



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109716495 B

(45)授权公告日 2020.08.21

(21)申请号 201780057112.2

(22)申请日 2017.08.09

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109716495 A

(43)申请公布日 2019.05.03

(30)优先权数据
15/233,812 2016.08.10 US
15/338,838 2016.10.31 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2019.03.15

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2017/046076 2017.08.09

(87)PCT国际申请的公布数据
W02018/031639 EN 2018.02.15

(73)专利权人 科磊股份有限公司
地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 J·J·徐 R·苏塔耳曼
K·K·李 N·卡特尤里亚

(74)专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限
责任公司 11287
代理人 刘丽楠

(51)Int.Cl.
H01L 21/67(2006.01)
H01L 21/66(2006.01)

(56)对比文件
US 2013280752 A1,2013.10.24,
US 2006098861 A1,2006.05.11,
US 2008291532 A1,2008.11.27,
CN 103282818 A,2013.09.04,
US 2006098861 A1,2006.05.11,
US 8598527 B2,2013.12.03,

审查员 武建刚

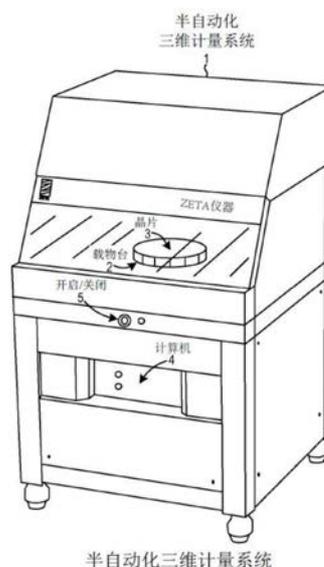
权利要求书3页 说明书12页 附图26页

(54)发明名称

用于晶片中开口尺寸的光学测量的方法和系统

(57)摘要

一种使用光学显微镜产生样本的3D信息的方法包含:按经预先确定的步骤变更所述样本与所述光学显微镜的物镜之间的距离;在每一经预先确定的步骤处捕获图像;确定每一经捕获图像中的每一像素的特性值;基于每一经捕获图像中的每一像素的所述特性值确定聚焦在所述样本的第一表面上的第一经捕获图像;及基于所述第一经捕获图像确定所述样本的所述第一表面中的开口的测量。所述样本的所述第一表面及所述样本的第二表面在所述经捕获图像中的每一者的视场内。所述第一经捕获图像包含图案叠加。在另一实例中,使用不具有图案叠加的第二经捕获图像确定所述开口测量。



1. 一种使用光学显微镜产生样本的三维信息的方法,所述方法包括:
按经预先确定的步骤变更所述样本与所述光学显微镜的物镜之间的距离;
在每一经预先确定的步骤处捕获图像,其中所述样本的第一表面及所述样本的第二表面在经捕获图像中的每一者的视场内;
确定每一经捕获图像中的每一像素的特性值;
基于每一经捕获图像中的每一像素的所述特性值确定聚焦在所述样本的第一表面上的第一经捕获图像;
基于所述第一经捕获图像确定所述样本的所述第一表面中的开口的测量;
基于每一经捕获图像中的每一像素的所述特性确定聚焦在所述样本的第二表面上的第二经捕获图像;
基于所述第二经捕获图像确定所述样本的所述第二表面中的开口的测量;及
确定所述样本的所述第一表面与所述样本的所述第二表面之间的距离,其中所述样本的所述第一表面与所述样本的所述第二表面之间的所述距离指示所述样本中的所述开口的深度。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述样本的所述第一表面中的所述开口是所述样本中的孔或沟槽的底部的开口区。
3. 根据权利要求1所述的方法,其中所述样本的所述第一表面中的所述开口是所述样本中的孔或沟槽的顶部的开口区。
4. 根据权利要求1所述的方法,其中所述测量的所述确定包含:将线拟合到在所述第一经捕获图像中展示的所述样本的所述第一表面中的所述开口的边界。
5. 根据权利要求1所述的方法,其中所述测量是所述样本的所述第一表面中的所述开口的直径。
6. 根据权利要求1所述的方法,其中所述测量是所述样本的所述第一表面中的所述开口的面积。
7. 根据权利要求1所述的方法,其中所述测量是所述样本的所述第一表面中的所述开口的宽度。
8. 根据权利要求1所述的方法,其中所述测量是所述样本的所述第一表面中的所述开口的形状。
9. 根据权利要求1所述的方法,其中每一像素的所述特性是强度。
10. 根据权利要求1所述的方法,其中每一像素的所述特性是对比度。
11. 根据权利要求1所述的方法,其中每一像素的所述特性是条纹对比度。
12. 根据权利要求1所述的方法,其中所述光学显微镜包含载物台,其中所述样本由所述载物台支撑,其中所述光学显微镜经调适以与计算机系统通信,且其中所述计算机系统包含经调适以存储每一经捕获图像的存储器装置。
13. 根据权利要求1所述的方法,其中所述光学显微镜是共焦显微镜。
14. 根据权利要求1所述的方法,其中所述光学显微镜是结构化照明显微镜。
15. 根据权利要求1所述的方法,其中所述光学显微镜是干涉仪显微镜。
16. 根据权利要求1所述的方法,其中所述确定聚焦在所述样本的第一表面上的第一经捕获图像进一步包括:

针对每一经捕获图像确定跨所述经捕获图像中的所有像素的最大特性；及
比较每一经捕获图像的所述最大特性以确定每一经预先确定的步骤处是否存在所述样本的表面。

17. 根据权利要求1所述的方法，其中所述确定聚焦在所述样本的第一表面上的第一经捕获图像进一步包括：

针对每一经捕获图像确定具有第一范围内的特性值的像素的计数，其中不具有所述第一范围内的特性值的所有像素未包含于所述像素计数中；及

基于每一经捕获图像的所述像素计数确定每一经预先确定的步骤处是否存在所述样本的表面。

18. 一种三维测量系统，其包括：

光学显微镜，其包括物镜及载物台，其中所述光学显微镜经调适以按经预先确定的步骤变更由所述载物台支撑的样本与所述光学显微镜的所述物镜之间的距离；及

计算机系统，其包括处理器及存储装置，其中所述计算机系统经调适以：

存储在每一经预先确定的步骤处捕获的图像，其中所述样本的第一表面及所述样本的第二表面在每一图像的视场内；

确定每一经捕获图像中的每一像素的特性；

基于每一经捕获图像中的每一像素的所述特性确定聚焦在所述样本的所述第一表面上的第一经捕获图像；

基于所述第一经捕获图像确定所述样本的所述第一表面中的开口的测量；

基于每一经捕获图像中的每一像素的所述特性确定聚焦在所述样本的第二表面上的第二经捕获图像；

基于所述第二经捕获图像确定所述样本的所述第二表面中的开口的测量；及

确定所述样本的所述第一表面与所述样本的所述第二表面之间的距离，其中所述样本的所述第一表面与所述样本的所述第二表面之间的所述距离指示所述样本中的所述开口的深度。

19. 一种使用光学显微镜产生样本的三维信息的方法，所述方法包括：

按经预先确定的步骤变更所述样本与所述光学显微镜的物镜之间的距离；

在每一经预先确定的步骤处捕获图像，其中在捕获每一图像时将图案投影到所述样本上，且其中所述样本的第一表面及所述样本的第二表面在经捕获图像中的每一者的视场内；

确定每一经捕获图像中的每一像素的特性值；

基于每一经捕获图像中的每一像素的所述特性值确定聚焦在所述样本的第一表面上的第一经捕获图像，其中所述第一经捕获图像聚焦在焦距处；

捕获在所述焦距处获得的第二经捕获图像，其中在捕获所述第二经捕获图像时未将图案投影到所述样本上；

基于所述第二经捕获图像确定所述样本的所述第一表面中的开口的测量；

基于每一经捕获图像中的每一像素的所述特性确定聚焦在所述样本的第二表面上的第三经捕获图像；

基于所述第三经捕获图像确定所述样本的所述第二表面中的开口的测量；及

确定所述样本的所述第一表面与所述样本的所述第二表面之间的距离,其中所述样本的所述第一表面与所述样本的所述第二表面之间的所述距离指示所述样本中的所述开口的深度。

用于晶片中开口尺寸的光学测量的方法和系统

[0001] 相关申请案的交叉参考

[0002] 本申请案是2016年8月10日申请的标题为“自动化三维测量(AUTOMATED 3-D MEASUREMENT)”的序列号为15/233,812的非临时美国专利申请案的部分接续案且根据35U.S.C.§120规定主张所述美国专利申请案的优先权。所述申请案的揭示内容以全文引用的方式并入本文中。

技术领域

[0003] 所描述实施例大体上涉及测量样本的三维信息,且更特定来说涉及按快速且可靠方式自动测量三维信息。

背景技术

[0004] 各种对象或样本的三维(3-D)测量在许多不同应用中是有用的。一个此应用是在晶片级封装处理期间。在晶片级制造的不同步骤期间的晶片的三维测量信息可提供关于存在可存在于晶片上的晶片处理缺陷的洞察。在晶片级制造期间的晶片的三维测量信息可在耗费额外资金来继续处理晶片之前提供关于不存在缺陷的洞察。当前通过显微镜的人工操纵来收集样本的三维测量信息。人类用户使用其眼睛使显微镜聚焦以确定显微镜何时聚焦在样本的表面上。需要收集三维测量信息的改进方法。

发明内容

[0005] 在第一新颖方面中,使用光学显微镜通过按经预先确定的步骤变更样本与光学显微镜的物镜之间的距离而产生样本的三维(3-D)信息。在每一经预先确定的步骤处捕获图像。所述样本的第一表面及所述样本的第二表面在所述经捕获图像中的每一者的视场内。确定每一经捕获图像中的每一像素的特性值。基于每一经捕获图像中的每一像素的所述特性值确定聚焦在所述样本的第一表面上的第一经捕获图像。基于所述第一经捕获图像确定所述样本的所述第一表面中的开口的测量。

[0006] 在第二新颖方面中,一种三维(3-D)测量系统包含:光学显微镜,其包括物镜及载物台,其中所述光学显微镜经调适以按经预先确定的步骤变更由所述载物台支撑的样本与所述光学显微镜的所述物镜之间的距离;及计算机系统,其包含处理器及存储装置,其中所述计算机系统经调适以:(i)存储在每一经预先确定的步骤处捕获的图像,其中在每一图像中捕获所述样本的第一表面及所述样本的第二表面;(ii)确定每一经捕获图像中的每一像素的特性;(iii)基于每一经捕获图像中的每一像素的所述特性确定聚焦在所述样本的所述第一表面上的第一经捕获图像;及(iv)基于所述第一经捕获图像确定所述样本的所述第一表面中的开口的测量。

[0007] 在第三新颖方面中,使用光学显微镜通过以下步骤产生样本的三维(3-D)信息:(i)按经预先确定的步骤变更所述样本与所述光学显微镜的物镜之间的距离;(ii)在每一经预先确定的步骤处捕获图像,其中在捕获每一图像时将图案投影到所述样本上,且其中

所述样本的第一表面及所述样本的第二表面在所述经捕获图像中的每一者的视场内；(iii) 确定每一经捕获图像中的每一像素的特性值；(iv) 基于每一经捕获图像中的每一像素的所述特性值确定聚焦在所述样本的第一表面上的第一经捕获图像，其中所述第一经捕获图像聚焦在焦距处；(v) 捕获在所述焦距处获得的第二图像，其中在捕获所述第二图像时未将图案投影到所述样本上；及(vi) 基于所述第二经捕获图像确定所述样本的所述第一表面中的开口的测量。

[0008] 在下文详细描述中描述另外细节及实施例以及技术。本发明内容并不旨在界定本发明。本发明由技术方案界定。

附图说明

[0009] 随附图式(其中相同数字指示相同组件)说明本发明的实施例。

[0010] 图1是执行样本的自动化三维测量的半自动化三维计量系统1的图。

[0011] 图2是包含可调整物镜11及可调整载物台12的三维成像显微镜10的图。

[0012] 图3是包含三维显微镜、样本处置器、计算机、显示器及输入装置的三维计量系统20的图。

[0013] 图4是说明在变更光学显微镜的物镜与载物台之间的距离时捕获图像的方法的图。

[0014] 图5是说明光学显微镜的物镜与样本表面之间的距离的图表，其中每一x-y坐标具有最大特性值。

[0015] 图6是使用在图5中展示的每一x-y坐标的最大特性值呈现的图像的三维图。

[0016] 图7是说明使用在各种距离处捕获的图像的峰值模式操作的图。

[0017] 图8是说明当光致抗蚀剂开口在光学显微镜的视场内时使用在各种距离处捕获的图像的峰值模式操作的图。

[0018] 图9是说明源自峰值模式操作的三维信息的图表。

[0019] 图10是说明使用在各种距离处捕获的图像的求和模式操作的图。

[0020] 图11是说明在使用求和模式操作时的错误表面检测的图。

[0021] 图12是说明源自求和模式操作的三维信息的图表。

[0022] 图13是说明使用在各种距离处捕获的图像的范围模式操作的图。

[0023] 图14是说明源自范围模式操作的三维信息的图表。

[0024] 图15是仅说明具有第一范围内的特性值的像素计数的图表。

[0025] 图16是仅说明具有第二范围内的特性值的像素计数的图表。

[0026] 图17是说明包含于峰值模式操作中的各种步骤的流程图。

[0027] 图18是说明包含于范围模式操作中的各种步骤的流程图。

[0028] 图19是聚焦在光致抗蚀剂层的顶表面上的经捕获图像(包含单个特征)的图。

[0029] 图20是说明产生强度阈值的第一方法的图。

[0030] 图21是说明产生强度阈值的第二方法的图。

[0031] 图22是说明产生强度阈值的第三方法的图。

[0032] 图23是样本中的光致抗蚀剂开口的三维图。

[0033] 图24是在图23中展示的光致抗蚀剂的顶表面开口的二维图。

- [0034] 图25是在图23中展示的光致抗蚀剂的底表面开口的二维图。
- [0035] 图26是聚焦在光致抗蚀剂层的顶表面上的经捕获图像。
- [0036] 图27是说明检测在图26中说明的光致抗蚀剂层的边界的图。
- [0037] 图28是聚焦在光致抗蚀剂层的底表面上的经捕获图像。
- [0038] 图29是说明检测在图28中说明的光致抗蚀剂层的边界的图。
- [0039] 图30是聚焦在沟槽结构中的光致抗蚀剂层的顶表面上的经捕获图像。
- [0040] 图31是说明检测在图30中说明的光致抗蚀剂层的边界的图。

具体实施方式

[0041] 现将详细参考本发明的背景实例及一些实施例,其实例在随附图式中加以说明。在下文描述及权利要求书中,例如“顶部”、“下面”、“上”、“下”、“顶部”、“底部”、“左”及“右”的关系术语可用于描述所描述结构的不同部分之间的相对定向,且应理解,所描述的整体结构可实际上以任何方式定向在三维空间中。

[0042] 图1是半自动化三维计量系统1的图。半自动化三维计量系统1包含光学显微镜(未展示)、开启/关闭按钮5、计算机4及载物台2。在操作中,将晶片3放置在载物台2上。半自动化三维计量系统1的功能是捕获对象的多个图像且自动产生描述对象的各种表面的三维信息。此也称为对象的“扫描”。晶片3是由半自动化三维计量系统1分析的对象实例。对象也可称为样本。在操作中,将晶片3放置在载物台2上且半自动化三维计量系统1开始自动产生描述晶片3的表面的三维信息的过程。在一个实例中,半自动化三维计量系统1开始于按压连接到计算机4的键盘(未展示)上的指定键。在另一实例中,半自动化三维计量系统1开始于跨网络(未展示)将开始命令发送到计算机4。半自动化三维计量系统1也可经配置与自动化晶片处置系统(未展示)配接,所述自动化晶片处置系统在完成晶片的扫描之后移除所述晶片且插入新晶片进行扫描。

[0043] 全自动化三维计量系统(未展示)类似于图1的半自动化三维计量系统;然而,全自动化三维计量系统还包含机器人处置器,其可在无人干预的情况下自动拾取晶片且将晶片放置在载物台上。以类似方式,全自动化三维计量系统也可使用机器人处置器从载物台自动拾取晶片且从载物台移除晶片。在生产许多晶片期间可期望全自动化三维计量系统,因为其避免人类操作者的可能污染且改进时间效率及总成本。替代地,当仅需测量少量晶片时,在研究及开发活动期间可期望半自动化三维计量系统1。

[0044] 图2是包含多个物镜11及可调整载物台12的三维成像显微镜10的图。三维成像显微镜可为共焦显微镜、结构化照明显微镜、干涉仪显微镜或所属领域中众所周知的任何其它类型的显微镜。共焦显微镜将测量强度。结构化照明显微镜将测量经投影结构的对比度。干涉仪显微镜将测量干涉条纹对比度。

[0045] 在操作中,将晶片放置在可调整载物台12上且选择物镜。三维成像显微镜10在调整载物台(晶片搁置于其上)的高度时捕获晶片的多个图像。此导致在晶片定位于远离所选择的透镜的各种距离处时捕获晶片的多个图像。在一个替代实例中,将晶片放置在固定载物台上且调整物镜的位置,借此在不移动载物台的情况下变更物镜与样本之间的距离。在另一实例中,可在x-y方向上调整载物台且可在z方向上调整物镜。

[0046] 经捕获图像可本地存储在包含于三维成像显微镜10中的存储器中。替代地,经捕

获图像可存储在包含于计算机系统的数据存储装置中,其中三维显微镜10跨数据通信链路将经捕获图像传递到计算机系统。数据通信链路的实例包含:通用串行总线(USB)接口、以太网连接、火线总线接口、无线网络(例如WiFi)。

[0047] 图3是包含三维显微镜21、样本处置器22、计算机23、显示器27(任选)及输入装置28的三维计量系统20的图。三维计量系统20是包含于半自动化三维计量系统1中的系统的实例。计算机23包含处理器24、存储装置25及网络装置26(任选)。计算机经由显示器27将信息输出到用户。如果显示器27是触摸屏幕装置,那么所述显示器还可用作输入装置。输入装置28可包含键盘及鼠标。计算机23控制三维显微镜21及样本处置器/载物台22的操作。当由计算机23接收开始扫描命令时,计算机发送一或多个命令以配置用于图像捕获的三维显微镜(“显微镜控制数据”)。例如,需选择正确物镜,需选择待捕获图像的分辨率,且需选择存储经捕获图像的模式。当由计算机23接收开始扫描命令时,计算机发送一或多个命令以配置样本处置器/载物台22(“处置器控制数据”)。例如,需选择正确高度(z方向)调整且需选择正确水平(x-y维)对准。

