



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115060207 B

(45) 授权公告日 2023.07.21

(21) 申请号 202210570423.1

罗马·克里斯

(22) 申请日 2018.05.18

(74) 专利代理机构 北京律诚同业知识产权代理有限公司 11006

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 115060207 A

专利代理人 徐金国 赵静

(43) 申请公布日 2022.09.16

(51) Int.CI.

(30) 优先权数据

G01B 15/02 (2006.01)

62/508,312 2017.05.18 US
15/982,918 2018.05.17 US

G06T 7/00 (2017.01)

审查员 刘祎

(62) 分案原申请数据

201880032678.4 2018.05.18

(73) 专利权人 应用材料以色列公司

地址 以色列雷霍沃特

(72) 发明人 伊谢·施瓦茨班德 严·阿夫尼尔
谢尔盖·克里斯托 莫尔·巴拉姆
希蒙·利维 多伦·吉蒙斯基

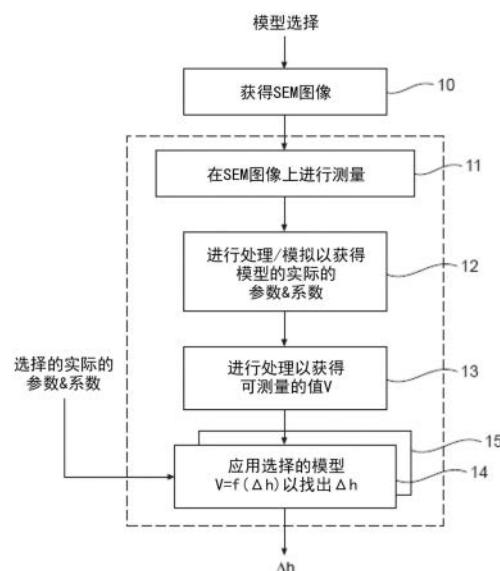
权利要求书2页 说明书11页 附图10页

(54) 发明名称

测量半导体晶片上的图案中的高度差

(57) 摘要

用于决定提供于半导体晶片上的图案中的高度差的改进技术使用实际的测量(例如,来自SEM图像的测量)和高度差决定模型。在该模型的一个版本中,该模型的可测量的变量是被表示为阴影的深度(即,相对亮度)的变化的函数,其中阴影的深度取决于:在半导体晶片上的两个特征之间的高度差和宽度差。在该模型的另一版本中,可测量的变量被表示为周期性结构的实际的图像上的两个特征点之间的测量距离的变化相对于扫描电子束的倾斜角度的变化的函数。



1. 一种计算机实施的方法,所述方法包含以下步骤:

获得具有变量的阴影模型,所述变量表示为在半导体晶片上不同位置处的装置的特征之间的高度差的函数,其中所述阴影模型表示与所述特征相关联的与高度相关的阴影;

根据从所述特征的图像获得的测量数据决定所述阴影模型的一个或多个参数的值;

由计算机处理器使用决定的应用于所述阴影模型的一个或多个参数的值来决定所述特征之间的高度差;和

通过所述测量数据的统计分析决定所述阴影模型的所述一个或多个参数的系数。

2. 如权利要求1所述的方法,进一步包含以下步骤:

使用扫描电子显微镜(SEM)以获得所述特征的图像;和

在所述图像上执行测量以获得所述测量数据。

3. 如权利要求1所述的方法,其中所述装置的特征包括核心沟槽和间隙沟槽。

4. 如权利要求3所述的方法,其中所述核心沟槽和所述间隙沟槽是周期性结构的部分。

5. 如权利要求1所述的方法,其中所述阴影模型的额外参数是在所述半导体晶片上的不同位置处的所述装置的特征之间的宽度差。

6. 如权利要求5所述的方法,其中所述阴影模型的变量表示为阴影深度的变化的函数,其中阴影深度的变化取决于所述装置的特征之间的高度差和宽度差。

7. 一种用于测量半导体晶片上的图案中的高度差的系统,包括:

存储器;

处理装置,所述处理装置操作性地与所述存储器耦接并且用以进行以下步骤:

获得具有变量的阴影模型,所述变量表示为在半导体晶片上不同位置处的装置的特征之间的高度差的函数,其中所述阴影模型表示与所述特征相关联的与高度相关的阴影;

根据从所述特征的图像获得的测量数据决定所述阴影模型的一个或多个参数的值;

使用决定的应用于所述阴影模型的一个或多个参数的值来决定所述特征之间的高度差;和

通过所述测量数据的统计分析决定所述阴影模型的所述一个或多个参数的系数。

8. 如权利要求7所述的系统,其中所述处理装置进一步用以进行以下步骤:

从扫描电子显微镜(SEM)接收所述特征的图像;和

在所述图像上执行测量以获得所述测量数据。

9. 如权利要求7所述的系统,其中所述装置的特征包括核心沟槽和间隙沟槽。

10. 如权利要求9所述的系统,其中所述核心沟槽和所述间隙沟槽是周期性结构的部分。

11. 如权利要求7所述的系统,其中所述阴影模型的额外参数是在所述半导体晶片上的不同位置处的所述装置的特征之间的宽度差。

12. 如权利要求11所述的系统,其中所述阴影模型的变量表示为阴影深度的变化的函数,其中阴影深度的变化取决于所述装置的特征之间的高度差和宽度差。

13. 一种非暂时性计算机可读介质,包含:当由计算机执行时使得所述计算机执行包含以下步骤的操作的指令:

获得具有变量的阴影模型,所述变量表示为在半导体晶片上不同位置处的装置的特征之间的高度差的函数,其中所述阴影模型表示与所述特征相关联的与高度相关的阴影;

根据从所述特征的图像获得的测量数据决定所述阴影模型的一个或多个参数的值；

由计算机处理器使用决定的应用于所述阴影模型的一个或多个参数的值来决定所述特征之间的高度差；和

通过所述测量数据的统计分析决定所述阴影模型的所述一个或多个参数的系数。

14. 如权利要求13所述的非暂时性计算机可读介质，其中所述装置的特征包括核心沟槽和间隙沟槽。

15. 如权利要求14所述的非暂时性计算机可读介质，其中所述核心沟槽和所述间隙沟槽是周期性结构的部分。

16. 如权利要求13所述的非暂时性计算机可读介质，其中所述阴影模型的额外参数是在所述半导体晶片上的不同位置处的所述装置的特征之间的宽度差。

17. 如权利要求16所述的非暂时性计算机可读介质，其中所述阴影模型的变量表示为阴影深度的变化的函数，其中阴影深度的变化取决于所述装置的特征之间的高度差和宽度差。

测量半导体晶片上的图案中的高度差

[0001] 本申请是申请日为2018年5月18日、申请号为201880032678.4、名称为“测量半导体晶片上的图案中的高度差”的发明专利申请的分案申请。

技术领域

[0002] 本公开内容一般性涉及测量半导体晶片上的图案的尺寸，并且特定地测量图案中的高度差和/或宽度差。

背景技术

[0003] 扫描电子显微镜(SEM)图像被使用于各种映射和成像应用(例如用于半导体晶片的检查)。在本领域中已知悉：用于使用SEM图像的晶片的三维(3D)映射的数种技术。举例而言，用于检查半导体装置的传统的技术利用由SEM获得的多组测量数据来决定半导体装置的尺寸参数。SEM从相对于装置的不同的角度方向收集每组数据。通过分析SEM检查角度与收集的数据集之间的关系来决定半导体装置的尺寸参数。

发明内容

[0004] 以下是本公开内容的简化的概述，以为提供本公开内容的一些方面的基本理解。此概述并不是本公开内容的广泛性的概观。该概述既不旨在识别本公开内容的关键元素或重要的元素，也不旨在描绘本公开内容的特定实施的任何范围或权利要求的任何范围。该概述的唯一目的是以简化的形式来呈现本公开内容的一些概念，而作为稍后呈现的更为详细的描述的序言。

[0005] 在此公开的是一种用于通过使用实际的测量(例如，来自SEM图像的测量)和使用高度差决定模型来决定提供于半导体晶片上的图案中的高度差的改进技术。在此应用中，术语“图案(pattern)”包含：在半导体晶片上产生的任何的3D结构。

[0006] 在该模型的一个版本中，该模型的可测量的变量被表示为阴影的深度(即，相对亮度)的变化的函数，其中阴影的深度取决于在两个特征之间的高度差和宽度差。

[0007] 在该模型的另一版本中，可测量的变量被表示为周期性结构的实际的图像上的两个特征点之间的测量距离的变化相对于扫描电子束的倾斜角度的变化的函数。

[0008] 在该模型的两个版本中，通过将实际的测量数据馈送到该模型中而从该模型计算出高度差。

[0009] 在一些实施中，系统包含：能够使用计算机处理器并且使用该模型的一个或两个版本来提取高度差的模块。该系统可包含：用以扫描晶片的SEM和用以产生一个或多个SEM图像的检测器。

[0010] 在一些实施中，非暂时性计算机可读介质可包含：当由处理装置执行时使得该处理装置执行识别具有变量的模型的方法的指令，该变量被表示为核心沟槽与间隙沟槽之间的高度差的函数，其中该函数具有一个或多个参数；在周期性结构的实际的图像上执行测量以获得高度差的函数的一个或多个参数的值；和由计算机处理器使用该模型和所获得的

