



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110383442 B

(45) 授权公告日 2023.10.10

(21) 申请号 201880014361.8

(72) 发明人 E·古列维奇 M·E·阿德尔
R·格伦黑德 Y·弗莱
V·莱温斯基 D·克莱因
S·阿哈龙

(22) 申请日 2018.02.27

(74) 专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限公司 11287
专利代理人 刘丽楠(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110383442 A

(43) 申请公布日 2019.10.25

(51) Int.CI.
H01L 21/66 (2006.01)

(30) 优先权数据

62/464,382 2017.02.28 US
62/591,104 2017.11.27 US(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2019.08.27

(56) 对比文件

US 2003223630 A1, 2003.12.04
CN 105992975 A, 2016.10.05
CN 104736962 A, 2015.06.24

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2018/019793 2018.02.27

(87) PCT国际申请的公布数据

W02018/160502 EN 2018.09.07

审查员 刘恋恋

(73) 专利权人 科磊股份有限公司
地址 美国加利福尼亚州

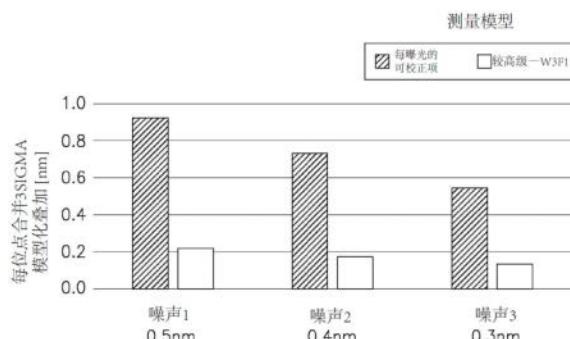
权利要求书3页 说明书11页 附图10页

(54) 发明名称

确定随机行为对叠加计量数据的影响

(57) 摘要

本发明提供用于设计计量目标及相对于例如线性质(例如,线边缘粗糙度LER)的随机噪声来估计计量度量值的不确定性误差的方法。可通过具有对应目标的CDSEM(临界尺寸扫描电子显微镜)或光学系统,从所述线性质的分析及计量测量的不确定性误差导出目标元件的最小所需尺寸。鉴于发现在使用例如CPE(每曝光的可校正项)的更局域化模型时,随机噪声可能具有增大的重要性而强调此分析的重要性。所述不确定性误差估计可用于多种上下文中的目标设计、叠加估计增强及测量可靠性评估。



1. 一种用于计量的方法,其包括:

根据对工艺相关线边缘粗糙度LER的参数的分析及计量测量的不确定性误差导出遵守给定测量不确定性规范所需的目标元件的最小尺寸的估计,及

设计计量目标以具有符合所述最小尺寸的估计的目标设计参数,

其中所述导出及所述设计中的至少一者是由至少一个计算机处理器执行。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述计量目标具有通过所述目标设计参数特性的周期性结构。

3. 根据权利要求1所述的方法,其进一步包括估计所述计量目标的叠加测量的不确定性误差,其中所述不确定性误差归因于所述LER。

4. 一种计算机程序产品,其包括具有与其一起体现的计算机可读程序的非暂时性计算机可读存储媒体,所述计算机可读程序经配置以执行根据权利要求1所述的方法。

5. 一种计量模块,其包括根据权利要求4所述的计算机程序产品。

6. 一种分段叠加目标,其具有周期性及分段结构,其中分段参数符合通过根据权利要求1所述的方法导出的所述最小尺寸的估计。

7. 一种用于计量的方法,其包括:

通过以下各项估计通过扫描电子显微镜SEM从临界尺寸扫描电子显微镜CDSEM目标导出的CDSEM计量度量值的线边缘粗糙度LER相关不确定性误差:

估计特性化所述LER的至少一个随机参数的变化范围,

根据用于所述计量度量值的给定测量模型以分析方式及/或使用模拟导出由估计所述变化范围所引起的误差,及

使用由估计所述变化范围所引起的所述误差估计所述LER相关不确定性误差,

其中所述估计、所述导出及所述使用中的至少一者是由至少一个计算机处理器执行。

8. 根据权利要求7所述的方法,其进一步包括:基于单个目标不确定性估计针对多个测量模型的所述LER相关不确定性误差;及选择所述测量模型的具有遵守给定所需规范的所述LER相关不确定性误差中的一者。

9. 根据权利要求8所述的方法,其中所述多个测量模型包括晶片模型、晶片及场模型及/或场模型。

10. 根据权利要求9所述的方法,其中所述多个测量模型包括至少较高级H0模型及每曝光的可校正项CPE模型。

11. 根据权利要求7所述的方法,其进一步包括相对于由估计所述变化范围所引起的所述误差确定对应测量模型的模型复杂性。

12. 一种计算机程序产品,其包括具有与其一起体现的计算机可读程序的非暂时性计算机可读存储媒体,所述计算机可读程序经配置以执行根据权利要求7所述的方法。

13. 一种计量模块,其包括根据权利要求12所述的计算机程序产品。

14. 一种用于计量的方法,其包括:

通过以下各项估计归因于线边缘粗糙度LER的光学计量度量值的不确定性误差:

估计特性化所述LER的至少一个随机参数的变化范围,

根据用于所述计量度量值的给定测量模型以分析方式或使用模拟导出由估计所述变化范围所引起的误差,及

使用由估计所述变化范围所引起的所述误差估计所述不确定性误差，

其中所述估计、所述导出及所述使用中的至少一者是由至少一个计算机处理器执行。

15. 根据权利要求14所述的方法，其进一步包括：基于单个目标不确定性估计针对多个测量模型的所述不确定性误差；及选择所述测量模型的具有遵守所需规范的所述不确定性误差中的一者。

16. 根据权利要求15所述的方法，其中所述多个测量模型包括晶片模型、晶片及场模型及/或场模型。

17. 根据权利要求16所述的方法，其中所述多个测量模型包括至少较高级H0模型及每曝光的可校正项CPE模型。

18. 根据权利要求15所述的方法，其进一步包括相对于所述不确定性误差及所述所需规范确定对应的测量模型的最佳模型复杂性。

19. 一种计算机程序产品，其包括具有与其一起体现的计算机可读程序的非暂时性计算机可读存储媒体，所述计算机可读程序经配置以执行根据权利要求14所述的方法。

20. 一种计量模块，其包括根据权利要求19所述的计算机程序产品。

21. 一种用于计量的方法，其包括：

通过以下各项确定随机噪声对从施加经指定计量模型而导出的给定叠加计量数据集的影响：

产生随机合成噪声的多个噪声实现，

将所述多个噪声实现新增到所述给定叠加计量数据集以产生经修改数据集，及

使用至少一个计量度量，比较用于所述给定叠加计量数据集的量度值与用于所述经修改数据集的量度值，

其中所述比较提供经估计噪声对所述给定叠加计量数据集的影响，且

其中所述产生、所述新增及所述比较中的至少一者是由至少一个计算机处理器执行。

22. 根据权利要求21所述的方法，其中所述多个噪声实现的所述产生是使用经测量计量结果执行。

23. 根据权利要求21所述的方法，其进一步包括通过以下项估计所述噪声对所述经指定计量模型的影响：估计所述噪声对通过施加所述经指定计量模型而导出的多个给定叠加计量数据集的不确定性的影响。

24. 根据权利要求21所述的方法，其进一步包括通过比较对所述经指定计量模型的噪声影响与所需不确定性规范而优化所述经指定计量模型的类型。

25. 根据权利要求24所述的方法，其进一步包括导出经估计的所述噪声影响对模型参数的影响的相依性的分析表达式。

26. 根据权利要求25所述的方法，其中所述模型参数包括至少一样本大小及用于所述经指定计量模型的所得不确定性规范。

27. 根据权利要求21所述的方法，其中所述随机噪声包括线边缘粗糙度LER性质。

28. 根据权利要求26所述的方法，其进一步包括检测目标元件的线边缘位置。

29. 根据权利要求26所述的方法，其进一步包括以统计方式分析线边缘粗糙度LER对边缘检测结果的所述影响。

30. 一种计算机程序产品，其包括具有与其一起体现的计算机可读程序的非暂时性计

算机可读存储媒体,所述计算机可读程序经配置以执行根据权利要求21所述的方法。

31. 一种计量模块,其包括根据权利要求30所述的计算机程序产品。

确定随机行为对叠加计量数据的影响

[0001] 相关申请案的交叉参考

[0002] 本申请案主张于2017年2月28日申请的第62/464,382号美国临时专利申请案的权益,其以全文引用的方式并入本文中。

技术领域

[0003] 本发明涉及计量领域,且更特定来说,涉及测量算法。

背景技术

[0004] 在半导体计量的领域中,计量工具包括:照明系统,其照明计量目标;收集系统,其捕获通过所述照明系统与目标、装置或特征的相互作用(或无相互作用)而提供的相关信息;及处理系统,其使用一或多种算法分析所收集的信息。计量工具可用于测量与各种半导体制造工艺相关联的结构及材料特性(例如,结构及膜的材料组成物、尺寸特性(例如结构的膜厚度及/或临界尺寸、叠加等))。这些测量用于在半导体裸片的制造中促进工艺控制及/或良率效率。

