



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116930232 A

(43) 申请公布日 2023. 10. 24

(21) 申请号 202210330501.0

(22) 申请日 2022.03.31

(71) 申请人 FEI 公司

地址 美国俄勒冈州

(72) 发明人 吴冰星 钟祯新 刘春晓

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

专利代理师 黄涛 周学斌

(51) Int. Cl.

G01N 23/2251 (2018.01)

G01B 15/04 (2006.01)

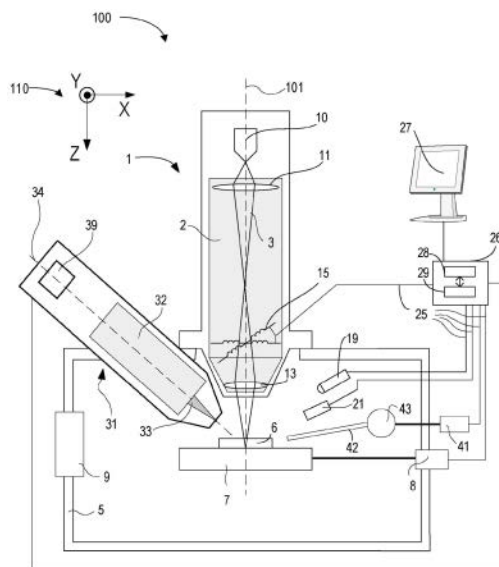
权利要求书2页 说明书7页 附图9页

(54) 发明名称

用于分析三维特征部的方法及系统

(57) 摘要

基于第一表面的第一样品图像和第二表面的第二样品图像来分析样品中的多个特征部。所述第一表面包括所述多个特征部的横截面,并且所述第二表面包括所述多个特征部在相对于所述第一表面的不同样品深度处的横截面。所述第二表面是通过铣削所述样品以去除所述第一表面的至少一部分而形成。通过将所述第二图像中多个特征部的所述横截面和所述第一图像中所述多个特征部的对应横截面进行比较来构建所述多个特征部的3D模型。



1. 一种用于分析样品中的多个特征部的方法,其包含:
获取所述样品的第一表面的第一图像,所述第一表面包括所述多个特征部的横截面;
铣削所述样品以去除所述第一表面的至少一部分并暴露第二表面,其中所述第二表面包括所述多个特征部在相对于所述第一表面的多个样品深度处的横截面;
获取所述第二表面的第二图像;和
通过将所述第二图像中所述第二表面上的多个特征部的所述横截面与所述第一图像中所述第一表面上的所述多个特征部的对应横截面进行比较,构建所述多个特征部的3D模型。
2. 根据权利要求1所述的方法,其另外包含显示构建的3D模型。
3. 根据权利要求1-2中任一项所述的方法,其中将所述第二图像中所述第二表面上的多个特征部的所述横截面与所述第一图像中所述第一表面上的所述多个特征部的对应横截面进行比较包括:将所述第二图像中成像的特定特征部的横截面与所述第一图像中成像的所述特征部的横截面进行比较。
4. 根据权利要求1-2中任一项所述的方法,其中将所述第二图像中所述第二表面上的多个特征部的所述横截面与所述第一图像中所述第一表面上的所述多个特征部的对应横截面进行比较包括:将所述第二表面上的多个特征部的所述横截面的位置中的一个或多个与所述第一表面上的所述多个特征部的对应横截面进行比较。
5. 根据权利要求1-2中任一项所述的方法,其中将所述第二图像中所述第二表面上的多个特征部的所述横截面与所述第一图像中所述第一表面上的所述多个特征部的对应横截面进行比较包括:标识所述特征部在所述第一图像和所述第二图像中的所述横截面。
6. 根据权利要求5所述的方法,其中将所述第二图像中所述第二表面上的多个特征部的所述横截面与所述第一图像中所述第一表面上的所述多个特征部的对应横截面进行比较另外包括:将标识的横截面映射到对应特征部。
7. 根据权利要求6所述的方法,其另外包含在所述第一表面上定位基准点,并且所述标识的横截面被映射到利用所述基准点的对应特征部。
8. 根据权利要求1所述的方法,其另外包含在所述第一表面上定位基准点,并且基于所述第二表面上的所述多个特征部的所述横截面与所述第二图像中的所述基准点的距离来确定所述第二表面上的所述多个特征部的所述横截面的所述样品深度。
9. 根据权利要求1所述的方法,其另外包含在获取所述第一表面的所述第一图像之前用等离子体聚焦离子束(PFIB)铣削所述样品以暴露所述第一表面。
10. 根据权利要求1和8-9中任一项所述的方法,其另外包含在获取所述第一表面的所述第一图像之前,用沿着平行于所述第一表面的轴引导的离子束铣削所述样品以暴露所述第一表面。
11. 根据权利要求1所述的方法,其中所述多个特征部中的每个特征部在沿着所述样品深度的方向上延伸。
12. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第一表面垂直于所述样品深度的方向。
13. 根据权利要求1所述的方法,其中用相对于所述第一表面成锐角的带电粒子束铣削所述样品。
14. 一种用于分析样品中的多个特征部的带电粒子系统,其包含:

第一源,其用于生成朝向所述样品的第一带电粒子束;
第二源,其用于生成朝向所述样品的第二带电粒子束;
检测器,其用于收集响应于用所述第一带电粒子束照射所述样品而从所述样品发射的粒子;

控制器,其包括处理器和用于存储计算机可读指令的非暂态存储器,通过在所述处理器中执行所述计算机可读指令,所述带电粒子系统被配置为:

经由所述第一源将所述第一带电粒子束导向所述样品;

经由所述检测器获取所述样品的第一表面的第一图像,所述第一表面包括所述多个特征部的第一横截面;

经由所述第二源铣削所述样品以去除所述第一表面的至少一部分并暴露第二表面,其中所述第二表面包括所述多个特征部的第二横截面,所述第二横截面相对于所述第一表面在不同样品深度处;

经由所述第一源将所述第一带电粒子束导向所述样品;

经由所述检测器获取所述第二表面的第二图像;和

通过将所述第二图像中所述多个特征部的所述第二横截面与所述第一图像中所述多个特征部的对应第一横截面进行比较,构建所述多个特征部的3D模型。

15. 根据权利要求14所述的系统,其中所述第一源生成电子束,并且所述第二源生成离子束。

16. 根据权利要求15所述的系统,其中所述第一图像和所述第二图像是扫描电子显微镜图像。

17. 根据权利要求14所述的系统,其另外包含显示单元,并且所述系统另外被配置为在所述显示单元上显示构建的3D模型的图像。

18. 根据权利要求14-17中任一项所述的系统,其中所述第一和/或第二样品图像是分别从所述第一表面和/或第二表面获取的多个图像拼接在一起。

19. 根据权利要求14所述的系统,其中所述3D模型包括所述多个特征部在多个样品深度处的位置偏移。

20. 根据权利要求14所述的系统,其中所述第一样品图像和所述第二样品图像是通过将所述第一带电粒子束沿着相同方向朝向所述样品引导而获取。

用于分析三维特征部的方法及系统

技术领域

[0001] 本描述总体上涉及用于分析三维(3D)特征部的方法和系统,更具体地,涉及使用带电粒子工具生成样品的多个特征部的3D模型。

背景技术

[0002] 许多半导体样品,如三维(3D)NAND和DRAM,包括重复出现的高纵横比特征部。举例来说,数不清的竖直内存通道孔通过蚀刻一叠沉积层而形成。这些特征部的小横截面大小和大纵横比对理解这些特征部的属性以进行质量监控和过程控制提出了挑战。现有的制造检测工具,如光学临界尺寸(OCD)系统和临界尺寸扫描电子显微镜(CD-SEM),缺乏对高纵横比特征部进行3D剖析所需的成像深度和信号提取能力。需要用于分析这些特征部的高分辨率、高通量和快速剖析方法和系统。

