



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111837230 B

(45) 授权公告日 2022. 06. 14

(21) 申请号 201980018185.X

(22) 申请日 2019.03.14

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111837230 A

(43) 申请公布日 2020.10.27

(30) 优先权数据
62/643,322 2018.03.15 US
16/352,776 2019.03.13 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2020.09.09

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2019/022370 2019.03.14

(87) PCT国际申请的公布数据
W02019/178424 EN 2019.09.19

(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 H·舒艾卜 A·库兹涅佐夫

(74) 专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限公司 11287

专利代理师 刘丽楠

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

(56) 对比文件
CN 105917454 A, 2016.08.31
CN 107533020 A, 2018.01.02
CN 104025275 A, 2014.09.03

审查员 张跃

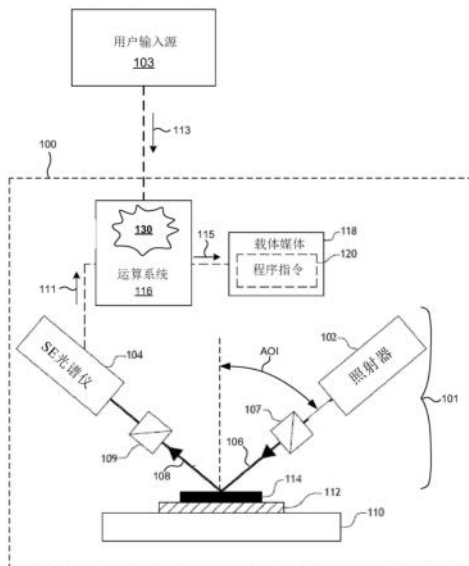
权利要求书3页 说明书25页 附图19页

(54) 发明名称

基于可重复使用子结构的纳米线半导体结构的测量模型

(57) 摘要

本文中呈现用于基于可重复使用参数模型而产生基于纳米线的半导体结构的测量模型的方法及系统。采用这些模型的计量系统经配置以测量与纳米线半导体制作过程相关联的结构及材料特性(例如,结构及膜的材料组成、尺寸特性等)。基于纳米线的半导体结构的所述可重复使用参数模型实现基本上较简单、较不易于出错且较准确的测量模型产生。因此,尤其在将复杂的基于纳米线的结构建模时,实现有用测量结果的时间显著减少。基于纳米线的半导体结构的所述可重复使用参数模型对于针对光学计量及x射线计量两者产生测量模型是有用的,所述x射线计量包含软x射线计量及硬x射线计量。



1. 一种计量系统,其包括:

照射子系统,其经配置以在一或多个测量位点中的每一者处以一定量的辐射照射基于纳米线的半导体结构;

检测器,其经配置以响应于所述一定量的辐射而检测与所述基于纳米线的半导体结构的测量相关联的一定量的测量数据;及

运算系统,其经配置以:

接收第一用户对用以描述所述基于纳米线的半导体结构的至少第一部分的第一可重复使用参数模型的选择的指示,其中所述基于纳米线的半导体结构是半导体沟道,且其中所述基于纳米线的半导体结构在半导体源极结构和半导体漏极结构之间无支撑地延伸,且其中所述第一可重复使用参数模型包含多个几何元件且完全由第一独立参数值集定义;

接收对所述第一独立参数值集的选择的指示;及

基于测量模型与相关联于所述一或多个测量位点中的每一者的所述一定量的测量数据的拟合而估计表征所述一或多个测量位点中的每一者处的所述基于纳米线的半导体结构的所关注参数的值,其中所述测量模型包含所述第一可重复使用参数模型。

2. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述基于纳米线的半导体结构包括实际半导体装置的至少一部分。

3. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述基于纳米线的半导体结构的所述测量模型完全由所述第一可重复使用参数模型描述。

4. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述运算系统进一步经配置以:

接收所述第一用户对用以描述所述基于纳米线的半导体结构的至少第二部分的第二可重复使用参数模型的选择的指示,其中所述第二可重复使用参数模型包含多个几何元件且完全由第二独立参数值集定义;

接收对所述第二独立参数值集的选择的指示;

至少部分地基于所述第一可重复使用参数模型与所述第二可重复使用参数模型的组合而确定所述基于纳米线的半导体结构的所述测量模型;及

将所述测量模型存储于存储器中。

5. 根据权利要求4所述的计量系统,其中所述第一可重复使用参数模型的多个离散化点在所述运算系统的浮点精确度内与所述第二可重复使用参数模型的多个离散化点对准。

6. 根据权利要求1所述的计量系统,其中对定义所述第一可重复使用参数模型的所述第一独立参数值集的所述选择是由所述第一用户做出。

7. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述运算系统进一步经配置以:

接收由过程模拟工具产生的输出文件;及

依据所述输出文件确定所述第一独立参数值集。

8. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述第一可重复使用参数模型包含横向纳米线或垂直纳米线的参数几何模型。

9. 根据权利要求8所述的计量系统,其中所述参数几何模型描述具有以下各项中的任一者的所述横向纳米线或所述垂直纳米线:圆柱形横截面、矩形横截面、具有倒圆拐角的矩形横截面、椭圆形横截面、六角形横截面、阶梯式横截面及锥形横截面。

10. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述第一可重复使用参数模型是包含集成到

单个参数几何模型中的多个基元几何元件的复合纳米线构建块。

11. 根据权利要求10所述的计量系统,其中所述复合纳米线构建块包含均匀保形包覆件模型、非均匀保形包覆件模型、均匀保形衬里-包覆件模型、非均匀保形衬里-包覆件模型、保形间隔件-包覆件模型及内间隔件模型中的任一者。

12. 根据权利要求10所述的计量系统,其中所述复合纳米线构建块包含纳米线、包覆件、衬里-包覆件、间隔件-包覆件、内间隔件或其任一组合的阵列的模型。

13. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述照射子系统及所述检测器包括光学计量系统或基于x射线的计量系统。

14. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述基于纳米线的半导体结构的至少第一部分的所述第一可重复使用参数模型包含特定测量应用所特有的几何特征及几何特征间的相互关系。

15. 一种计量系统,其包括:

照射子系统,其经配置以在一或多个测量位点中的每一者处以一定量的辐射照射基于纳米线的半导体结构;

检测器,其经配置以响应于所述一定量的辐射而检测与所述基于纳米线的半导体结构的测量相关联的一定量的测量数据;及

运算系统,其经配置以:

接收用户对多个基元几何建模元件的选择的指示;

从所述用户接收指示所述多个基元几何建模元件中的每一者相对于其它基元几何建模元件的所要位置的指示;

从所述用户接收指示所述多个基元几何建模元件的所要参数化的指示;

基于所述多个基元几何建模元件的组合而确定所述基于纳米线的半导体结构的至少一部分的第一可重复使用参数模型,其中所述基于纳米线的半导体结构是半导体沟道,且其中所述基于纳米线的半导体结构在半导体源极结构和半导体漏极结构之间无支撑地延伸,且其中所述第一可重复使用参数模型完全由与所述所要参数化相关联的独立参数集定义;及

将所述第一可重复使用参数模型存储于存储器中。

16. 根据权利要求15所述的计量系统,其中所述第一可重复使用参数模型的所述确定涉及产生将所述多个基元几何建模元件完全集成到完全由所述独立参数集定义的所述可重复使用参数模型中的约束关系集。

17. 根据权利要求15所述的计量系统,其中所述运算系统进一步经配置以:

接收所述用户对所述第一可重复使用参数模型的选择的指示;

接收所述用户对第二可重复使用参数模型的选择的指示,其中所述第二可重复使用参数模型包含多个几何元件且完全由第二独立参数值集定义;

至少部分地基于所述第一可重复使用参数模型与所述第二可重复使用参数模型的组合而确定所述基于纳米线的半导体结构的测量模型;及

将所述测量模型存储于存储器中。

18. 一种计量方法,其包括:

在一或多个测量位点中的每一者处以一定量的辐射照射基于纳米线的半导体结构;

响应于所述一定量的辐射而检测与所述基于纳米线的半导体结构的测量相关联的一定量的测量数据；

接收第一用户对用以描述所述基于纳米线的半导体结构的至少第一部分的第一可重复使用参数模型的选择的指示，其中所述基于纳米线的半导体结构是半导体沟道，且其中所述基于纳米线的半导体结构在半导体源极结构和半导体漏极结构之间无支撑地延伸，且其中所述第一可重复使用参数模型包含多个几何元件且完全由第一独立参数值集定义；

接收对所述第一独立参数值集的选择的指示；及

基于测量模型与相关联于所述一或多个测量位点中的每一者的所述一定量的测量数据的拟合而估计表征所述一或多个测量位点中的每一者处的所述基于纳米线的半导体结构的所关注参数的值，其中所述测量模型包含所述第一可重复使用参数模型。

19. 根据权利要求18所述的计量方法，其中所述第一可重复使用参数模型包含横向纳米线或垂直纳米线的参数几何模型。

20. 根据权利要求19所述的计量方法，其中所述参数几何模型描述具有以下各项中的任一者的所述横向纳米线或所述垂直纳米线：圆柱形横截面、矩形横截面、具有倒圆拐角的矩形横截面、椭圆形横截面、六角形横截面、阶梯式横截面及锥形横截面。

基于可重复使用子结构的纳米线半导体结构的测量模型

[0001] 相关申请案的交叉参考

[0002] 本专利申请案依据35U.S.C.§119主张来自2018年3月15日提出申请的标题为“用于产生具有纳米线子结构的半导体装置模型的方法及工具(Methods And Tools For Generating Semiconductor Device Models With Nanowire Sub Structures)”的序列号为62/643,322的美国临时专利申请案的优先权,所述美国临时专利申请案的标的物以其全文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,且更特定来说涉及用于经改善测量准确度的方法及系统。

背景技术

[0004] 通常通过施加到样品的处理步骤序列来制作例如逻辑及存储器装置的半导体装置。通过这些处理步骤而形成半导体装置的各种特征及多个结构层级。举例来说,尤其光刻是涉及在半导体晶片上产生图案的一种半导体制作过程。半导体制作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。可在单个半导体晶片上制作多个半导体装置,且然后将所述多个半导体装置分离成个别半导体装置。

[0005] 在半导体制造过程期间在各个步骤处使用计量过程来检测晶片上的缺陷以促成较高合格率。光学及基于x射线的计量技术在不具有样本损毁的危险的情况下提供高吞吐量的可能性。通常使用包含散射测量及反射测量实施方案及相关联分析算法的若干种技术来表征纳米尺度结构的临界尺寸、膜厚度、组成及其它参数。

[0006] 随着装置(例如,逻辑及存储器装置)朝较小纳米尺度尺寸进展,表征变得更困难。装置并入有复杂三维几何结构以及具有迥异物理性质的材料导致表征困难。装置形状及轮廓正在发生巨大改变。在一个实例中,最近构思的基于纳米线的半导体装置并入有新的复杂三维几何结构以及具有迥异定向及物理性质的材料。特定来说,纳米线装置尤其难以利用光学计量来表征。

[0007] 响应于这些挑战,已开发了更复杂的计量工具。遍及大范围的数个机器参数(例如,波长、方位角及入射角等)且通常同时执行若干测量。因此,测量时间、计算时间及用以产生可靠结果(包含测量处方及准确测量模型)的总体时间显著增加。

[0008] 现有基于模型的计量方法通常包含用以将结构参数建模且然后测量所述结构参数的一系列步骤。通常,从样本或晶片集、特定计量目标、测试临界尺寸目标、单元内实际装置目标、SRAM存储器目标等收集测量数据(例如,DOE光谱)。来自这些复杂结构的光学响应的准确模型包含几何特征、色散参数的模型,且按配方制造测量系统。通常,执行回归以精细化几何模型。另外,执行模拟近似(例如,平板化(slabbing)、严格耦合波分析(RCWA)等)以避免引入过大误差。定义离散化及RCWA参数。执行一系列模拟、分析及回归以精细化几何模型且确定哪些模型参数浮动。产生合成光谱库。最后,使用所述库或回归与几何模型实时

地执行测量。

[0009] 当前,所测量的装置结构的模型是由测量建模工具的用户从基元结构构建块组装而成。这些基元结构构建块是组装在一起以近似更复杂的结构的简单几何形状(例如,正方形截头锥体)。所述基元结构构建块由用户定大小且有时基于指定每一基元结构构建块的形状细节的用户输入而定制。在一个实例中,每一基元结构构建块包含集成式定制控制面板,用户在所述集成式定制控制面板处输入确定所述形状细节以匹配所建模的实际物理结构的特定参数。类似地,基元结构构建块通过也由用户手动地输入的约束而结合在一起。举例来说,用户输入将一个基元构建块的顶点系结到另一构建块的顶点的约束。这允许用户在一个构建块的大小改变时构建表示一系列实际装置几何结构的模型。基元结构构建块之间的用户定义的约束实现广泛建模灵活性。举例来说,不同基元结构构建块的厚度或高度可在多目标测量应用中约束到单个参数。此外,基元结构构建块具有简单几何参数化,用户可将所述简单几何参数化约束到应用特定的参数。举例来说,可将抗蚀线的侧壁角度手动地约束到表示光刻过程的焦点及剂量的参数。

[0010] 尽管从基元结构构建块构造的模型提供广泛范围的建模灵活性及用户控制,但所述模型构建过程在将基于纳米线的半导体结构建模时变得非常复杂且易于出错。用户需要准确地将基元结构构建块组装到一起,确保其被正确地约束,且以几何上一致方式将模型参数化。完成此操作并非容易任务,且用户花费显著量的时间来确保其模型是正确的。在许多情形中,用户未认识到其模型是不一致的且不正确的,因为难以理解所有基元结构构建块如何在参数空间中改变形状及位置。具体来说,确定针对给定参数值集是结构上一致的模型是否针对另一参数值集保持结构上一致是非常困难的。

[0011] 图1A描绘组装在一起以形成图1B中所描绘的光学临界尺寸(OCD)模型10的十二个不同基元结构构建块11到22。每一基元结构构建块是矩形形状。为构造OCD模型10,用户必须手动定义模型的要尺寸、约束及独立参数(例如,经受变化的参数)。基于基元结构构建块(即,例如矩形的基本形状)而构造的模型通常需要大数目个基元、约束及独立参数,用户必须针对所述基元、约束及独立参数来定义变化范围。这使模型构建非常复杂且易于发生用户错误。

[0012] 此外,模型复杂性使得一个用户难以理解由另一用户构建的模型。用户需要能够理解初始模型拥有者的意图,且此随着基元结构构建块、约束及独立参数的数目增加而变得越来越具挑战性。因此,转移模型的所有权(例如,从应用程序工程师到工艺工程师)是耗时且困难的过程。模型的复杂性在许多情形中导致同事之间的挫败感,且在一些情形中阻止转移过程完全地完成。在一些实例中,用户依据基元结构构建块产生新模型以模仿由同事产生的模型。在许多情形中,所得模型是稍微不同的且因此递送稍微不同的结果,这归因于计算机上的浮点运算的非交换性质。在一些其它实例中,用户通过让另一家公司开发模型而放弃知识产权或冒着失去知识产权的风险。

[0013] 现有基元结构构建块经设计以将平面互补金属氧化物半导体(CMOS)结构及垂直FinFET结构建模。对于这些应用,当前基元结构构建块提供广泛范围的建模灵活性且以良好测量准确度提供实际几何结构的相当程度的近似。这些传统结构中的物理间隙是有限的,且现有基元结构构建块一直是有效的。

[0014] 不幸地,现有基元结构构建块不足以将使用纳米线制作过程制作的基于纳米线的

半导体结构建模。利用现有基元结构构建块的模型构建过程是非常复杂的且易于出错的。基于纳米线的半导体结构的形貌不同于现有平面结构或垂直结构。现有基元结构构建块并非足够柔性的以准确地表示纳米线制作过程所遇到的形状。因此,模型准确度受损。即使用户准确地将数个基元结构构建块组装到一起,不出错地设定正确约束,且以一致方式将模型重新参数化,所得模型也不足够准确以表示真正的基于纳米线的半导体结构。另外,用当前可用结构构建块来构建基于纳米线的半导体结构的近似模型是易出错任务。用户花费显著量的时间来确保其模型按计划及设计来实施。在许多情形中,可用结构构建块的复杂组装产生不一致且不正确模型。在许多情形中,无法使用现有结构构建块来准确地将纳米线半导体结构的模型建模。此外,根本无法使用现有结构构建块来将一些层建模。

[0015] 总之,用现有结构构建块来将基于纳米线的半导体结构建模需要大数目个结构基元、约束及独立参数的规范。用户花费显著量的时间来构建近似结构。所述过程是易于出错的且不灵活的。用户手动定义所要尺寸,设定约束,且指定独立参数的值。不管此努力如何,在许多实例中,所得模型不能够以任何有用准确度将基于纳米线的制作过程建模。

[0016] 直到最近,计量结构保持足够简单,使得通常针对每一项目而设计新模型。然而,新兴基于纳米线的半导体结构的建模已产生具有令人不满意的结果的越来越复杂化的模型。随着基于纳米线的半导体结构变得更常见,且每一项目的时间更少,期望经改善建模方法及工具。

发明内容

[0017] 本文中呈现用于基于可重复使用参数模型而产生基于纳米线的半导体结构的测量模型的方法及系统。采用这些模型的计量系统经配置以测量与纳米线半导体制作过程相关联的结构及材料特性(例如,结构及膜的材料组成、尺寸特性等)。基于纳米线的半导体结构的所述可重复使用参数模型实现基本上较简单、较不易于出错且较准确的测量模型产生。因此,尤其在将复杂的基于纳米线的结构建模时,实现有用测量结果的时间显著减少。基于纳米线的半导体结构的所述可重复使用参数模型对于针对光学计量及x射线计量(例如,软x射线计量及硬x射线计量)两者而产生测量模型是有用的。

[0018] 在一个方面中,模型构建工具包含可用作复杂的基于纳米线的半导体装置的模型中的构建块的复杂装置子结构的可重复使用参数模型。这使模型构建过程较直观且较不易于出错。此外,由于可重复使用参数子结构模型针对基于纳米线的半导体结构及测量应用而优化,因此所得经离散化测量模型比传统模型在计算上更高效。另外,可保存且在不同项目及不同用户间分享所述参数子结构模型。

[0019] 可重复使用参数子结构模型完全由模型构建工具的用户所输入的独立参数的值来定义。与模型形状及构成几何元件间的内部约束相关联的所有其它变量预定义于所述模型内。因此,除独立参数的值以外,不需要其它用户输入来完全定义所述可重复使用参数子结构模型。这大大简化模型构建过程。

[0020] 在另一方面中,描述新参数子结构模型(即,基元纳米线构建块)集。采用这些基元纳米线构建块以基于纳米线制作过程而准确地将下一代半导体装置的几何结构建模。每一基元纳米线构建块完全由用户所输入的独立参数的值定义。不需要其它用户输入来定义基元纳米线构建块的形状。这显著地简化与基于纳米线的半导体结构相关联的模型构建过