[0048] 在操作期间,计算机23引起样本处置器/载物台22调整到适当位置。一旦样本处置器/载物台22经适当定位,计算机23将引起三维显微镜聚焦在焦平面上且捕获至少一个图像。接着,计算机23将引起所述载物台在z方向上移动,使得改变样本与光学显微镜的物镜之间的距离。一旦载物台移动到新位置,计算机23将引起光学显微镜捕获第二图像。此过程继续直到在光学显微镜的物镜与样本之间的每一所要距离处捕获图像。将在每一距离处捕获的图像从三维显微镜21传递到计算机23(“图像数据”)。将经捕获图像存储在包含于计算机23中的存储装置25中。在一个实例中,计算机23分析经捕获图像且将三维信息输出到显示器27。在另一实例中,计算机23分析经捕获图像且经由网络29将三维信息输出到远程装置。在又另一实例中,计算机23并不分析经捕获图像,而是经由网络29将经捕获图像发送到另一装置进行处理。三维信息可包含基于经捕获图像呈现的三维图像。三维信息可不包含任何图像,而是包含基于每一经捕获图像的各种特性的数据。

[0049] 图4是说明在变更光学显微镜的物镜与样本之间的距离时捕获图像的方法的图。在图4中说明的实施例,每一图像包含 1000×1000 个像素。在其它实施例中,图像可包含各种像素配置。在一个实例中,将连续距离之间的间隔固定为经预先确定的量。在另一实例中,连续距离之间的间隔可不固定。倘若仅样本的z方向扫描的部分需要额外z方向分辨率,那么在z方向上的图像之间的此不固定间隔可为有利的。z方向分辨率是基于在z方向上按每单位长度捕获的图像数目,因此在z方向上按每单位长度捕获额外图像将增大所测量的z方向分辨率。相反地,在z方向上按每单位长度捕获较少图像将减小所测量的z方向分辨率。

[0050] 如上文论述,首先调整光学显微镜以使其聚焦在定位于与光学显微镜的物镜相距距离1处的焦平面上。接着,光学显微镜捕获图像,所述图像存储在存储装置(即,“存储器”)中。接着,调整载物台使得光学显微镜的物镜与样本之间的距离是距离2。接着,光学显微镜捕获图像,所述图像存储在存储装置中。接着,调整载物台使得光学显微镜的物镜与样本之间的距离是距离3。接着,光学显微镜捕获图像,所述图像存储在存储装置中。接着,调整载物台使得光学显微镜的物镜与样本之间的距离是距离4。接着,光学显微镜捕获图像,所述图像存储在存储装置中。接着,调整载物台使得光学显微镜的物镜与样本之间的距离是距离5。接着,光学显微镜捕获图像,所述图像存储在存储装置中。过程针对光学显微镜的物镜

与样本之间的N个不同距离而继续。指示哪一图像与每一距离相关联的信息也存储在存储装置中以用于处理。

[0051] 在替代实施例中,光学显微镜的物镜与样本之间的距离是固定的。实情是,光学显微镜包含变焦透镜,其允许光学显微镜变更光学显微镜的焦平面。以此方式,当载物台及由载物台支撑的样本固定时,光学显微镜的焦平面跨N个不同焦平面而变化。针对每一焦平面捕获图像且将图像存储在存储装置中。接着,处理跨所有各种焦平面的经捕获图像以确定样本的三维信息。此实施例需要变焦透镜,其可提供跨所有焦平面的足够分辨率且引入最小图像失真。另外,需要每一变焦位置之间的校准及变焦透镜的所得焦距。

[0052] 图5是说明光学显微镜的物镜与样本之间的距离的图表,其中每一x-y坐标具有最大特性值。一旦针对每一距离捕获及存储图像,可分析每一图像的每一像素的特性。例如,可分析每一图像的每一像素的光强度。在另一实例中,可分析每一图像的每一像素的对比度。在又另一实例中,可分析每一图像的每一像素的条纹对比度。可通过比较像素的强度与预设数目个周围像素的强度来确定像素的对比度。针对关于如何产生对比度信息的额外描述,参见由詹姆斯许建帼 (James Jianguo Xu) 等人于2010年2月3日申请的标题为“三维光学显微镜 (3-D Optical Microscope)”的序列号为12/699,824的美国专利申请案(所述案的标的物以引用的方式并入本文中)。

[0053] 图6是使用在图5中展示的每一x-y坐标的最大特性值呈现的三维图像的三维图。具有介于1与19之间的X位置的所有像素在z方向距离7处具有最大特性值。具有介于20与29之间的X位置的所有像素在z方向距离2处具有最大特性值。具有介于30与49之间的X位置的所有像素在z方向距离7处具有最大特性值。具有介于50与59之间的X位置的所有像素在z方向距离2处具有最大特性值。具有介于60与79之间的X位置的所有像素在z方向距离7处具有最大特性值。以此方式,可使用跨所有经捕获图像的每x-y像素的最大特性值产生图6中说明的三维图像。另外,在已知距离2且已知距离7的情况下,可通过从距离2减去距离7来计算图6中说明的井深度。

[0054] 峰值模式操作

[0055] 图7是说明使用在各种距离处捕获的图像的峰值模式操作的图。如上文关于图4论述,首先调整光学显微镜以使其聚焦在定位于与光学显微镜的物镜相距距离1处的平面上。接着,光学显微镜捕获图像,所述图像存储在存储装置(即,“存储器”)中。接着,调整载物台使得光学显微镜的物镜与样本之间的距离是距离2。接着,光学显微镜捕获图像,所述图像存储在存储装置中。接着,调整载物台使得光学显微镜的物镜与样本之间的距离是距离3。接着,光学显微镜捕获图像,所述图像存储在存储装置中。接着,调整载物台使得光学显微镜的物镜与样本之间的距离是距离4。接着,光学显微镜捕获图像,所述图像存储在存储装置中。接着,调整载物台使得光学显微镜的物镜与样本之间的距离是距离5。接着,光学显微镜捕获图像,所述图像存储在存储装置中。过程针对光学显微镜的物镜与载物台之间的N个不同距离而继续。指示哪一图像与每一距离相关联的信息也存储在存储装置中以用于处理。

[0056] 在峰值模式操作中确定跨在一个z距离处的单个经捕获图像中的所有x-y位置的最大特性值,而不是确定跨在各种z距离处的所有经捕获图像的每一x-y位置的最大特性值。换句话说,针对每一经捕获图像,选择跨包含于经捕获图像中的所有像素的最大特性

值。如在图7中说明,具有最大特性值的像素位置将可能在不同经捕获图像之间变化。特性可为强度、对比度或条纹对比度。

[0057] 图8是说明当光致抗蚀剂(PR)开口在光学显微镜的视场内时使用在各种距离处捕获的图像的峰值模式操作的图。对象的俯视图展示PR开口在x-y平面中的横截面积。PR开口还具有z方向上的特定深度的深度。下文在图8中的俯视图展示在各种距离处捕获的图像。在距离1处,光学显微镜未聚焦在晶片的顶表面或PR开口的底表面上。在距离2处,光学显微镜聚焦在PR开口的底表面上,但未聚焦在晶片的顶表面上。此导致与接收从离焦的其它表面(晶片的顶表面)反射的光的像素相比,接收从PR开口的底表面反射的光的像素中的增大特性值(强度/对比度/条纹对比度)。在距离3处,光学显微镜未聚焦在晶片的顶表面或PR开口的底表面上。因此,在距离3处,最大特性值将基本上低于在距离2处测量的特性值。在距离4处,光学显微镜未聚焦在样本的任何表面上;然而,归因于空气的折射率与光致抗蚀剂层的折射率的差异,测量最大特定值(强度/对比度/条纹对比度)的增大。图11及随附文字更详细描述此现象。在距离6处,光学显微镜聚焦在晶片的顶表面上,但未聚焦在PR开口的底表面上。此导致与接收从离焦的其它表面(PR开口的底表面)反射的光的像素相比,接收从晶片的顶表面反射的光的像素中的增大特性值(强度/对比度/条纹对比度)。一旦确定来自每一经捕获图像的最大特性值,就可利用结果来确定晶片的表面定位于哪些距离处。

[0058] 图9是说明源自峰值模式操作的三维信息的图表。如关于图8论述,在距离1、3及5处捕获的图像的最大特性值具有小于在距离2、4及6处捕获的图像的最大特定值的最大特定值。在各种z距离处的最大特性值的曲线可归因于环境效应(例如振动)而含有噪声。为最小化此噪声,可在进一步数据分析之前应用标准平滑法,例如具有某核心大小的高斯滤波(Gaussian filtering)。

[0059] 由峰值寻找算法执行比较最大特性值的一个方法。在一个实例中,使用导数法沿着z轴定位零交叉点以确定存在每一“峰值”的距离。接着,比较在发现峰值的每一距离处的最大特性值以确定测量到最大特性值的距离。在图9的情况中,将在距离2处发现峰值,此用作晶片的表面定位于距离2处的指示。

[0060] 通过比较每一最大特性值与预设阈值来执行比较最大特性值的另一方法。可基于晶片材料、距离及光学显微镜的规格来计算阈值。替代地,可在自动化处理之前通过经验测试确定阈值。在任一情况中,比较每一经捕获图像的最大特性值与阈值。如果最大特性值大于阈值,就确定最大特性值指示晶片的表面的存在。如果最大特性值不大于阈值,就确定最大特性值并不指示晶片的表面。

[0061] 求和模式操作

[0062] 图10是说明使用在各种距离处捕获的图像的求和模式操作的图。如上文关于图4论述,首先调整光学显微镜以使其聚焦在定位于与光学显微镜的物镜相距距离1处的平面上。接着,光学显微镜捕获图像,所述图像存储在存储装置(即,“存储器”)中。接着,调整载物台使得光学显微镜的物镜与样本之间的距离是距离2。接着,光学显微镜捕获图像,所述图像存储在存储装置中。接着,调整载物台使得光学显微镜的物镜与样本之间的距离是距离3。接着,光学显微镜捕获图像,所述图像存储在存储装置中。接着,调整载物台使得光学显微镜的物镜与样本之间的距离是距离4。接着,光学显微镜捕获图像,所述图像存储在存储装置中。接着,调整载物台使得光学显微镜的物镜与样本之间的距离是距离5。接着,光学

显微镜捕获图像,所述图像存储在存储装置中。过程针对光学显微镜的物镜与样本之间的N个不同距离而继续。指示哪一图像与每一距离相关联的信息也存储在存储装置中以用于处理。

[0063] 将每一经捕获图像的所有x-y位置的特性值相加在一起,而不是确定跨在一个z距离处的单个经捕获图像中的所有x-y位置的最大特性值。换句话说,针对每一经捕获图像,将包含于经捕获图像中的所有像素的特性值加总在一起。特性可为强度、对比度或条纹对比度。基本上大于相邻z距离的平均经加总特性值的经加总特性值指示在所述距离处存在晶片的表面。然而,此方法也可导致如在图11中描述的假肯定(false positive)。

[0064] 图11是说明在使用求和模式操作时的错误表面检测的图。在图11中说明的晶片包含硅衬底30及沉积在硅衬底30的顶部上的光致抗蚀剂层31。硅衬底30的顶表面定位于距离2处。光致抗蚀剂层31的顶表面定位于距离6处。在距离2处捕获的图像将导致基本上大于在不存在晶片的表面的距离处捕获的其它图像的特性值总和。在距离6处捕获的图像将导致基本上大于在不存在晶片的表面的距离处捕获的其它图像的特性值总和。此时,求和模式操作看似是存在晶片的表面的有效指示符。然而,在距离4处捕获的图像将导致基本上大于在不存在晶片的表面的距离处捕获的其它图像的特性值总和。此是一问题,因为如在图11中清晰展示,晶片的表面未定位于距离4处。实情是,距离4处的特性值总和的增大是定位于距离2及6处的表面的伪像。辐射光致抗蚀剂层的光的主要部分并不反射,而是行进到光致抗蚀剂层中。此光行进的角度归因于空气及光致抗蚀剂的折射率差异而改变。新角度比辐射光致抗蚀剂的顶表面的光角度更接近于法线。光行进到在光致抗蚀剂层下方的硅衬底的顶表面。接着,通过高度反射硅衬底层反射光。在反射光离开光致抗蚀剂层且进入空气时,反射光的角度归因于空气与光致抗蚀剂层之间的折射率差异而再次改变。辐射光的此第一重新引导、反射及第二重新引导引起光学显微镜观察到距离4处的特性值(强度/对比度/条纹对比度)的增大。此实例说明每当样本包含透明材料时,求和模式操作将检测不存在于样本上的表面。

[0065] 图12是说明源自求和模式操作的三维信息的图表。此图表说明在图11中说明的现象的结果。距离4处的加总特性值的大值错误地指示距离4处存在表面。需要不产生晶片的表面的存在的假肯定指示的方法。

[0066] 范围模式操作

[0067] 图13是说明使用在各种距离处捕获的图像的范围模式操作的图。如上文关于图4论述,首先调整光学显微镜以使其聚焦在定位于与光学显微镜的物镜相距距离1处的平面上。接着,光学显微镜捕获图像,所述图像存储在存储装置(即,“存储器”)中。接着,调整载物台使得光学显微镜的物镜与样本之间的距离是距离2。接着,光学显微镜捕获图像,所述图像存储在存储装置中。接着,调整载物台使得光学显微镜的物镜与样本之间的距离是距离3。接着,光学显微镜捕获图像,所述图像存储在存储装置中。接着,调整载物台,使得光学显微镜的物镜与样本之间的距离是距离4。接着,光学显微镜捕获图像,所述图像存储在存储装置中。接着,调整载物台使得光学显微镜的物镜与样本之间的距离是距离5。接着,光学显微镜捕获图像,所述图像存储在存储装置中。过程针对光学显微镜的物镜与样本之间的N个不同距离而继续。指示哪一图像与每一距离相关联的信息也存储在存储装置中以用于处理。

[0068] 确定包含于一个z距离处的单个经捕获图像中的具有特定范围内的特性值的像素的计数,而不是确定跨所述单个经捕获图像中的所有x-y位置的所有特性值的总和。换句话说,针对每一经捕获图像,确定具有特定范围内的特性值的像素的计数。特性可为强度、对比度或条纹对比度。基本上大于相邻z距离处的平均像素计数的一个特定z距离处的像素计数指示所述距离处存在晶片的表面。此方法减少在图11中描述的假肯定。

[0069] 图14是说明源自范围模式操作的三维信息的图表。在知道存在于晶片上的不同材料类型及光学显微镜配置的情况下,可针对每一材料类型确定特性值的预期范围。例如,光致抗蚀剂层将反射辐射光致抗蚀剂层的顶表面的相对少量光(即,4%)。硅层将反射辐射硅层的顶表面的光(即,37%)。在距离4处观察到的来自光致抗蚀剂层的顶表面的重新引导反射(即,21%)将基本上大于在距离6处观察到的反射;然而,在距离4处观察到的来自硅衬底的顶表面的重新引导反射(即,21%)将基本上小于在距离2处观察到的反射。因此,当寻找光致抗蚀剂层的顶表面时,以光致抗蚀剂的预期特性值为中心的第一范围可用于滤除具有在第一范围以外的特性值的像素,借此滤除具有并非源自光致抗蚀剂层的顶表面的反射的特性值的像素。在图15中说明通过应用第一特性值范围而产生的跨所有距离的像素计数。如在图15中展示,通过应用第一范围滤除来自其它距离(表面)的一些但未必所有像素。此在多个距离处测量的特性值落入第一范围内时发生。然而,在计数像素之前应用第一范围仍用以使所要表面处的像素计数比其它距离处的其它像素计数更突出。此在图15中说明。在应用第一范围之后,距离6处的像素计数大于距离2及4处的像素计数,而在应用第一范围之前,距离6处的像素计数小于距离2及4处的像素计数(如在图14中展示)。

[0070] 以类似方式,当寻找硅衬底层的顶表面时,可使用以硅衬底层的预期特性值为中心的第二范围来滤除具有第二范围以外的特性值的像素,借此滤除具有并非源自硅衬底层的顶表面的反射的特性值的像素。在图16中说明通过应用第二特性值范围而产生的跨所有距离的像素计数。此范围应用凭借知道存在于所扫描晶片上的所有材料的预期特性值而减少晶片表面定位于距离4处的错误指示。如关于图15论述,通过应用范围滤除来自其它距离(表面)的一些但未必所有像素。然而,当在多个距离处测量的特性值并不落入相同范围内时,那么应用范围的结果将消除来自其它距离(表面)的所有像素计数。图16说明此案例。在图16中,在产生每一距离处的像素计数之前应用第二范围。应用第二范围的结果是仅计数距离2处的像素。此产生硅衬底的表面定位于距离2处的十分明确指示。

[0071] 应注意,为减少由潜在噪声(例如环境振动)引起的影响,可在实施任何峰值搜索操作之前将标准平滑操作(例如高斯滤波)应用到沿着z距离的总像素计数。

[0072] 图17是说明包含于峰值模式操作中的各种步骤的流程图200。在步骤201中,按经预先确定的步骤变更样本与光学显微镜的物镜之间的距离。在步骤202中,在每一经预先确定的步骤处捕获图像。在步骤203中,确定每一经捕获图像中的每一像素的特性。在步骤204中,针对每一经捕获图像,确定跨所述经捕获图像中的所有像素的最大特性。在步骤205中,比较每一经捕获图像的最大特性以确定每一经预先确定的步骤处是否存在样本的表面。

[0073] 图18是说明包含于范围模式操作中的各种步骤的流程图300。在步骤301中,按经预先确定的步骤变更样本与光学显微镜的物镜之间的距离。在步骤302中,在每一经预先确定的步骤处捕获图像。在步骤303中,确定每一经捕获图像中的每一像素的特性。在步骤304中,针对每一经捕获图像,确定具有第一范围内的特性值的像素的计数。在步骤305中,基于

