



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107924561 B

(45) 授权公告日 2022.09.27

(21) 申请号 201680047557.8

(74) 专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限公司 11287

(22) 申请日 2016.08.25

专利代理人 张世俊

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107924561 A

(51) Int.CI.

G06T 7/00 (2017.01)

(43) 申请公布日 2018.04.17

G01N 21/95 (2006.01)

(30) 优先权数据

G03F 7/20 (2006.01)

62/212,113 2015.08.31 US

H04N 5/225 (2006.01)

15/230,339 2016.08.05 US

H04N 17/00 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

G06V 10/42 (2022.01)

2018.02.12

G06V 10/77 (2022.01)

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2016/048767 2016.08.25

(56) 对比文件

US 2015219446 A1, 2015.08.06

(87) PCT国际申请的公布数据

US 2002107660 A1, 2002.08.08

W02017/040219 EN 2017.03.09

WO 2006044016 A2, 2006.04.27

(73) 专利权人 科磊股份有限公司

US 2012099440 A1, 2012.04.26

地址 美国加利福尼亚州

US 2014172394 A1, 2014.06.19

(72) 发明人 S·I·潘戴夫

CN 1973246 A, 2007.05.30

(续)

审查员 安静

权利要求书5页 说明书15页 附图9页

(54) 发明名称

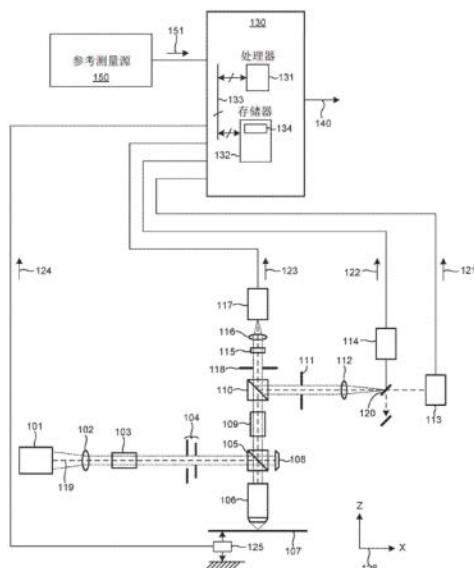
注参数的值。

使用图像的以模型为基础的计量

(57) 摘要

本文提出用于将存在于半导体晶片的所测量图像中的信息与所述所测量图像内的特定结构的额外测量进行组合的方法及系统。在一个方面中,基于所测量图像及每一图像内的特定结构的对应参考测量来训练以图像为基础的信号响应计量SRM模型。接着,使用所述经训练的以图像为基础的SRM模型来依据从其它晶片收集的所测量图像数据直接计算一或多个所关注参数的值。在另一方面中,基于所测量图像及由通过非成像测量技术做出的每一图像内的特定结构的测量产生的对应测量信号来训练测量信号合成模型。将从其它晶片收集的图像变换成与所述非成像测量技术相关联的合成测量信号,且采用以模型为基础的测量以基于所述合成信号来估计所关

CN 107924561 B



[转续页]

[接上页]

(56) 对比文件

CN 101833247 A, 2010.09.15

CN 102193295 A, 2011.09.21

US 2014297211 A1, 2014.10.02

WO 2011163329 A2, 2011.12.29

1. 一种计量系统,其包括:

至少一个照明源,其经配置以照明位于一或多个实验设计DOE晶片的多个场处的多个DOE测量位点,其中每一DOE测量位点包含由至少一个所关注参数表征的至少一个结构的例子;

至少一个成像检测器,其经配置以检测从所述多个DOE测量位点中的每一者成像的光且产生所述多个DOE测量位点中的每一者的一或多个图像;

参考测量系统,其经配置以估计所述多个DOE测量位点中的每一者处的所述至少一个所关注参数的参考值;及

计算系统,其经配置以:

接收所述多个DOE测量位点中的每一者的所述一或多个图像及所述多个DOE测量位点中的每一者处的所述至少一个所关注参数的所述参考值;

选择与所述一或多个图像中的每一者相关联的像素的子集;且

基于所选择的与所述多个DOE测量位点中的每一者的所述一或多个图像中的每一者相关联的像素的子集及所述多个DOE测量位点中的每一者处的所述至少一个所关注参数的对应参考值来训练以图像为基础的信号响应计量SRM模型,所述以图像为基础的SRM模型使包含所述至少一个结构的例子的测量位点的图像与所述至少一个结构的所述至少一个所关注参数的值相关,所述测量位点的所述一或多个图像中的每一者包括多个像素和与每个像素相关联的单个测量信号值,且每个像素与所述一或多个DOE晶片上的不同位置相关联。

2. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述照明源经进一步配置以照明不同于所述DOE测量位点中的任一者的测量位点,其中所述测量位点包含由所述至少一个所关注参数表征的所述至少一个结构的例子;

其中所述成像检测器经进一步配置以检测从所述测量位点成像的光且产生所述测量位点的指示所检测的所述光的一或多个图像,

其中所述计算系统经进一步配置以:

接收所述测量位点的所述一或多个图像;

基于所述经训练的以图像为基础的SRM模型及所述测量位点的所述一或多个图像来确定表征所述测量位点处的所述至少一个结构的所述例子的所述至少一个所关注参数的值;且

将所述至少一个所关注参数的所述值存储在存储器中。

3. 根据权利要求2所述的计量系统,其中测量信号值与所述多个DOE测量位点及所述测量位点中的每一者的每一图像的每一像素相关联,且其中所述测量位点的所述一或多个图像是从在所述多个DOE测量位点中的每一者的每一图像处由相同测量技术或测量技术的组合执行的测量导出。

4. 根据权利要求2所述的计量系统,其中所述计算系统经进一步配置以:

使用减小所述图像中的每一者的尺寸的特征提取模型,从所述多个DOE测量位点中的每一者的每一图像提取特征,其中所述以图像为基础的SRM模型的所述训练是基于从所述多个DOE测量位点中的每一者的每一图像提取的所述特征及所述多个DOE测量位点中的每一者处的所述至少一个所关注参数的所述对应参考值;且

使用所述特征提取模型,从所述测量位点的所述一或多个图像提取特征,其中所述至

少一个所关注参数的所述值的所述确定是基于所述经训练的以图像为基础的SRM模型及从所述测量位点的所述一或多个图像提取的所述特征。

5. 根据权利要求4所述的计量系统,其中所述特征提取模型是主成分分析PCA模型、独立成分分析ICA模型、核心PCA模型、非线性PCA模型、快速傅里叶变换FFT模型、离散余弦变换DCT模型及小波模型中的任一者。

6. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述多个实验设计DOE测量位点包含所述至少一个所关注参数的值的变动。

7. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述至少一个所关注参数是临界尺寸CD参数、覆盖参数、焦点参数、剂量参数、结构非对称性参数、结构粗糙度参数、定向自组装DSA图案均匀性参数及节距计步参数中的任一者。

8. 根据权利要求1所述的计量系统,其中每一DOE测量位点包含计量目标、周期性光栅结构及装置结构中的任一者。

9. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述至少一个结构是线空间光栅结构、FinFET结构、SRAM存储器结构、FLASH存储器结构及DRAM存储器结构中的任一者。

10. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述参考测量系统是扫描电子显微镜、以光学为基础的测量系统、以x射线为基础的测量系统、穿隧电子显微镜系统及原子力显微镜系统中的任一者。

11. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述至少一个所关注参数是过程参数值、结构参数值、分散参数值及布局参数值中的任一者。

12. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述以图像为基础的SRM模型是线性模型、多项式模型、神经网络模型、支持向量机模型、决策树模型及随机森林模型中的任一者。

13. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述多个DOE测量位点中的每一者的所述一或多个图像包含由两个或更多个不同计量技术获取的图像的组合。

14. 一种计量系统,其包括:

至少一个照明源,其经配置以照明位于一或多个实验设计DOE晶片的多个场处的多个DOE测量位点,其中每一DOE测量位点包含由至少一个所关注参数表征的至少一个结构的例子;

成像检测器,其经配置以检测从所述多个DOE测量位点中的每一者成像的光且产生所述多个DOE测量位点中的每一者的一或多个图像;

非成像检测器,其经配置以根据非成像测量技术检测从所述多个DOE测量位点中的每一者收集的光且产生指示所述多个DOE测量位点中的每一者处的所检测的所述光的一或多个测量信号;及

计算系统,其经配置以:

接收所述多个DOE测量位点中的每一者的所述一或多个图像及与所述多个DOE测量位点中的每一者相关联的所述一或多个测量信号;

选择与所述一或多个图像中的每一者相关联的像素的子集;且

训练测量信号合成模型,所述测量信号合成模型基于所选择的与所述多个DOE测量位点中的每一者的所述一或多个图像中的每一者相关联的像素的子集及与所述多个DOE测量位点中的每一者相关联的对应测量信号使所述多个DOE测量位点中的每一者的所述一或多

一个图像与和所述多个DOE测量位点中的每一者相关联的所述一或多个测量信号相关,所述测量位点的所述一或多个图像中的每一者包括多个像素和与每个像素相关联的单个测量信号值,且每个像素与所述一或多个DOE晶片上的不同位置相关联。

15.根据权利要求14所述的计量系统,其中所述至少一个照明源经进一步配置以照明不同于所述DOE测量位点中的任一者的测量位点,其中所述测量位点包含由所述至少一个所关注参数表征的所述至少一个结构的例子;

其中所述至少一个成像检测器经进一步配置以检测从所述测量位点成像的光且产生所述测量位点的指示所检测的所述光的一或多个图像,

其中所述计算系统经进一步配置以:

接收所述测量位点的所述一或多个图像;

基于所述经训练的测量信号合成模型及所述测量位点的所述一或多个图像来产生与所述测量位点相关联的一组合成测量信号;

根据所述非成像测量技术,基于所述合成测量信号与所述测量位点的测量的模型的拟合来确定表征所述测量位点处的所述至少一个结构的所述例子的所述至少一个所关注参数的值;且

将所述至少一个所关注参数的所述值存储在存储器中。

16.根据权利要求15所述的计量系统,其中所述非成像测量技术是以模型为基础的x射线计量技术和/或以模型为基础的光学计量技术。

17.根据权利要求14所述的计量系统,其中所述计算系统经进一步配置以:

使用减小所述图像中的每一者的尺寸的特征提取模型,从所述多个DOE测量位点中的每一者的每一图像提取特征,其中所述测量信号合成模型使从所述多个DOE测量位点中的每一者的所述图像中的每一者提取的所述特征与和所述多个DOE测量位点中的每一者相关联的所述一或多个测量信号相关;且

使用所述特征提取模型,从所述测量位点的所述一或多个图像提取特征,其中与所述测量位点相关联的所述组合成测量信号的所述产生是基于所述经训练的测量信号合成模型及从所述测量位点的所述一或多个图像提取的所述特征。

18.根据权利要求14所述的计量系统,其中所述至少一个所关注参数是临界尺寸CD参数、覆盖参数、焦点参数、剂量参数、结构非对称性参数、结构粗糙度参数、定向自组装DSA图案均匀性参数及节距计步参数中的任一者。

19.根据权利要求14所述的计量系统,其中所述非成像测量技术是以光学为基础的散射测量术测量系统及以x射线为基础的散射测量术测量系统中的任一者。

20.一种计量方法,其包括:

照明位于一或多个实验设计DOE晶片的多个场处的多个DOE测量位点,其中每一DOE测量位点包含由至少一个所关注参数表征的至少一个结构的例子;

响应于所述多个DOE测量位点中的每一者的所述照明而检测从所述多个DOE测量位点中的每一者成像的光;

产生所述多个DOE测量位点中的每一者的图像;

估计所述多个DOE测量位点中的每一者处的所述至少一个所关注参数的参考测量值;

选择与所述多个DOE测量位点中的每一者的所述图像相关联的像素的子集;及

基于所选择的与所述多个DOE测量位点中的每一者的所述图像相关联的像素的子集及所述多个DOE测量位点中的每一者处的所述至少一个所关注参数的对应参考值来训练以图像为基础的信号响应计量SRM模型,其中所述以图像为基础的SRM模型使包含所述至少一个结构的例子的测量位点的图像与所述至少一个结构的所述至少一个所关注参数的值相关,所述多个DOE测量位点中的每一者的所述图像包括多个像素和与每个像素相关联的单个测量信号值,且每个像素与所述一或多个DOE晶片上的不同位置相关联。