[0005] 计量工具经设计以进行与半导体制造有关的许多不同类型的测量,例如一或多个目标的特性(例如,临界尺寸、叠加、侧壁角、膜厚度、线边缘粗糙度、线宽粗糙度图案置放误差或工艺相关参数(例如,焦点及/或剂量))。目标可包含本质上周期性的特定所关注区域(举例来说,例如存储器裸片中的光栅)。计量目标可拥有各种空间特性且通常由一或多个单元构成,所述一或多个单元可包含已在一或多个光刻相异曝光中印刷的一或多个层中的特征。所述目标或所述单元可拥有各种对称,例如双重旋转对称或四重旋转对称及/或反射对称。此类计量结构的实例在第6,985,618号美国专利中描述,其以全文引用的方式包含于本文中。不同单元或单元的组合可属于相异层或曝光步骤。个别单元可包括经隔离非周期性特征或替代地其可由一维、二维或三维周期性结构或非周期性结构及周期性结构的组合构成,如第2013/042,089号美国专利申请公开案中所描述,其以全文引用的方式包含于本文中。周期性结构可未分段或其可由细分段特征构成,所述细分段特征可依据或接近用于印刷其的光刻工艺的最小设计规则。计量目标也可与相同层或上方一层、下方一层或在所述计量结构的层间的虚设结构(dummification structure)并置或紧邻所述虚设结构。目标可包含多个层(或膜),其厚度可通过计量工具测量。目标可包含置放(或已存在)于半导体晶片上供使用(例如,对准及/或重叠配准操作)的目标设计。特定目标可定位于半导体晶片上的各种位置处。例如,目标可定位于(例如,裸片之间的)刻划线内及/或定位于所述裸片自身中。在某些实施例中,可通过相同或多个计量工具(在相同时间或不同时间)测量多个目标,如第7,478,019号美国专利中所描述,其以全文引用的方式包含于本文中。可组合来自此类测量的数据。来自计量工具的数据在半导体制造工艺中用以(例如)向前馈送、反向馈送及/或侧向馈送校正到工艺(例如,光刻、蚀刻)且因此可产生完整工艺控制解决方案。

发明内容

[0006] 下文是提供本发明的初步理解的简化概述。此概述不一定识别关键要素或限制本发明的范围,而仅作为以下描述的介绍。

[0007] 本发明的一个方面提供一种方法,所述方法包括:从工艺相关线边缘粗糙度(LER)的参数导出遵守给定测量不确定性规范所需的目标元件的最小尺寸的估计;及设计计量目标以具有符合所述经估计的最小尺寸的目标设计参数;其中所述导出及所述设计中的至少一者是由至少一个计算机处理器执行。

[0008] 本发明的一个方面提供一种方法,所述方法包括:通过以下各项估计通过SEM(扫描电子显微镜)从CDSEM(临界尺寸扫描电子显微镜)目标导出的CDSEM计量度量值的LER相关不确定性误差:估计特性化所述LER的至少一个随机参数的变化范围;根据用于所述计量度量值的给定测量模型以分析方式及/或使用模拟导出由所述经估计范围所引起的误差;及使用所述经导出误差估计所述LER相关不确定性误差;其中所述估计、所述导出及所述使用中的至少一者是由至少一个计算机处理器执行。

[0009] 本发明的一个方面提供一种方法,所述方法包括:通过以下各项估计归因于LER的光学计量度量值的不确定性误差:估计特性化所述LER的至少一个随机参数的变化范围;根据用于所述计量度量值的给定测量模型以分析方式及/或使用模拟导出由所述经估计范围所引起的误差;及使用所述经导出误差估计所述不确定性误差;其中所述估计、所述导出及所述使用中的至少一者是由至少一个计算机处理器执行。

[0010] 本发明的一个方面提供一种方法,所述方法包括:通过以下各项确定随机噪声对从施加经指定计量模型而导出的给定叠加计量数据集的影响:产生随机(random)合成噪声的多个噪声实现(noise realization);将所述经产生的噪声实现新增到所述给定叠加计量数据集以产生经修改数据集;及使用至少一个计量度量,比较用于所述给定叠加计量数据集的量度值与用于所述经修改数据集的量度值,其中所述比较提供经估计噪声对所述给定叠加计量数据集的影响;且其中所述产生、所述新增及所述比较中的至少一者是由至少一个计算机处理器执行。

[0011] 本发明的这些、额外及/或其它方面及/或优点在以下详细描述中进行陈述;可能可从详细描述推论;及/或可通过本发明的实践学习。

附图说明

[0012] 为本发明的实施例的较佳理解及为展示可如何实行所述实施例,现将纯粹通过实例参考随附图式,其中通篇相同元件符号指定对应元件或区段。

[0013] 在附图中:

[0014] 图1是说明根据本发明的一些实施例的方法的高级流程图。

[0015] 图2提供根据本发明的一些实施例的OVL测量的随机噪声对OVL可校正项的效应的实例。

[0016] 图3A到3C说明根据本发明的一些实施例的具有拥有平行边缘的周期性结构的OVL计量目标的图像,其中示意性说明从所述图像计算计量度量。

[0017] 图4A说明根据本发明的一些实施例的CDSEM图像上的线边缘粗糙度及光刻线距图案的不同分段。

[0018] 图4B是根据本发明的一些实施例的用于定义线边缘(边缘轮廓曲线)的边缘函数 $\in(y)$ 的非限制性实例。

[0019] 图4C是具有粗节距及细节距分段的周期性结构的示意非限制性实例。

具体实施方式

[0020] 在以下描述中,描述本发明的各项方面。出于解释目的,陈述特定配置及细节以提供对本发明的透彻理解。然而,所属领域的技术人员还将明白,可在没有本文中提出的所述特定细节的情况下实践本发明。此外,为不模糊本发明,可省略或简化众所周知的特征。特别参考图式,应强调所展示的细节是通过实例且仅出于本发明的说明性论述的目的,且是为了提供据信是本发明的原理及概念方面的最有用且易于理解的描述的内容而提出。就这点来说,未试图展示比本发明的基本理解所需更详细的本发明的结构细节,结合所述图式进行的描述使所属领域的技术人员明白可如何在实践中体现本发明的若干形式。

[0021] 在详细解释本发明的至少一个实施例之前,应理解,本发明在其应用上不限于以下描述中所陈述或图式中所说明的组件的构造及布置的细节。本发明可应用于可以各种方式实践或实施的其它实施例以及所揭示实施例的组合。而且,应理解,本文中所采用的措辞及术语是出于描述的目的且不应被视为限制性。

[0022] 除非另有特别说明,否则如从以下论述明白应理解,贯穿本说明书,利用例如“处理”、“计算(computing/calculating)”、“确定”、“增强”、“导出”或类似者的术语的论述是指操纵及/或将表示为计算系统的寄存器及/或存储器内的物理(例如电子)量的数据变换成类似表示为计算系统的存储器、寄存器或其它此类信息存储装置、传输或显示器装置内的物理量的其它数据的计算机或计算系统或类似电子计算装置的动作及/或过程。

[0023] 提供用于设计计量目标及相对于例如线性质(例如,线边缘粗糙度LER、线宽粗糙度LWR及/或图案置放粗糙度PPR)的随机噪声来估计计量度量值的不确定度误差的方法。可通过具有对应目标的CDSEM(临界尺寸扫描电子显微镜)或光学系统从所述线性质的分析及计量测量的不确定度误差导出目标元件的最小所需尺寸。鉴于发现在使用例如CPE(每曝光的可校正项)的更局域化模型时,随机噪声可能具有增大的重要性而强调此分析的重要性。所述不确定度误差估计可用于多种上下文中的目标设计、叠加估计增强及测量可靠性评估。