每一经捕获图像的像素计数确定每一经预先确定的步骤处是否存在样本的表面。

[0074] 图19是包含单个特征的经捕获图像的图。特征的一个实例是光致抗蚀剂层中呈圆形形状的开口。特征的另一实例是光致抗蚀剂层中呈沟槽形状的开口(例如未镀重新分布线(RDL)结构)。在晶片制造过程期间,测量晶片层中的光致抗蚀剂开口的各种特征是有利的。光致抗蚀剂开口的测量在金属镀到孔中之前提供结构中的瑕疵的检测。例如,如果光致抗蚀剂开口不具有正确大小,那么镀RDL宽度将是错误的。检测此类型的缺陷可防止缺陷晶片的进一步制造。防止缺陷晶片的进一步制造节省材料及处理费用。图19说明当经捕获图像聚焦在光致抗蚀剂层的顶表面上时,从光致抗蚀剂层的顶表面反射的光的经测量强度大于从光致抗蚀剂层中的开口反射的光的经测量强度。如下文更详细论述,与经捕获图像中的每一像素相关联的信息可用于产生经捕获图像中的每一像素的强度值。接着,可比较每一像素的强度值与强度阈值以确定每一像素是否与经捕获图像的第一区域(例如光致抗蚀剂层的顶表面)相关联或与经捕获图像的第二区域(例如光致抗蚀剂开口区)相关联。此可通过以下步骤完成:(i)首先将强度阈值应用到经捕获图像中的每一像素的经测量强度;(ii)将具有低于强度阈值的强度值的所有像素分类为与经捕获图像的第一区域相关联;(iii)将具有高于强度阈值的强度值的所有像素分类为与经捕获图像的第二区域相关联;及(iv)将特征界定为相同区域内邻接与相同区域相关联的其它像素的像素群组。

[0075] 在图19中展示的经捕获图像可为彩色图像。彩色图像的每一像素包含红色、蓝色及绿色(RBG)通道值。这些色彩值中的每一者可经组合以产生每一像素的单个强度值。在下文描述用于将每一像素的RBG值转换为单个强度值的各种方法。

[0076] 第一方法是使用三个加权值将三个色彩通道转换为强度值。换句话说,每一色彩通道具有其自身的加权值或转换因子。可使用在系统配方中界定的三个转换因子的默认集合或基于其样本测量需求修改三个转换因子。第二方法是从每一色彩通道的默认色彩通道值减去每一像素的色彩通道,接着使用在第一方法中论述的转换因子将此结果转换为强度值。第三方法是使用“色差”方案将色彩转换为强度值。在色差方案中,通过像素的色彩相较于经预定义的固定红色、绿色及蓝色色彩值的接近程度来定义所得像素强度。色差的一个实例是像素的色彩值与固定色彩值之间的加权向量距离。“色差”的又另一方法是具有从图像自动导出的固定色彩值的色差法。在一个实例中,其中图像的边界区已知具有背景色彩。边界区像素的色彩的加权平均值可用作色差方案的固定色彩值。

[0077] 一旦彩色图像已转换为强度图像,就可比较强度阈值与每一像素的强度以确定像素所属的图像区域。换句话说,具有高于强度阈值的强度值的像素指示像素接收从样本的第一表面反射的光,且具有低于强度阈值的强度值的像素指示像素未接收从样本的第一表面反射的光。一旦将图像中的每一像素映射到区域,就可确定聚焦在图像中的特征的近似形状。

[0078] 图20、图21及图22说明产生强度阈值的三个不同方法,所述强度阈值可用于区分测量从光致抗蚀剂层的顶表面反射的光的像素与测量未从光致抗蚀剂层的顶表面反射的光的像素。

[0079] 图20说明产生用于分析经捕获图像的强度阈值的第一方法。在此第一方法中,针对每一经测量强度值产生像素计数。此类型的图也称为直方图。一旦产生每强度值的像素计数,便可确定源自从光致抗蚀剂层反射的经测量光的像素的峰值计数与源自未从光致抗

蚀剂层反射的经测量光的像素的峰值计数之间的强度范围。选择所述强度范围内的强度值作为强度阈值。在一个实例中,选择两个峰值计数之间的中点作为阈值强度。在落入本发明的揭示内容内的其它实例中,可使用两个峰值计数之间的其它强度值。

[0080] 图21是产生用于分析经捕获图像的强度阈值的第二方法。在步骤311中,作出关于表示光致抗蚀剂区域的经捕获图像的第一百分比的确定。可通过物理测量、光学检测或基于生产规格作出此确定。在步骤312中,作出关于表示光致抗蚀剂开口区的经捕获图像的第二百分比的确定。可通过物理测量、光学检测或基于生产规格作出此确定。在步骤313中,根据由每一像素测量的强度对经捕获图像中的所有像素分类。在步骤314中,选择具有所有像素强度的倒数第二百分比内的强度的所有像素。在步骤315中,分析所有所选择的像素。

[0081] 图22说明确定强度阈值的第三方法。在步骤321中,将经预先确定的强度阈值存储到存储器中。在步骤322中,比较每一像素的强度与经存储强度阈值。在步骤323中,选择具有小于强度阈值的强度值的所有像素。在步骤324中,分析所选择的像素。

[0082] 无关于如何产生强度阈值,使用阈值强度值以大致确定经捕获图像中的特征的边界所处的位置。接着,将使用特征的大致边界以确定特征的边界的更精确测量,如下文论述。

[0083] 图23是在图19中展示的光致抗蚀剂开口的三维图。在制造过程期间关注各种光致抗蚀剂开口测量,例如顶部开口及底部开口的面积、顶部开口及底部开口的直径、顶部开口及底部开口的圆周、顶部开口及底部开口的横截面宽度及开口的深度。第一测量是顶部表面开口面积。图8(及随附文字)描述如何从在距样本的不同距离处获得的多个图像选择聚焦在光致抗蚀剂开口的顶表面上的图像及聚焦在光致抗蚀剂开口的底表面上的图像。一旦选择聚焦在顶表面上的图像,便可使用聚焦在光致抗蚀剂开口的顶表面上的图像来确定上述顶部开口测量。同样地,一旦选择聚焦在光致抗蚀剂开口的底表面上的图像,便可使用聚焦在光致抗蚀剂开口的底表面上的图像来确定上述底部开口测量。如在上文及詹姆斯许建帼(James Jianguo Xu)等人于2010年2月3日申请的标题为“三维光学显微镜(3-D Optical Microscope)”的序列号为12/699,824的美国专利申请案(所述案的标的物以引用的方式并入本文中)中论述,在捕获多个图像时可将图案或网格投影到样本的表面上。在一个实例中,包含经投影图案或网格的图像用于确定光致抗蚀剂开口测量。在另一实例中,在相同z距离处捕获的未包含图案或网格的新图像用于确定光致抗蚀剂开口测量。在后一实例中,不具有样本上的经投影图案或网格的新图像提供“更清晰”图像,其提供光致抗蚀剂开口的边界的更容易检测。

[0084] 图24是在图23中展示的顶表面开口的二维图。二维图清晰展示顶表面开口的边界(实线)40。使用最佳拟合线(虚线41)跟踪边界。一旦产生最佳拟合线跟踪,就可产生最佳拟合线41的直径、面积及圆周。

[0085] 图25是在图23中展示的底表面开口的二维图。二维图清晰展示底表面开口的边界(实线42)。使用最佳拟合线(虚线43)跟踪边界。一旦产生最佳拟合线跟踪,就可计算最佳拟合线的底表面开口直径、面积及圆周。

[0086] 在本实例中,由与光学显微镜通信的计算机系统自动产生最佳拟合线。可通过分析所选择的图像的暗部分及亮部分之间的转变而产生最佳拟合线,如下文更详细论述。

[0087] 图26是光致抗蚀剂层中的开口的二维图像。将图像聚焦在光致抗蚀剂层的顶表面

上。在此实例中,从光致抗蚀剂层的顶表面反射的光是亮的,因为显微镜聚焦在光致抗蚀剂层的顶表面上。从光致抗蚀剂开口测量的光强度是暗的,因为光致抗蚀剂开口中不存在反射表面。使用每一像素的强度来确定像素是否属于光致抗蚀剂的顶表面或光致抗蚀剂中的开口。来自光致抗蚀剂的顶表面与光致抗蚀剂中的开口之间的转变的强度改变可跨越多个像素及多个强度级。图像背景强度也可不为均匀的。因此,需要进一步分析来确定光致抗蚀剂的边界的确切像素位置。为确定单个表面转变点的像素位置,在转变区外部的相邻亮区内获得强度平均值,且在转变区外部的相邻暗区内获得强度平均值。使用相邻亮区的平均值与相邻暗区的平均值之间的中间强度值作为区分像素是否属于光致抗蚀剂的顶表面或光致抗蚀剂中的开口的强度阈值。此强度阈值可不同于先前论述的用于选择单个经捕获图像内的特征的强度阈值。一旦确定中间强度阈值,就比较中间强度阈值与所有像素以区分属于光致抗蚀剂的顶表面或光致抗蚀剂中的开口的像素。如果像素强度高于强度阈值,就将像素确定为光致抗蚀剂像素。如果像素强度低于强度阈值,就将像素确定为开口区像素。多个边界点可以此方式确定且用于拟合形状。接着,使用拟合形状以计算光致抗蚀剂的顶开口的所有所要尺寸。在一个实例中,拟合形状可选自具有以下的一组:圆形、方形、矩形、三角形、椭圆形、六边形、五边形等。

[0088] 图27说明跨图26的亮度转变周围的相邻区的经测量强度的变化。在相邻区的最左部分处,经测量强度较高,因为显微镜聚焦在光致抗蚀剂层的顶表面上。经测量光强度通过相邻区的亮度转变而减小。经测量光强度在相邻区的最右部分处下降到最小范围,因为在相邻区的最右部分中不存在光致抗蚀剂层的顶表面。图27绘制跨相邻区的经测量强度的此变化。接着,可通过应用阈值强度来确定指示光致抗蚀剂层的顶表面在何处结束的边界点。光致抗蚀剂的顶表面结束的边界点定位于经测量强度与阈值强度的相交点处。在沿着亮度转变定位的不同相邻区处重复此过程。针对每一相邻区确定边界点。接着,使用每一相邻区的边界点来确定顶表面边界的大小及形状。

[0089] 图28是光致抗蚀剂层中的开口的二维图像。将图像聚焦在光致抗蚀剂开口的底表面上。在此实例中,从光致抗蚀剂开口区的底表面反射的光是亮的,因为显微镜聚焦在光致抗蚀剂开口的底表面上。从光致抗蚀剂区反射的光也相对亮,因为衬底是具有高反射率的硅或金属籽晶层。归因于由光致抗蚀剂边界引起的光散射,从光致抗蚀剂层的边界反射的光较暗。使用每一像素的经测量强度以确定像素是否属于光致抗蚀剂开口的底表面。来自光致抗蚀剂的底表面与光致抗蚀剂开口区之间的转变的强度改变可跨越多个像素及多个强度级。图像背景强度也可不为均匀的。因此,需要进一步分析来确定光致抗蚀剂开口的确切像素位置。为确定边界点的像素位置,在相邻像素内确定具有最小强度的像素的位置。多个边界点可以此方式确定且用于拟合形状。接着,使用拟合形状来计算底部开口的所要尺寸。

[0090] 图29说明跨图28的亮度转变周围的相邻区的经测量强度的变化。在相邻区的最右部分处,经测量强度较高,因为显微镜聚焦在光致抗蚀剂开口的底表面上。经测量光强度减小到最小强度且接着通过相邻区的亮度转变而减小。归因于来自衬底表面的光反射,经测量光强度在相邻区的最右部分处升高到相对高强度范围。图29绘制跨相邻区的经测量强度的此变化。接着,可通过寻找最小经测量强度的位置来确定指示光致抗蚀剂开口的边界所处的位置的边界点。边界点定位于最小经测量强度所处的位置。在沿着亮度转变定位的不

同相邻区处重复过程。针对每一相邻区确定边界点。接着,使用每一相邻区的边界点来确定底表面边界的大小及形状。

[0091] 图30是光致抗蚀剂层中的沟槽结构(例如未镀重新分布线(RDL)结构)的二维图像。将图像聚焦在光致抗蚀剂层的顶表面上。在此实例中,从光致抗蚀剂层的顶表面反射的光是亮的,因为显微镜聚焦在光致抗蚀剂层的顶表面上。从光致抗蚀剂层中的开口反射的光较暗,因为从开口沟槽区反射较少光。使用每一像素的强度来确定像素是否属于光致抗蚀剂的顶表面或光致抗蚀剂中的开口区。来自光致抗蚀剂的顶表面与光致抗蚀剂中的开口区之间的转变的强度改变可跨越多个像素及多个强度级。图像背景强度也可不为均匀的。因此,需要进一步分析来确定光致抗蚀剂的边界的确切像素位置。为确定单个表面转变点的像素位置,在转变区外部的相邻亮区内获得强度平均值,且在转变区外部的相邻暗区内获得强度平均值。使用相邻亮区的平均值与相邻暗区的平均值之间的中间强度值作为区分顶表面光致抗蚀剂反射与非顶表面光致抗蚀剂反射的强度阈值。一旦确定中间强度阈值,就比较中间强度阈值与所有相邻像素以确定顶表面像素与光致抗蚀剂开口区之间的边界。如果像素强度高于强度阈值,就将像素确定为顶表面光致抗蚀剂像素。如果像素强度低于强度阈值,就将像素确定为光致抗蚀剂开口区像素。多个边界点可以此方式确定且用于拟合形状。接着,使用拟合形状来计算沟槽的光致抗蚀剂开口的所有所要尺寸,例如沟槽宽度。

[0092] 图31说明跨图30的亮度转变周围的相邻区的经测量强度的变化。在相邻区的最左部分处,经测量强度较高,因为显微镜聚焦在光致抗蚀剂层的顶表面上。经测量光强度通过相邻区的亮度转变而减小。经测量光强度在相邻区的最右部分处下降到最小范围,因为在相邻区的最右部分中不存在光致抗蚀剂层的顶表面。图31绘制跨相邻区的经测量强度的此变化。接着,可通过应用阈值强度来确定指示光致抗蚀剂层的顶表面结束的边界点。光致抗蚀剂的顶表面结束的边界点定位于经测量强度与阈值强度的相交点处。在沿着亮度转变定位的不同相邻区处重复此过程。针对每一相邻区确定边界点。接着,使用每一相邻区的边界点来确定顶表面边界的大小及形状。

[0093] 关于图26到图31,像素强度仅为可用于区分图像中的不同区域的像素的像素特性的一个实例。例如,也可使用每一像素的波长或色彩而以类似方式区分来自图像中的不同区域的像素。一旦精确界定每一区域之间的边界,接着,使用所述边界来确定PR开口的临界尺寸(CD),例如其直径或宽度。通常,接着比较经测量CD值与在其它类型的工具(例如临界尺寸扫描电子显微镜(CD-SEM))上测量的值。为确保生产监测工具中的测量精度,此种类型的交叉校准是必要的。

[0094] 尽管为指导目的在上文描述某些特定实施例,但本专利档案的教导具有一般适用性且不限于上文描述的特定实施例。因此,在不脱离如在权利要求书中陈述的本发明的范围的情况下可实践所描述实施例的各种特征的各种修改、调适及组合。

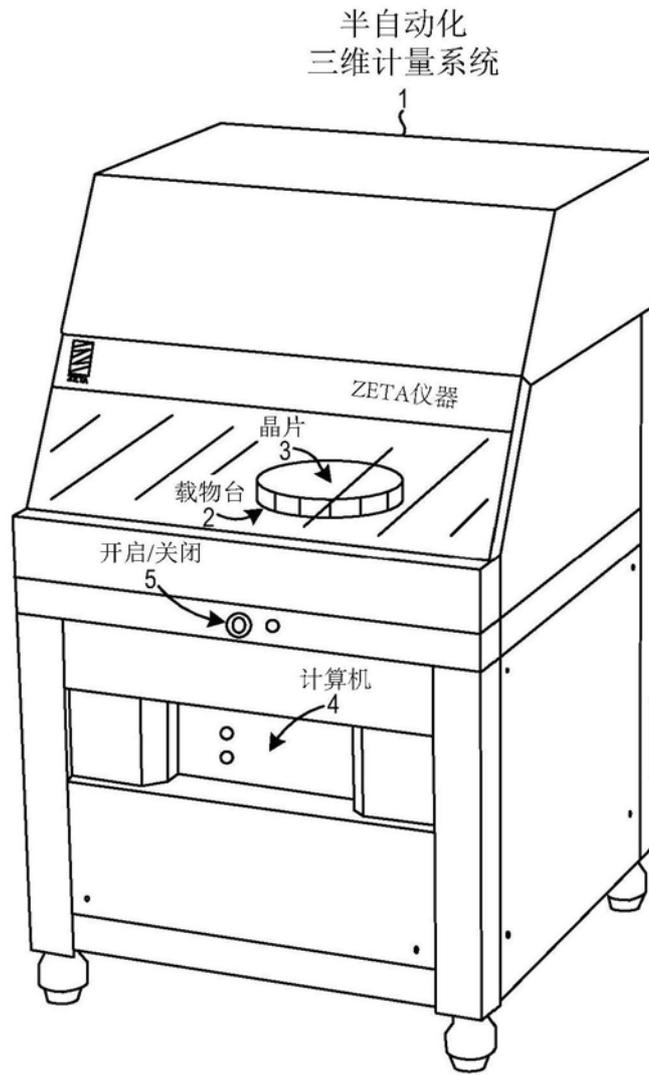
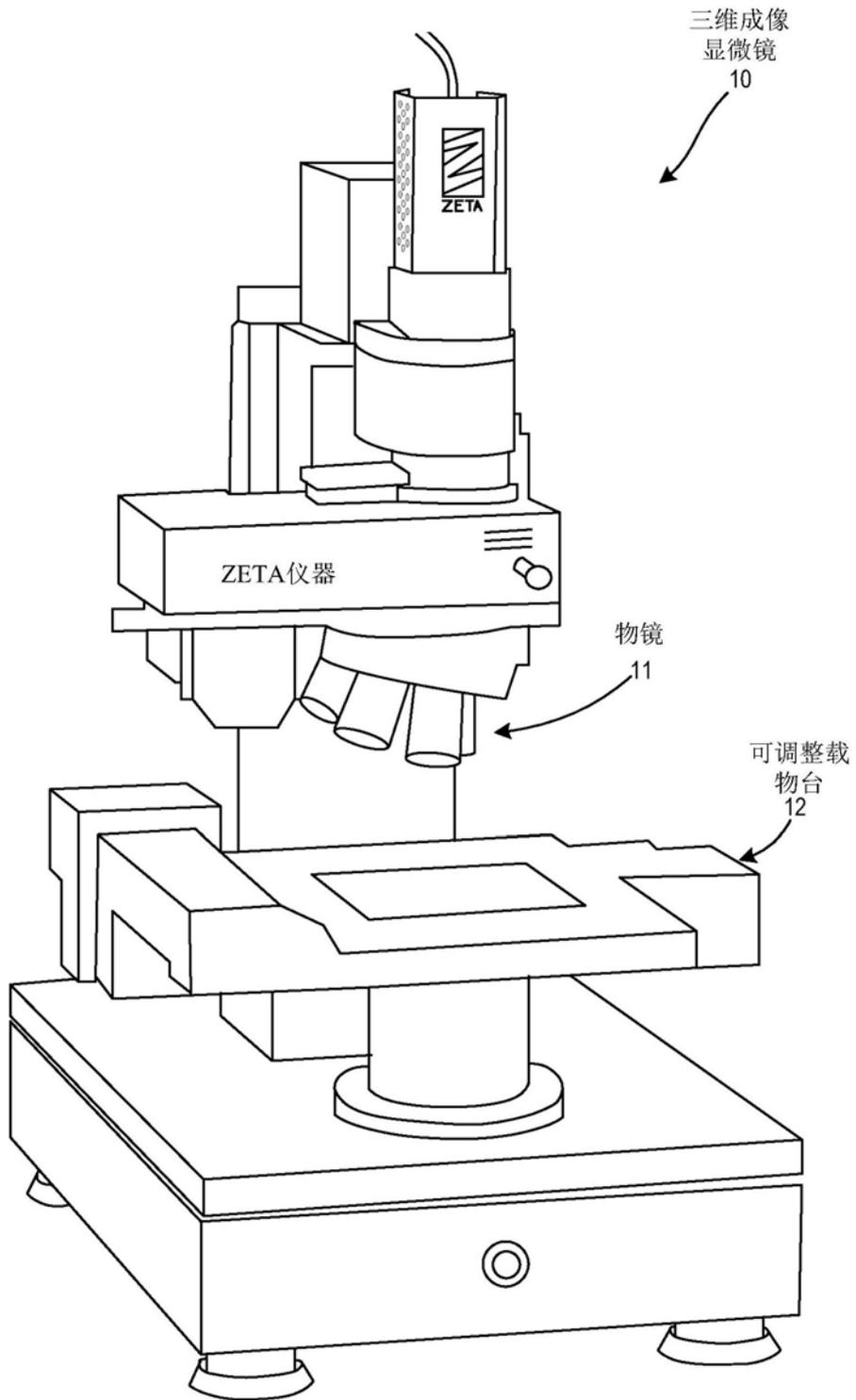