一个或多个参数来决定高度差。

附图说明

[0011] 将从在下文中给出的实施方式中和从本公开内容的各种实施的随附附图中更完整地理解本公开内容。

[0012] 图1A图示根据本公开内容的一些实施方式的包含SEM和计算机系统的系统的示意性的方块图,该计算机系统经配置以使用模型来决定图案的高度差。

[0013] 图1B是根据本公开内容的一些实施方式的示意性的功能方块图,该功能方块图包含:高度差决定模块 (HDDM)。

[0014] 图1C显示:根据本公开内容的实施方式的由于多次图案化而具有核心-间隙凹陷的图案。

[0015] 图1D (a) - (b) 显示:根据本公开内容的另一实施方式的由于工艺变化而在两个不同的晶片上具有不同的高度和宽度的图案特征。

[0016] 图2A是根据一些实施方式的用以使用模型和实际的测量来决定图案中的高度差的示例性方法的流程图。

[0017] 图2B示意性地显示:根据在此公开的实施方式的包含局部通道和参考通道的灰度级轮廓的示例性的SEM图像的一部分。

[0018] 图2C示意性地显示:根据在此公开的实施方式的示例性SEM图像的一部分,该SEM图像包含周期性结构中的核心沟槽和间隙沟槽的灰度级轮廓。

[0019] 图3图示根据一个实施方式的示例性图案的示意图,该示例性图案表示出对于执行模型的一个版本以决定高度差而要进行测量的值。

[0020] 图4是根据一个实施方式的示例性方法的流程图,该示例性方法用以根据模型的一个版本来决定高度。

[0021] 图5图示根据一个实施方式的示例性图案的示意图,该示例性图案表示出对于执行模型的另一版本以决定高度差而要进行测量的值。

[0022] 图6是SEM图像的一部分,前述者被简化以示出在图5中参照的模型的版本。

[0023] 图7是根据本公开内容的另一实施方式的示例性方法的流程图,该示例性方法用以根据在图5中参照的模型的版本来决定高度。

[0024] 图8是示例性计算机系统的方块图,其中本公开内容的实施可在该计算机系统中进行操作。

具体实施方式

[0025] 本公开内容的方面涉及:决定在相同的半导体晶片上的两个特征之间的高度差和/或高度差和宽度差二者,或者决定由于工艺变化所造成的在两个不同的半导体晶片上的相同的图案特征之间的高度变化和/或宽度变化。

[0026] 在半导体晶片上形成的图案通常包含:具有各种形状和尺寸的特征/物体。图案可包含:周期性结构或不规则的结构。通常需要估计这样的物体之间的高度差(和/或高度差和宽度差二者)以用于许多的目的(例如,在这样的物体的制造期间和/或制造这样的物体之后检查半导体晶片)。

[0027] 在现有的技术中,通过分别地测量个别的特征的绝对高度并且比较两个测量值来计算高度差。此公开内容描述了一种用于测量两个特征之间的高度差的新颖的、更有效的方法,而不必个别地测量两个特征中的每一者的个别的绝对高度。

[0028] 在此公开内容中的方法的优点在于:两个特征可以或可以不在实体上彼此相邻(只要在两个特征之间具有相对高度差即可)。此外,可以将两个特征之间的宽度差决定为:额外的工艺控制参数。该两个特征可以是同一图案的部分或不同图案的部分。而且,该两个特征在两个不同的晶片上可以是相同的特征。术语“相同的特征(same feature)”广泛地意指为:相同类型的特征(例如,如同由使用于制造所述特征的设计意图文件所定义的,或者在测量数据(例如,来自SEM图像的数据)上显示为大致上相似的)。术语“相同的特征(same feature)”可涉及:在单个晶片上或在不同的晶片上制造的相同类型的特征。

[0029] 具有可关注的高度差的图案的一个实例是材料凹陷或核心-间隙凹陷,该材料凹陷或该核心-间隙凹陷可以出现在形成于半导体晶片上的周期性结构中的相邻沟槽之间。材料凹陷可以被理解为在周期性结构中的相邻沟槽(即,核心沟槽和间隙沟槽)的深度/高度之间的平均差异。材料凹陷可以是使用于半导体制造的多次图案化(例如:双图案化)工艺的结果。

[0030] 沟槽中的一些者可为:通道的形式,该通道具有侧壁,其中该通道可具有:闭合的轮廓或开放的轮廓。决定高度差(Δh)可以被理解为:决定针对于任何的通道对(例如,针对于图案的特定的核心-间隙对)的 Δh 的绝对值,和/或被理解为:决定针对于类似的通道的存在于周期性图案内的感兴趣区域中的 Δh 的平均值。

[0031] 所公开的技术亦可被使用来评估:由于工艺引起的变化而在同一晶片的不同部分上或在两个不同晶片上的相同特征中的尺寸差异。在半导体装置的生产中,精确性、重复性和生产过程对于变化的稳定性是非常重要的。通过在各个生产阶段期间测量(例如)图案的高度和宽度来实施:用于控制工艺不精确性和不稳定性的工艺控制技术。

[0032] 在某些情况下,工艺控制测量和尤其是串连(in-line)的SEM工艺控制测量可基于分析阴影信息来提供:关于图案测量(例如高度和宽度)与参考之间的偏差的信息。

[0033] 图1A图标示例性的系统S3,该系统S3包含:具有发明性的子系统S1和S2。子系统S1包含:所提出的具有发明性的高度差决定模块(HDDM),该高度差决定模块包含:一个或多个建模处理器SP1(及SP2,如果多于一个处理器被使用)。HDDM位于计算机C中,并且经配置以通过使用在本申请中描述的模型的两个版本中的至少一者来决定半导体图案的特征之间的高度差 Δh 。S1被耦接至计算机存储器M。

[0034] 计算机C可经由通信线路L从SEM接收数据。SEM产生:在半导体晶片W上制造的图案的SEM图像。如果SEM或任何单独的测量模块经调适以使用SEM图像来执行测量,则测量结果将被传送至子系统S1。子系统S1可由可以获得来自用户的指令的控制处理器P来控制。

[0035] 第二子系统S2包含:HDDM(其中包含建模处理器SP1和/或SP2)、测量模块MM和控制处理器P。

[0036] 测量模块MM从SEM接收图像、执行亮度的精确的测量、图案的各种长度/宽度的精确的测量,可部分地处理测量,并且可由处理器P来控制。

[0037] 子系统S1和S2可以放置在被提供有显示器D和键盘K的独立式计算机C中;计算机经由通信线路L直接地或间接地连接至SEM。

[0038] 扩展系统S3可进一步包含:并入电子束源的SEM和一个或多个检测器,所述检测器被设置以当被插入SEM时监视半导体晶片W而收集亮度数据(即,表示在SEM图像上的灰度级的数据)。SEM可以将来自多个检测器的收集的数据处理为组合的SEM图像,或者可以将收集的数据提供给模块MM,以用于在其内部形成组合的图像、执行测量,以及部分地处理所述测量。

[0039] 图1B图示基于图1A的方块图,其中对于方块和模块的功能和控制输入被显示。功能输入/连接系由粗箭头来显示,而控制输入/连接由细箭头来表示。应注意到控制处理器P控制MM和HDDM(HDDM是S1的部分)二者。在此方块图中,测量模块MM被显示为:由虚线轮廓标记为S2的具有发明性的实施方式的一部分。该系统S2可被安装在计算机中,该计算机经由L连接至SEM。在此并未显示存储器M和其连接。

[0040] 图1C显示:HDDM可在核心-间隙凹陷的情境中计算 Δh ,前述者相关于图2B至图7更为详细地描述。这是一个通常与多次图案化相关联的问题。

[0041] 图1D(a)和图1D(b)显示:即使由于多次图案化的缘故而没有材料凹陷,也可能由于工艺变化而在两个不同晶片上的相同特征之间或在晶片的不同部分处制造的相同特征之间具有高度差(即,图1D(a)中的 h_1 与图1D(b)中的 h_2 之间的差异)。由于工艺变化的缘故,也可能会有宽度差(即,图1D(a)中的 w_1 与图1D(b)中的 w_2 之间的差异)。第二晶片可为:由相同的生产工具制造的具有相同设计的另一晶片。第二晶片可为:由相同类型的不同生产工具制造的具有相同设计的另一晶片。第一晶片和第二晶片之间的高度和/或宽度的差异可能是由于工艺变化、工具故障,及类似者所导致。

[0042] 图2A显示:在系统S3中的操作的示意性流程图,其中包含系统S2的操作(被显示在图1B中的以虚线绘示的矩形内)。系统S2的操作包含:作为系统S1的HDDM的操作。测量模块MM可包含:用于在处理器的控制下执行一组和/或两组测量,而进一步地处理测量结果的两个实施方式中的至少一个。处理可以在MM处开始并且在HDDM处终止。然而,可以在HDDM处完全地执行处理,而使得实际上MM可以形成HDDM的部分。举例而言,MM可包含:用于测量和处理SEM图像上的通道/沟槽的灰度级(亮度)的硬件方块和/或软件方块,以及用于测量和处理a)通道的宽度“w”;和/或b)通道之间的距离 ΔX 的硬件方块和/或软件方块(其中取决于选择模型的何者版本,或者是否选择了模型的两个版本(如同在下文中阐述者))。模型可由用户来选择,或者可由处理器来选择。

[0043] 具有某高度的图案的SEM图像显示指示图案高度的阴影(因此与高度相关的)。与电子检测器相关地,从阴影位置发出的电子可由该图案吸收,并且将不会到达电子检测器。因此,与阴影位置相关联的电子信号损失表示:图案几何图形和形状-高度和宽度。

[0044] 根据本公开内容的实施方式,通过应用反映与高度相关的阴影(其中该阴影与图案相关联)的模型来处理图案的SEM图像,从而决定SEM图像中的图案的高度和/或宽度相较于参考的差异。

[0045] 在显示于图1C中的核心-间隙实例中,核心沟槽的SEM图像可以作为间隙沟槽的SEM图像的参考。在显示于图1D(a)和图1D(b)中的实例中,第一晶片的图案SEM图像可以作为第二晶片的图案SEM图像的参考。在两个实例中,决定关于高度差的信息。注意到显示于图1D(a)-(b)中的图案不限于多次图案化。

[0046] 根据本公开内容的实施方式,参考可以与绝对尺寸值相关联-例如,在图1D(a)中

的高度 h_1 或宽度 w_1 。绝对高度值可以例如在诸如为SEM配方设置步骤的初步工艺控制步骤期间,或在利用诸如为OCD(光学CD测量)或TEM(透射电子显微镜)的非串连的测量技术的互补测量步骤期间获得。通过使用与参考相关联的绝对高度值和所决定的高度差,可以获得图案的绝对高度值。