程。这引起以较少错误更加快速地将复杂的基于纳米线的半导体装置建模。

[0021] 本文中呈现数个不同基元纳米线构建块,所述不同基元纳米线构建块包含圆柱形基元纳米线构建块、正方形基元纳米线构建块、矩形或板形基元纳米线构建块、六角形基元纳米线构建块、具有经修圆边缘的正方形纳米线构建块、椭圆形基元纳米线构建块、具有两个不同横截面的阶梯状基元纳米线构建块及具有两个不同横截面的伸长纳米线构建块。一般来说,每一纳米线构建块可横向地或垂直地定向。

[0022] 在一些实施例中,模型构建工具基于若干个基元纳米线构建块的复合或由用户指示的若干较简单可重复使用参数子结构模型(例如,复合纳米线构建块)而产生可重复使用参数子结构模型(例如,复合纳米线构建块)。所述复合将个别模型的集合改变成可用作测量模型的元件(好像其是基元构建块)的单个可重复使用参数子结构模型。所述模型构建工具保存所述子结构模型以供稍后使用。在内部,所述子结构模型包含完全集成所有基本几何基元所必要的约束。这些约束经保存为所述子结构模型的一部分且在所述子结构模型的每个例子处被执行。以此方式,用户可以预定义约束创建常用复杂形状的集合。所述子结构模型可被卸载且保存到文件中,重新加载到项目中且被使用,且在用户间分享。

[0023] 本文中呈现数个不同复合纳米线构建块,所述不同复合纳米线构建块包含均匀厚度包覆件、非均匀厚度包覆件、均匀保形衬里-包覆件、非均匀保形衬里-包覆件、保形间隔件-包覆件及内间隔件。

[0024] 在又一方面中,模型构建工具将一或多个可重复使用参数模型集成为复杂的基于纳米线的半导体装置的测量模型。在一些实施例中,模型构建工具接收来自用户的输入以组合几何基元与可重复使用参数子结构模型以形成测量模型。在一些其它实施例中,半导体装置的测量模型完全由一个可重复使用参数模型描述。在一些其它实施例中,半导体装置的测量模型完全由两个或多于两个可重复使用参数模型的组合描述。

[0025] 由所述模型构建工具产生的所述可重复使用参数子结构模型使得用户或用户群组能够产生可重复使用的子结构库。使用同一子结构模型的不同例子的不同用户可预期实现相同数值结果。

[0026] 在又一方面中,所述模型构建工具产生复杂装置子结构的可重复使用参数模型且使所述可重复使用参数模型可加以利用,所述可重复使用参数模型包含嵌入到其设计中的特定半导体过程的关键特性。

[0027] 在又一方面中,所述模型构建工具产生包含测量应用特定细节(例如,从特定应用导出的约束、尺寸等)的复杂装置子结构的可重复使用参数模型且使所述可重复使用参数模型可加以利用。

[0028] 在再一方面中,模型构建工具包含用以控制与特定用户分享敏感知识产权的安全特征。

[0029] 前述内容是发明内容且因此必须含有细节的简化、概述及省略;因此,所属领域的技术人员将了解,发明内容仅为说明性的且不以任何方式为限制性的。在本文中所陈述的非限制性详细说明中,本文中所描述的装置及/或过程的其它方面、发明性特征及优点将变得显而易见。

附图说明

- [0030] 图1A是图解说明组装在一起以形成图1B中所描绘的光学临界尺寸(OCD)模型10的十二个不同基元结构构建块11到22的图式。
- [0031] 图1B是图解说明光学临界尺寸(OCD)模型10的图式。
- [0032] 图2是图解说明如本文中所描述的用于基于包含基于纳米线的半导体结构的可重复使用参数子结构模型的测量模型而测量半导体晶片的特性的系统100的实施例的图式。
- [0033] 图3是图解说明如本文中所描述的经配置以产生基于纳米线的半导体结构的可重复使用参数子结构模型的模型构建与分析引擎130的实施例的图式。
- [0034] 图4是图解说明如本文中所描述的用于基于包含基于纳米线的半导体结构的可重复使用参数子结构模型的测量模型而测量半导体晶片的特性的系统300的实施例的图式。
- [0035] 图5是图解说明如本文中所描述的经配置以产生基于纳米线的半导体结构的可重复使用参数子结构模型的模型构建与分析引擎350的实施例的图式。
- [0036] 图6是图解说明基于纳米线的半导体结构150的图式。
- [0037] 图7是图解说明圆柱形基元纳米线构建块160的图式。
- [0038] 图8是图解说明具有经修圆边缘的正方形基元纳米线构建块161的图式。
- [0039] 图9是图解说明矩形或板形基元纳米线构建块162的图式。
- [0040] 图10是图解说明六角形基元纳米线构建块163的图式。
- [0041] 图11是图解说明椭圆形基元纳米线构建块164的图式。
- [0042] 图12是图解说明具有两个不同横截面的阶梯状基元纳米线构建块165的图式。
- [0043] 图13是图解说明具有两个不同横截面的伸长基元纳米线构建块166的图式。
- [0044] 图14是图解说明表示包覆在纳米线上的两个保形层的可重复使用参数子结构模型170的图式。
- [0045] 图15A到B分别图解说明非均匀厚度包覆件构建块171的透视图及端视图。
- [0046] 图16A到C分别描绘保形衬里-包覆件构建块180的等距视图、前视图及侧视图。
- [0047] 图17A到C分别描绘非均匀保形衬里-包覆件构建块190的等距视图、前视图及侧视图。
- [0048] 图18A到C分别描绘保形间隔件-包覆件构建块200的等距视图、前视图及侧视图。
- [0049] 图19A描绘在内间隔件过程步骤之前的纳米线结构210。
- [0050] 图19B描绘在内间隔件过程步骤之后的纳米线结构220。
- [0051] 图20A到C分别描绘内间隔件构建块连同对应纳米线的阵列220的前视图、侧视图及等距视图。
- [0052] 图21图解说明如本文中所描述的用于基于用可重复使用参数几何构建块产生的测量模型而测量基于纳米线的半导体结构的方法400。
- [0053] 图22是图解说明如本文中所描述的用于基于包含基于纳米线的半导体结构的可重复使用参数子结构模型的测量模型而测量半导体晶片的特性的系统500的实施例的图式。

具体实施方式

- [0054] 现在将详细参考背景技术实例及本发明的一些实施例,本发明的实例图解说明于

附图中。

[0055] 对临界尺寸(CD)、薄膜厚度、光学性质及组成、叠对、光刻焦点/剂量等的基于散射测量的计量通常需要测量基本结构的几何模型。此测量模型包含结构的物理尺寸、材料性质及参数化。

[0056] 本文中呈现用于基于可重复使用参数模型而产生基于纳米线的半导体结构的测量模型的方法及系统。采用这些模型的计量系统经配置以测量与纳米线半导体制作过程相关联的结构及材料特性(例如,结构及膜的材料组成、尺寸特性等)。基于纳米线的半导体结构的所述可重复使用参数模型实现基本上较简单、较不易于出错且较准确的测量模型产生。因此,尤其在将复杂的基于纳米线的结构建模时,实现有用测量结果的时间显著减少。基于纳米线的半导体结构的所述可重复使用参数模型对于针对光学计量及x射线计量(例如,软x射线计量及硬x射线计量)两者而产生测量模型是有用的。

[0057] 图2图解说明用于测量半导体晶片的特性的系统100。如图2中所展示,系统100可用于对安置于晶片定位系统110上的半导体晶片112的一或多个结构114执行光谱椭圆偏光测量。在此方面中,系统100可包含配备有照射器102及光谱仪104的光谱椭圆偏光计。系统100的照射器102经配置以产生选定波长范围(例如,150nm到4500nm)的照射并将其引导到安置于半导体晶片112的表面上的结构114。继而,光谱仪104经配置以接收来自半导体晶片112的表面的光。进一步应注意,使用偏光状态产生器107来将从照射器102射出的光偏光以产生经偏光照射射束106。由安置于晶片112上的结构114反射的辐射通过偏光状态分析器109且到达光谱仪104。关于偏光状态而分析由光谱仪104的检测器在收集射束108中接收的辐射,从而允许对由分析器传递的辐射进行光谱分析。这些光谱111被传递到运算系统116以用于对结构114进行分析。

[0058] 在另一实施例中,计量系统100是包含经配置以根据本文中所提供的说明执行模型构建与分析工具130的一或多个运算系统116的测量系统100。在优选实施例中,模型构建与分析工具130是存储于载体媒体118上的程序指令120集。由运算系统116读取且执行存储于载体媒体118上的程序指令120以实现如本文中所描述的模型构建与分析功能性。一或多个运算系统116可以通信方式耦合到光谱仪104。在一个方面中,一或多个运算系统116经配置以接收与样品112的结构114的测量(例如,临界尺寸、膜厚度、组成、工艺等)相关联的测量数据111。在一个实例中,测量数据111包含由测量系统100基于来自光谱仪104的一或多个取样过程而测量的样品的光谱响应(例如,随波长而变的所测量强度)的指示。在一些实施例中,一或多个运算系统116进一步经配置以依据测量数据111确定结构114的样品参数值。

[0059] 在一些实例中,基于光学散射测量的计量涉及通过以所测量数据对预定测量模型的反解而确定样本的尺寸。所述测量模型包含几个(大约十个)可调整参数且表示样品的几何结构及光学性质以及测量系统的光学性质。反解方法包含但不限于基于模型的回归、断层成像、机器学习或其任一组合。以此方式,通过对经参数化测量模型的值求解来估计目标轮廓参数,所述值最小化所测量光学强度与经建模结果之间的误差。

[0060] 在另一方面中,运算系统116经配置以产生样品的所测量结构的结构模型(例如,几何模型、材料模型或经组合几何与材料模型),产生包含来自所述结构模型的至少一个几何参数的光学响应模型,且通过执行光学测量数据与光学响应模型的拟合分析而分辨至少

一个样品参数值。分析引擎用于将所模拟光学响应信号与所测量数据进行比较,借此允许确定样本的几何以及材料性质。在图2中所描绘的实施例中,运算系统116被配置为经配置以实施如本文中所描述的模型构建与分析功能性的模型构建与分析引擎130。

[0061] 图3是图解说说明由运算系统116实施的示范性模型构建与分析引擎130的图式。如图3中所描绘,模型构建与分析引擎130包含结构模型构建模块131,结构模型构建模块131部分地基于用户输入113而产生安置于样品上的所测量基于纳米线的半导体结构的结构模型132。在一些实施例中,结构模型132还包含样品的材料性质。接收结构模型132作为到光学响应函数构建模块133的输入。光学响应函数构建模块133至少部分地基于结构模型132而产生光学响应函数模型135。

[0062] 接收光学响应函数模型135作为到拟合分析模块137的输入。拟合分析模块137将建模光学响应与对应所测量数据111进行比较以确定样品的几何以及材料性质。

[0063] 在一些实例中,拟合分析模块137通过对光学测量数据111与光学响应模型135执行拟合分析而分辨至少一个样品参数值。

[0064] 光学计量数据的拟合对于提供对所关注几何及/或材料参数的敏感度的任一类型的光学计量技术是有利的。样品参数可为确定性的(例如,CD、SWA等)或统计的(例如,侧壁粗糙度的rms高度、粗糙度相关长度等),只要使用描述与样品的光相互作用的恰当模型即可。

[0065] 一般来说,运算系统116经配置以采用实时临界尺寸标注(RTCD)来实时存取模型参数,或其可存取预计算模型的库以确定与样品112相关联的至少一个样品参数值的值。一般来说,可使用某种形式的CD引擎来评估样品的经指派CD参数与相关联于所测量样品的CD参数之间的差。颁于KLA-Tencor公司的2010年11月2日发布的第7,826,071号美国专利中描述用于计算样品参数值的示范性方法及系统,所述美国专利的全文以引用方式并入本文中。

[0066] 另外,在一些实施例中,一或多个运算系统116进一步经配置以从例如图形用户界面、键盘等的用户输入源103接收用户输入113。一或多个计算机系统进一步经配置以配置如本文中所描述的可重复使用参数子结构模型以产生受测量的基于纳米线的半导体结构的结构模型(例如,结构模型132)。

[0067] 在一些实施例中,测量系统100进一步经配置以将一或多个可重复使用参数子结构模型115存储于存储器(例如,载体媒体118)中。

[0068] 图4图解说说明用于根据本文中所呈现的示范性方法测量样品的特性的x射线计量工具300的实施例。如图4中所展示,系统300可用于在安置于样品定位系统340上的样品301的检验区302内执行x射线散射测量。在一些实施例中,检验区302具有五百微米或小于五百微米的光点大小。在一些实施例中,检验区302具有五十微米或小于五十微米的光点大小。

[0069] 在所描绘实施例中,计量工具300包含经配置以产生适合于x射线散射测量的x射线辐射的x射线照射源310。在一些实施例中,x射线照射系统310经配置以产生介于0.01纳米与1纳米之间的波长。X射线照射源310产生入射于样品301的检验区302上的x射线射束317。

[0070] 一般来说,可预期能够以足以实现高吞吐量计量的通量水平产生高亮度x射线的任何适合高亮度x射线照射源以供应用于x射线散射测量的x射线照射。在一些实施例中,x

射线源包含使得x射线源能够递送处于不同可选择波长的x射线辐射的可调谐单色仪。

[0071] 在一些实施例中,采用发射具有大于15keV的光子能量的辐射的一或多个x射线源来确保x射线源以允许穿过整个装置以及晶片衬底的充足透射的波长来供应光。通过非限制性实例的方式,可采用粒子加速器源、液态阳极源、旋转阳极源、固定固态阳极源、微焦源、微焦旋转阳极源及逆康普顿(Compton)源中的任一者作为x射线源310。在一个实例中,可预期可从林森技术(Lyncean Technologies)公司(帕洛阿尔托,加利福尼亚州(美国))购得的逆康普顿源。逆康普顿源具有能够在光子能量范围内产生x射线借此使得x射线源能够递送处于不同可选择波长的x射线辐射的额外优点。在一些实施例中,x射线源包含经配置以轰击固态或液态目标以模拟x射线辐射的电子束源。

[0072] 在一个实施例中,入射x射线射束317处于24.2keV的钨k α 线。使用用于x射线散射测量的多层x射线光学器件将所述x射线射束缩小准直为小于1毫弧度发散度。

[0073] 在一些实施例中,通过一或多个孔隙、狭缝或其组合来控制入射x射线射束的轮廓。在另一实施例中,孔隙、狭缝或两者经配置以与样品的定向协调地旋转以针对每一入射角、方位角或两者优化入射射束的轮廓。

[0074] 如图4中所描绘,x射线光学器件315将入射x射线射束317整形并引导到样品301。在一些实例中,x射线光学器件315包含用以将入射于样品301上的x射线射束单色化的x射线单色仪。在一个实例中,采用晶体单色仪(例如洛克斯利-坦纳-博文(Loxley-Tanner-Bowen)单色仪)来将x射线辐射射束单色化。在一些实例中,x射线光学器件315使用多层x射线光学器件将x射线射束317准直或聚焦到样品301的检验区302上为小于1毫弧度发散度。在一些实施例中,x射线光学器件315包含一或多个x射线准直镜、x射线光阑、x射线射束截捕器、折射x射线光学器件、衍射光学器件(例如波带片)、镜面x射线光学器件(例如掠入射椭球面镜)、多毛细管光学器件(例如空心毛细管x射线波导)、多层光学器件或系统或者其任一组合。在第2015/0110249号美国专利公开案中描述进一步细节,所述美国专利公开案的内容以其全文引用方式并入本文中。

[0075] 一般来说,照射光学器件系统的焦平面针对每一测量应用而优化。以此方式,系统300经配置以取决于测量应用而将焦平面定位于样品内的各种深度处。

[0076] x射线检测器316收集从样品301散射的x射线辐射325且根据x射线散射测量模态产生指示对入射x射线辐射敏感的样品301的性质的输出信号326。在一些实施例中,在样品定位系统340将样品301定位且定向以产生以角度方式分辨的经散射x射线时,x射线检测器316收集经散射x射线325。

[0077] 在一些实施例中,x射线散射测量系统包含具有高动态范围(例如,大于 10^5)的一或多个光子计数检测器以及在不具有损坏的情况下且在具有最少寄生反向散射的情况下吸收直射射束(即,零级射束)的厚的高度吸收性晶体衬底。在一些实施例中,单个光子计数检测器检测所检测光子的位置及数目。

[0078] 在一些实施例中,x射线检测器分辨一或多个x射线光子能量且针对每一x射线能量分量产生指示样品的性质的信号。在一些实施例中,x射线检测器316包含以下各项中的任一者:CCD阵列、微通道板、光电二极管阵列、微带比例计数器、以气体填充的比例计数器、闪烁器或荧光材料。

[0079] 以此方式,除像素位置及计数数目之外,还按照能量来区别检测器内的X射线光子

相互作用。在一些实施例中,通过将X射线光子相互作用的能量与预定上限阈值及预定下限阈值进行比较而区别X射线光子相互作用。在一个实施例中,经由输出信号326将此信息传递到运算系统330以用于进一步处理及存储。

[0080] 在另一方面中,采用x射线散射测量系统300以基于一或多个所测量强度而确定样品的性质(例如,结构参数值)。如图4中所描绘,计量系统300包含运算系统330,采用运算系统330以获取由检测器316产生的信号326且至少部分地基于所述所获取信号而确定样品的性质。

[0081] 在x射线散射测量中,结构(例如,高纵横比、垂直制造的结构)使经准直或经聚焦X射线射束衍射成若干衍射级。每一衍射级在特定可预测方向上行进。衍射级的角间隔与样品的晶格常数除以波长成反比。可由放置于与晶片相距某一距离处的检测器阵列检测衍射级。检测器的每一像素输出指示命中所述像素的光子的数目的信号。

[0082] 衍射级的强度为形式 $I(m, n, \theta, \Phi, \lambda)$, 其中 $\{m, n\}$ 是衍射级的整数指数, $\{\theta, \Phi\}$ 是入射射束的仰角及方位角(即,入射主射线相对于固定到晶片的坐标系的极坐标),且 λ 是入射X射线的波长。

[0083] 数个噪声源在其离开照射且朝向样品传播时扰乱照射光。示范性扰动包含电子束电流波动、温度引发的光学漂移等。经扰乱入射通量表示为 $F_0(1+n_1)$ 。

[0084] 目标使入射辐射以取决于入射射束的方位角及仰角的方式散射。光散射成若干级 (m, n) 的效率可定义为 $S_{mn}(\theta, \Phi)$ 。当所衍射光从样品传播到检测器时,射束穿过在具有某一变化 $(1+n_2)$ 及寄生噪声 (n_3) 的情况下类似地影响所有级的其它散射介质。以此方式,在时间 t 所测量的每一级的总强度 I_{mn} 可由方程式(1)表达。

$$I_{mn} = S_{mn}(\theta, \Phi) (1+n_2) (1+n_1) F_0 t + n_3 \quad (1)$$

[0086] 在一些实施例中,期望在由围绕图4中所描绘的坐标系346所指示的x轴及y轴的旋转描述的不同定向处执行测量。这通过扩展可用于分析的数据集的数目及多样性以包含各种大角度平面外定向而增加所测量参数的精确度及准确度且减小参数间的相关性。测量具有较深、较多样数据集的样品参数也减小参数间的相关性且改善测量准确度。举例来说,在法向定向中,x射线散射测量能够分辨特征的临界尺寸,但在很大程度上对特征的侧壁角度及高度不敏感。然而,通过在宽广平面外角度位置范围内收集测量数据,可分辨特征的侧壁角度及高度。