图1



三维成像显微镜

图2

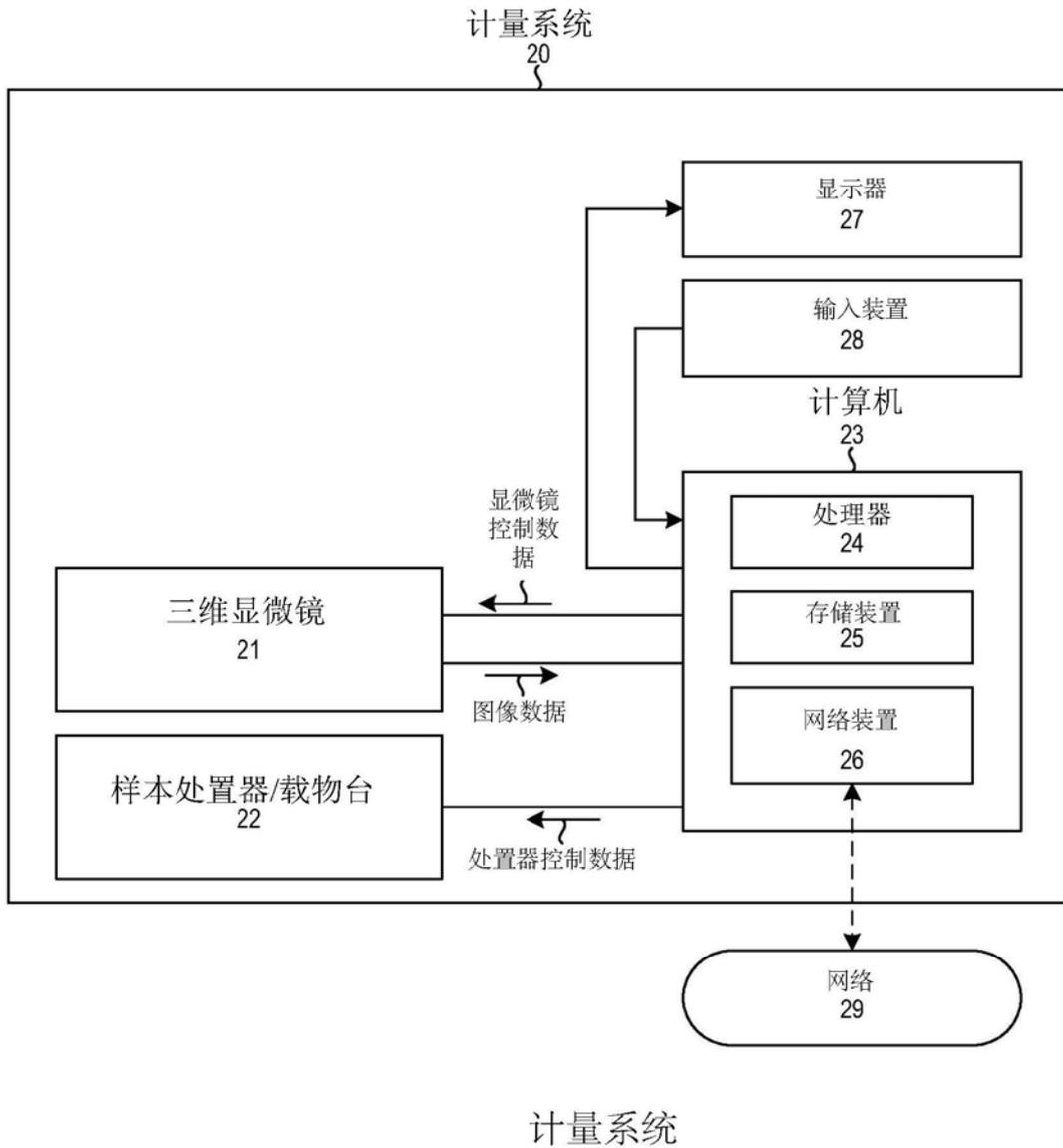
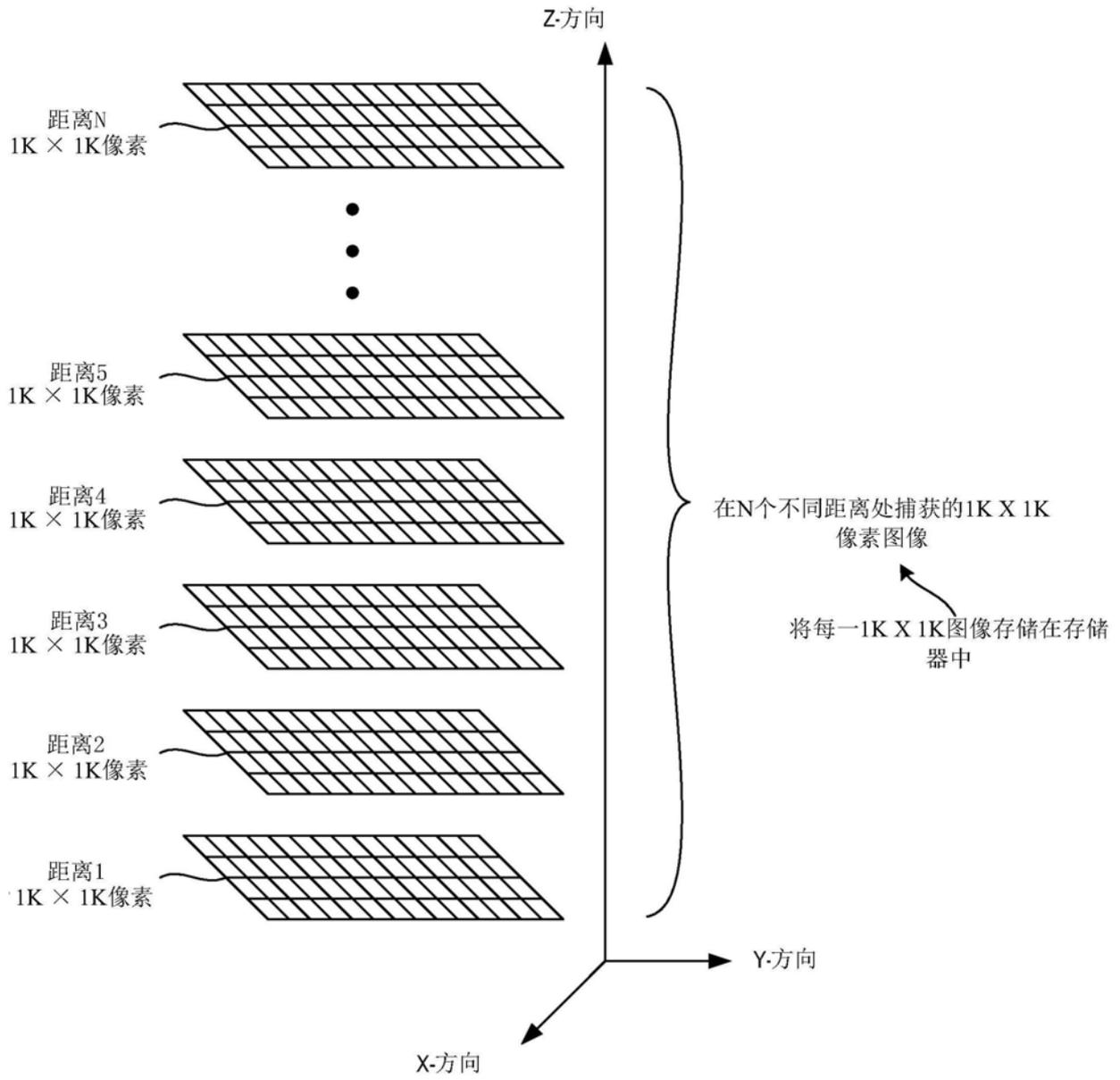


图3



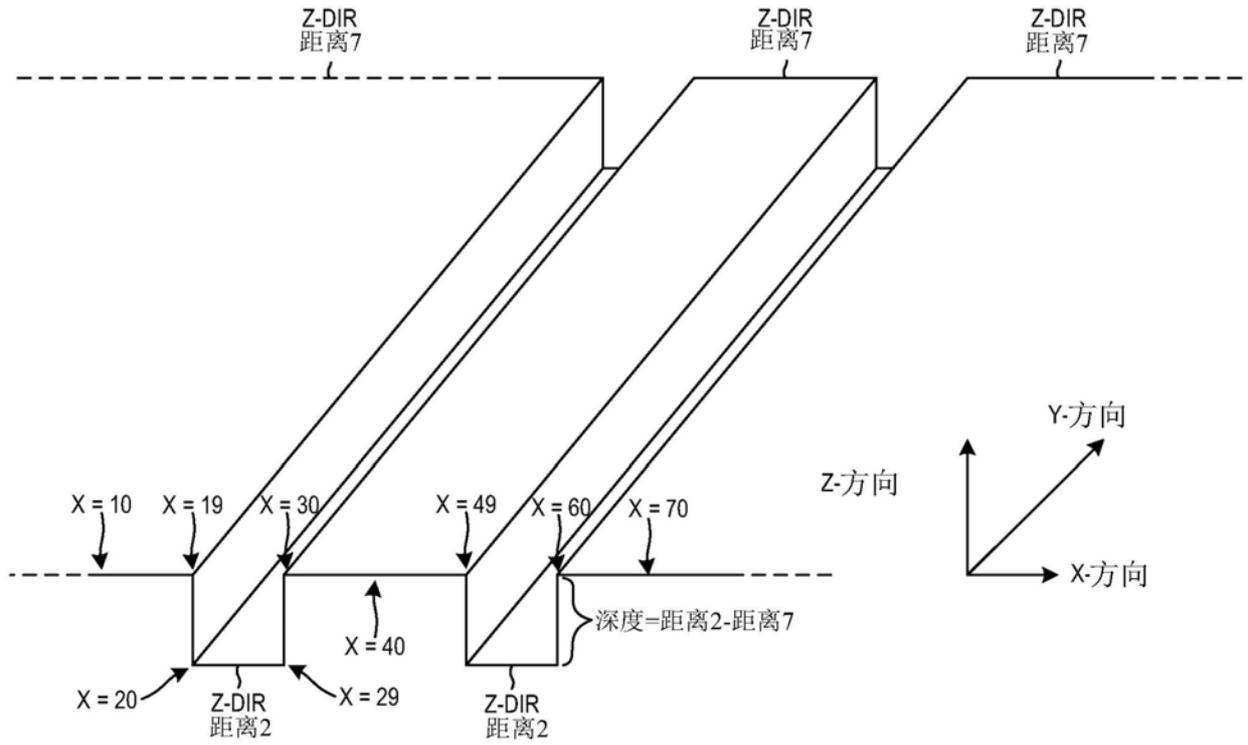
在不同距离处捕获的多个图像

图4

Y = 12	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离2	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离2	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离7
Y = 11	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离2	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离2	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离7
Y = 10	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离2	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离2	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离7
Y = 9	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离2	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离2	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离7
Y = 8	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离2	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离2	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离7
Y = 7	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离2	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离2	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离7
Y = 6	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离2	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离2	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离7
Y = 5	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离2	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离2	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离7
Y = 4	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离2	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离2	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离7
Y = 3	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离2	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离2	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离7
Y = 2	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离2	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离2	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离7
Y = 1	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离2	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离2	Z-DIR 距离7	Z-DIR 距离7
	X = 1~19	X = 20~29	X = 30~39	X = 40~49	X = 50~59	X = 60~69	X-方向

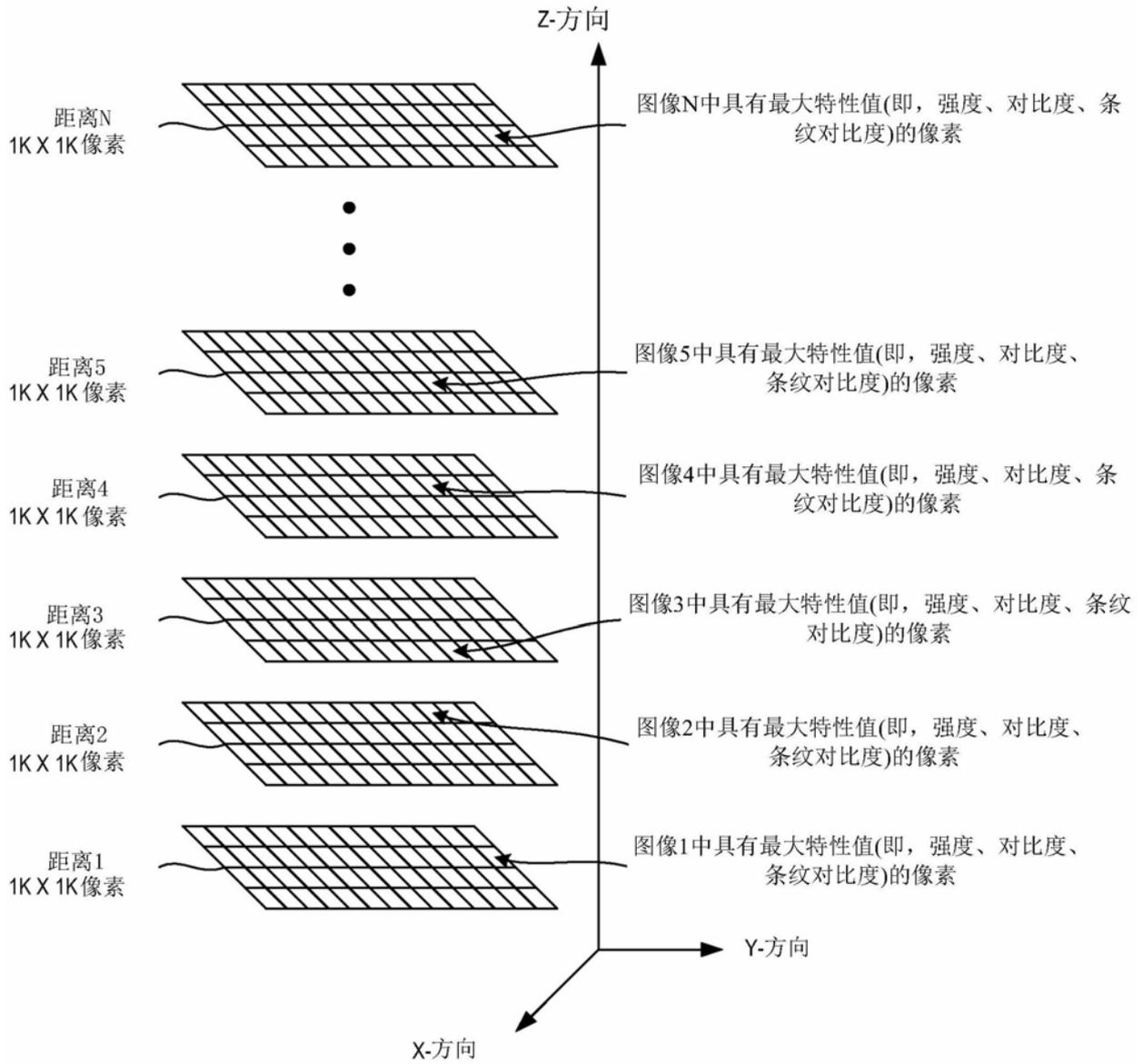
跨所有经捕获图像的每一像素位置的最大特性值

图5



源自选择跨所有Z方向距离的每一X-Y像素位置的最大值的三维图像

图6



峰值模式操作
(选择每一经捕获图像的最大特性值)