[0047] 如同在前文中所提及者,高度决定涉及到:识别具有变量V的模型,该变量V被表示为:高度差 Δh 的函数(即, $V=f(\Delta h)$)。V具有可测量的值,并且是一个或多个真实参数的函数,所述真实参数中的一些者能够被测量。在该模型的一个版本中,变量V被表示为:阴影深度的函数,其中该阴影深度取决于高度差以及相邻的特征之间的宽度差。在该模型的另一版本中,该变量被表示为:在SEM图像上的两个特征点之间的测量距离的变化相对于被使用以获得SEM图像的电子束的倾斜角度的变化。用户可以选择该模型的任一版本以决定高度差。以下所述者也为可能的:使用该模型的多个版本来决定高度差并且比较结果以用于更佳的精确性。本领域技术人员将会容易地理解到:图2A中所显示的流程图中的方块10-15根据所选择的模型的版本进行操作。

[0048] 在选择模型 $V=f(\Delta h)$ 的至少一个版本之后,获得一个或多个SEM图像(方块10)。可以通过利用电子束来扫描晶片(并且可选择地改变电子束的倾斜角度(其中取决于选择该模型的何者版本))而获得SEM图像。来自一个或多个电子检测器的数据可被使用以获得组合的SEM图像。可替代性地,可以使用预先选择的已知的SEM图像数据。

[0049] 接着,执行在SEM图像上的测量(方块11)。此任务可以在图1B中显示的测量模块(MM)或HDDM处执行。测量可包含:执行统计测量或模拟以为获得所选模型的实际参数和/或系数(方块12)(如果其没有被事先提供(即,如果其未被预先选择)),并且计算出所选择的模型的可测量的值V(方块13)。

[0050] 将所选择的版本的模型应用于测量结果(方块14和/或方块15)的最终操作由HDDM来执行。如果预先选择了一些实际的参数或系数,则可以将所述实际的参数或所述系数馈送至14和/或15。在后文中,更为详细地描述该模型的两个版本。

[0051] 模型的版本1:从相对亮度中决定高度差(阴影的深度)

[0052] 首先,描述了第一版本的模型的操作,其中使用“阴影的深度(depth of shadow)”方法来计算出高度差,该方法利用特征的顶部和底部之间的亮度的变化(灰度级差)。为了完成此申请的目的,“阴影的深度(depth of shadow)”意指:相对亮度或相对灰度级。亮度差与高度差有关(即,灰度级差是高度差的结果)。灰度级差表示:由于不同高度的特征产生的“阴影(shadow)”所导致的产量损失(在SEM中检测到的二次电子的产量损失)。

[0053] 图2B图标灰度级SEM图像的示例性的部分,其中图案的顶部部分是亮灰色的,而底部部分是深灰色的。图案的明亮的顶部部分是被二次和背向散射电子更加地“照亮(illuminated)”,所述二次和背向散射电子是由扫描电子束产生的并且由至少一个SEM检测器(未被显示出来)检测到。图案的暗的底部部分产生较少的电子,因而由与SEM图像的较暗部分相同的检测器检测到。

[0054] 该图案包含:被称为“参考(reference)”通道16的第一通道,该参考(reference)”通道16被形成为具有闭合的椭圆形的轮廓。被称为“局部(local)”通道的第二通道被形成在椭圆形的轮廓和直条形的轮廓之间。

[0055] 该模型的第一版本($V = \Delta n_{LR} = f(\Delta h, \Delta w_{LR})$)是基于以下两个方程式:

[0056] $\eta_L = \eta(h_L, w_L)$; 和

[0057] $\eta_R = \eta(h_R, w_R)$,

[0058] 其中在测量局部对象的相对灰度级的值 h_L 和参考对象的相对灰度级的值 h_R 的情况下, 分别地测量局部对象的底部通道的宽度的值 w_L 和参考对象的底部通道的宽度的值 w_R 。

[0059] 计算出可测量的值 $\Delta \eta_{LR}$ 和实际的参数 ΔW_{LR} , 然后使用函数“f”找出 Δh 。函数“f”可以被认为是单调的并且可以使用校准处理来建构。当对于函数“f”施用任何的已知的近似时, 其第一近似可以是线性的并且将仅需要两个系数/参数, 该两个系数/参数将被称为 α 和 β 。这样的系数可以通过校准找到, 可以被模拟得到或可以被事先选择。

[0060] 因此, 该模型的第一版本可能基本上接近于以下所述者:

[0061] $\Delta \eta_{LR} = \beta(\Delta h) + \alpha(\Delta w_{LR})$

[0062] 其中系数 α 和 β 分别地表征相对灰度级 η 与通道宽度“w”和高度“h”的依赖关系。

[0063] 特定地, $\Delta \eta_{LR} = \eta(\text{local}) - \eta(\text{reference})$,

[0064] 其中 $\eta(\text{local}) = Y_{\text{local(bottom)}} / Y_{\text{local(top)}}$, 并且

[0065] $\eta(\text{reference}) = Y_{\text{reference(bottom)}} / Y_{\text{reference(top)}}$ 。

[0066] Y 表示在图案的顶部或底部处的产量(亮度)。

[0067] 应理解到: 针对于特定的测量选择的局部通道和参考通道可位于SEM图像上的相距彼此相当远的距离之处, 并且理解到: 每一通道与其对应的壁部分相关联, 从而形成该通道的底部和顶部。此外, 对于所提出的技术而言, 所述通道中的一者(比如说, 参考通道)不必由其实际的测量来表示。例如, 它可以由在测量的过程中获得的平均值来表示。

[0068] 局部通道-参考通道方法可被使用以测量核心-间隙对中的高度差, 其中核心沟槽与间隙沟槽交错。图2C图标来自图案的SEM图像的示例性的部分, 该图案包含: 属于半导体晶片上的某些周期性结构的核心沟槽和间隙沟槽的灰度级轮廓。在此图示中, 每一对相邻的沟槽包含: 一个核心沟槽18和一个间隙沟槽19。与在前文中讨论的通用的参考通道-局部通道模型并行地进行绘制, 核心沟槽可被使用以作为参考通道, 且间隙沟槽可被使用以作为局部通道(反之亦然)。受让人所拥有的美国专利(美国专利编号第8,538,130号)描述了一种CD计量系统和将类似的结构元件分类的方法, 其中包含被制造在半导体晶片上的周期性结构中的核心-间隙对。

[0069] 图3是显示于图2C中的周期性结构的示意性的示例性侧视图(或横截面), 其中可以注意到: 间隙沟槽19比核心沟槽18更深, 并且存在有在核心沟槽和间隙沟槽之间的典型的材料凹陷(Δh 或高度差)。材料凹陷通常是多次图案化技术(例如双图案化)的结果。间隙沟槽具有: 大于核心沟槽的高度 H_c 的高度 H_g 。各个间隙沟槽和核心沟槽的宽度 W_g 和 W_c 也可以不同。

[0070] 对于一对相邻的间隙沟槽和核心沟槽(例如, 示例性的对1), 测量在底部(y_{bottom})处的灰度级亮度与在顶部(y_{top})处的亮度之间的比率 η 两次。由于相邻的间隙沟槽和核心沟槽的不同的高度, 测量的比率是不同的。

[0071] 针对于此情况的提出的第一版本的模型的线性函数被表示为:

[0072] $\Delta \eta_{cg} = \beta(\Delta h) + \alpha(\Delta w_{cg})$,

[0073] 其中 $\Delta \eta_{cg}$ 是核心-间隙对的亮度比(即, 在顶部(y_{top})处的亮度与在底部(y_{bottom})处的亮度之间的比率)的差异, Δh 是核心-间隙对的高度差, 以及 Δw_{cg} 是核心-间隙对的宽度

差。 α 和 β 是从测量/校准中被预先选择的或以统计的方式计算出的系数。被显示在前述的方程式中的线性关系允许:使用SEM图像并且基于亮度($y_{top(c)}$ 、 $y_{bottom(c)}$ 、 $y_{top(g)}$, 及 $y_{bottom(g)}$)和宽度(w_c 和 w_g)的测量而计算出 Δh , 同时考虑到事先接收的或通过模拟和/或校准导出的系数 α 和 β 。系数 α 表示: η 与沟槽的宽度的依赖关系($d\eta/dw$)。系数 β 反映了 η 与沟槽的高度的依赖关系($d\eta/dh$)。

[0074] 图4是一示例性方法的流程图,该方法用以使用在前文中描述的模型的版本来决定相邻的核心沟槽与间隙沟槽之间的高度差。此申请重复地提及:在周期性的图案中的相邻核心沟槽和间隙沟槽。然而,该方法可以在此公开内容的范围内进行修改而用于测量在非规则的图案中的两个通道的 Δh ,其中两个通道被认为是“一对(a pair)”间隙-核心。图4的方法可通过处理逻辑来执行,该处理逻辑可包含:硬件(例如,处理装置、电路、专用逻辑、可编程逻辑、微码、装置的硬件、集成电路等等)、软件(例如,运行的指令或在处理装置上执行的指令)或上述的组合。在一些实施方式中,图4的方法可由显示于图1A和第1B中的系统来执行。

[0075] 如同在图4中显示的,该方法可以开始于方块20处,其中由初级电子束来扫描具有在晶片W上的图案的样品。在方块22中,SEM的一个或多个检测器检测:背向散射和二次电子。基于检测器数据,由SEM来产生晶片的一个或多个SEM图像。在方块24中,组合一个或多个SEM图像以产生组合的SEM图像。在方块26中,测量每一核心-间隙对的宽度,并且计算出其的宽度差。此功能可以在测量模块MM处执行。针对于每一核心-间隙对,在方块28中,测量在底部处和顶部处的灰度级,计算间隙和核心的 η ,然后计算出 $\Delta \eta$ 。在计算出每一核心-间隙对的 η 和 $\Delta \eta$ 之后,基于所执行的灰度级的测量,可以对于感兴趣的区域进行平均。最后,在方块30中,使用 $V=f(\Delta h)$ 的模型的第一版本导出高度差 Δh ,其中函数f被表示为: $\Delta \eta_{cg} = \beta(\Delta h) + \alpha(\Delta w_{cg})$ 。特定地, $\Delta h = (\Delta \eta_{cg} - \alpha \Delta w_{cg}) / \beta$ 。