21. 根据权利要求20所述的计量方法,其进一步包括:

照明不同于所述DOE测量位点中的任一者的测量位点,其中所述测量位点包含由所述至少一个所关注参数表征的所述至少一个结构的例子;

响应于所述测量位点的所述照明而检测从所述测量位点成像的光;

产生所述测量位点的指示所检测的所述光的图像;及

基于所述经训练的以图像为基础的SRM模型及所述测量位点的所述图像来确定表征所述测量位点处的所述至少一个结构的所述例子的所述至少一个所关注参数的值。

22. 根据权利要求21所述的计量方法,其中测量信号值是与所述多个DOE测量位点及所述测量位点中的每一者的每一图像的每一像素相关联,且其中所述测量位点的所述图像是从在所述多个DOE测量位点中的每一者的每一图像处由相同测量技术或测量技术的组合执行的测量导出。

23. 根据权利要求21所述的计量方法,其进一步包括:

使用减小所述图像中的每一者的尺寸的特征提取模型,从所述多个DOE测量位点中的每一者的每一图像提取特征,其中所述以图像为基础的SRM模型的所述训练是基于从所述多个DOE测量位点中的每一者的每一图像提取的所述特征及所述多个DOE测量位点中的每一者处的所述至少一个所关注参数的所述对应参考值;及

使用所述特征提取模型,从所述测量位点的所述图像提取特征,其中所述至少一个所关注参数的所述值的所述确定是基于所述经训练的以图像为基础的SRM模型及从所述测量位点的所述图像提取的所述特征。

24. 一种计量方法,其包括:

照明位于一或多个实验设计DOE晶片的多个场处的多个DOE测量位点,其中每一DOE测量位点包含由至少一个所关注参数表征的至少一个结构的例子;

响应于所述多个DOE测量位点的所述照明而检测从所述多个DOE测量位点中的每一者成像的光;

产生所述多个DOE测量位点中的每一者的图像;

根据非成像测量技术,检测从所述多个DOE测量位点中的每一者收集的光;

产生指示所述多个DOE测量位点中的每一者处的所检测的所述光的一或多个测量信号;

选择与所述多个DOE测量位点中的每一者的所述图像相关联的像素的子集;及

训练测量信号合成模型,所述测量信号合成模型基于所选择的与所述多个DOE测量位点中的每一者的所述图像相关联的像素的子集及与所述多个DOE测量位点中的每一者相关联的对应测量信号使所述多个DOE测量位点中的每一者的所述图像与和所述多个DOE测量位点中的每一者相关联的所述一或多个测量信号相关,所述多个DOE测量位点中的每一者

的所述图像包括多个像素和与每个像素相关联的单个测量信号值,且每个像素与所述一或多个DOE晶片上的不同位置相关联。

25.根据权利要求24所述的计量方法,其进一步包括:

照明不同于所述DOE测量位点中的任一者的测量位点,其中所述测量位点包含由所述至少一个所关注参数表征的所述至少一个结构的例子;

响应于所述测量位点的所述照明而检测从所述测量位点成像的光;

产生所述测量位点的指示所检测的所述光的图像;

基于所述经训练的测量信号合成模型及所述测量位点的所述图像来产生与所述测量位点相关联的一组合成测量信号;及

根据所述非成像测量技术,基于所述合成测量信号与所述测量位点的测量的模型的拟合来确定表征所述测量位点处的所述至少一个结构的所述例子的所述至少一个所关注参数的值;及

将所述至少一个所关注参数的所述值存储在存储器中。

使用图像的以模型为基础的计量

[0001] 相关申请案的交叉参考

[0002] 本专利申请案根据35U.S.C. §119规定主张2015年8月31日申请的标题为“使用图像的以模型为基础的计量 (Model-Based Metrology Using Images)”的第62/212,113号美国临时专利申请案的优先权,所述案的主旨的全部内容以引用方式并入本文中。

技术领域

[0003] 所描述实施例涉及计量系统及方法,且更特定来说所描述实施例涉及用于改进的以模型为基础的测量的方法及系统。

背景技术

[0004] 例如逻辑及存储器装置的半导体装置通常由应用于样品的一系列处理步骤制造。半导体装置的各种特征及多个结构级是通过这些处理步骤形成。例如,其中光刻是一种涉及在半导体晶片上产生图案的半导体制造过程。半导体制造过程的额外实例包含(但不限于)化学机械抛光、蚀刻、沉积及离子植入。多个半导体装置可制造在单个半导体晶片上且接着分离成个别半导体装置。

[0005] 在半导体制造过程期间的各种步骤处使用计量过程以检测晶片上的缺陷以促进更高产量。光学计量技术提供高通量的潜力而不具有样本损坏的风险。包含散射测量实施方案与反射测量实施方案及相关联分析算法的若干以光学计量为基础的技术常用以表征纳米级结构的临界尺寸、膜厚度、组合物、覆盖及其它参数。非成像、以模型为基础的光学计量技术一般依序且经常从稀疏地位于半导体晶片的场区上的计量目标获取测量信号。尽管非成像、以模型为基础的光学计量技术提供高精度测量能力,但可针对给定晶片通量要求测量的位置的数目是受限的。

[0006] 相比来说,以成像为基础的测量系统并行收集大量信号。因此,可针对给定晶片通量要求由以成像为基础的测量表征的晶片面积相较于以模型为基础的光学计量技术要大得多。不幸地,此时,以成像为基础的测量缺乏足以直接测量如今普遍制造的复杂三维结构的分辨率。

[0007] 以图像为基础的测量通常涉及图像中的特定目标特征(例如,线段、盒等等)的辨识且基于这些特征来计算所关注参数。通常,专门目标结构是特定于图像处理算法。例如,与覆盖目标(例如,盒中盒目标、框中框目标、先进成像计量(AIM)目标)相关联的线段经特定设计以遵循算法的细节。出于此原因,传统的以图像为基础的计量算法无法利用任意目标或装置结构来可靠地执行。

[0008] 在半导体制造中,且特定来说在图案化过程中,过程控制通过在特定专用结构上执行计量来实现。这些专用结构可位于裸片之间的切割道中或位于裸片本身内。由传统的以散射测量为基础的计量技术测量专用计量结构是耗时的。

[0009] 未来计量应用对以图像为基础的计量提出挑战,这归因于越来越小的分辨率要求及越来越高的晶片面积值。因此,期望用于改进的以图像为基础的测量的方法及系统。

发明内容

[0010] 本文提出用于将存在于半导体晶片的所测量图像中的信息内容与所述所测量图像内的特定结构的额外测量组合以快速且准确地估计所关注结构参数的方法及系统。

[0011] 在一个方面中,将存在于所测量图像中的高信息内容变换为所关注结构参数的估计值。基于所测量的以图像为基础的训练数据(例如,从实验设计(DOE)晶片收集的图像)及对应参考测量数据来训练以图像为基础的信号响应计量(SRM)模型。接着,使用所述经训练的以图像为基础的测量模型以从自其它晶片收集的所测量图像数据直接计算一或多个所关注参数的值。本文所描述的经训练的以图像为基础的SRM模型直接接收图像数据作为输入且提供一或多个所关注参数的值的估计作为输出。通过简化测量过程,改进了预测结果并且减少计算及用户时间。

[0012] 通过仅使用原图像数据来产生以图像为基础的测量模型,如本文所描述,减小与传统的以图像为基础的计量方法相关联的误差及近似值。另外,以图像为基础的测量模型对系统误差、非对称性等等不敏感,这是因为以图像为基础的测量模型基于从特定计量系统收集的图像数据来训练且用以基于从相同计量系统收集的图像来执行测量。

[0013] 在另一方面中,将所测量图像变换为与场中的一或多个位置处的以模型为基础的测量技术相关联的以合成非成像为基础的测量信号。采用所述以模型为基础的测量技术以基于所述合成信号来估计所关注结构参数的值。基于所测量的以图像为基础的训练数据(例如,从实验设计(DOE)晶片收集的图像)及对应非成像测量数据来训练测量信号合成模型。在进一步方面中,针对每一成像场中的不同位置中的多个结构产生合成信号。在一些实例中,基于合成信号执行以模型为基础的测量明显比获取每一不同位置处的实际测量数据快。

[0014] 前述是汇总且因此必然含有细节的简化、一般化及省略;因此,所属领域的技术人员将了解,所述汇总仅具说明性且不以任何方式限制。本文所描述的装置及/或过程的其它方面、发明特征及优点将在本文所阐述的非限制性详细描述中变得显而易见。

附图说明

[0015] 图1说明根据本文所提出的示例性方法的用于执行所关注参数的测量的系统100。

[0016] 图2是说明如本文所描述的训练以图像为基础的SRM模型的方法200的流程图。

[0017] 图3是说明使用参考方法400描述的经训练的SRM模型来执行结构的测量的方法210的流程图。

[0018] 图4描绘实验设计晶片160,所述实验设计晶片具有包含展现一或多个所关注参数的已知变动的结构的测量位点的格栅。

[0019] 图5描绘晶片160的不同测量位点的说明性图像162到164。

[0020] 图6说明与图像162相关联的像素165的格栅。

[0021] 图7描绘根据本文所描述的方法的经选定用于模型训练及测量的不同像素位置。

[0022] 图8描绘在图7中说明的像素位置处取样的所测量强度值的向量176。

[0023] 图9是说明如本文所描述的训练测量信号合成模型的方法220的流程图。

[0024] 图10是说明使用参考方法220描述的测量信号合成模型来执行结构的测量的方法230的流程图。

具体实施方式

[0025] 现在将详细参考背景实例及本发明的一些实施例,在附图中说明本发明的实例。

[0026] 本文提出用于将存在于半导体晶片的所测量图像中的信息内容与所述所测量图像内的特定结构的额外测量组合以快速且准确地估计所关注结构参数的方法及系统。

[0027] 图1说明根据本文所提出的例示性方法的用于测量样品的特性的系统100。如图1中所展示,系统100可用以执行形成在样品107上的一或多个结构的成像及非成像测量。在此方面中,系统100可配置为光束轮廓反射计(BPR)、场成像系统及光谱反射计(SR)。替代地,系统100可配置为BPR、光谱椭圆偏光计(SE)及场成像系统。系统100包含高数值孔径(NA)物镜(例如,NA>0.9)及用以产生到光瞳检测器117的光学路径及到场检测器113或114的另一光学路径的至少一个收集光束分离器110。场检测器及光瞳检测器分别从样品107获取场信号121或122及光瞳信号123。场图像或光瞳图像经处理以估计一或多个结构或过程参数值。

[0028] 如图1中所描绘,系统100包含产生一定量照明光119的照明源101。在一些实施例中,照明源101是宽带照明源,例如氙灯、激光驱动光源、多波长激光、中超激光等等。在一些其它实施例中,照明源101包含窄带光源,例如单波长激光、可调谐窄带激光等等。在一些实施例中,照明源101包含宽带照明源与窄带照明源的组合。在一些实施例中,包含光学滤波器以选择一或多个照明波长及对应波长范围。

[0029] 如图1中所描绘,照明光119穿过照明光学装置102。照明光学装置102使照明光聚焦及准直。照明光学装置102包含透镜组件、镜组件或两者的组合。照明光在到达照明光束分离器105之前穿过一或多个可选择照明孔口104。在一些实施例中,可选择照明孔口104包含一组照明场光阑及一组照明光瞳光阑。照明场光阑经配置以选择投射到样品107上的照明点大小。照明光瞳光阑经配置以选择投射到样品107上的照明光瞳。照明场光阑及照明光瞳光阑结合其它照明光学组件(例如,照明光学装置102及物镜106)操作以达成针对样品107的表面上的最优光通量、照明视场及光瞳调谐的照明NA。可选择照明孔口104的(若干)孔口可由任何适合装置形成,包含(但不限于)机械销孔、空间光调制器(SLM)、变迹器及任何其它光束形成及控制组件或子系统。

[0030] 照明光束分离器105将准直照明光的一部分引导到物镜106且将准直照明光的另一部分引导到强度监测器108。在一些实施例中,强度监测器108通信地耦合到计算系统130且将总体照明强度、照明强度轮廓或两者的指示提供到计算系统130。物镜106在入射角的宽范围内将照明光引导到样品107的表面。从样品107的表面反射、衍射及散射的光由物镜106收集且穿过收集光束分离器110。所收集光的一部分经引导穿过场检测路径,而所收集光的另一部分经引导穿过光瞳检测路径。照明光束分离器105及收集光束分离器110可包含任何适合光束分离元件,包含(但不限于)立方体光束分离器、金属涂层板、双色光学涂层板或其它光束分离机构。

