



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113348358 B

(45) 授权公告日 2024. 04. 26

(21) 申请号 201980079978.2

(22) 申请日 2019.12.06

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113348358 A

(43) 申请公布日 2021.09.03

(30) 优先权数据
62/776,292 2018.12.06 US
16/287,523 2019.02.27 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2021.06.02

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2019/064805 2019.12.06

(87) PCT国际申请的公布数据
W02020/118125 EN 2020.06.11

(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 吴松 徐寅 A·舒杰葛洛夫

列-关·里奇·利 P·罗维拉
J·马德森

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

(51) Int.Cl.
G01N 21/59 (2006.01)
H01L 21/66 (2006.01)
G01B 11/02 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 101285677 A, 2008.10.15
CN 104583872 A, 2015.04.29
CN 105224704 A, 2016.01.06
CN 1672012 A, 2005.09.21
US 2011245955 A1, 2011.10.06
US 2015032398 A1, 2015.01.29
US 2017205342 A1, 2017.07.20

审查员 魏珊珊

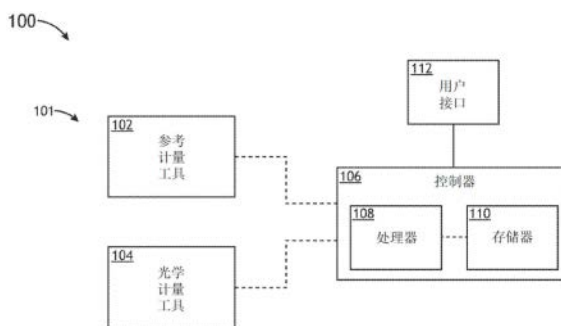
权利要求书4页 说明书15页 附图9页

(54) 发明名称

用于大量生产过程监视的宽松耦合检验及
计量系统

(57) 摘要

揭示一种计量系统。在一个实施例中,所述
计量系统包含通信地耦合到参考计量工具及光
学计量工具的控制器,所述控制器包含经配置以
进行以下操作的一或多个处理器:产生用于从来
自参考计量工具的计量数据确定测试HAR结构的
轮廓的几何模型;产生用于从来自所述光学计量
工具的计量数据确定测试HAR结构的一或多个材
料参数的材料模型;从所述几何模型及所述材料
模型形成复合模型;使用所述光学计量工具测量
至少一个额外测试HAR结构;及基于所述复合模
型及来自所述光学计量工具的与所述至少一个
HAR测试结构相关联的计量数据确定所述至少一
个额外测试HAR结构的轮廓。



1. 一种用于高纵横比HAR结构的计量系统,其包括:

控制器,其通信地耦合到参考计量工具及光学计量工具,所述控制器包含一或多个处理器,所述一或多个处理器经配置以执行经配置以引起所述一或多个处理器进行以下操作的程序指令:

产生用于从来自参考计量工具的计量数据确定测试HAR结构的轮廓的几何模型;

产生用于从来自所述光学计量工具的计量数据确定测试HAR结构的一或多个材料参数的材料模型;

从所述几何模型及所述材料模型形成用于基于来自所述光学计量工具的计量数据确定测试HAR结构的轮廓的复合模型;

使用所述光学计量工具测量至少一个额外测试HAR结构;及

基于所述复合模型及来自所述光学计量工具的与所述至少一个额外测试HAR结构相关联的计量数据确定所述至少一个额外测试HAR结构的轮廓。

2. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述几何模型是基于来自所述参考计量工具的与一或多个参考样品上的一或多个测试HAR结构相关联的计量数据产生。

3. 根据权利要求2所述的计量系统,其中所述材料模型是基于来自所述光学计量工具的与所述一或多个参考样品上的一或多个膜堆叠相关联的计量数据产生,其中所述一或多个膜堆叠及所述一或多个测试HAR结构是使用共同过程步骤形成。

4. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述复合模型包括最终复合模型。

5. 根据权利要求4所述的计量系统,其中从所述几何模型及所述材料模型形成用于从来自所述光学计量工具的计量数据确定所述测试HAR结构的所述轮廓的所述最终复合模型包括:

将所述材料模型映射到所述几何模型以产生初始复合模型。

6. 根据权利要求5所述的计量系统,其中从所述几何模型及所述材料模型形成用于从来自所述光学计量工具的计量数据确定所述测试HAR结构的所述轮廓的所述最终复合模型进一步包括:

从所述初始复合模型产生两个或更多个候选复合模型;

使用来自所述参考计量工具的计量数据作为参考数据对所述两个或更多个候选复合模型执行两个或更多个回归分析;及

选择候选复合模型作为最终复合模型,其中选择基于所述两个或更多个回归分析具有最高准确度的所述候选复合模型作为所述最终复合模型。

7. 根据权利要求6所述的计量系统,其中所述两个或更多个候选复合模型中的至少一者包括:

一或多个数学函数,其中所述一或多个数学函数中的每一者描述所述测试HAR结构的几何参数或材料参数中的至少一者。

8. 根据权利要求7所述的计量系统,其中所述一或多个数学函数包含传统多项式、勒壤得多项式、切比雪夫多项式或高斯函数中的至少一者。

9. 根据权利要求7所述的计量系统,其中所述至少一个几何参数或所述材料参数包含HAR结构轮廓、所述HAR结构的不对称性或所述HAR结构的扭曲中的至少一者。

10. 根据权利要求6所述的计量系统,其中产生两个或更多个候选复合模型包含削除所

述初始复合模型的一或多个项。

11. 根据权利要求6所述的计量系统,其中产生两个或更多个候选复合模型包含将初始复合模型的一或多个项固定到标称值。

12. 根据权利要求6所述的计量系统,其中产生两个或更多个候选复合模型包含将所述初始复合模型的两个或更多项彼此耦合。

13. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述光学计量工具包括:
光学临界尺寸计量工具。

14. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述参考计量工具包括:
X射线计量工具。

15. 根据权利要求14所述的计量系统,其中所述参考计量工具包括:
小角度X射线散射工具或软X射线计量工具中的至少一者。

16. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述参考计量工具包括:
电子束计量工具。

17. 根据权利要求16所述的计量系统,其中所述参考计量工具包括:
扫描电子显微镜或透射电子显微镜中的至少一者。

18. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述参考计量工具包括:
原子力显微镜。

19. 一种用于高纵横比HAR结构的计量系统,其包括:

参考计量工具;

光学计量工具;及

控制器,其通信地耦合到所述参考计量工具及所述光学计量工具,所述控制器包含一或多个处理器,所述一或多个处理器经配置以执行经配置以引起所述一或多个处理器进行以下操作的程序指令:

产生用于从来自所述参考计量工具的计量数据确定测试HAR结构的轮廓的几何模型;

产生用于从来自所述光学计量工具的计量数据确定测试HAR结构的一或多个材料参数的材料模型;

从所述几何模型及所述材料模型形成用于从来自所述光学计量工具的计量数据确定测试HAR结构的轮廓的复合模型;

使用所述光学计量工具测量至少一个额外测试HAR结构;及

基于所述复合模型基于来自所述光学计量工具的与所述至少一个额外测试HAR结构相关联的计量数据确定所述至少一个额外测试HAR结构的轮廓。

20. 一种用于高纵横比HAR结构的计量方法,其包括:

产生用于从来自参考计量工具的计量数据确定测试HAR结构的轮廓的几何模型;

产生用于从来自光学计量工具的计量数据确定测试HAR结构的一或多个材料参数的材料模型;

从所述几何模型及所述材料模型形成用于从来自所述光学计量工具的计量数据确定测试HAR结构的轮廓的复合模型;

使用所述光学计量工具测量至少一个额外测试HAR结构;及

基于最终复合模型及来自所述光学计量工具的与所述至少一个额外测试HAR结构相关

联的计量数据确定所述至少一个额外测试HAR结构的轮廓。

21. 根据权利要求20所述的计量方法,其中所述几何模型是基于来自所述参考计量工具的与一或多个参考样品上的一或多个参考HAR结构相关联的计量数据产生。

22. 根据权利要求21所述的计量方法,其中所述材料模型是基于来自所述光学计量工具的与所述一或多个参考样品上的一或多个膜堆叠相关联的计量数据产生,其中所述一或多个膜堆叠及所述一或多个参考HAR结构是使用共同过程步骤形成。

23. 根据权利要求20所述的计量方法,其中所述复合模型包括最终复合模型。

24. 根据权利要求23所述的计量方法,其中从所述几何模型及所述材料模型形成用于从来自所述光学计量工具的计量数据确定所述测试HAR结构的所述轮廓的所述最终复合模型包括:

将所述材料模型映射到所述几何模型以产生初始复合模型。

25. 根据权利要求24所述的计量方法,其中从所述几何模型及所述材料模型形成用于从来自所述光学计量工具的计量数据确定所述测试HAR结构的所述轮廓的所述复合模型进一步包括:

从所述初始复合模型产生两个或更多个候选复合模型;

使用来自所述参考计量工具的计量数据作为参考数据对所述两个或更多个候选复合模型执行两个或更多个回归分析;及

选择候选复合模型作为所述最终复合模型,其中选择基于所述两个或更多个回归分析具有最高准确度的所述候选复合模型作为所述最终复合模型。

26. 根据权利要求25所述的计量方法,其中所述两个或更多个候选复合模型中的至少一者包括:

一或多个数学函数,其中所述一或多个数学函数中的每一者描述所述测试HAR结构的几何参数或材料参数中的至少一者。

27. 根据权利要求26所述的计量方法,其中所述一或多个数学函数包含传统多项式、勒壤得多项式、切比雪夫多项式或高斯函数中的至少一者。

28. 根据权利要求26所述的计量方法,其中所述至少一个几何参数或所述材料参数包含HAR结构轮廓、所述HAR结构的不对称性或所述HAR结构的扭曲中的至少一者。

29. 根据权利要求25所述的计量方法,其中产生两个或更多个候选复合模型包含削除所述初始复合模型的一或多个项。

30. 根据权利要求25所述的计量方法,其中产生两个或更多个候选复合模型包含将初始复合模型的一或多个项固定到标称值。

31. 根据权利要求25所述的计量方法,其中产生两个或更多个候选复合模型包含将所述初始复合模型的两个或更多项彼此耦合。

32. 根据权利要求20所述的计量方法,其中所述光学计量工具包括:

光学临界尺寸计量工具。

33. 根据权利要求20所述的计量方法,其中所述参考计量工具包括X射线计量工具、电子束计量工具、扫描电子显微镜、透射电子显微镜或原子力显微镜中的至少一者。

34. 根据权利要求1所述的计量系统,其中产生所述几何模型包括:

使用来自所述参考计量工具的与一或多个参考样品上的一或多个测试HAR结构相关联

的计量数据来训练机器学习模型。

35. 根据权利要求34所述的计量系统,其中产生所述材料模型包括:

使用来自所述光学计量工具的与所述一或多个参考样品上的一或多个膜堆叠相关联的计量数据来训练机器学习模型,其中所述一或多个膜堆叠及所述一或多个测试HAR结构是使用共同过程步骤形成。

36. 根据权利要求35所述的计量系统,其中形成所述复合模型包括:

使用来自所述参考计量工具的计量数据以及来自所述光学计量工具的计量数据来训练机器学习模型。

37. 一种计量系统,其包括:

控制器,其通信地耦合到参考计量工具及光学计量工具,所述控制器包含一或多个处理器,所述一或多个处理器经配置以执行经配置以引起所述一或多个处理器进行以下操作的程序指令:

接收来自所述参考计量工具的与一或多个参考样品上的一或多个测试HAR结构相关联的计量数据;

接收来自所述光学计量工具的与所述一或多个参考样品上的一或多个膜堆叠相关联的计量数据,其中所述一或多个膜堆叠及所述一或多个测试HAR结构是使用共同过程步骤形成;

通过使用来自所述参考计量工具的所述计量数据以及来自所述光学计量工具的所述计量数据来训练机器学习模型,从而形成用于基于来自所述光学计量工具的计量数据确定测试HAR结构的轮廓的复合模型;