[0024] 本发明的实施例对以下问题提供高效且经济方法及机制且借此提供对计量技术领域的改进:实现随机噪声对不同叠加模型及取样图的影响的预测及比较;实现LER、LWR及/或PPR对来自单个目标的叠加计量结果的影响的估计;实现LER、LWR或图案置放粗糙度对给定特定叠加模型及取样图情况下的叠加计量可校正项的影响的估计;及/或实现来自测试结构、目标或装置结构的光学图像的LER、LWR、PPR或功率谱密度(PSD)的估计。

[0025] 所揭示方法(例如,图1中所说明的方法100及下文实例)特性化由计量传感器及监测器提供的不同经测量量之间的影响及交叉关系,减弱及/或防止随机噪声的现有技术不可控制效应(参见下文图2)。此外,所揭示方法减轻取样数目及空间分布及/或测量位点/目标的面积/大小证实对于随机噪声的效应来说不充分的现有技术风险,且实现准确度验证、光刻后叠加控制及蚀刻后叠加控制或批量部署(lot dispositioning)。

[0026] 此外,所揭示方法可经配置以确定如通过来自(若干)相同或其它计量目标及/或

装置结构的经测量量确定的在特定制造条件下从其获得计量数据的(若干)计量目标及/或装置结构的所需最小大小。

[0027] 在某些实施例中,方法100可包括以下任一者:确定随机噪声对叠加计量数据集的影响;确定LER及/或PSD对基于光学或SEM的叠加测量的最小所需目标大小或测量面积的影响;及/或从光学计量测量估计LER/PSD,如下文所揭示。

[0028] 图1是说明根据本发明的一些实施例的方法100的高级流程图。所述方法阶段可关于可任选地经配置以实施方法100的计量工具及/或模块而执行。方法100可包括以下阶段(不考虑其顺序)。

[0029] 在某些实施例中,方法100包括通过以下各项确定随机噪声对从施加经指定计量模型而导出的给定叠加计量数据集的影响(阶段105):例如,使用经测量及/或经模拟计量结果(阶段112)产生随机合成噪声的多个噪声实现(阶段110);将所述经产生的噪声实现新增到所述给定叠加计量数据集以产生经修改数据集(阶段120);及使用至少一个计量度量,比较用于所述给定叠加计量数据集的量度值与用于所述经修改数据集的量度值(阶段130)。比较130可用于提供经估计噪声对所述给定叠加计量数据集的影响。在某些实施例中,可改变随机噪声的量值以观察对计量度量(例如结果的3sigma)的影响,且可针对不同模型比较(若干)对应量度以估计用于每一叠加可校正控制模型的最小取样图及最大可容忍随机噪声及/或用于经指定计量模型的所得不确定性规范中的任一者。在某些实施例中,可至少针对一些特定(例如,线性)晶片/场项模型导出针对3sigma或(若干)其它量度的分析表达式。对于线性模型,很可能会预期一种噪声均分。

[0030] 方法100可进一步包括通过以下项估计噪声对所述经指定计量模型的影响(阶段150):估计噪声对通过施加经指定计量模型而导出的多个给定叠加计量数据集的影响(阶段155)。

[0031] 方法100可进一步包括通过比较噪声对以不同参数值实施的经指定计量模型的影响而优化所述经指定计量模型的参数(阶段160)。方法100可进一步包括导出所述经估计噪声对模型参数的影响的相依性的分析表达式(阶段170)。例如,模型参数可包括至少一样本大小、最大可容忍随机噪声及/或用于经指定计量模型的所得不确定性规范。

[0032] 方法100的任一阶段(例如,产生110、新增120及比较130)可由至少一个计算机处理器执行。方法100可至少部分由(例如,在计量模块中的)至少一个计算机处理器实施。某些实施例包括计算机程序产品,所述计算机程序产品包括具有与其一起体现且经配置以执行方法100的相关阶段的计算机可读程序的计算机可读存储媒体。某些实施例包括(若干)计量模块,所述计量模块包括所揭示计算机程序产品的元件。

[0033] 方法100的所揭示实施例克服及/或控制归因于(例如)在当前基于光学或SEM(扫描电子显微镜)的叠加计量中的每目标的固有随机噪声及其对经计算计量度量的效应的现有技术风险。替代性地或补充地,某些实施例包括有关目标元件尺寸及/或随机噪声级的下限,其实现使用噪声敏感程序同时限制随机噪声对结果的影响,如下文所解释。

[0034] 图2提供根据本发明的一些实施例的OVL测量中的随机噪声的效应的实例。一般来说,图2说明随机变化对来自HO(较高级)晶片模型的OVL(叠加)校正的影响与随机变化对来自CPE(每曝光的可校正项)晶片模型的OVL校正的影响相比的非限制性实例。

[0035] 图2表示新增到大约550个晶片位点上的经测量/经模拟OVL值的随机噪声在计量

度量pooled3sigma方面的效应的蒙特卡罗(Monte Carlo)模拟的结果。所述经模拟噪声是具有STD(标准偏差)的三个不同值0.5nm、0.4nm及0.3nm的独立相同分布的高斯(Gaussian)噪声(分别指示为噪声1到3)。对于每一噪声级,经由针对H0(W3F1高级-晶片三级校正及场一级校正)晶片模型及CPE模型两者的100个实现计算每位点的模型化叠加的合并方差(pooled variance)。在图2中比较所得3-sigma(合并3sigma)。此表明,H0模型化的叠加与CPE模型化的叠加相比保持稳定得多。不希望受理论局限,发明者表明CPE模型对随机噪声的较高敏感度是固有的,这是因为H0模型对跨整个晶片(例如,大约550个位点)的噪声的效应求平均值,而CPE模型独立处理每个场(例如,大约9个位点),此导致经模型化OVL方差的较高变化。可如等式1中那样依据原始噪声的方差 σ_{Noise} 、每拟合的位点数目 N_{sites} 及模型项数目 N_{terms} 估计所得3Sigma变化 $3\sigma_{mod}$ 。

$$[0036] \quad 3\sigma_{mod} \approx 3\sigma_{Noise} \sqrt{\frac{N_{terms}}{N_{sites}}} \quad \text{等式 1}$$

[0037] 例如,在以上实例中对于H0模型 $N_{terms} = 10$, $N_{sites} = 550$,且对于CPE H0模型 $N_{terms} = 3$, $N_{sites} = 9$ 。对于具有 $\sigma_{Noise} = 0.5\text{nm}$ 的噪声1,以上等式预测 $(3\sigma_{mod})_{H0} = 0.2\text{nm}$ 及 $(3\sigma_{mod})_{CPE} = 0.87\text{nm}$,此与图2中的数值蒙特卡罗模拟的结果一致。

[0038] 如以上实例中所说明,当在叠加计量中使用每曝光校正模型及控制技术时,随机(random/stochastic)噪声的存在可对从叠加数据产生的可校正项的保真度具有不利效应。额外分析提供于爱迪尔(Adel)等人的2017年,“随机工艺变化对叠加标记保真度的影响“朝向5nm节点”(Impact of stochastic process variations on overlay mark fidelity”towards the 5nm node”),《国际光学工程学会学报》(Proc. SPIE) 10145,《用于显微光刻法XXXI,1014509的计量、检验及工艺控制》(Metrology, Inspection, and Process Control for Microlithography XXXI, 1014509)中,其以全文引用的方式并入本文中。

[0039] 图2中的实例示范从H0晶片级模型到CPE场级模型,或到大幅增大可校正项数目对位点(从其确定模型项)数目的比率的任何其它模型的产业转变导致个别(叠加)标记保真度或不确定性对可校正项的更高及关键影响。

[0040] 在某些实施例中,方法100进一步包括通过以下各项估计通过SEM从目标导出的CDSEM计量度量值的LER相关不确定性误差(阶段180):估计特性化所述LER(或LWR或其它参数)的(若干)随机参数的变化范围(阶段182);根据用于所述计量度量值的给定测量模型(例如)使用模拟及/或以分析方式导出由所述经估计范围所引起的误差(阶段184);及使用所述经导出误差估计所述LER相关不确定性误差(阶段186)。某些实施例包括相对于计量目标的对应CDSEM计量度量值的经估计不确定性误差估计所述计量目标的光学计量测量的质量(阶段190)。例如,如果CDSEM测量具有(例如)几个0.1nm的不准确度,那么在比较光学测量与CDSEM测量时可将其考虑在内。

[0041] 某些实施例包括基于单个目标不确定性估计针对多个测量模型的LER相关不确定性误差(阶段191)。在某些实施例中,方法100进一步包括比较针对多个测量模型的所述经估计不确定性误差且选择所述测量模型的具有遵守给定所需规范的LER相关不确定性误差中的一者(阶段192),例如,所述多个测量模型包括至少H0模型及CPE模型。在某些实施例中,方法100进一步包括相对于经导出误差确定对应测量模型的最佳模型复杂性(例如,CPE