[0031] 场检测路径包含可选择场收集孔口111、聚焦场光学装置112及至少一个场检测器。在一些实施例中,可选择场收集孔口111包含用以选择用于投射到场信号检测器113或114上的信号的一组场光阑。在一些实例中,更高阶场信号经选定用于投射到场信号检测器113或114上。可选择场收集孔口111的(若干)孔口可由任何适合装置形成,包含(但不限于)机械销孔、空间光调制器(SLM)、变迹器及任何其它光束形成及控制组件或子系统。

[0032] 在图1中所描绘的实施例中,系统100包含场成像检测器114及光谱场检测器113。内翻式镜机构120基于从计算系统130接收的命令信号(未展示)而选择性地位于场检测路径中。在一个配置中,内翻式镜机构120位于场检测路径中且所收集光引导到场成像检测器114。在另一配置中,内翻式镜机构120位于场检测路径外且所收集光引向光谱场检测器113。以此方式,系统100经配置以执行以图像为基础或以光谱为基础的场测量。在一个实施例中,场成像检测器114将由照明源照明的晶片表面的一部分成像到检测器上。场成像检测器114可为CCD摄影机、CMOS摄影机、阵列检测器等等。

[0033] 光瞳检测路径包含可选择光瞳收集孔口118、可选择窄带通滤波器115及将所收集光引导到光瞳检测器117的光瞳中继光学装置116。在一些实施例中,可选择光瞳收集孔口118包含用以选择用于投射到光瞳信号检测器117上的信号的一组场光阑。在一些实例中,更高阶光瞳信号经选定用于投射到光瞳信号检测器117上。可选择光瞳收集孔口118的(若干)孔口可由任何适合装置形成,包含(但不限于)机械销孔、空间光调制器(SLM)、变迹器及任何其它光束形成及控制组件或子系统。

[0034] 在所描绘的实施例中,光瞳检测器117是成像检测器。然而,在一些其它实施例中,光瞳检测器117是光谱检测器。一般来说,光瞳检测路径可包含经配置以同时或依序收集光瞳数据的一或多个光瞳检测器。

[0035] 如本文所描述,由光瞳成像检测器117检测的光瞳图像或由场成像检测器114检测的场图像可用以基于以图像为基础的SRM模型而直接测量所关注参数或基于测量信号合成模型而间接测量所关注参数,如本文所描述。在一个实施例中,光谱场检测器113是光谱仪。举非限制性实例来说,所检测光谱还可用于测量所关注参数。例示性所关注参数包含临界尺寸(CD)参数、覆盖参数、焦点参数、剂量参数、结构非对称性参数、结构粗糙度参数、定向自组装(DSA)图案均匀性参数、节距计步参数等等中的任一者。

[0036] 在图1中所描绘的实施例中,系统100包含照明路径中的偏光器103及收集路径中的分析器109。取决于偏光器103是否旋转,系统100可经配置以执行光谱反射计(SR)测量或光谱椭圆偏光计(SE)测量。以此方式,系统100可选择性地经配置以执行SR或SE测量。

[0037] 另外,系统100包含经配置以测量样品107在垂直于样品107的表面的方向上(即,坐标框架126中所描绘的z方向)相对于光学系统的位置的测量装置(例如,编码器125)。以此方式,编码器125提供样品107相对于光学系统的焦点位置的指示。光瞳信号123及场信号121或122可连同焦点位置124的指示一起收集以用于由计算系统130进行分析。基于焦点位置的估计,计算系统130将命令信号传达到晶片定位系统(未展示)或光学定位系统(未展示)以调整样品107相对于光学系统的焦点位置。以此方式,在图像获取期间监测及调整样品107的焦点位置。在一些其它实例中,当在z方向上递增地或连续地移动样品107的焦点位置时,收集图像数据。

[0038] 传统上,基于非成像测量数据(例如,由检测器113收集的光谱数据)来执行所关注参数的以模型为基础的测量。例如,以模型为基础的CD测量涉及包含关于所关注CD参数的计量目标的参数化的CD测量模型。另外,测量模型包含测量工具本身的参数化(例如,波长、入射角、偏光角等等)。另外,谨慎地执行模拟近似法(例如,层裂(slabbing)、严格耦合波分析(RCWA)等等)以避免引入过大误差。定义离散化及RCWA参数。

[0039] 机器参数(P_{machine})是用以表征计量工具本身的参数。例示性机器参数包含入射角

(AOI)、分析器角度 (A0)、偏光器角度 (P0)、照明波长、数值孔径 (NA) 等等。样品参数 (P_{specimen}) 是用以表征样品的几何性质及材料性质的参数。

[0040] 出于测量目的,多目标模型的机器参数被视为已知的固定参数,且测量模型的样品参数或样品参数的子集被视为未知的浮动参数。浮动参数是通过在理论预测与所测量数据之间产生最佳拟合的拟合过程(例如,回归、库匹配等等)解析。变动未知样品参数 P_{specimen} 且计算模型输出值直到确定导致模型输出值与所测量值之间接近匹配的一组样品参数值。以此方式执行测量是计算昂贵的。

[0041] 在一个方面中,将存在于所测量图像中的高信息内容变换成所关注结构参数的估计值。基于所测量的以图像为基础的训练数据(例如,从实验设计 (DOE) 晶片收集的图像)及对应参考测量数据来训练以图像为基础的信号响应计量 (SRM) 模型。接着,使用经训练的以图像为基础的测量模型以从自其它晶片收集的所测量图像数据直接计算一或多个所关注参数的值。本文所描述的经训练的以图像为基础的SRM模型直接接收图像数据作为输入且提供一或多个所关注参数的值的估计作为输出。通过简化测量过程,改进了预测结果并且减少计算及用户时间。

[0042] 通过仅使用原图像数据来产生以图像为基础的测量模型,如本文所描述,减小与传统的以图像为基础的计量方法相关联的误差及近似值。另外,以图像为基础的测量模型对系统误差、非对称性等等不敏感,这是因为以图像为基础的测量模型基于从特定计量系统收集的图像数据来训练且用以基于从相同计量系统收集的图像来执行测量。

[0043] 在一些实例中,可在不到一小时内产生以图像为基础的SRM模型。另外,通过采用简化模型,相比于既有的以图像为基础的计量方法,测量时间得以减少。第2014/0297211号美国专利公开案及第2014/0316730号美国专利公开案中描述额外建模细节,每一专利公开案的标的物以其全文引用方式并入本文中。

[0044] 一般来说,本文所描述的方法及系统从整体角度来分析每一图像。代替辨识图像中的个别特征,每一像素被视为含有关于结构参数、过程参数、分散参数等等(或对结构参数、过程参数、分散参数等等敏感)的信息的个别信号。

[0045] 图2说明适于由例如本发明的图1中所说明的测量系统100的测量系统实施的方法200。在一个方面中,应认识到,方法200的数据处理块可经由由计算系统130或任何其它通用计算系统的一或多个处理器执行的预编程算法实行。本文中应认识到,测量系统100的特定结构方面不表示限制且应被解释为仅具说明性。

[0046] 在块201中,由照明源照明多个实验设计 (DOE) 测量位点。DOE测量位点定位在位于一或多个DOE晶片上的若干不同场处。每一DOE测量位点包含由至少一个所关注参数表征的至少一个结构的例子。所述结构可为专用计量目标、装置结构、光栅结构等等。

[0047] 所关注参数包含一或多个过程参数、结构参数、分散参数或布局参数。测量位点中的每一者包含测量位点中的每一者内的相同标称位置处的相同标称结构。在一个实例中,测量位点涵盖半导体晶片中跨越晶片表面重复构造的场区。在一些实例中,测量位点涵盖跨越晶片表面重复构造的裸片区域。尽管每一测量位点标称地包含相同结构,但实际上且出于模型训练目的,每一测量位点包含各种参数(例如,CD、侧壁角度、高度、覆盖等等)的变动。

[0048] 出于模型训练目的,(若干)所关注参数的变动以实验设计 (DOE) 图案组织在半导

体晶片(例如,DOE晶片)的表面上。以此方式,晶片表面上的不同位置处的测量位点对应于(若干)所关注参数的不同值。在一个实例中,DOE图案是焦点曝光矩阵(FEM)图案。通常,展现FEM图案的DOE晶片包含测量位点的格栅图案。在一个格栅方向(例如,x方向)上,焦点是变化的,而曝光量保持恒定。在正交格栅方向(例如,y方向)上,曝光量是变化的,而焦点保持恒定。以此方式,从DOE晶片收集的图像数据包含与焦点及曝光量变动相关联的数据。图4描绘DOE晶片160,所述DOE晶片具有包含展现(若干)所关注参数(例如,焦点及曝光量)的变动的结构的测量位点(例如,测量位点161)的格栅。焦点依据在x方向上DOE晶片160上的位置而变化。曝光量依据在y方向上DOE晶片160上的位置而变化。

[0049] 在一些实施例中,图像包含装置区。测量位点的特定图像的每一像素表示在特定照明条件及收集条件、波长、偏光等等下收集的光的强度。图5描绘晶片160的不同测量位点的图像162到164。每一图像表示测量位点内的装置结构的鸟瞰图。测量位点是由其X坐标及Y坐标识别。

[0050] 在一些其它实施例中,图像包含经设计以促进(若干)所关注参数的以图像为基础的测量的特定目标。可采用特殊设计目标以改进装置表示、最大化对(若干)所关注参数(焦点、剂量、CD)的敏感度及减少与过程变动的关联。

[0051] 在前述实例中,图像数据与使用焦点及曝光量(即,剂量)的变动处理的DOE晶片相关联。然而,一般来说,可预期与过程参数、结构参数、分散参数等等的任何变动相关联的图像数据。DOE晶片的图像应展现(若干)所关注参数的范围。

[0052] 在块202中,响应于多个DOE测量位点中的每一者的照明而检测从多个DOE测量位点中的每一者成像的光。在一个实例中,图1中所描绘的场成像检测器114检测从每一DOE测量位点处的晶片107的表面成像的光。在另一实例中,光瞳成像检测器117检测从每一DOE测量位点处的物镜106的光瞳成像的光。

[0053] 在块203中,产生多个DOE测量位点中的每一者的图像。在一个实例中,场成像检测器114产生DOE测量位点中的每一者的图像且将指示每一所产生图像的信号122传达到计算系统130。在另一实例中,光瞳成像检测器117产生DOE测量位点中的每一者的光瞳图像且将指示每一所产生光瞳图像的信号传达到计算系统130。

[0054] 在一些实例中,产生每一测量位点的单个图像。在这些实例中,每一测量位点的每一图像包含与每一图像像素相关联的单个测量信号值。在一些实例中,单个测量值是由成像反射计以一组特定测量系统设置(例如,波长、偏光、入射角、方位角等等)测量的每一像素的位置处的反射率。

[0055] 在一些其它实例中,产生每一测量位点的多个图像。每一测量位点的图像中的每一者包含与每一像素相关联的单个测量信号值。因此,针对每一像素测量多个测量信号值。一般来说,每一测量位点的图像中的每一者由相同测量系统以不同设置(例如,波长、偏光、入射角、方位角等等)、不同测量技术或其组合测量。以此方式,可针对每一测量位点的每一像素汇集一组不同测量数据。一般来说,可从任何以成像为基础的系统收集图像数据,例如光学成像系统、显微镜、扫描电子显微镜、穿隧电子显微镜或其它图像形成系统。

[0056] 在块204中,由可信参考计量系统估计多个DOE测量位点中的每一者处的至少一个所关注参数的参考测量值。由参考测量系统或参考测量系统组合基于任何适合计量技术或计量技术组合而执行参考测量。举非限制性实例来说,可采用扫描电子显微镜、以光学为基

础的测量系统、以x射线为基础的测量系统、穿隧电子显微镜系统及原子力显微镜系统中的任一者以执行DOE测量位点的参考测量。

[0057] 如图1中所描绘,在一个实例中,每一DOE测量位点处的所关注参数的参考测量151从参考测量源150传达到计算系统130。

[0058] 在图1中所描绘的另一实例中,光谱场检测器113产生指示从由每一测量位点内的每一所关注参数表征的一或多个结构收集的光的测量信号121。在此实例中,测量信号是光谱散射测量信号。计算系统130执行以模型为基础的测量(例如,光学临界尺寸测量)以基于所检测测量信号121来估计每一测量位点处的每一所关注参数的值。