使用所述光学计量工具测量至少一个额外测试HAR结构;及

基于所述复合模型及来自所述光学计量工具的与所述至少一个额外测试HAR结构相关联的计量数据来确定所述至少一个额外测试HAR结构的轮廓。

用于大量生产过程监视的宽松耦合检验及计量系统

[0001] 相关申请案的交叉参考

[0002] 本申请案根据35 U.S.C. §119(e) 规定主张2018年12月6日申请的标题为用于大量生产过程监视的宽松耦合检验及计量系统 (LOOSELY COUPLED INSPECTION AND METROLOGY SYSTEM FOR HIGH-VOLUME PRODUCTION PROCESS MONITORING) 的命名吴松 (Song Wu)、许寅 (Yin Xu)、安德烈·舍格罗夫 (Andrei Shchegrov)、李烈权 (Lie-Quan Lee)、巴勃罗·罗维拉 (Pablo Rovira) 及乔纳森·麦森 (Jonathan Madsen) 为发明者的第62/776,292号美国临时申请案的权利,所述申请案的全文以引用的方式并入本文中。

技术领域

[0003] 本发明大体上涉及检验及计量的领域且更特定来说,涉及一种用于大量生产过程监视的系统及方法。

背景技术

[0004] 对于具有越来越小的占据面积及特征的电子逻辑及存储器装置的需求呈现超出所要尺度的制造的广范围的制造挑战。日益复杂的结构导致必须经监视及控制增加数目个参数以维持装置完整性。半导体制造领域中的一个重要特性是装置特征的临界尺寸 (CD), 包含高纵横比 (HAR) 结构的临界尺寸。

[0005] 传统上,已使用光学临界尺寸 (OCD) 计量工具以测量HAR结构的临界尺寸。然而,归因于穿透样品的光随着经测量的样品的深度衰减的事实,HAR结构的OCD建模的准确度受限制。因此,详细HAR结构轮廓信息难以获得。另外,较深HAR结构可极其难以使用传统OCD建模测量。无法测量较深HAR结构因样品的深度日益增加而恶化。随着样品中的层的数目增加,HAR结构的深度增加,这可引起HAR结构变得更弯曲及/或扭曲。因而,随着样品变得更深,准确地测量HAR结构的整个轮廓的需要继续增加,而OCD建模技术的有效性继续降低。

[0006] 用于测量HAR结构的CD的另一方法是使用透射小角度X射线散射 (T-SAXS) 技术。在测量HAR结构的CD及轮廓方面,T-SAXS技术更准确。然而,归因于T-SAXS利用经透射穿过样品的X射线的事实,由检测器收集的信号非常弱。在此方面,T-SAXS技术经受极低处理量,此抑制了其在高取样及/或大量生产制造中的采用。

[0007] 先前混合方法涉及组合OCD建模技术与T-SAXS技术。然而,在此混合方法下,每一个样品必须由OCD工具及X射线工具测量,从而引起混合方法经受T-SAXS技术的低处理量。此外,组合来自OCD工具及X射线工具的计量信息的模型的分析、计算及优化已难以实现,从而导致不准确的结果。

[0008] 因此,将可期望提供一种克服上文识别的先前方法的一或多个缺点的系统及方法。

发明内容

[0009] 揭示一种用于高纵横比 (HAR) 结构的计量系统。在一个实施例中,所述计量系统包

含通信地耦合到参考计量工具及光学计量工具的控制器的控制器。所述控制器可包含一或多个处理器,所述一或多个处理器经配置以执行经配置以引起一或多个处理器进行以下操作的程序指令:产生用于从来自参考计量工具的计量数据确定测试HAR结构的轮廓的几何模型;产生用于从来自所述光学计量工具的计量数据确定测试HAR结构的一或多个材料参数的材料模型;从所述几何模型及所述材料模型形成用于基于来自所述光学计量工具的计量数据确定测试HAR结构的轮廓的复合模型;使用所述光学计量工具测量至少一个额外测试HAR结构;及基于所述复合模型及来自所述光学计量工具的与所述至少一个额外测试HAR结构相关联的计量数据确定所述至少一个额外测试HAR结构的轮廓。

[0010] 揭示一种用于高纵横比 (HAR) 结构的计量系统。在一个实施例中,所述计量系统包含参考计量工具。在另一实施例中,所述计量系统包含光学计量工具。在另一实施例中,所述计量系统包含通信地耦合到所述参考计量工具及所述光学计量工具的控制器的控制器,所述控制器包含一或多个处理器,所述一或多个处理器经配置以执行经配置以引起所述一或多个处理器进行以下操作的程序指令:产生用于从来自所述参考计量工具的计量数据确定测试HAR结构的轮廓的几何模型;产生用于从来自所述光学计量工具的计量数据确定测试HAR结构的一或多个材料参数的材料模型;从所述几何模型及所述材料模型形成用于从来自所述光学计量工具的计量数据确定测试HAR结构的轮廓的复合模型;使用所述光学计量工具测量至少一个额外测试HAR结构;及基于所述复合模型基于来自所述光学计量工具的与所述至少一个额外测试HAR结构相关联的计量数据确定所述至少一个额外测试HAR结构的轮廓。

[0011] 揭示一种计量方法。在一个实施例中,所述计量方法包含:产生用于从来自参考计量工具的计量数据确定测试HAR结构的轮廓的几何模型;产生用于从来自光学计量工具的计量数据确定测试HAR结构的一或多个材料参数的材料模型;从所述几何模型及所述材料模型形成用于从来自所述光学计量工具的计量数据确定测试HAR结构的轮廓的复合模型;使用所述光学计量工具测量至少一个额外测试HAR结构;及基于最终复合模型及来自所述光学计量工具的与所述至少一个额外测试HAR结构相关联的计量数据确定所述至少一个额外测试HAR结构的轮廓。

[0012] 应理解,前述一般描述及以下详细描述两者仅是示范性及说明性的且未必限制如主张的本发明。并入本说明书中且构成本说明书的一部分的所附图式说明本发明的实施例且与一般描述一起用于解释本发明的原理。

附图说明

[0013] 所属领域的技术人员通过参考附图可更好理解本发明的若干优点,其中:

[0014] 图1说明根据本发明的一或多个实施例的计量系统的简化框图;

[0015] 图2说明根据本发明的一或多个实施例的包含参考计量工具的计量系统的简化框图;

[0016] 图3说明根据本发明的一或多个实施例的包含光学计量工具的计量系统的简化框图;

[0017] 图4A说明根据本发明的一或多个实施例的用于特性化高纵横比结构的方法的流程图;

[0018] 图4B说明根据本发明的一或多个实施例的用于特性化高纵横比结构的方法的一

部分的流程图；

[0019] 图5说明根据本发明的一或多个实施例的包含高纵横比结构的样品的横截面视图；

[0020] 图6A说明根据本发明的一或多个实施例的来自常规光学临界尺寸工具的临界尺寸测量的图表；

[0021] 图6B说明根据本发明的一或多个实施例的来自临界尺寸小角度X射线散射 (CD-SAXS) 工具的临界尺寸测量的图表；及

[0022] 图6C说明根据本发明的一或多个实施例的使用常规光学临界尺寸工具及临界尺寸小角度X射线散射 (CD-SAXS) 工具两者获得的临界尺寸测量的图表。

具体实施方式

[0023] 已关于某些实施例及其特定特征特别展示且描述本发明。将本文中阐述的实施例视为阐释性而非限制性。将本文中阐述的实施例视为阐释性而非限制性。所属领域的一般技术人员将容易了解，可做出形式及细节上的各种改变及修改而不脱离本发明的精神及范围。

[0024] 传统上，已使用光学临界尺寸 (OCD) 计量工具来测量HAR结构的临界尺寸。然而，归因于穿透样品的光随着经测量的样品的深度衰减的事实，HAR结构的OCD建模的准确度受限制。已用于测量HAR结构的CD的另一方法是使用透射小角度X射线散射 (T-SAXS) 技术。虽然T-SAXS技术在测量HAR结构的CD及轮廓方面更准确，但T-SAXS技术经受极低处理量，此抑制了其在大量生产过程监视中的采用。在2002年3月7日申请的标题为多技术薄膜分析工具 (MULTI-TECHNIQUE THIN FILM ANALYSIS TOOL) 的第6,816,570号美国专利中大体上描述使用X射线荧光 (XRF) 及电子显微镜分析来测量薄膜，所述专利的全文以引用的方式并入本文中。此外，先前混合方法涉及组合OCD建模技术与T-SAXS技术。然而，在此混合方法下，每一单个样品必须由OCD工具及X射线工具两者测量。此外，组合来自OCD工具及X射线工具的计量信息的模型的分析、计算及优化已难以实现，从而导致不准确的结果。在2013年11月7日申请的标题为组合X射线及光学计量 (COMBINED X-RAY AND OPTICAL METROLOGY) 的第9,535,018 B2号美国专利中大体上描述组合T-SAXS技术与光学计量工具的混合方法，所述专利的全文以引用的方式并入本文中。

[0025] 现将详细参考在附图中说明的所揭示标的物。

[0026] 大体上参考图1到6C，描述根据本发明的一或多个实施例的用于大量生产过程监视的系统及方法。

[0027] 本发明的实施例涉及一种用于大量生产监视的具有高处理量及高精度的宽松耦合计量或检验系统。更特定来说，本发明的实施例涉及一种系统，其包含与较低分辨率/高处理量光学工具组合的用于高精度参考测量的高分辨率/低处理量参考工具。本文中应注意，包含利用相同建模方面的参考计量工具及光学计量工具的系统可促进大量生产过程监视。

[0028] 本发明的进一步实施例涉及一种用于测量样品内的高纵横比 (HAR) 结构的临界尺寸 (CD) 的方法。在一个实施例中，所述方法包含组合由参考计量工具获取的计量数据与由光学计量工具获取的计量数据以产生可用于确定HAR结构的轮廓及CD的复合模型。

[0029] 图1说明根据本发明的一或多个实施例的计量系统100的简化框图。系统100可包含(但不限于)计量工具集群101、控制器106及用户接口112。计量工具集群101可包含一或多个计量工具、一或多个检验工具及类似者。举例来说,如图1中展示,计量工具集群101包含参考计量工具102及光学计量工具104。

[0030] 在一些实施例中,参考计量工具102包含高分辨率计量工具。举例来说,参考计量工具102可包含X射线计量工具。举例来说,参考计量工具102可包含软X射线计量工具、小角度X射线散射工具(例如,T-SAXS、CD-SAXS)及类似者。通过另一实例,参考计量工具102可包含(但不限于)电子束计量工具、扫描电子显微镜(SEM)、透射电子显微镜(TEM)、原子力显微镜(AFM)及类似者。在另一实施例中,光学计量工具104包含高处理量计量工具。举例来说,光学计量工具104可包含(但不限于)光学临界尺寸(OCD)计量工具。

[0031] 虽然在计量的背景内容中展示且描述本发明的大部分,但不应将此视为本发明的限制,除非本文中另外提及。本文中应注意,本发明的实施例可应用于除计量之外的检验背景内容中。举例来说,本文中预期,本发明的系统及方法可应用为利用用于精细扫描的参考工具(例如,X射线工具)及用于粗糙扫描的光学工具(其共享类似建模方面)的宽松耦合检验系统。

[0032] 在一个实施例中,参考计量工具102经配置以收集样品的计量数据,且将经收集计量数据传输到控制器106。类似地,在另一实施例中,光学计量工具104经配置以收集样品的计量数据,且将经收集计量数据传输到控制器106。本文中应注意,控制器106可使用所属领域中已知的任何技术通信地耦合到计量工具集群101的各种工具(例如,参考计量工具102及光学计量工具104)。

[0033] 在一个实施例中,控制器106包含一或多个处理器108及存储器110。在另一实施例中,一或多个处理器108可经配置以执行存储于存储器110中的一组程序指令,其中所述一组程序指令经配置以引起一或多个处理器108实行本发明的步骤。