中的参数数目) (阶段194)。

[0042] 在某些实施例中,方法100可应用于关于对应测量模型的光学叠加测量,及如上文所揭示沿着类似线的光学叠加测量(例如,在阶段182到194中)。

[0043] 有利的是,所揭示方法100克服执行叠加计量测量而归因于用于叠加计量的图像或散射测量数据中的欠取样或固有随机噪声而未实现数据源中的最小所要不确定性或保真度的现有技术缺点。

[0044] 作为实施方法100的非限制性实例,下文提出经制造特征的边缘的LER、LWR、PSD及其它随机特性的估计的情况,着重于将LER作为主要非限制性实例。特定来说,方法100包括有关基于光学或SEM的叠加测量的最小所需目标大小或测量面积的这些及/或对应参数的确定。方法100的实施例并入这些估计量及量度以使用所揭示方法预测经估计参数(例如,LER)对叠加计量测量及控制参数的影响。

[0045] 在某些实施例中,方法100可包括通过以下项确定线边缘粗糙度(LER,作为随机噪声)对使用计量模型而导出的叠加计量数据集的影响(阶段210):产生模拟LER对边缘检测结果的影响的多个噪声实现(阶段220)以检测目标元件的线边缘位置(阶段230)及可能针对给定制造条件估计最小目标及/或装置大小(阶段240)。

[0046] 某些实施例包括具有周期性及分段结构的分段叠加目标(作为计量目标),其中分段参数(作为目标设计参数)符合通过方法100导出的经估计最小尺寸。

[0047] 有利的是,(若干)所揭示方法100的实施例使用(例如)从SEM图像导出的LER及其统计性质(例如方差、相关函数、相关长度或PSD(功率谱密度))的结果来预测如通过来自(若干)相同计量目标或装置结构或来自(若干)其它计量目标或装置结构的经测量量确定的在特定制造条件下从其获得计量数据的(若干)计量目标及/或装置结构的(若干)最小所需大小。额外实例提供于爱迪尔等人的2017年,“随机工艺变化对叠加标记保真度的影响“朝向5nm节点”(Impact of stochastic process variations on overlay mark fidelity”towards the 5nm node”),《国际光学工程学会学报》(Proc.SPIE)10145,《用于显微光刻法XXXI,1014509的计量、检验及工艺控制》(Metrology, Inspection, and Process Control for Microlithography XXXI,1014509)中,其以全文引用的方式并入本文中。

[0048] 在下文中,提供基于LER的统计性质确定最小所需目标大小的详细非限制性实例。最初,通过边缘检测算法从SEM图像提取目标条边缘轮廓且使用所述经提取轮廓分析LER性质(参见作为非限制性实例的图4B)。应注意,所述边缘检测算法可与出于OVL/配准计量目的用于边缘提取的算法相同或可为与其性能方面相当的算法。计量目标(下文也称为计量标记,且非限制性实例参见图3A)在非限制性实例中可包括具有平行边缘的结构元件。计量目标或其部分用以确定边缘的沿着垂直于所述边缘的方向的平均位置 X_c 。方法100包括用于除了平行线结构以外的几何形状的算法,所述算法可(例如)从下文直观地提出的算法导出。

[0049] 图3A到3C说明根据本发明的一些实施例的具有拥有平行边缘97的周期性结构的计量目标95的图像,其中示意性说明从所述图像计算计量度量。图3A说明计量目标95。目标95的周期性结构是通过粗节距特性化且可通过细分段节距进一步分段成由目标元件组成的更细周期性结构(例如,参见图4A及4C)。细分段增大线边缘特性的效应,如下文解释及分析。图3B说明界定于目标95上的所关注区域(ROI)98。图3C提供作为计量度量的非限制性实

例的内核3sigma (K3S) 的计算的实例,所述K3S量度指示标记(目标)保真度。

[0050] 基于成像的叠加 (IBO) 依靠构成叠加标记的结构(例如,周期性光栅)的图像的对称中心 X_c 的确定,图3B(有关细节参见第6921916号美国专利及第20070008533号美国专利申请公开案,其以全文引用的方式并入本文中)。可通过寻找所述图像的自卷积函数的最大值而找到此对称中心。图3B中所展示的所关注区域(ROI) 98选择经指定用于x方向上的叠加测量的给定处理层(例如,抗蚀剂层)中的结构的部分。所述所选择的图像区域是通过在横向y方向上求平均值而投影于x轴上以产生一维(1D)“内核(kernel)”。作为非限制性方法,此内核的对称中心可被发现为其自卷积的最大值。接着针对第二处理层(例如,先前层)重复对应程序以最终找到两者之间的叠加。

[0051] 引入K3S测量以特性化叠加标记的不均匀性(如第PCT/US2017/057767号WIPO申请案中所描述,其以全文引用的方式并入本文中)。如图3C中所展示,标称ROI(图3B) 98被细分成N个(通常大约5到10个)子ROI 99,所述子ROI 99经对称配对(通过图3C中的对应字母A、

B、C、D指示)。每一子区域99用于找到其自身对称中心,所述对称中心产生表示为 $\{X_c^i\}_{i=1}^N$

的N个值,所述值的方差定义K3S,即, $K3S = 3 \cdot STD(X_c^i)$ 。

[0052] 图4A到4C说明根据本发明的一些实施例的具有拥有平行边缘97的周期性结构的计量目标95的SEM图像的非限制性实例。图4A说明根据本发明的一些实施例的CDSEM图像上的线边缘粗糙度及光刻线距图案的不同分段。图4B是根据本发明的一些实施例的用于定义线边缘(边缘轮廓曲线)的边缘函数 $\in (y)$ 的非限制性实例。图4C是具有粗节距及细节距分段的周期性结构的示意非限制性实例。

[0053] 图4B是根据本发明的一些实施例的用于定义使用某一边缘检测算法从SEM图像提取的线边缘97(边缘轮廓曲线)的边缘函数 $\in (y)$ 115的非限制性实例。可从所述边缘函数 $\in (y)$ 导出LER的统计性质。LER的重要及相关特性化是通过其相关函数 $C(y' - y'') \equiv \langle \in_i(y') - \in_j(y'') \rangle$ 给出,其中 $\langle \dots \rangle$ 表示统计求平均化值、局部方差 $\sigma_{LER}^2 = C(0)$ 及相关长度 ξ 从以上相关函数提取(有关LER性质的进一步细节参见(例如)克里斯A.马克(Chris A. Mack)的“线宽度粗糙度对临界尺寸均匀性的影响的解析表达式(Analytical Expression for Impact of Linewidth Roughness on Critical Dimension Uniformity)”,《微/纳米光刻杂志》(Journal of Micro/Nanolithography)、MEMS及MOEMS,13(2),020501(2014))。

[0054] LER现象强加关于值 X_c 的不确定性 σ_{X_c} (标准偏差) (边缘97的沿着垂直于所述边缘的方向的平均位置,其是例如叠加的计量度量的基本组成部分)。LER性质与 σ_{X_c} 之间的关系在下文给出且经提出以用于确定满足等式2中所提供的不确定性规范的要求的最小计量目标大小(例如,参见阶段240):

$$[0055] \sigma_{X_c} \leq \sigma_{spec} \quad \text{等式 2}$$

[0056] 对于长度L的单个线段i,其横向位置 x_i 可经确定为如通过等式3提供的在(例如)图4B中所定义的其边缘函数 $\in (y)$ 的平均值。

[0057] $x_i = L^{-1} \int_0^L dy \epsilon_i(y)$ 等式 3

[0058] 边缘轮廓的横向位置 x_i 的对应统计不确定性 σ_x 可以两种等效方式表示, 如等式4中所指示,

[0059] $\sigma_x^2(L) = \frac{1}{L^2} \iint_0^L dy' dy'' C(y' - y'') = \int_{-\infty}^{\infty} dk S(k) \frac{\sin^2 \pi k L}{(\pi k L)^2}$

等式 4

[0060] 其中 $C(y' - y'') \equiv \langle \epsilon_1(y') \epsilon_j(y'') \rangle$ 是LER函数的相关函数(假定平稳过程)且 $S(k)$ 是其对应功率谱密度(PSD)。两个函数都含有相同信息且通过傅立叶变换而相关。其可通过分析通过边缘检测算法中的假设提取的边缘轮廓而获得。重要参数是相关长度 ξ , 其确定相关函数 $C(y)$ 的衰变的空间尺度或等效地 $PSDS(k)$ 的截止频率。