发明内容

[0003] 在一个实施例中,用于分析样品中的多个特征部的方法包含获取样品的第一表面的第一图像,该第一表面包括多个特征部的横截面;铣削样品以去除第一表面的至少一部分并暴露第二表面,其中第二表面包括多个特征部在相对于第一表面的多个样品深度处的横截面;获取第二表面的第二图像;以及通过将第二图像中第二表面上的多个特征部的横截面与第一图像中第一表面上的多个特征部的对应横截面进行比较,构建多个特征部的3D模型。这样,可快速分析多个特征部,并且根据3D模型显示特征部的属性。在一些实施例中,该方法可使用一个或多个带电粒子工具来实施。

[0004] 应理解,提供以上概述是为了以简化的形式介绍在详细描述中另外描述的一些概念。其并不意味着标识所要求保护的的主题的关键或必要特征,其范围由详细描述之后的权利要求进行唯一地限定。此外,所要求保护的的主题不限于解决上文提到或本公开的任一部分中的任何缺点的实施方式。

附图说明

[0005] 图1图示了带电粒子显微镜。

[0006] 图2是用于分析样品的多个特征部的方法的流程图。

[0007] 图3A图示了延迟过程。

[0008] 图3B图示了掠射角铣削过程。

[0009] 图3C图示了从中拍摄高分辨率图像的样品表面。

[0010] 图4A和图4B分别示出了在样品的掠射角铣削之前和之后拍摄的SEM图像。

[0011] 图5示出了用于构建特征部的3D模型的方法500。

[0012] 图6A和图6B分别示出了图4A和图4B中标识的特征部横截面。

[0013] 图7是示出特征部随样品深度的位置偏移的示例图像。

[0014] 图8是示出特征部半径随样品深度的变化的示例图像。

[0015] 贯穿附图的若干个视图,类似的附图标记指代对应的部分。

具体实施方式

[0016] 以下描述涉及用于分析样品中的多个特征部的系统和方法。这些特征部可在形状和大小上基本上相同。这些特征部可规则地并排排列在样品中。具体而言,本文所公开的系统和方法可快速分析具有高纵横比的特征部。举例来说,这些特征部可为半导体样品(如存储器样品)中的通道或孔。分析多个特征部包括生成指示特征部属性的空间分布的3D模型。特征部属性可包括特征部的大小、形状和位置中的一项或多项。举例来说,3D模型可示出临界尺寸(CD)计量的变化和/或特征部随各种样品深度的位置。CD是在半导体晶片上形成的精细图案的尺寸,该尺寸是半导体制造工艺流程中的关键参数。

[0017] 一种用于生成高纵横比特征部的3D廓型的方法在Zhong等人于2021年2月17日提交的美国专利申请17/177,529中公开,该专利的全部内容以引用的方式并入本文并用于所有目的,其中使用离子束和电子束对样品进行反复交替铣削和成像。每个样品图像包括在特定样品深度处的特征部的横截面。从样品图像中标识的特征部横截面被组合以重建3D廓型。然而,为了获得孔特性的详细信息,如CD变化、弯曲、扭曲、倾斜和扭结,这些特性可导致柱接触和大量位故障,因此需要大量具有精确切片到切片对准的切片表面。获取覆盖大样品区域(例如,100x100 μm^2 的样品区域)的完整数据集可能需要花费数十小时。

[0018] 另一种用于生成高纵横比特征部的3D模型的方法在Stone等人的美国专利US10026590B2中公开,该专利的全部内容以引用的方式并入本文并用于所有目的,该方法公开了暴露样品表面,该暴露样品表面包括多个相邻特征部经由掠射角铣削的横截面。将暴露的样品表面中特征部的横截面图像组合起来,以形成近似于特征部中的一个的3D模型。申请人认识到,基于通过掠射角铣削暴露的单个样品表面的图像生成的3D模型不能示出特征部位置随样品深度的偏移。为了获得该信息,类似于美国专利申请17/177,529中公开的方法,需要铣削和获取多个切片的图像的耗时过程。

[0019] 为了解决上述问题,通过比较至少两个高分辨率样品图像(如高分辨率扫描电子显微镜(SEM)图像)中每个特征部的横截面来分析样品中的多个特征部。第一样品图像包括特征部在相同样品深度处的横截面,并且第二样品图像包括特征部在多个样品深度处的横截面。通过比较第一和第二图像中相同特征部的横截面,可提取特征部属性的变化。举例来说,可获得垂直于样品深度的平面中CD和特征部位置的变化。可组合所提取的多个特征部的特征部属性来构建3D模型。

[0020] 第一样品图像可通过对第一表面进行成像获得,并且第二样品图像可通过对样品的第二表面进行成像获得。第一和第二样品图像可为通过将电子束定向在沿着样品深度方向、垂直于第一表面的方向上而获取的SEM图像。通过使用离子束从样品中去除材料,可经由延迟过程暴露第一表面。对于圆柱形特征部,第一表面上的特征部的横截面可为基本上圆形的。在一个示例中,通过垂直朝向第一表面的等离子体聚焦离子束(PFIB)去除材料。在另一个示例中,使用平行于第一表面定向的离子束去除材料。离子束可为用于横截面处理的宽束。举例来说,宽离子束的束廓型比PFIB更宽(或更少聚焦)。第一表面应相对平坦,以便于分析第一样品图像中的特征部。可基于表面图像的对比度来评估第一表面的平整度。在获取第一样品图像之后,可通过用离子束铣削样品以去除第一表面的至少一部分来暴露

第二表面。离子束可由液态金属离子源或等离子体离子源生成。离子束以相对于第一表面的锐掠射角射向样品并平行于第二表面。掠射角可为28-38度。在一个示例中,离子束是聚焦离子束(FIB)。在另一个示例中,离子束是宽离子束。在第二个表面上,与位于距离离子源较远的不同特征部横截面(即,在较大的样品深度处)相比,位于距离离子源较近的特征部横截面也更靠近第一表面(即,在较小的样品深度处)。在一个示例中,被成像并用于生成3D模型的多个特征部可各自具有在第二表面上的不同样品深度处的横截面。在另一个示例中,多个特征部的子集可在第二表面上的相同样品深度处具有横截面。在一些实施例中,可通过分别拼接第一和/或第二表面的多个样品图像来获得第一和/或第二样品图像,以覆盖更大的感兴趣区域。

[0021] 比较来自第一和第二样品图像的特征部的横截面包括标识第一和第二样品图像中的横截面并将标识的横截面映射到对应特征部。参考基准点可用于映射特征部横截面。在一个示例中,可在第一表面上创建基准点。在另一个示例中,样品的结构或处理的样品的一部分被用作基准点。基准点可为第一表面上的特征部的横截面,该横截面未被掠射角铣削去除。基准点可另选地为由掠射角铣削形成的边缘。在一些示例中,基准点可用于对准第一和第二样品图像,并且可从对准的样品图像中提取特征部属性的变化。

