一个特征量包括清晰度、暗度、均匀性、亮度波动和局部缺陷中的至少一个。

3. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,微光学投影单元(28)基于所述至少一个特征量而被分类为至少两个质量类别之一。

4. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,所述投影单元(28)包括多个微和/或亚波长光学元件(30),特别是微透镜和/或亚波长透镜,特别地,其中光学元件(30)具有所述投影单元(28)的尺寸、曲率、掩模和/或位置,所述尺寸、曲率和/或位置是所述投影单元(28)的至少一个特性特征中的至少一个。

5. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,所述光学元件(30)构成一个阵列,所述阵列在两个相邻光学元件(30)之间的距离是所述投影单元(28)的至少一个特性特征中的至少一个。

6. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,在所述投影单元(28)的制造期间,特别是在生产线结束时,对所述投影单元(28)的质量进行评估。

7. 根据权利要求6所述的方法,其特征在于,基于对所述投影单元(28)的质量评估来调整制造参数,特别是所述特性特征中的至少一个。

8. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,通过统计方法和/或通过机器学习模块来分析所述投影单元(28)的图像,特别地,其中所述机器学习模块包括预训练的人工神经网络。

9. 根据权利要求8所述的方法,其特征在于,所述机器学习模块已经用标记的训练数据进行了预训练,其中所述标记的训练数据包括由样本光学投影单元的预定义部分生成的样本图像,并且其中,所述标记的训练数据包括与相应的样本图像和/或相应的样本投影单元的质量类别对应的至少一个特征量。

10. 根据权利要求9所述的方法,其特征在于,通过将所述统计方法应用于所述样本图像来获得与所述相应的样本图像对应的至少一个特征量。

11. 一种用于评估多通道微和/或亚波长光学投影单元(28)的质量的测试系统,包括照明单元(12)、图像捕获设备(18)、图像分析模块(24)和控制模块(22),其中所述控制模块(22)被配置为使所述测试系统(10)执行根据前述权利要求中任一项所述的方法。

12. 根据权利要求11所述的测试系统,其特征在于,所述测试系统(10)包括被测试设备(14),特别地,其中所述被测设备(14)是多通道微和/或亚波长光学投影单元(28)。

13. 一种计算机程序,包括指令,当程序被根据权利要求11或12所述的测试系统(10)的控制模块(22)的处理单元执行时,所述指令使所述测试系统(10)执行根据权利要求1至10中任一项所述的方法的步骤。

## 评估多通道微和/或亚波长光学投影单元的质量的方法和测试系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于评估多通道微和/或亚波长光学投影单元的质量的方法。本发明还涉及一种用于评估多通道微和/或亚波长光学投影单元的质量的测试系统以及用于执行该方法的计算机程序。

### 背景技术

[0002] 微光学投影单元和亚波长光学投影单元通常分别包括多个微光学元件和/或亚波长光学元件。通常,投影单元包括几百或几千个这些光学元件,其中单个光学元件的直径通常小于1mm(微光学投影单元),特别是小于1 $\mu$ m(亚波长光学投影单元),并且可以为几纳米的量级。

[0003] 与经典的光学器件相比,微光学和/或亚波长光学设备的生产技术可能大不相同,因为光学有源元件所需的封装密度相当高。

[0004] 在投影单元的生产中,可能会出现一个或多个生产工艺参数的偏差。例如,光学元件的尺寸、曲率和/或位置可能会因公差和工艺变化而变化。特别是,单个光学元件之间的距离可能会发生变化。

[0005] 此外,晶圆中可能存在针孔,导致通过投影单元的光在光学元件外部的区域中传输。

[0006] 通常,对投影单元的各个光学元件的定位精度以及如上所述的诸如针孔的其他缺陷有很高的要求。

[0007] 然而,根据投影单元的应用,缺陷可以容忍到一定程度。因此,需要评估投影单元的质量,以保证投影单元满足相应的质量标准。

### 发明内容

[0008] 因此,本发明的目的是提供一种用于评估微和/或亚波长光学投影单元的质量的方法和系统。

[0009] 根据本发明,该问题通过一种用于评估多通道微和/或亚波长光学投影单元的质量的方法来解决。该方法包括以下步骤:对微和/或亚波长光学投影单元的至少预定义部分进行照明,使得多通道微和/或亚波长光学投影单元的预定义部分的至少两个通道生成图像。捕获并分析图像。基于对图像的分析来确定至少一个特征量,其中,特征量的值与投影单元的至少一个特性特征、投影单元的至少一个缺陷和/或投影单元的至少一个缺陷类别相关联。基于至少一个特征量来评估投影单元的质量。