[0034] 本文中应注意,系统100的一或多个组件可以所属领域中已知的任何方式通信地耦合到系统100的各种其它组件。举例来说,一或多个处理器108可经由有线连接(例如,铜导线、光纤电缆及类似者)或无线连接(例如,RF耦合、IR耦合、数据网络通信(例如,3G、4G、4G LTE、5G、WiFi、WiMax、蓝牙及类似者))彼此通信地耦合及耦合到其它组件。

[0035] 在一个实施例中,一或多个处理器108可包含所属领域中已知的任何一或多个处理元件。在此意义上,一或多个处理器108可包含经配置以执行软件算法及/或指令的任何微处理器型装置。在一个实施例中,一或多个处理器108可由桌上型计算机、主计算机系统、工作站、图像计算机、平行处理器或经配置以执行程序(其经配置以操作系统100)的其它计算机系统(例如,网络计算机)组成,如贯穿本发明所描述。应认识到,贯穿本发明描述的步骤可通过单个计算机系统或替代地通过多个计算机系统实行。此外,应认识到,贯穿本发明描述的步骤可在一或多个处理器108中的任何一或多者上实行。一般来说,术语“处理器”可经广泛定义以涵盖具有执行来自存储器110的程序指令的一或多个处理元件的任何装置。此外,系统100的不同子系统(例如,参考计量工具102、光学计量工具104、控制器106)可包含适用于实行贯穿本发明描述的步骤的至少一部分的处理器或逻辑元件。因此,上文描述不应解释为对本发明的限制而仅为说明。

[0036] 存储器110可包含所属领域中已知的适用于存储可由相关联的一或多个处理器

108执行的程序指令及从计量工具集群101的工具(例如,参考计量工具102、光学计量工具104、控制器106)接收的数据的任何存储媒体。举例来说,存储器110可包含(但不限于)只读存储器(ROM)、随机存取存储器(RAM)、磁性或光学存储器装置(例如,磁盘)、磁带、固态驱动器及类似者。应进一步注意,存储器110可与一或多个处理器108一起容置于共同控制器外壳中。在替代实施例中,存储器110可相对于处理器108、控制器106及类似者的物理位置远程定位。在另一实施例中,存储器110维持用于引起一或多个处理器108实行贯穿本发明描述的各种步骤的程序指令。

[0037] 在一个实施例中,用户接口112通信地耦合到控制器106。在一个实施例中,用户接口112可包含(但不限于)一或多个桌上型计算机、平板计算机、智能电话、智能手表或类似者。在另一实施例中,用户接口112包含用于将系统100的数据显示给用户的显示器。用户接口112的显示器可包含所属领域中已知的任何显示器。举例来说,显示器可包含(但不限于)液晶显示器(LCD)、基于有机发光二极管(OLED)的显示器或CRT显示器。所属领域的技术人员应认识到,能够与用户接口112集成的任何显示装置适用于本发明中的实施方案。在另一实施例中,用户可响应于经由用户接口112显示给用户的数据而输入选择及/或指令。

[0038] 图2说明根据本发明的一或多个实施例的包含参考计量工具102的计量系统100的简化框图。更特定来说,图2说明包含X射线计量工具(例如,参考计量工具102)的简化框图系统100。然而,本文中应进一步注意,图2中说明的参考计量工具102的相对组件及配置仅是为了阐释性目的提供,且不应视为限制性,除非本文中另外提及。

[0039] 在一个实施例中,参考计量工具102包含经配置以产生一或多个X射线光束107的X射线源103及X射线检测器122。X射线源103可包含所属领域中已知的任何X射线源。在一个实施例中,X射线源103包含激光产生等离子体(LPP)X射线源。举例来说,X射线源103可包含经配置以产生用于泵送等离子体116的光束105的激光源114。响应于激光辐射,等离子体116可经配置以产生空间相干X射线光束107。

[0040] 在另一实施例中,X射线源103经配置以将一或多个X射线光束107引导到安置于载物台组合件120上的样品118。样品118可包含所属领域中已知的任何样品,包含(但不限于)半导体晶片、三维闪存堆叠、三维垂直堆叠结构及类似者。载物台组合件120可包含所属领域中已知的经配置以促进样品118的移动的任何载物台组合件,包含(但不限于)X-Y载物台或R- θ 载物台。在另一实施例中,载物台组合件120经配置以在检验期间调整样品118的高度以维持样品118上的焦点。

[0041] X射线源103及X射线检测器122可透射模式布置。在额外及/或替代实施例中,X射线源103及X射线检测器122可反射模式布置。相反地,X射线检测器122经配置以收集从样品118散射的X射线。在一个实施例中,X射线检测器122经配置以通过收集/测量由样品118的一或多个HAR结构、缺陷或其它特征引起的一或多个X射线衍射图案109而获得样品118的计量数据。在另一实施例中,X射线检测器122经配置以将经收集及/或经获取计量数据传输到控制器106。

[0042] 图3说明根据本发明的一或多个实施例的包含光学计量工具104的计量系统100的简化框图。如本文中先前提及,光学计量工具104可包含(但不限于)光学临界尺寸计量工具。光学计量工具104可包含(但不限于)照明源124、照明臂111、集光臂113及检测器组合件134。

[0043] 在一个实施例中,光学计量工具104经配置以检验及/或测量安置于载物台组合件120上的样品118。照明源124可包含所属领域中已知的用于产生照明125的任何照明源,包含(但不限于)宽带辐射源。

[0044] 在另一实施例中,光学计量工具104可包含经配置以将照明125引导到样品118的照明臂111。应注意,光学计量工具104的照明源124可经配置以朝向所属领域中已知的任何定向,包含(但不限于)暗场定向、光场定向及类似者。照明臂111可包含所属领域中已知的任何数目及类型的光学组件。在一个实施例中,照明臂111包含一或多个光学元件126、光束分离器128及物镜130。在此方面,照明臂111可经配置以将来自照明源124的照明125聚焦到样品118的表面上。一或多个光学元件126可包含所属领域中已知的任何光学元件,包含(但不限于)一或多个镜面、一或多个透镜、一或多个偏光器、一或多个光束分离器及类似者。

[0045] 在另一实施例中,光学计量工具104包含经配置以收集从样品118反射或散射的照明的集光臂113。在另一实施例中,集光臂113可将经反射及经散射光引导及/或聚焦到检测器组合件134的一或多个传感器。应注意,检测器组合件134可包含所属领域中已知的用于检测从样品118反射或散射的照明的任何传感器及检测器组合件。

[0046] 在另一实施例中,光学计量工具104的检测器组合件134经配置以基于从样品118反射或散射的照明而收集样品118的计量数据。在另一实施例中,检测器组合件134经配置以将经收集及/或经获取计量数据传输到控制器106。

[0047] 如本文中先前提及,系统100的控制器106可包含一或多个处理器108及存储器110。存储器110可包含经配置以引起一或多个处理器108实行本发明的各个步骤的程序指令。在一个实施例中,程序指令经配置以引起一或多个处理器108:引起参考计量工具102收集包含一或多个HAR结构的样品118的计量数据;引起光学计量工具104收集样品118的计量数据;产生用于从来自参考计量工具102的计量数据确定测试HAR结构的轮廓的几何模型;产生用于从来自光学计量工具104的计量数据确定测试HAR结构的一或多个材料参数的材料模型;从几何模型及材料模型形成用于基于来自光学计量工具104的计量数据确定测试HAR结构的轮廓的复合模型;使用光学计量工具104测量至少一个额外测试HAR结构;及基于复合模型及来自光学计量工具104的与至少一个额外测试HAR结构相关联的计量数据确定至少一个额外测试HAR结构的轮廓。将关于图4进一步详细描述本发明的各种步骤。

[0048] 图4A说明根据本发明的一或多个实施例的用于特性化高纵横比(HAR)结构的方法400的流程图。方法400可用于特性化HAR结构的任何数目个物理特性,包含(但不限于)CD、不对称性、扭曲及类似者。在一些实施例中,使用基于来自高处理量计量工具(例如,光学计量工具104)的计量数据的复合模型测量HAR结构的物理性质,其中至少部分基于来自高分辨率计量工具(例如,参考计量工具102)的参考测量产生复合模型。在此方面,复合模型可组合参考样品的高分辨率测量的益处与高处理量计量。本文中应注意,可全部或部分通过系统100实施方法400的步骤。然而,应进一步认识到,方法400不限于系统100,这是因为额外或替代系统级实施例可实行方法400的步骤的全部或部分。

[0049] 在步骤402中,产生用于基于从参考计量工具(例如,参考计量工具102)接收的计量数据确定测试HAR结构的一或多个物理特性(例如,轮廓)的几何模型。如本文中使用的,术语“几何模型”是指用于确定HAR结构的轮廓(包含关于HAR结构的特定几何信息)的模型。举例来说,几何模型可通过将HAR结构的特定高度及/或高度比映射到HAR结构的对应CD值、不

对称性、扭曲值及类似者而确定HAR结构的详细轮廓。在此方面,几何模型可基于来自参考计量工具的计量数据提供样品的HAR轮廓数据。

[0050] 举例来说,一或多个处理器108可经配置以引起参考计量工具102收集样品118的一或多个测试HAR结构的计量数据。一或多个处理器108可进一步经配置以接收由参考计量工具102收集的计量数据且将计量数据保存于存储器110中。一或多个处理器108可进一步经配置以产生用于确定测试HAR结构中的至少一者的轮廓的几何模型。

[0051] 在一个实施例中,基于与一或多个参考样品118上的两个或更多个测试HAR结构相关联的计量数据产生几何模型。举例来说,HAR测试结构可包含、操作为定位于参考样品118上的任何位置处(例如,单元中、切割道中或类似者)的计量目标或并入定位于参考样品118上的任何位置处(例如,单元中、切割道中或类似者)的计量目标内。计量目标可包含所属领域中已知的任何类型的计量目标,例如(但不限于)单元中目标或盒式目标。几何模型可为基于与任何选定参考计量工具102的测量相关联的计量数据。此外,选定参考计量工具102可基于任何类型的经测量材料性质产生计量数据。举例来说,在X射线计量工具(例如,CD-SAXS)的情况下,可基于载子密度产生计量数据。

[0052] 在一个实施例中,几何模型可使用灵活数学描述(例如多项式曲线、高斯(Gaussian)函数或其它非线性函数)表示HAR结构的一或多个物理特性(例如,轮廓数据、CD值、不对称性、扭曲及类似者)。举例来说,测试HAR结构的轮廓可由几何模型表示,包含(但不限于)高斯函数、传统多项式、勒壤得(Legendre)多项式、切比雪夫(Chebyshev)多项式及类似者。因此,可通过使用多项式拟合方法拟合来自参考计量工具102的计量数据确定HAR结构的建模物理特性。

[0053] 几何模型可使用所属领域中已知的任何公式表示测试HAR结构的物理特性。在一个实施例中,一或多个处理器108经配置以根据方程式1中展示的形式多项式表示测试HAR结构的轮廓:

$$[0054] \quad P(x) = \sum_{i=0}^n a_i x^i = a_0 + a_1 x^1 + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n \quad (1)$$

[0055] 其中x表示物理尺寸,且 a_i 表示模型的参数。参数 a_i 可与来自参考计量工具的计量数据(例如,衍射角、强度或类似者)的一或多个方面相关。另外,如方程式1中可见,可灵活地调整多项式的阶数(例如,方程式1中的n的值)以准确地表示测试HAR结构的真实轮廓。

[0056] 本文中应注意,在步骤402中产生几何轮廓可包含产生与HAR结构的各种参数(例如,CD、不对称性、扭曲值及类似者)相关联的一或多个多项式的集合。举例来说,几何模型可包含三个多项式,其中第一多项式 $P_1(x)$ 描述HAR结构的详细轮廓信息,第二多项式 $P_2(x)$ 描述HAR结构的不对称性,且第三多项式 $P_3(x)$ 描述HAR结构的扭曲。在此方面,经产生几何模型可包含基于从参考计量工具102接收的计量数据的任何数目个多项式,所述任何数目个多项式在一起采用时描述HAR结构的几何参数。