[0059] 在任选块(未展示)中,图像中的每一者与每一测量位点的共同参考位置对准。以此方式,来自每一图像的任何特定像素对应于每一成像测量位点上的相同位置。在一个实例中,所收集图像经对准使得图像匹配所述组的第一图像。图6说明与图像162相关联的像素165的格栅。在一些实例中,测量系统以高精度操作且额外图像对准是非必要的。据此来说,图像对准是任选的。

[0060] 在另一任选块(未展示)中,图像中的每一者是由一或多个图像滤波器滤波。可将图像滤波器用于噪声减少、对比度增强等等。在一个实例中,可采用图像滤波器以通过检测边缘及移除或掩蔽边缘及邻近区域而减少边缘效应。以此方式,后续图像样本取自相对均质的装置区域。所采用图像滤波器可由用户或由自动程序选择。选择不同图像滤波器的数目及与每一选定滤波器相关联的参数以改进最终测量结果而不会有过度计算负担。尽管使用以图像为基础的滤波器可有利,但一般来说,这是非必要的。据此来说,图像滤波是任选的。

[0061] 每一测量位点的每一图像可包含数百万像素,且仅少量所述像素具有与所关注参数的任何关联。在另一任选块(未展示)中,与多个第一图像中的每一者相关联的像素的子集经选定用于模型训练及测量。与多个第一图像中的每一者的相同选定像素相关联的测量信号值用于模型训练及测量。在许多实例中,这对于最小化计算工作量是合意的。

[0062] 图7描绘经选定用于模型训练及测量的不同位置处的像素的两个不同群组。在所描绘实例中,像素群组170、172及174分别对应于图像162、163及164上的相同位置。类似地,像素群组171、173及175分别对应于图像162、163及164上的相同位置。与这些像素中的每一者相关联的测量信号用于模型训练及测量。图8描绘在图7中所说明的像素位置处取样的所测量强度(例如,反射率)值的向量176。此经取样图像数据用于模型训练及测量。在图8中所描绘的实例中, $^1I_{(I_1, J_1)}$ 是与图像162的像素群组170相关联的强度值, $^2I_{(I_1, J_1)}$ 是与图像163的像素群组172相关联的强度值,且 $^N I_{(I_1, J_1)}$ 是与图像164的像素群组174相关联的强度值。类似地, $^1I_{(I_2, J_2)}$ 是与图像162的像素群组171相关联的强度值, $^2I_{(I_2, J_2)}$ 是与图像163的像素群组173相关联的强度值,且 $^N I_{(I_2, J_2)}$ 是与图像164的像素群组175相关联的强度值。以此方式,向量176包含来自每一成像测量位点的相同位置处的像素群组的强度测量信号。

[0063] 在一些实例中,像素或像素的群组因其接近与由所关注参数表征的结构而被选定。在一个实例中,选定像素与所关注结构周围的为所关注结构的五倍到十倍大的区相关联。在其它实例中,随机选择像素位置。在一些其它实例中,基于像素位置的测量敏感度而选择像素位置。在一个实例中,从图像的集合计算与每一像素位置相关联的测量信号值的方差。与每一像素位置相关联的方差是表征每一对应像素位置处的测量敏感度的计量。具

有相对高方差的像素位置提供较高测量敏感度且经选定用于进一步分析。具有相对低方差的像素位置提供较低测量敏感度且被废除。在一些实例中,选择方差的预定阈值,且具有超过预定阈值的方差的像素位置经选定用于模型训练及测量。以此方式,仅取样最敏感位置。在一些实例中,与多个第一图像中的每一者相关联的所有像素经选定用于模型训练及测量。据此来说,像素选择是任选的。

[0064] 在另一任选块(未展示)中,基于选定图像数据来确定特征提取模型。特征提取模型减小图像数据的尺寸。特征提取模型将原始信号映射到一组新缩减信号。基于选定图像中的(若干)所关注参数的变动来确定变换。每一图像的每一像素被视为在不同图像的过程范围内改变的原始信号。特征提取模型可应用于所有图像像素或图像像素的子集。在一些实例中,随机选择经受由特征提取模型分析的像素。在一些其它实例中,归因于经受由特征提取模型分析的像素对(若干)所关注参数的变化的相对高敏感度而选择像素。例如,可忽略对(若干)所关注参数的变化不敏感的像素。

[0065] 举非限制性实例来说,特征提取模型可为主成分分析(PCA)模型、核心PCA模型、非线性PCA模型、独立成分分析(ICA)模型或使用辞典的其它维数减少方法、离散余弦变换(DCT)模型、快速傅里叶变换(FFT)模型、小波模型等等。

[0066] 在典型实验设计中,晶片上的位置经编程以具有特定几何参数值及过程参数值(例如,焦点、剂量、覆盖、CD、侧壁角度、高度等等)。因此,主成分表示允许依据过程参数或几何参数而将一或多个信号表示映射在整个晶片上。图案的本质捕获装置的基本性质,无论其是包含隔离特征还是密集特征。

[0067] 在块205中,基于所产生图像或从所产生图像提取的特征及至少一个所关注参数的参考值来训练以图像为基础的信号响应计量(SRM)模型。以图像为基础的SRM模型经结构化以接收由计量系统在一或多个测量位点处产生的图像数据且直接确定与每一测量目标相关联的(若干)所关注参数。在一些实施例中,以图像为基础的测量模型实施为神经网络模型。在一个实例中,基于从图像数据提取的特征来选择神经网络的节点的数目。在其它实例中,以图像为基础的SRM模型可实施为线性模型、多项式模型、响应表面模型、支持向量机模型或其它类型的模型。在一些实例中,以图像为基础的测量模型可实施为模型的组合。在一些实例中,基于从特征提取模型确定的所述组缩减信号及(若干)所关注参数的所测量参考值来训练选定模型。模型经训练使得其输出针对由DOE图像定义的参数变动空间中的所有图像拟合(若干)所关注参数的所测量参考值。

[0068] 如图1中所描绘,计算系统130训练以图像为基础的SRM模型使得其输出针对从场成像检测器114或光瞳成像检测器117接收的每一DOE测量位点的每一DOE图像拟合从参考测量源150接收的参考值或基于测量信号121计算的参考值。

[0069] 在另一方面中,采用经训练的以图像为基础的SRM模型作为用于测量其它晶片的测量模型。图3说明适于由例如本发明的图1中所说明的计量系统100的计量系统实施的方法210。在一个方面中,应认识到,方法210的数据处理块可经由由计算系统130或任何其它通用计算系统的一或多个处理器执行的预编程算法实行。本文中应认识到,计量系统100的特定结构方面不表示限制且应被解释为仅具说明性。

[0070] 在块211中,根据相同的以图像为基础的计量技术或用以产生用于训练以图像为基础的SRM模型的图像的以图像为基础的计量技术的组合来照明测量位点。测量位点是不

同于DOE测量位点中的任一者的测量位点。测量位点包含由(若干)所关注参数表征的至少一个结构的例子。

[0071] 在块212中,响应于测量位点的照明而检测从测量位点成像的光。在一个实例中,图1中所描绘的场成像检测器114检测从测量位点处的晶片107的表面成像的光。在另一实例中,光瞳成像检测器117检测从测量位点处的物镜106的光瞳成像的光。

[0072] 在块213中,产生测量位点的图像。在一个实例中,场成像检测器114产生测量位点的图像且将指示所产生图像的信号122传达到计算系统130。在另一实例中,光瞳成像检测器117产生测量位点的光瞳图像且将指示所产生光瞳图像的信号传达到计算系统130。

[0073] 在一些实例中,图像数据经受参考方法200所描述的相同对准、滤波、取样及特征提取步骤。尽管使用这些步骤中的任一者或所有者可有利,但一般来说,这是不必要的。据此来说,这些步骤是任选的。

[0074] 在块214中,基于经训练的以图像为基础的SRM模型及测量位点的图像来确定表征测量位点处的结构的例子的至少一个所关注参数的值。测量位点的图像由以图像为基础的SRM模型处理以确定(若干)所关注参数的(若干)值。

[0075] 在另一块(未展示)中,将经确定的(若干)所关注参数的(若干)值存储在存储器中。例如,可将参数值机上存储在测量系统100上(例如,存储器132中),或可(例如,经由输出信号140)传达到外部存储器装置。

[0076] 在另一方面中,将所测量图像转换成与场中的一或多个位置处的以模型为基础的测量技术相关联的以合成非成像为基础的测量信号。采用以模型为基础的测量技术以基于合成信号来估计所关注结构参数的值。基于所测量的以图像为基础的训练数据(例如,从实验设计(DOE)晶片收集的图像)及对应非成像测量数据来训练测量信号合成模型。在进一步方面中,针对每一成像场中的不同位置中的多个结构产生合成信号。在一些实例中,基于合成信号执行以模型为基础的测量明显比获取每一不同位置处的实际测量数据快。

[0077] 图9说明适于由例如本发明的图1中所说明的测量系统100的测量系统实施的方法220。在一个方面中,应认识到,方法200的数据处理块可经由由计算系统130或任何其它通用计算系统的一或多个处理器执行的预编程算法实行。本文中应认识到,测量系统100的特定结构方面不表示限制且应被解释为仅具说明性。

[0078] 在块221中,由照明源照明多个DOE测量位点。DOE测量位点定位在位于一或多个DOE晶片上的若干不同场处。每一DOE测量位点包含由至少一个所关注参数表征的至少一个结构的例子。所述结构可为专用计量目标、装置结构、光栅结构等等。

[0079] 如参考方法200所描述,所关注参数包含一或多个过程参数、结构参数、分散参数或布局参数。测量位点中的每一者包含测量位点中的每一者内的相同标称位置处的相同标称结构。在一个实例中,测量位点涵盖半导体晶片中跨越晶片表面重复构造的场区。在一些实例中,测量位点涵盖跨越晶片表面重复构造的裸片区。尽管每一测量位点标称地包含相同结构,但实际上且出于模型训练目的,每一测量位点包含各种参数(例如,CD、侧壁角度、高度、覆盖等等)的变动。出于模型训练目的,(若干)所关注参数的变动以实验设计(DOE)图案组织在半导体晶片(例如,DOE晶片)的表面上,如参考方法200所描述。

[0080] 在块222中,响应于多个DOE测量位点中的每一者的照明而检测从多个DOE测量位点中的每一者成像的光。在一个实例中,图1中所描绘的场成像检测器114检测从每一DOE测

量位点处的晶片107的表面成像的光。在另一实例中,光瞳成像检测器117检测从每一DOE测量位点处的物镜106的光瞳成像的光。

[0081] 在块223中,产生多个DOE测量位点中的每一者的图像。在一个实例中,场成像检测器114产生DOE测量位点中的每一者的图像且将指示每一所产生图像的信号122传达到计算系统130。在另一实例中,光瞳成像检测器117产生DOE测量位点中的每一者的光瞳图像且将指示每一所产生光瞳图像的信号传达到计算系统130。

[0082] 在一些实例中,产生每一测量位点的单个图像。在这些实例中,每一测量位点的每一图像包含与每一图像像素相关联的单个测量信号值。在一些实例中,单个测量值是由成像反射计以一组特定测量系统设置(例如,波长、偏光、入射角、方位角等等)测量的每一像素的位置处的反射率。在一些其它实例中,产生每一测量位点的多个图像,如参考方法200所描述。

[0083] 在一些实例中,图像数据经受参考方法200所描述的相同对准、滤波、取样及特征提取步骤。尽管使用这些步骤中的任一者或所有者可有利,但一般来说,这是不必要的。据此来说,这些步骤是任选的。

[0084] 在块224中,根据一或多个非成像测量技术,检测从位于多个DOE测量位点中的每一者内的每一参数化结构收集的光。在图1中所描绘的一个实例中,光谱场检测器113检测从由每一测量位点内的每一所关注参数表征的一或多个结构收集的光。

[0085] 在块225中,产生指示多个DOE测量位点中的每一者处的所检测光的一或多个测量信号。在图1中所描绘的一个实例中,光谱场检测器113产生指示从由每一测量位点内的每一所关注参数表征的一或多个结构收集的光的测量信号121。在此实例中,测量信号为光谱散射测量信号。