[0061] 在许多情况中, LER相关函数可通过等式5中提出的指数形式近似表达。

[0062] $C(y' - y'') = \sigma_{LER}^2 e^{-|y' - y''|/\xi}$ 等式 5

[0063] (有关LER性质的进一步细节参见(例如)克里斯A.马克(Chris A. Mack)的“线宽度粗糙度对临界尺寸均匀性的影响的解析表达式(Analytical Expression for Impact of Linewidth Roughness on Critical Dimension Uniformity)”,《微/纳米光刻杂志》(Journal of Micro/Nanolithography)、MEMS及MOEMS,13(2), 020501(2014))。

[0064] 在等式6中所指定的特殊限制情况下,对于 $\sigma_x^2(L)$ 的上文表达式可简化或(例如)

使用 $\int_{-\infty}^{\infty} dk \frac{\sin^2 \pi k L}{(\pi k L)^2} = \frac{1}{L}$ 如等式6中所表示般近似表达。

[0065] $\sigma_x^2(L) \approx \begin{cases} C(0) = \sigma_{LER}^2, L \ll \xi \\ \frac{S(0)}{L} \approx \frac{2\xi}{L} \sigma_{LER}^2, L \gg \xi \end{cases}$ 等式 6

[0066] 在可通过如等式3中的指数形式描述LER相关函数的情况下,通过等式7明确给出不确定性单边缘位置。

[0067] $\sigma_x^2(L) = \frac{2\xi}{L} \sigma_{LER}^2 \cdot \left[1 - \frac{\xi}{L} (1 - e^{-L/\xi}) \right]$ 等式 7

[0068] 其与等式6中的一般限制表达式一致。

[0069] 如果计量标记95或其一部分由各自具有长度L的2N个统计等效边缘组成,那么其平均位置 $X_c = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^{2N} x_i$ 的不确定性在等式8中表示。

[0070] $\sigma_{X_c}(L, N) = \frac{\sigma_x(L)}{\sqrt{2N}}$ 等式 8

[0071] 使用等式4,可获得如等式9中所表示的最小计量标记的最佳参数N、L。

$$[0072] \frac{\sigma_x(L)}{\sqrt{2N}} \leq \sigma_{spec} \quad \text{等式 9}$$

[0073] 在等式7的特殊情况L>>ξ中,有关N及L的(一般来说非平凡)条件变为有关乘积N×L(例如,总积分边缘长度)的条件,如等式10中所表示。

$$[0074] \sqrt{\frac{S(0)}{2NL}} \leq \sigma_{spec} \quad \text{等式 10}$$

[0075] 其中 $S(0) = 2\xi\sigma_{LER}^2$ 。此条件提供线数目N及线长度L的乘积的最小所需值:

$$(L \times N)_{min} = \frac{S(0)}{2\sigma_{spec}^2}$$

[0076] 基于目标内CD均匀性(CDU,参见(例如)克里斯A.马克(Chris A.Mack)的“线宽度粗糙度对临界尺寸均匀性的影响的解析表达式(Analytical Expression for Impact of Linewidth Roughness on Critical Dimension Uniformity)”,《微/纳米光刻杂志》(Journal of Micro/Nanolithography)、MEMS及MOEMS,13(2),020501(2014))确定周期性结构目标的最小大小可通过使CDU与经测量条的两个边缘的LER相关而执行。

[0077] 可如等式11中所表示从线宽不确定性(LWU)推断单边缘位置不确定性。

$$[0078] \sigma_x(L) = \sqrt{2} \times CDU \quad \text{等式 11}$$

[0079] 接着,可如等式12中表示有关线的最小数目的条件。

$$[0080] N \geq \frac{CDU^2}{\sigma_{spec}^2} \quad \text{等式 12}$$

[0081] 此处CDU已含有关于条的长度L的信息(因此L在等式12中未明确出现)。

[0082] SEM计量目标的最小所需大小的上述估计到任意目标几何结构的一般化是直观的。

[0083] 某些实施例包括从LER性质估计光学计量测量(例如,OVL、K3S等)的下限。

[0084] 在某些实施例中,可从LER及/或其PSD估计LER对光学计量测量(例如,OVL、K3S等)的不确定性的贡献。在某些实施例中,可从由光学显微镜产生的图像提取对称周期性结构的对称平面的不确定性(此类结构的非限制性实例,参见图3A及图4C)。在某些实施例中,对于例如图4C中所说明的分段周期性结构,可通过在LER性质、目标设计参数及光学系统性质方面的近似参数关系表示经成像光栅的对称平面的位置的不确定性 σ_{X_c} ,如等式13中所提供。

$$[0085] \sigma_{X_c}^2 \approx \sigma_{LER}^2 \left(\frac{2\xi}{L_y} \right) \times \left(\frac{P}{L_x} \right) \left(\frac{CD}{P_{Fine}} \right) \left(\frac{P_c}{P} \right)^2 \left(\frac{P_{Fine}}{CD_{Fine}} \right)^2 \quad \text{等式 13}$$

[0086] 在等式13中,L_x、L_y表示周期性光栅的尺寸,P、CD是粗节距及其在x方向上的CD,

P_{fine} 、 CD_{fine} 是细分段节距及CD(参见图4C),且 P_c 是光学MTF的切通(cut-on)节距(此处假定 P_c/P 具有单位数量级)。等式13使不确定性 σ_{X_C} 与以下因素有关:作为光栅长度对粗节距的比率的(L_x/P)表示粗条数目;作为粗CD对细分段节距的比率的(CD/P_{fine})表示每一粗条的细分段线数目;作为光学器件PSF“截止”节距对光栅节距的比率的(P_c/P)表示成像的低通效应;且($P_{\text{fine}}/CD_{\text{fine}}$)描述影响内核对比度的细分段的工作循环。光学计量的不确定性 σ_{X_C} 可用于估计有关目标保真度量度内核-3-Sigma的下限(参见第PCT/US2017/057767号WIPO申请案,其以全文引用的方式并入本文中),且用作与计量度量相关联的误差的大小的指标,如(例如)第US20140136137号美国申请公开案中所提供之,其以全文引用的方式并入本文中。

[0087] 在某些实施例中,方法100进一步包括从工艺相关LER的参数导出遵守给定测量不确定度规范所需的目标元件的最小尺寸(阶段250);设计计量目标(例如,具有周期性及分段结构的分段叠加目标)以具有符合所述经估计的最小尺寸的目标设计参数(例如,分段参数)(阶段260);及可能估计归因于LER的所述经设计目标的叠加测量的不确定性误差(阶段270),所述不确定性误差可用作量度值(例如上文示范的K3S)的下限。

[0088] 在某些实施例中,可通过使用计量或装置结构的给定现存高分辨率光学图像提取LER及/或PSD估计而从(若干)光学计量测量估计有关LER及/或其PSD的上限。例如,可通过反转等式13中的表达式而从计量度量(例如内核3sigma)及/或目标结构的光学对比度导出LER的(若干)上限估计。

[0089] 上文参考根据本发明的实施例的方法、设备(系统)及计算机程序产品的流程说明及/或部分图式来描述本发明的方面。将理解,可通过计算机程序指令实施所述流程说明及/或部分图式的每一部分以及所述流程说明及/或部分图式中的若干部分的组合。可将这些计算机程序指令提供到通用计算机、专用计算机或其它可编程数据处理设备的处理器以产生机器,使得经由所述计算机或其它可编程数据处理设备的所述处理器执行的所述指令创建用于实施流程图及/或部分图式或其部分中所指定的功能/动作的方法。

[0090] 这些计算机程序指令还可存储于计算机可读媒体中,所述计算机可读媒体可引导计算机、其它可编程数据处理设备或其它装置以特定方式运作,使得存储于所述计算机可读媒体中的指令制造包含实施流程图及/或部分图式或其部分中所指定的功能/动作的指令的物品。

[0091] 也可将计算机程序指令加载到计算机、其它可编程数据处理设备或其它装置上以使一系列操作步骤在所述计算机、其它可编程设备或其它装置上执行以产生计算机实施过程,使得执行于所述计算机或其它可编程设备上的所述指令提供用于实施流程图及/或部分图式或其部分中所指定的功能/动作的过程。