[0022] 对于多个特征部中的特定特征部,将第一样品图像中的第一横截面与第二样品图像中的第二横截面进行比较以确定特征部属性的变化。在一个示例中,特征部在平行于第一表面的平面中的位置偏移可根据第二横截面的中心相对于第一横截面的中心的偏移来确定。特征部的位置(例如横截面中心的位置)可利用基准点来确定。在另一示例中,可通过比较第二样品图像中的估计特征部半径和第一样品图像中的估计特征部半径来计算特定特征部半径的变化。每个特征部的提取的属性变化对应的样品深度等于第二样品表面上特征部横截面的样品深度。样品深度可根据掠射角铣削的掠射角和横截面与由掠射角铣削形成的第一表面上的边缘的距离来计算。

[0023] 多个特征部的一个或多个3D模型可从多个特征部的属性变化和对应样品深度中生成。举例来说,模型的二维(如X、Y轴)对应于平行于第一表面的平面内的属性变化,并且模型的第三维(如Z轴)对应于样品深度。此外,3D模型可包括各种样品深度的特征部计量。举例来说,3D模型可包括在各种样品深度处的特征部的估计直径。3D模型可基于来自至少三个不同特征部的数据来构建。

[0024] 这样,可基于有限的测量数据(例如,两个样品图像)快速分析特征部的质量。与美国专利申请17/177,529中公开的方法相比,这是非常快的,并且可提供从美国专利US10026590B2中公开的方法无法获得的特征部偏移信息。虽然3D模型是从多个特征部提取的数据中生成的,但由于位置较近的特征部(如位于单个SEM图像的视野中的特征部)的相似性,3D模型可准确反映或近似每个特征部的属性。所公开的方法可用于分析从较大/大块样品中提取(如切出)的样品。该方法还可用于直接分析晶片中的特征部。可使用所公开的方法分析晶片的不同区域以提取区域特征部属性,并且可比较晶片不同部分(如晶片的中心和边缘处)的特征部属性。该方法可用于在3D NAND制造中的通道孔制造期间或在先进DRAM制造中的3D电容器制造期间监控蚀刻工艺的质量。

[0025] 在一些实施例中,经由掠射角铣削去除多个样品切片以暴露第二表面。在一些实施例中,在获取第二样品图像之后,用离子束铣削样品,以暴露第三表面。获取第三表面的

第三样品图像。可基于第一、第二和第三样品图像来生成3D模型。

[0026] 转向图1,图1为其中可实施本发明的双束带电粒子显微镜(CPM)的实施例的高度示意性描绘,更具体地说,其示出FIB-SEM的实施例。系统坐标示出为110。显微镜100包含粒子光柱1,所述粒子光柱产生沿着粒子光轴101传播的带电粒子束3(在此情况下,电子束)。粒子光轴101可与系统的Z轴对准。柱1安装在真空室5上,所述真空室包含用于保持/放置样品6的样品保持器7和一个或多个相关联致动器8。使用真空泵(未描绘)将真空室5排空。还描绘来真空端口9,其可打开以将物品(分量、样品)引入到真空室5的内部或从内部去除。如果需要,显微镜100可包含多个此类端口9。

[0027] 柱1包含电子源10和照明器2。此照明器2包含用于将电子束3聚焦到样品6上的透镜11、13,以及偏转单元15(用于执行束3的束转向/扫描)。显微镜100另外包含用于尤其控制偏转单元15、透镜11、13和检测器19、21并将检测器19、21收集的信息显示在显示单元27上的控制器/计算机处理设备26。

[0028] 除了上文所描述的电子柱1之外,显微镜100还包含离子光柱31。这包含离子源39和照明器32,并且这些沿着离子光轴34产生/导引离子束33。为了促进对保持器7上的样品6的接近,离子轴34相对于电子轴101倾斜。如上文所描述,此类离子(FIB)柱31可例如用于对样品6执行处理/机械加工操作,如切割、铣削、蚀刻、沉积等。离子柱31可用于产生样品6的成像。应注意,离子柱31可能随意生成各种不同种类的离子;因此,对离子束33的参考不应必须视为在任何给定时间指定所述束中的特定种类——换句话说,束33可包含用于操作A(如铣削)的离子种类A和用于操作B(如植入)的离子种类B,其中种类A和B可选自多种可能的选项。离子源39可为液态金属离子源或等离子体离子源。

[0029] 还说明了注气系统(GIS)43,出于执行气体辅助蚀刻或沉积的目的,其可用于进行如蚀刻或前驱气体等气体的局部注入。举例来说,此类气体可存储/缓存在储集器41中,并且可通过狭窄的喷嘴42施用,以便在轴101和34的交叉点附近射出。

[0030] 检测器19、21选自多种可能的检测器类型,这些检测器类型可用于检查响应于(冲击)束3和/或束33的照射而从样品6发出的不同类型的“受激”辐射。检测器19可为用于检测从样品6发出的离子诱导光子发射和/或阴极发光的固态检测器(如光电二极管)。举例来说,所述检测器另选地为X射线检测器,如硅漂移检测器(SDD)或硅锂(Si(Li))检测器。举例来说,检测器21可为呈固态光电倍增管(SSPM)或真空光电倍增管(PMT)形式的电子检测器。这可用于检测从样品6发出的反向散射和/或二次电子。所属领域的技术人员将理解,可在如所描绘的设置中选择许多不同类型的检测器,包括例如环形/分段式检测器。通过在样品6上方扫描束3或束33,包含例如X射线、红外/可见/紫外光、二次离子、二次电子(SE)和/或反向散射电子(BSE)等受激辐射从样品6发出。因为此类受激辐射是位置敏感的(归因于所述扫描运动),所以从检测器19和21获得的信息也将是位置相依的。

[0031] 来自检测器19和21的信号沿着控制线(总线)25传递,由控制器26处理,并且显示在显示单元27上。此类处理可包括如组合、整合、减法、伪着色、边缘增强和所属领域的技术人员已知的其它处理等操作。此外,自动标识过程可包括在此类处理中。控制器可包括用于存储计算机可读指令的非暂时性存储器29和处理器28。本文所公开的方法可通过在处理器中执行计算机可读指令来实施。举例来说,控制器可控制显微镜对样品进行铣削和成像、收集数据并处理收集的数据以生成样品内部特征部的3D模型。控制器可基于3D模型输出图

像。在一些实施例中,从样品和/或样品的3D模型收集的数据可本地或远程存储。可使用不属于显微镜的计算机远程处理存储的数据以生成3D模型。

[0032] 在一些实施例中,样品可在第一工具中进行预处理并在第二工具中另外处理或成像。举例来说,样品可在第一工具(如宽离子束处理工具)中进行预处理以暴露第一表面并转移到第二工具(如带电粒子显微镜)以进行成像和铣削。在一些实施例中,带电粒子显微镜可包括用于铣削的宽离子束处理工具,而不是FIB柱。

[0033] 图2示出了用于使用带电粒子工具(如图1的带电粒子显微镜100)分析样品中的多个特征部的方法200。通过将样品的第一表面的第一图像与样品的第二表面的第二图像进行比较来生成特征部属性的至少一个3D模型,其中第二表面上的至少两个特征部的横截面的距离不同于它们在第一表面上的相应横截面。

[0034] 在202,将样品装载到样品室中。样品可为晶片的一部分或整个晶片。在加载样品之后,可获取样品的一幅或多幅图像以确定和定位感兴趣区域(即,根据样品坐标在XY平面中定义的区域)。然后可将样品定位并朝向带电粒子束定向。

[0035] 在204,设置系统参数用于分析特征部。系统参数可包括离子束和电子束的束电流、束廓型以及入射角中的一项或多项。系统参数可另外包括铣削和扫描图案以及铣削深度。