[0010] 亚波长光学元件,特别是亚波长透镜,也可以称为纳米光学元件,特别是纳米透镜。

[0011] 本发明基于以下发现:投影单元的缺陷与由投影单元生成的图像中的某些缺陷直接相关。例如,投影单元的光学活性区域位置的偏差和各个光学活性区域的期望曲率的偏

差、以及和/或晶圆中的针孔每个都会导致图像中各自相关联的特征缺陷。

[0012] 此外,投影单元中不期望的针孔会在图像中产生明亮的圆点;在制造过程中无意的未对准会导致轮廓不清晰;透镜上的机械缺陷(例如划痕和/或裂纹)会导致圆形黑环和/或深色点;制造过程中不期望的污染会导致深色斑点(深色点),例如,图案不均匀。

[0013] 通过分析投影单元生成的图像中的缺陷,将图像处理技术应用于捕获的图像,可以以特别快速且方便的方式评估投影单元的质量。根据现有技术,已知许多不同的精心设计的图像处理技术。

[0014] 由投影单元的至少预定义部分生成的、捕获并随后分析的图像可以是与投影单元在其预期期间将生成的图像相同的图像或其部分。

[0015] 可替换地或另外地,可以通过与在投影单元的预期使用期间相同的方式对至少预定义部分进行照明来生成要捕获和分析的图像。

[0016] 投影单元例如被配置为在表面上,尤其是在相对于投影单元处于预定义布置的表面上产生图案的投影。

[0017] 根据本发明的一方面,至少一个特征量包括清晰度、暗度、均匀性、亮度波动和局部缺陷中的至少一个。事实证明,这些量特别适合于评估投影单元的质量,因为它们与在投影单元的生产过程中通常可能发生的特定缺陷直接相关联。

[0018] 根据本发明的另一方面,基于至少一个特征量,微光学投影单元被分类为至少两个质量类别中的一个。因此,投影单元可以被分类为恰好两个类别中的一个,例如“通过质量测试”或“未通过质量测试”。可替换地,投影单元可以被分类为多个类别之一,诸如“A级”、“B级”等。每个类别都与必须满足的某些质量要求相关联,特别是必须满足的一个或多个特征量的某些阈值。

[0019] 在本发明的另一实施例中,投影单元包括多个微和/或亚波长光学元件,特别是微透镜和/或亚波长透镜,特别地,其中光学元件具有投影单元中的尺寸、曲率、掩模和/或位置,其尺寸、曲率和/或位置是投影单元的至少一个特性特征中的至少一个。光学元件的位置偏差和/或各个光学元件的期望曲率的偏差与捕获到的图像中的特定缺陷相关联。隐含地说,可以将捕获到的图像中的缺陷关联到投影单元和/或光学元件的缺陷,使得捕获到的图像中的缺陷可以用于评估投影单元的质量。

[0020] 一般而言,每个光学元件被配置为以预定方式进行衍射、折射和/或引导光。因此,具有衍射、折射和/或引导性质的光学元件可以在同一投影单元上,特别是在共同的衬底上实现。

[0021] 至少一些光学元件,特别是所有光学元件可以彼此相同地建立。同样,至少一些光学元件,特别是所有光学元件可以彼此不同地建立,即光学元件可以在例如尺寸和/或曲率上不同。

[0022] 投影单元可以包括至少一个附件机械特征,例如,间隔件和/或至少一个突出物。间隔件和/或至少一个突出物可用于在使用投影单元期间设置投影单元与相应的另一部件之间的距离。

[0023] 特别地,间隔件和/或至少一个突出物的几何特征可以是投影单元的特征量。例如,间隔件和/或至少一个突出物的高度、宽度和/或深度可以是投影单元的特征量。

[0024] 特别地,光学元件形成阵列,该阵列在两个相邻光学元件之间的距离是投影单元

的至少一个特性特征中的至少一个。该距离可以是各个相邻光学元件之间的最小距离、各个相邻光学元件之间的最大距离和/或各个相邻光学元件之间的平均距离。

[0025] 在本发明的另一个实施例中,在投影单元的制造过程中(特别是在生产线结束时)评估投影单元的质量。优选地,在制造投影单元的多个中间步骤之后重复质量评估。基于对制造期间的质量的评估,如果需要,可以在制造的较早阶段丢弃投影单元,从而节省生产时间和生产资源。