[0086] 在块226中,训练测量信号合成模型。测量信号合成模型使多个DOE测量位点中的每一者的图像与一或多组测量信号相关,所述一或多组测量信号与多个DOE测量位点中的每一者处的每一参数化结构的每一非成像测量相关联。测量信号合成模型经结构化以接收由计量系统在一或多个测量位点处产生的图像数据,且直接确定与位于多个DOE测量位点中的每一者内的每一参数化结构的非成像测量相关联的合成测量信号。在一些实施例中,测量信号合成模型实施为神经网络模型。在一个实例中,基于从图像数据提取的特征来选择神经网络的节点的数目。在其它实例中,测量信号合成模型可实施为线性模型、多项式模型、响应表面模型、支持向量机模型或其它类型的模型。在一些实例中,测量信号合成模型可实施为模型的组合。在一些实例中,基于从特征提取模型确定的精简信号集及基于一或多个非成像计量技术测量的信号来训练选定模型。模型经训练使得其输出针对由DOE图像定义的参数变动空间中的所有图像拟合所测量信号。

[0087] 如图1中所描绘,计算系统130训练测量信号合成模型,使得其输出针对从场成像检测器114或光瞳成像检测器117接收的每一DOE测量位点的每一图像拟合与每一DOE测量位点内测量的每一参数化结构相关联的测量信号121。

[0088] 在一个进一步方面中,采用经训练的测量信号合成模型以将所测量图像变换成与一或多个以模型为基础的测量技术相关联的以合成非成像为基础的测量信号。采用一或多个以模型为基础的测量技术,以基于合成信号来估计所关注结构参数的值。

[0089] 图10说明适于由例如本发明的图1中所说明的计量系统100的计量系统实施的方

法230。在一个方面中,应认识到,方法230的数据处理块可经由由计算系统130或任何其它通用计算系统的一或多个处理器执行的预编程算法实行。本文中应认识到,计量系统100的特定结构方面不表示限制且应被解释为仅具说明性。

[0090] 在块231中,根据相同的以图像为基础的计量技术或用以产生用于训练测量信号合成模型的图像的以图像为基础的计量技术的组合来照明测量位点。测量位点是不同于DOE测量位点中的任一者的测量位点。测量位点包含由(若干)所关注参数表征的至少一个结构的例子。

[0091] 在块232中,响应于测量位点的照明而检测从测量位点成像的光。在一个实例中,图1中所描绘的场成像检测器114检测从测量位点处的晶片107的表面成像的光。在另一实例中,光瞳成像检测器117检测从测量位点处的物镜106的光瞳成像的光。

[0092] 在块233中,产生测量位点的图像。在一个实例中,场成像检测器114产生测量位点的图像,且将指示所产生图像的信号122传达到计算系统130。在另一实例中,光瞳成像检测器117产生测量位点的光瞳图像,且将指示所产生光瞳图像的信号传达到计算系统130。

[0093] 在一些实例中,图像数据经受参考方法230所描述的相同对准、滤波、取样及特征提取步骤。尽管使用这些步骤中的任一者或所有者可是有利的,但一般来说,这是不必要的。据此来说,这些步骤是任选的。

[0094] 在块234中,基于经训练的测量信号合成模型及测量位点的图像来产生与测量位点相关联的一组合成测量信号。合成测量信号是与由用于测量信号合成模型的训练的每一测量位点内的每一所关注参数表征的(若干)相同结构的不同例子相关联。在一个实例中,合成测量信号是与由图1中所描绘的光谱场检测器113执行的测量相关联。

[0095] 在块235中,根据非成像测量技术而基于合成测量信号与测量位点的测量的模型的拟合来确定表征测量位点处的至少一个结构的例子的至少一个所关注参数的值。在一个实例中,所述组合成信号是由计算系统130接收。计算系统130执行以模型为基础的测量(例如,光学临界尺寸测量),以基于所述组合成测量信号来估计每一测量位点处的每一所关注参数的值。

[0096] 在块236中,将(若干)所关注参数的(若干)经确定值存储在存储器中。例如,可将参数值机上存储在测量系统100上(例如,存储器132中),或可(例如,经由输出信号140)传达到外部存储器装置。

[0097] 在另一进一步方面中,可根据本文所描述的系统及方法从装置上结构的图像来确定所关注参数的值。在一些实施例中,装置上结构的图像用以训练如本文所描述的以图像为基础的SRM模型或测量信号合成模型。接着,使用经训练的模型来直接从图像或间接经由从其它晶片收集的相同装置上结构的合成信号计算一或多个所关注参数的值。在这些实施例中,避免使用专门目标。在一些其它实施例中,使用计量目标且目标大小可小于10微米乘10微米。一般来说,如果使用计量目标,那么可从单个图像测量多个目标且计量目标可包含一个结构或一个以上不同结构。

[0098] 由根据本文所描述的方法及系统测量的所关注参数表征的示例性结构包含线空间光栅结构、FinFET结构、SRAM存储器结构、FLASH存储器结构及DRAM存储器结构。

[0099] 如上文所描述,本文所描述的测量方法及系统不限于专门目标。一般来说,可根据本文所描述的方法及系统采用当由可用成像系统成像时展现对所关注参数的敏感度的任

何目标。然而,在一些实例中,有利的是,采用当由可用成像系统成像时展现对所关注参数的高敏感度的专门测量目标以提高以图像为基础的测量性能。在一些实例中,测量目标位于半导体区的切割道中。在其它实例中,测量目标位于装置区内。

[0100] 在另一进一步方面中,用于训练以图像为基础的测量模型的方法及系统包含用于自动化达成经训练模型所需的元件中的任一者或所有者的优化算法。

[0101] 在一些实例中,优化算法经配置以通过优化以下参数中的任一者或所有者而最大化测量的性能(由成本函数界定):图像滤波器的列表、滤波器的参数、像素取样、特征提取模型的类型、选定特征提取模型的参数、测量模型的类型、选定测量模型的参数。优化算法可包含用户界定的启发法且可为嵌套优化(例如,组合及连续优化)的组合。

[0102] 在进一步方面中,收集包含多个不同目标的图像数据以用于模型建构、训练及测量。使用与具有不同结构但由相同过程条件形成的多个目标相关联的图像数据增加嵌入模型中的信息且减少与过程或其它参数变动的关联。特定来说,使用包含一或多个测量位点处的多个不同目标的图像的训练数据实现所关注参数的值的更精确估计。在一个实例中,不同光栅结构或膜垫用作用于模型训练及测量的目标,如本文所描述。

[0103] 在另一进一步方面中,来自多个目标的信号可经处理以减少对过程变动的敏感度且增加对所关注参数的敏感度。在一些实例中,来自不同目标的图像或图像的部分的信号彼此减去。在一些其它实例中,来自不同目标的图像或图像的部分的信号与模型拟合,且残余部分用以构建、训练及使用如本文所描述的模型。在一个实例中,来自两个不同目标的图像信号被减去以消除或显著减少每一测量结果中的过程噪声的影响。在另一实例中,来自多个目标的测量信号被减去以消除或显著减少每一测量结果中的下层的影响。使用与多个目标相关联的测量数据增加嵌入模型中的样本及过程信息。一般来说,各种数学运算可应用于来自不同目标图像或目标图像的部分的信号之间以确定具有对过程变动的减少敏感度及对所关注参数的增加敏感度的图像信号。

[0104] 在另一进一步方面中,收集从由多个不同测量技术的组合执行的测量导出的测量数据以用于模型建构、训练及测量。使用与多个不同测量技术相关联的测量数据增加所述组组合信号中的信息内容且减少与过程或其它参数变动的关联。不同测量位点可由多个不同测量技术测量以增强可用于所关注参数的估计的测量信息。

[0105] 在另一进一步方面中,根据本文所描述的方法及系统,以多个波长的测量结果经组合以用于模型训练及测量。

[0106] 一般来说,由于由特征提取模型、以图像为基础的SRM模型及测量信号合成模型中的任一者处理的数据是呈向量形式,因此可在本专利文献的范围内预期任何以图像为基础的测量技术或者两个或两个以上以图像为基础的测量技术的组合。因为模型对数据的向量进行操作,所以独立地处理图像数据的每一像素。另外,可连接来自多个不同计量的数据,不管数据是二维图像数据、一维图像数据或甚至单点数据。

[0107] 可应用于根据本文所描述的方法提供用于模型训练的测量信号及用于参数估计的测量模型的例示性测量技术包含(但不限于)以一或多个照明角度的光谱椭圆偏光法,包含穆勒(Mueller)矩阵椭圆偏光法、光谱反射测量法、角度解析反射测量法、光谱散射测量、散射测量覆盖、光束轮廓反射测量法(角度解析及偏光解析两者)、光束轮廓椭圆偏光法、单个或多个离散波长椭圆偏光法、单波长反射测量法、单波长椭圆偏光法、传输小角度x射线

散射计 (TSAXS)、小角度 x 射线散射 (SAXS)、掠入射小角度 x 射线散射 (GISAXS)、宽角度 x 射线散射 (WAXS)、x 射线反射率 (XRR)、x 射线衍射 (XRD)、掠入射 x 射线衍射 (GIXRD)、高分辨率 x 射线衍射 (HRXRD)、x 射线光电子光谱 (XPS)、x 射线荧光 (XRF)、掠入射 x 射线荧光 (GIXRF)、x 射线断层摄影术、x 射线椭圆偏光法、扫描电子显微术、穿隧电子显微术及原子力显微术。前述计量技术中的任一者可单独实施为独立测量系统的部分或组合成整合测量系统。一般来说,由不同测量技术收集且根据本文所描述的方法分析的测量数据可从多个工具而非整合多个技术的一个工具收集。

[0108] 在另一进一步方面中,由多个计量测量的信号可经处理以减少对过程变动的敏感度且增加对所关注参数的敏感度。在一些实例中,来自不同计量测量的目标的图像或图像的部分的信号彼此减去。在一些其它实例中,来自不同计量测量的目标的图像或图像的部分的信号与模型拟合,且残余部分用以构建、训练及使用如本文所描述的以图像为基础的测量模型。在一个实例中,来自两个不同计量测量的目标的图像信号被减去以消除或显著减少每一测量结果中的过程噪声的影响。一般来说,各种数学运算可应用于由不同计量测量的目标图像或目标图像的部分的信号之间以确定具有对过程变动的减少敏感度及对所关注参数的增加敏感度的图像信号。

[0109] 一般来说,来自每一由多个计量技术测量的多个目标的图像信号增加所述组组合信号中的信息内容且减少与过程或其它参数变动的覆盖关联。

[0110] 在另一进一步方面中,可从例如晶片上的场或裸片区内或切割道内发现的专用计量目标、装置结构或代替结构的测量目标收集图像数据及非成像数据。

[0111] 在一些实例中,本文所描述的测量方法实施为可从美国加利福尼亚州苗必达的 KLA-Tencor Corporation 购得的 SpectraShape® 光学临界尺寸计量系统的元件。

[0112] 在一些其它实例中,本文所描述的测量方法是由(例如)实施可从美国加利福尼亚州苗必达的 KLA-Tencor Corporation 购得的 AcuShape® 软件的计算系统脱机实施。

[0113] 在又一方面中,本文所描述的测量结果可用以将主动反馈提供到处理工具(例如,光刻工具、蚀刻工具、沉积工具等等)。例如,使用本文所描述的方法确定的覆盖误差的值可传达到光刻工具来调整光刻系统以达成所要输出。蚀刻参数(例如,蚀刻时间、扩散率等等)或沉积参数(例如,时间、浓度等等)可以类似方式包含在测量模型中以将主动反馈分别提供到蚀刻工具或沉积工具。

[0114] 一般来说,本文所描述的系统及方法可实施为制备用于脱机或工具上测量的测量模型的过程的部分。另外,测量模型可描述一或多个目标结构、装置结构及测量位点。

[0115] 在进一步方面中,用于如本文所描述的模型训练及测量的图像是从场中的不同位置的多个部分图像的线性或非线性变换的结果。

[0116] 在另一进一步方面中,用于如本文所描述的模型训练及测量的图像是从不同场中的不同位置的多个部分图像的线性或非线性变换的结果。

[0117] 在另一进一步方面中,用于如本文所描述的模型训练及测量的图像是从场中的不同位置的多个部分图像的线性或非线性变换的结果,且用于模型训练的非成像测量信号(例如,散射测量信号)是与场中的不同测量位置相关联。