[0076] 应注意到:在前文中提及的可测量的值和实际的参数可以是绝对的或平均的。其对于特定的两个通道是绝对的,并且可以针对于该图案的特定的区域进行平均。相对灰度级(或亮度) η 可以是绝对的或平均的。可以针对于特定的核心-间隙对中的特定的间隙/核心来测量(计算)绝对的 η ,而可以针对于在周期性结构的感兴趣的区域中的一组间隙/核心/对测量(计算)平均的 η 。

[0077] 同样地,当通过测量在SEM图像上的(一个核心-间隙对的)核心沟槽的宽度“ w_c ”和(一个核心-间隙对的)相邻的间隙沟槽的宽度“ w_g ”来获得实际的参数“ Δw_{cg} ”时,该实际的参数“ Δw_{cg} ”是绝对的;而如果基于绝对参数“ Δw_{cg} ”的数目而针对于感兴趣的区域计算出“ Δw_{cg} ”,则“ Δw_{cg} ”将被平均。当针对于特定的核心-间隙对进行测量时,材料凹陷“ Δh ”是绝对的,并且当针对于感兴趣的区域进行计算(基于绝对的“ Δh ”的数目,或基于平均的“ Δw_{cg} ”)时,将对于材料凹陷“ Δh ”进行平均。此外,术语“统计测量(statistical measurements)”可例如被理解为:使用通过实际的测量获得的经验数据的校准,或者仅被理解为:平均的实际的测量。

[0078] 模型的第2版本:通过改变电子束倾斜角度来决定高度差

[0079] 第二版本的模型从变量计算出高度差,该变量可以被表示为:当扫描电子束的倾斜角度改变时的SEM图像上的两个特征点之间的测量距离的改变。本领域技术人员会理解到:在图案的侧视图上的“特征点(characteristic point)”可对应于在相同图案的俯视图

上的“特征线(characteristic line)”,并且两个特征点之间的距离对应于两条的平行的特征线之间的距离。

[0080] 特征线应该被理解为:沿着周期性结构的底部边缘设置的具有条带的形式的亮点。实际上,沿着结构的底部和壁之间的底部角落发现此特征线,该角落是由倾斜的扫描电子束到达,从而在SEM图像处产生相对明亮的(特征性)点(这是由于电子是从角落的壁部分和底部部分二者发射的缘故)。

[0081] 图5显示:在图2C和图3中所显示的相同的图案的侧视图,其中就具有更为写实的圆形轮廓。首先利用具有相对于与晶片的表面垂直的轴(虚线)的倾斜角度 γ_1 的电子束40来扫描图案。然后,可以由以与 γ_1 不同的 γ_2 倾斜的电子束42来扫描图案。先决条件是:对于两个角度而言,至少一个检测器D1将记录在间隙沟槽的底部角落处(Cg)和在该间隙沟槽的相邻核心沟槽的底部角落Cc处的特征线,间隙沟槽和核心沟槽属于相同的核心-间隙对(在此表示为对1)。在Cg和Cc处的特征线将被视为:从由D1收集的数据中获得的在SEM图像上的亮点。当倾斜角度改变时,所述线将会改变其位置。此者更为详细地显示于图6中。额外的条件是:至少一个检测器应能够记录倾斜角度 γ_1 和 γ_2 二者的特征线,以为比较这些检测器的SEM图像并测量在所述SEM图像上的距离 ΔX_1 和 ΔX_2 。

[0082] 然后,在位于Cc处的特征线与位于Cg处的特征线之间测量的距离 ΔX_1 和 ΔX_2 (针对于相同的核心-间隙对且对于不同的倾斜角度获得的)被使用于计算此核心-间隙对的材料凹陷 Δh 。

[0083] 图6显示:在图2C和图5中所显示的图案的SEM图像的示意性的简化部分,其中以不同的倾斜角度产生的特征线被示意性地显示为:规则结构的在浅灰色的顶部与深灰色的底部之间的白色部分。处于倾斜角度 γ_1 的特征线显现为更窄的,而处于倾斜角度 γ_2 的特征线显现为更宽的(因为 $\gamma_1 < \gamma_2$)。倾斜方向由粗箭头示意性地显示。针对于特定的核心-间隙对来测量:在特征线的右端之间的距离 ΔX (右端是由黑色虚线来标示)。应注意:在浅的核心处的特征线比在较深的间隙处的特征线宽。

[0084] 举例而言,针对于核心-间隙对1(核心1和间隙1)测量在特征线之间的距离 ΔX_1 ,所述特征线显现在处于倾斜角度 γ_1 时获得的SEM图像上。针对于相同的核心-间隙对1测量特征线之间的距离 ΔX_2 ,所述特征线显现在处于倾斜角度 γ_2 时获得的SEM图像上。可以针对于另一核心-间隙对(例如,包含间隙1和核心2的对2)测量类似的距离。可以观察到:距离 ΔX 随着倾斜角度的改变而变化。因为此变化是在核心-间隙对之间的高度差的函数,可以使用适当版本的模型从 ΔX 中导出高度差。

[0085] 应理解到:在前文中提及的可测量的值 Δ (ΔX)可以从距离(ΔX)的两个值中计算得到,其中该距离(ΔX)是使用针对于扫描电子束的两个不同的倾斜角度 γ 获得的两个分别的SEM图像来测量的。举例而言,可以选择两个倾斜角度,并且可以针对于特定的“核心-间隙(core-gap)”对获得值 Δ (ΔX)。

[0086] 图7是用于执行根据模型的第2版本的方法的示例性的流程图。图7的方法可由处理逻辑来执行,该处理逻辑可包含:硬件(例如,处理装置、电路、专用逻辑、可编程逻辑、微码、装置的硬件、集成电路等等)、软件(例如,运行的指令或在处理装置上执行的指令),或上述的组合。此外,图案可为周期性结构或具有材料凹陷的不规则的结构。在一些实施方式中,图4的方法可由显示于图1A和图1B中的系统执行。应注意:需要用于实施此模型的至

少一个检测器。

[0087] 图7的方法开始于方块50处,其中利用处于两个倾斜角度 γ_1 和 γ_2 的初级电子束来扫描图案。接着,在方块52中,由一个或多个检测器来检测二次和背向散射电子,从而针对于每一倾斜角度产生相对应的SEM图像。注意到:SEM图像可为使用来自多个检测器的数据的组合的图像。在方块54中,对于针对特定的倾斜角度获得的每一SEM图像,识别出对于每一核心-间隙对且在此特定的倾斜角度处产生的特征线。在方块56中,对于每一特定的核心-间隙对,测量在处于两个不同的倾斜角度的特征线之间的距离 ΔX_1 和 ΔX_2 。然后,计算出在这些距离之间的差(即, $\Delta(\Delta X)$)。在方块58中,使用第2版本的模型的函数计算出 Δh ,其中变量 $\Delta(\Delta X)$ 是 Δh 的函数,如同下面的方程式显示者: $\Delta(\Delta X) = (\Delta(\tan \gamma)) * \Delta h$,其中($\Delta(\tan \gamma)$)是在 $V=f(\Delta h)$ 中的函数“f”,前述者反映了倾斜角度的变化。

[0088] 总而言之,在第二版本的模型中测量可测量的值V的方法可例如包含以下子步骤:

[0089] -通过选择电子束的两个不同的角度(如角度 γ_1 和 γ_2),选择函数“f”的两个实际的参数,并且将第三实际的参数 $\Delta \tan \gamma$ 计算为($\tan(\gamma_1) - \tan(\gamma_2)$);

[0090] -利用以角度 γ_1 倾斜的电子束来扫描规则的结构,然后利用以角度 γ_2 倾斜的电子束来扫描规则的结构;

[0091] -针对于两个分别的不同的角度 γ_1 和 γ_2 获得图案的两个SEM图像 I_{γ_1} 和 I_{γ_2} ,

[0092] -针对于两个图像 I_{γ_1} 和 I_{γ_2} 中的每一者决定一对通道(比如说,相邻的核心沟槽和间隙沟槽)的两条特征线(其中两条特征线是由该对相邻的核心沟槽和间隙沟槽的底部角落 C_c 和 C_g 在被倾斜的电子束照射时于该图像上产生的特征线);

[0093] -针对于两个图像 I_{γ_1} 和 I_{γ_2} 中的每一者,决定该对通道的两条特征线之间的距离 ΔX ,

[0094] -测量作为在图像 I_{γ_1} 中决定的距离 ΔX 与在图像 I_{γ_2} 中决定的距离 ΔX 之间的差 $\Delta(\Delta X)$ 的值V。

[0095] 然后将高度差 Δh 决定为: $\Delta h = \Delta(\Delta X) / (\Delta(\tan \gamma))$,其中 $\Delta \tan \gamma = \tan(\gamma_1) - \tan(\gamma_2)$ 。

[0096] 可以在晶片的周期性结构上选择感兴趣的区域,然后可以对于沿着在感兴趣的区域中预先选择的一个或多个轴/方向的绝对的测量值(和/或基于绝对的测量值进行的绝对的计算)进行平均。此引入了测量的精确性与晶片的特定的区域或整个晶片中的高度差的适当估计之间的权衡。

[0097] 图8图标计算机系统600的示例性机器,其中在该计算机系统内可执行用于使得该机器执行在此讨论的方法中的任何的一个或多个的一组指令。在替代性的实施中,机器可被连接(例如,以网络连接的方式)至在LAN、企业内部网络、企业外部网络,和/或互联网(Internet)中的其他的机器。机器可以以服务器或客户端机器的身份在客户端-服务器网络环境中进行操作、作为对等机器在对等网络环境(或分布式网络环境)中进行操作,或者作为服务器或客户端机器在云端计算基础设施或环境中进行操作。

[0098] 该机器可为:个人计算机(PC)、平板PC、机顶盒(STB)、个人数字助理(PDA)、移动电话、网络设备、服务器、网络路由器、交换机或网桥、或能够执行一组指令(顺序的或以另外的方式)的任何的机器,该一组指令指定:要由此机器进行的动作。此外,虽然图示单个机器,但是术语“机器(machine)”也应被用以包含个别地或联合地执行一组(或多组)指令以