[0092] 上述流程图及图式说明根据本发明的各项实施例的系统、方法及计算机程序产品的可能实施方案的架构、功能及操作。就此点来说,流程图或部分图式中的每一部分可表示包括用于实施(若干)所指定的逻辑功能的一或多个可执行指令的代码的模块、片段或部分。还应注意,在一些替代实施方案中,所述部分中所提及的所述功能可不按图中所提及的顺序发生。例如,连续展示的两个部分可实际上基本同时予以执行,或所述部分有时可按相反顺序予以执行,此取决于所涉及的功能性。还将注意,部分图式及/或流程说明的每一部分以及所述部分图式及/或流程说明中的若干部分的组合可通过执行所指定的功能或动作

或专用硬件及计算机指令的组合的基于硬件的系统来实施。

[0093] 在以上描述中,实施例是本发明的实例或实施方案。“一个实施例”、“实施例”、“某些实施例”或“一些实施例”的各种出现并不一定全部指代相同实施例。尽管本发明的各种特征可在单个实施例的上下文中描述,但所述特征也可单独提供或以任何合适组合提供。相反地,尽管为清楚起见本发明在本文中可在单独实施例的上下文中描述,但本发明也可实施于单个实施例中。本发明的某些实施例可包含来自上文揭示的不同实施例的特征,且某些实施例可并入来自上文揭示的其它实施例的元件。在特定实施例的上下文中的本发明的元件的揭示内容不应被视为将其使用仅限于特定实施例中。此外,应理解,本发明可以各种方式执行或实践且本发明可在除上文描述中概述的实施例以外的某些实施例中实施。

[0094] 本发明并不限于所述图式或对应描述。例如,流程不需要移动通过每一所说明框或状态或以与所说明及描述完全相同的顺序移动通过。除非另有定义,否则应由本发明所属的技术的一般技术人员常规理解本文中所使用的技术及科学术语的意义。虽然已参考有限数目个实施例描述本发明,但这些实施例不应被解释为限制本发明的范围,而是应被解释为一些优选实施例的例示。其它可能变化、修改及应用也在本发明的范围内。因此,本发明的范围不受目前为止已描述的内容限制,而应由所附权利要求书及其合法等效物限制。

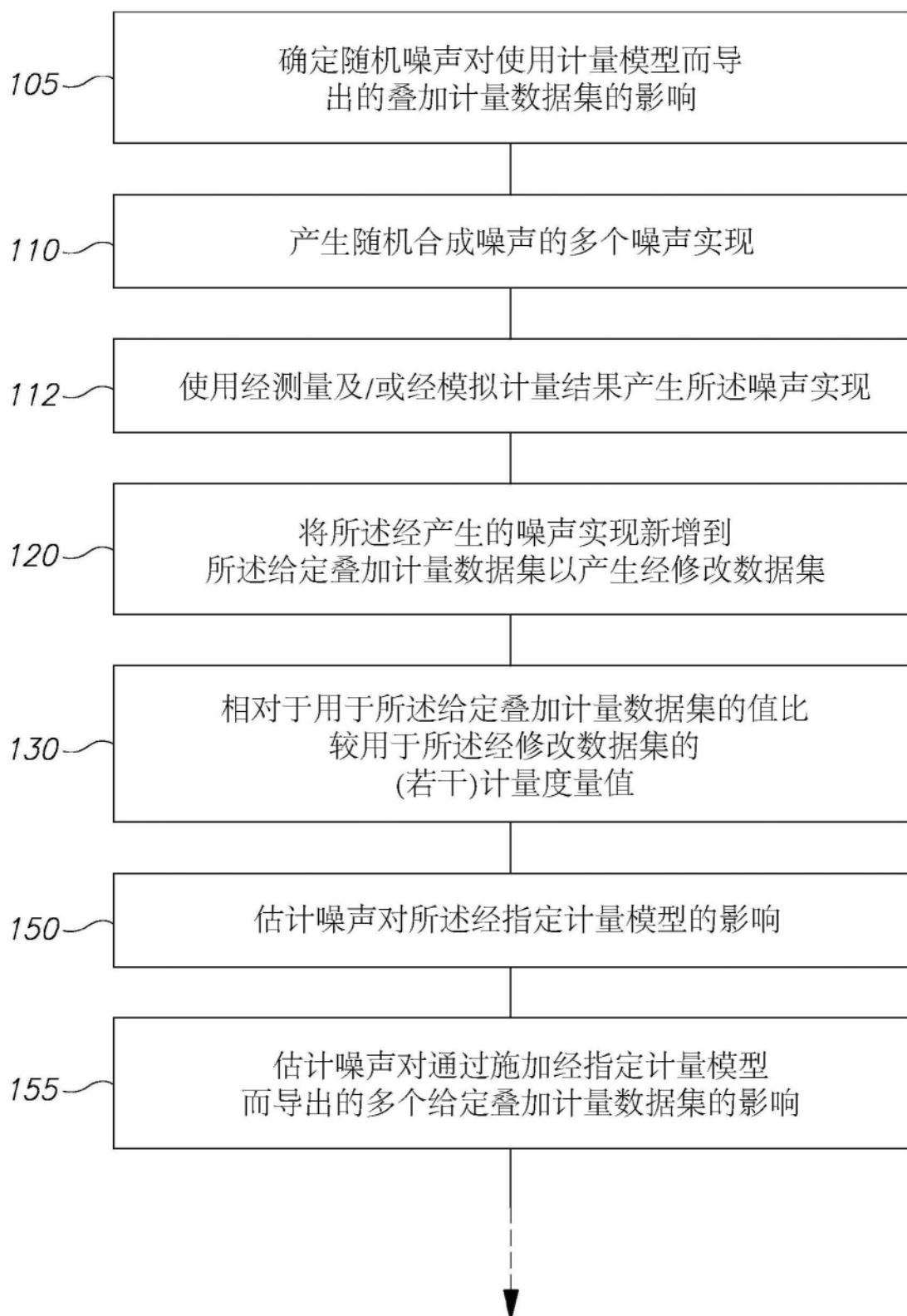
100

图1

160

通过比较噪声对不同计量模型
实施方案的影响而最佳化
计量模型的参数

170

导出所述经估计噪声对模型参数
的影响的相依性的分析表达式

180

估计通过扫描电子显微镜从目标导出的临
界尺寸扫描电子显微镜计量度量值的线边缘
粗糙度相关不确定性误差

182

估计特性化线边缘粗糙度(LER)的
(若干)随机参数的变化范围

184

根据用于所述计量度量值的给定测量模型
使用模拟及/或以分析方式导出由所述经估计范围
所引起的误差

186

使用所述经导出误差估计所述线边
缘粗糙度相关不确定性误差

图1(续1)

190—相对于计量目标的对应临界尺寸扫描电子显微镜计量度量值的经估计不确定性误差估计所述计量目标的光学计量测量的质量

191—基于单个目标不确定性估计针对多个测量模型的线边缘粗糙度相关不确定性误差

192—比较针对多个测量模型的所述经估计不确定性误差且选择所述测量模型的具有遵守给定所需规范的线边缘粗糙度相关不确定性误差中的一者

194—相对于经导出误差确定对应测量模型的最佳模型复杂性

210—确定线边缘粗糙度对使用计量模型导出的叠加计量数据集的影响

220—产生模拟线边缘粗糙度对边缘检测结果的影响的多个噪声实现

图1(续2)