[0057] 虽然几何模型经配置以描述HAR结构的各种几何参数,但本文中应注意,几何模型将固有地包含关于参考计量工具102的光谱区域(例如,X射线光谱及类似者)中样品118的材料性质的数据。在此方面,几何模型可固有地包含参考计量工具102的光谱区域中样品118的材料性质信息(例如,折射率性质、吸收性质及类似者)。举例来说,几何的参数 a_i 可受由参考计量工具102使用的入射辐射(例如,X射线光束107或类似者)的光谱(例如,能量及/或波长)以及此光谱区域中HAR结构的材料性质影响。

[0058] 在步骤404中,产生用于基于从光学计量工具(例如,高处理量计量工具)接收的计量数据确定测试HAR结构的材料及/或物理特性的材料模型。举例来说,一或多个处理器108可经配置以引起光学计量工具104收集样品118(例如,包含一或多个HAR结构的样品)的计量数据。一或多个处理器108可进一步经配置以接收由光学计量工具104收集的计量数据且将计量数据存储于存储器110中。一或多个处理器108可进一步经配置以产生用于基于来自光学计量工具104的计量数据确定测试HAR结构的一或多个材料性质的材料模型。

[0059] 材料模型可使用所属领域中已知的任何公式表示HAR结构的材料及/或物理特性。在一个实施例中,材料模型根据方程式1中展示的形式多项式表示一或多个材料及/或物理特性。在此方面,材料模型可用于确定测试HAR结构的与几何模型相同的至少一些特性(例如,轮廓信息、在各个高度处的CD、不对称性、扭曲或类似者)的值,但可基于来自高处理量计量工具而非参考计量工具的计量数据来完成。然而,如本文中先前提及,由光学计量工具104获取的计量数据可展现比由参考计量工具102获取的计量数据更低的分辨率及/或准确度。因此,本文中预期,相对于几何模型,材料模型的多项式的较高阶项可包含特定程度的不准确度。本文中进一步预期,材料模型的多项式可比几何模型的多项式包含更少项以便避免引入潜在误差。

[0060] 此外,如本文中关于参考计量工具102先前描述,材料模型可包含光学计量工具104的光谱区域中HAR结构的材料性质信息(例如,折射率性质、吸收性质及类似者)。举例来说,材料模型的参数 a_i 可受由光学计量工具104使用的入射辐射(例如,X射线光束107或类似者)的光谱(例如,能量及/或波长)以及此光谱区域中HAR结构的材料性质影响。

[0061] 在一个实施例中,基于来自光学计量工具104的与一或多个参考样品118上的一或多个HAR结构相关联的计量数据产生材料模型,所述一或多个HAR结构可包含、操作为定位于参考样品118上的任何位置处(例如,在单元中、在切割道中或类似者)的计量目标或并入定位于参考样品118上的任何位置处(例如,单元中、切割道中或类似者)的计量目标内。举例来说,一或多个处理器108可经配置以引起光学计量工具104从计量目标获取计量数据。在另一实施例中,光学计量工具104可获取表示从其制造HAR结构的样品的一或多个膜堆叠的计量数据。举例来说,一或多个处理器108可经配置以引起光学计量工具104收集使用与HAR结构共同的处理步骤制造的邻近或接近一或多个HAR结构定位的目标/位点的计量数据。在此方面,膜堆叠可包含、操作为定位于参考样品118上的任何位置处(例如,在单元中、在切割道中或类似者)的计量目标或并入定位于参考样品118上的任何位置处(例如,在单元中、在切割道中或类似者)的计量目标内。此外,计量目标可包含所属领域中已知的任何类型的计量目标,例如(但不限于)单元中目标或盒式目标。本文中预期,(经由折射率数据)从邻近HAR结构定位的目标/位点获取计量数据可将OCD计量数据提供给与HAR结构相关联的膜堆叠的材料性质的完整及/或有效建模,这可接着在一或多个后续步骤中基于参考计量数据促进更准确调整及建模。

[0062] 本文中进一步预期,在步骤404中测量的用于产生材料模型的计量目标及/或位点可包含(但不需要包含)在步骤402中测量的用于产生几何模型的至少一些相同目标及/或位点。相反地,在一些实施例中,与几何模型及材料模型的形成相关联的计量目标及/或位点不同。

[0063] 材料模型可包含存在于样品118及/或测试HAR结构的完整结构模型中的材料的光

学色散的列表。每一色散可为折射率相对于光学波长的表或公式。举例来说,材料模型可由光学计量工具104在使用类似过程步骤的目标(例如1D膜目标或2D膜目标)上测量或针对所述目标计算。在一个实施例中,可使用根据预定义表的从一组电子密度到一组光学色散的映射产生材料模型。

[0064] 在步骤406中,产生用于基于从光学计量工具104接收的计量数据确定测试HAR结构的物理及/或材料特性(例如,轮廓)的并入几何模型及材料模型两者的方面的复合模型。在此方面,复合模型可为基于几何模型,但经调适以利用来自光学计量工具104的计量数据。因此,可将复合模型视为“新”或“经更新”OCD模型。在一些实施例中,一或多个处理器108经配置以将复合模型存储于存储器110中。

[0065] 如本文中先前描述,与参考计量工具102相关联的处理量限制可提供对在生产环境中使用工具的实际限制。然而,光学计量工具104可提供所要水平的处理量,但呈较低分辨率。因此,复合模型可促进高处理量计量测量同时保持与参考计量工具102相关联的几何模型的准确度的至少一部分。

[0066] 在一个实施例中,复合模型包含特性化经测量的样品118的物理几何形状(例如,HAR结构的CD、HAR结构的深度、总膜厚度及类似者)以及样品118的材料性质(例如,构成膜的厚度、构成膜的折射率值、样品118内的膜的数目及类似者)两者的一或多个方程式(例如,一或多个多项式 $P_1(x)$ 、 $P_2(x)$ 、 $P_3(x)$ 、一或多个高斯函数或类似者)。举例来说,一或多个处理器108可经配置以使用一或多个算法或其它数学过程从几何模型提取由多项式曲线表达的几何信息。一或多个处理器108可进一步经配置以从材料模型提取材料信息,且组合材料信息与几何信息以便形成复合模型。

[0067] 关于图4B进一步详细描述形成复合模型(步骤406)。

[0068] 图4B说明根据本发明的一或多个实施例的用于特性化高纵横比结构的方法400的一部分的流程图。

[0069] 在步骤408中,将材料模型映射到几何模型以产生初始复合模型。本文中应认识到,测试HAR结构及/或样品118的材料性质(例如(但不限于)折射率或吸收值)可在不同光谱区域之间变化。此外,由参考计量工具102及光学计量工具104收集的计量数据可为基于不同材料性质/特性。举例来说,如本文中先前提及,CD-SAXS(例如,参考计量工具102)可使用载子密度作为对其执行计算的材料性质。比较之下,光学计量工具104可利用折射率作为对其执行计算的材料性质。在此方面,使用不同计量工具(例如,基于X射线的参考计量工具及光学计量工具)的相同目标的计量数据可不同。因此,几何模型及材料模型的建模参数(例如, a_i 参数)以及计量数据与所关注特性之间的相关联关系也可不同。

[0070] 在步骤408中,将材料模型映射到几何模型以便将样品118的与光学计量工具104的光谱范围相关的材料参数(例如,依据波长而变化的折射率)提供到几何模型的架构中。在此方面,从光学计量工具104接收的计量数据可通过使用初始复合模型而以几何模型的准确度及/或精确度拟合。换句话说,将材料模型映射到几何模型可提供用于经由初始复合模型将从光学计量工具104接收的计量数据拟合到几何模型的架构。在此过程中,实施各种科学计算算法(例如严格耦合波分析(RCWA)、有限差分时域(FDTD)及有限元素方法(FEM))以解决由麦克斯韦(Maxwell)方程式引发的电磁(EM)问题,从而模拟给定几何模型的合成信号。在此方面,实施优化算法以解决反演问题以将合成信号拟合到经收集测量信号。实施

分析算法以通过指示每一参数的敏感度及参数对之间的相关性而优化模型中的几何及材料参数。

[0071] 考虑(但不限于)本文中先前描述的多项式模型,几何模型可包含一或多个多项式的集合,其中多项式的“系数”(例如, a_1 、 a_2 、 a_3 及类似者)包含并入如由参考计量工具102测量的样品118的一或多个材料参数的方程式。类似地,材料模型可包含一或多个多项式的集合,其中多项式的“系数”(例如, a_1 、 a_2 、 a_3 及类似者)包含并入如由光学计量工具104测量的样品118的一或多个材料参数的方程式。在此实例中,将材料模型映射到几何模型可包含执行基于材料模型将几何模型的系数转换或重写为与光学计量工具相关的项的一或多个数学计算。在此方面,在步骤408中将材料模型映射到几何模型(例如,产生初始复合模型)包含调整几何模型使得几何模型可基于从光学计量工具104的光谱范围获取的计量数据描述HAR结构。

[0072] 在步骤410中,产生两个或更多个候选复合模型。本文中应认识到,在步骤408中产生的初始复合模型可包含在执行来自光学计量工具104的计量数据的拟合时可浮动的数个参数(例如, a_n)。此外,三维堆叠结构及经堆叠存储器结构的膜的数目每几年加倍,这提供增加建模复杂性。因此,可期望仅浮动可能参数的选定子集。这可通过产生并测试两个或更多个候选复合模型且选择候选模型中的一者作为最终复合模型而实行。

[0073] 在一个实施例中,通过对初始复合模型执行一或多个调整而产生候选复合模型。对用于产生一或多个候选复合模型的初始复合模型执行的一或多个调整可包含(但不限于):(1) 削除初始复合模型的项,(2) 固定初始复合模型的项,或(3) 将复合模型的两个或更多个项彼此耦合。又将论述这些调整中的每一者。

[0074] 在一个实施例中,可削除初始复合模型的参数以产生一或多个候选复合模型。举例来说,初始复合模型可包含多项式的集合,如方程式1中展示。为了产生候选复合模型,可削除(即,移除/删除)来自多项式集合的至少一个多项式的一或多个项以提供一组确定项(例如,截止阶数)。如本文中先前提及,由光学计量工具104获取的计量数据可具有有限分辨率。在此方面,从初始复合模型的至少一个多项式削除一或多个项可补偿光学计量工具104相对于参考计量工具102的此更低分辨率。

[0075] 在另一实施例中,初始复合模型的参数可为固定的(例如,设置到特定值)以便产生一或多个候选复合模型。举例来说,情况可为一或多个项(例如,较高阶项)以比光学计量工具104可解析更小的尺度描述HAR结构的变异。因此,此类项可固定到标称值而非浮动。例如,此类项可基于使用参考计量工具102对参考HAR样品的测量(例如,在步骤402中)固定到平均值(或任何其它选定值)。通过另一实例,可确定一或多个参数可仅在相对小范围内变化。因此,此类项可固定到范围中的值。

[0076] 在另一实施例中,初始复合模型的两个或更多个项可彼此耦合以便产生一或多个候选复合模型。举例来说,可确定两个或更多个参数高度相关。因此,可产生与参数相关的一或多个方程式以减小浮动参数的总数。例如,在发现参数 a_3 一致地为 a_1 的值的近似一半的情况中,可将参数 a_3 设置为 $0.5 \cdot a_1$ 。此外,在相关参数的情况中,任何参数可相对于任何其它参数加以定义。然而,本文中应认识到,较低阶参数可通常对所得轮廓具有较大贡献。因此,基于相对较低阶参数定义相对较高阶参数可促进准确拟合。

[0077] 在步骤412中,执行两个或更多个候选复合模型的回归分析。在一个实施例中,对

两个或更多个候选复合模型中的每一者执行回归分析包含将来自光学计量工具104的计量数据放入候选复合模型中的每一者中,及比较候选复合模型中的每一者的结果与来自参考计量工具102的计量数据。在此方面,可将来自参考计量工具102的计量数据视为“参考”数据,可比较所述参考数据与来自候选复合模型的结果。