[0026] 根据本发明的另一方面,基于投影单元的质量评估来调整制造参数,特别是特性特征中的至少一个。因此,可以调整工艺参数,从而提高投影单元的质量。换句话说,在生产期间可以解决可能的错误和/或偏差,从而减弱这些生产偏差的影响。

[0027] 可以调整的制造参数例如是投影单元的基层厚度、透镜形状和/或透镜曲率。

[0028] 优选地,通过统计方法和/或通过机器学习模块来分析投影单元的图像,特别地,其中机器学习模块包括预训练的人工神经网络。换句话说,可以使用基于经典算法即计算规则的纯经典确定性方法来分析图像。另一方面,可以仅通过机器学习方法或通过两者的混合来分析图像。

[0029] 机器学习模块可以用标记的训练数据进行预训练,其中标记的训练数据包括由样本光学投影单元的预定义部分生成的样本图像,并且其中,标记的训练数据包括至少一个特征量,其对应于相应的样本图像和/或相应的样本投影单元的质量类别。因此,机器学习模块以监督的方式进行预训练。

[0030] 优选地,机器学习模块包括人工神经网络,例如卷积神经网络(CNN)和/或递归神经网络(RNN),其被预训练用来分析图像、确定至少一个特征量和/或评估投影单元的质量。

[0031] 可替换地,可以以半监督的方式用部分标记的数据或以非监督的方式对机器学习模块进行预训练。

[0032] 根据本发明的又一方面,通过将统计方法应用于样本图像来获得对应于相应样本图像的至少一个特征量。因此,首先通过经典的统计方法来分析样本图像,其中统计分析的结果产生了相应图像的标签。

[0033] 换句话说,对有限的样本图像集合执行统计方法。样本图像和统计分析的结果形成了机器学习模块的训练数据。因此,统计方法可以仅应用于该有限的训练集,以便训练机器学习模块,同时通过机器学习模块执行在投影单元制造期间的质量评估。

[0034] 根据本发明,通过用于评估多通道微和/或亚波长光学投影单元的质量的测试系统进一步解决了该问题,该测试系统包括照明单元、图像捕获设备、图像分析模块和控制模块,其中控制模块被配置为使测试系统执行上述方法。关于该测试系统的优点和特征,请参考上面给出的关于该方法的说明,该说明也适用于测试系统,反之亦然。

[0035] 根据本发明的一方面,测试系统包括被测设备,特别地,其中被测设备是多通道微和/或亚波长光学投影单元。一般而言,被测设备是衬底,例如包括一个或多个多通道微和/或亚波长光学投影单元的晶圆。特别地,被测设备可以被建立为单个投影单元。

[0036] 根据本发明,通过一种计算机程序进一步解决了该问题,该计算机程序包括指令,当程序被上述测试系统的控制模块的处理单元执行时,该指令使测试系统执行上述方法的步骤。关于该计算机程序的优点和特征,请参考上面给出的关于方法的说明,该说明也适用于计算机程序,反之亦然。

[0037] 在这里以及下文中,术语“指令”被理解为是指以编译和/或未编译形式的程序代码和/或程序代码模块形式的指令,其中指令可以以任何编程语言和/或机器语言建立。

### 附图说明

[0038] 当结合附图时,通过参考以下详细描述,所要求保护的主题的前述方面和许多伴随的优点将变得更容易领会,这是因为它们变得更好理解,其中:

[0039] 图1示意性地示出了根据本发明的测试系统;

[0040] 图2示出了根据本发明的由投影单元产生的图像的详细视图;

[0041] 图3示出了根据本发明的用于评估多通道微和/或亚波长光学投影单元的质量的方法的示意性流程图;

[0042] 图4至图6分别示出了图3所示方法的各个步骤的说明。

### 具体实施方式

[0043] 图1示意性地示出了测试系统10,其包括照明单元12、被测设备14、屏幕16和图像捕获设备18。

[0044] 测试系统10还包括具有控制模块22和图像分析模块24的控制和分析单元20,其中控制和分析单元20以信号传输的方式连接到照明单元12和图像捕获设备18二者。