[0087] 如图4中所图解说明,计量工具300包含经配置以在相对于散射计的大平面外角度定向范围内做出将样品301对准及将样品301定向两个操作的样品定位系统340。换句话说,样品定位系统340经配置以使样品301围绕与样品301的表面平面内对准的一或多个旋转轴线在大角度范围内旋转。在一些实施例中,样品定位系统经配置以使样品301围绕与样品301的表面平面内对准的一或多个旋转轴线在至少120度的范围内旋转。以此方式,由计量系统300在样品301的表面上的任一数目个位置内收集对样品301的经角度分辨测量。在一个实例中,运算系统330将指示样品301的所要位置的命令信号传递到样品定位系统340的运动控制器345。作为响应,运动控制器345产生到样品定位系统340的各种致动器的命令信号以实现样品301的所要定位。

[0088] 通过非限制性实例的方式,如图4中所图解说明,样品定位系统340包含用以将样品301固定地附接到样品定位系统340的边缘夹持卡盘341。旋转致动器342经配置以使边缘

夹持卡盘341及所附接样品301相对于周边框架343旋转。在所描绘实施例中,旋转致动器342经配置以使样品301围绕图4中所图解说明的坐标系346的x轴旋转。如图4中所描绘,样品301围绕z轴的旋转是样品301的平面内旋转。围绕x轴及y轴(未展示)的旋转是使样品301的表面相对于计量系统300的计量元件有效地倾斜的所述样品的平面外旋转。尽管未图解说明,但第二旋转致动器经配置以使样品301围绕y轴旋转。线性致动器344经配置以使周边框架343在x方向上平移。另一线性致动器(未展示)经配置以使周边框架343在y方向上平移。以此方式,样品301的表面上的每一位置均可用于在平面外角度位置范围内的测量。举例来说,在一个实施例中,在相对于样品301的法向定向的-45度到+45度的范围内遍及数个角度增量测量样品301的位置。

[0089] 一般来说,样品定位系统340可包含用以实现所要线性及角度定位性能的机械元件的任何适合组合,包含但不限于测角置物台、六脚置物台、有角度置物台及线性置物台。

[0090] 在一些实例中,基于x射线散射测量的计量涉及通过以所测量数据对预定测量模型的反解而确定样本的尺寸。所述测量模型包含几个(大约十个)可调整参数且表示样品的几何结构及光学性质以及测量系统的光学性质。反解方法包含但不限于基于模型的回归、断层成像、机器学习或其任一组合。以此方式,通过对参数化测量模型的值求解来估计目标轮廓参数,所述值最小化所测量经散射x射线强度与经建模结果之间的误差。

[0091] 在另一方面中,运算系统330经配置以产生样品的所测量结构的结构模型(例如,几何模型、材料模型或经组合几何与材料模型),产生包含来自所述结构模型的至少一个几何参数的x射线散射测量响应模型,且通过执行x射线散射测量数据与x射线散射测量响应模型的拟合分析而分辨至少一个样品参数值。使用分析引擎来将所模拟x射线散射测量信号与所测量数据进行比较,借此允许确定样本的几何以及材料性质(例如电子密度)。在图4中所描绘的实施例中,运算系统330被配置为经配置以实施如本文中所描述的模型构建与分析功能性的模型构建与分析引擎350。

[0092] 图5是图解说明由运算系统330实施的示范性模型构建与分析引擎350的图式。如图5中所描绘,模型构建与分析引擎350包含结构模型构建模块351,结构模型构建模块351部分地基于从用户输入源303(例如,图形用户界面、键盘等)接收的用户输入313而产生安置于样品上的所测量基于纳米线的半导体结构的结构模型352。在一些实施例中,结构模型352还包含样品的材料性质。接收结构模型352作为到x射线散射测量响应函数构建模块353的输入。x射线散射测量响应函数构建模块353至少部分地基于结构模型352而产生x射线散射测量响应函数模型355。在一些实例中,x射线散射测量响应函数模型355基于x射线形式因子,

$$[0093] \quad F(\vec{q}) = \int \rho(\vec{r}) e^{-i\vec{q} \cdot \vec{r}} d\vec{r} \quad (2)$$

[0094] 其中F是形式因子,q是散射向量,且 $\rho(r)$ 是球面坐标中的样品的电子密度。然后,x射线散射强度由以下方程式给出

$$[0095] \quad I(\vec{q}) = F^*F \quad (3)$$

[0096] 接收x射线散射测量响应函数模型355作为到拟合分析模块357的输入。拟合分析模块357将经建模x射线散射测量响应与对应所测量数据326进行比较以确定样品的几何以及材料性质。

[0097] 在一些实例中,通过最小化卡方值而实现经建模数据与实验数据的拟合。举例来说,针对x射线散射测量,可将卡方值定义为

$$[0098] \quad \chi_{\text{SAXS}}^2 = \frac{1}{N_{\text{SAXS}}} \sum_j^{N_{\text{SAXS}}} \frac{(S_j^{\text{SAXS model}}(v_1, \dots, v_L) - S_j^{\text{SAXS experiment}})^2}{\sigma_{\text{SAXS},j}^2} \quad (4)$$

[0099] 其中 $S_j^{\text{SAXS experiment}}$ 是“沟道”j中的所测量x射线散射测量信号326,其中索引j描述系统参数集,例如衍射级、能量、角坐标等。 $S_j^{\text{SAXS model}}(v_1, \dots, v_L)$ 是针对“沟道”j的经建模x射线散射测量信号 S_j ,针对一结构(目标)参数集 v_1, \dots, v_L 经评估,其中这些参数描述几何(CD、侧壁角度、叠对等)及材料(电子密度等)。 $\sigma_{\text{SAXS},j}$ 是与第j个沟道相关联的不确定因素。 N_{SAXS} 是x射线计量中的沟道的总数目。 L 是表征计量目标的参数的数目。

[0100] 方程式(4)假定与不同沟道相关联的不确定因素是不相关的。在其中与不同沟道相关联的不确定因素是相关的实例中,可计算所述不确定因素之间的协方差。在这些实例中,可将x射线散射测量的卡方值表达为

$$[0101] \quad \chi_{\text{SAXS}}^2 = \frac{1}{N_{\text{SAXS}}} (\bar{S}_j^{\text{SAXS. model}}(v_1, \dots, v_M) - \bar{S}_j^{\text{SAXS. experiment}})^T V_{\text{SAXS}}^{-1} (\bar{S}_j^{\text{SAXS. model}}(v_1, \dots, v_M) - \bar{S}_j^{\text{SAXS. experiment}}) \quad (5)$$

[0102] 其中 V_{SAXS} 是SAXS沟道不确定因素的协方差矩阵,且T表示移项。

[0103] 在一些实例中,拟合分析模块357通过对x射线散射测量数据326与x射线散射测量响应模型355执行拟合分析而分辨至少一个样品参数值。在一些实例中, χ_{SAXS}^2 是优化的。

[0104] 如上文中所描述,通过最小化卡方值而实现x射线散射测量数据的拟合。然而,一般来说,可通过其它函数实现x射线散射测量数据的拟合。

[0105] x射线散射测量计量数据的拟合对于提供对所关注几何及/或材料参数的敏感度的任一类型的x射线散射测量技术是有利的。样品参数可为确定性的(例如,CD、SWA等)或统计的(例如,侧壁粗糙度的rms高度、粗糙度相关长度等),只要使用描述与样品的x射线散射测量射束相互作用的恰当模型即可。

[0106] 一般来说,运算系统330经配置以采用实时临界尺寸标注(RTCD)来实时存取模型参数,或其可存取预计算模型的库以确定与样品301相关联的至少一个样品参数值的值。一般来说,可使用某种形式的CD引擎来评估样品的经指派CD参数与相关联于所测量样品的CD参数之间的差。颁于KLA-Tencor公司的2010年11月2日发布的第7,826,071号美国专利中描述用于计算样品参数值的示范性方法及系统,所述美国专利的全文以引用方式并入本文中。

[0107] 图22图解说明用于测量样品的特性的软x射线反射测量(SXR)计量工具500的实施例。在一些实施例中,在一定范围的波长、入射角及方位角内以小射束光点大小(例如,跨越有效照射光点的小于50微米)执行半导体晶片的SXR测量。在一个方面中,利用软x射线区域(即,30eV到3000eV)中的x射线辐射以在5度到20度的范围内的掠射入射角G执行SXR测量。针对特定测量应用的掠射角G经选择以实现到受测量的结构中的所要穿透且最大化关于小射束光点大小(例如,小于50微米)的测量信息内容。

[0108] 如图22中所图解说明,系统500在由入射照射射束光点照射的样品501的测量区502内执行SXR测量。

[0109] 在所描绘实施例中,计量工具500包含x射线照射源510、聚焦光学器件511、射束发散度控制狭缝512及狭缝513。x射线照射源510经配置以产生适合于SXR测量的软X射线辐射。x射线照射源510是多色、高亮度、大展度源。在一些实施例中,x射线照射源510经配置以产生在介于30电子伏特到3000电子伏特之间的范围中的x射线辐射。一般来说,可预期能够以足以实现高吞吐量在线计量的通量水平产生高亮度软X射线的任何适合高亮度x射线照射源以供应用于SXR测量的x射线照射。

[0110] 在一些实施例中,x射线源包含使得x射线源能够递送处于不同可选择波长的x射线辐射的可调谐单色仪。在一些实施例中,采用一或多个x射线源来确保x射线源供应在允许到受测量的样品中的充足穿透的波长下的光。

[0111] 在一些实施例中,照射源510是高次谐波产生(HHG)x射线源。在一些其它实施例中,照射源510是摆动器/波荡器同步辐射源(SRS)。在第8,941,336及8,749,179号美国专利中描述示范性摆动器/波荡器SRS,所述美国专利的内容以其全文引用方式并入本文中。

[0112] 在一些其它实施例中,照射源510是激光产生等离子体(LPP)光源。在这些实施例中的一些实施例中,LPP光源包含氙、氪、氙、氙及氮发射材料中的任一者。一般来说,适合LPP目标材料的选择在共振软x射线区域中针对亮度而优化。举例来说,由氙发射的等离子体在硅K边缘处提供高亮度。在另一实例中,由氙发射的等离子体遍及(80eV到3000eV)的整个软x射线区域提供高亮度。如此,当期望宽带软x射线照射时,氙是发射材料的良好选择。

[0113] LPP目标材料选择也可针对可靠且长寿命光源操作而优化。例如氙、氪及氙的稀有气体目标材料是惰性的且可在具有最少或不具有去污染处理的闭环操作中重复使用。在第15/867,633号美国专利申请案中描述示范性软x射线照射源,所述美国专利申请案的内容以其全文引用方式并入本文中。

[0114] 在另一方面中,由照射源(例如,照射源510)发射的波长是可选择的。在一些实施例中,照射源510是由运算系统530控制以最大化一或多个选定光谱区域中的通量的LPP光源。目标材料处的激光峰值强度控制等离子体温度且因此控制所发射辐射的光谱区域。通过调整脉冲能量、脉冲宽度或两者而使激光峰值强度变化。在一个实例中,100皮秒脉冲宽度适合于产生软x射线辐射。如图22中所描绘,运算系统530将致使照射源510调整从照射源510发射的波长的光谱范围的命令信号536传递到照射源510。在一个实例中,照射源510是LPP光源,且所述LPP光源调整脉冲持续时间、脉冲频率及目标材料组成中的任一者以实现从所述LPP光源发射的波长的所要光谱范围。

[0115] 通过非限制性实例的方式,可采用粒子加速器源、液态阳极源、旋转阳极源、固定固态阳极源、微焦源、微焦旋转阳极源、基于等离子体的源及逆康普顿源中的任一者作为x射线照射源510。

[0116] 示范性x射线源包含经配置以轰击固态或液态目标以模拟x射线辐射的电子束源。颁于KLA-Tencor公司的2011年4月19日发布的第7,929,667号美国专利中描述用于产生高亮度液态金属x射线照射的方法及系统,所述美国专利的全文以引用方式并入本文中。

[0117] x射线照射源510在具有有限横向尺寸(即,正交于射束轴线的非零尺寸)的源区内产生x射线发射。在一个方面中,照射源510的源区由小于20微米的横向尺寸表征。在一些实施例中,所述源区由10微米或更小的横向尺寸表征。小源大小使得能够以高亮度照射样品上的小目标区,因此改善测量精确度、准确度及吞吐量。

[0118] 一般来说,x射线光学器件将x射线辐射整形并引导到样品501。在一些实例中,所述x射线光学器件使用多层x射线光学器件将x射线射束准直或聚焦到样品501的测量区502上为小于1毫弧度发散度。在一些实施例中,所述x射线光学器件包含一或多个x射线准直镜、x射线光阑、x射线射束截捕器、折射x射线光学器件、衍射光学器件(例如波带片)、施瓦茨(Schwarzschild)光学器件、柯克帕特里克-贝兹(Kirkpatrick-Baez)光学器件、蒙特尔(Montel)光学器件、沃尔特(Wolter)光学器件、镜面x射线光学器件(例如椭球面镜)、多毛细管光学器件(例如空心毛细管x射线波导)、多层光学器件或系统或者其任一组合。在第2015/0110249号美国专利公开案中描述进一步细节,所述美国专利公开案的内容以其全文引用方式并入本文中。

[0119] 如图22中所描绘,聚焦光学器件511将源辐射聚焦到位于样品501上的计量目标上。有限横向源尺寸在目标上产生由来自源的边缘的射线516及射束狭缝512及513所提供的任何射束整形定义的有限光点大小502。

[0120] 在一些实施例中,聚焦光学器件511包含椭圆形聚焦光学元件。在图22中所描绘的实施例中,聚焦光学器件511在椭圆的中心处的倍率是大致1。因此,投影到样品501的表面上的照射光点大小是与照射源大致相同的大小,所述大小由于标称掠入射角(例如,5度到20度)而针对射束展度被调整。

[0121] 在另一方面中,聚焦光学器件511收集源发射且选择一或多个离散波长或光谱带,且在范围5度到20度中的掠入射角将选定光聚焦到样品501上。

[0122] 标称掠入射角经选择以实现计量目标所要穿透以在保持在计量目标边界内的同时最大化信号信息内容。硬x射线的临界角度是非常小的,但软x射线的临界角度显著较大。作为此额外测量灵活性的结果,SXR测量在对掠入射角的精确值具有较小敏感度的情况下更深入地探测结构。

[0123] 在一些实施例中,聚焦光学器件511包含选择所要波长或波长范围以投影到样品501上的渐变式多层。在一些实例中,聚焦光学器件511包含选择一个波长且在一入射角范围内将所述选定波长投影到样品501上的渐变式多层结构(例如,层或涂层)。在一些实例中,聚焦光学器件511包含选择波长范围且在一个入射角内将所述选定波长投影到样品501上的渐变式多层结构。在一些实例中,聚焦光学器件511包含选择波长范围且在一入射角范围内将所述选定波长投影到样品501上的渐变式多层结构。

[0124] 渐变式多层光学器件是优选的以最小化在单层光栅结构太深时发生的光损失。一般来说,多层光学器件选择经反射波长。选定波长的光谱带宽优化提供到样品501的通量、所测量衍射级中的信息内容,且通过检测器处的角分散及衍射峰值重叠来阻止信号降级。另外,采用渐变式多层光学器件来控制发散度。在每一波长下的角发散度针对检测器处的通量及最少空间重叠而优化。

[0125] 在一些实例中,渐变式多层光学器件选择波长以增强来自特定材料界面或结构尺寸的衍射信号的对比度及信息内容。举例来说,所述选定波长可经选择以横跨元素特定的共振区域(例如,硅K边缘、氮、氧K边缘等)。另外,在这些实例中,照射源也可经调谐以最大化选定光谱区域中的通量(例如,HHG光谱调谐、LPP激光调谐等)。

[0126] 在一些实施例中,聚焦光学器件511包含各自具有椭圆形表面形状的多个反射光学元件。每一反射光学元件包含衬底及经调谐以反射不同波长或波长范围的多层涂层。在

一些实施例中,各自反射不同波长或波长范围的多个反射光学元件(例如,1到5)以各入射角来布置。在另一实施例中,各自反射不同波长或波长范围的多个反射光学元件集(例如,2到5)各自以不同入射角来布置。在一些实施例中,所述多个反射光学元件集在测量期间同时将照射光投影到样品501上。在一些其它实施例中,所述多个反射光学元件集在测量期间依序将照射光投影到样品501上。在这些实施例中,采用主动快门或光阑来控制投影到样品501上的照射光。

[0127] 在一些实施例中,聚焦光学器件511将在多个波长、方位角及AOI下的光聚焦于同一计量目标区上。

[0128] 在另一方面中,通过主动地定位聚焦光学器件的一或多个镜元件而调整投影到同一计量区上的波长、AOI、方位角或其任一组合的范围。如图22中所描绘,运算系统530将致使致动器系统515调整聚焦光学器件511的光学元件中的一或多者的位置、对准或两者的命令信号传递到致动器系统515以实现投影到样品501上的所要范围的波长、AOI、方位角或其任一组合。

[0129] 一般来说,入射角是针对每一波长而选择的以优化照射光在受测量的计量目标中的穿透及吸收。在许多实例中,测量多层结构且入射角经选择以最大化与所要所关注层相关联的信号信息。在叠对计量的实例中,波长及入射角经选择以最大化因从先前层的散射与从当前层的散射之间的干扰而产生的信号信息。另外,方位角也经选择以优化信号信息内容。另外,方位角经选择以确保检测器处的衍射峰值的角距。

[0130] 在另一方面中,RSAX计量系统(例如,计量工具500)包含一或多个射束狭缝或孔隙以将入射于样品501上的照射射束514整形且选择性地阻挡将以其它方式照射受测量的计量目标的照射光的一部分。一或多个射束狭缝界定射束大小及形状,使得x射线照射光点适合在受测量的计量目标的区内。另外,一或多个射束狭缝界定照射射束发散度以最小化检测器上的衍射级的重叠。

[0131] 在又一方面中,RSAX计量系统(例如,计量工具500)包含一或多个射束狭缝或孔隙以选择同时照射受测量的计量目标的照射波长集。在一些实施例中,包含多个波长的照射同时入射于受测量的计量目标上。在这些实施例中,一或多个狭缝经配置以使包含多个照射波长的照射通过。一般来说,受测量的计量目标的同时照射是优选的以增加信号信息及吞吐量。然而,实际上,检测器处的衍射级的重叠限制照射波长范围。在一些实施例中,一或多个狭缝经配置以使不同照射波长依序通过。在一些实例中,在较大角发散度下的顺序照射提供较高吞吐量,因为当射束发散度较大时顺序照射的信噪比与同时照射相比较可为较高的。当依序执行测量时,衍射级重叠问题并非问题。这增加测量灵活性且改善信噪比。