[0078] 在一个实施例中,一或多个处理器108经配置以并行运行回归的至少一部分。当获得及接收来自参考计量工具102的计量数据时,一或多个处理器108可根据一组预定义度量(例如(但不限于)斜率、R平方、均方误差、偏差、平均差及类似者)优化模型。本文中应进一步注意,可应用额外及/或替代降维方法以描述参考数据,包含(但不限于)主成分分析(PCA)、线性鉴别分析(LDA)及类似者。

[0079] 在一个实施例中,一或多个处理器108经配置以通过对多组参考数据执行回归分析而确定每一参数的范围。可确定每一参数的范围以识别可在回归期间接受及/或在程序库中利用(例如,与步骤412相关联)的各浮动参数的值范围。如先前提及,一或多个处理器108可经配置以使用从参考计量工具102获得的与两个或更多个测试HAR结构相关联的计量数据执行回归分析。本文中应注意,对其执行回归分析的计量数据应表示全部过程变异。在一个实施例中,通过将最小值及最大值向外延伸 n 西格玛而确定至少一个参数的范围,其中西格玛包含参数的标准差。

[0080] 在步骤414中,选择候选复合模型作为最终复合模型。在一个实施例中,选择使用如由回归分析确定的来自光学计量工具104的计量数据最准确地定义HAR结构的候选复合模型作为最终复合模型。

[0081] 将再次参考图4A。一旦确定光学计量工具104的复合模型,其便可用于实时回归或产生用于快速测量的程序库。在步骤416中,基于使用最终复合模式分析的计量数据产生程序库。举例来说,程序库可基于拟合多个代表性参考数据集与最终复合模型而表示计量数据的方面与最终复合模型的参数之间的映射。在此方面,程序库可表示由复合模型定义的电磁解的准确近似计算。此外,与通过其它回归技术相比,执行新计量数据到最终复合模型的回归可操作上更快。与将计量数据应用到最终复合模型相关联的统计数据及值可存储于存储器110中作为值的程序库。在另一实施例中,可建构替代程序库以直接近似计算反演问题。在所述情况中,替代程序库的输入可包含来自光学计量工具104的光学信号,且程序库的输出可包含几何参数。

[0082] 在另一实施例中,最终复合模型可用于分析一或多个额外测试HAR结构。举例来说,最终复合模型可用于分析一或多个额外样品118上的一或多个额外测试HAR结构。在步骤418到422中描述最终复合模型到一或多个额外测试HAR结构的应用。

[0083] 在步骤418中,使用光学计量工具104测量至少一个额外测试HAR结构。举例来说,一或多个处理器108可经配置以引起光学计量工具104获取至少一个额外测试HAR结构的计量数据。

[0084] 在步骤420中,基于来自光学计量工具104的与至少一个HAR结构相关联的计量数据及最终复合模型确定至少一个额外测试HAR结构的轮廓。举例来说,一或多个处理器108可经配置以从光学计量工具104接收与额外测试HAR结构相关联的计量数据且将计量数据存储于存储器110中。一或多个处理器108可进一步经配置以通过将计量数据应用到存储于存储器110中的最终复合模型而确定额外测试HAR结构的轮廓。在额外及/或替代实施例中,

可基于存储于存储器中的程序库确定至少一个测试HAR结构的轮廓,其中程序库用于将经获取计量数据映射到最终复合模型。如本文中先前提及,相较于将经获取计量数据拟合到最终复合模型的传统基于回归的分析,经存储程序库可提供HAR结构的轮廓的操作上更快计算及建模。

[0085] 在步骤422中,产生一或多个前馈或反馈控制信号。一或多个前馈或反馈控制信号可经配置以基于由最终复合模型确定的至少一个额外测试HAR结构的轮廓调整一或多个工艺工具。举例来说,如果由最终复合模型确定额外测试HAR结构以展现与HAR结构的经规划轮廓的偏差,那么一或多个处理器108可经配置以产生经配置以调整在制造样品118上的HAR结构中涉及的一或多个工艺工具的一或多个反馈控制信号。

[0086] 如本文中先前提及,传统OCD建模方法可能是不准确且耗时的。传统OCD建模方法可能无法提供关于逻辑结构或三维堆叠存储器结构中的FinFET的数据。比较之下,本文中预期,本发明的实施例可利用由OCD及CD-SAXS技术两者提供的优点。另外,本发明的实施例可允许衬底/样品制造者加速工艺演进,改进效率且改进良率。本发明的一些实施例涉及使用可执行算法建模HAR结构以实行模型优化。此外,本文中预期,本发明的一些实施例可由机器学习促进。举例来说,代替OCD模型或除了OCD模型以外,如本文中描述,机器学习还可基于由参考计量工具102获得的计量数据及作为训练目标的HAR结构轮廓数据而实施。

[0087] 虽然本发明的大部分涉及HAR结构的测量及分析,但不应将此视为本发明的限制,除非本文中另外提及。在此方面,可应用本发明的实施例以测量、检验或以其它方式分析数个替代及/或额外特征,包含(但不限于)逻辑结构中的多轮廓、动态随机存取存储器(DRAM)结构中的接触孔及类似者。

[0088] 图5说明根据本发明的一或多个实施例的包含高纵横比(HAR)结构504的样品118的横截面视图500。如图5中可见,HAR结构504穿过多个堆叠膜502a到502n横穿整个样品118。如本文中描述,与HAR结构504相关联的测量的目标可为HAR结构504的轮廓,其包含HAR结构504在不同高度处的临界尺寸(CD)。

[0089] 可证实实例是阐释性的。在此实例中,提供具有多个HAR结构504的样品118(例如,三维堆叠存储器结构)。CD-SAXS工具(例如,参考计量工具102)用于收集与十个不同位点(例如,十个不同HAR结构504)相关联的计量数据。针对每一HAR结构在十一个不同高度处收集临界尺寸数据。基于由CD-SAXS工具(例如,参考计量工具102)获取的计量数据构建几何模型。

[0090] 继续相同实例,使用光学计量工具104以收集计量数据且基于样品118的折射率信息确定材料特性信息。通过使用光学计量工具104获取样品118的邻近每一HAR结构504的部分的计量数据收集材料信息。在此方面,通过光学计量工具104从样品的无HAR结构504(例如,邻近HAR结构504)的部分获取计量数据。本文中应注意,使用光学计量工具104从无经蚀刻HAR结构504的部分收集计量数据可允许一维结构的更快指令周期。另外,在邻近HAR结构504的位置处的膜层在样品118制造过程步骤期间共享相同条件,从而建议邻近HAR结构504的位置的共同层厚度及折射率。然而,本文中应注意,可不需要由光学计量工具104从紧邻HAR结构504的位置收集计量数据。继续实例,接着使用来自光学计量工具104的计量数据以产生材料模型。

[0091] 接着导入基于十个HAR结构504的计量数据产生的几何模型且将其与材料模型组

合以便形成复合模型(例如,经修改OCD模型)。接着,使几何参数及材料参数浮动以使用三维样品118(例如,三维堆叠存储器结构)的OCD信号获得拟合。本文中应注意,归因于近似计算方法可引起三维结构与一维结构之间的差异的事实,可需要使几何及材料参数浮动。另外,三维结构的工艺可包含可影响材料/结构的一或多个特性的蚀刻步骤。

[0092] 继续相同实例,如在本文中先前描述,通过使用由CD-SAXS(例如,参考计量工具102)获得的计量数据作为参考数据而进行分析及回归过程以确定浮动参数。本文中应注意,本文中描述的分析步骤可有助于调查且固定与膜502的底层的厚度相关联的值。如先前提及,可实行固定某些多项式参数的一或多个回归分析以确保复合模型的输出准确地表示参考数据(例如,来自参考计量工具102的计量数据)。在此方面,来自CD-SAXS(例如,参考计量工具102)的计量数据确保一个单个位点内的轮廓变异的保真度。最后,产生OCD程序库。在验证程序库之后,已发现,复合模型可重现回归结果,因此匹配由CD-SAXS(例如,参考计量工具102)获取的计量数据。参考图6A到6C进一步展示且描述此实例的结果。

[0093] 图6A说明根据本发明的一或多个实施例的来自常规光学临界尺寸工具(例如,光学计量工具104)的临界尺寸测量的图表602。图6B说明根据本发明的一或多个实施例的来自临界尺寸小角度X射线散射(CD-SAXS)工具(例如,参考计量工具102)的临界尺寸测量的图表604。图6C说明根据本发明的一或多个实施例的使用常规光学临界尺寸工具(例如,光学计量工具104)及临界尺寸小角度X射线散射(CD-SAXS)工具(例如,参考计量工具)两者获得的临界尺寸测量的图表606。

[0094] 一般来说,图6A到6C说明沿着x轴的各个位点的临界尺寸对沿着y轴的HAR结构高度。在此方面,图6A到6C说明沿着每一HAR结构504的整个高度的各个位点(例如,HAR结构504)的经确定临界尺寸。

[0095] 如图表602中展示,常规OCD建模技术不能够凭其自身准确地描述HAR结构504的轮廓。此由图表602中展示的不均匀轮廓说明。通过比较图表602与图表604,可见,CD-SAXS在描述HAR结构504的轮廓方面远更准确。此外,如图6C中展示,使用CD-SAXS参考的OCD针对全部位点展现非常均匀的轮廓,尽管其标称CD值存在差异。因此,证实相较于传统OCD建模技术,组合来自光学计量工具104及参考计量工具102两者的计量数据的本发明的实施例可能更准确且有效地建模HAR结构504的模型轮廓。

[0096] 本文中应进一步注意,由参考计量工具102及光学计量工具104收集的计量数据可不需要与相同位点(例如,相同HAR结构504)相关联。在此方面,参考计量工具102可收集与第一组HAR结构504相关联的计量数据,且光学计量工具104可收集与第二组HAR结构504相关联的计量数据,其中第二组的HAR结构504中的至少一者不同于第一组的HAR结构504。举例来说,如图6A中展示,光学计量工具104收集包含位点A到位点D的HAR结构504的计量数据。相反地,如图6B中展示,参考计量工具102收集包含位点1到位点10(其是与位点A到位点D不同的位点)的HAR结构504的计量数据。

[0097] 所属领域的技术人员将认识到,为概念清楚起见,将本文中描述的组件(例如,操作)、装置、对象及伴随其论述用作实例,且预期各种配置修改。因此,如本文中所使用,所阐述的特定范例及所附论述希望表示其更一般类别。一般来说,使用任何特定范例希望表示其类别,且未包含特定组件(例如,操作)、装置及对象不应被视为限制性的。

[0098] 所属领域的技术人员将了解,存在可实现本文中所描述的过程及/或系统及/或其

它技术的各种载体(例如,硬件、软件及/或固件),且优选载体将随着其中部署所述过程及/或系统及/或其它技术的背景内容而变化。举例来说,如果实施者确定速度及准确度是最重要的,那么实施者可选择主要硬件及/或固件载体;替代地,如果灵活性是最重要的,那么实施者可选择主要软件实施方案;或又再次替代地,实施者可选择硬件、软件及/或固件的某一组合。因此,存在可实现本文中描述的过程及/或装置及/或其它技术的若干可能载体,其中的任一者本质上并不优于其它者,这是因为待利用的任何载体是取决于其中将部署载体的背景内容及实施者的特定考虑因素(例如,速度、灵活性或可预测性)的选择,所述背景内容及考虑因素中的任一者可能改变。

[0099] 呈现先前描述以使所属领域的一般技术人员能够制造且使用如在特定应用及其要求的背景内容中提供的本发明。如本文中所使用,例如“顶部”、“底部”、“上方”、“下方”、“上”、“向上”、“下”、“下面”及“向下”的方向性术语希望为描述的目的而提供相对位置,且并不希望指定绝对参考系。所属领域的技术人员将明白对所描述实施例的各种修改,且本文中定义的一般原理可应用于其它实施例。因此,本发明并不希望限于所展示及描述的特定实施例,而是应符合与本文中揭示的原理及新颖特征一致的最广范围。