[0045] 被测设备14是包括多个多通道微和/或亚波长光学投影单元28的衬底26。在图1所示的情况下,衬底26包括四个投影单元28。但是,该数目仅用于说明目的。衬底26还可以包括任何其他数量的投影单元28。

[0046] 特别地,被测设备14可以被建立为单个投影单元28。

[0047] 每个投影单元28包括多个微和/或亚波长光学元件30。每个投影单元28可以包括10至1000个光学元件30,特别地包括30至500个光学元件,例如50至300个光学元件30。

[0048] 单个光学元件30的直径在微光学投影单元28中可以小于1mm,或者在亚波长光学投影单元28中小于1 $\mu$ m,并且可以为几纳米的量级。

[0049] 光学元件30之间的区域是不透明的,这样光只能通过光学元件30穿过投影单元。

[0050] 一般而言,每个光学元件30被配置为以预定义的方式进行折射、衍射和/或引导光。换句话说,每个光学元件30提供多通道投影单元28的通道。

[0051] 更具体地,每个光学元件30具有预定义的尺寸、预定义的曲率和/或设置有掩模,从而获得各个光学元件30的期望的光学性质。

[0052] 光学元件30可以具有被配置为在表面上产生图案的投影的掩模。表面相对于投影单元28的位置是已知的。例如,将投影单元28安装在汽车的门上,并且光学元件30具有掩模,使得当投影单元28被照明时,在汽车旁边的路面上产生汽车制造商的标志的投影。

[0053] 这里,至少一些光学元件30,特别是所有光学元件30可以彼此相同地建立。同样地,至少一些光学元件30,特别是所有光学元件30可以彼此不同地建立,即在例如尺寸、曲率和/或掩模上可以不同。

[0054] 取决于投影单元28的特定应用领域,光学元件30以预定的方式布置在相应的投影单元28中。

[0055] 更精确地,光学元件30布置成使得当投影单元28被照明时在投影单元28后面获得

期望的图像32。

[0056] 光学元件30根据预定义的图案分布在投影单元28的区域上。这在图1中示出,其中通过对投影单元28之一进行照明而生成的图像32在屏幕16上捕获。

[0057] 换句话说,光学元件30形成了多通道微和/或亚波长光学阵列,其被配置为在被照明时产生具有预定义性质的图像32。这里,由单个光学元件30(也可以称为“光束”)产生的图像被叠加,这导致由单个光学元件30产生的图像的统计混合。

[0058] 可替代地,光学元件30可以随机地分布在各个投影单元28的区域上。

[0059] 图2更详细地示出了所生成的图像32。图像32包括暗区域34和照明区域36。在图2的特定示例中,照明区域36是条纹,其每个都包括通过弯曲部分彼此连接的两个笔直部分。

[0060] 在生产投影单元28时,可能会出现一个或多个工艺参数的偏差。例如,光学元件30的尺寸、曲率和/或位置可能因公差和工艺变化而变化。特别地,各个光学元件30之间的距离可以变化。

[0061] 此外,在晶圆26中可能存在缺陷,例如针孔,导致通过投影单元28的光在光学元件30外部的区域中传输。

[0062] 根据投影单元28的应用,这种缺陷可以容忍到一定程度。因此,需要评估投影单元28的质量,以保证投影单元28满足相应的质量标准。

[0063] 测试系统10被配置为执行用于评估投影单元28的质量的方法,下面参考图3进行描述。

[0064] 更精确地,在控制和分析单元20的中央处理单元上执行计算机程序,该计算机程序使测试系统10执行以下描述的方法。

[0065] 首先,至少一个投影单元28的至少预定义部分被照明单元12进行照明(步骤S1)。例如,投影单元28之一被完全照明,而晶圆26上的其他投影单元未被照明。

[0066] 可替代地,仅投影单元28之一的某一部分可以被照明,例如具有要评估质量的光学元件30的某一结构的部分。

[0067] 可替代地,可以同时照明多个投影单元28。

[0068] 在不失一般性的情况下,下面描述投影单元28之一被完全照明的情况。

[0069] 由于对投影单元28的照明,图像由投影单元28生成并投影到屏幕16上。换句话说,图像32由投影单元28生成并投影到屏幕16上。

[0070] 由投影单元28的至少预定义部分生成的图像可以是与投影单元28在其预期使用期间将生成的图像相同的图像或其一部分。

[0071] 可替代地或另外地,可以通过以与投影单元28的预期使用期间相同的方式对投影单元28的至少预定义部分进行照明来生成图像。

[0072] 然后,由投影单元28生成的图像通过图像捕获设备18来捕获(步骤S2)。一般而言,捕获到的图像是所生成的图像32的数字表示,其中,捕获到的图像包括多个像素,每个像素具有亮度值和/或颜色值。