[0118] 在另一实施例中,系统 100 可包含用以根据本文所描述的方法执行测量的一或多个计算系统 130。一或多个计算系统 130 可通信地耦合到系统 100 的检测器。在一个方面中,

一或多个计算系统130经配置以接收与样品107的结构的测量相关联的测量数据。

[0119] 应认识到,本发明全文中所描述的各种步骤可由单计算机系统130或(替代地)多计算机系统130实施。再者,系统100的不同子系统(例如散射计及光束轮廓反射计)可包含适于实施本文所描述的步骤的至少一部分的计算机系统。因此,前述描述不应被解释为限制但仅说明本发明。此外,一或多个计算系统130可经配置以执行本文所描述的方法实施例中的任一者的(若干)任何其它步骤。

[0120] 另外,计算机系统130可以所属技术领域中已知的任何方式通信地耦合到系统100的检测器。例如,一或多个计算系统130可耦合到与系统100的检测器相关联的计算系统。在另一实例中,检测器可直接由耦合到计算机系统130的单计算机系统控制。

[0121] 计量系统100的计算机系统130可经配置以由可包含缆线及/或无线部分的传输媒体从系统的子系统(例如,检测器113、114及117及其类似者)接收及/或获取数据或信息。以此方式,传输媒体可充当计算机系统130与系统100的其它子系统之间的数据链路。

[0122] 系统100的计算机系统130可经配置以由可包含缆线及/或无线部分的传输媒体从其它系统接收及/或获取数据或信息(例如,测量结果、建模输入、建模结果等等)。以此方式,传输媒体可充当计算机系统130与其它系统(例如,存储器机上计量系统100、外部存储器或其它外部系统)之间的数据链路。例如,计算系统130可经配置以经由数据链路从存储媒体(即,存储器132或外部存储器)接收测量数据。例如,使用光谱仪113获得的光谱测量结果可存储在永久或半永久存储器装置(例如,存储器132或外部存储器)中。据此来说,光谱结果可从机上存储器或从外部存储器系统输入。再者,计算机系统130可经由传输媒体将数据发送到其它系统。例如,由计算机系统130确定的参数值140可传达且存储在外部存储器中。据此来说,测量结果可输出到另一系统。

[0123] 计算系统130可包含(但不限于)个人计算机系统、主计算机系统、工作站、图像计算机、并行处理器或所属技术领域中已知的任何其它装置。一般来说,术语“计算系统”可广泛地定义以涵盖具有一或多个处理器(其执行来自存储器媒体的指令)的任何装置。

[0124] 实施例如本文所描述的方法的程序指令134可经由例如线、电缆或无线传输链路的传输媒体传输。例如,如图1中所说明,存储在存储器132中的程序指令134经由总线133传输到处理器131。程序指令134存储在计算机可读媒体(例如,存储器132)中。例示性计算机可读媒体包含只读存储器、随机存取存储器、磁盘或光盘或者磁带。

[0125] 如本文所描述,术语“临界尺寸”包含结构的任何临界尺寸(例如,底部临界尺寸、中间临界尺寸、顶部临界尺寸、侧壁角度、光栅高度等等)、任何两个或两个以上结构之间的临界尺寸(例如,两个结构之间的距离)及两个或两个以上结构之间的位移(例如,覆盖光栅结构之间的覆盖位移等等)。结构可包含三维结构、图案化结构、覆盖结构等等。

[0126] 如本文所描述,术语“临界尺寸应用”或“临界尺寸测量应用”包含任何临界尺寸测量。

[0127] 如本文所描述,术语“计量系统”包含至少部分用以表征样品的任何方面的任何系统,包含例如临界尺寸计量、覆盖计量、焦点/剂量计量及成分计量的测量应用。然而,此类技术术语不限制如本文所描述的术语“计量系统”的范围。另外,计量系统100可经配置以用于图案化晶片及/或未图案化晶片的测量。计量系统可配置为LED检验工具、边缘检验工具、背面检验工具、宏检验工具或多模态检验工具(涉及同时来自一或多个平台的数据)及基于

临界尺寸数据而从系统参数的校准获益的任何其它计量或检验工具。

[0128] 本文描述可用于处理样品的半导体处理系统(例如,检验系统或光刻系统)的各种实施例。本文所使用的术语“样品”指称晶片、主光罩或可由所属技术领域中已知的方法处理(例如,印刷或检验缺陷)的任何其它样本。

[0129] 如本文所描述,术语“晶片”一般指称由半导体或非半导体材料形成的衬底。实例包含(但不限于)单晶硅、砷化镓及磷化铟。此类衬底一般可在半导体制造设施中发现及/或处理。在一些情况中,晶片可仅包含衬底(即,裸晶片)。替代地,晶片可包含形成在衬底上方的一或多层不同材料。形成在晶片上的一或多层可经“图案化”或“非图案化”。例如,晶片可包含多个具有可重复图案特征的裸片。

[0130] “主光罩”可为主光罩制造过程的任何阶段处的主光罩或者可或可不经释放用于在半导体制造设施中使用的完整主光罩。主光罩或“掩模”一般定义为具有形成在其上且配置在图案中的大体上不透明区域的大体上透明衬底。衬底可包含(例如)例如非晶质 SiO_2 的玻璃材料。在光刻过程的曝光步骤期间,主光罩可安置在覆盖抗蚀剂的晶片上使得主光罩上的图案可转印到抗蚀剂。

[0131] 形成在晶片上的一或多层可经图案化或非图案化。例如,晶片可包含多个裸片,每一裸片具有可重复图案特征。此类层的材料的形成及处理可最终导致完整装置。许多不同类型的装置可形成在晶片上,且术语“晶片”(如本文所使用)意欲涵盖其上制造所属技术领域中已知的任何类型的装置的晶片。

[0132] 在一或多个例示性实施例中,所描述功能可在硬件、软件、固件或其任何组合中实施。如果在软件中实施,那么功能可存储在计算机可读媒体上或作为一或多个指令或程序代码而经由所述计算机可读媒体传输。计算机可读媒体包含计算机存储媒体以及包含促进计算机过程从一个位置传送到另一位置的任何媒体的通信媒体两者。存储媒体可为可由通用或专用计算机存取的任何可用媒体。举实例来说,且非具限制性,此类计算机可读媒体可包括RAM、ROM、EEPROM、CD-ROM或其它光盘存储装置、磁盘存储装置或其它磁性存储装置,或可用以以指令或数据结构形式携载或存储所要程序代码构件及可由通用或专用计算机或者通用或专用处理器存取的任何其它媒体。再者,任何连接适当地称为计算机可读媒体。例如,如果使用同轴电缆、光纤电缆、双绞线、数字订户线(DSL)或例如红外线、无线电及微波的无线技术将软件从网站、服务器或其它远程源传输,那么同轴电缆、光纤电缆、双绞线、DSL或例如红外线、无线电及微波的无线技术包含在媒体的定义中。磁盘及光盘(如本文所使用)包含压缩光盘(CD)、激光光盘、光学光盘、数字多功能光盘(DVD)、软磁盘及蓝光光盘,其中磁盘通常磁性地再现数据,而光盘使用激光光学地再现数据。上述组合也应包含在计算机可读媒体的范围内。

[0133] 尽管上文出于指导目的而描述某些特定实施例,但本专利文献的教示具有一般应用性且不限于上文所描述的特定实施例。因此,可在不背离如权利要求书中所阐述的本发明的范围的情况下实践所描述实施例的各种特征的各种修改、变更及组合。