图7

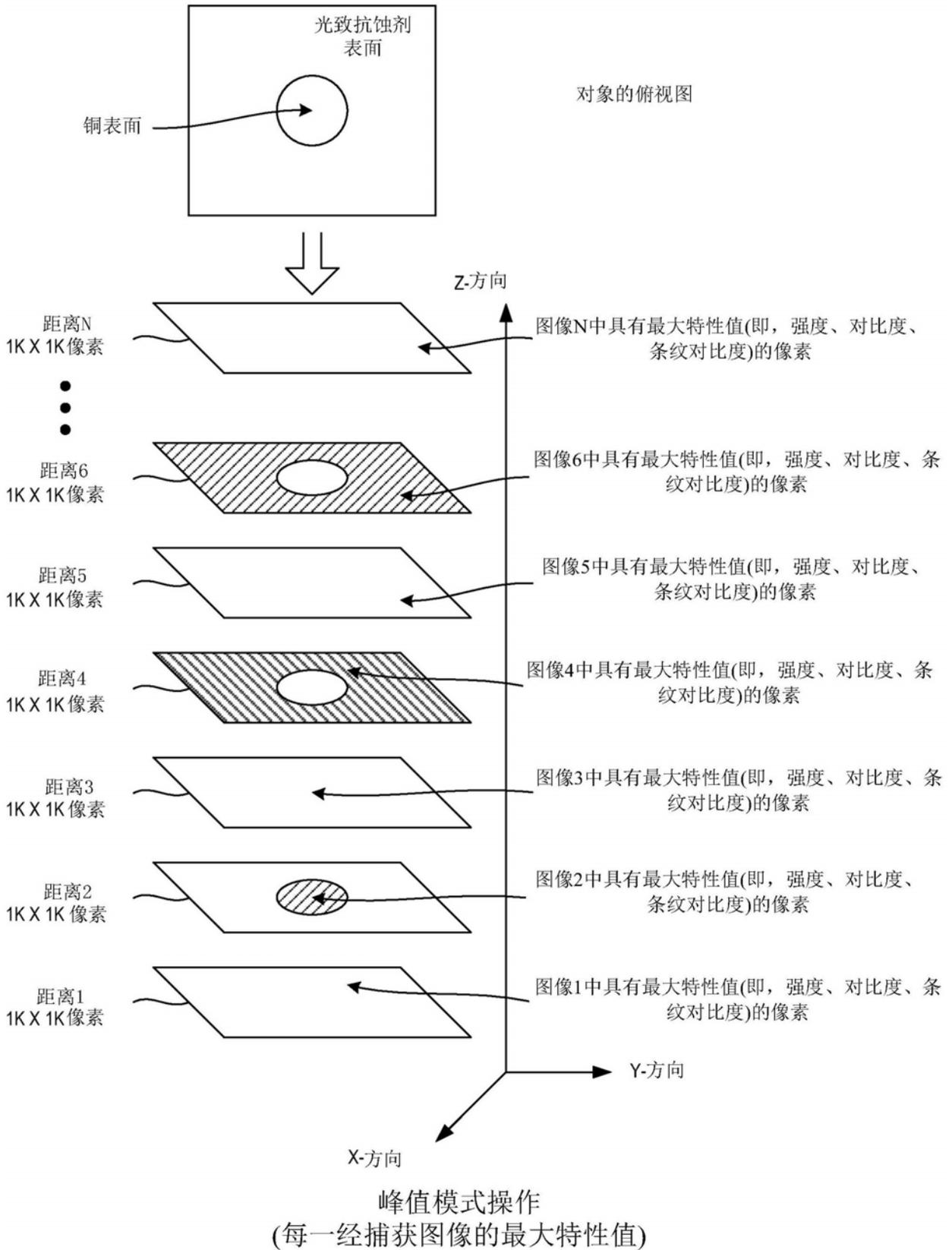
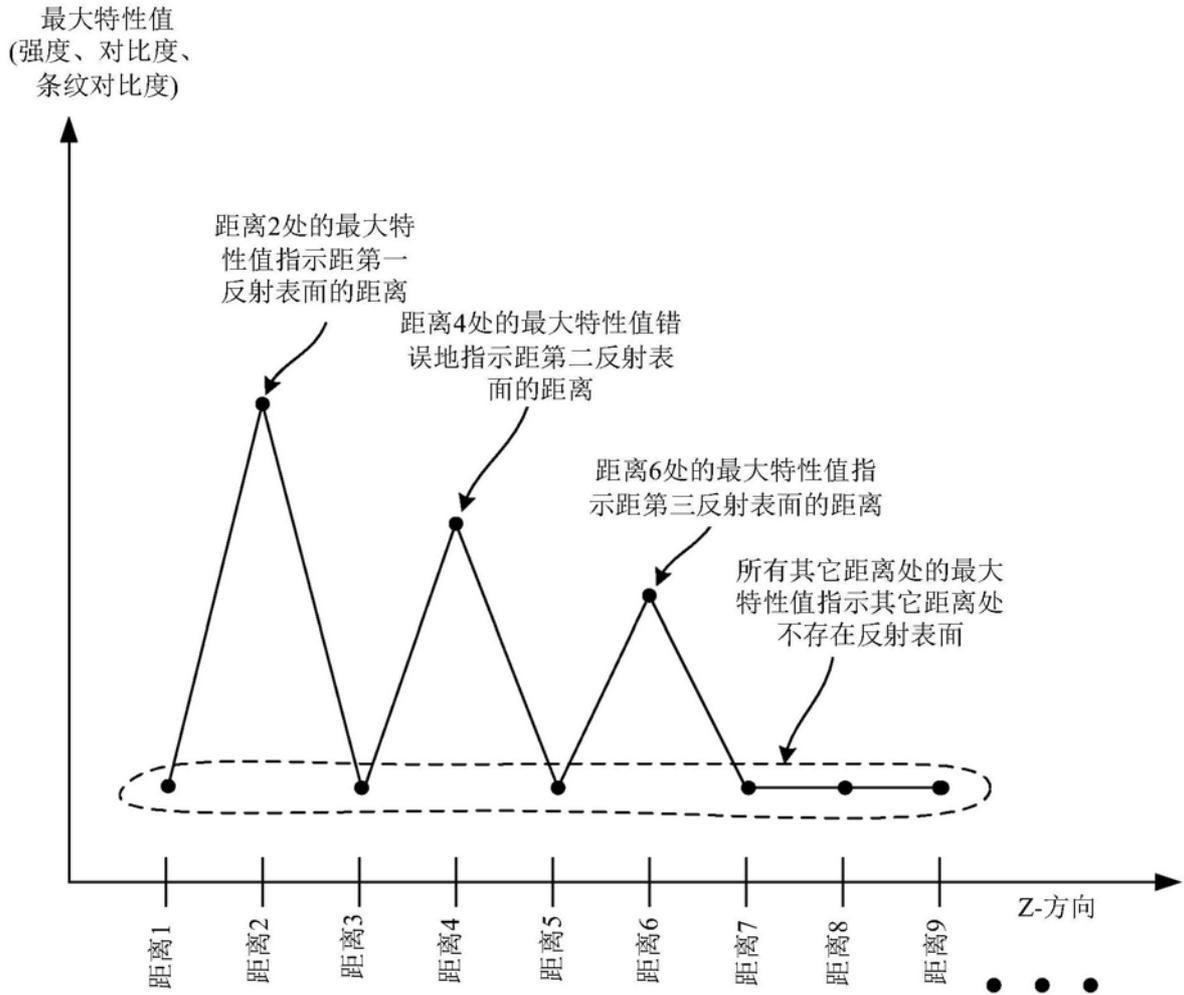
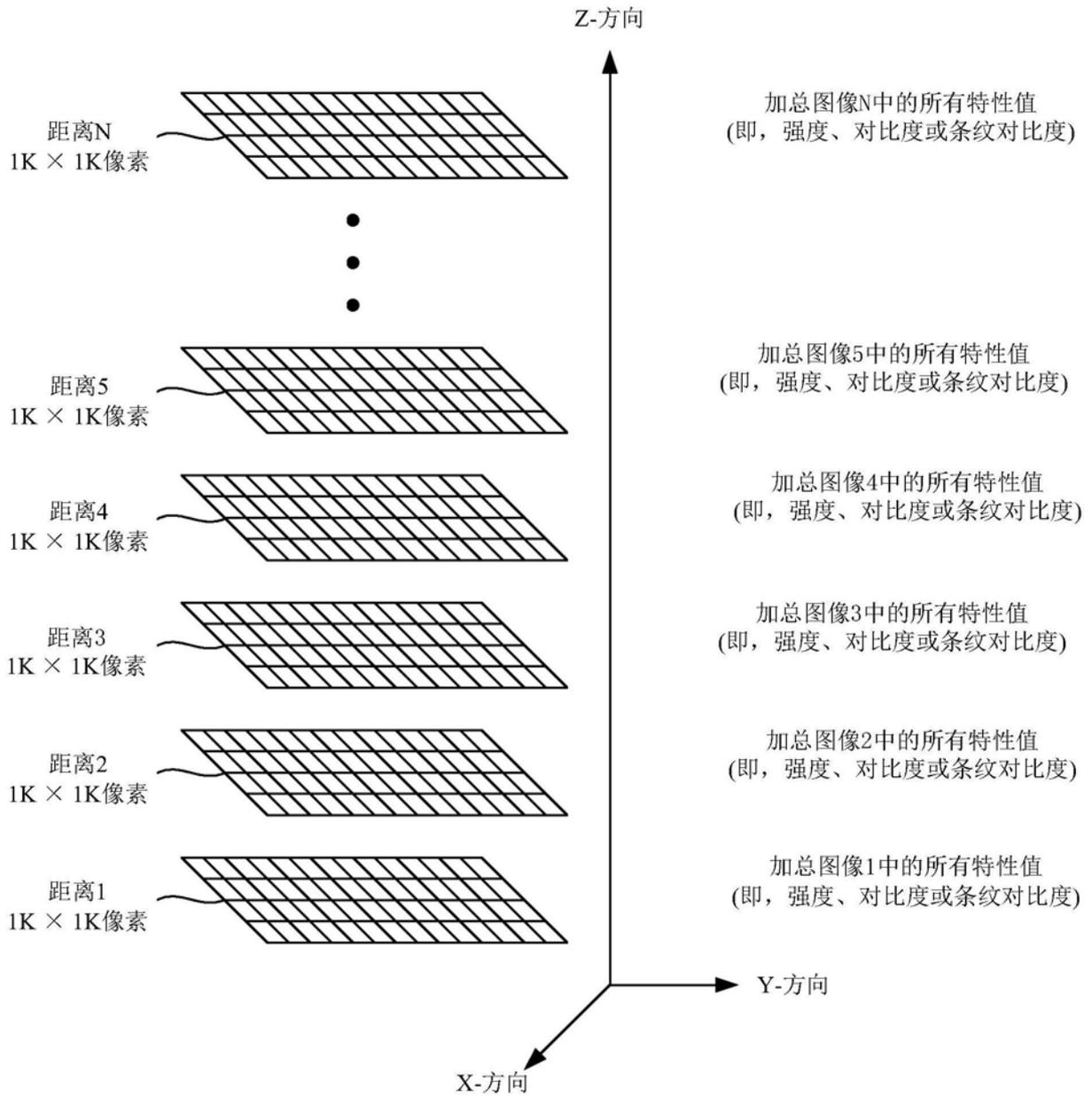


图8



跨所有经捕获图像的最大特性值

图9



求和模式操作
(加总每一经捕获图像的所有特性值)

图10

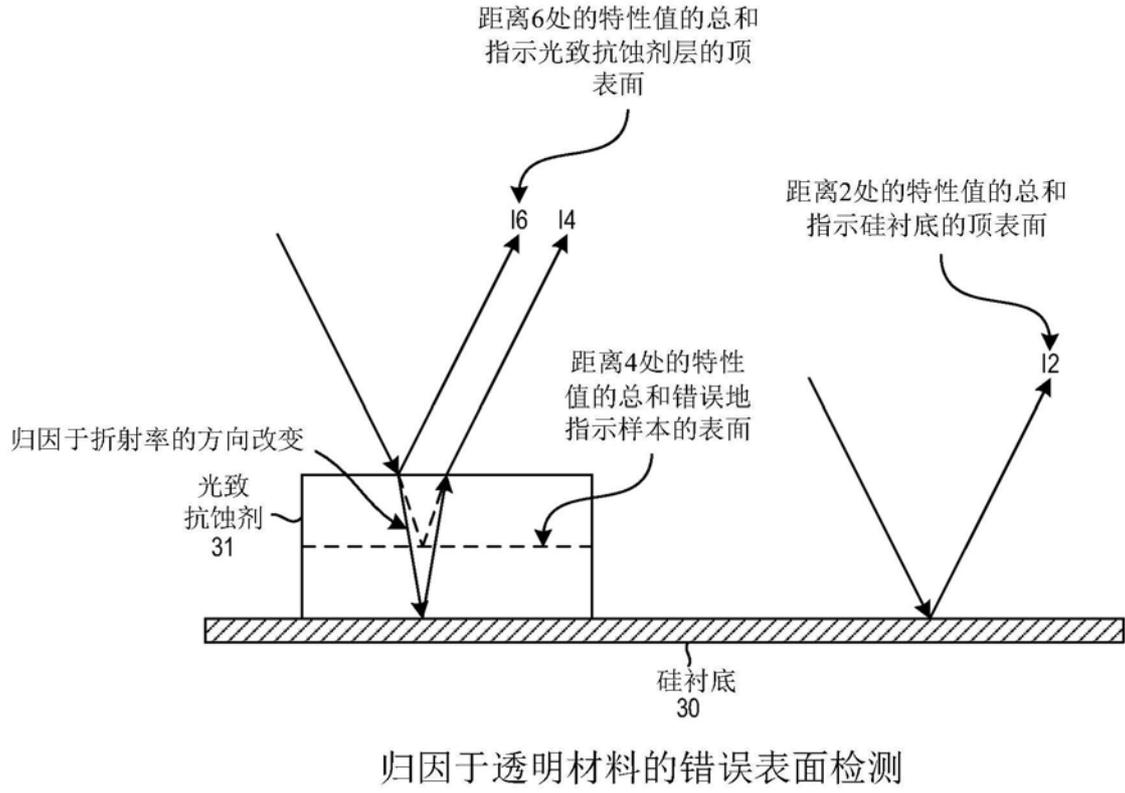
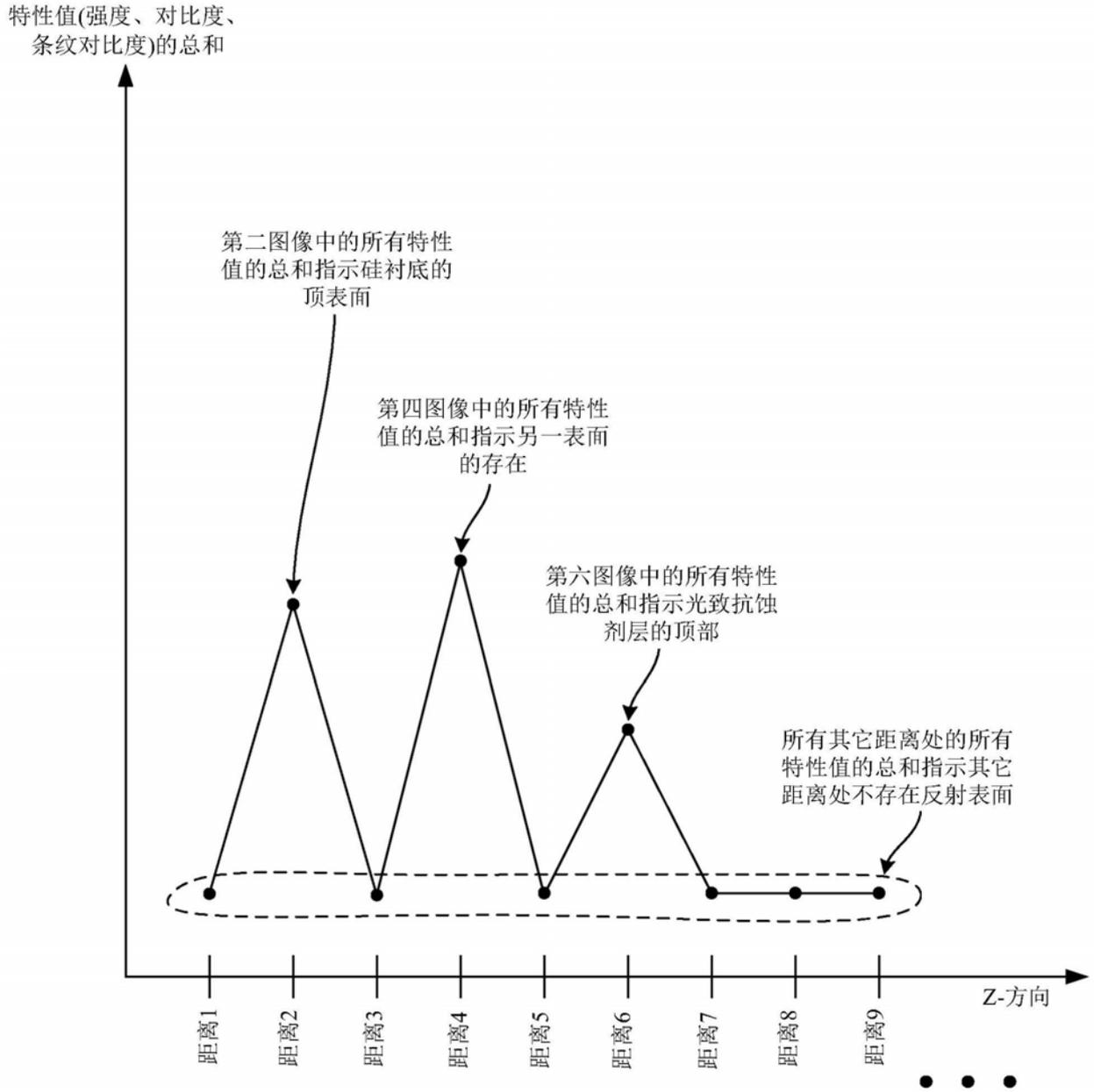