[0073] 例如,图像捕获设备18可以被建立为照相机,特别是高分辨率照相机。

[0074] 还可以想到,图像捕获设备18被集成到屏幕16中。例如,屏幕16可以包括被配置为捕获由投影单元28生成的图像的光敏元件。

[0075] 然后将捕获到的图像转发到控制和分析单元20,更精确地,转发到图像分析模块

24,并由图像分析模块24进行分析(步骤S3)。

[0076] 然后,图像分析模块24基于对图像的分析来确定捕获到的图像的至少一个特征量(步骤S4)。

[0077] 一般而言,至少一个特征量与投影单元28的质量相关联。这是由于以下事实:晶圆26的缺陷和/或光学元件30的缺陷表现为图像中的相关联缺陷,即所生成的图像32中的缺陷。

[0078] 例如,各个光学元件30的位置的偏差、与各个光学元件30的期望曲率的偏差和/或晶圆26中的针孔每个都会导致图像中分别相关联的特性缺陷。

[0079] 事实证明,存在多个非常适合于评估投影单元28的质量的主要图像特性,即清晰度、暗度和均匀性,其中均匀性继而包括亮度波动、背景波动和局部缺陷。这些图像特性的更详细定义将在下面给出。

[0080] 因此,至少一个特征量可以包括以下量中的一个或多个:清晰度、暗度、均匀性、亮度波动、背景波动、局部缺陷、各个光学元件30的曲率、各个光学元件30之间的最小距离、各个光学元件30之间的最大距离和/或各个光学元件30之间的平均距离。

[0081] 图像分析模块24通过基于统计方法和/或机器学习方法对图像进行的分析来确定至少一个特征量。

[0082] 换句话说,可以使用基于经典算法即计算规则的纯经典确定性方法来分析图像。另一方面,可以仅使用机器学习方法或通过两者的混合来分析图像。

[0083] 下面将参考图4至图6更详细地解释统计方法的情况。

[0084] 图4示意性地显示了确定图像的清晰度所采取的步骤。

[0085] 在图4的第一列中,显示了具有相同图案的两个图像。但是,第一行中的图像清晰,而第二行中的图像不清晰。

[0086] 通过以下过程获得图像清晰度的测度:首先,确定图像的快速傅里叶变换(图4中的第二列)。然后,将傅立叶变换后的图像进行自动相关(第三列),并确定自动相关图像的快速傅立叶逆变换(第四列)。

[0087] 确定逆傅立叶变换的结果的平均强度、归一化强度和/或平均归一化强度,其构成了原始图像的清晰度的测度。这里,较高的平均强度与较清晰的图像相关联,而较低的平均强度与较不清晰的图像相关联。

[0088] 为了归一化,例如,相对于图像高度、图像宽度、图像平均值和/或图像标准偏差将图像的最高值归一化。

[0089] 图5显示了为了获得特征量“暗度”而采取的主要步骤。一般而言,暗度是屏幕16的不应被照明的那些区域的亮度(即暗区域34的亮度)的测度。

[0090] 图5的左手侧的图像示出了由图像捕获设备18捕获到的原始图像。

[0091] 为了确定暗度,设置相对于背景的对比度阈值和/或亮度阈值,以便将照明区域36与暗区域34(背景)区分开,如图5的右手边的图像所示。换句话说,捕获到的图像的每个像素都被分类为“照明”(加点区域)或“未照明”(阴影区域)。

[0092] 之后,确定被分类为“未照明”的像素的平均亮度水平,即,暗区域34的平均亮度水平和/或平均对比度。

[0093] 可以仅针对暗区域34的特定区域,即所谓的感兴趣区域,确定暗度。

[0094] 图6示出了如何确定特征量“均匀性”。

[0095] 首先,确定照明区域36的边缘,使得可以单独分析各个照明区域36。结果显示在图6的左手边,其中最上面的条形照明区域36已被隔离。

[0096] 然后,将掩模滤波器38施加到隔离的照明区域36,其中,掩模滤波器具有预定的尺寸和预定的亮度阈值。一般而言,掩模滤波器38确定亮度水平的波动水平在掩模滤波器38的预定尺寸内。这里,掩模滤波器38被相继施加到整个照明区域36。