[0036] 在206,使用离子束铣削样品表面上的感兴趣区域以暴露样品的多个特征部的横截面。去除垂直于样品深度的样品层的过程在本文中被称为延迟过程。举例来说,3D NAND样品的第一通道孔层可经由延迟过程去除覆盖通道孔层的接触层来暴露。在通过延迟过程暴露的表面上,特征部横截面可基本上垂直于特征部延伸所沿的方向。延迟过程如图3A所示,其中样品301的顶层302用离子束去除。在一个示例中,顶层302被去除,PFIB根据样品的坐标沿着垂直于XY平面的方向304定向。在另一个示例中,使用沿着平行于样品的XY平面的方向306引导的宽离子束去除顶层302。与液态金属离子源(如Ga⁺离子)的FIB相比,使用PFIB或宽离子束的一个优势是更高的表面平整度,这对于准确分析特征部属性至关重要。此外,PFIB和宽离子束的材料去除率高于液态金属离子源的FIB。在一个实施例中,可在去除预定厚度的顶层时终止延迟过程。举例来说,铣削可在基于材料去除率、停留时间和扫描图案中的一项或多项估计的预定持续时间之后终止。在另一个实施例中,可基于响应于使用PFIB的铣削而收集的信号来监控延迟过程。举例来说,当响应于PFIB铣削的信号示出特征部的顶表面时,延迟过程停止。在又一个实施例中,延迟过程可用SEM成像和/或响应于FIB铣削而获取的图像来监控。延迟过程可响应于到达用户定义的第一表面而终止。举例来说,延迟过程可响应于暴露正在研究的特征部的顶层而终止。图4A示出了延迟后暴露的第一表面的示例。5 μm × 5 μm 视野中示出了特征部的多个横截面。使用离子束在表面上创建基准点401。在一些实施例中,如果样品已经预先准备好或者特征部的顶表面已经暴露,则可跳过步骤206。

[0037] 在208,一个或多个基准点任选地位于暴露表面上。定位基准点包括标识基准点和/或创建基准点。基准点可位于不会被后续铣削影响/去除的区域中。在一个示例中,基准点是暴露表面上的现有结构,如特定特征部的横截面。在另一个示例中,基准点使用暴露表面上的离子束来创建。在又一示例中,基准点是在212通过掠射角铣削创建的结构,如边缘。

[0038] 在210,获取暴露表面的高分辨率样品图像。可用垂直于暴露表面,如沿着图3A的

方向304的电子束获取SEM图像。如果已在208确定基准点,则该基准点可包括在样品图像的视野中。

[0039] 在212,来自步骤206的暴露表面的至少一部分被以相对于暴露表面的锐掠射角引导的离子束铣削。举例来说,如图3B所示,使用沿方向310定向的离子束铣削由步骤206的延迟过程产生的暴露表面308。方向310与表面308成锐角。离子束可为PFIB或宽离子束。FIB可沿Y方向扫描多次以去除样品的多个切片(如切片303、305和307)以暴露第二表面。样品深度如Z轴箭头所示增加。通过掠射角铣削暴露的表面具有更靠近离子源309的较低样品深度和远离离子源的较高样品深度。作为掠射角铣削的结果,暴露表面上特征部的横截面处于不同样品深度处。

[0040] 图3C图示了例如从步骤206创建的第一表面312、在212掠射角铣削之后的第二表面以及第一表面上的基准点316和318的相对位置。可在步骤208创建基准点。

[0041] 在214,为新暴露的表面获取另一个高分辨率样品图像,如SEM图像。SEM图像可通过将电子束定向在垂直于来自步骤206的暴露表面的方向上,在与在210获取图像的方向相同的方向上来获取。SEM图像可通过基于在辐照样品位置处的估计样品深度动态聚焦电子束来获取。样品深度可基于在212使用的掠射角来估计。图4B示出了对图4A所示表面进行掠射角铣削后获取的SEM图像。沟槽402是由铣削形成的。图4B中捕获了在不同样品深度处的特征部的多个横截面。随着样品深度的增加(相对于Y方向),横截面的分辨率会降低。

[0042] 在216,方法200确定是否需要附加数据。举例来说,如果需要分析更深层次的特征部,则可能需要附加的数据。如果要获取更多数据,则方法200进行到218以另外铣削样品。否则,方法200进行到220。

[0043] 在218,方法200检查需要何种铣削。如果需要掠射角铣削以在更大的样品深度处暴露特征部的横截面,则在212用掠射角铣削另外铣削暴露表面。另选地,在另外的掠射角铣削之前,可在206用垂直于第一表面(样品坐标的XY平面)的离子束处理样品。

[0044] 在220,通过比较在210获取的样品图像和在214的掠射角铣削之后获取的一个或多个样品图像来构建特征部的3D模型。比较样品图像包括通过比较样品图像中特征部的横截面来提取特征部属性。构建3D模型的细节如图5所示。

[0045] 在222,可基于3D模型生成和示出一幅或多幅图像。图像可显示一个或多个特征部属性随样品深度的变化。在一个示例中,图7示出了在NAND样品中根据样品坐标在X和Y方向上的特征部位置随样品深度(即,根据样品坐标的Z轴)的平均偏移。特征部的位置偏移在十纳米范围内,并且样品深度在几十微米范围内。图7是基于两个SEM图像生成的。这种快速的特征部剖析大大减少了总样品分析时间,并提供快速反馈,不仅提供定性信息,还提供定量信息,以指导生产控制。图8示出了特征部半径随样品深度变化的另一个示例。在一些示例中,可在单个图像中显示多个样品属性。

[0046] 图5示出了用于基于样品图像构建3D模型的方法500。作为非限制性示例,3D模型由两个样品图像构建。第一样品图像包括相同样品深度处的特征部横截面,并且第二样品图像包括多个样品深度处的特征部横截面。举例来说,第一样品图像取自图3C中的第一表面312,并且第二样品图像取自图3C中的第二表面314。

[0047] 在502,样品图像中的横截面被映射到对应特征部。将横截面映射到特征部包括标识样品图像中的横截面。基于特征部形状的先验知识,可使用图像重组算法手动或自动标

识样品图像中的横截面。举例来说,可使用机器学习算法来标识样品图像中的横截面。可基于特征部相对于样品图像中的基准点的位置将标识的横截面映射到特征部。基准点可为在掠射角铣削期间铣削的第一表面上的特征部。基准点也可为通过掠射角铣削形成的第一表面上的边缘,如图3C中的边缘320。图6A和图6B示出了在图4A和图4B的样品图像中标识的一系列横截面(601和602)。相同特征部的横截面可基于从样品图像中的参考横截面(即基准点)开始的横截面的次序或顺序来标识。举例来说,从基准点沿Y轴的第10个横截面对应于相同的特征部。

[0048] 在504,计算第二图像中横截面的样品深度。样品深度可基于掠射角和横截面与第一表面上由掠射角铣削形成的边缘(如图3C中的边缘320)的距离来计算。可在第二图像中估计距离。

[0049] 在506,从两个样品图像中提取多个特征部的一个或多个特征部属性。在一个示例中,特征部属性包括特征部的位置偏移。特征部的位置偏移可通过比较与第一图像中的特征部对应的第一标识的横截面的第一中心和与第二图像中的特征部对应的第二标识的横截面的第二中心的位置来获得。每个位置偏移还对应于样品深度,该样品深度是第二标识的横截面的样品深度。在另一示例中,特征部属性包括特征部的半径。特征部的半径可根据第二图像中标识的特征部横截面确定。与半径相关的样品深度是第二图像中标识的横截面的样品深度。