图11



每一图像的所有特性值的总和

图12

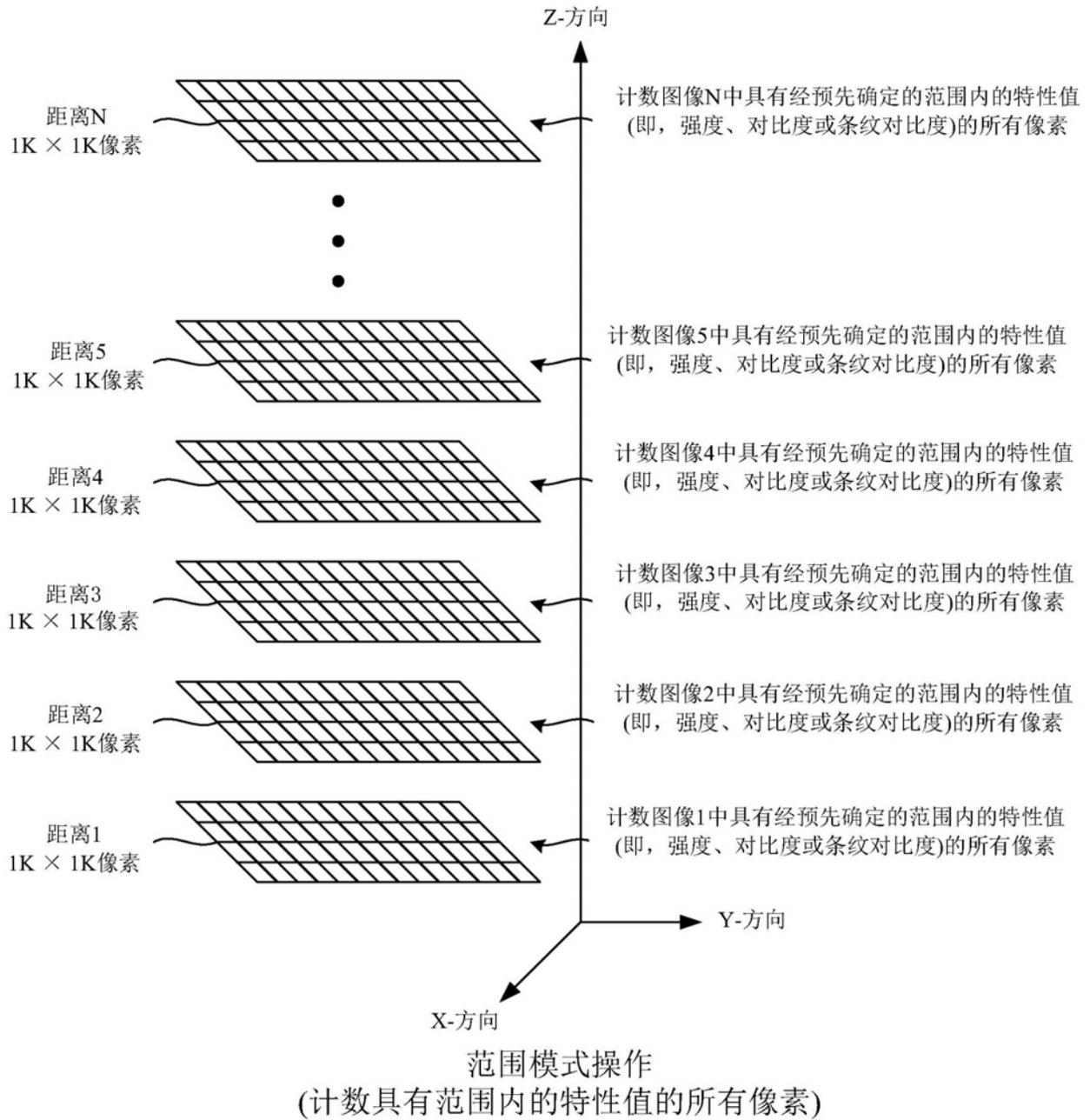
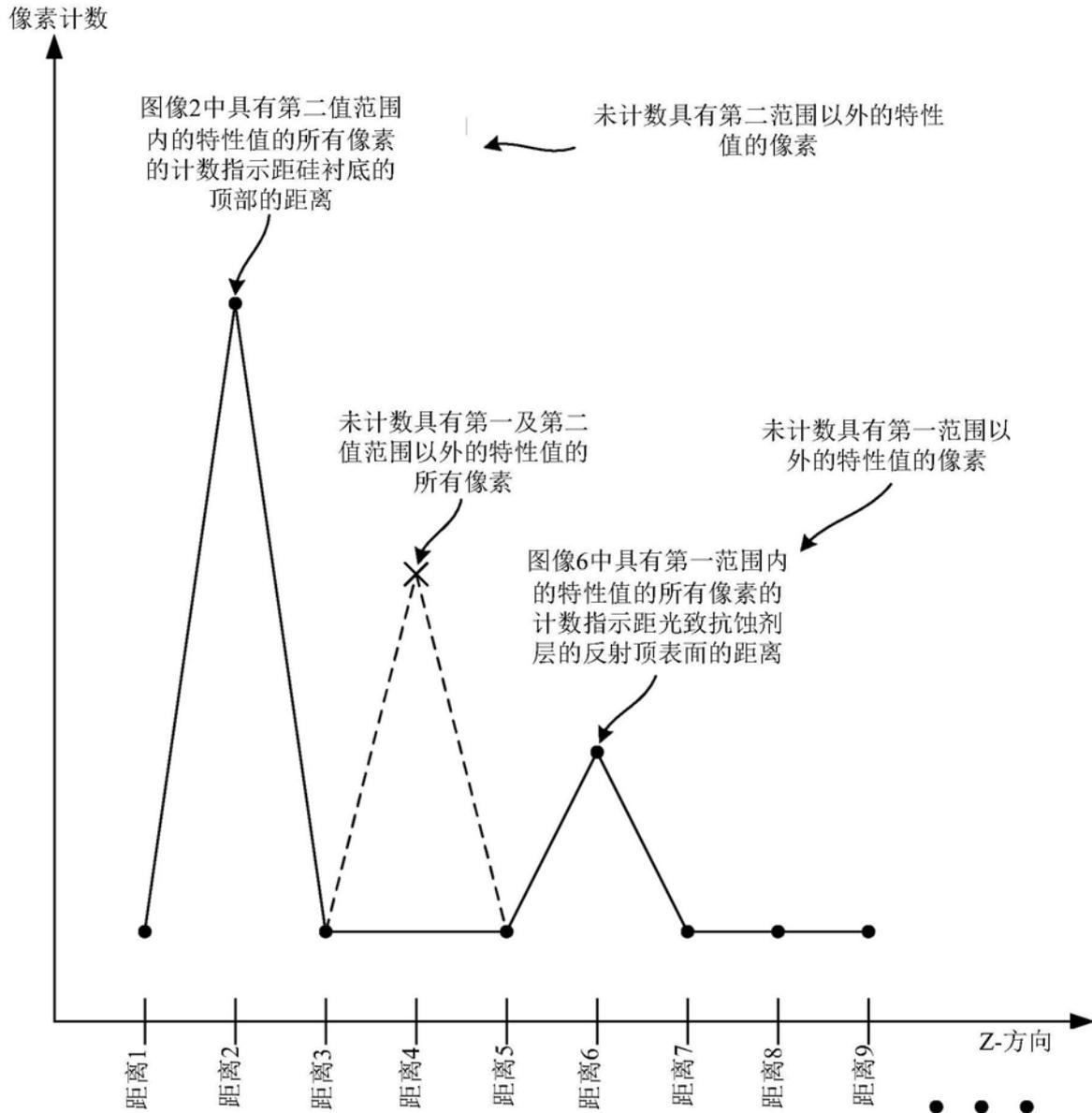