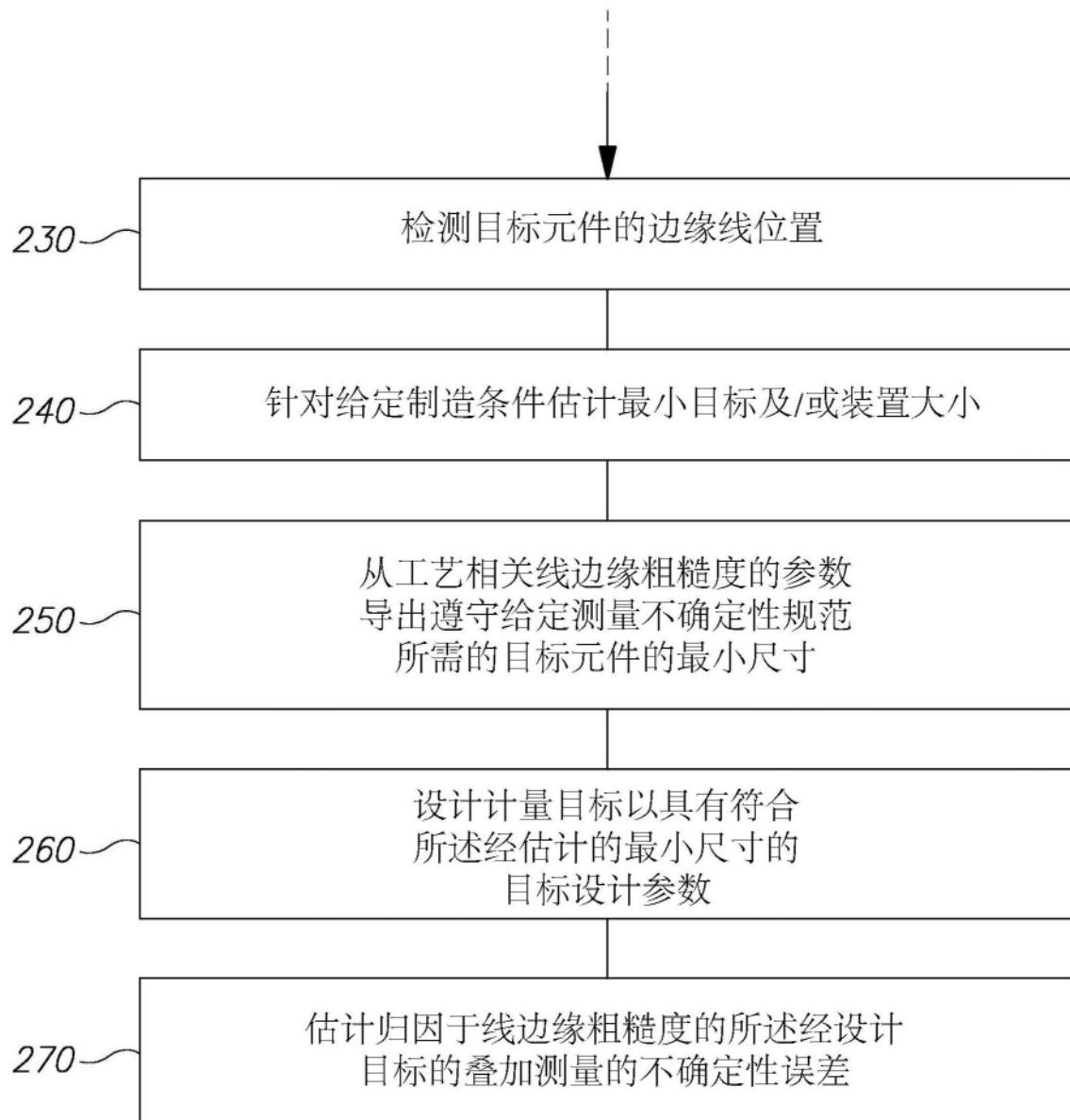


图1(续3)