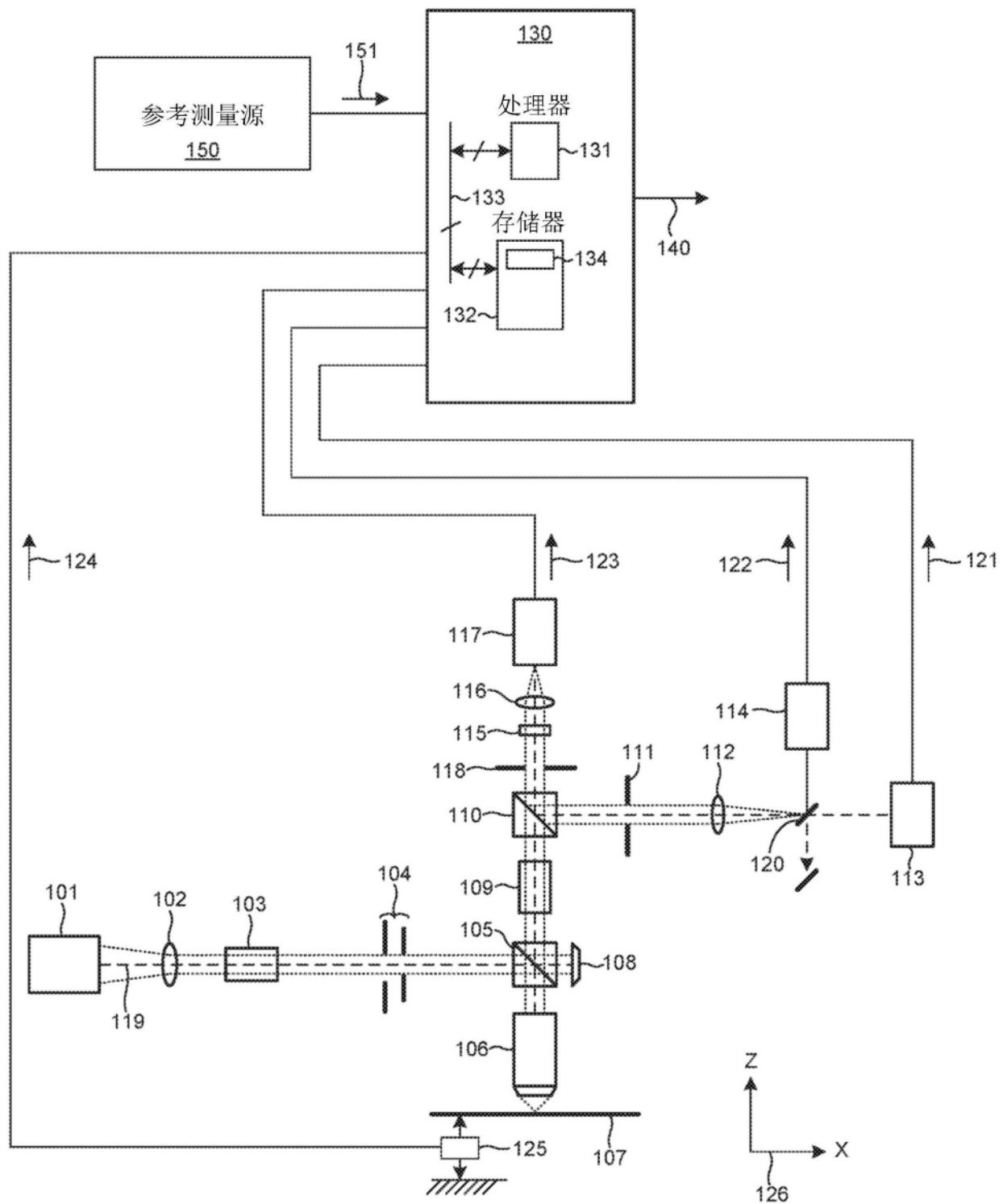


图1

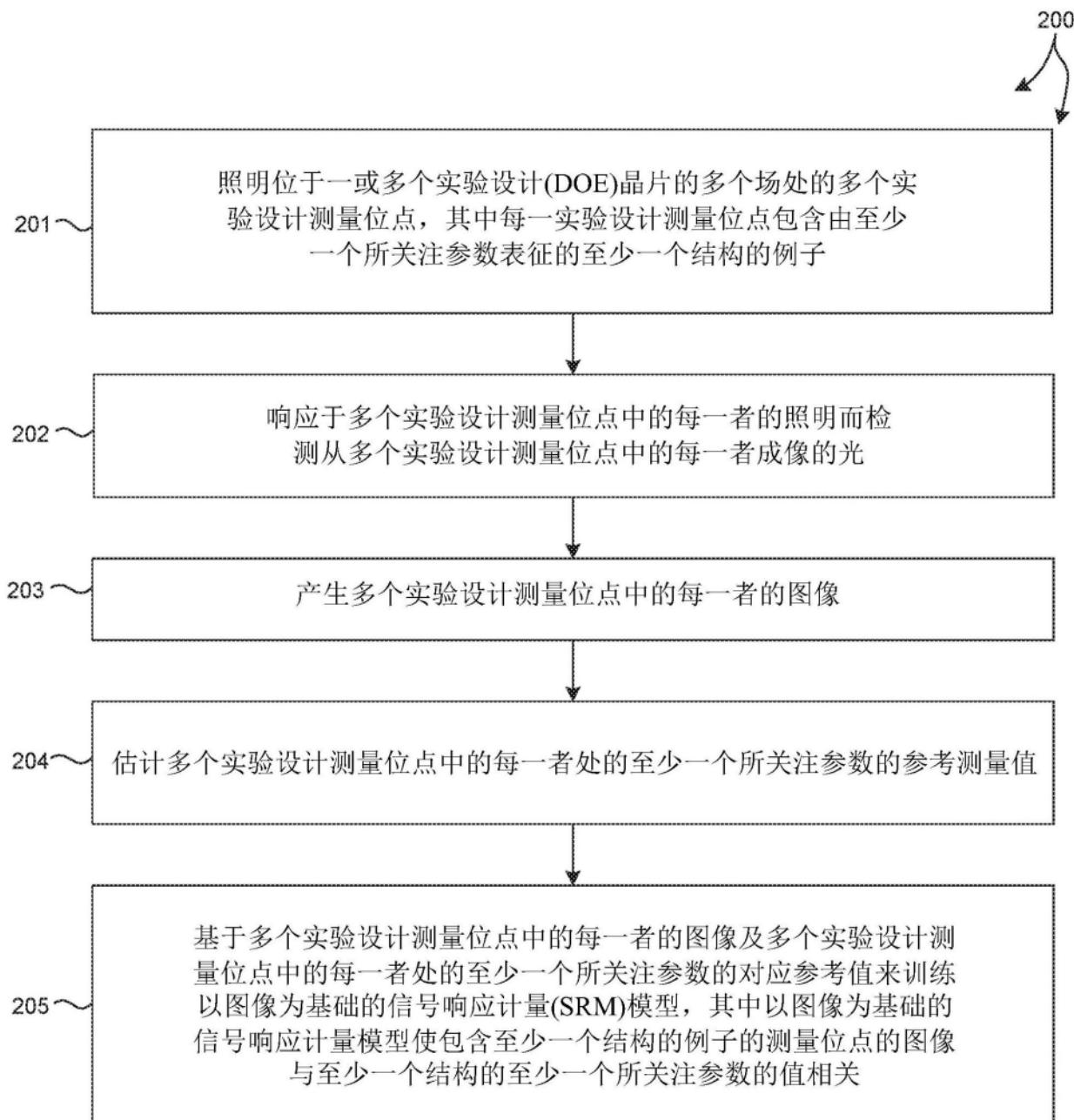


图2

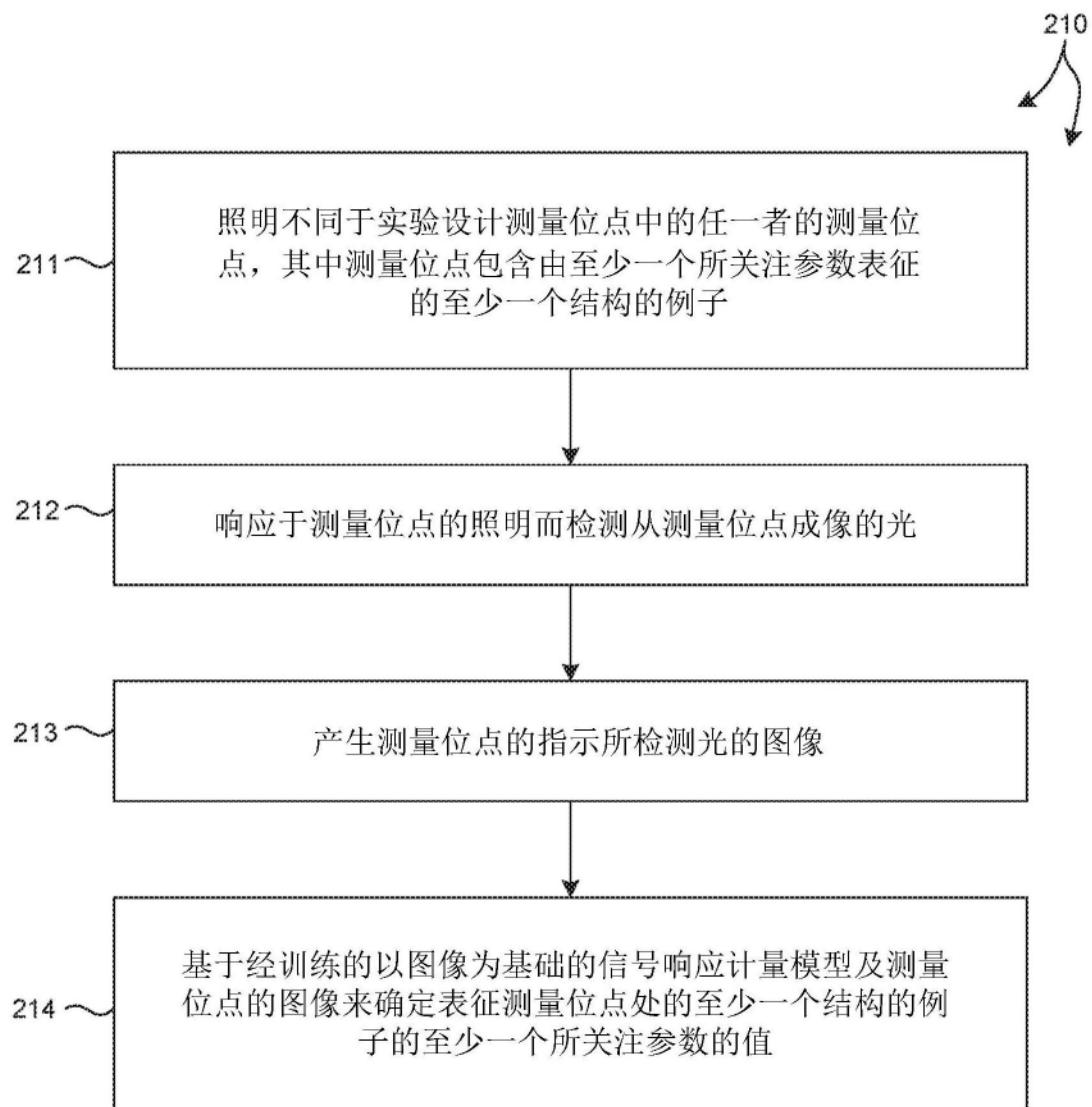


图3

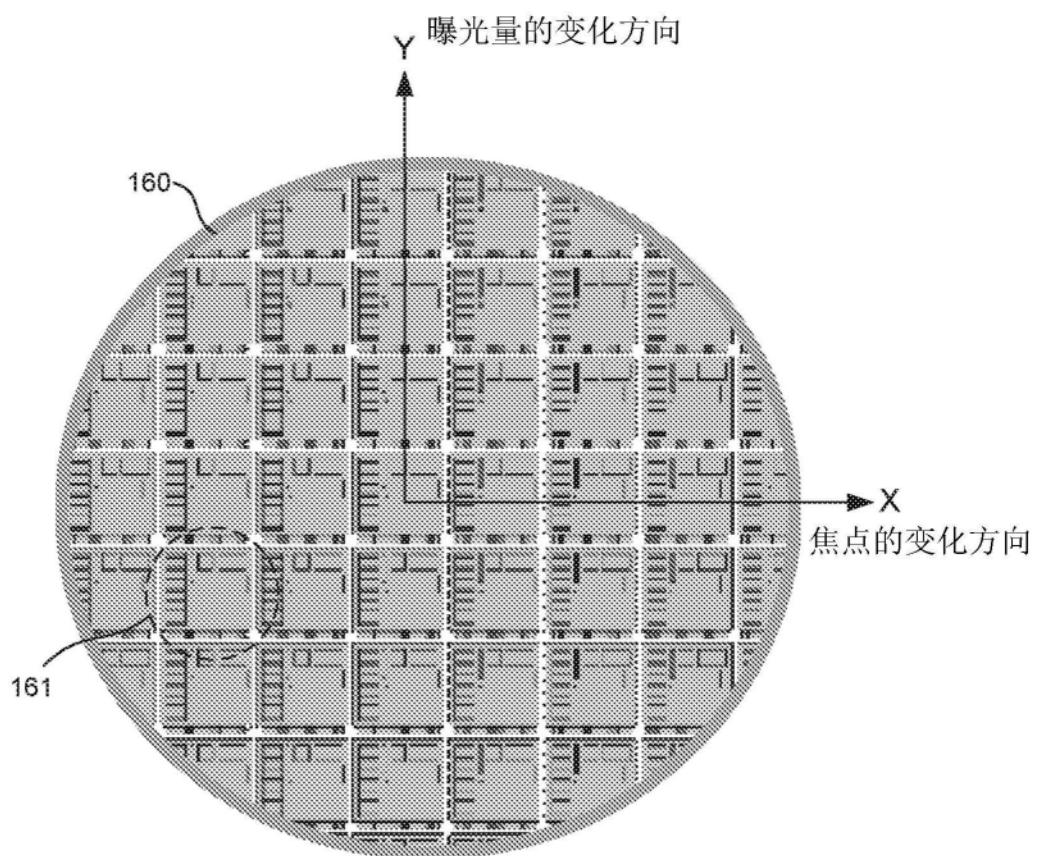


图4

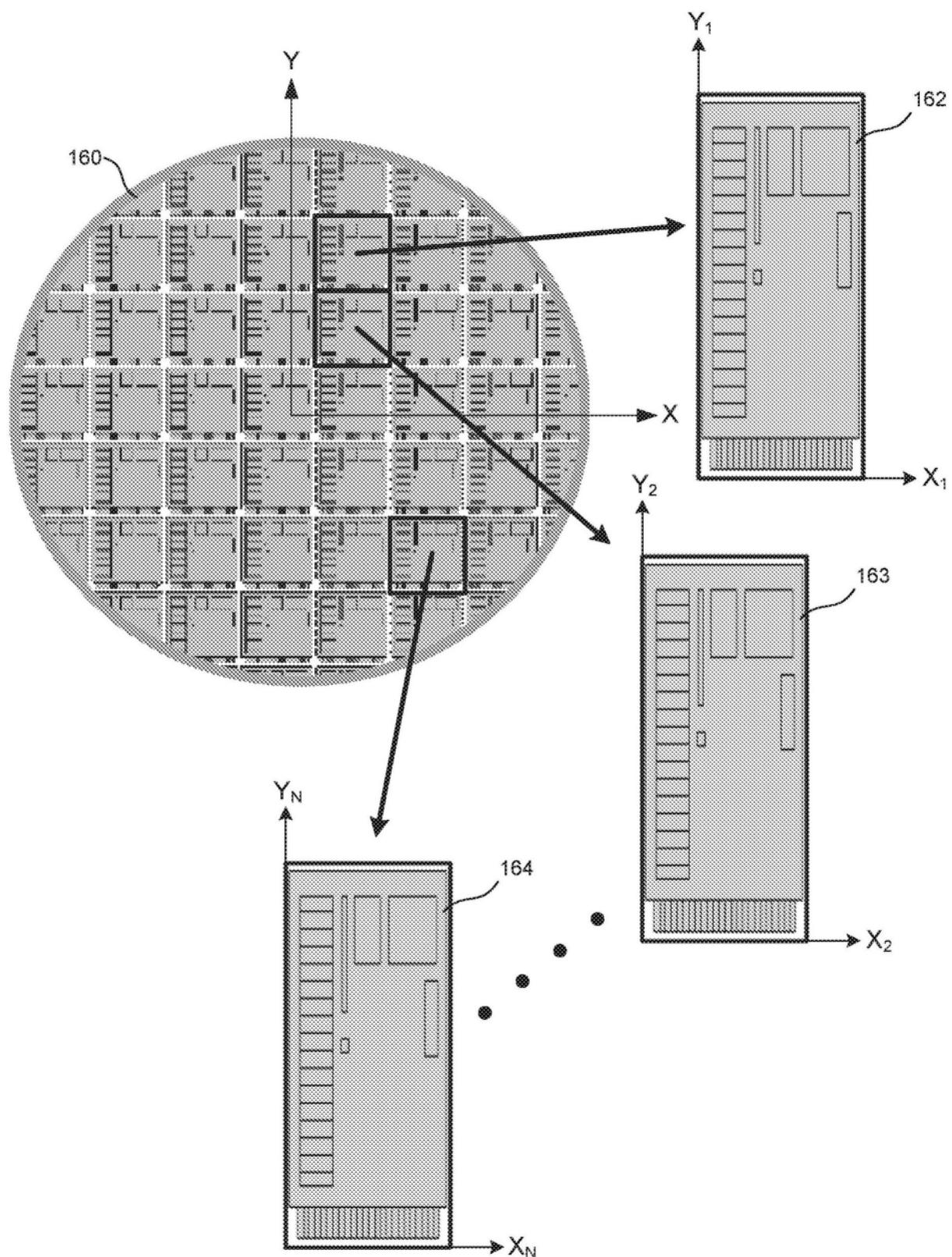


图5

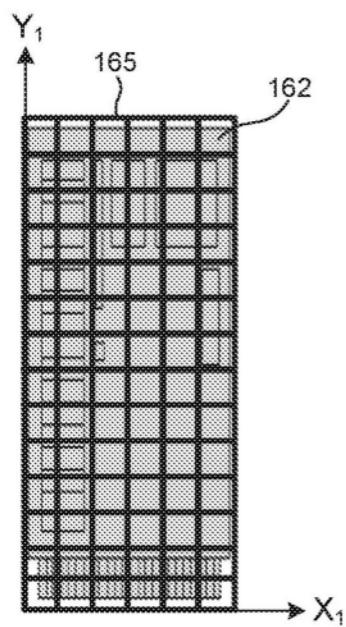


图6

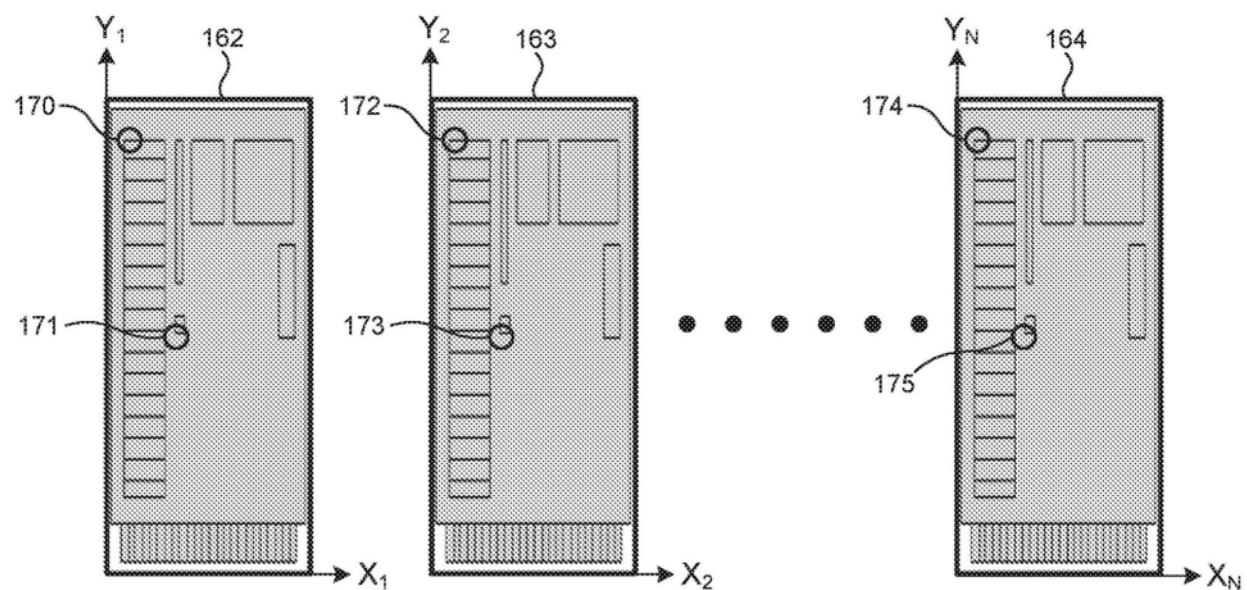