[0097] 换句话说,特征量“均匀性”构成了照明区域36内的局部亮度波动以及背景波动的测度,因此构成了各个投影单元28和/或各个光学元件30的局部缺陷的测度。

[0098] 基于至少一个确定的特征量,将投影单元28分类为至少两个质量类别分类之一(步骤S5)。

[0099] 为此目的,为至少一个特征量,特别是为多个或所有特征量设置至少一个预定的质量标准。例如,至少一个预定标准包括图像清晰度的阈值和/或剩余特征量的相应阈值。

[0100] 投影单元28可以分类为两个类别之一,即“通过质量测试”和“未通过质量测试”。

[0101] 例如,如果不满足至少一个质量标准,则将相应的投影单元28分类为类别“未通过质量测试”。相应地,如果满足至少一个质量标准,则将相应的投影单元28分类为类别“通过质量测试”。

[0102] 当然,可能会有两个以上的质量类别。例如,根据是否满足一个或多个质量标准以及根据满足哪个质量标准,将各个投影单元分类为类别“A级”、“B级”等之一。

[0103] 投影单元28的不同应用对投影单元28的质量可能有不同的要求。因此,虽然被分类为类别“C级”的投影单元28可能不适合要求高质量投影单元28的一个特定应用,但是可能存在类别“C级”足够的应用。因此,可以不必丢弃投影单元28,而是可以简单地分配给不同的应用。

[0104] 优选地,在投影单元28的制造期间评估投影单元28的质量。

[0105] 特别地,在投影单元28的生产结束时,即生产线结束时,评估投影单元28的质量。生产线的工艺参数可以基于评估结果进行调整。

[0106] 可替代地,在制造投影单元28的中间步骤之后重复地评估投影单元28的质量。基于对该质量的评估,如果需要,可以在制造的较早阶段丢弃相应的投影单元28,从而节省了生产时间和生产资源。

[0107] 如果由于对质量的中间评估而没有丢弃投影单元28,则可以调整用于进一步制造的生产工艺参数。

[0108] 上面给出的解释涉及通过经典统计方法执行的步骤S3至S5。

[0109] 但是,如上所述,这些步骤也可以通过机器学习方法来执行。

[0110] 更精确地,控制和分析单元20或更确切地说图像分析模块24可以包括机器学习模块,该机器学习模块被配置为执行上述步骤S3至S5。

[0111] 这里,机器学习模块包括人工神经网络,例如卷积神经网络(CNN)和/或递归神经网络(RNN),其被预训练用来分析图像、确定至少一个特征量、评估各个投影单元28的质量和/或将被测设备14分配给一个类别。

[0112] 当然,可以采用任何其他合适的神经网络类型。

[0113] 此外,可以将统计方法和机器学习方法组合。

[0114] 特别地,机器学习模块可以用通过统计方法评估投影单元28的质量而获得的数据进行预训练。

[0115] 更准确地说,以上述方式通过统计方法来分析多个样本图像。由此,获得标记的训练数据,该标记的训练数据一方面包括样本图像,并且另一方面包括与各个样本图像和/或各个样本投影单元28的质量类别相对应的至少一个特征量。

[0116] 机器学习模块提供有标记的训练数据。机器学习模块确定至少一个特征量和/或将各个图像分类为质量类别之一。

[0117] 之后,基于所确定的至少一个特征量和/或所确定的质量类别与已经通过统计方法确定的投影单元28的实际特征量和/或实际质量类别之间的偏差来调整机器学习模块的加权因子。

[0118] 总之,测试系统10被配置为在投影单元28的生产期间评估单个或多个投影单元28的质量。基于对质量的评估,通过统计方法、机器学习方法或两者的组合,将各个投影单元28分类为质量类别。