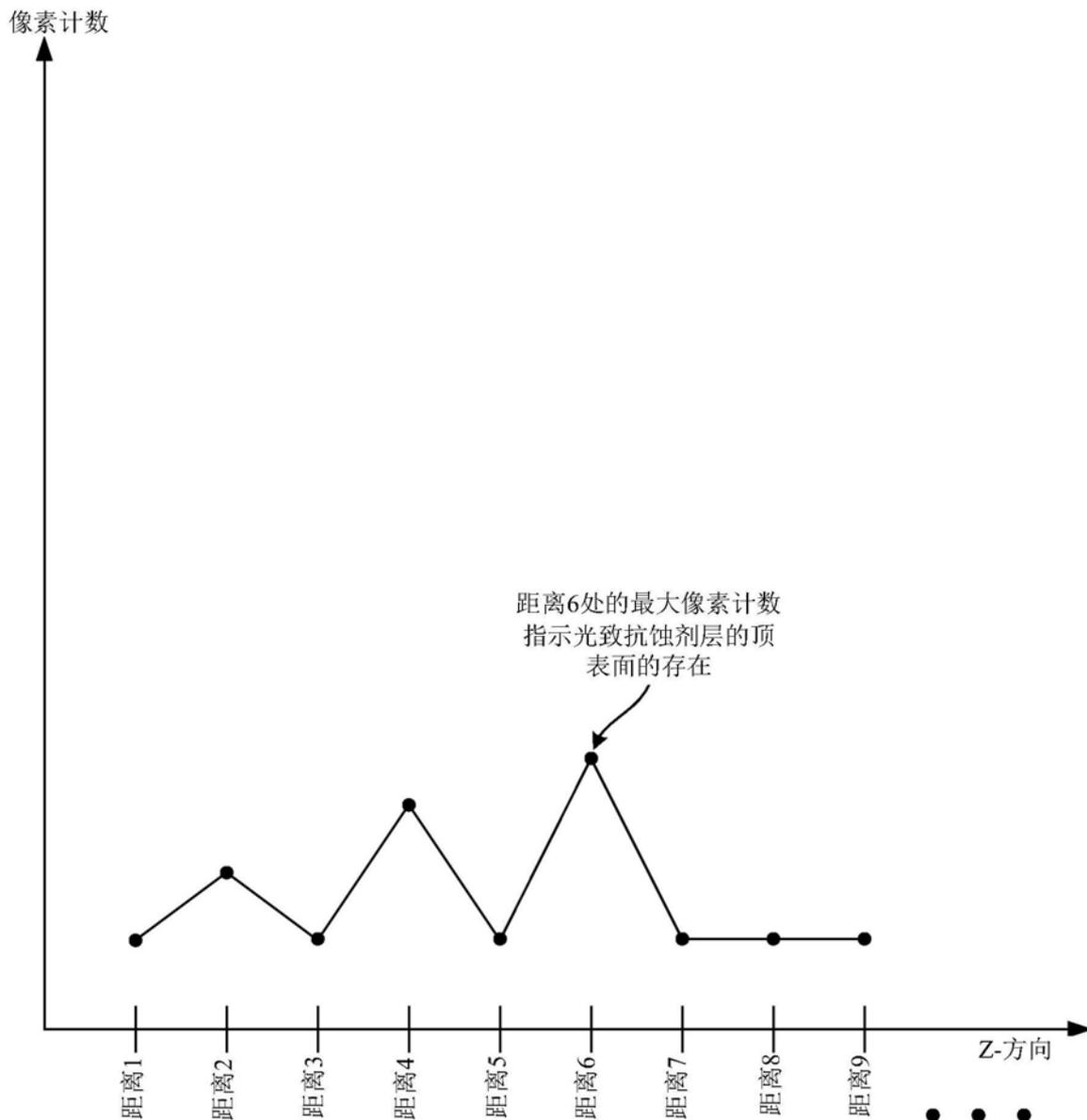
图13



滤除具有第一及第二范围以外的值的所有像素，借此移除不存在于距离4处的第三表面的错误指示

具有特定范围内的特性值的所有像素的计数

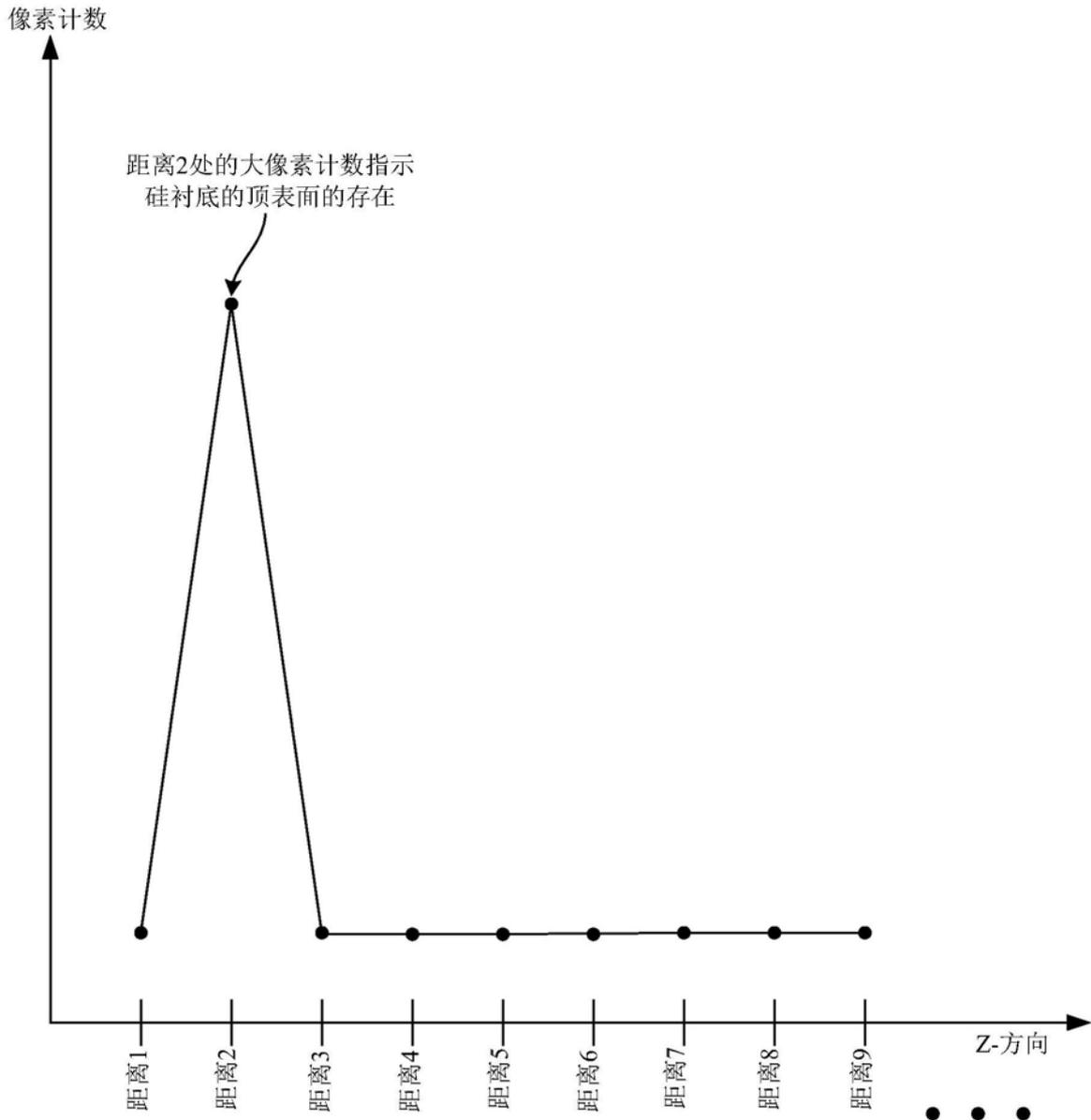
图14



滤除具有第一范围以外的值的所有像素，借此仅指示指示光致抗蚀剂层的顶表面的存在的像素计数

具有第一范围内的特性值的所有像素的计数

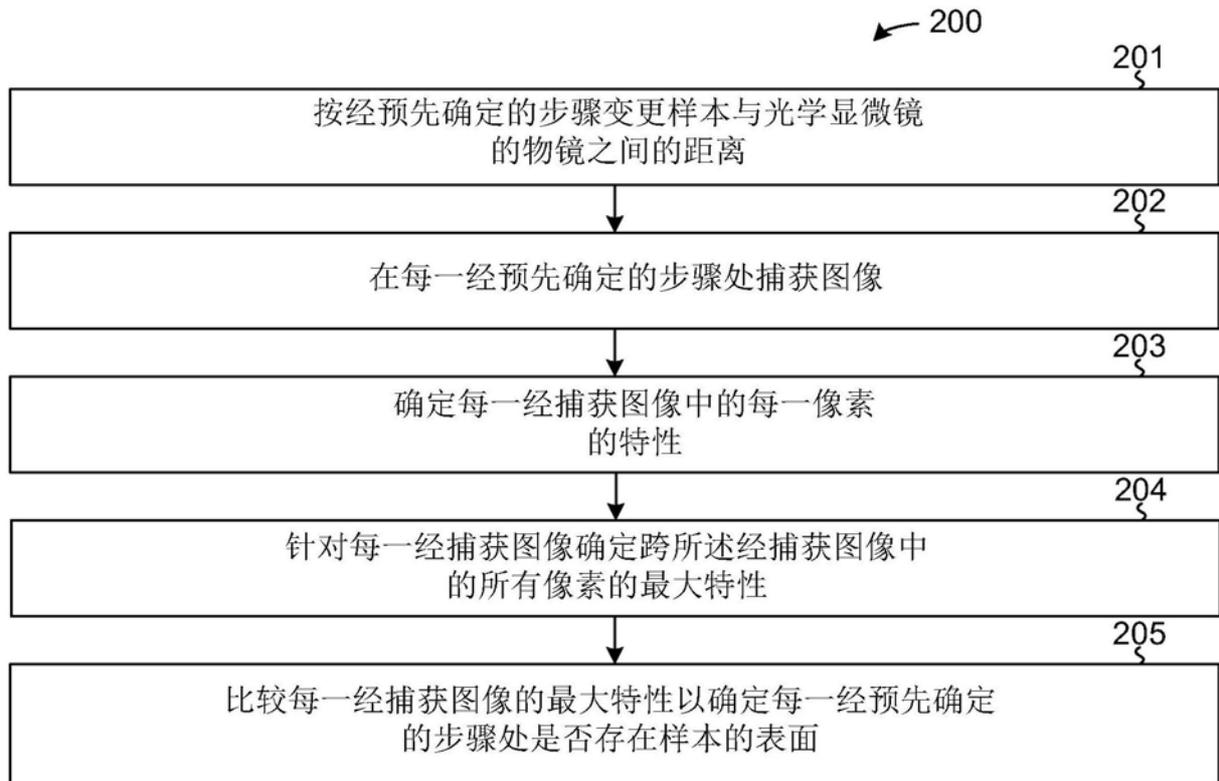
图15



滤除具有第二范围以外的值的所有像素，借此仅指示指示硅层的顶表面的存在的像素计数

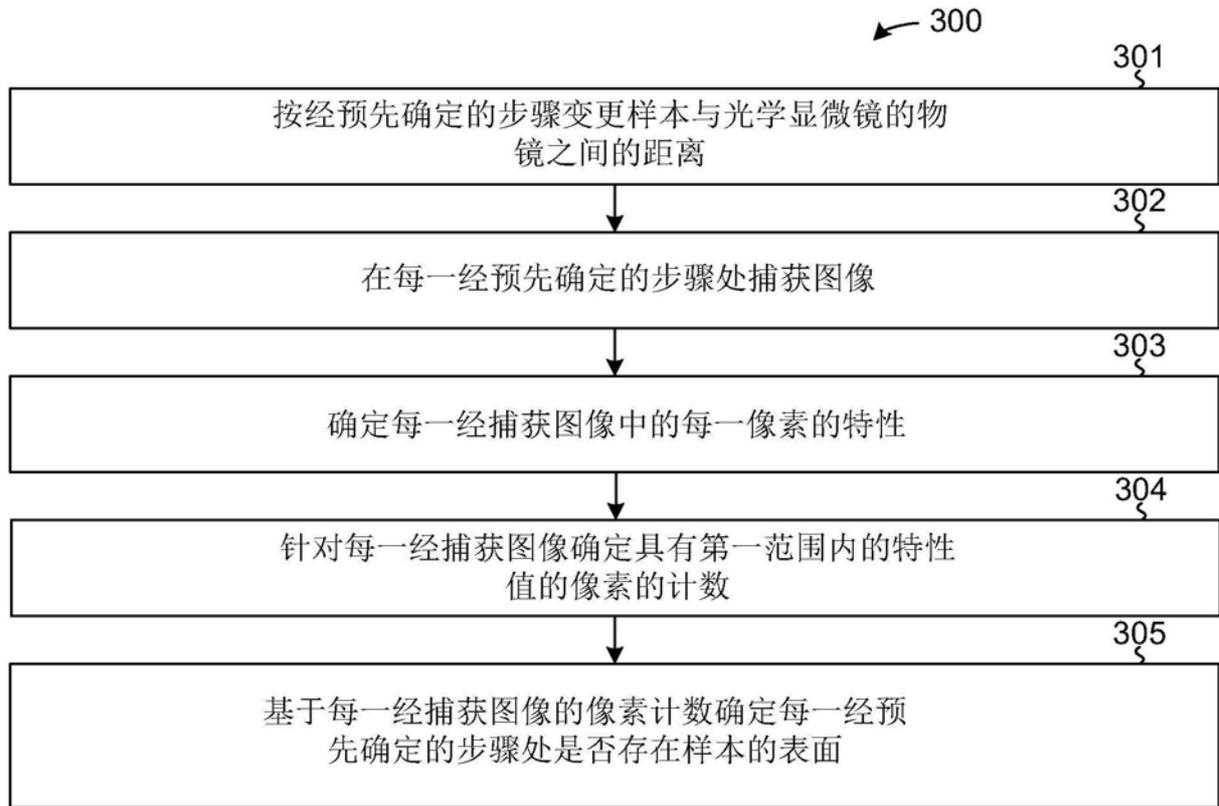
具有第二范围内的特性值的所有像素的计数

图16



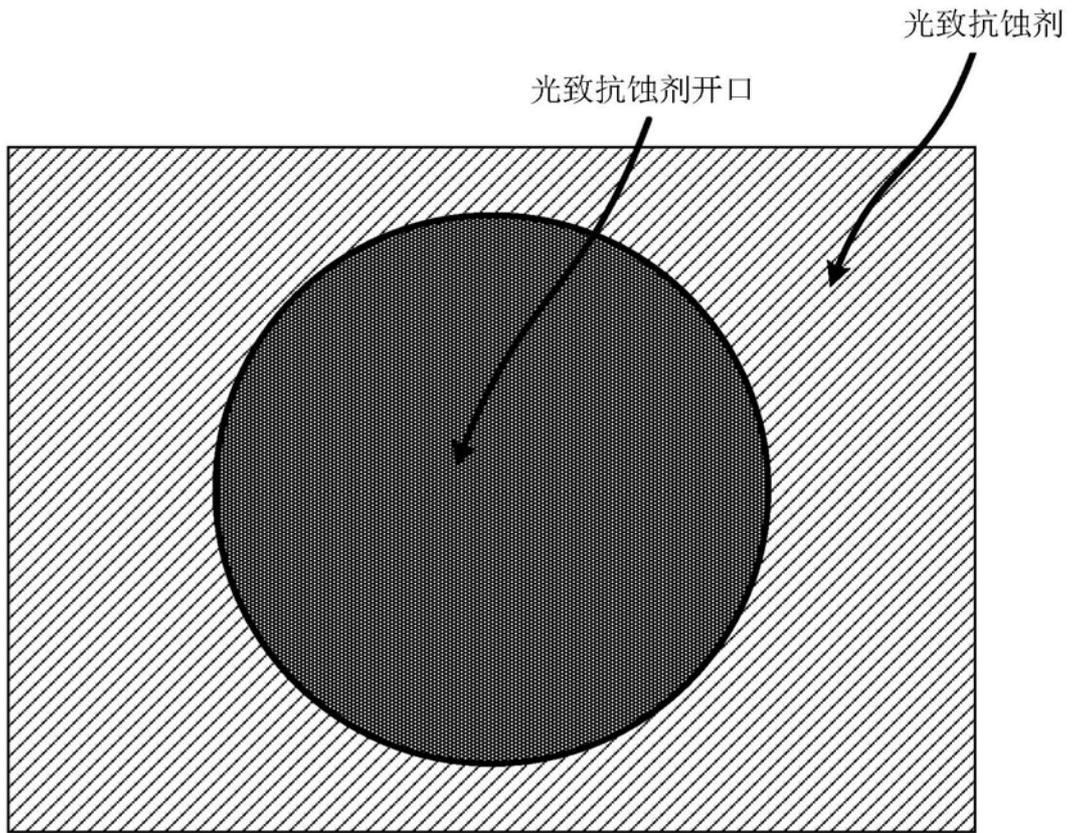
峰值模式流程图

图17



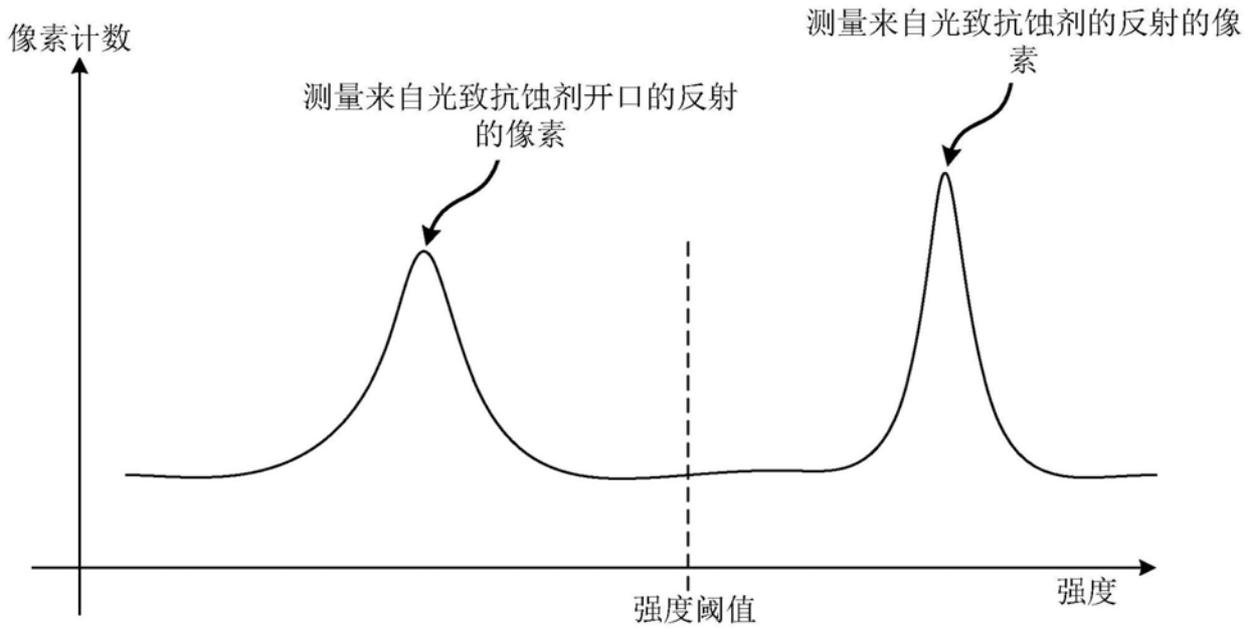
范围模式流程图

图18



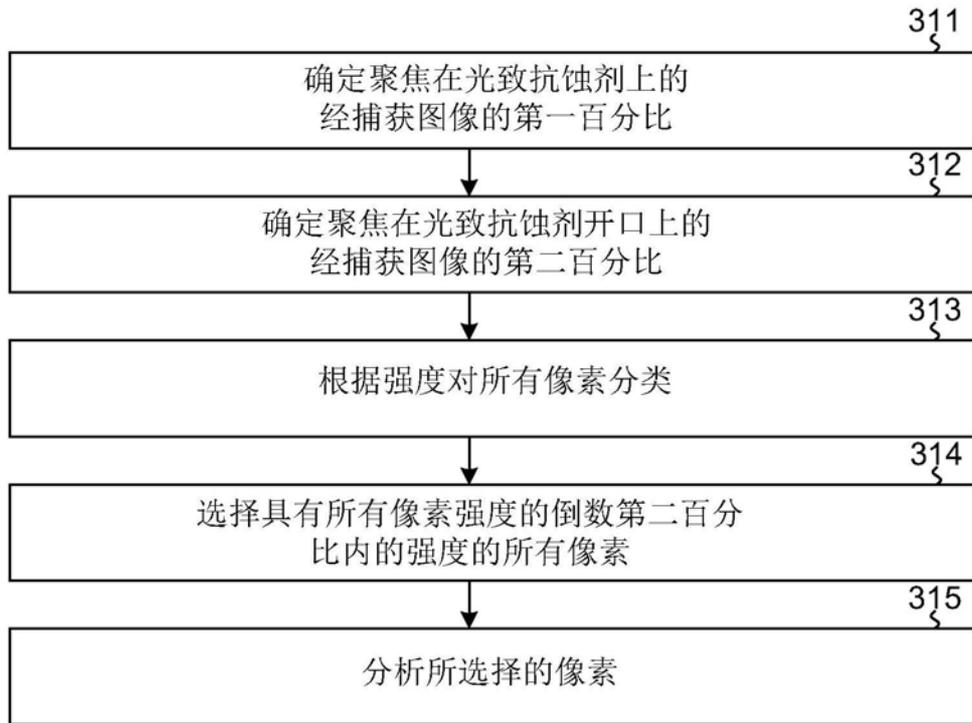
经捕获图像

图19



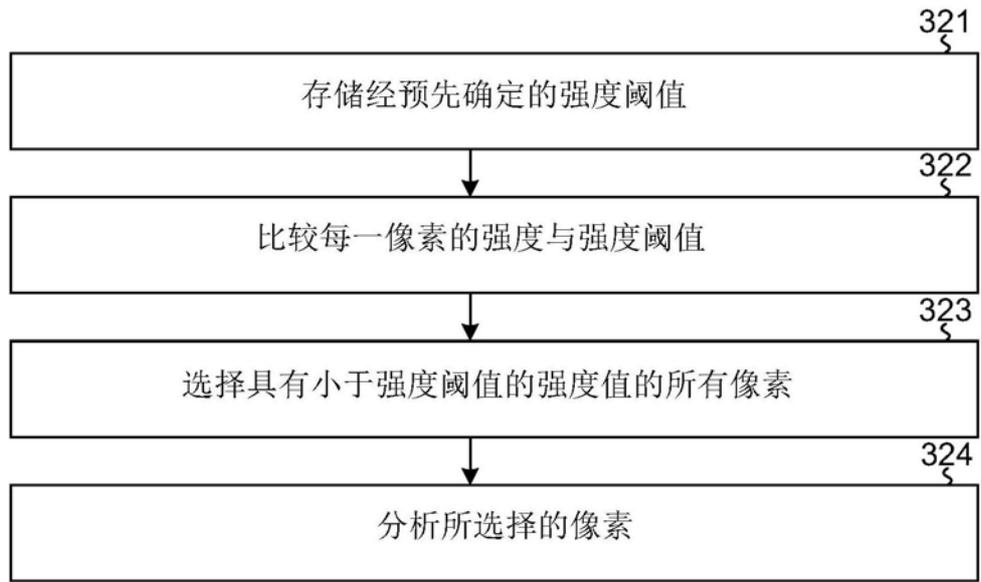