[0132] 图22描绘位于在聚焦光学器件511与射束整形狭缝513之间的射束路径中的射束发散度控制狭缝512。射束发散度控制狭缝512限制提供到受测量的样品的照射的发散度。射束整形狭缝513位于在射束发散度控制狭缝512与样品501之间的射束路径中。射束整形狭缝513进一步将入射射束514整形且选择入射射束514的照射波长。射束整形狭缝513位于所述射束路径中紧接在样品501之前。在一个方面中,射束整形狭缝513的狭缝位于紧密接近于样品501处以最小化入射射束光点大小由于有限源大小所定义的射束发散度而发生的放大。

[0133] 在一些实施例中,射束整形狭缝513包含多个独立致动的射束整形狭缝。在一个实

施例中,射束整形狭缝513包含四个独立致动的射束整形狭缝。此四个射束整形狭缝有效地阻挡传入射束的一部分且产生具有盒形照射横截面的照射射束514。

[0134] 射束整形狭缝513的狭缝由最小化散射且有效地阻挡入射辐射的材料构造。示范性材料包含单晶材料,例如锗、砷化镓、磷化铟等。通常,狭缝材料沿着结晶方向裂开,而非锯开,以跨越结构边界最小化散射。另外,狭缝相对于传入射束而定向,使得传入辐射与狭缝材料的内部结构之间的相互作用产生最小量的散射。晶体附接到由高密度材料(例如,钨)制成的每一狭缝固持器以实现在狭缝的一侧上完全阻挡x射线射束。

[0135] x射线检测器519收集从样品501散射的x射线辐射518且根据SXR测量模态产生指示对入射x射线辐射敏感的样品501的性质的输出信号535。在一些实施例中,在样品定位系统540将样品501定位且定向以产生以角度方式分辨的经散射x射线时,x射线检测器519收集经散射x射线518。

[0136] 在一些实施例中,SXR系统包含具有高动态范围(例如,大于 10^5)的一或多个光子计数检测器。在一些实施例中,单个光子计数检测器检测所检测光子的位置及数目。

[0137] 在一些实施例中,x射线检测器分辨一或多个x射线光子能量且针对每一x射线能量分量产生指示样品的性质的信号。在一些实施例中,x射线检测器119包含以下各项中的任一者:CCD阵列、微通道板、光电二极管阵列、微带比例计数器、以气体填充的比例计数器、闪烁器或荧光材料。

[0138] 以此方式,除像素位置及计数数目之外,还按照能量来区别检测器内的x射线光子相互作用。在一些实施例中,通过将x射线光子相互作用的能量与预定上限阈值及预定下限阈值进行比较而区别x射线光子相互作用。在一个实施例中,经由输出信号535将此信息传递到运算系统530以用于进一步处理及存储。

[0139] 因用多个照射波长同时照射周期性目标产生的衍射图案由于衍射的角分散而在检测器平面处被分开。在这些实施例中,采用积分检测器。使用区检测器(例如,真空兼容背侧CCD或混合像素阵列检测器)来测量所述衍射图案。角取样针对布拉格峰值积分而优化。如果采用像素级模型拟合,那么角取样针对信号信息内容而优化。取样速率经选择以阻止零级信号的饱和。

[0140] 在另一方面中,采用SXR系统以基于所散射光的一或多个衍射级而确定样品的性质(例如,结构参数值)。如图22中所描绘,计量工具500包含运算系统530,采用运算系统530以获取由检测器519产生的信号535且至少部分地基于所述所获取信号而确定样品的性质。

[0141] 期望在大范围的波长、入射角及方位角下执行测量以增加所测量参数值的精确度及准确度。此方法通过扩展可用于分析的数据集的数目及多样性而减小参数间的相关性。

[0142] 收集对经衍射辐射的强度随照射波长及相对于晶片表面法线的x射线入射角而变的测量。含于多个衍射级中的信息通常在正在考虑的各模型参数之间是唯一的。因此,x射线散射以小误差及经减小参数相关性产生所关注参数值的估计结果。

[0143] 在一个方面中,计量工具500包含固定地支撑晶片501且耦合到样品定位系统540的晶片卡盘503。样品定位系统540经配置以主动地将样品501相对于照射射束514以六个自由度定位。在一个实例中,运算系统530将指示样品501的所要位置的命令信号(未展示)传递到样品定位系统540。作为响应,样品定位系统540产生到样品定位系统540的各种致动器的命令信号以实现样品501的所要定位。

[0144] 在另一方面中, SXR系统的聚焦光学器件以至少5的倍率(即, 0.2或更小的倍率因子)将照射源的图像投影到受测量的样品上。如本文中所描述的SXR系统采用具有由20微米或更小的横向尺寸表征的源区的软x射线照射源(即, 源大小是20微米或更小)。在一些实施例中, 以至少5的缩倍因子采用聚焦光学器件(即, 将源的图像投影到比源大小小四倍的晶片上)从而以4微米或更小的入射照射光点大小将照射投影到样品上。

[0145] 在一些实例中, 基于SXR的计量涉及通过以所测量数据对预定测量模型的反解而确定样本的尺寸。所述测量模型包含几个(大约十个)可调整参数且表示样品的几何结构及光学性质以及测量系统的光学性质。反解方法包含但不限于基于模型的回归、断层成像、机器学习或其任一组合。以此方式, 通过对参数化测量模型的值求解来估计目标轮廓参数, 所述值最小化所测量经散射x射线强度与经建模结果之间的误差。

[0146] 在第2019/0017946号美国专利公开案中提供对基于软x射线的计量系统的额外说明, 所述美国专利公开案的内容以其全文引用方式并入本文中。

[0147] 在又一方面中, 运算系统530经配置以产生样品的所测量结构的结构模型(例如, 几何模型、材料模型或经组合几何与材料模型), 产生包含来自结构模型的至少一个几何参数的SXR响应模型, 且通过执行SXR测量数据与SXR响应模型的拟合分析而分辨至少一个样品参数值。使用分析引擎来将所模拟SXR信号与所测量数据进行比较, 借此允许确定样本的几何以及材料性质(例如电子密度)。在图22中所描绘的实施例中, 运算系统530经配置为模型构建与分析引擎(例如, 模型构建与分析引擎350), 所述模型构建与分析引擎经配置以实施如参考图5所描述的模式构建与分析功能性。

[0148] 在一些实例中, 模型构建与分析引擎130及350通过侧馈分析、前馈分析及并行分析的任一组合而改善所测量参数的准确度。侧馈分析是指采取关于同一样品的不同区的多个数据集且将从第一数据集确定的共同参数传递到第二数据集上以供分析。前馈分析是指采取关于不同样品的数据集且使用逐步复制确切参数前馈方法将共同参数向前传递到后续分析。并行分析是指将非线性拟合方法并行或同时应用于多个数据集, 其中在拟合期间耦合至少一个共同参数。

[0149] 多重工具与结构分析是指基于回归、查找表(即, “库”匹配)或多个数据集的另一拟合过程而进行的前馈、侧馈或并行分析。源于KLA-Tencor公司的于2009年1月13日发布的第7,478,019号美国专利描述用于多重工具与结构分析的示范性方法及系统, 所述美国专利的全文以引用方式并入本文中。

[0150] 应认识到, 可通过单计算机系统116、330及530或替代地多计算机系统116、330及530来实施本发明通篇中所描述的各个步骤。此外, 系统100、300及500的不同子系统(例如光谱椭圆偏光计101)可包含适合于实施本文中所描述的步骤的至少一部分的计算机系统。因此, 前述说明不应解释为对本发明的限制而仅为图解说明。此外, 一或多个运算系统116可经配置以执行本文中所描述的方法实施例中的任一者的任一(任何)其它步骤。

[0151] 运算系统116、330及530可包含但不限于个人计算机系统、大型计算机系统、工作站、图像计算机、并行处理器或此项技术中已知的任一其它装置。一般来说, 术语“运算系统”可广义地定义为涵盖具有执行来自存储器媒体的指令的一或多个处理器的任一装置。一般来说, 运算系统116、330及530可分别与例如测量系统100、300及500的测量系统集成在一起, 或替代地, 可与任一测量系统分开。在这个意义上, 运算系统116、330及530可远程定

位且分别从任何测量源及用户输入源接收测量数据及用户输入。

[0152] 实施例如本文中所描述的那些方法的方法的程序指令120可经由载体媒体118传输或存储于载体媒体118上。所述载体媒体可为传输媒体,例如导线、缆线或无线传输链路。所述载体媒体也可包含计算机可读媒体,例如只读存储器、随机存取存储器、磁盘或光盘,或者磁带。

[0153] 类似地,可经由传输媒体(例如导线、缆线或无线传输链路)传输实施例如本文中描述的那些方法的方法的程序指令334。举例来说,如图4中所图解说明,存储于存储器332中的程序指令经由总线333传输到处理器331。程序指令334存储于计算机可读媒体(例如,存储器332)中。示范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。

[0154] 类似地,可经由传输媒体(例如导线、缆线或无线传输链路)传输实施例如本文中描述的那些方法的方法的程序指令534。举例来说,如图22中所图解说明,存储于存储器532中的程序指令经由总线533传输到处理器531。程序指令534存储于计算机可读媒体(例如,存储器532)中。示范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。

[0155] 基于纳米线的半导体装置也称为栅极全包围装置。半导体沟道是纳米线。所述纳米线由形成装置的栅极的一系列材料全包围地包覆。所述包覆件材料包含例如二氧化硅、氧化铪、氮化钛、氮化钽等的材料。使用形成全包围纳米线沟道的包覆栅极的原子层沉积过程将所述包覆件材料沉积于纳米线上。

[0156] 图6描绘基于纳米线的半导体结构150。结构150包含纳米线151A到151C、源极/漏极结构152及153以及介电材料154。如图6中所图解说明,纳米线151A到151C在源极/漏极结构152及153之间无支撑地延伸。因此,邻近纳米线之间存在空隙。

[0157] 在一个方面中,模型构建工具(例如,模型构建与分析引擎130及350)包含可用作复杂的基于纳米线的半导体装置的模型中的构建块的复杂的基于纳米线的半导体装置子结构的可重复使用参数模型。此使模型构建过程较直观且较不易于出错。此外,由于可重复使用参数子结构模型针对特定基于纳米线的结构及测量应用而优化,因此所得经离散化测量模型比传统模型在计算上更高效。另外,可保存且在不同项目及不同用户间分享所述参数子结构模型。

[0158] 在一个方面中,描述经采用以基于纳米线制作过程而准确地将下一代半导体装置的几何结构建模的新参数子结构模型(即,基元纳米线构建块)集。在一些实例中,这些基元纳米线构建块允许用户构建以高准确度表示实际纳米线几何结构且允许所有可能自由度的测量模型。在一些实例中,计量系统采用这些模型来执行与不同纳米线制作过程相关联的几何参数、材料特性等的基于模型的测量。

[0159] 在另一方面中,所述可重复使用参数子结构模型完全由模型构建工具的用户所输入的独立参数的值来定义。与模型形状及构成几何元件间的内部约束相关联的所有其它变量预定义于所述模型内。因此,除独立参数的值以外,不需要其它用户输入来完全定义所述可重复使用参数子结构模型。这大大简化模型构建过程。

[0160] 每一基元纳米线构建块完全由用户所输入的独立参数的值定义。不需要其它用户输入来定义基元纳米线构建块的形状。这显著地简化与基于纳米线的半导体结构相关联的

模型构建过程。这引起以较少错误更加快速地将复杂的基于纳米线的半导体装置建模。

[0161] 通过非限制性实例的方式,图7到13描绘数个不同基元纳米线构建块。

[0162] 图7描绘圆柱形基元纳米线构建块160。通过长度 L 、直径 D 、在与晶片衬底的表面平行的平面中的定向角及一或多个材料参数来将圆柱形纳米线构建块160参数化。所述定向角确定圆柱形纳米线160在与晶片衬底的表面平行的平面中的定向。

[0163] 图8描绘具有经修圆边缘的正方形基元纳米线构建块161。通过长度 L 、横截面高度 H 、横截面宽度 W 、在每一拐角处的圆角半径 R 、在与晶片衬底的表面平行的平面中的定向角及一或多个材料参数来将正方形纳米线构建块161参数化。

[0164] 图9描绘矩形或板形基元纳米线构建块162。通过长度 L 、横截面高度 H 、横截面宽度 W 、在与晶片衬底的表面平行的平面中的定向角及一或多个材料参数来将板形纳米线构建块162参数化。

[0165] 图10描绘六角形基元纳米线构建块163。通过长度 L 、横截面侧长度 S 、在与晶片衬底的表面平行的平面中的定向角及一或多个材料参数来将六角形纳米线构建块163参数化。

[0166] 图11描绘椭圆形基元纳米线构建块164。通过形状参数 D_1 及 D_2 (即,分别为长半轴及短半轴的两倍)、长度 L 、在与晶片衬底的表面平行的平面中的定向角及一或多个材料参数来将椭圆形纳米线构建块164参数化。

[0167] 图12描绘阶梯状基元纳米线构建块165。阶梯状纳米线构建块165具有两个不同横截面。一个横截面定义阶梯状块的中间区段且另一横截面定义在所述中间区段的两个端上的端区段。通过形状参数 S_{inner} 及长度 L_{inner} 来将所述中间区段参数化。通过较小形状参数 S_{outer} 及长度 L_{outer} 来将所述端区段参数化。阶梯状块165从所述中间横截面突然地过渡到所述端横截面。还通过在与晶片衬底的表面平行的平面中的定向角及一或多个材料参数来将阶梯状块165参数化。

[0168] 图13描绘伸长基元纳米线构建块166。伸长纳米线构建块166具有两个不同横截面。一个横截面定义伸长形块的中间区段且另一横截面定义在所述中间区段的两个端上的端区段。通过直径 D_{inner} 及长度 L_{inner} 来将所述中间区段参数化。通过较小直径 D_{outer} 及长度 L_{outer} 来将所述端区段参数化。伸长形块166从所述中间横截面向所述端横截面平滑地渐缩。还通过在与晶片衬底的表面平行的平面中的定向角及一或多个材料参数来将伸长形块166参数化。

[0169] 一般来说,每一纳米线块可经定向使得纳米线的中央轴线(例如,圆柱形纳米线160的中央轴线A)平行于晶片衬底的表面(即,横向纳米线)。这类似于图6中所描绘的纳米线151A到151C的定向。在一些其它实例中,纳米线可经定向使得纳米线的中央轴线垂直于晶片衬底的表面(即,垂直纳米线)。

[0170] 纳米线的形状将显著影响装置性能。取决于应用,可期望一个纳米线形状甚于另一形状。因此,纳米线构建块应是柔性的且可定制的以考虑所有预期形状。

[0171] 一般来说,用户与纳米线结构模型构建模块(例如,模型构建与分析引擎130的结构模型构建模块131或模型构建与分析引擎350的结构模型构建模块351)的图形用户界面交互以选择所要基元纳米线构建块且通过输入独立参数的适当值而定义特定形状。

[0172] 如图7到13中所描绘,完全由仅几个独立参数定义的单个可重复使用参数子结构

模型替换包含许多几何基元以及许多约束及形状参数值的模型。

[0173] 相比来说,图7到13中所描绘的纳米线的结构模型将需要许多现有基元构建块(例如,正方形截头锥体)以及构建块中的每一者间的其相互关系及约束的定义来将类似纳米线结构建模。因此,与使用现有基元构建块来构建复杂纳米线装置结构相关联的困难是显然的。

[0174] 在纳米线半导体制作过程中,举例来说,在图6中所描绘的栅极中沉积交替材料层。在一个实例中,沉积硅及硅锗的交替层。在移除假性栅极材料(例如,多晶硅)之后,释放纳米线。纳米线释放是高度选择性蚀刻过程,其中(举例来说)排他地蚀刻硅锗层,从而留下硅纳米线,例如,图6中所描绘的纳米线151A到151C。在纳米线释放之后,在沉积金属之前在栅极上沉积一系列超薄材料。这些材料通常是非常薄的且打算全包围地包覆纳米线。在一个实例中,10埃厚的二氧化硅层全包围纳米线而沉积。此二氧化硅包覆件自身由高k材料包覆件包覆。所述高k材料包覆件随后由10埃厚的氮化钛包覆件、然后5到10埃的阻挡金属氮化钽包覆件、然后另一个氮化钛包覆件、然后碳化钛铝包覆件及然后氮化钛包覆件包覆。通过原子层沉积(ALD)而形成所述沉积。PMOS及NMOS需要可改变临界层数目的不同高k金属栅极(HKMG)过程流程。HKMG过程是在CMOS装置的前段过程(FEOL)循环结束时。在栅极周围的包覆件数目以及其厚度可取决于技术节点或装置类型(例如,N或P)而变化。

[0175] 在一些实施例中,可重复使用参数子结构模型是结构特定的。图14描绘表示包覆在纳米线上的两个保形层的可重复使用参数子结构模型170。如图14中所描绘,定义模型的形状的独立参数是每一保形层的厚度 D_1 及 D_2 、纳米线的直径 D_w 及经包覆纳米线结构的长度L。任选地,与层中的每一者相关联的材料参数可定义为可由用户定义的独立变量。

[0176] 模型构建工具的用户仅需要输入这些参数的值来完全定义表示经包覆纳米线的此可重复使用参数子结构模型170的几何结构。与模型形状及内部约束相关联的所有其它变量预定义于所述模型内,且不需要额外输入来完全定义模型170的形状。

[0177] 一般来说,基本纳米线的形状定义包覆件的形状,例如,圆柱形、矩形、椭圆形等。默认地,当用户将包覆件添加到纳米线时,包覆件保形于纳米线形状。包覆件定义包含基础构建块,即,包覆件在其上保形的构建块。与包覆件相关联的所述基础构建块排他地是纳米线或先前包覆件。

[0178] 在图14中所描绘的实施例中,每一包覆件全包围基本基础块(例如,基本纳米线或先前包覆件)且沿着所述基本基础块以均匀厚度是保形的。

[0179] 然而,高K金属栅极(HKMG)过程是非均匀的。全包围包覆件取决于定向而具有不同厚度。举例来说,预期给定高K包覆件层的厚度在纳米线的顶部侧上比纳米线的底部侧大。

[0180] 在另一方面中,复合纳米线构建块包含非均匀厚度包覆件。图15A到B分别描绘非均匀厚度包覆件构建块171的透视图及端视图。如图15A中所描绘,通过具有直径 D_w 及长度L的圆柱形纳米线将非均匀厚度包覆件构建块171的几何结构参数化。如图15B中所描绘,还通过具有在纳米线上面的厚度 D_{T1} 及在纳米线下面的厚度 D_{B1} 的在圆柱形纳米线周围的包覆件而将非均匀厚度包覆件构建块171的几何结构参数化。类似地,通过在纳米线上面的厚度 D_{T2} 及在纳米线下面的厚度 D_{B2} 而将在第一包覆件周围的包覆件参数化。在纳米线的顶部与底部之间的定向处内插在纳米线上面及下面的厚度的差。