[0119] 因此,测试系统10提供一种用于确定各个投影单元28对于要求某些质量特性的应用的适合性的方式。

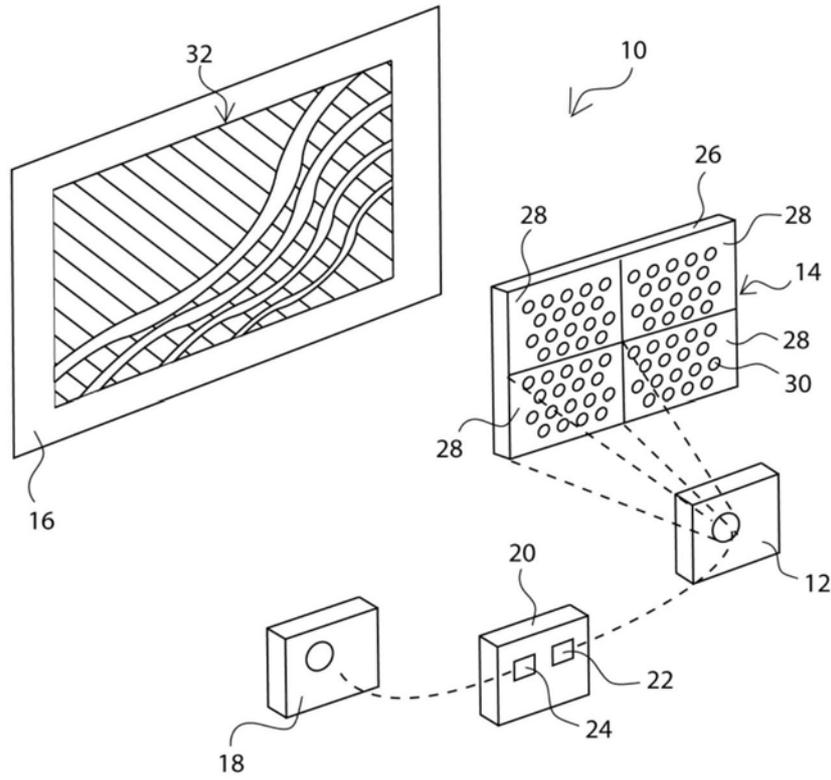


图1

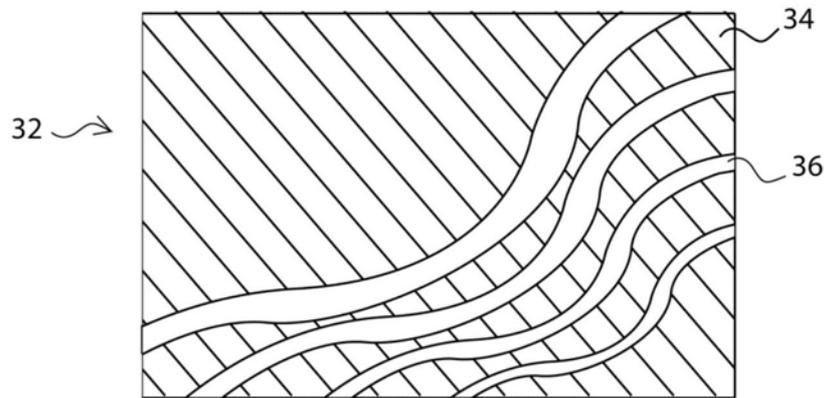


图2