产生强度阈值的第一方法

图20



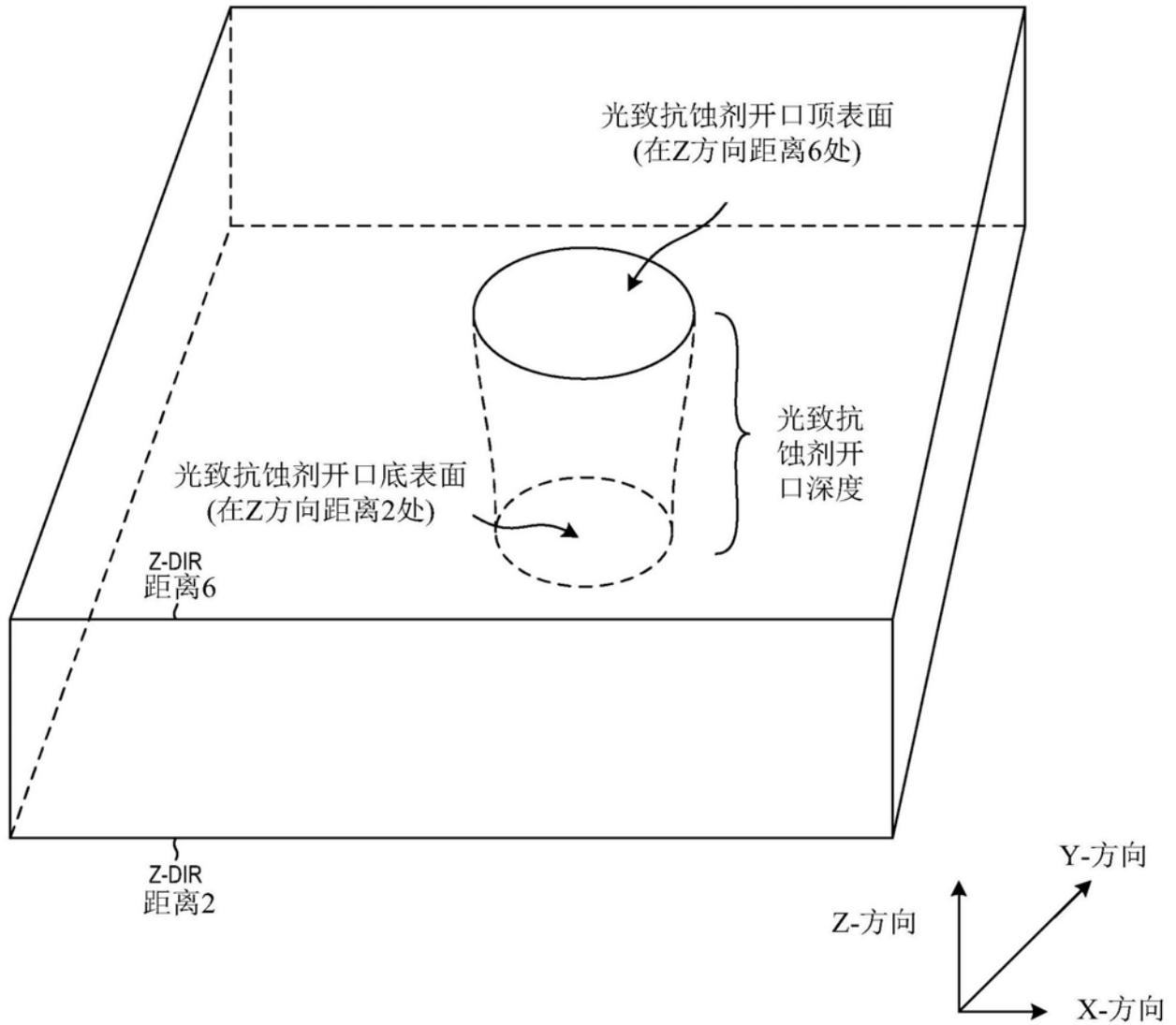
产生强度阈值的第二方法

图21



产生强度阈值的第三方法

图22



光致抗蚀剂开口的三维图

图23

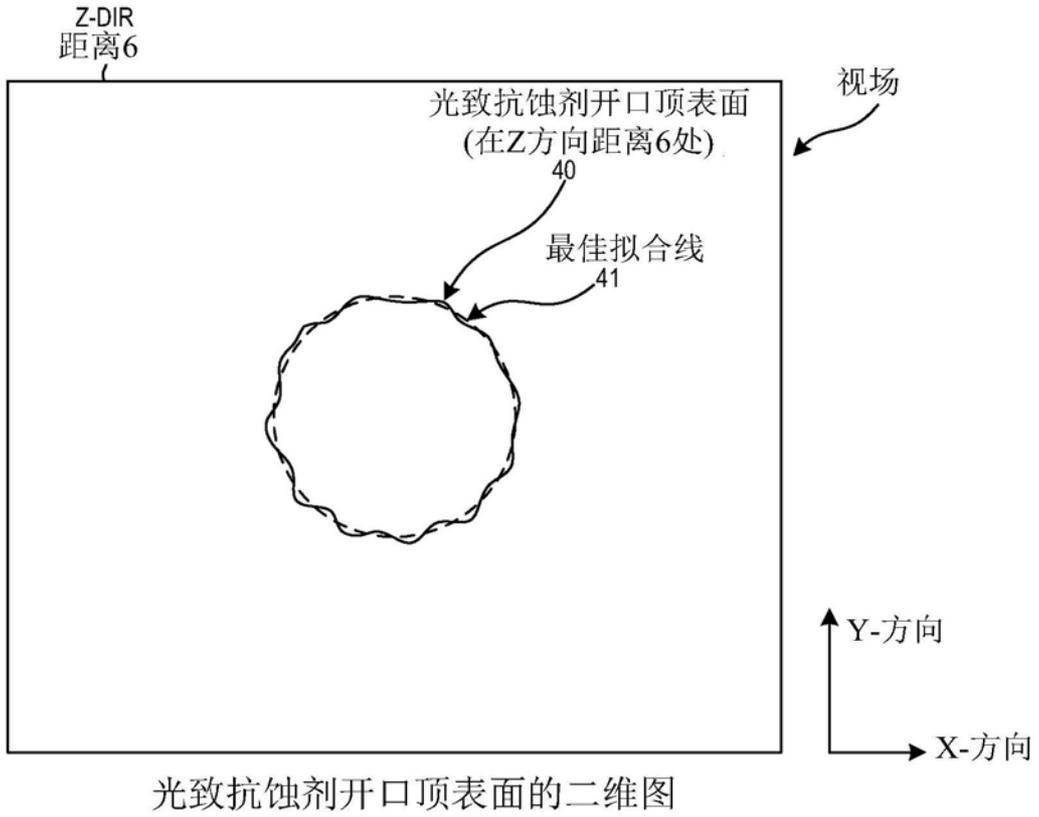


图24

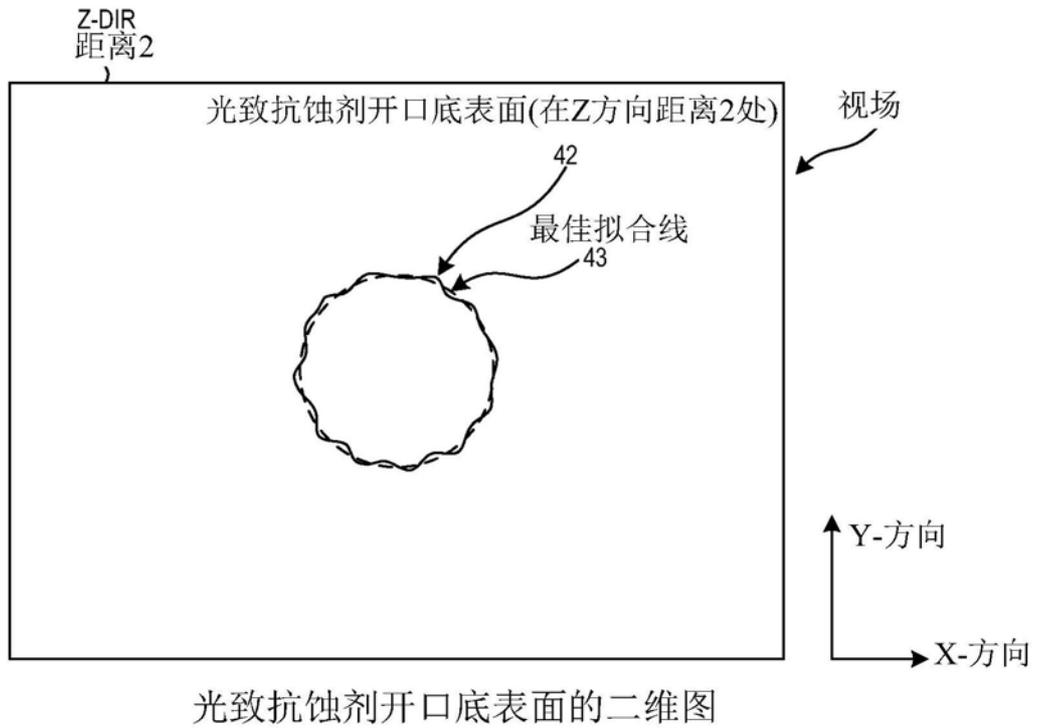
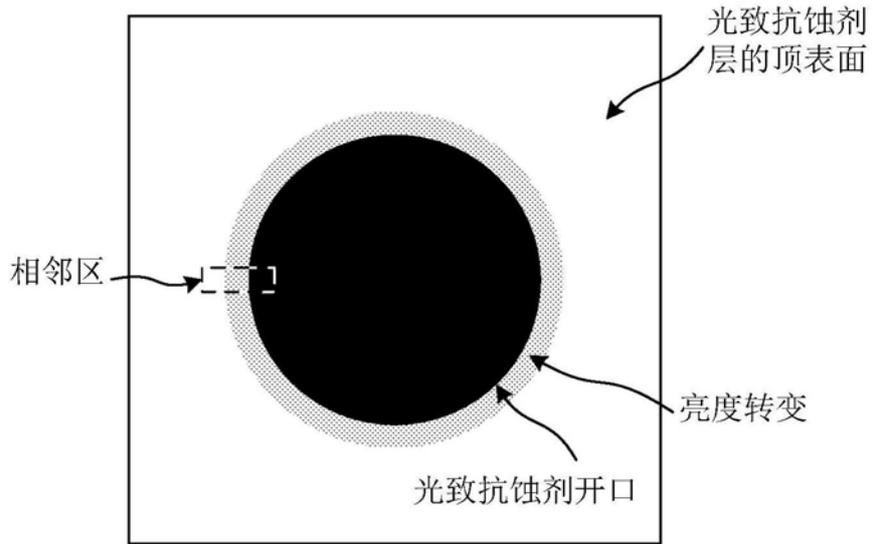


图25



聚焦在光致抗蚀剂层的顶表面上的经捕获图像

图26

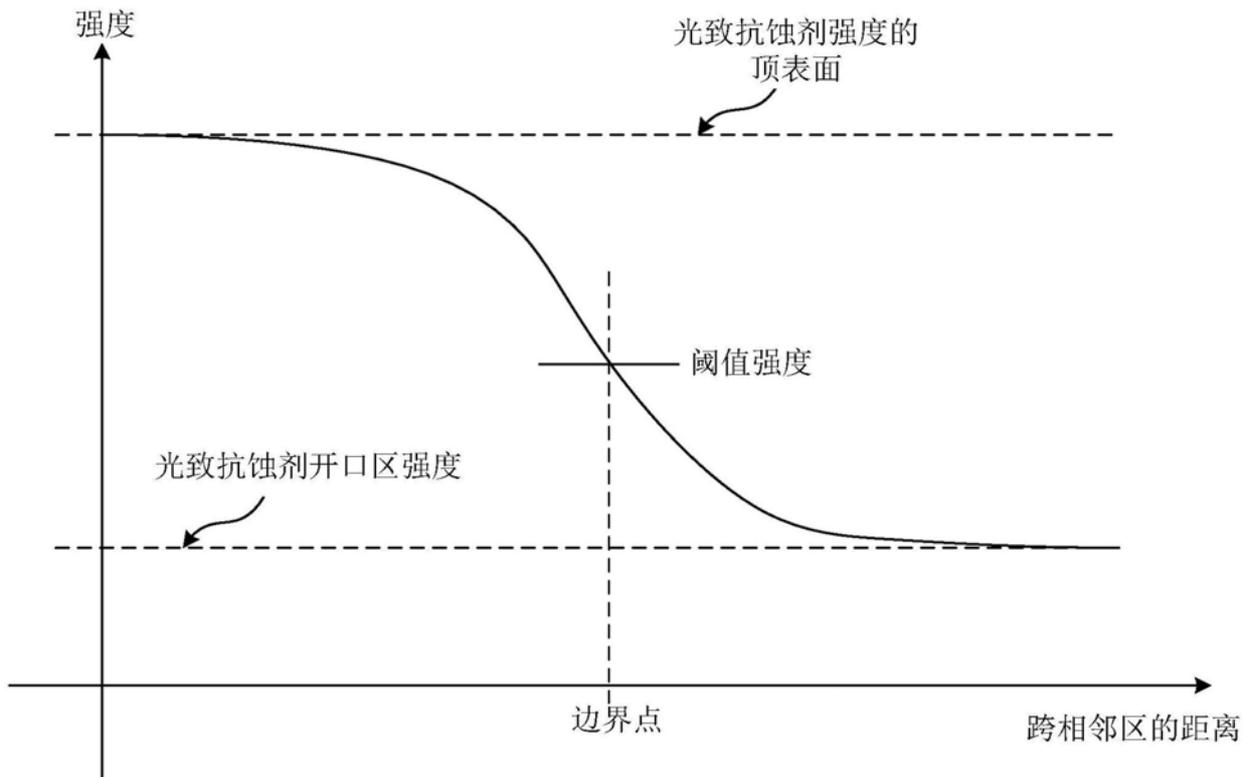
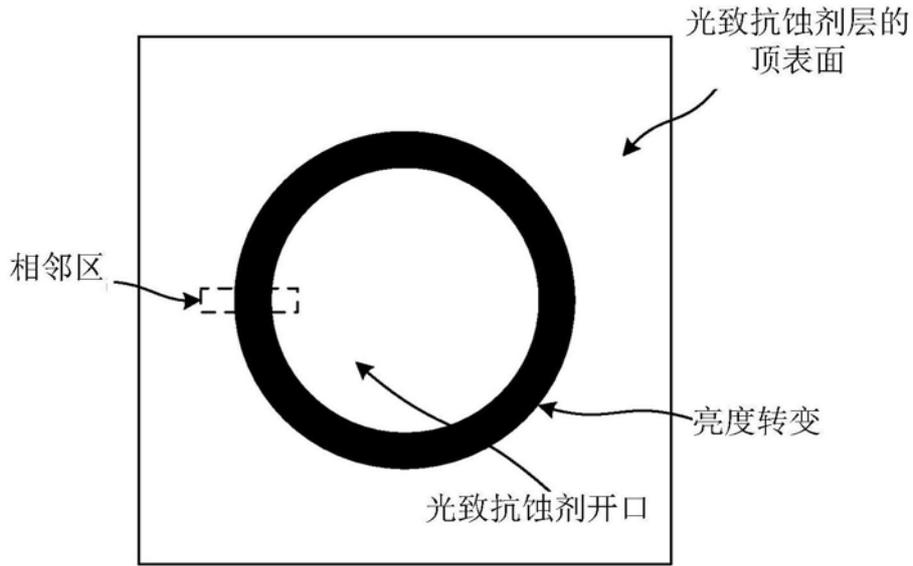


图27



聚焦在光致抗蚀剂层的底表面上的经捕获图像

图28

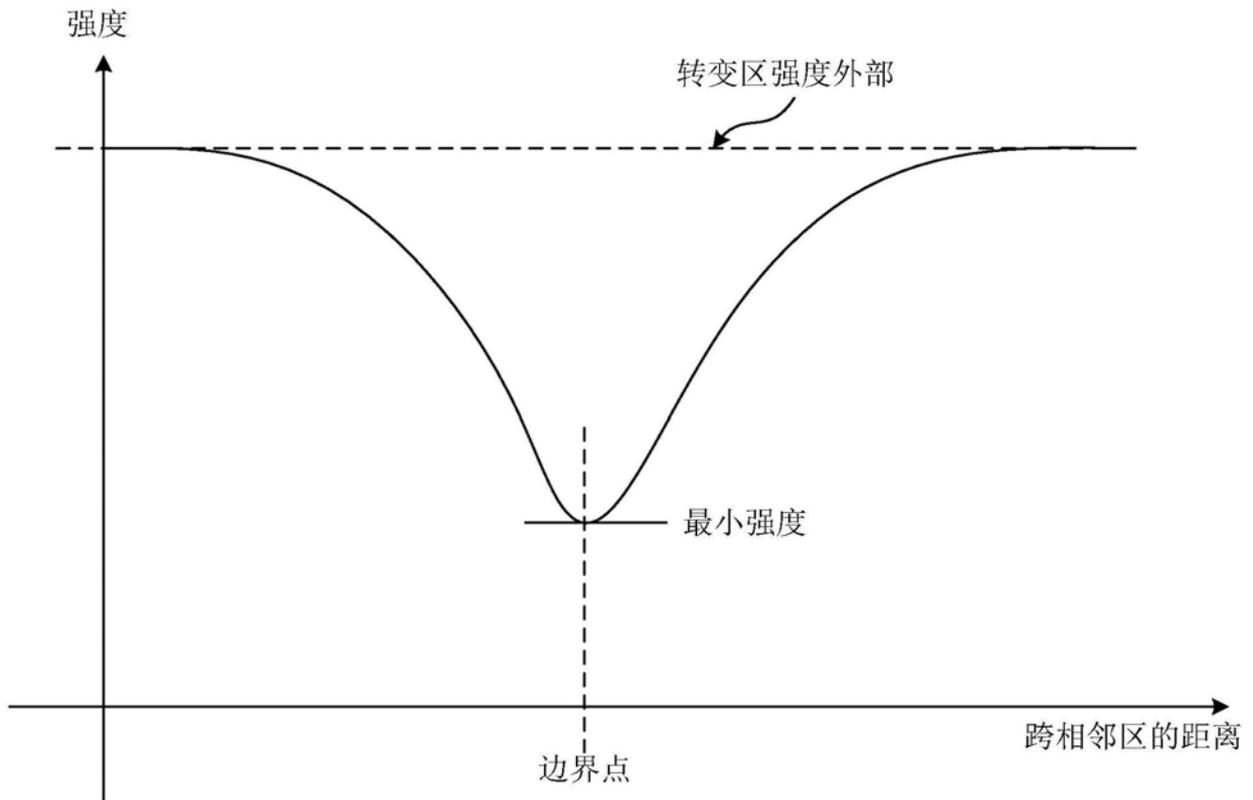
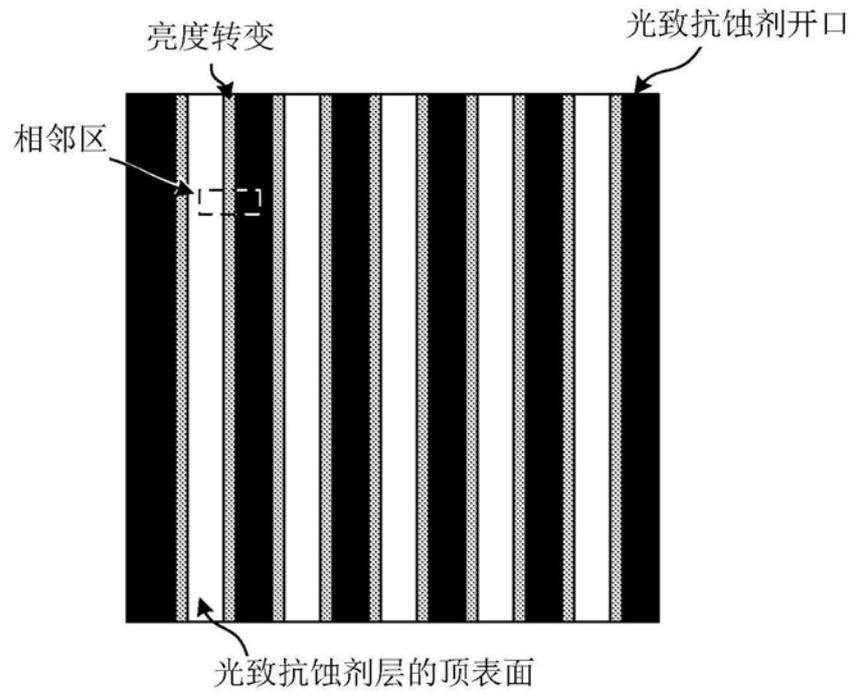


图29



聚焦在光致抗蚀剂沟槽的顶表面上的经捕获图像

图30

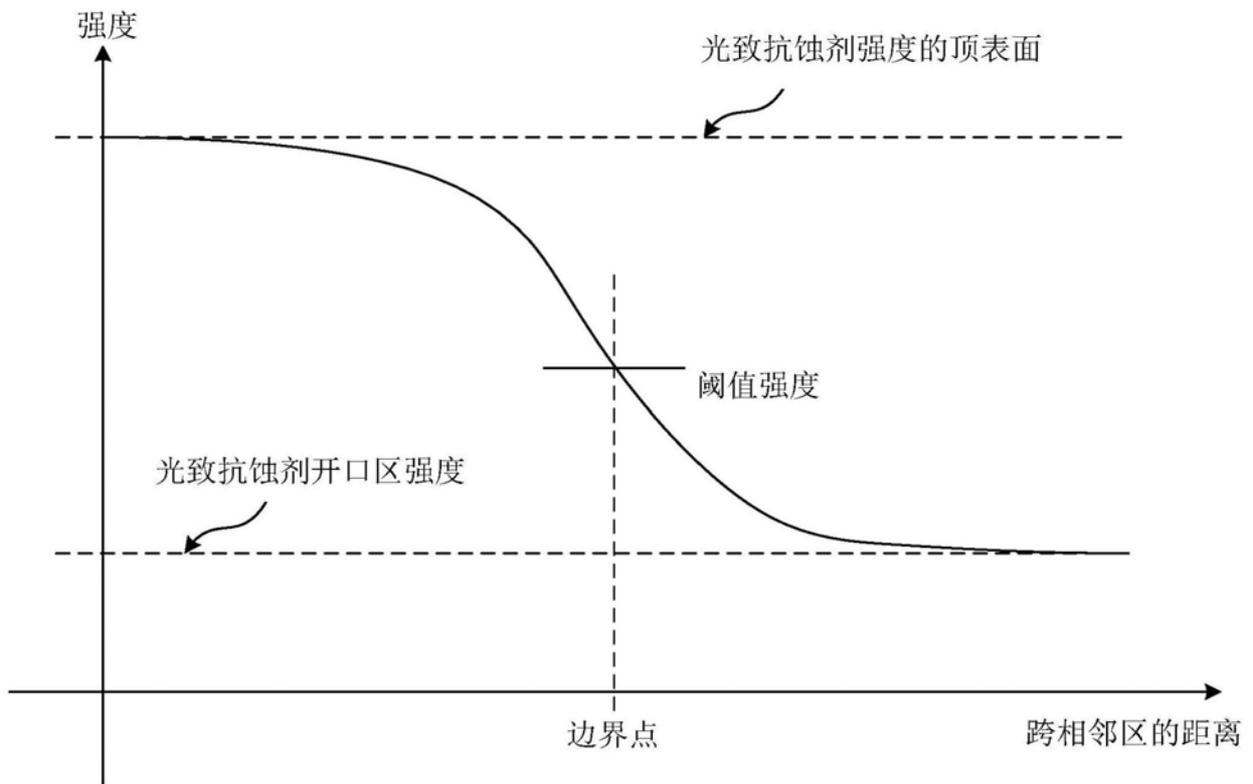


图31