执行在此讨论的方法中的任何的一个或多个的机器的任何的集合。

[0099] 示例性计算机系统600包含:处理装置602、主存储器604(例如,只读存储器(ROM)、闪存、动态随机存取存储器(DRAM)(例如:同步DRAM(SDRAM))等等)、静态存储器606(例如,闪存、静态随机存取存储器(SRAM)等等)和数据存储装置616,前述者经由总线608相互进行通信。

[0100] 处理装置602表示:一个或多个通用处理装置(例如,微处理器、中央处理单元等等)。更为特定地,处理装置可为:复杂指令集计算(CISC)微处理器、精简指令集计算(RISC)微处理器、超长指令字(VLIW)微处理器,或实现其他指令集的处理器,或实施指令集的组合的处理器。处理装置602也可为:一个或多个专用处理装置(例如,专用集成电路(ASIC)、现场可编程门阵列(FPGA)、数字信号处理器(DSP)、网络处理器等等)。处理装置602经配置以执行用于进行在此讨论的操作和步骤的指令。

[0101] 计算机系统600可进一步包含网络接口装置622以通过网络618进行通信。计算机系统600也可包含:视频显示单元610(例如,液晶显示器(LCD)或阴极射线管(CRT))、文字数字输入装置612(例如,键盘)、光标控制装置614(例如,鼠标或触摸板)、信号产生装置620(例如,扬声器)、图形处理单元(未被显示出)、视频处理单元(未被显示出)和音频处理单元(未被显示出)。

[0102] 数据存储装置616可包含:机器可读存储介质624(也被称为计算机可读介质),其中在该机器可读存储介质上存储有体现在此描述的方法或功能中的任何的一个或多个的一组或多组指令或软件。在由计算机系统600执行指令期间,所述指令也可完全地或至少部分地常驻于主存储器604内和/或处理装置602内,主存储器604和处理装置602也构成机器可读存储介质。

[0103] 在一个实施中,指令包含:用以实施与高度差决定相对应的功能的指令。虽然机器可读存储介质624在示例性实施中被显示为单一的介质,但是术语“机器可读存储介质(machine-readable storage medium)”应被用以包含:存储一组或多组指令的单一的介质或多个介质(例如,集中式的或分布式的数据库,和/或相关联的高速缓存和服务器)。术语“机器可读存储介质(machine-readable storage medium)”也应被用以包含:能够存储或编码由该机器执行并且使得该机器执行本公开内容的方法中的任何的一个或多个的一组指令的任何的介质。术语“机器可读存储介质(machine-readable storage medium)”应从而被用以包含(但不限于):固态存储器、光学介质和磁性介质。

[0104] 已经根据对计算机存储器内的数据位的操作的算法和符号表示来呈现前面的实施方式的一些部分。这些算法的描述和表示是由在数据处理领域中的技术人员所使用以将所述技术人员的工作的本质最为有效地传达给本领域的其他技术人员的方式。算法在此(且一般性地)被认为是以导致所期望的结果的自我一致的一序列的操作。所述操作是:需要进行物理量的物理操作的那些操作。通常地(尽管并非必要地),这些量采用:能够被存储、被组合、被比较,及以另外的方式进行操作的电气信号或磁性信号的形式。将这些信号称作为位、数值、元素、符号、字符、术语、数字,或类似者已被证明为有时候是方便的(主要是由于经常使用的原因)。

[0105] 然而,应该牢记在心的是:这些和类似的术语的所有者用以与适当的物理量相关联,并且仅为被运用至这些量的方便的标记。除非特定地和另外地声明(如同从前文的讨论

中显而易见的),理解到:在全文的描述中,利用术语(例如:“识别(identifying)”、或“决定(determining)”、或“执行(executing)”、或“进行(performing)”、或“收集(collecting)”、或“产生(creating)”、或“传送(sending)”,或类似者)的讨论意指为:计算机系统或类似的电子计算装置的动作和过程,该计算机系统或该类似的电子计算装置操作被表示为在计算机系统的寄存器和存储器内的物理(电子)量的数据和转换被表示为在计算机系统的寄存器和存储器内的物理(电子)量的数据为类似地被表示为在计算机系统存储器或寄存器或其他的此类的信息存储装置内的物理量的其他的数据。

[0106] 本公开内容还涉及:用于执行在此的操作的设备。此设备可以特别地为了达到所欲的目的而建构,或者该设备可包含:选择性地由存储在计算机中的计算机程序启动或重新配置的通用计算机。这样的计算机程序可被存储在计算机可读存储介质(例如(但不限于):包含软盘、光盘、CD-ROM,及磁光盘、只读存储器(ROM)、随机存取存储器(RAM)、EPROM、EEPROM,磁卡或光学卡,或适合用于存储电子指令的任何的类型的介质的任何类型的磁盘(其中每一者被耦接至计算机系统总线))中。

[0107] 在此呈现的算法和显示器并不固有地与任何的特定的计算机或其他的设备相关。各种通用系统可根据在此的教导与程序共同地使用,或者可证明建构更为专用的设备以执行该方法是方便的。用于各种的这些系统的结构将如同在后文的描述中阐述般显现。此外,本公开内容并未参照任何的特定的编程语言来描述。将理解到:可使用各种编程语言来实施如同在此描述的本公开内容的教导。

[0108] 本公开内容可被提供以作为计算机程序产品或软件,该计算机程序产品或该软件可包含:具有存储于其上的指令的机器可读介质,所述指令可被使用以对计算机系统(或其他的电子设备)进行编程以根据本公开内容来执行程序。机器可读介质包含:用于以机器(例如:计算机)可读的形式来存储信息的任何的构件。举例而言,机器可读(例如,计算机可读)的介质包含:机器(例如,计算机)可读存储介质(例如:只读存储器“ROM”、随机存取存储器(“RAM”)、磁盘存储介质、光学存储介质、闪存装置等等)。

[0109] 在前面的说明书中,已经参考其特定的示例性实施描述了本公开内容的实施。将为显而易见的是,在不偏离如同在随附的权利要求书中阐述的本公开内容的实施的更宽广的精神和范围的情况下,可以对其进行各种修改。因此,说明书和附图被认为是具有示例说明性的意义,而非具有限制性的意义。