[0100] 关于本文中所使用的大体上任何复数及/或单数术语,所属领域的技术人员可根据背景内容及/或应用来将复数转化成单数及/或将单数转化成复数。为清楚起见,本文中未明确阐述各种单数/复数排列。

[0101] 本文中描述的全部方法可包含将方法实施例的一或多个步骤的结果存储于存储器中。结果可包含本文中描述的任何结果且可以所属领域中已知的任何方式存储。存储器可包含本文中描述的任何存储器或所属领域中已知的任何其它合适存储媒体。在已存储结果之后,结果可在存储器中存取且通过本文中描述的任何方法或系统实施例使用、经格式化以显示给用户、通过另一软件模块、方法或系统及类似者使用。此外,结果可“永久地”、“半永久地”、“暂时地”存储或存储达某一时段。举例来说,存储器可为随机存取存储器(RAM),且结果可能不一定无限期地保存于存储器中。

[0102] 进一步预期,上文描述的方法的实施例中的每一者可包含本文中描述的任何其它方法的任何其它步骤。另外,上文描述的方法的实施例中的每一者可通过本文中描述的任何系统执行。

[0103] 本文中描述的标的物有时说明其它组件内含有或与其它组件连接的不同组件。应理解,此类所描绘的架构仅仅是示范性,且事实上可实施实现相同功能性的许多其它架构。在概念意义上,用以实现相同功能性的组件的任何布置有效“相关联”使得实现所要功能性。因此,在本文中组合以实现特定功能性的任何两个组件可被视为彼此“相关联”使得实现所要功能性而不考虑架构或中间组件。同样地,如此相关联的任何两个组件还可被视为彼此“连接”或“耦合”以实现所要功能性,且能够如此相关联的任何两个组件还可被视为彼此“可耦合”以实现所要功能性。可耦合的特定实例包含(但不限于)可物理配合及/或物理交互组件及/或可无线交互及/或无线交互组件及/或逻辑交互及/或可逻辑交互组件。

[0104] 此外,应理解,本发明由所附权利要求书界定。所属领域的技术人员将理解,一般来说,本文中所使用的术语且尤其所附权利要求书(例如,所附权利要求书的主体)中所使用的术语一般希望为“开放式”术语(例如,术语“包含(including)”应解释为“包含但不限于”,术语“具有”应解释为“至少具有”,术语“包括(includes)”应解释为“包括但不限于”,

及类似者)。所属领域的技术人员应进一步了解,如果想要引入权利要求叙述的特定数目,那么此意图将被明确叙述于权利要求中,且如果缺乏此叙述,那么不存在此意图。举例来说,作为理解的辅助,以下所附权利要求书可含有使用引导性短语“至少一个”及“一或多个”来引入权利要求叙述。然而,此类短语的使用不应被解释为隐含:由不定冠词“一”引入的权利要求叙述将含有此引入权利要求叙述的任何特定权利要求限制为仅含有此叙述的发明,即使相同权利要求包含引导性短语“一或多个”或“至少一个”及例如“一”的不定冠词(例如,“一”通常应被解释为意指“至少一个”或“一或多个”);上述内容对用于引入权利要求叙述的定冠词的使用同样适用。另外,即使明确叙述引入权利要求叙述的特定数目,但所属领域的技术人员还应认识到,此叙述通常应被解释为意指至少所述叙述数目(例如,“两条叙述”的基本叙述(无其它修饰语)通常意指至少两条叙述或两条或两条以上叙述)。此外,在其中使用类似于“A、B及C中的至少一者及类似者”的惯用表述的所述例子中,此构造一般意指所属领域的技术人员将理解的惯用表述意义(例如,“具有A、B及C中的至少一者的系统”将包含(但不限于)仅具有A、仅具有B、仅具有C、同时具有A及B、同时具有A及C、同时具有B及C及/或同时具有A、B及C的系统,等等)。在其中使用类似于“A、B或C中的至少一者及类似者”的惯用表述的所述例子中,此构造一般意指所属领域的技术人员将理解的惯用表述意义(例如,“具有A、B或C中的至少一者的系统”将包含(但不限于)仅具有A、仅具有B、仅具有C、同时具有A及B、同时具有A及C、同时具有B及C及/或同时具有A、B及C的系统,等等)。所属领域的技术人员应进一步了解,无论在实施方式、权利要求书或图式中,呈现两个或更多个替代项的实际上任何转折连词及/或短语通常应被理解为涵盖以下可能性:包含所述项中的一者、所述项中的任一者或两项。举例来说,短语“A或B”通常将被理解为包含“A”或“B”或“A及B”的可能性。

[0105] 据信,本发明及许多其伴随优点将通过前述描述理解,且将明白,可对组件的形式、构造及布置做出多种改变而不脱离所揭示的标的物或不牺牲全部其材料优点。所描述的形式仅仅是解释性,且以下权利要求书的意图是涵盖且包含此类改变。此外,应理解,本发明由所附权利要求书定义。