[0181] 在又一方面中,复合纳米线构建块包含均匀保形衬里-包覆件。图16A到C分别描绘

保形衬里-包覆件构建块180的等距视图、前视图及侧视图。跨越晶片沉积上文中所描述的HKMG材料。因此,材料不仅包覆在纳米线上,而且保形于结构形貌的形状。保形衬里-包覆件构建块将材料在所有经暴露结构上的沉积(例如,在栅极顶部表面184上的沉积、在栅极壁表面183及纳米线181A到181B周围的包覆物182上的沉积)建模。图16B描绘经包覆纳米线181A到181B之间的空隙。如图16B中所描绘,衬里-包覆件材料的厚度T在所有表面上方是均匀的。因此,均匀保形衬里-包覆件构建块由所沉积材料的厚度T及材料性质定义。

[0182] 在又一方面中,复合纳米线构建块包含非均匀保形衬里-包覆件。图17A到17C分别描绘非均匀保形衬里-包覆件构建块190的等距视图、前视图及侧视图。跨越晶片沉积上文中所描述的HKMG材料。因此,材料不仅包覆在纳米线上,而且保形于结构形貌的形状。然而,可能并不在所有表面上均匀地沉积材料。非均匀保形衬里-包覆件构建块将材料在所有经暴露结构上的非均匀沉积(例如,在栅极顶部表面194上的沉积、在栅极壁表面193及纳米线191A到191B周围的包覆物192上的沉积)建模。图17B描绘经包覆纳米线191A到191B之间的空隙。如图17B中所描绘,衬里的栅极顶部表面194处的衬里-包覆件材料的厚度 T_2 不同于栅极壁表面193的厚度 T_1 。如图17C中所描绘,在纳米线191A到191B周围的包覆件的厚度是 T_3 。因此,非均匀保形衬里-包覆件构建块190由顶部衬里厚度 T_2 、栅极壁衬里厚度 T_1 、包覆件厚度 T_3 及材料性质来定义。在一些实施例中,非均匀保形衬里-包覆件构建块190的底部栅极厚度也由用户独立地选择。

[0183] 在图16A到C及图17A到C中所描绘的实施例中,每一衬里-包覆件全包围基本基础块(例如,基本纳米线或先前包覆件)且沿着所述基本基础块是保形的。

[0184] 在一些实施例中,衬里-包覆件经定义使得衬里-包覆件复合构建块定义在N个导线周围的M个包覆件以及覆盖栅极壁、栅极底部及栅极顶部的单个衬里。

[0185] 在又一方面中,复合纳米线构建块包含保形间隔件-包覆件。图18A到C分别描绘保形间隔件-包覆件构建块200的等距视图、前视图及侧视图。跨越晶片沉积上文中所描述的HKMG材料。在沉积之后,优化材料的高度。更具体来说,蚀除衬里的顶部且形状成为间隔件与包覆件的组合。保形间隔件-包覆件构建块将材料在所有经暴露结构上的蚀刻(例如,在栅极壁表面203及纳米线201A到201B周围的包覆物202上的蚀刻)建模。图18B描绘经包覆纳米线201A到201B之间的空隙。图18B描绘在衬里的顶部附近的厚度T。图18C描绘在蚀刻之后间隔件-包覆件的高度H。因此,保形间隔件-包覆件构建块200由衬里厚度T、间隔件高度H及材料性质定义。在一些实施例中,间隔件-包覆件厚度是非均匀的。在一些实例中,底部栅极厚度、栅极壁厚度及包覆件厚度中的任一者也由用户独立地选择。

[0186] 在图18A到C中所描绘的实施例中,每一间隔件-包覆件全包围基本基础块(例如,基本纳米线或先前包覆件)且沿着所述基本基础块是保形的。

[0187] 在一些实施例中,间隔件-包覆件经定义使得间隔件-包覆件复合构建块定义在N个导线周围的M个包覆件以及覆盖栅极壁及栅极底部的单个间隔件。

[0188] 一般来说,基元构建块经集成且约束在一起以将例如衬里-包覆件180及190以及间隔件-包覆件200的复合构建块建模。每一独立复合构建块的必要约束在内部预定义且作为复合构建块的一部分嵌入到其设计中。在每次使用复合构建块时强制执行所述约束。

[0189] 内间隔件是特定用于基于纳米线的装置的技术过程。需要内间隔件来减小纳米线沟道与延伸区域中的源极/漏极结构之间的寄生电容。内间隔件是在鳍片蚀刻之后填充源

极/漏极区域中的两个纳米线之间的间隙的低K材料。图19A描绘在内间隔件过程步骤之前的纳米线结构210。如图19A中所描绘,空隙211A到211C存在于邻近纳米线之间。图19B描绘在内间隔件过程步骤之后的纳米线结构220。如图19B中所描绘,空隙211A到211C填充有内间隔件221A到221C。

[0190] 在又一方面中,复合纳米线构建块包含内间隔件。用于内间隔件构建块的基础块是纳米线构建块。默认地,当沉积于纳米线上时,内间隔件填充每两个邻近纳米线之间的空气间隙且保形于空气间隙形状。在一些实例中,内间隔件厚度、高度及CD是自动约束的。在一些其它实例中,自动约束方程式是可编辑的。在一个实例中,内间隔件的厚度是可编辑的,即,可由用户独立地选择,以将其中内间隔件在横向方向(即,平行于纳米线的长度轴线的方向)上未填满空气间隙的用例建模。

[0191] 图20A到C分别描绘内间隔件构建块连同对应纳米线的阵列220的前视图、侧视图及等距视图。图20A到C描绘在纳米线释放过程步骤之后相对于纳米线的内间隔件。如图20A到C中所描绘,每一内间隔件定位于两个硅纳米线之间。如图20A到B中所描绘,每一内间隔件的几何结构由六个参数定义:在横向方向上的厚度T、内间隔件CD、内间隔件高度H、将两个横向内间隔件分离的间距P、内间隔件的侧壁角及材料参数。默认地,内间隔件的厚度约束到空气间隙厚度,内间隔件CD约束到空气间隙CD,且高度H是两个邻近纳米线之间的垂直空间。间距也是纳米线间距。在一些实例中,内间隔件的厚度及材料性质是由用户选择的仅有独立参数,且其余的是自动约束的,即,由内间隔件构建于其上的基础块定义。

[0192] 在图20A到C中所描绘的实施例中,每一内间隔件构建于基本基础块(例如,基本纳米线或先前包覆件)上。

[0193] 可重复使用参数子结构模型170、171、180、190、200、210及220是复合纳米线构建块的实例。复合纳米线构建块包含多个基元纳米线构建块的组合。在一些实例中,复合纳米线构建块包含在一或多个方向上彼此间隔开用户指定距离的多个纳米线(例如,N个纳米线)。举例来说,图20C描绘包含纳米线及内间隔件的三维阵列的内间隔件复合构建块。

[0194] 在又一方面中,模型构建工具将一或多个可重复使用参数模型集成为复杂的基于纳米线的半导体装置的测量模型。在一些实施例中,模型构建工具接收来自用户的输入以组合几何基元与可重复使用参数子结构模型以形成测量模型。在一些其它实施例中,半导体装置的测量模型完全由一个可重复使用参数模型描述。在一些其它实施例中,半导体装置的测量模型完全由两个或更多于两个可重复使用参数模型的组合描述。

[0195] 在另一方面中,模型构建工具基于来自用户的输入而产生复合纳米线构建块模型。

[0196] 在一些实施例中,模型构建工具基于若干个基元纳米线构建块的复合或由用户指示的若干较简单可重复使用参数子结构模型(例如,复合纳米线构建块)而产生可重复使用参数子结构模型(例如,复合纳米线构建块)。所述复合将个别模型的集合改变成可用作测量模型的元件(好像其是基元构建块)的单个可重复使用参数子结构模型。所述模型构建工具保存所述子结构模型以供稍后使用。在内部,所述子结构模型包含完全集成所有基本几何基元所必要的约束。这些约束经保存为所述子结构模型的一部分且在所述子结构模型的每个例子处被执行。以此方式,用户可以预定义约束创建常用复杂形状的集合。所述子结构模型可被卸载且保存到文件中,重新加载到项目中且被使用,且在用户间分享。

[0197] 由所述模型构建工具产生的所述可重复使用参数子结构模型使得用户或用户群组能够产生可重复使用的子结构库。使用同一子结构模型的不同例子的不同用户可预期实现相同数值结果。

[0198] 可以不同方式产生可重复使用参数子结构模型。在一个实例中,用户通过用户产生的计算机代码指导模型构建工具来组合且约束一或多个几何基元、一或多个现有子结构模型或任一组合。这引起由于经减少数目个离散化点而产生计算上更高效测量模型的较平滑模型离散化。一般来说,含有较少几何构建块及较少约束的模型引起较快离散化,因为离散化引擎不再需要遍及如此多的几何构建块及约束来进行剖析。在一些实施例中,第一可重复使用参数模型的离散化点在基本运算系统的浮点精确度内与第二可重复使用参数模型的离散化点对准以确保来自经组合模型的可重复计算结果。

[0199] 在一些其它实例中,用户可与允许用户选择一或多个几何基元、一或多个现有子结构模型或任一组合的图形用户界面(GUI)交互,且然后指示用户期望将这些元件分组到一起且选择所要独立参数。作为响应,模型构建工具自动产生适当约束以实现完全集成式参数子结构模型。用户然后可将新创建的参数子结构模型输出到可由其它者使用的文件中。在另一实例中,新创建的参数子结构模型可在模型构建工具中作为可由用户选择以构造测量模型的可用构建块或另一更复杂的参数子结构模型而列出。可重复使用参数子结构模型允许多个用户对复杂模型的不同部分协作地工作且在最后阶段将其组装到一起。

[0200] 通过组合两个或多于两个可重复使用参数子结构模型而非几何基元来显著减少组装复杂装置模型所需要的组件数目。此外,必须由用户指定的组件间的关系的数目也显著减少。这简化初始模型构建过程,使其不易于出错,且使得更容易在不同用户之间转移模型。

[0201] 在又一方面中,所述模型构建工具产生复杂装置子结构的可重复使用参数模型且使所述可重复使用参数模型可加以利用,所述可重复使用参数模型包含嵌入到其设计中的特定半导体过程的关键特性。更具体来说,可重复使用参数子结构模型包含允许用户指定通过一或多个过程步骤形成的晶片人工制品的控制件。

[0202] 在一个实施例中,可重复使用参数模型表示多个过程步骤。此外,用户能够选择将哪一过程步骤建模。举例来说,如果用户想要首先将沟槽蚀刻过程步骤建模,那么所述用户控制所述可重复使用参数模型以包含形成沟槽蚀刻所需要的过程(即,膜沉积及沟槽蚀刻步骤)。所述用户将定义在膜沉积步骤中使用的材料,定义所沉积膜的厚度,且定义沟槽的尺寸。如果用户想要将平面化步骤建模,那么用户以先前定义的沟槽蚀刻模型开始且然后控制可重复使用参数模型以包含形成经平面化结构所需要的过程(即,保形沉积及平面化步骤)。用户将定义保形沉积数目且针对每一沉积的材料/厚度定义平面化的深度。以此方式,用户能够个别地控制由可重复使用参数模型表示的过程步骤中的每一者。因此,可利用单个模型来测量多个过程步骤。

[0203] 在一些光刻聚焦/剂量应用中,经堆叠装置结构的抗蚀剂线建模为以如下方式约束的经堆叠梯形:1)将邻近梯形的顶部临界尺寸(TCD)及底部临界尺寸(BCD)约束为相等;2)将个别梯形的高度约束为相等;3)将个别临界尺寸约束为用户定义的聚焦及剂量参数的函数;及4)将个别梯形的高度约束为前述聚焦及剂量参数的函数。传统上,所有这些约束需要由用户设定。

[0204] 在又一方面中,所述模型构建工具产生包含测量应用特定细节(例如,从特定应用导出的约束、尺寸等)的复杂装置子结构的可重复使用参数模型且使所述可重复使用参数模型可加以利用。

[0205] 在一些实例中,模型构建工具读取含有个别尺寸的方程式的文件。通常通过例如可从KLA-Tencor公司(苗必达市,加利福尼亚州(USA))购得的PROLITH软件的光刻模拟器来产生此文件。基于此应用信息,模型构建工具自动设定可重复使用参数子结构模型参数化及约束。

[0206] 在另一实例中,也可采用模型构建工具来产生描述在一些光学计量应用中所使用的场增强元件的可重复使用参数子结构模型。在指派给KLA-Tencor公司的第8,879,073号美国专利中进一步详细地描述场增强元件,所述美国专利的标的物以其全文引用方式并入本文中。可采用模型构建工具来针对每一类型的场增强元件及不同应用产生可重复使用参数子结构模型。

[0207] 在再一实例中,也采用模型构建工具来产生描述由计量目标设计或叠对设计软件产生的计量目标的可重复使用参数子结构模型。在一个实例中,模型构建工具接收由软件模拟器产生的图形数据库系统(GDS)数据且自动产生预测间隔件间距分裂的形态的可重复使用参数子结构模型。

[0208] 在再一方面中,模型构建工具包含用以控制与特定用户分享敏感知识产权的安全特征。举例来说,可期望一实体与另一实体分享测量模型,但不分享所述测量模型的包含敏感知识产权的特定方面。在一些实例中,模型构建工具允许用户向显示器隐藏一或多个可重复使用参数子结构模型的全部或部分以允许与其它实体分享所述模型。在一些实例中,模型构建工具允许用户省略一或多个可重复使用参数子结构模型的全部或部分以阻止与另一实体分享这些敏感元件。在一些其它实例中,模型构建工具允许用户包含密码保护以控制对一或多个可重复使用参数子结构模型的全部或一部分的存取以将敏感元件的分享限制于经授权实体。以此方式,嵌入于可重复使用参数子结构模型的特定特征中的敏感知识产权可保持为用户私密的。

[0209] 尽管参考系统100及300阐释本文中所论述的方法,但可采用经配置以照射样品并检测从所述样品反射、透射或衍射的光的任何光学或x射线计量系统来实施本文中所描述的示范性方法。示范性系统包含角度分辨反射计、散射计、反射计、椭圆偏光计、光谱反射计或椭圆偏光计、射束轮廓反射计、多波长二维射束轮廓反射计、多波长二维射束轮廓椭圆偏光计、旋转补偿器光谱椭圆偏光计、透射x射线散射计、反射x射线散射计等。通过非限制性实例的方式,椭圆偏光计可包含单个旋转补偿器、多个旋转补偿器、旋转偏振器、旋转分析器、调制元件、多个调制元件或不包含调制元件。

[0210] 应注意,来自源及/或目标测量系统的输出可以使得测量系统使用不止一种技术的方式来配置。事实上,应用程序可经配置以采用在单个工具内或跨越若干个不同工具的可用量子系统的任一组合。

[0211] 也可以若干种不同方式来配置实施本文中所描述的方法的系统。举例来说,可预期宽广范围的波长(包含可见、紫外、红外及x射线)、入射角、偏光状态及相干状态。在另一实例中,所述系统可包含若干个不同光源(例如,直接耦合光源、激光维持等离子体光源等)中的任一者。在另一实例中,所述系统可包含用以调节引导到样品或从样品收集的光的元

件(例如,切趾器、滤光器等)。

[0212] 一般来说,受测量的基于纳米线的半导体结构的光学色散性质可近似为各向同性的。在此假定下,经提供为到基于纳米线的构建块的输入的材料参数是纯量值。替代地,可更准确地将受测量的基于纳米线的半导体结构的光学色散性质建模为各向异性的。在此假定下,经提供为到基于纳米线的构建块的输入的材料参数将是不同值的矩阵,而非纯量值。在第2018/0059019号美国专利公开案中描述关于受测量的各向异性结构的处理的额外细节,所述美国专利公开案的内容以其全文引用方式并入本文中。

[0213] 图21图解说明适合于通过本发明的计量系统100、300及500来实施的方法400。在一个方面中,认识到,方法400的数据处理框可经由运算系统116、330或530的一或多个处理器所执行的预编程算法执行。虽然在计量系统100、300及500的上下文中呈现以下说明,但在本文中认识到,计量系统100、300及500的特定结构方面不表示限制且应仅解释为说明性的。

[0214] 在框401中,在一或多个测量位点中的每一者处以一定量的辐射照射基于纳米线的半导体结构。

[0215] 在框402中,响应于所述一定量的照射辐射而检测与所述基于纳米线的半导体结构的测量相关联的一定量的测量数据。

[0216] 在框403中,接收第一用户对用以描述所述基于纳米线的半导体结构的至少第一部分的第1可重复使用参数模型的选择的指示。所述第1可重复使用参数模型包含多个几何元件且完全由第1独立参数值集定义。

[0217] 在框404中,接收对所述第1独立参数值集的选择的指示。

[0218] 在框405中,基于测量模型与相关联于所述一或多个测量位点中的每一者的所述一定量的测量数据的拟合而估计表征所述一或多个测量位点中的每一者处的所述基于纳米线的半导体结构的所关注参数的值。所述测量模型包含所述第1可重复使用参数模型。

[0219] 如本文中所描述,术语“临界尺寸”包含结构的任一临界尺寸(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)、任何两个或多于两个结构之间的临界尺寸(例如,两个结构之间的距离)、两个或多于两个结构之间的位移(例如,叠对光栅结构之间的叠对位移等)及在所述结构或所述结构的一部分中使用的材料的色散性质值。结构可包含三维结构、经图案化结构、叠对结构等。

[0220] 如本文中所描述,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。

[0221] 如本文中所描述,术语“计量系统”包含经至少部分地采用以在任何方面中表征样品的任何系统。然而,此些技术术语并不限制如本文中所描述的术语“计量系统”的范围。另外,计量系统100可经配置以用于经图案化晶片及/或未经图案化晶片的测量。计量系统可被配置为LED检验工具、边缘检验工具、背侧检验工具、宏观检验工具或多模式检验工具(涉及同时来自一或多个平台的数据),以及从基于临界尺寸数据而校准系统参数获益的任何其它计量或检验工具。

[0222] 本文中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。术语“样品”在本文中用于指在晶片、光罩或可通过此项技术中已知的手段来处理(例如,印刷或检验缺陷)的任何其它样本上的一位点或若干位点。在一些实例中,样品包

含具有一或多个测量目标的单个位点,所述一或多个测量目标的同时经组合测量被视为单个样品测量或参考测量。在一些其它实例中,样品是位点聚合,其中与经聚合测量位点相关联的测量数据是与多个位点中的每一者相关联的数据的统计聚合。此外,这些多个位点中的每一者可包含与样品或参考测量相关联的一或多个测量目标。