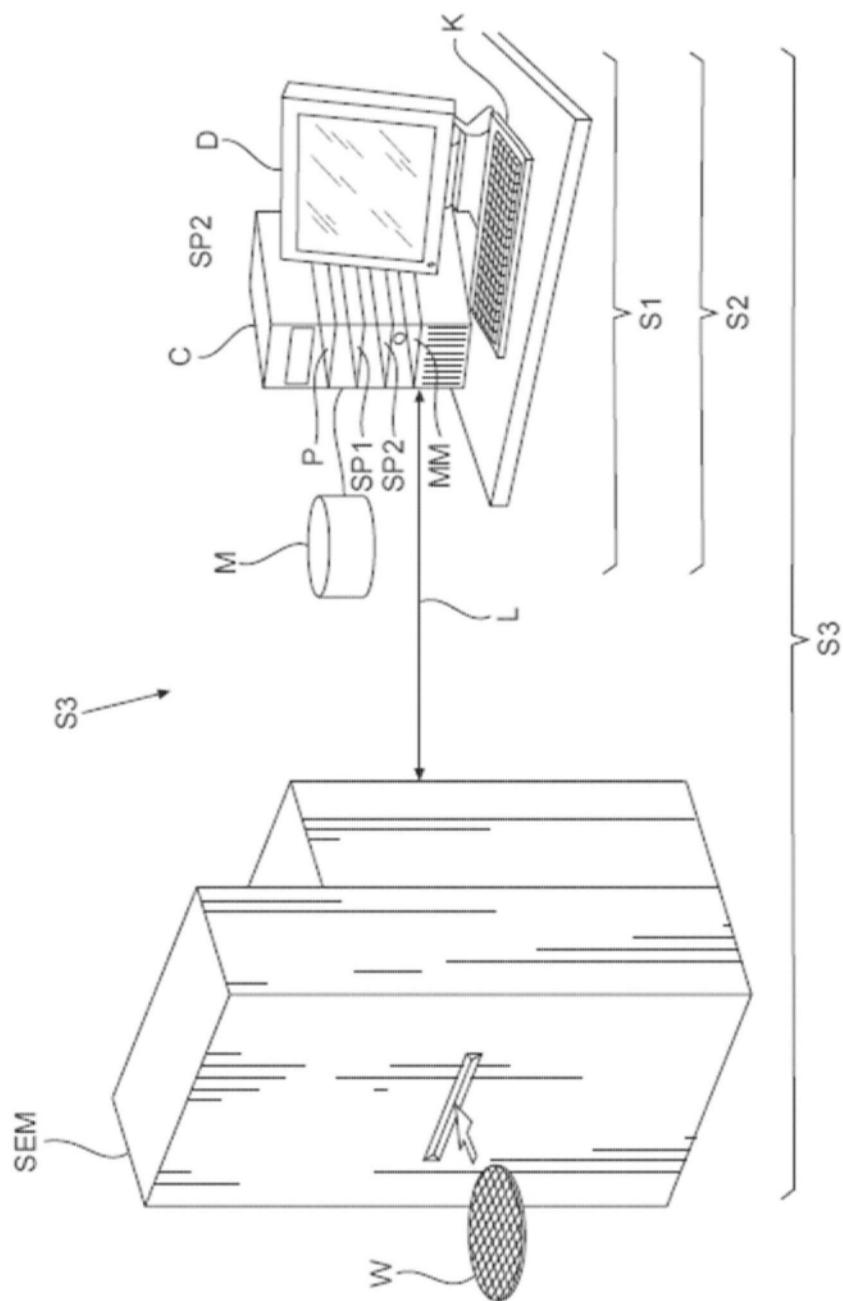


图1A

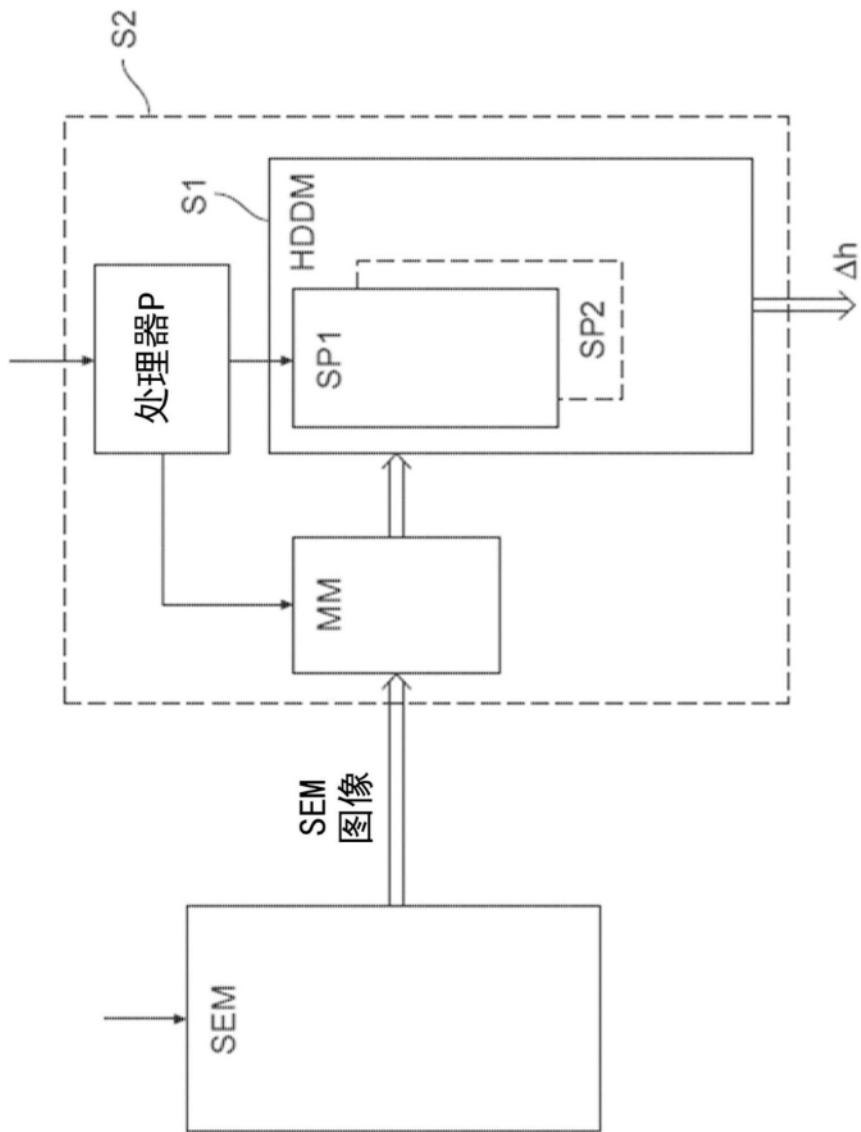


图1B

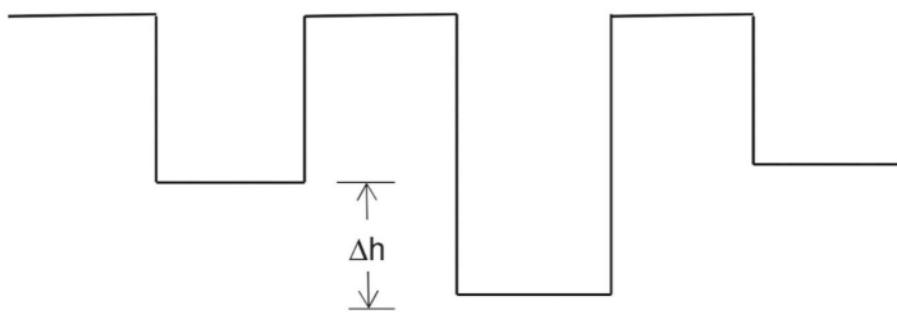


图1C

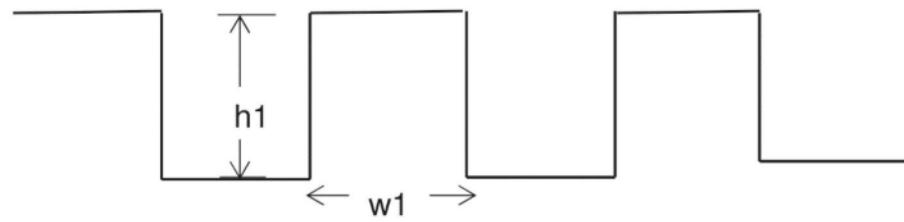


图1D(a)

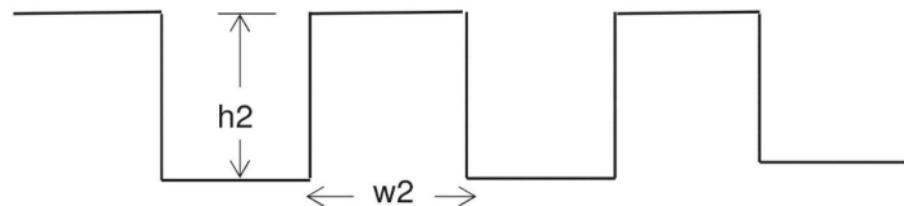


图1D(b)