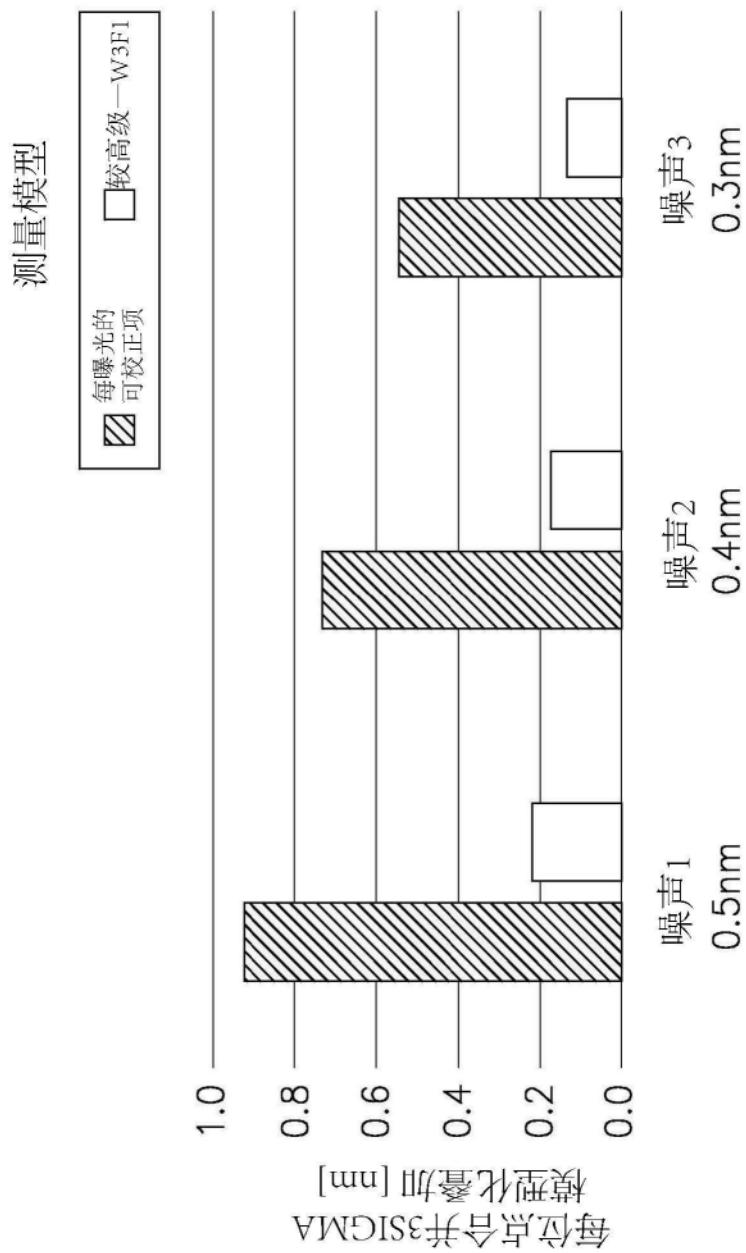


图2

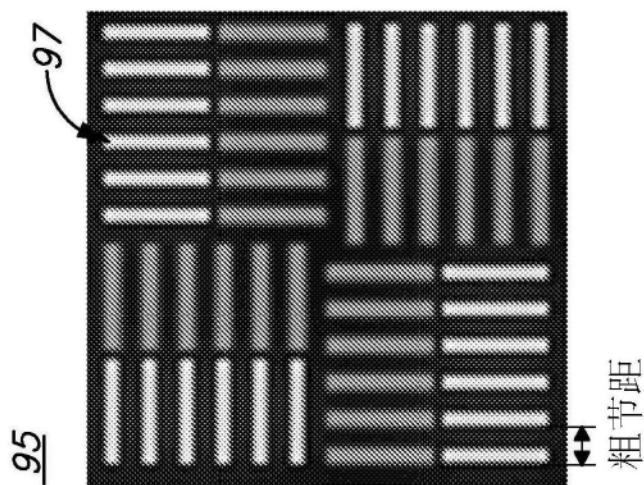


图3A

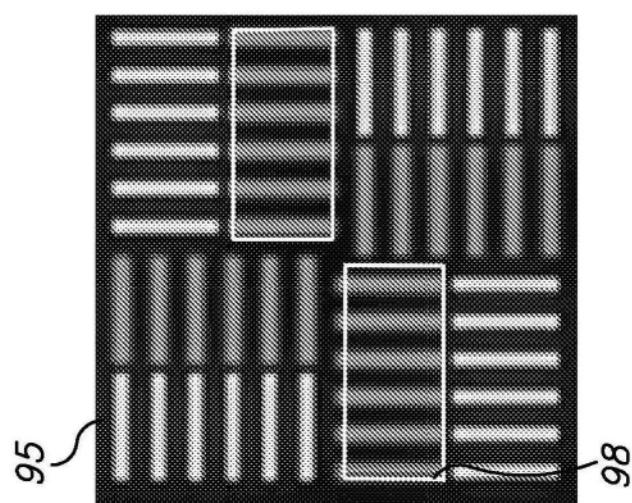


图3B

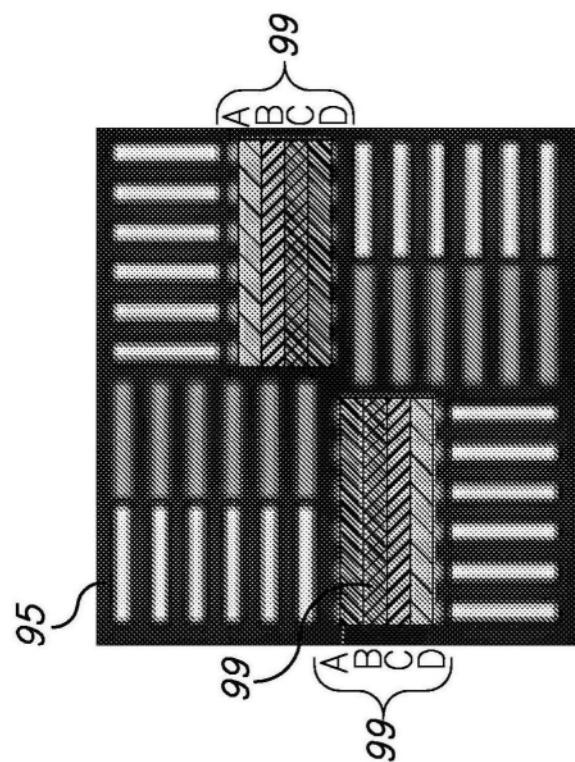


图3C

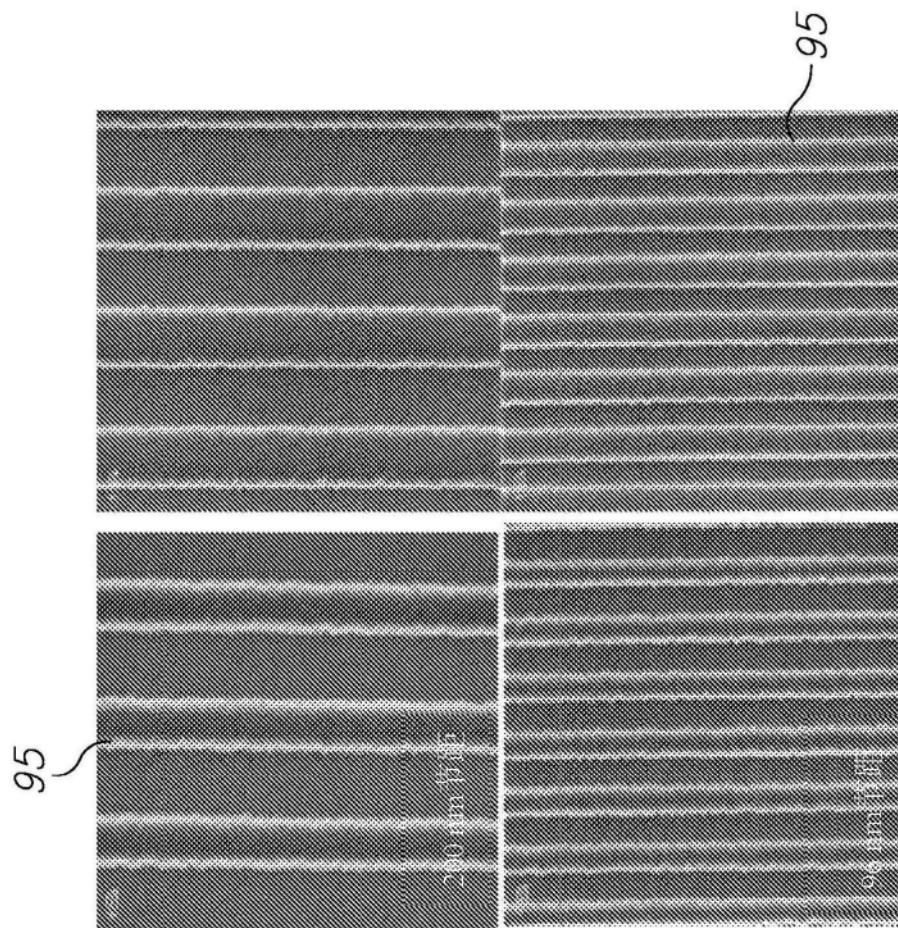


图4A

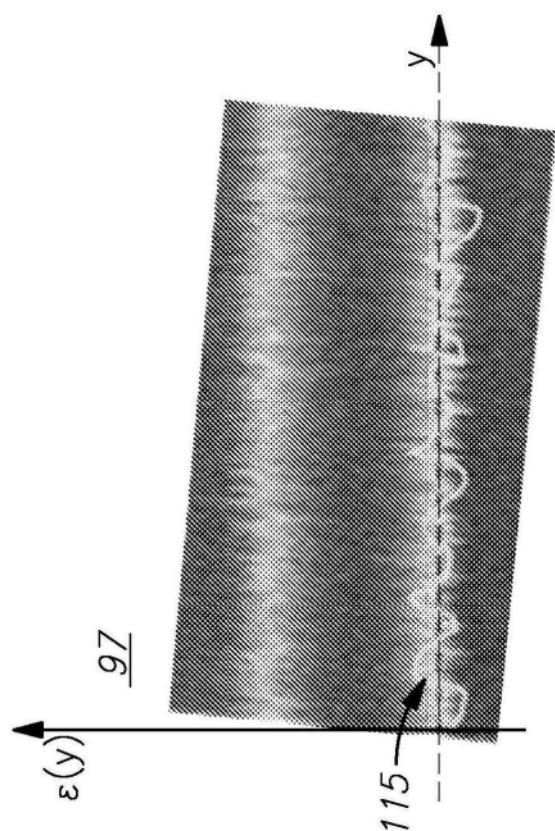


图4B

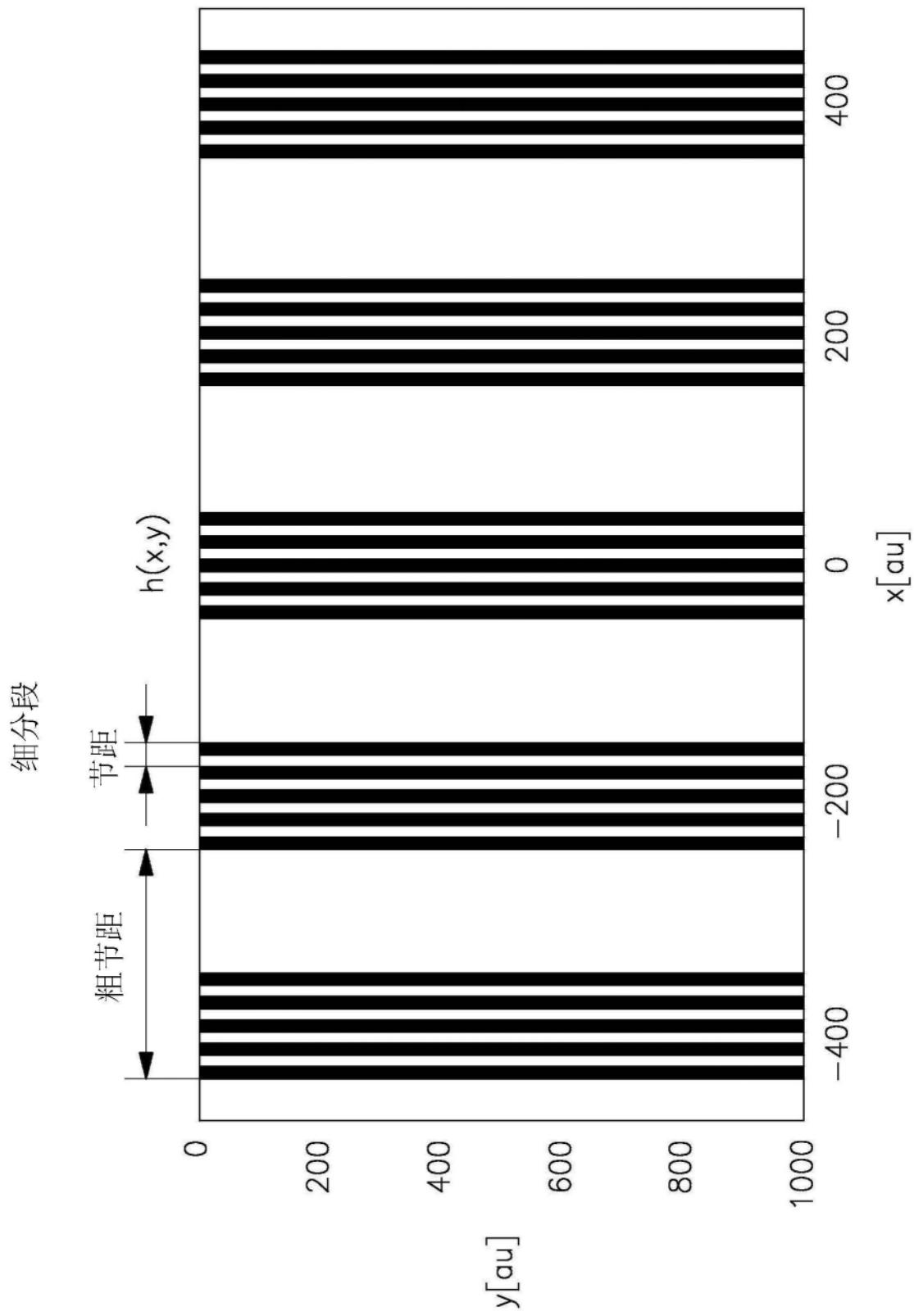


图4C