[0223] 如本文中所以使用,术语“晶片”一般是指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。这些衬底通常可存在于半导体制作设施中及/或在其中处理。在一些情形中,晶片可仅包含衬底(即,裸晶片)。替代地,晶片可包含形成于衬底上的不同材料的一或多个层。形成于晶片上的一或多个层可为“经图案化”或“未图案化”的。举例来说,晶片可包含具有可重复图案特征的多个裸片。

[0224] “光罩”可为在光罩制作过程的任何阶段处的光罩或者可或不释放以供在半导体制作设施中使用的完成光罩。光罩或“掩模”一般定义为具有在上面形成且配置成图案的基本上不透明区域的基本上透明衬底。衬底可包含(举例来说)例如非晶SiO₂的玻璃材料。光罩可在光刻过程的曝光步骤期间安置于抗蚀剂覆盖的晶片上面,使得可将所述光罩上的图案转印到所述抗蚀剂。

[0225] 形成于晶片上的一或多个层可为经图案化或未图案化的。举例来说,晶片可包含各自具有可重复图案特征的多个裸片。这些材料层的形成及处理可最终产生完成装置。可在晶片上形成许多不同类型的装置,且如本文中所以使用的术语晶片打算涵盖上面制作有此项技术中已知的任何类型的装置的晶片。

[0226] 在一或多个示范性实施例中,所描述的功能可以硬件、软件、固件或其任何组合实施。如果以软件实施,那么所述功能可作为一或多个指令或代码存储于计算机可读媒体上或者经由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及通信媒体两者,包含促进将计算机程序从一个地方传送到另一地方的任何媒体。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。通过实例而非限制方式,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者可用于以指令或数据结构的形式载运或存储所要程序代码构件且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。并且,可将任何连接恰当地称为计算机可读媒体。举例来说,如果使用同轴缆线、光纤缆线、双绞线、数字订户线(DSL)或无线技术(例如红外、无线电及微波)从网站、服务器或其它远程源传输软件,那么所述同轴缆线、光纤缆线、双绞线、DSL或无线技术(例如红外、无线电及微波)均包含于媒体的定义内。如本文中所以使用,磁盘及光盘包含:压缩光盘(CD)、激光光盘、光学光盘、数字多功能光盘(DVD)、软盘及蓝光光盘,其中磁盘通常以磁性方式再现数据,而光盘借助激光以光学方式再现数据。以上各项的组合也应包含于计算机可读媒体的范围内。

[0227] 尽管在上文中出于指导性目的而描述了某些特定实施例,但本专利文件的教示内容具有一般适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陈述的本发明的范围的情况下实践对所描述实施例的各种特征的各种修改、更改及组合。