[0050] 在508,组合多个特征部的特征部属性以形成3D模型。3D模型是记录特征部属性随样品深度变化的数据集。

[0051] 在一些实施例中,对平行于第二样品图像的表面拍摄附加样品图像。与方法500类似,可从这些附加的样品图像中提取特征部属性,并将其包括在3D模型中。

[0052] 以这种方式,可在快速延迟和掠射角铣削后分析样品中规则间隔的特征部。每个特征部的属性在一个(或几个)样品深度处进行稀疏采样,以近似特征部的整体属性。该方法能够分析大样品区域(如晶片)的特征部属性,并且为生产过程提供快速反馈。

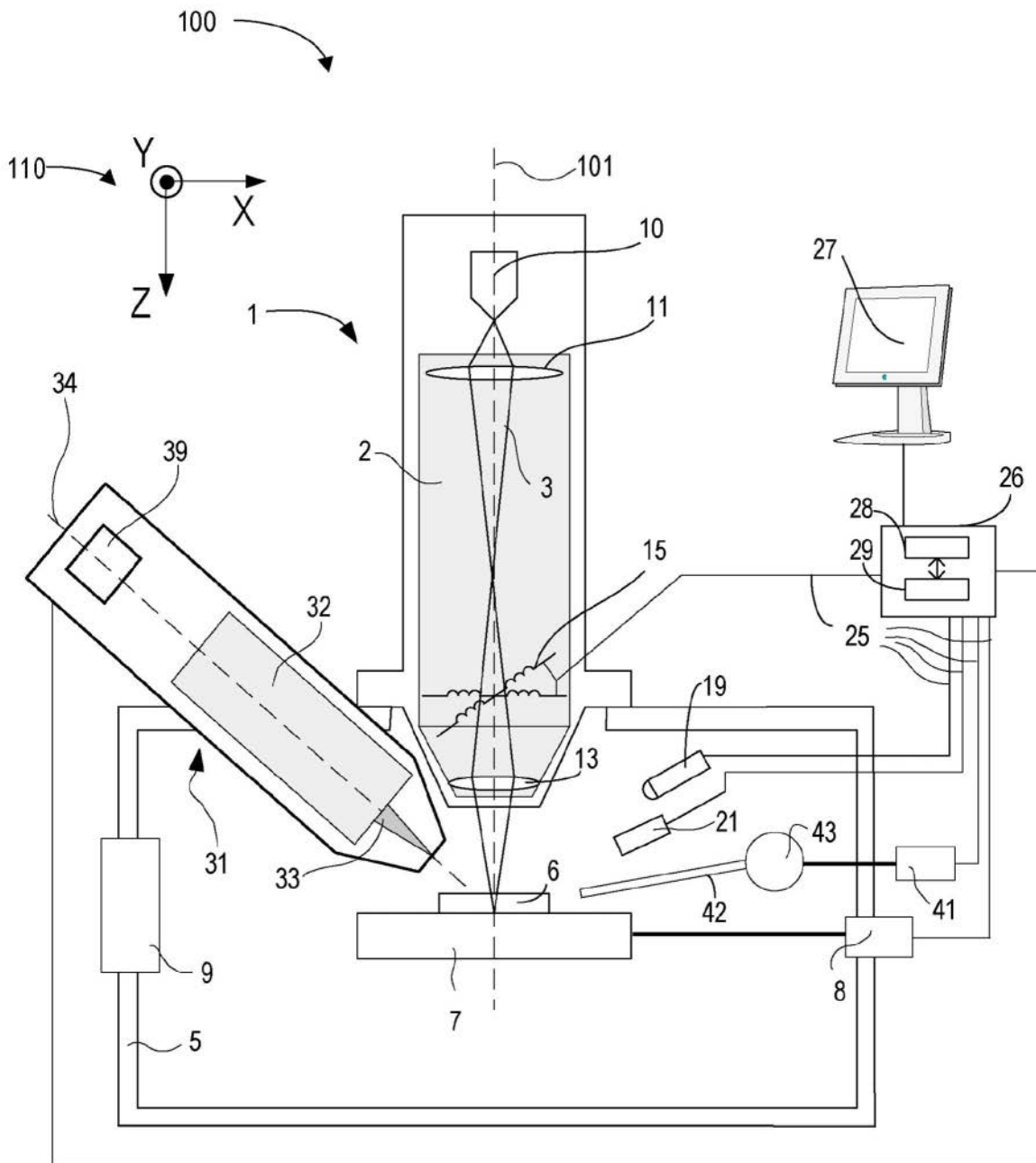


图 1

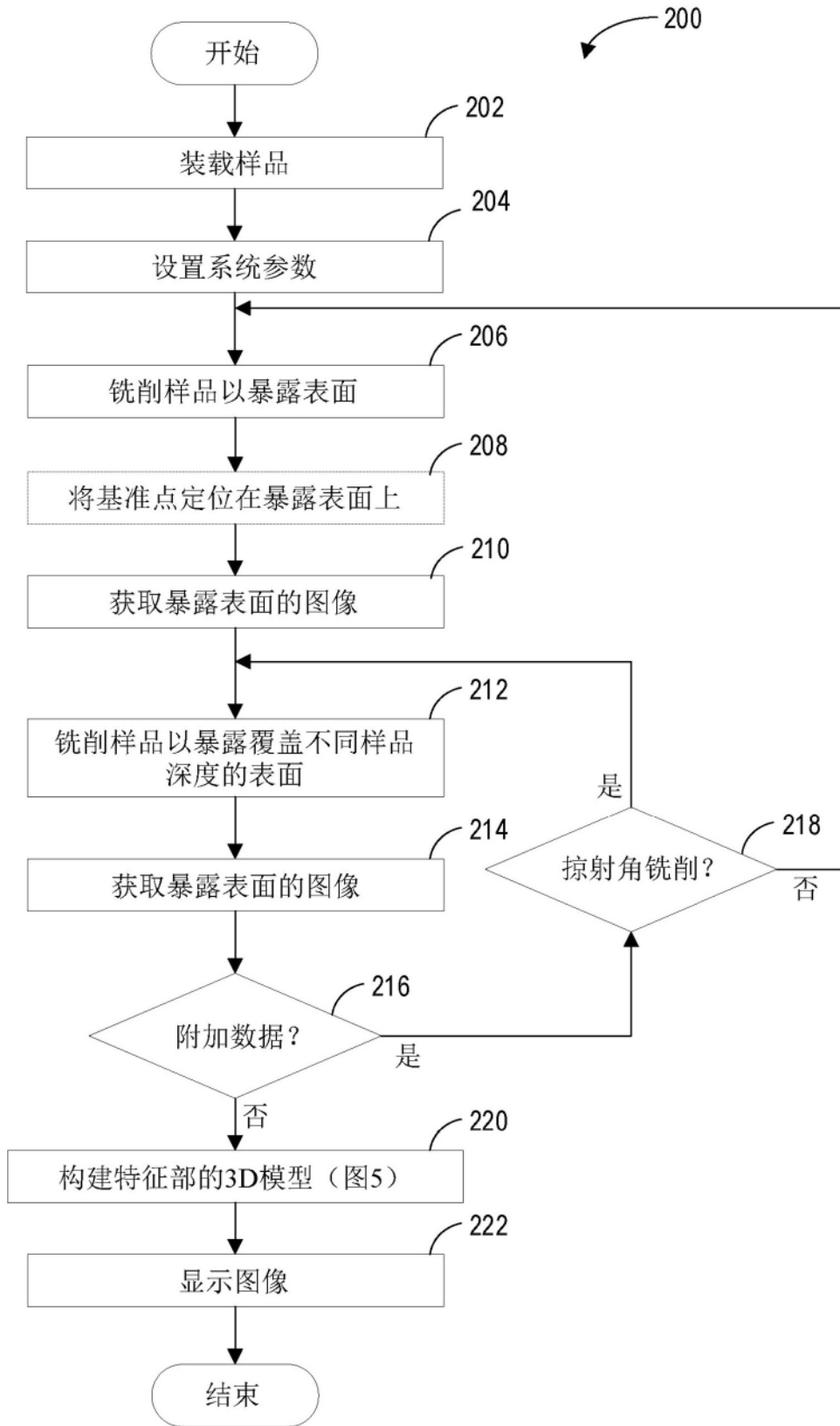


图 2

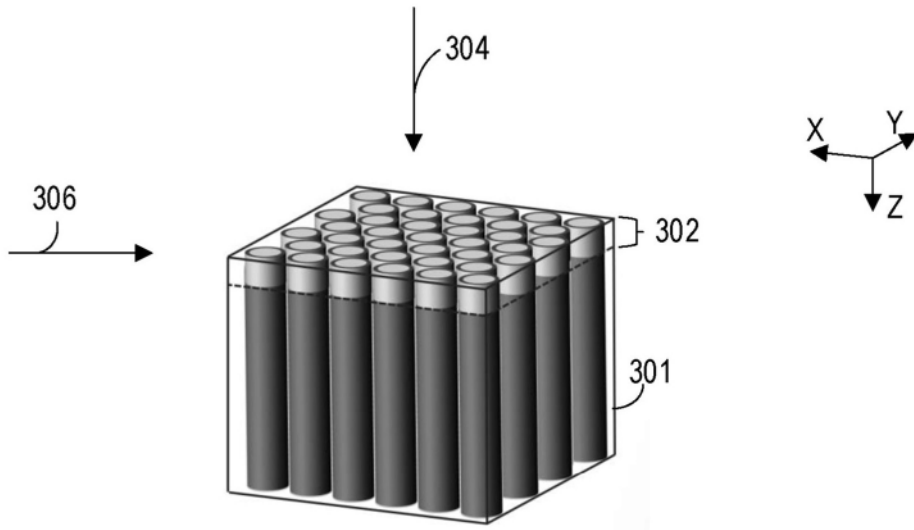


图 3A