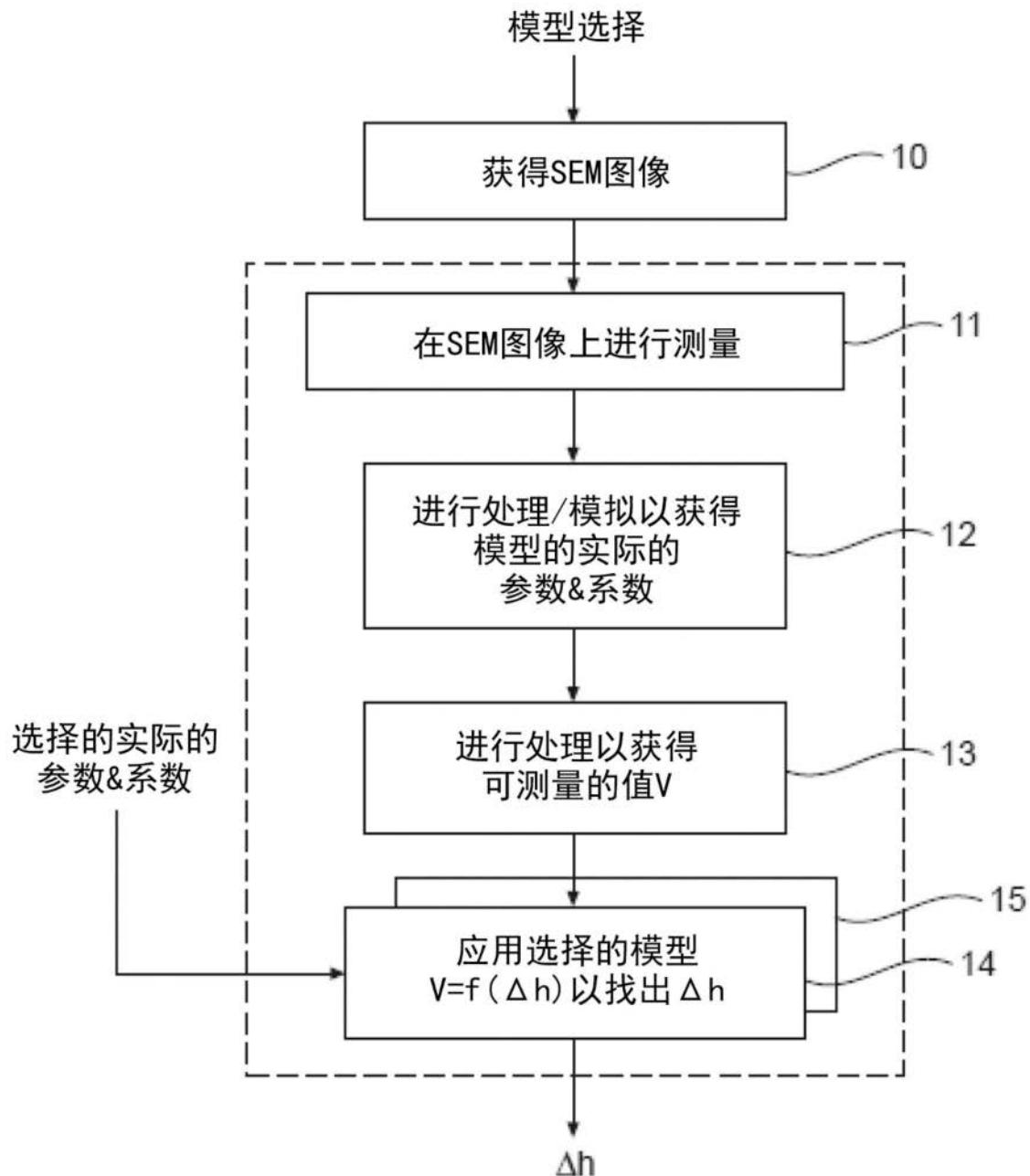


图2A

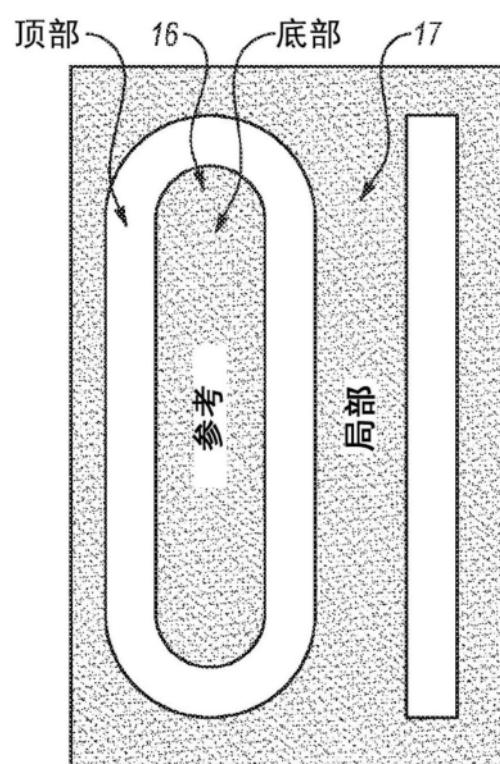


图2B

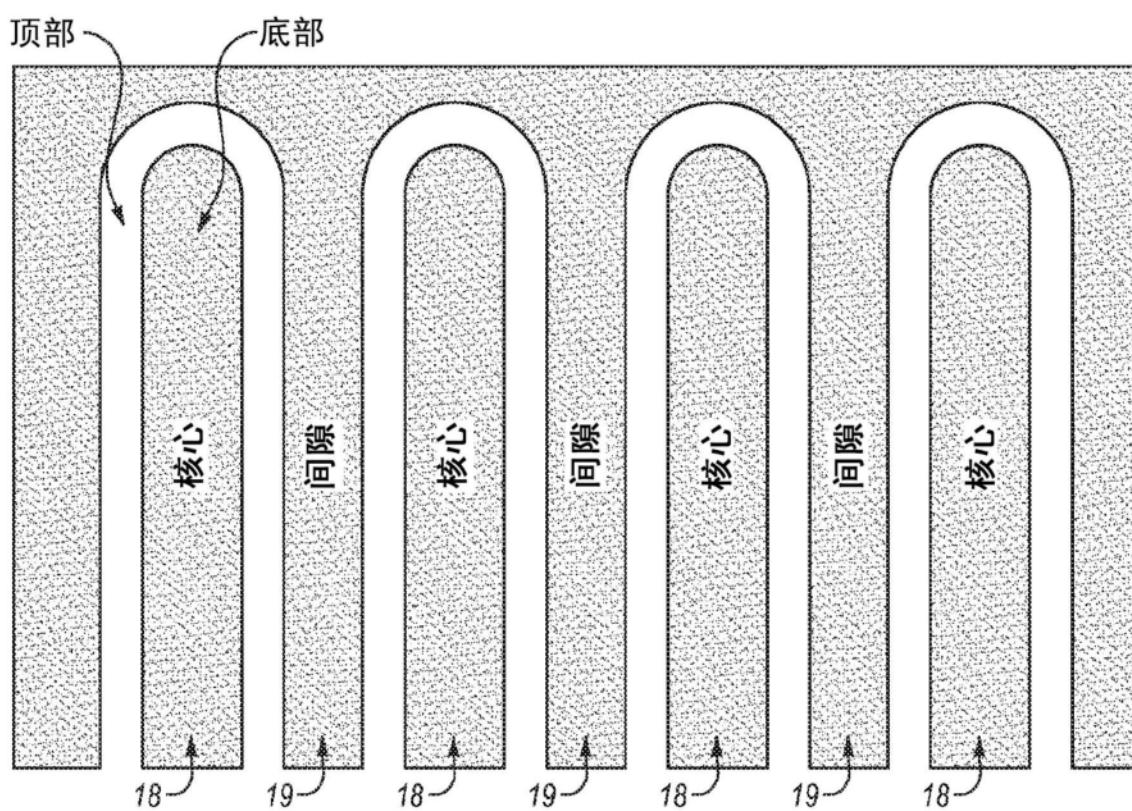


图2C

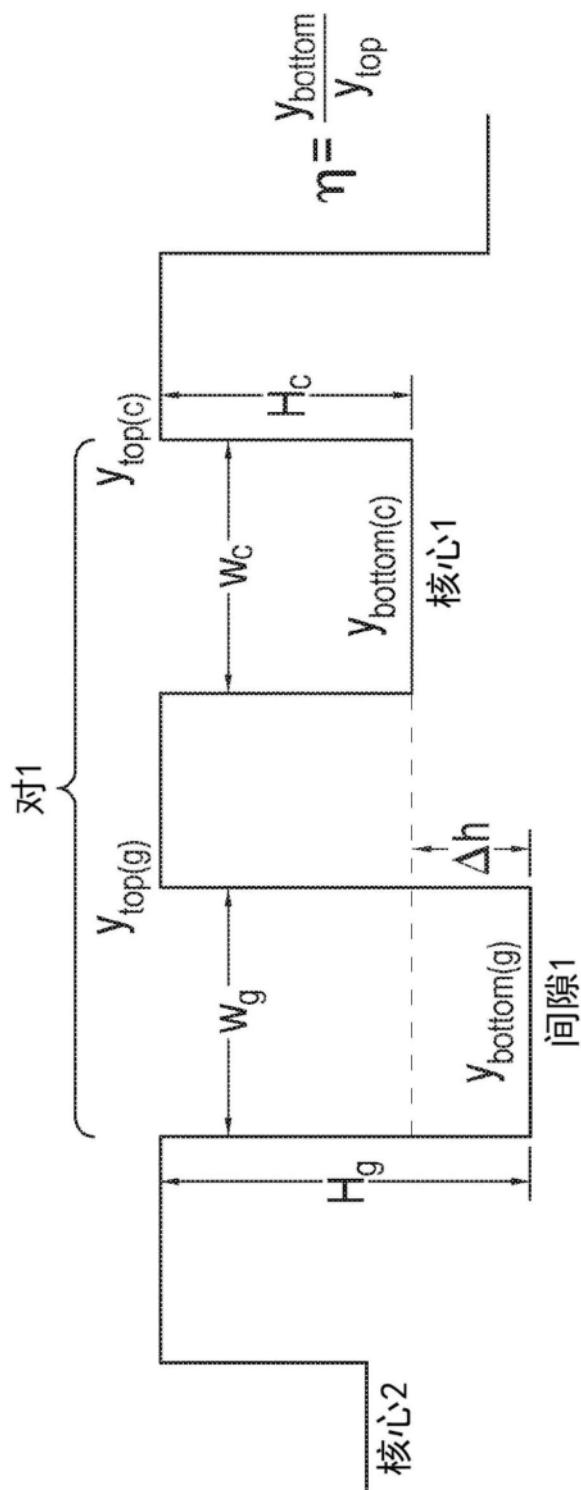


图3