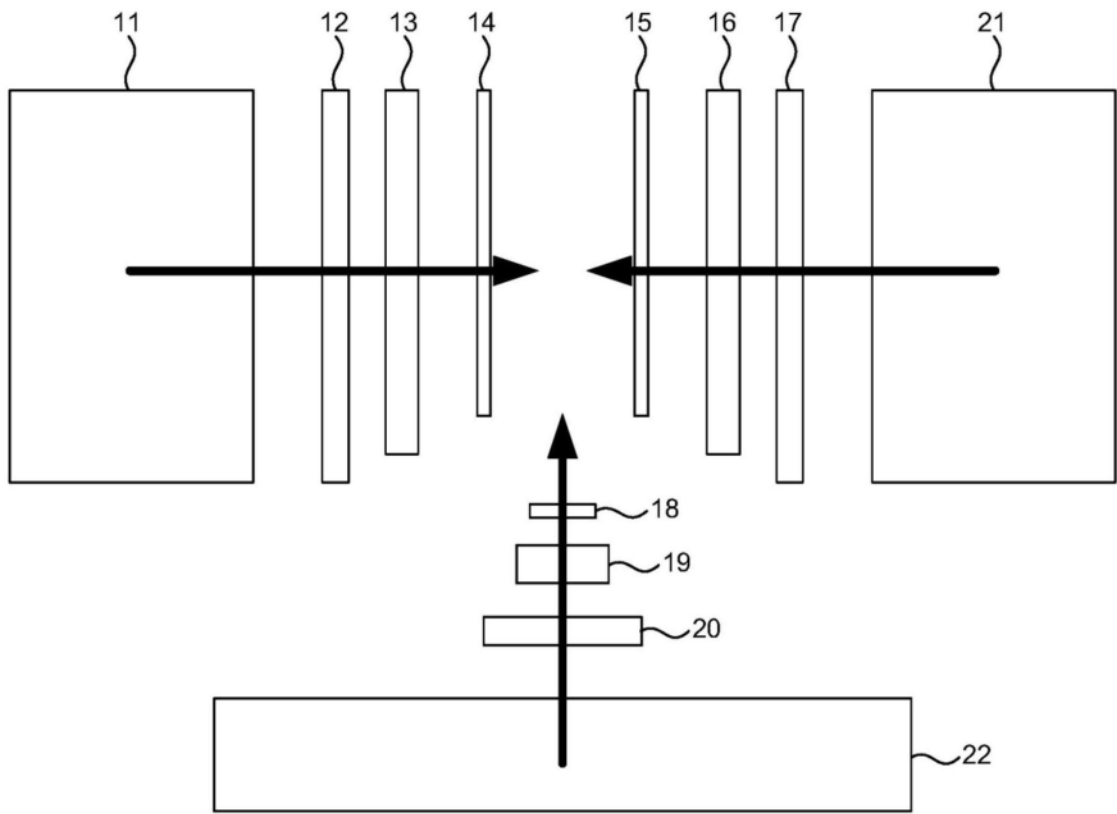


图1A

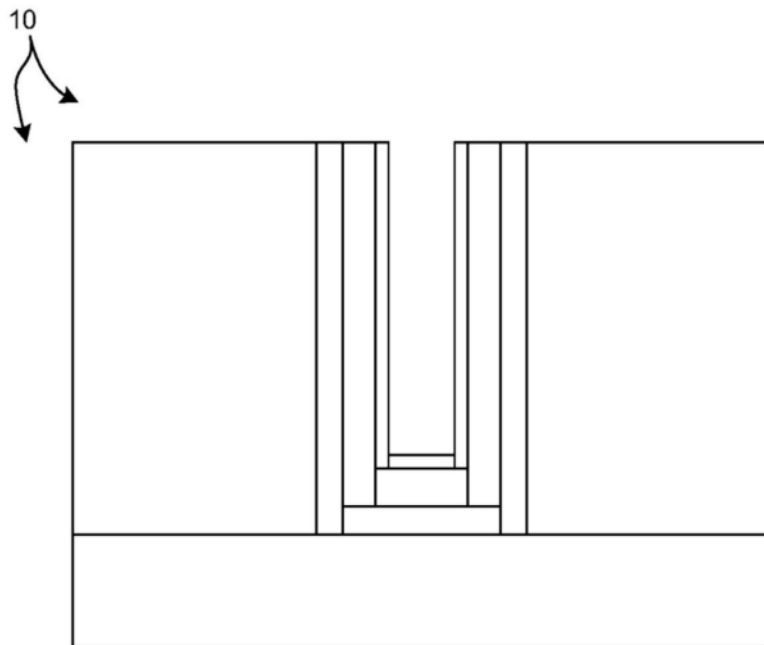


图1B

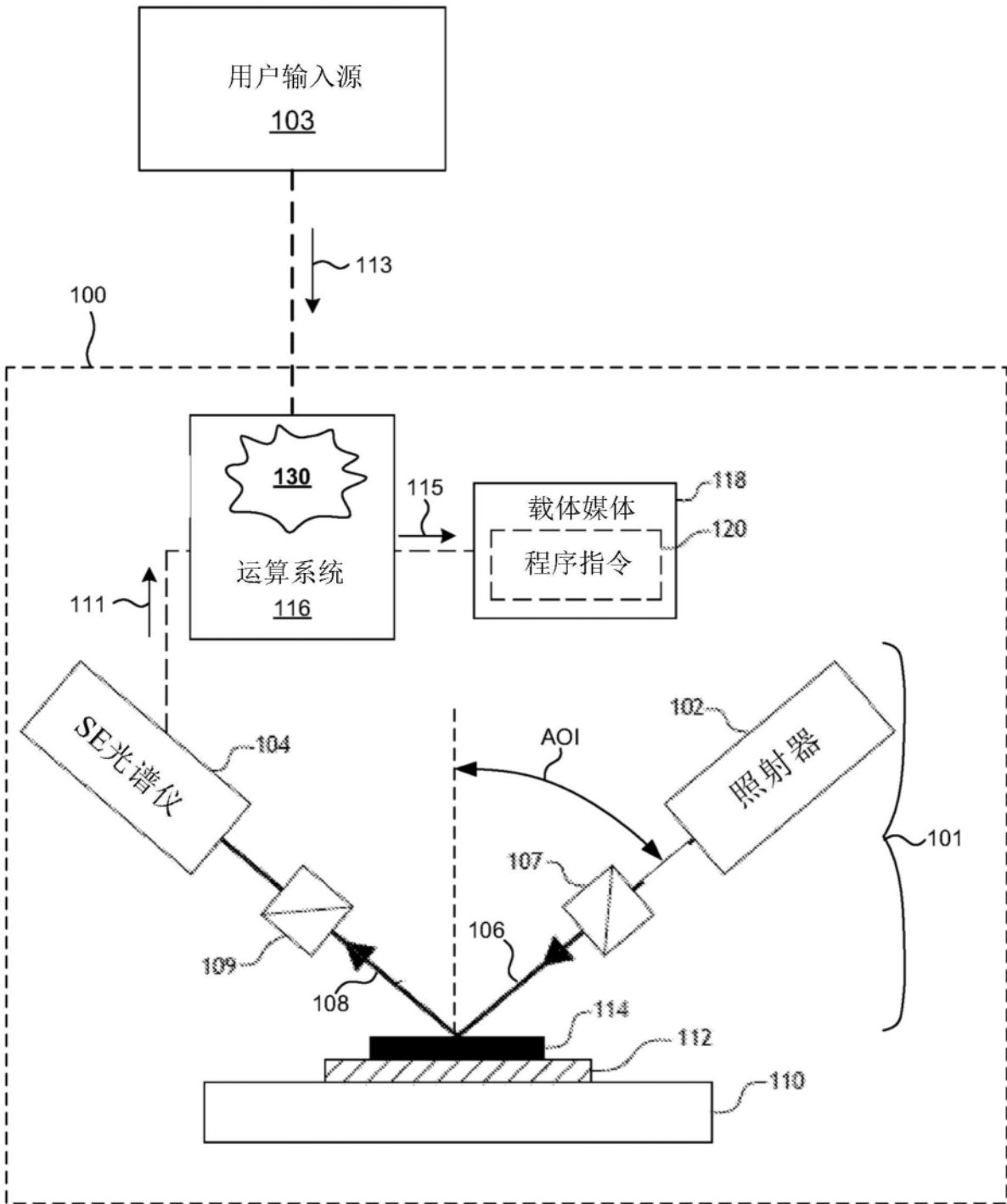


图2

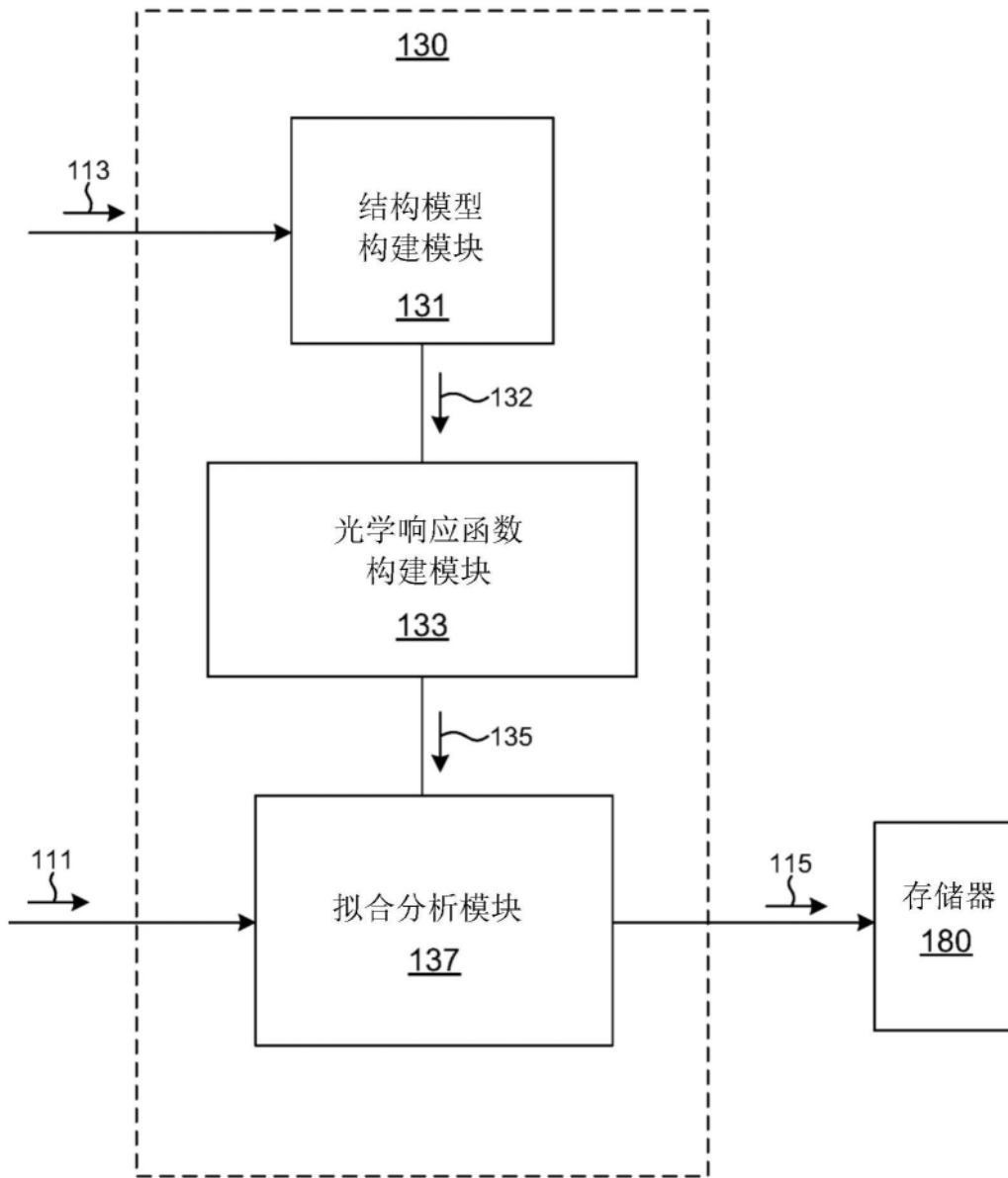


图3

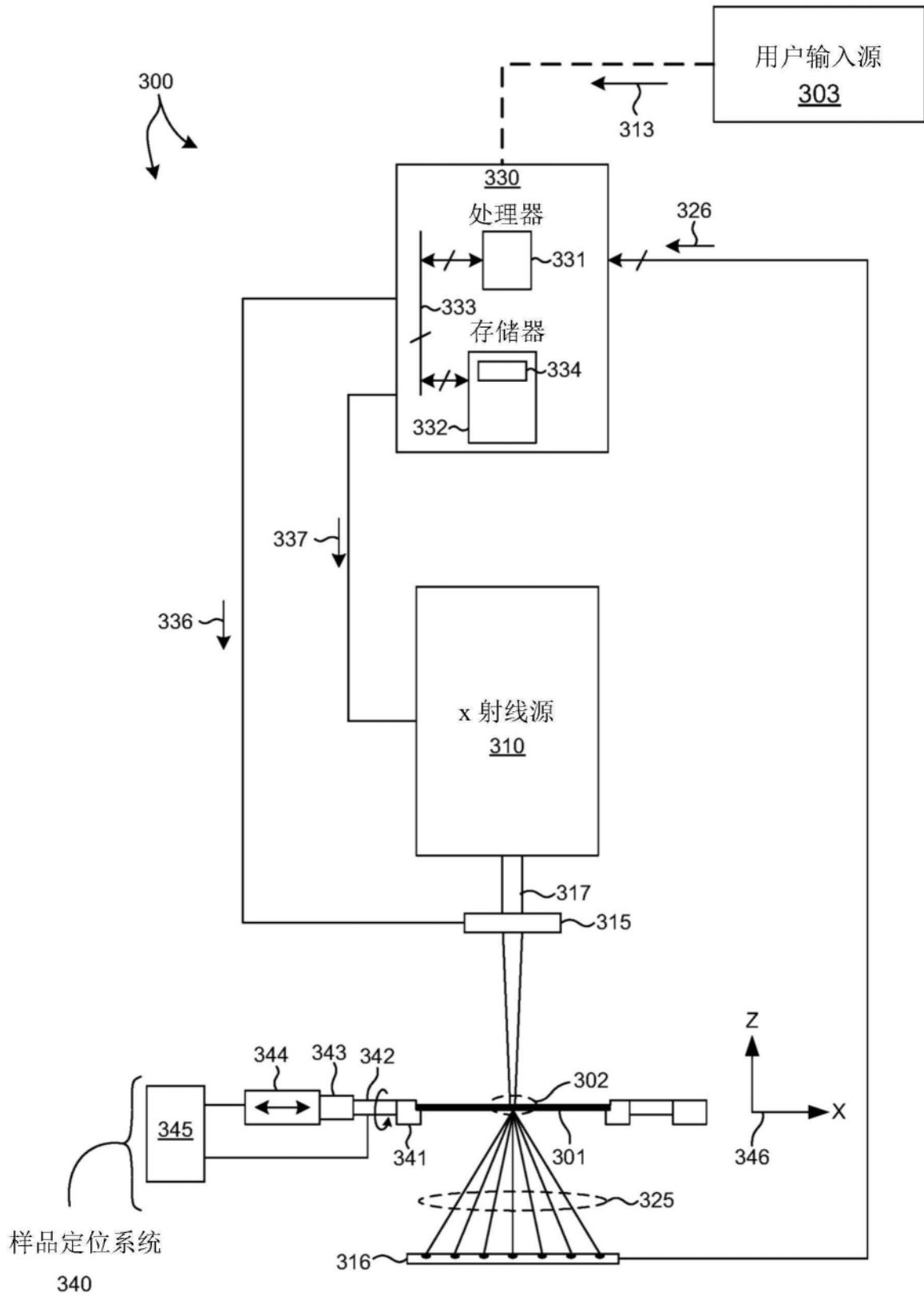


图4

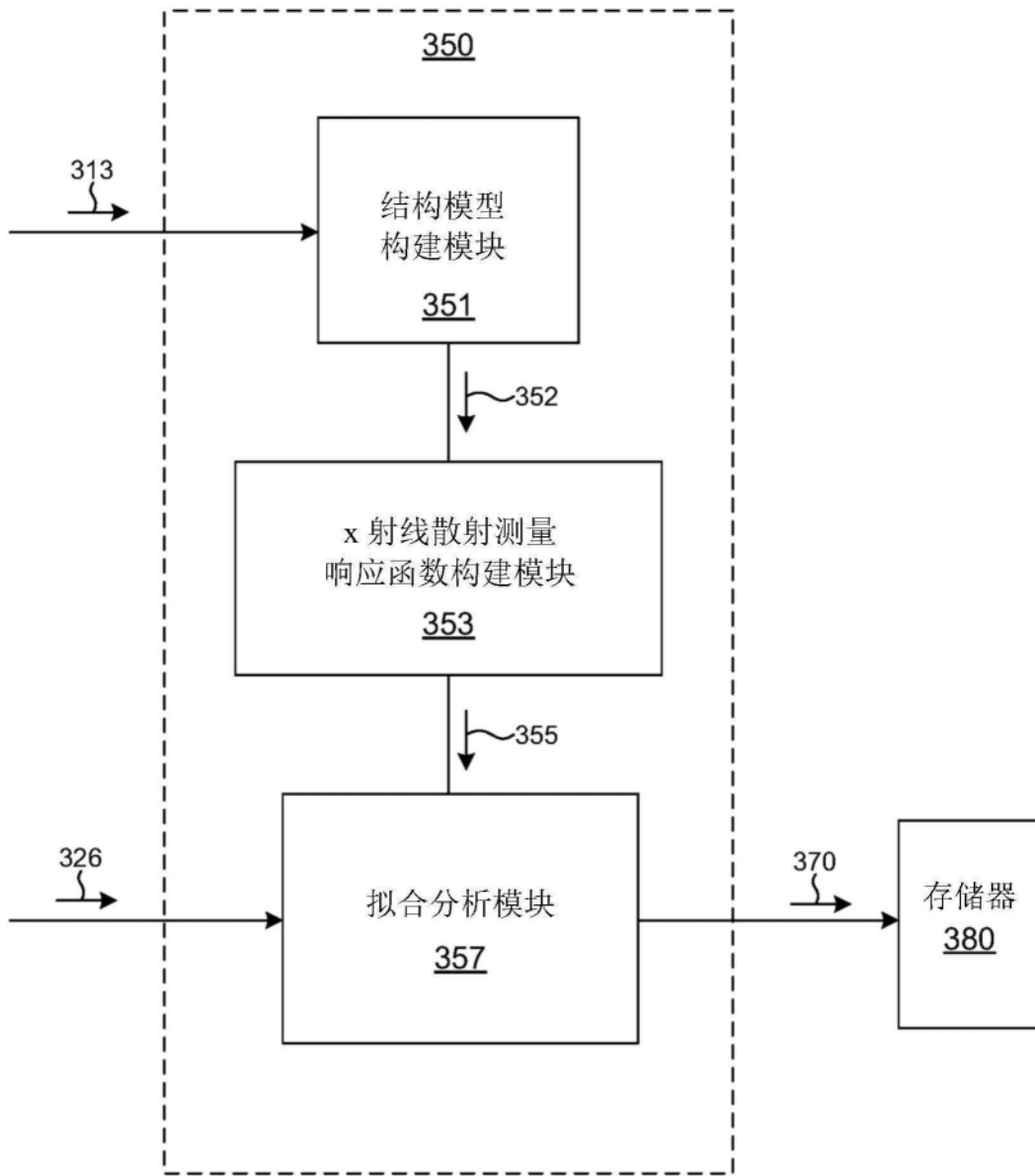


图5

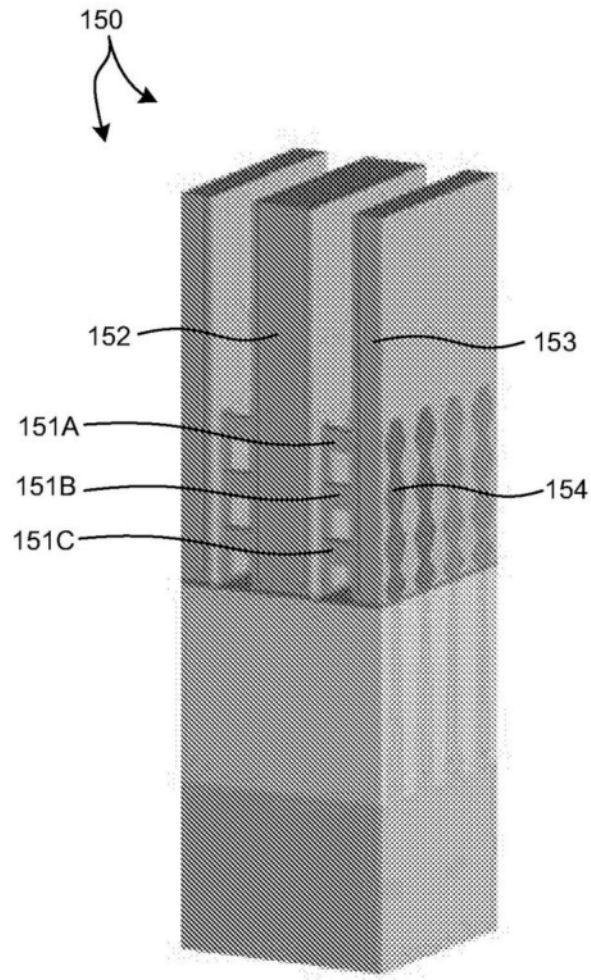


图6

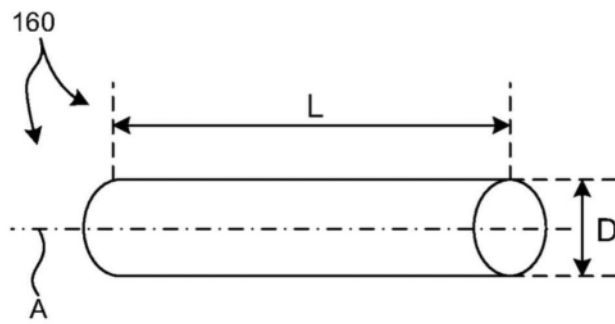


图7

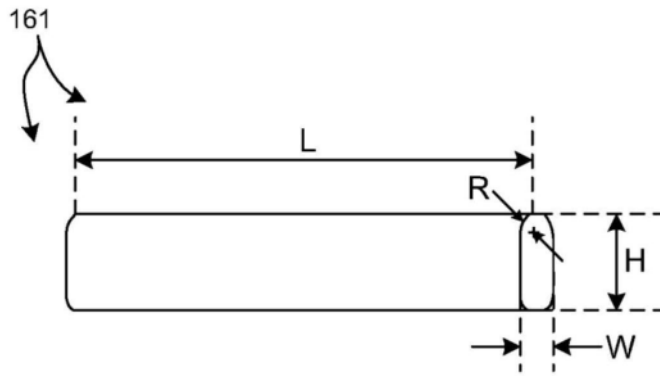


图8

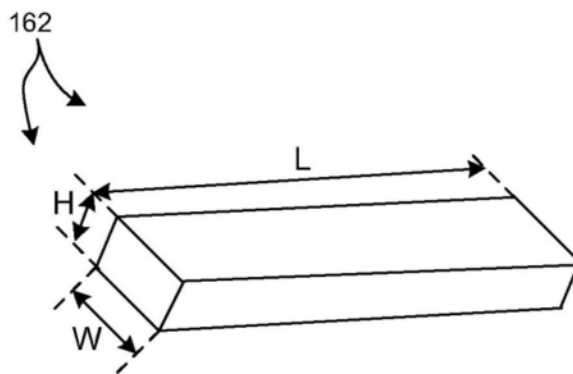


图9

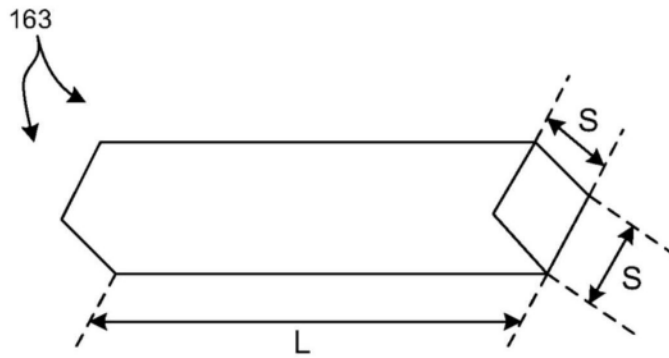


图10

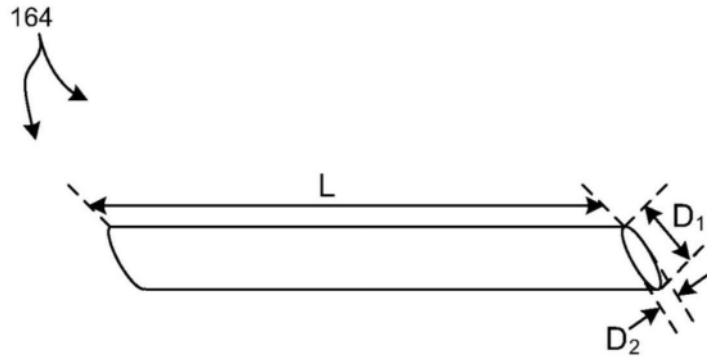


图11

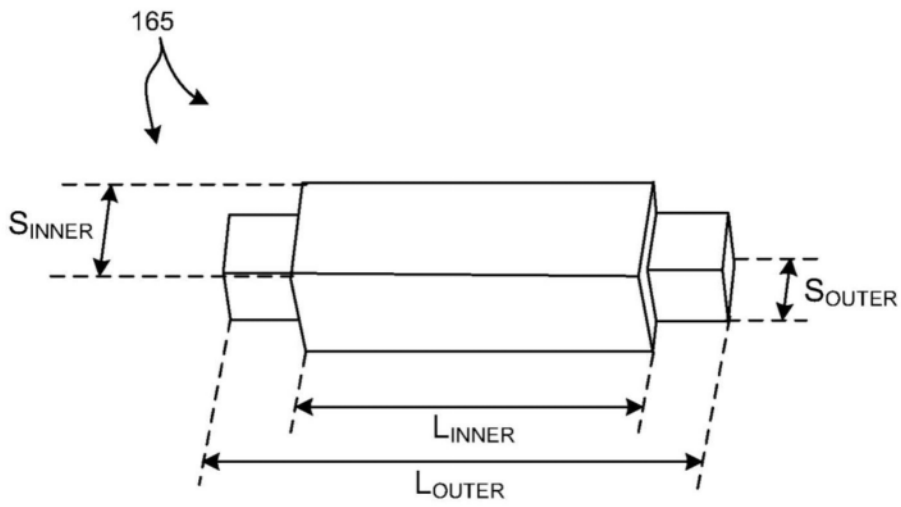


图12

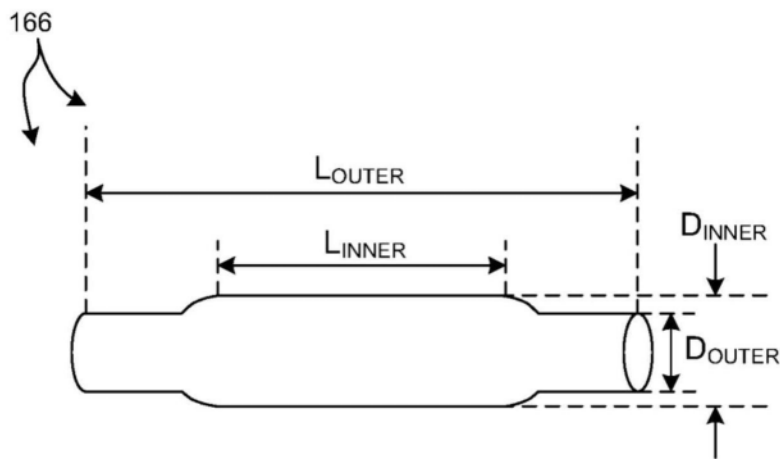


图13

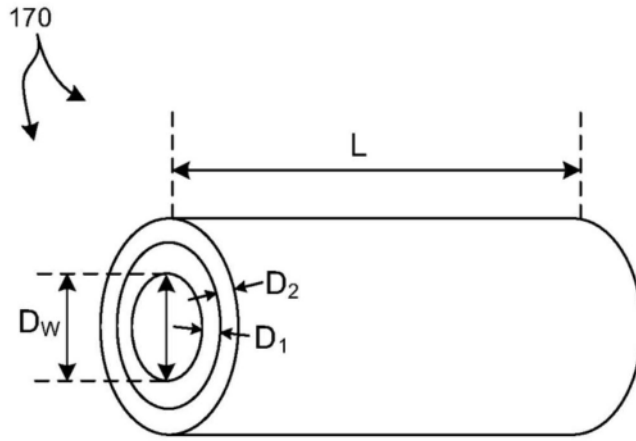


图14

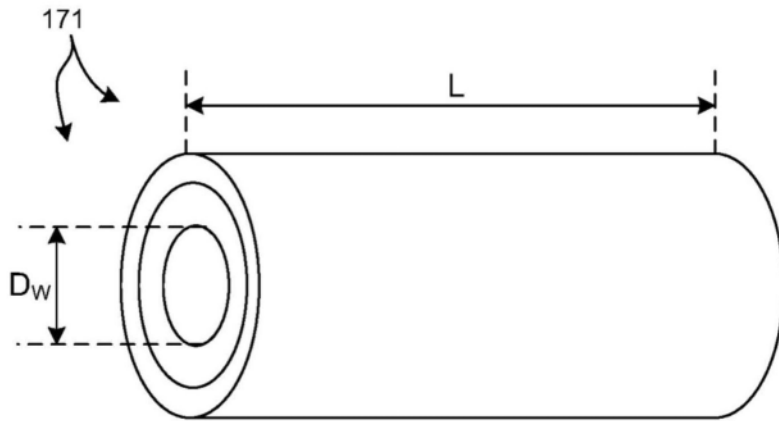


图15A

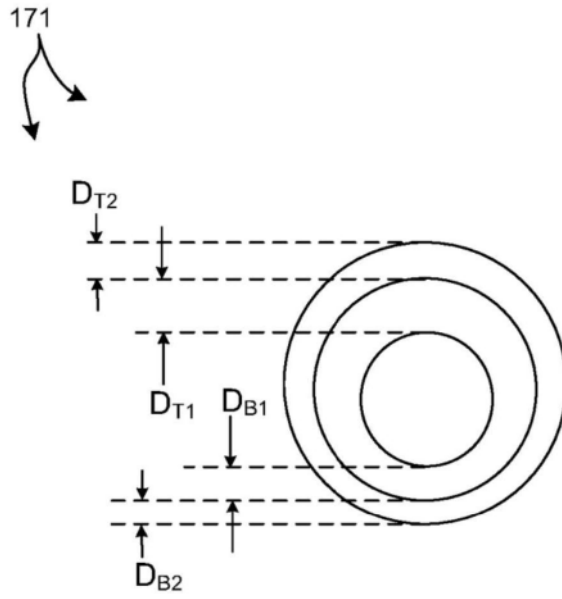