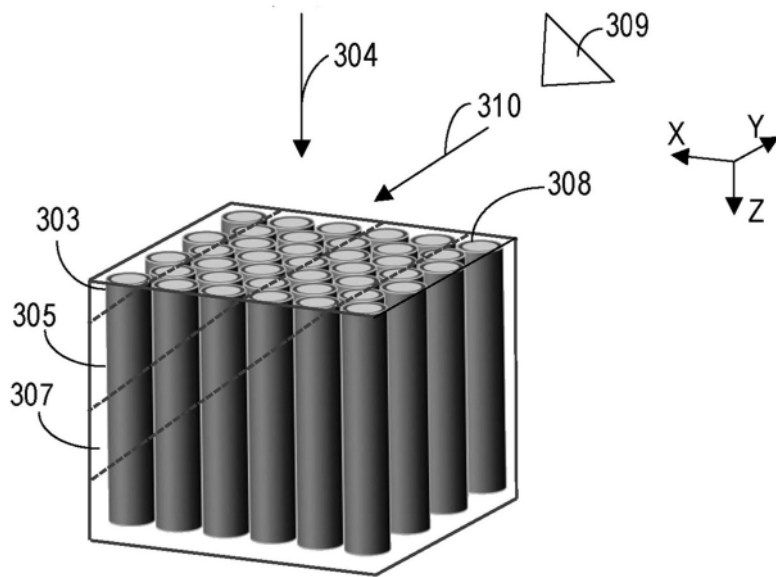


图 3B

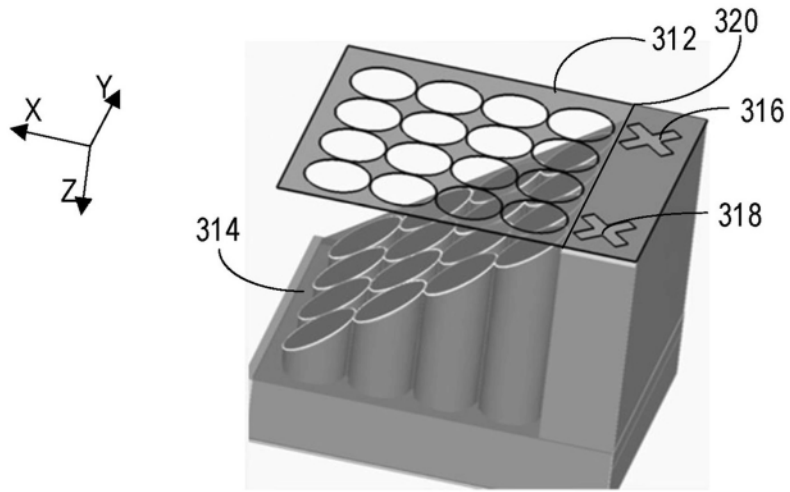


图 3C

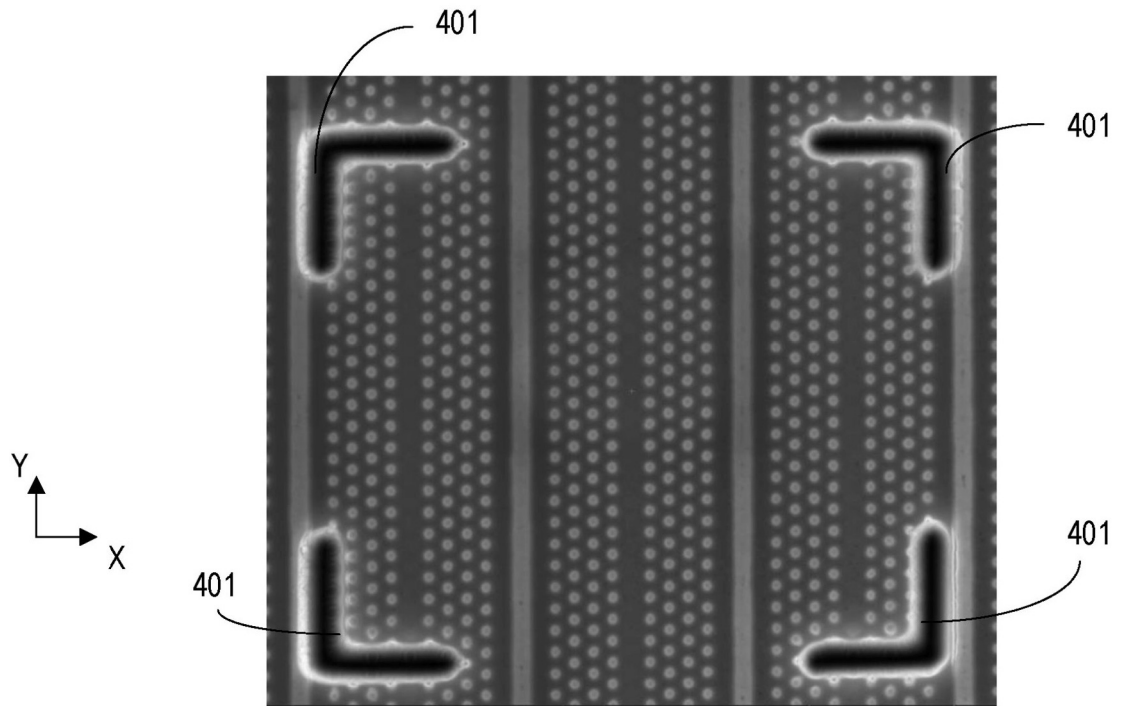


图 4A

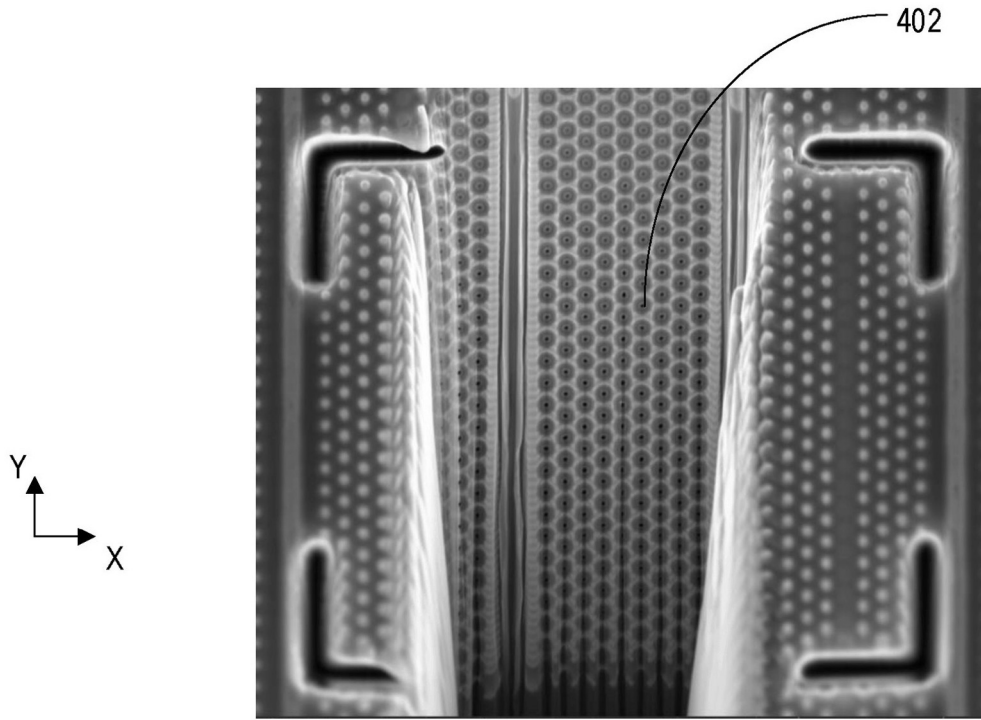


图 4B

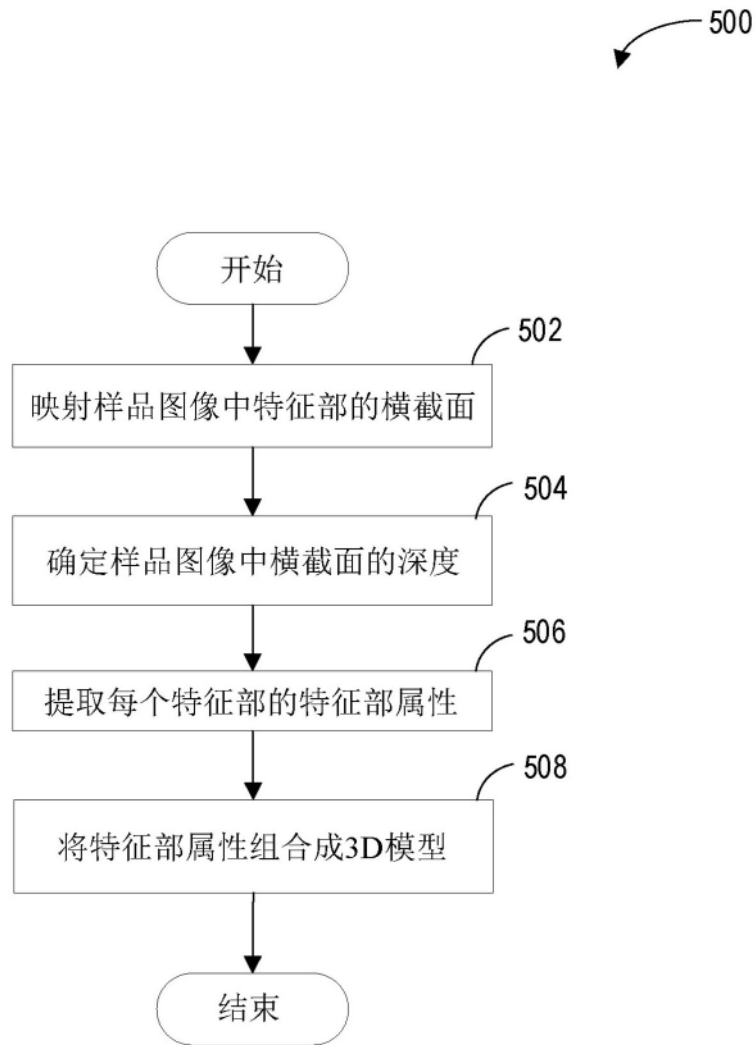