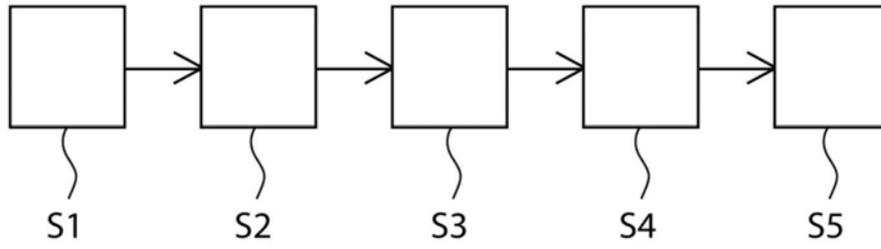


图3

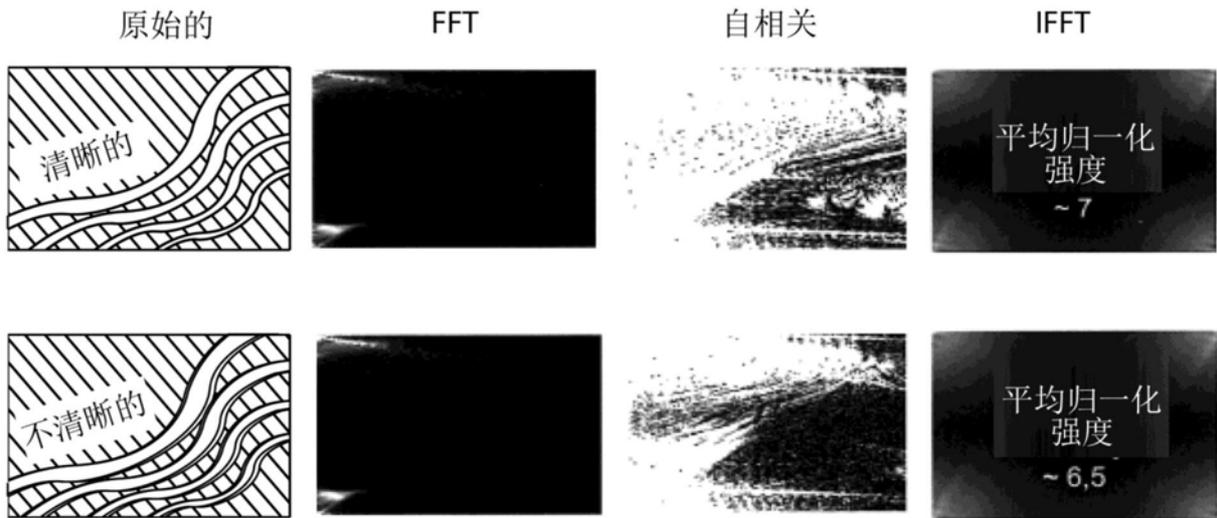


图4

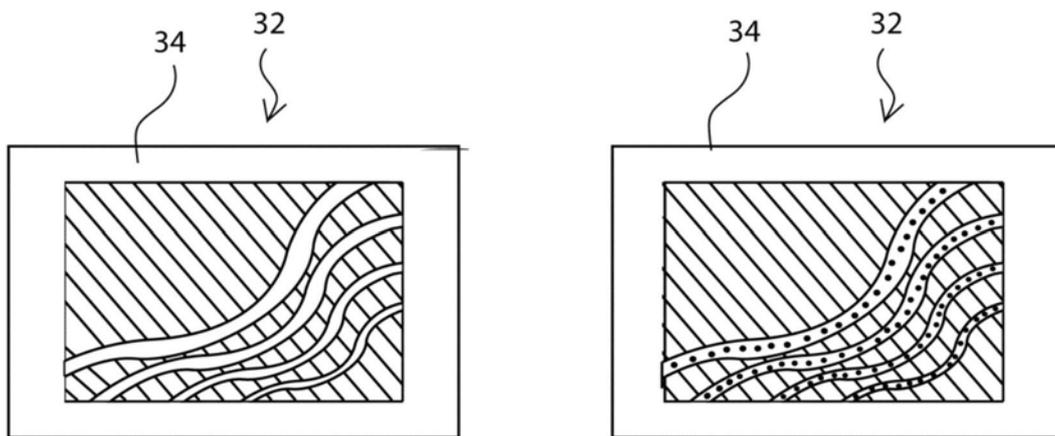


图5

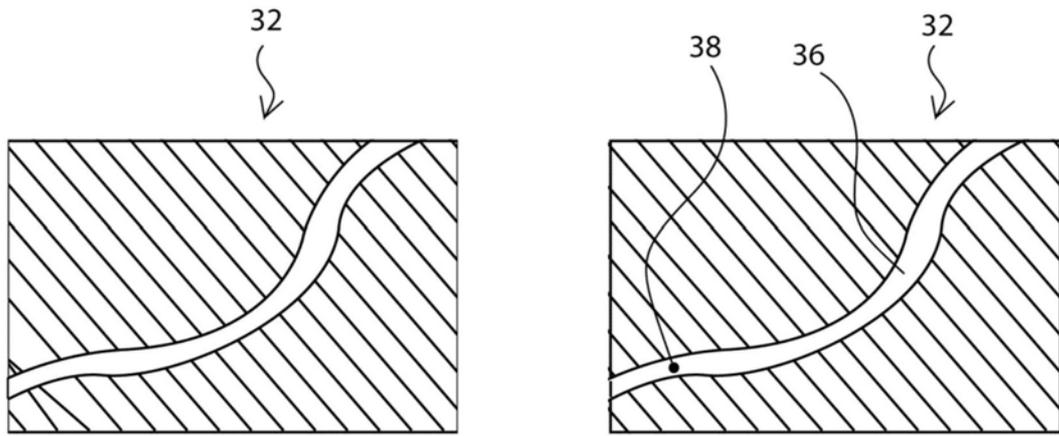


图6