图15B

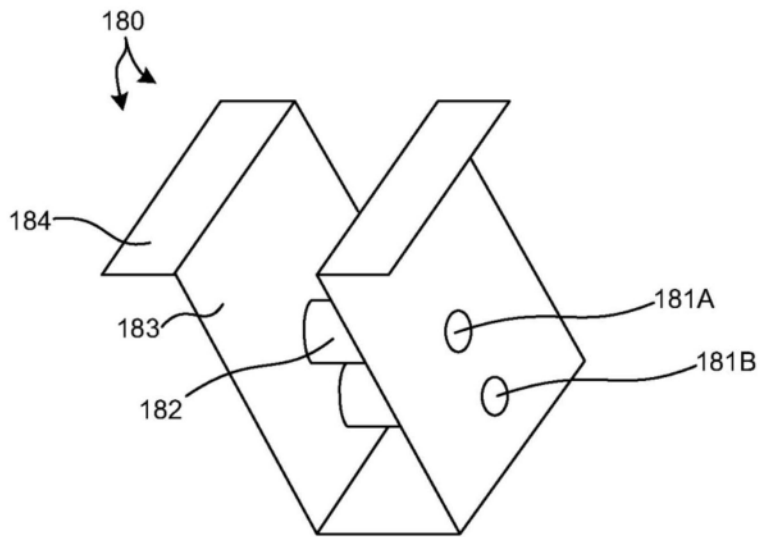


图16A

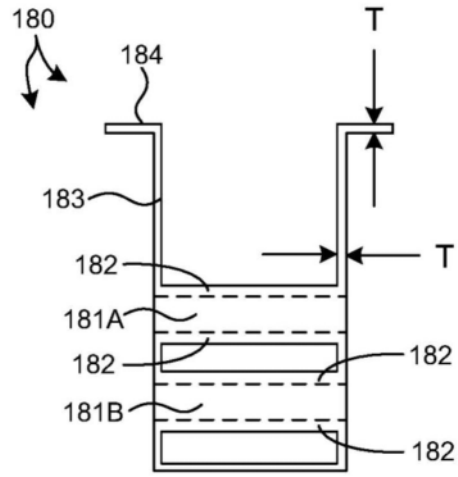


图16B

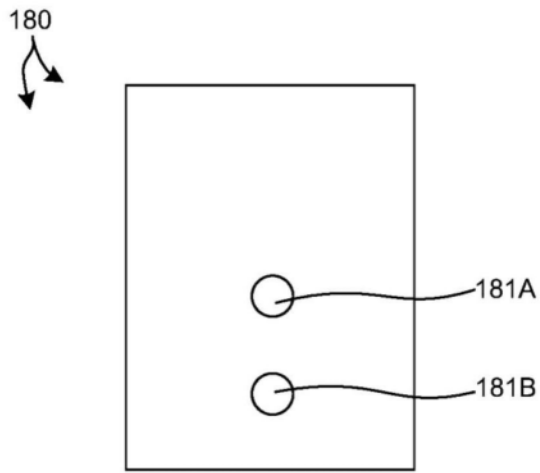


图16C

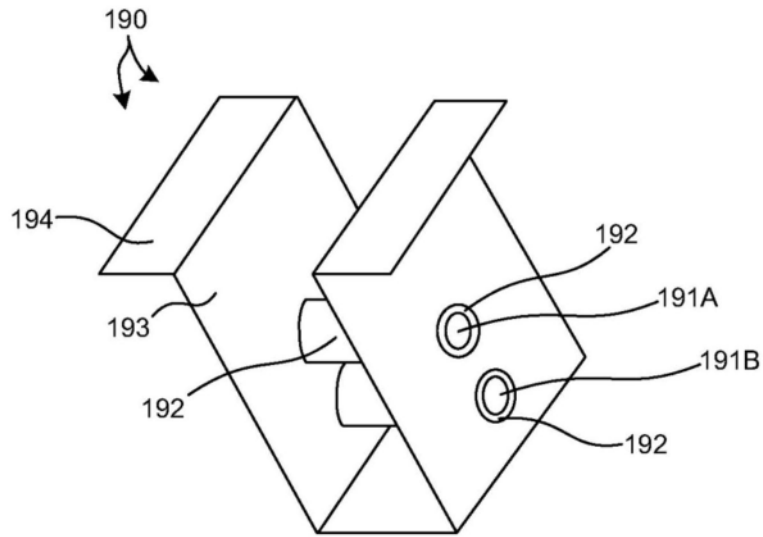


图17A

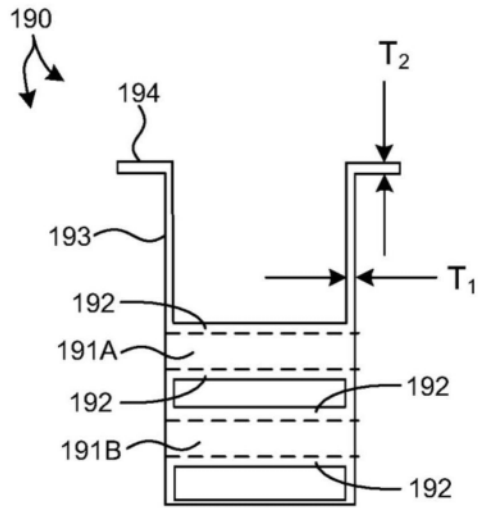


图17B

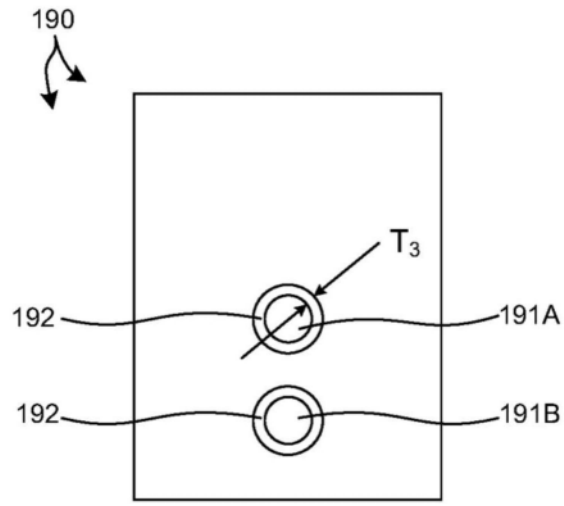


图17C

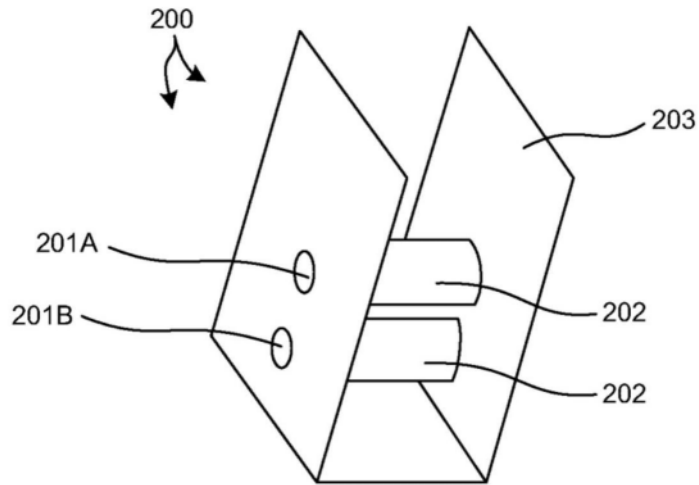


图18A

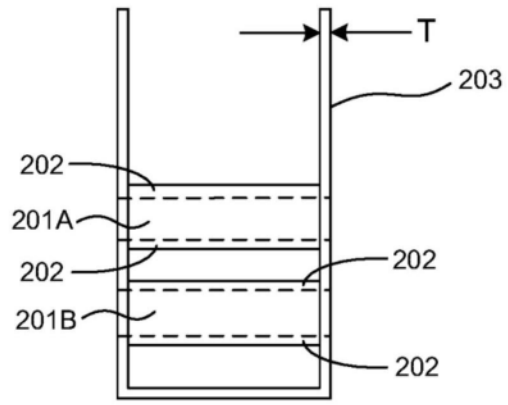


图18B

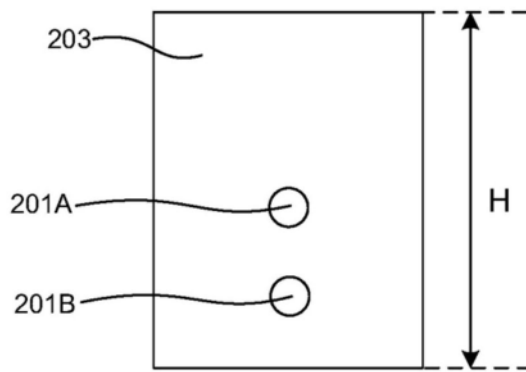


图18C

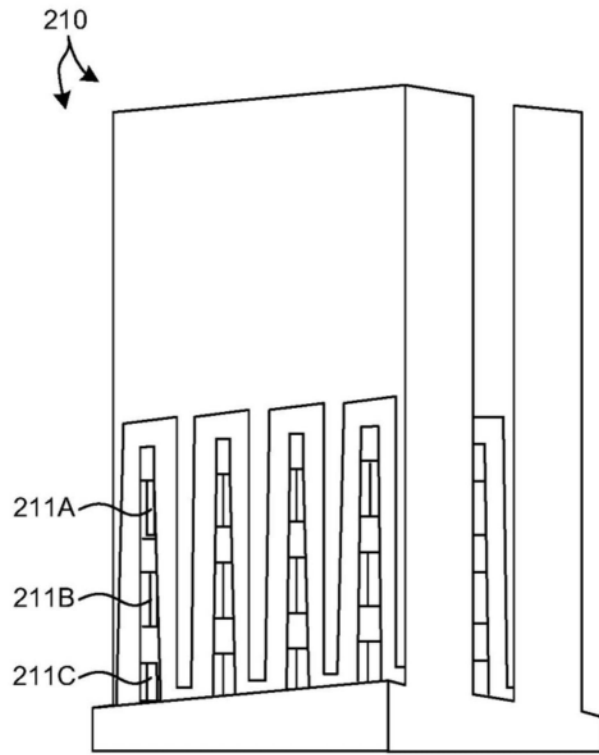


图19A

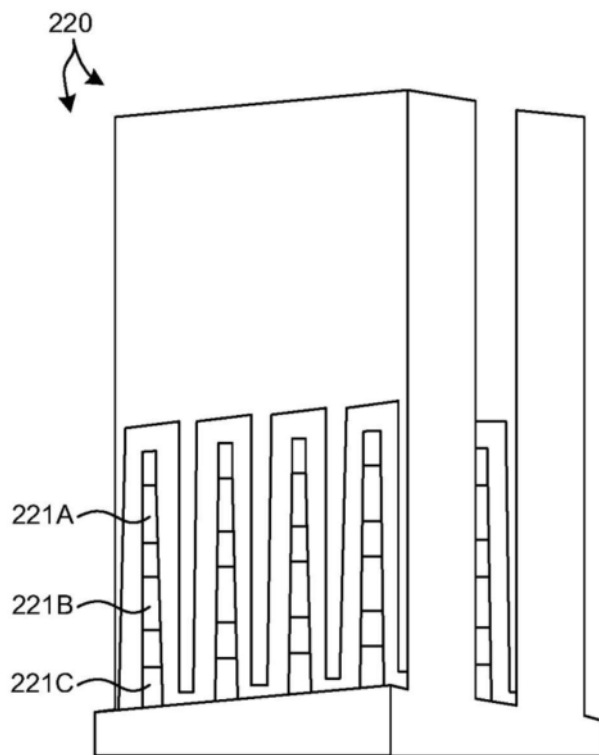


图19B

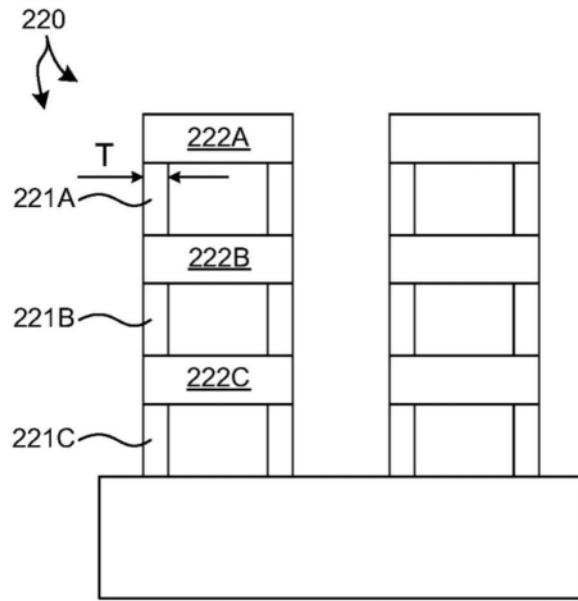


图20A

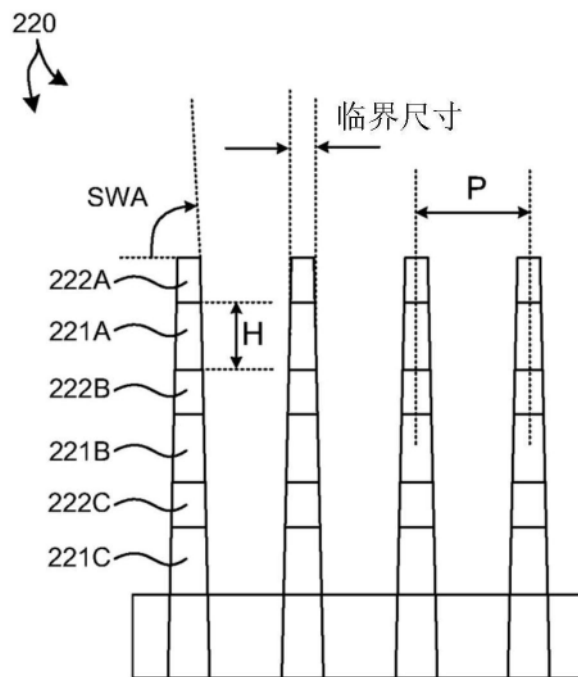


图20B

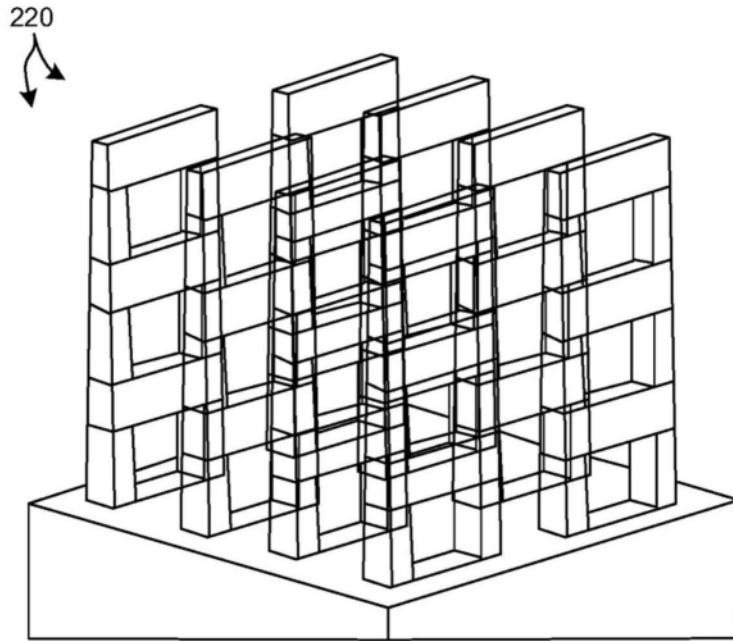


图20C

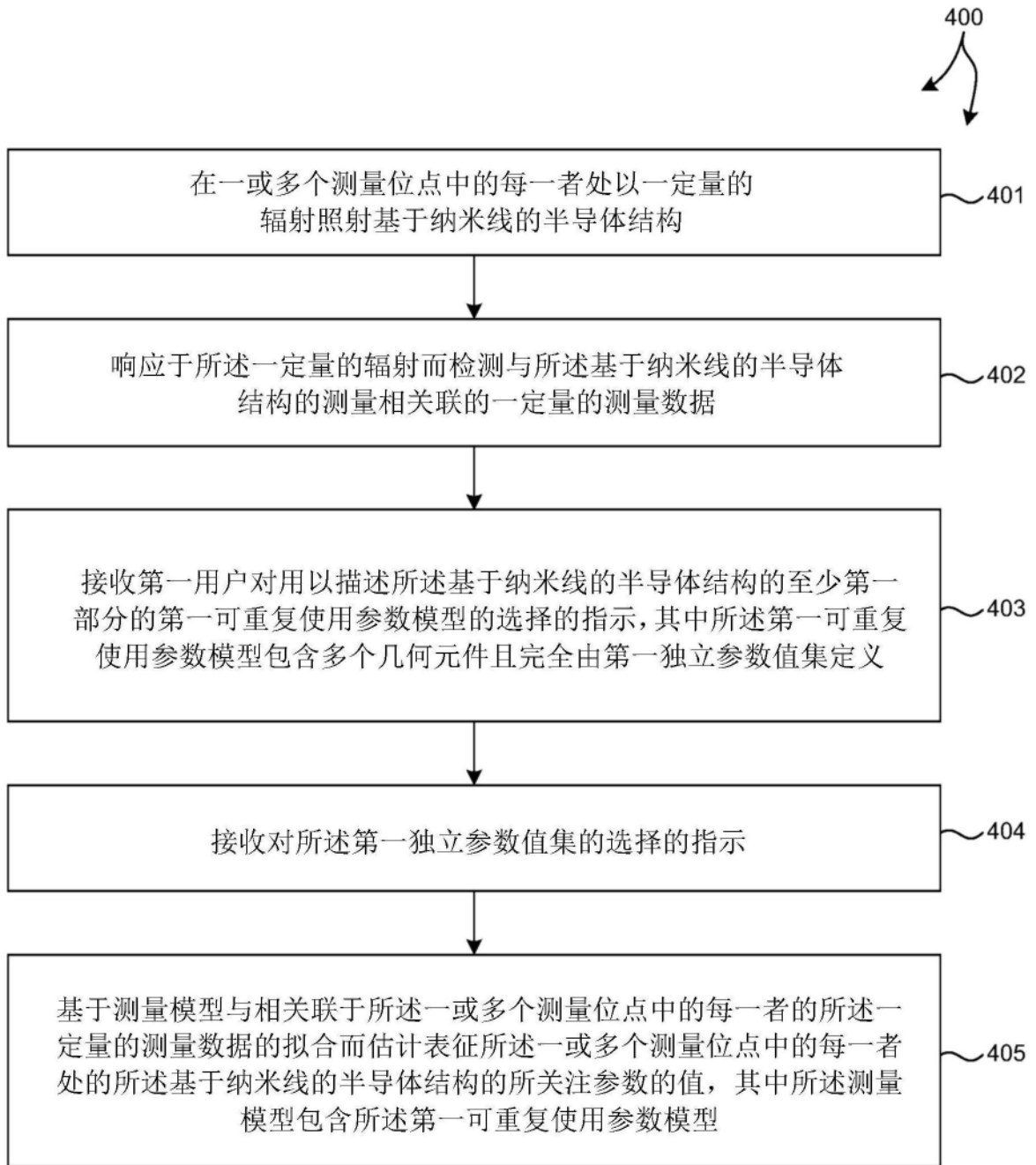


图21

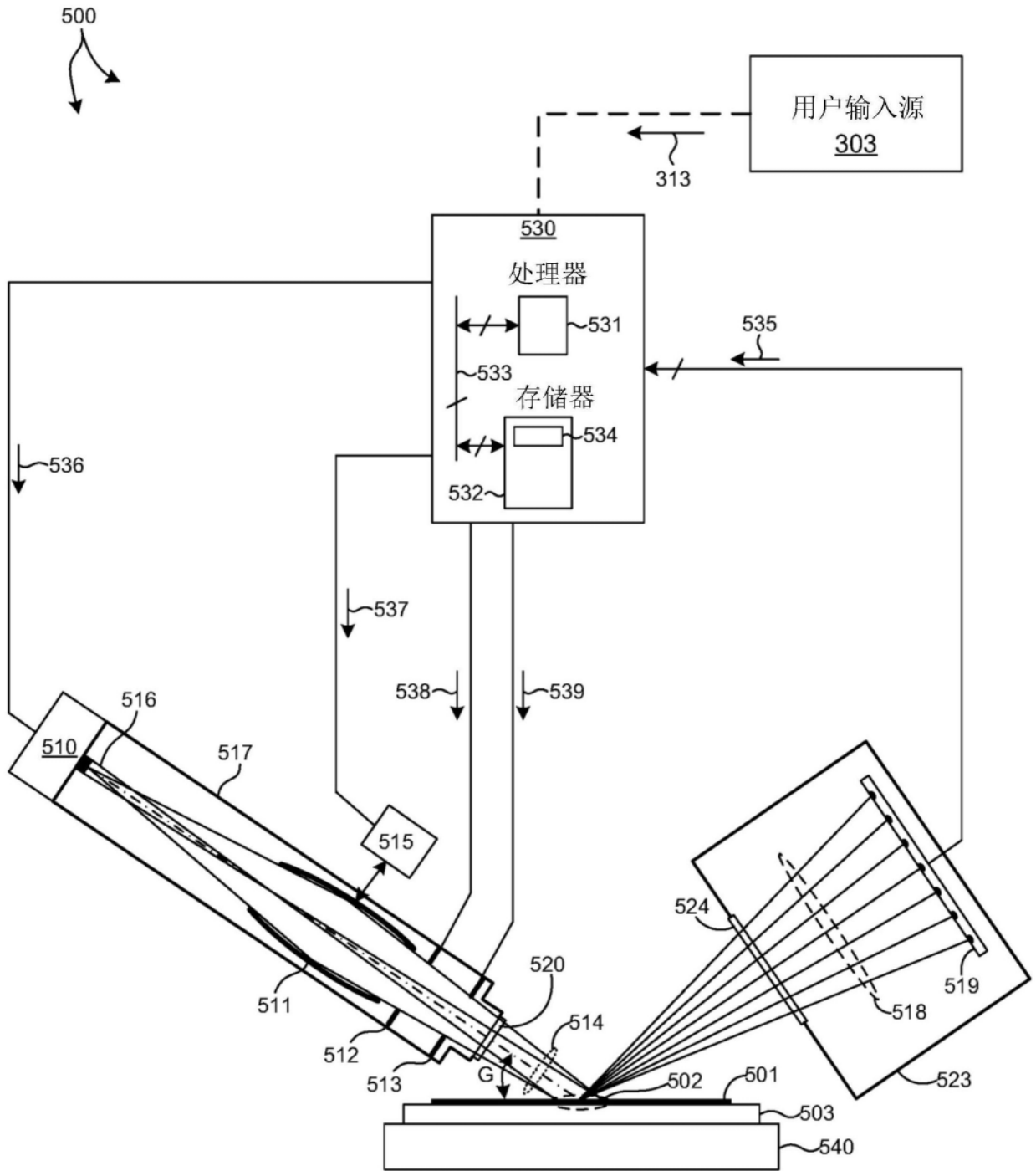


图22