图 5

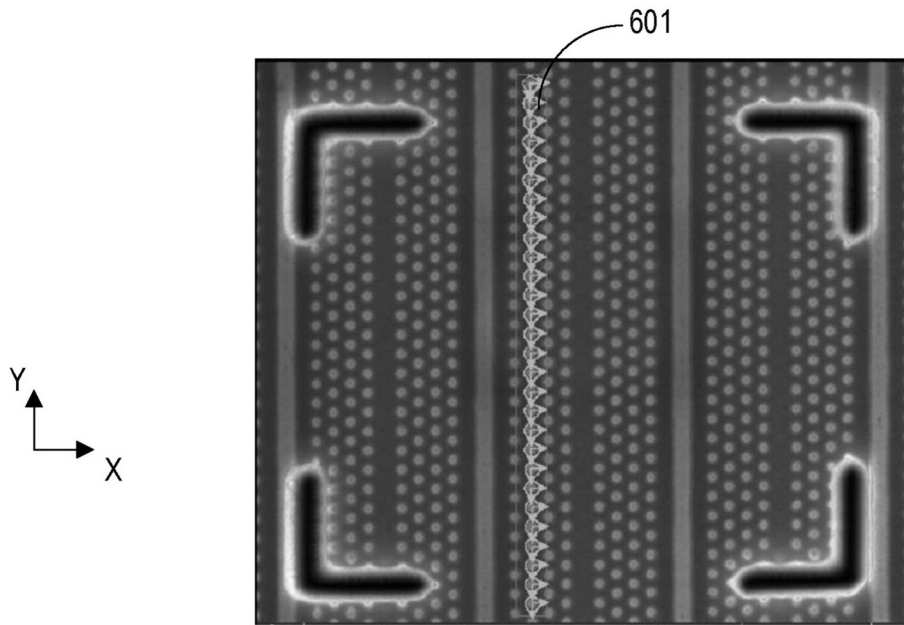


图 6A

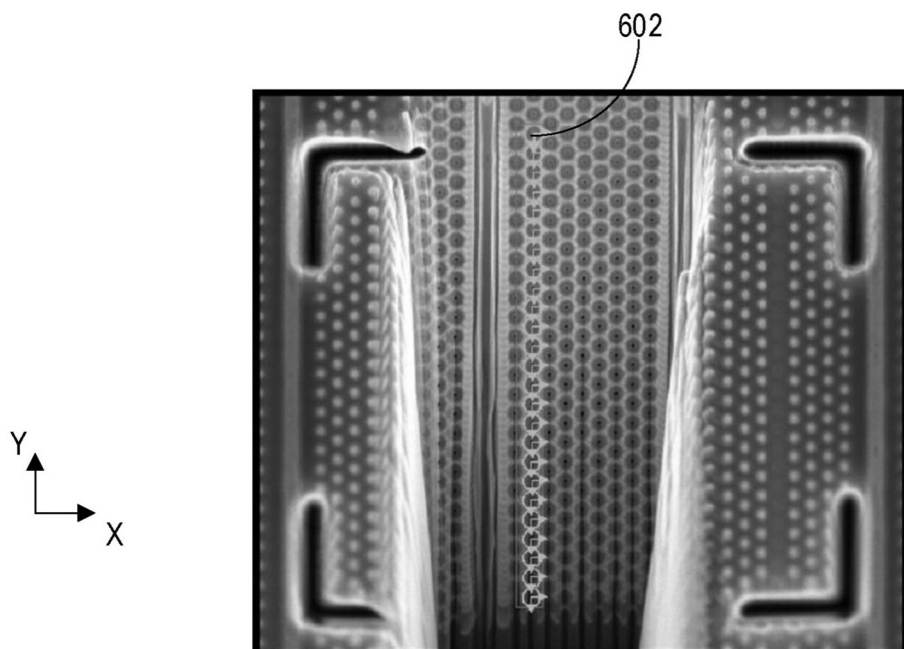


图 6B

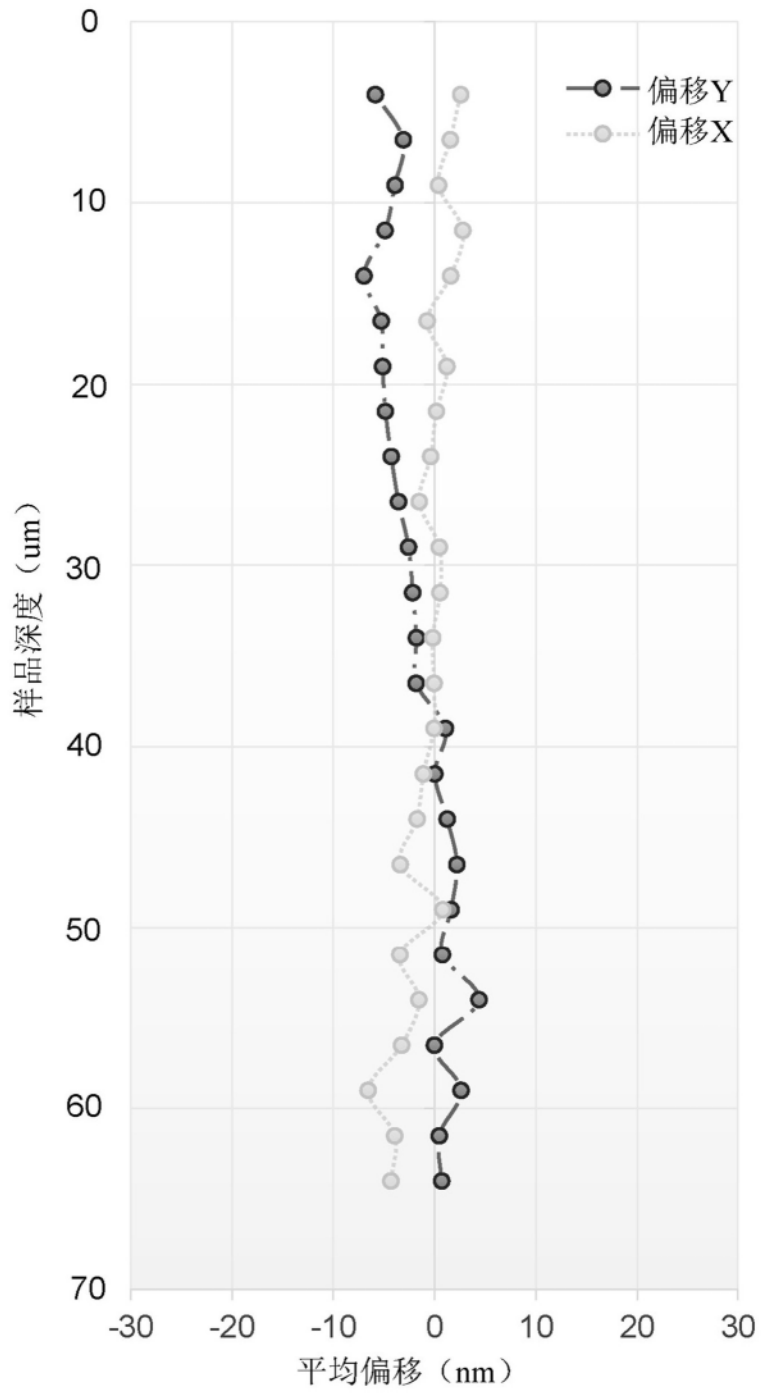


图 7

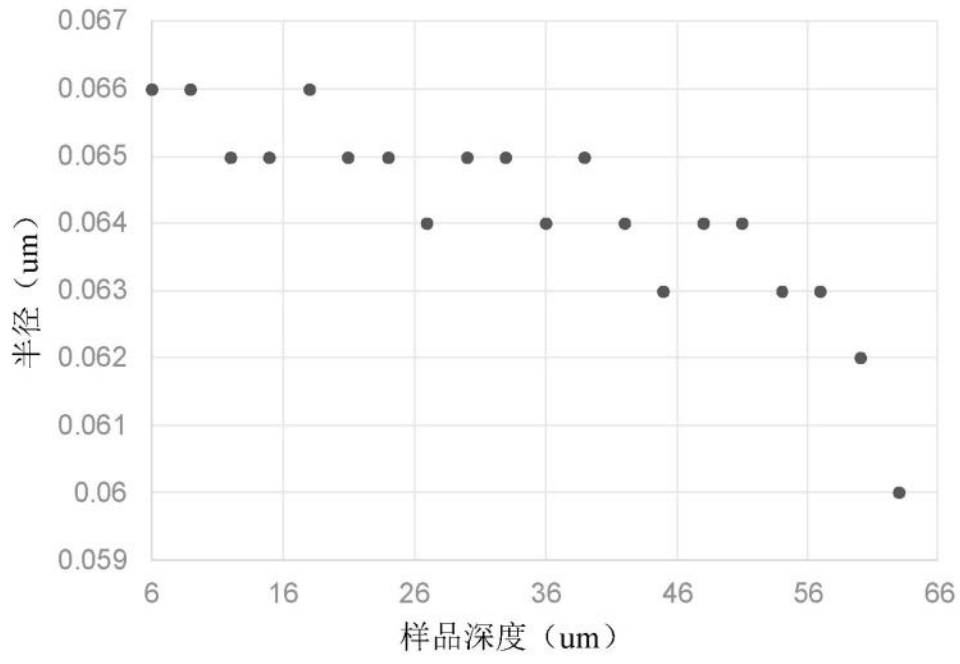


图 8