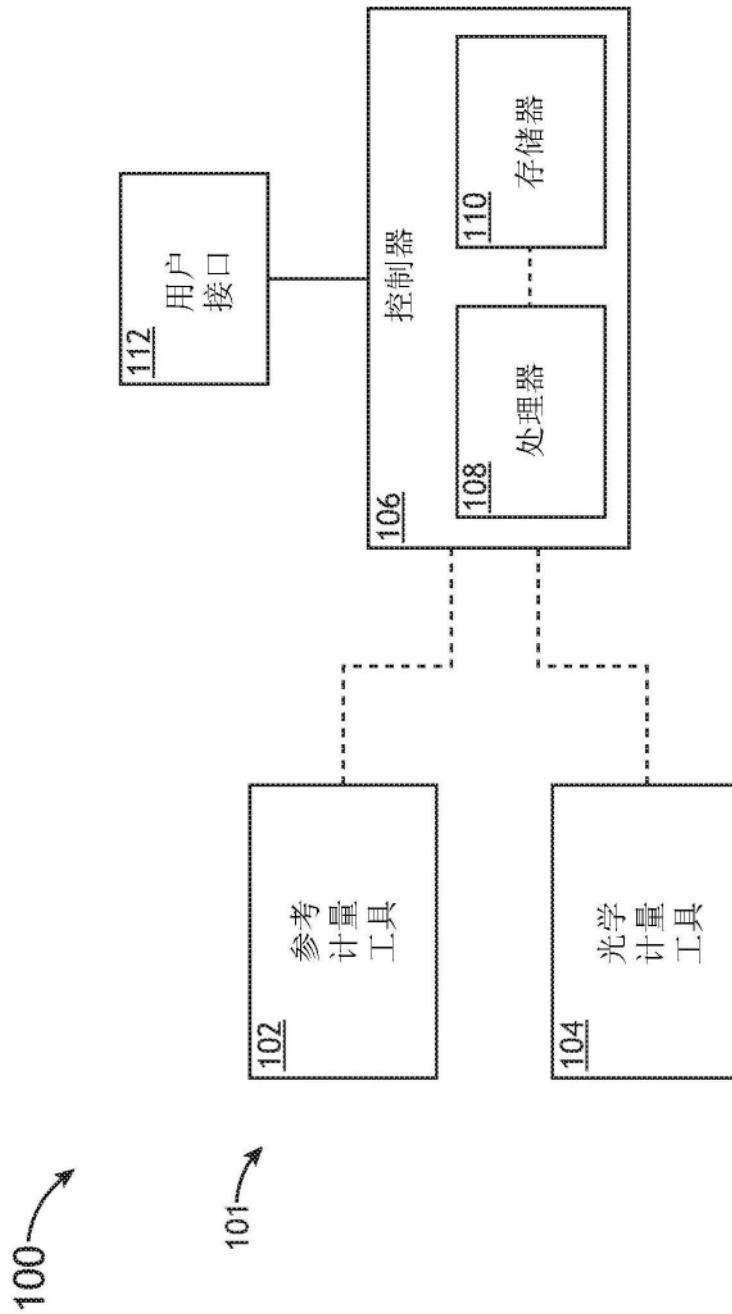


图1

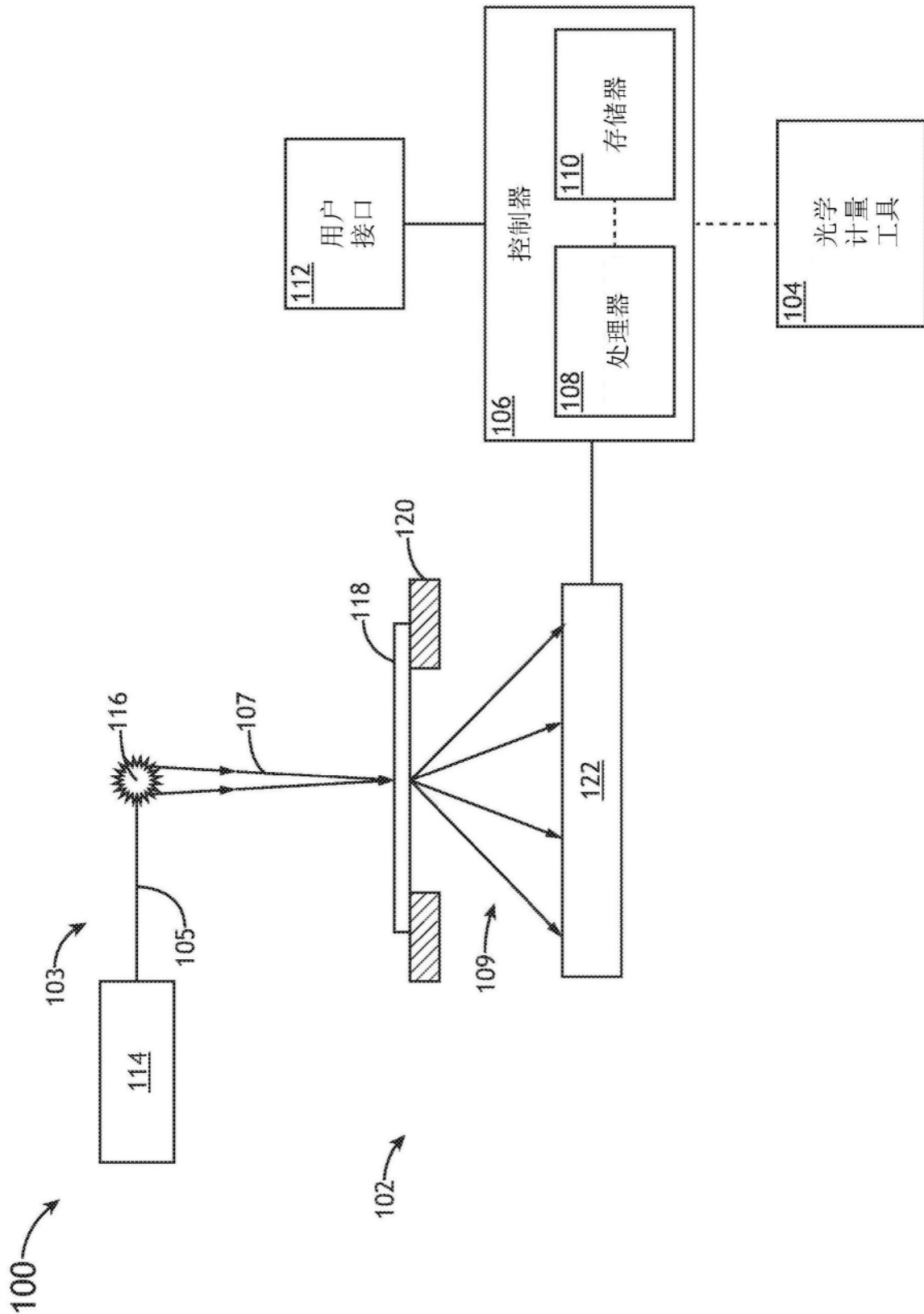


图2

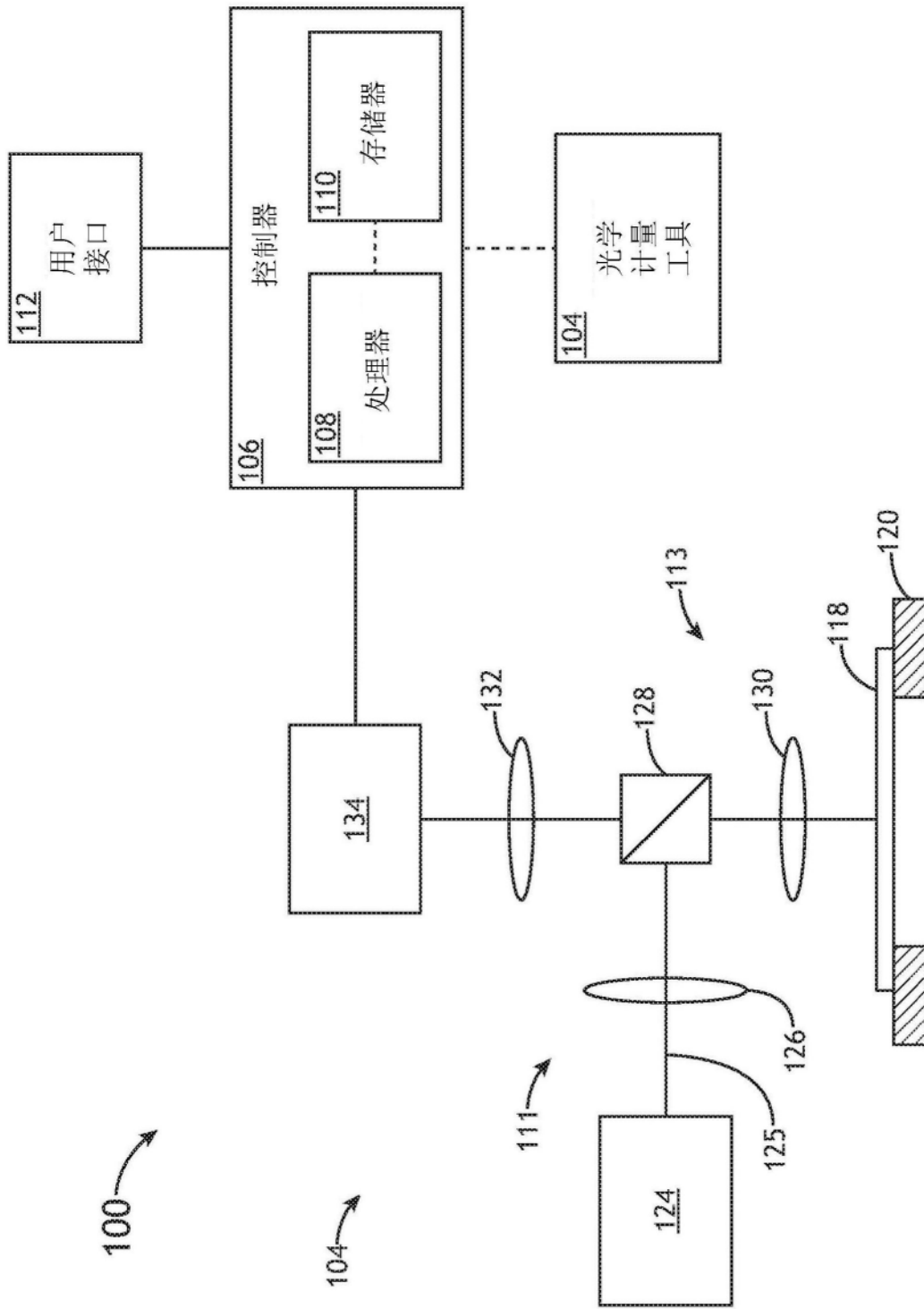


图3

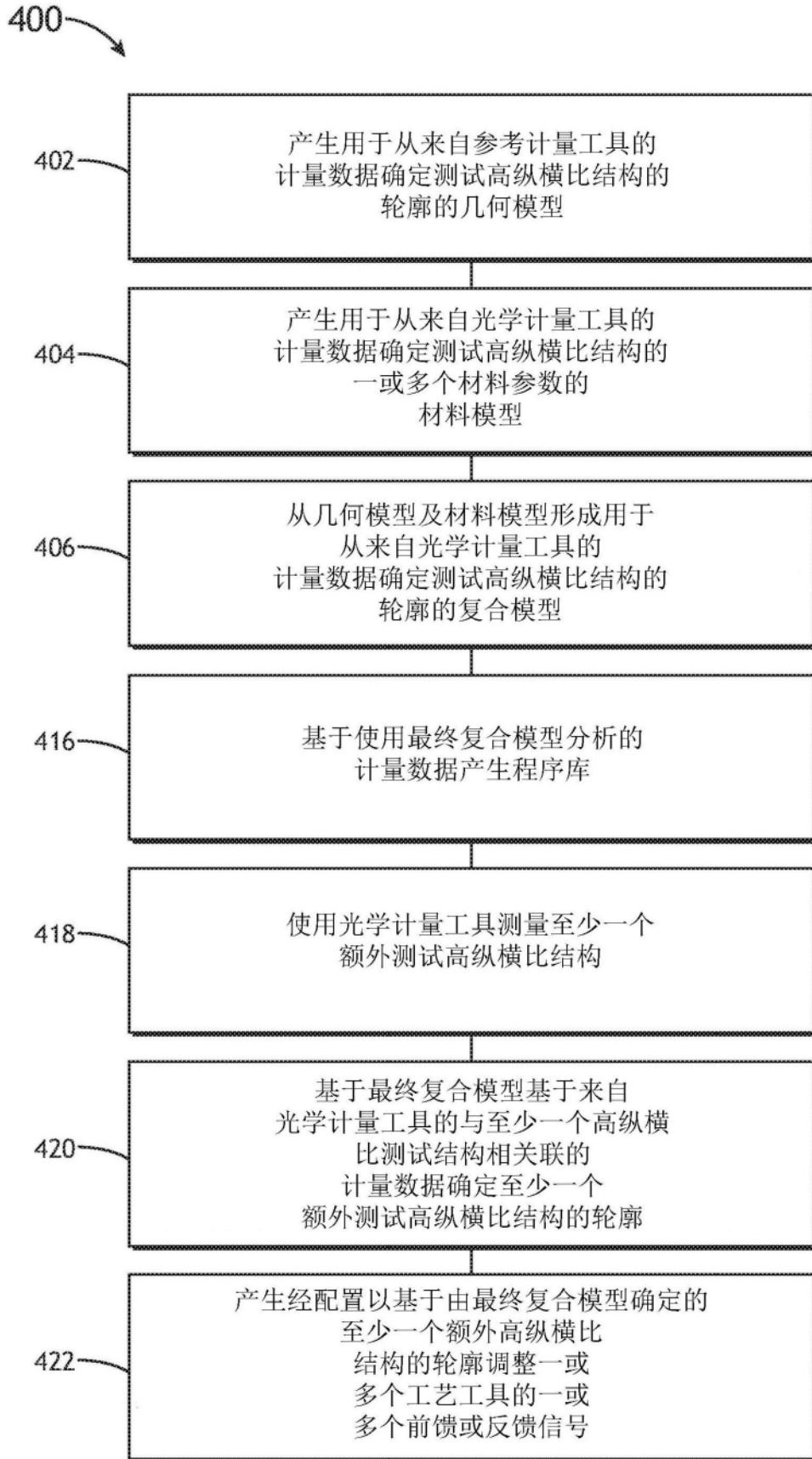


图4A

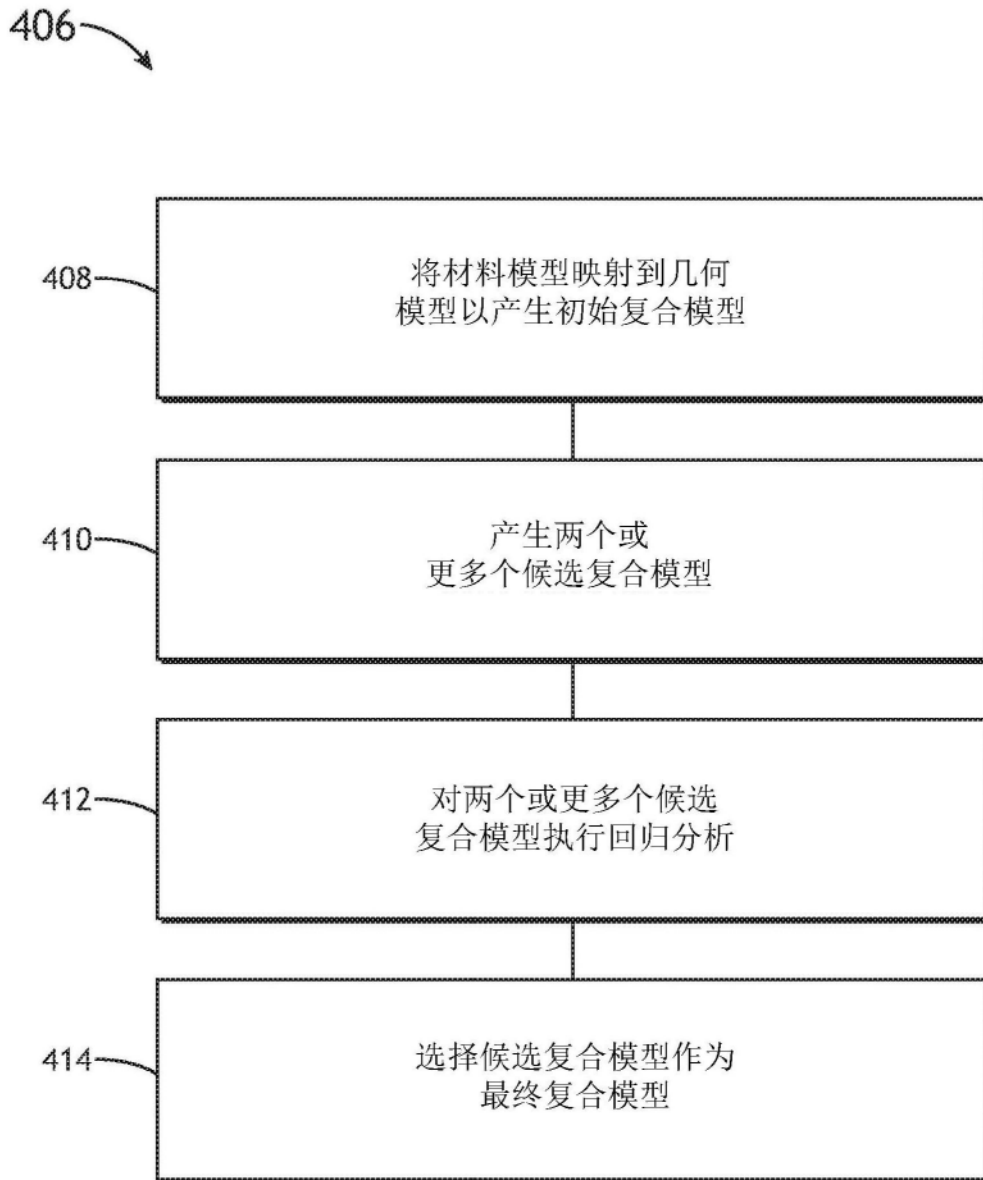