图7

$$\begin{bmatrix} 1| (l_1, J_1) \\ 2| (l_1, J_1) \\ \vdots \\ N| (l_1, J_1) \\ \hline 1| (l_2, J_2) \\ 2| (l_2, J_2) \\ \vdots \\ N| (l_2, J_2) \\ \hline \vdots \\ \vdots \end{bmatrix}$$

176

图8

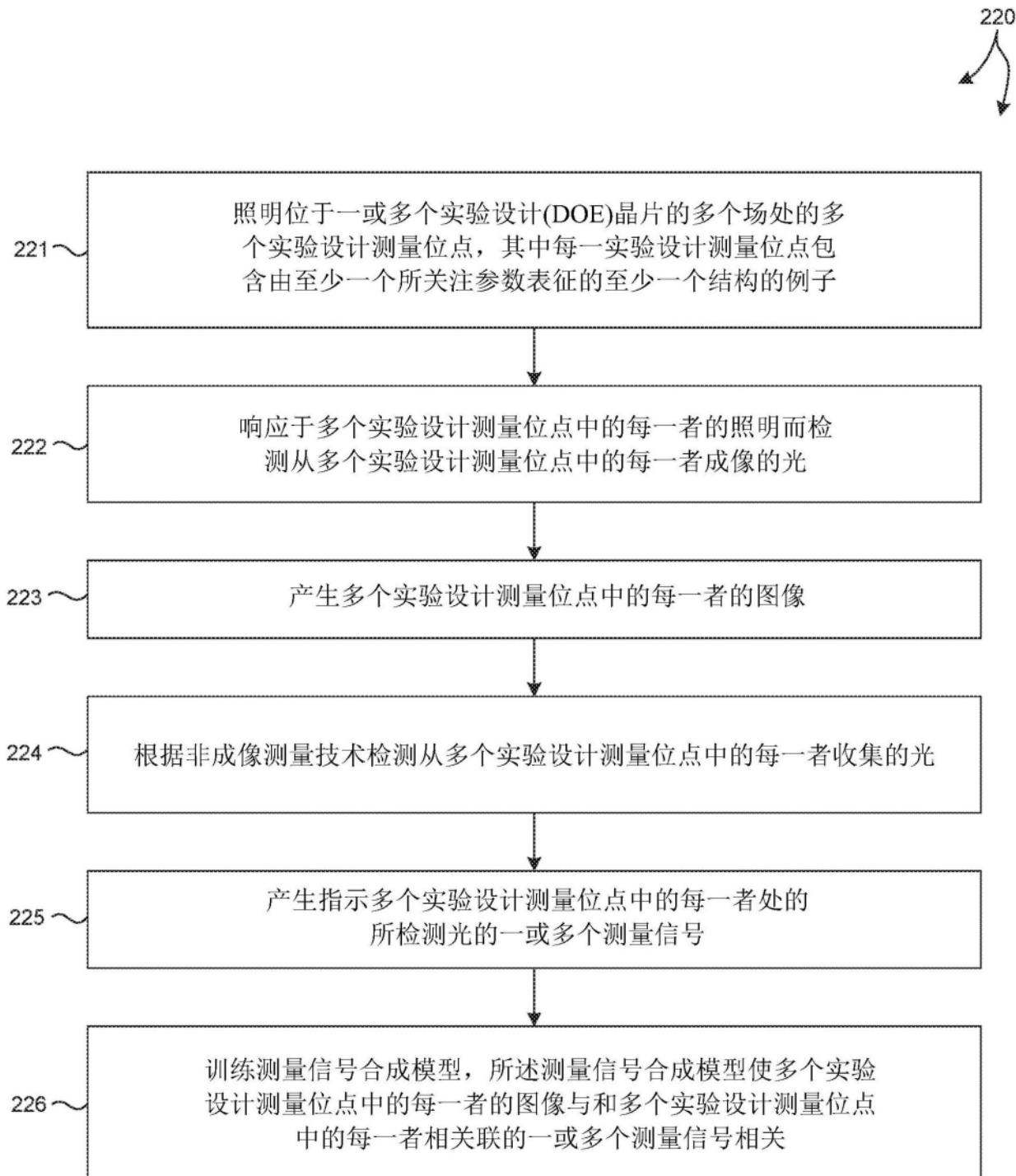


图9

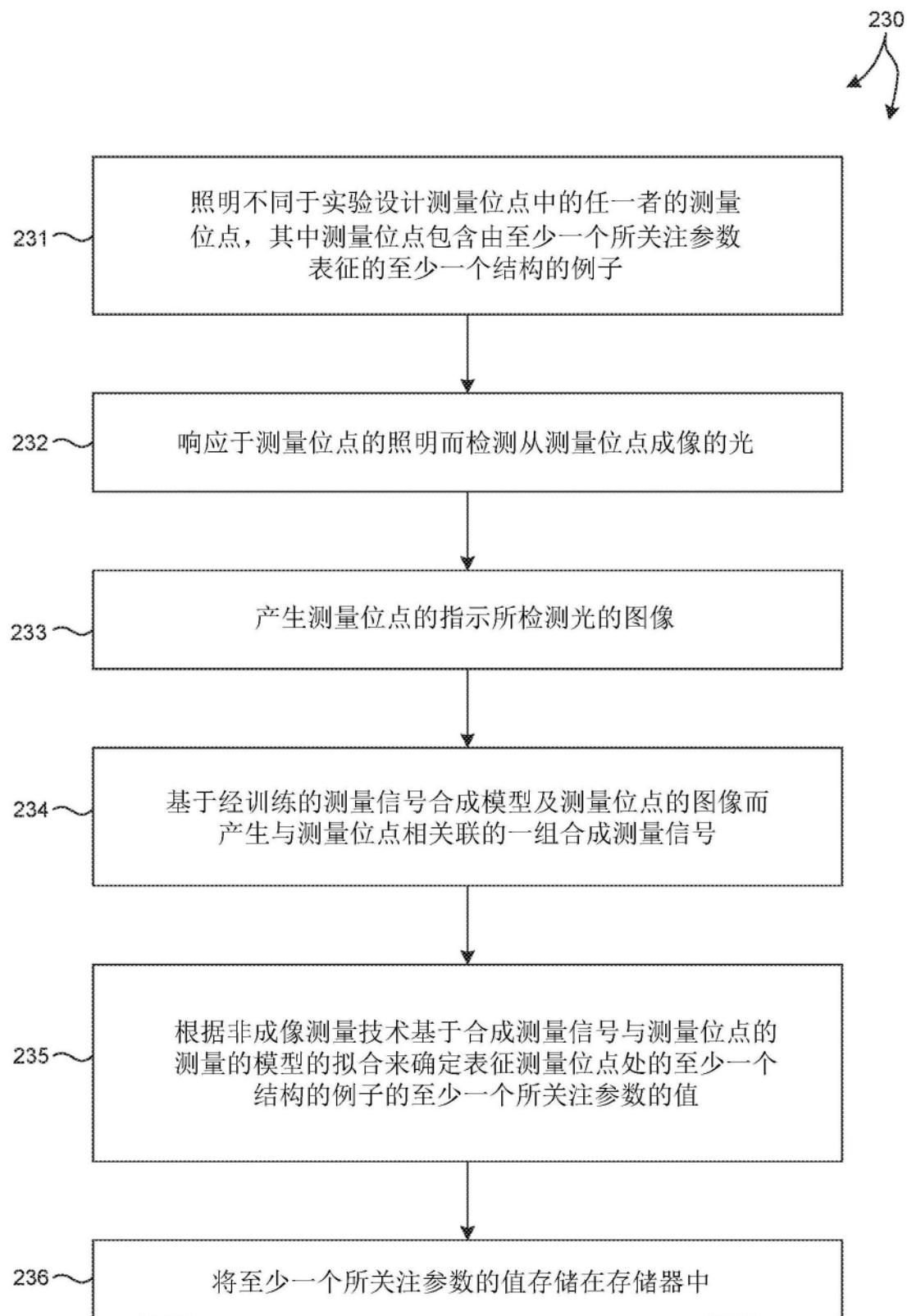


图10