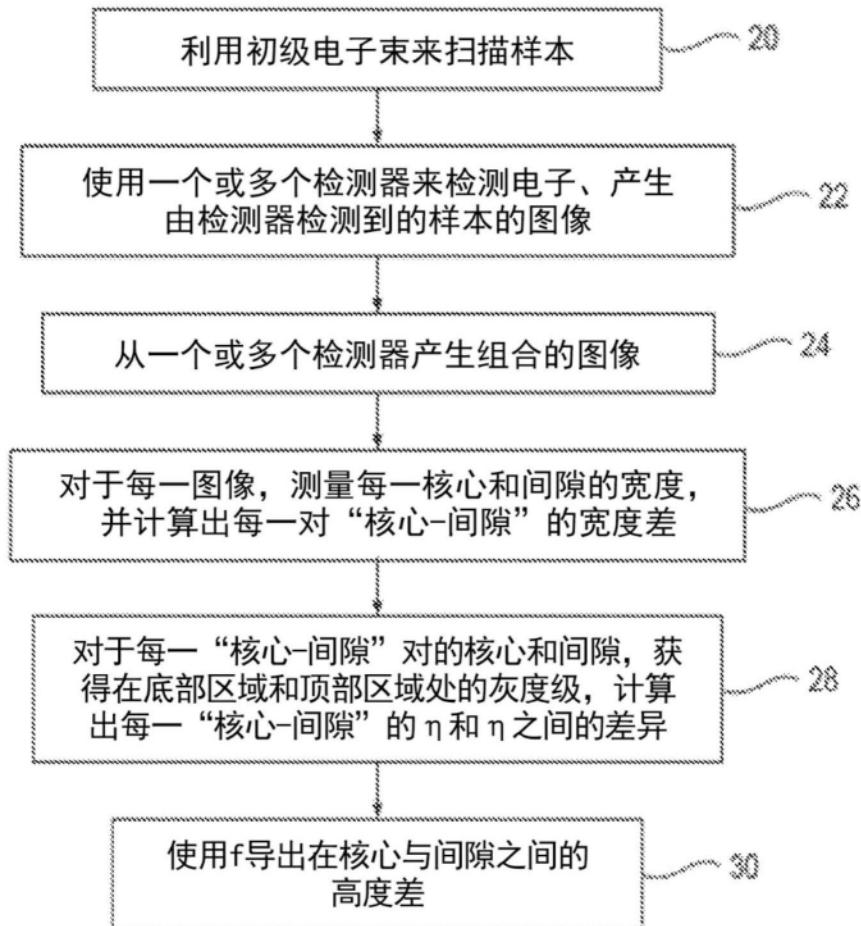


图4

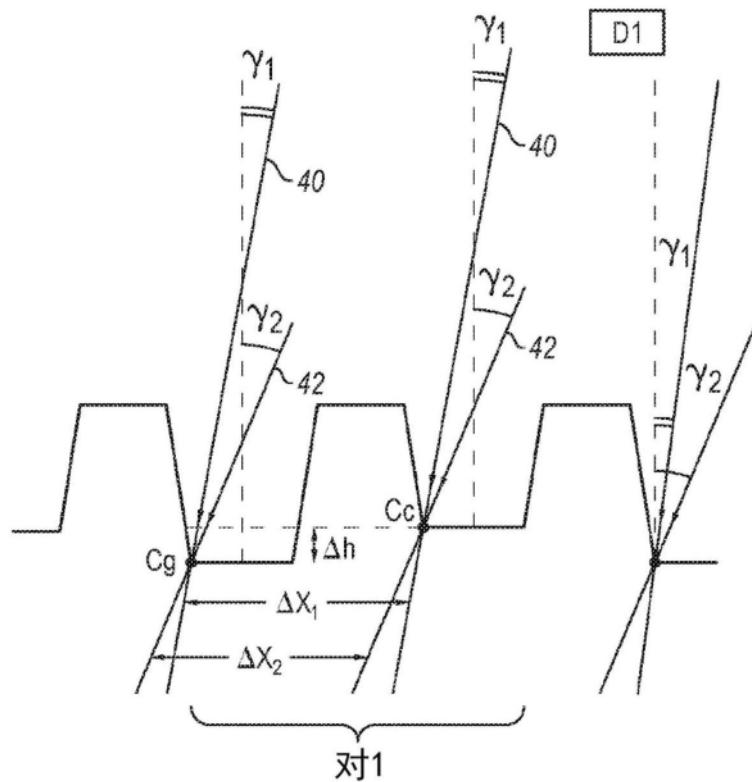


图5

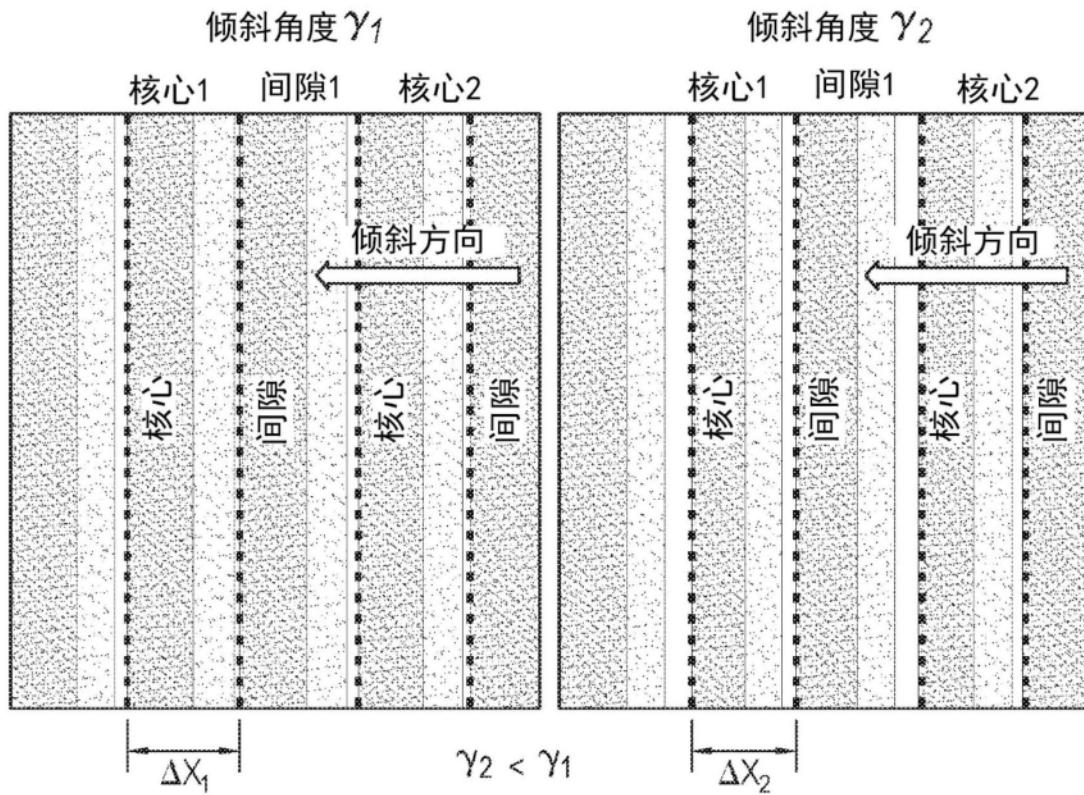


图6

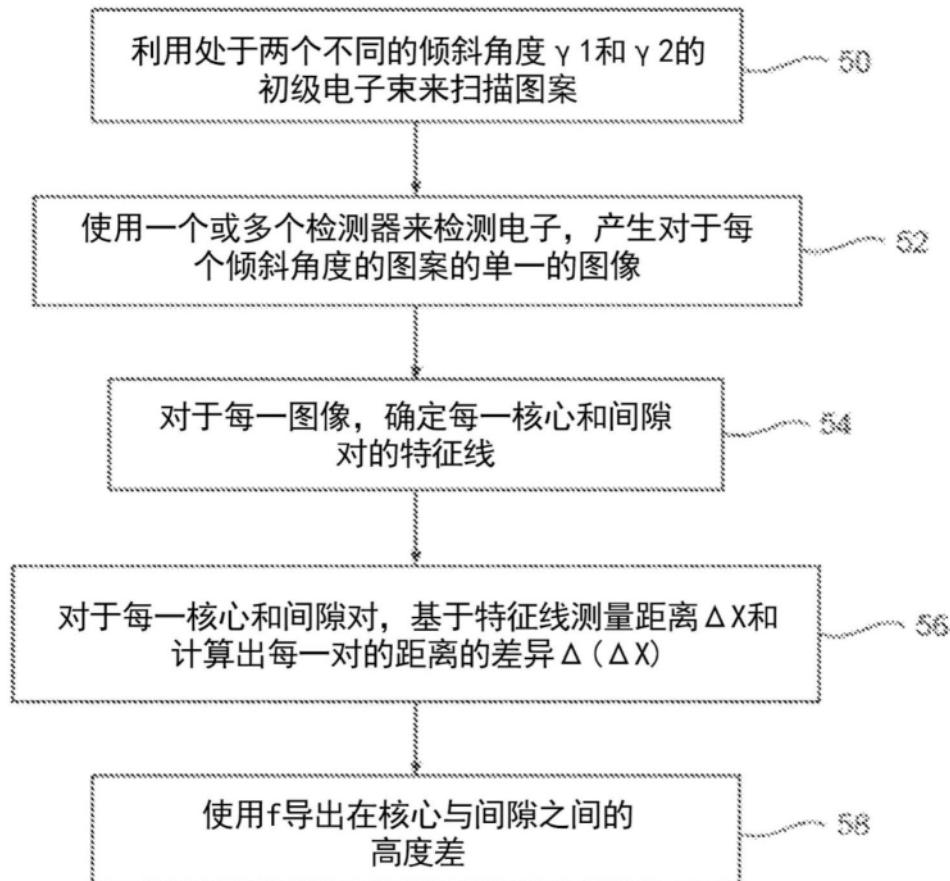


图7

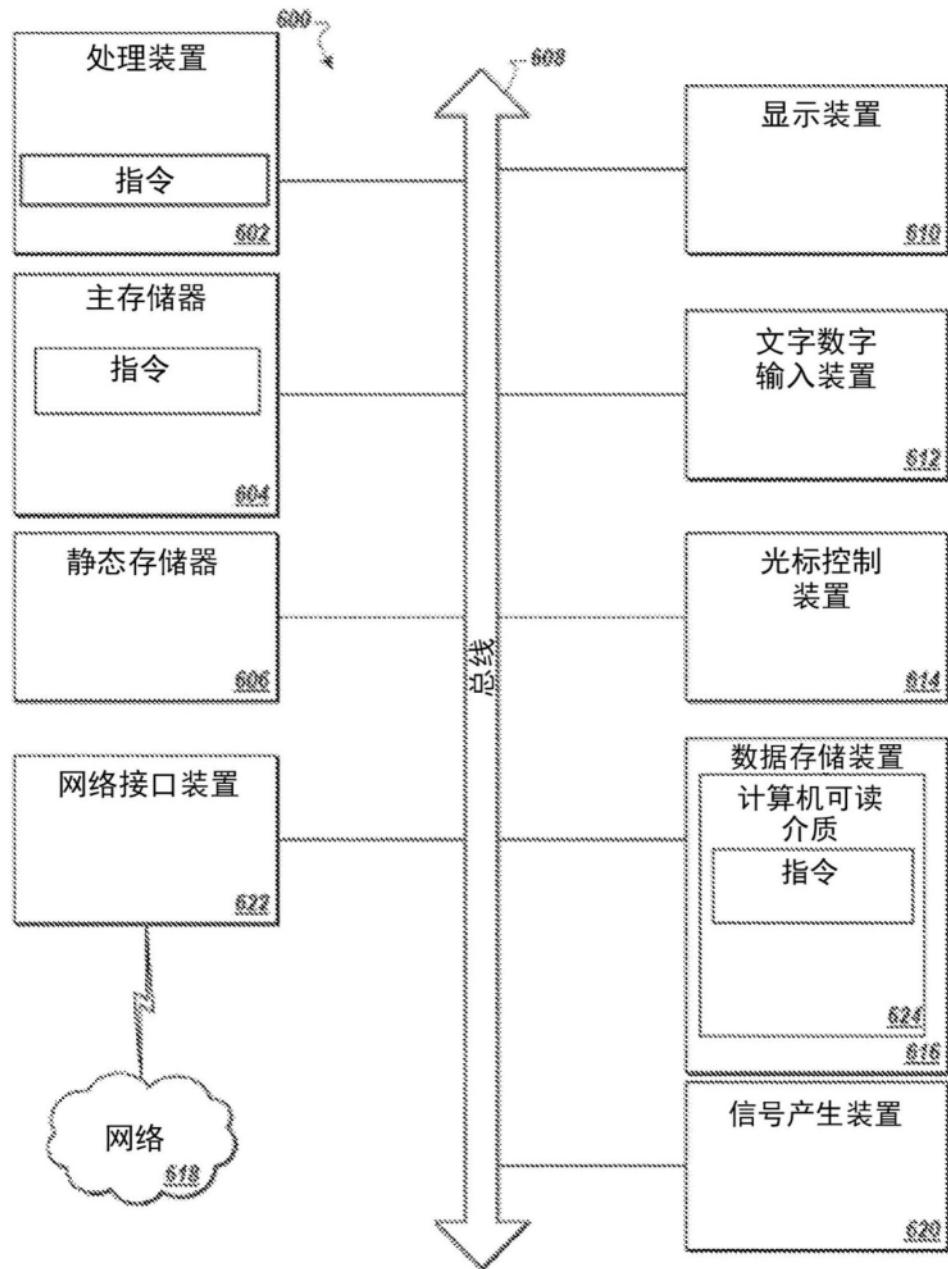


图8