图4B

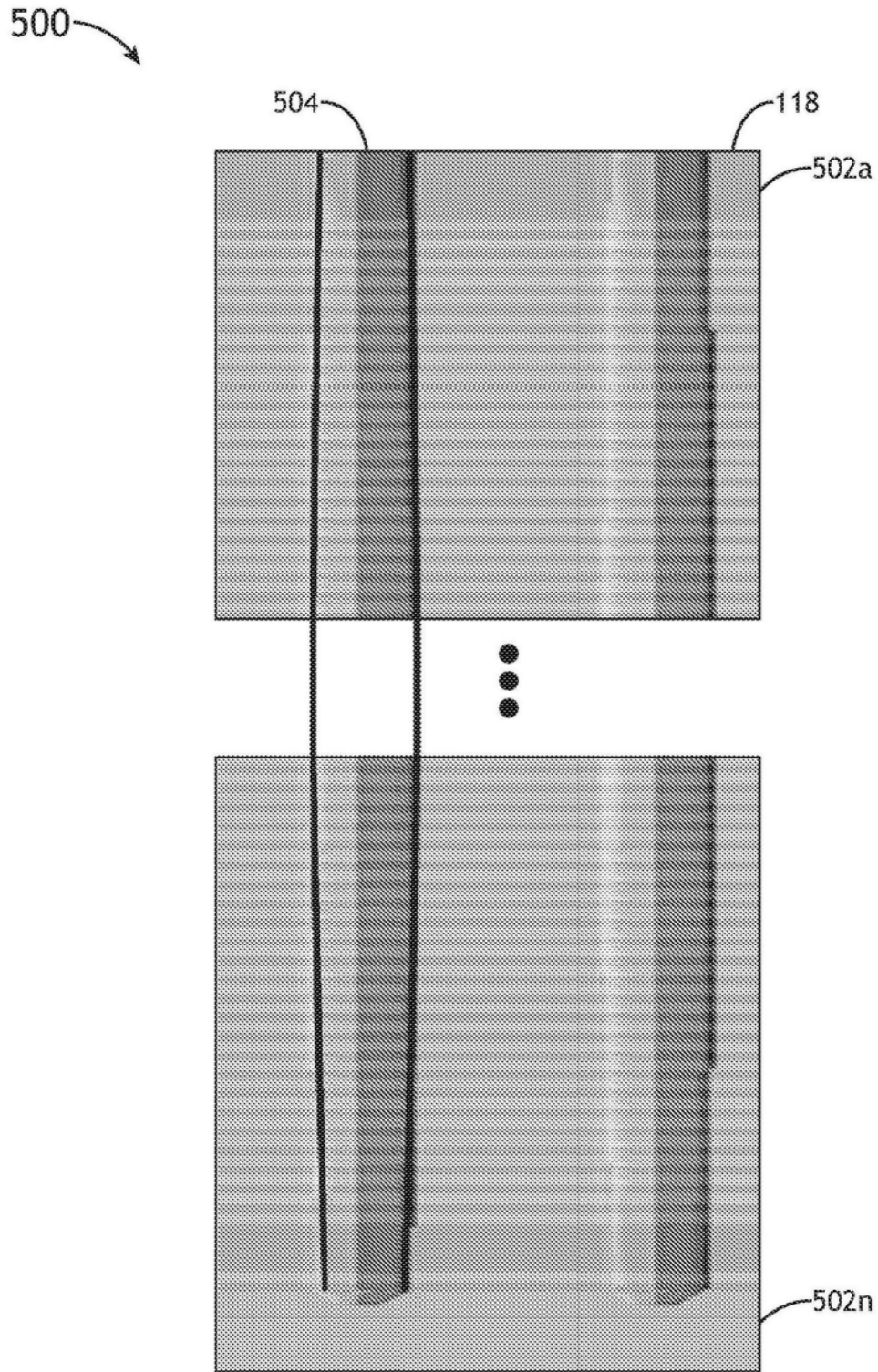


图5

602

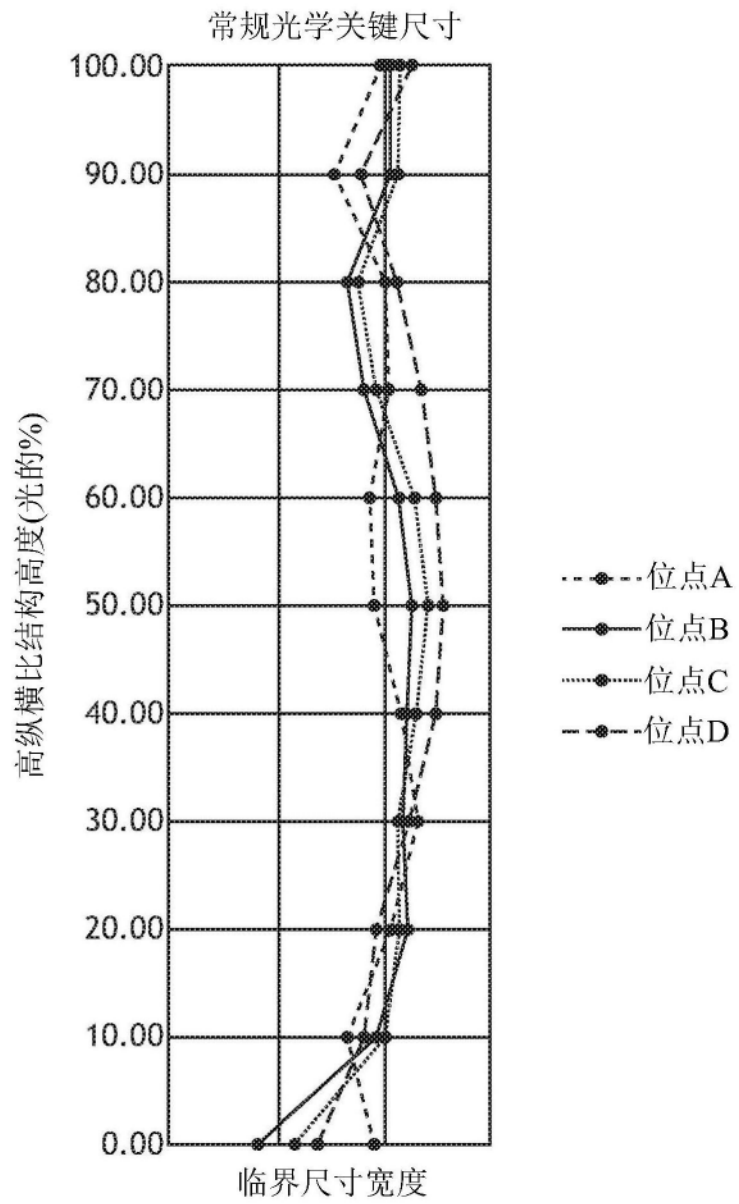


图6A

604

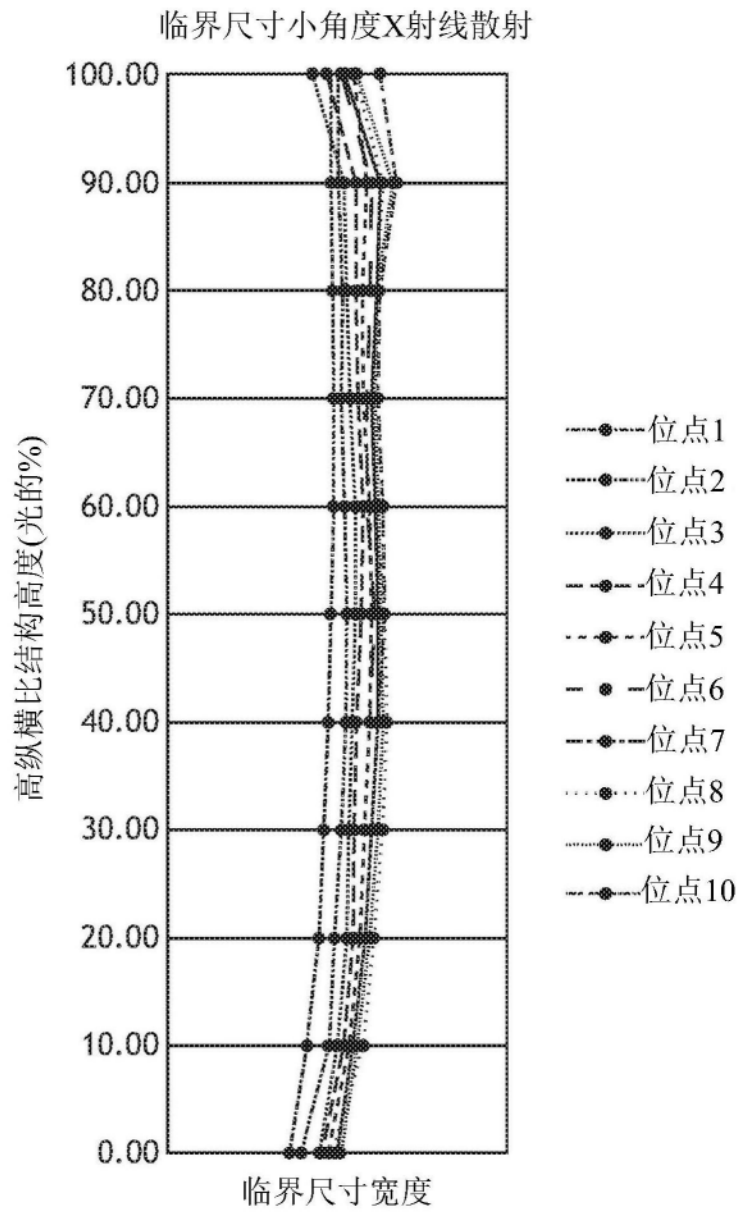


图6B

606

使用临界尺寸小角度X射线散射的光学临界尺寸

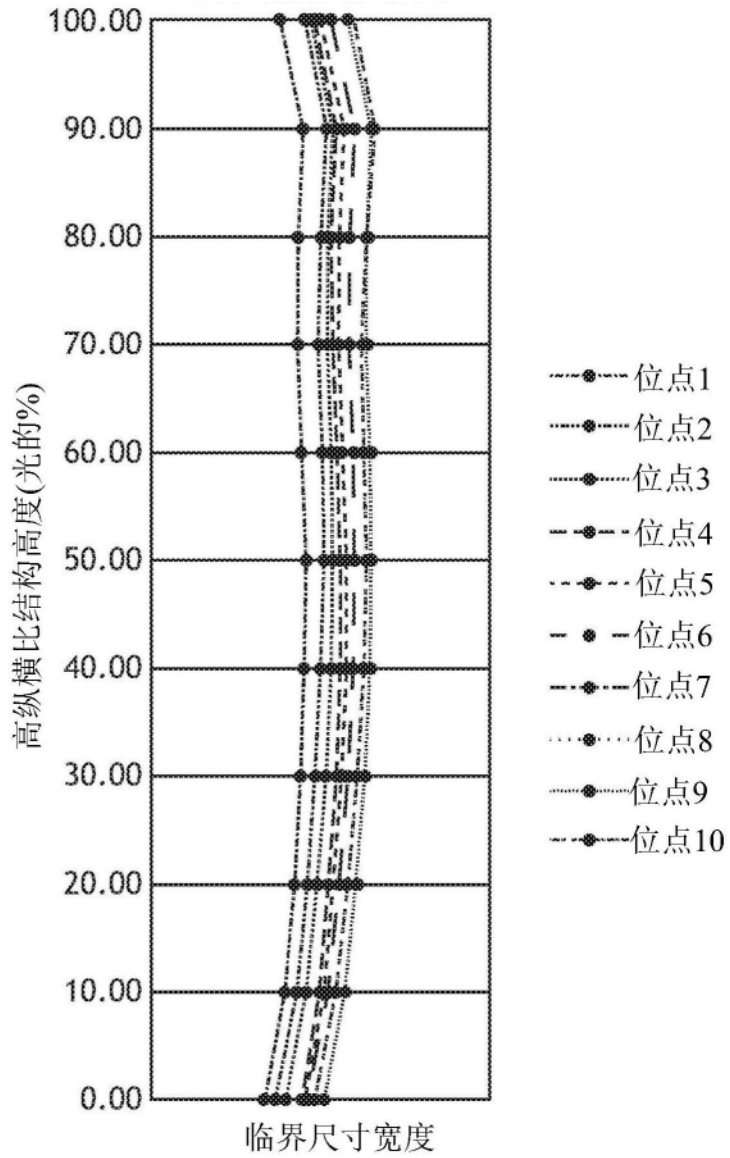


图6C