



(10) 授权公告号 CN 113302473 B

(45) 授权公告日 2025. 02. 25

(21) 申请号 202080009572.X

(22) 申请日 2020.01.16

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113302473 A

(43) 申请公布日 2021.08.24

(30) 优先权数据
62/794,510 2019.01.18 US
16/286,315 2019.02.26 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2021.07.16

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2020/013768 2020.01.16

(87) PCT国际申请的公布数据
W02020/150407 EN 2020.07.23

(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 P·R·阿金斯 列-关·里奇·利
S·克里许南 D·W-C·吴 E·邱

(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 21/47 (2006.01)
G01B 11/24 (2006.01)

(56) 对比文件
US 2008117411 A1,2008.05.22
US 2015300965 A1,2015.10.22

审查员 陈星怡

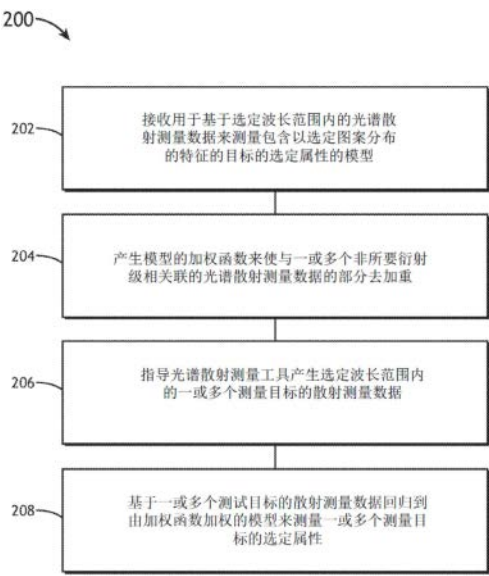
权利要求书6页 说明书16页 附图11页

(54) 发明名称

用于散射测量建模的方法及系统

(57) 摘要

本申请涉及一种用于散射测量建模的方法及系统。一种计量系统可接收用于基于波长范围内的来自散射测量工具的光谱散射测量数据的回归来测量包含以选定图案分布的特征的目标的一或多个选定属性的模型。所述计量系统可进一步产生所述模型的加权函数来使与其中预测由所述散射测量工具在测量所述目标时捕获的光包含非所要衍射级的波长相关联的所述光谱散射测量数据的部分去加重。所述计量系统可进一步指导所述光谱散射测量工具产生包含以所述选定图案分布的制造特征的一或多个测量目标的散射测量数据。所述计量系统可进一步基于所述一或多个测量目标的所述散射测量数据回归到由所述加权函数加权的所述模型来测量所述一或多个测量目标的所述选定属性。



1. 一种计量系统,其包括:

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程序指令以引起所述一或多个处理器:

接收用于基于选定波长范围内的来自散射测量工具的散射测量数据的回归来测量包含以选定图案分布的一或多个特征的目标的一或多个选定属性的模型;

产生所述模型的加权函数来使与其中预测由所述散射测量工具在测量所述目标时捕获的光包含一或多个非所要衍射级的所述选定波长范围内的一或多个波长相关联的所述散射测量数据的部分去加重;

指导所述散射测量工具产生所述选定波长范围内的一或多个测量目标的散射测量数据,其中所述一或多个测量目标包含以所述选定图案分布的制造特征;及

基于所述一或多个测量目标的所述散射测量数据回归到由所述加权函数加权的所述模型来测量所述一或多个测量目标的所述一或多个选定属性。

2. 根据权利要求1所述的计量系统,其中产生加权函数包括:

基于一或多个修改节距参考目标的散射测量数据的回归来测量一或多个修改节距参考目标的所述一或多个选定属性,其中所述一或多个修改节距参考目标包含以所述选定图案分布的特征,其中特征之间的间隔经按比例调整使得由所述散射测量工具在测量所述一或多个修改节距参考目标时捕获的光被预测包含所述选定波长范围内的单个衍射级;

确定所述一或多个修改节距参考目标的所述散射测量数据与所述模型之间的修改节距残差;

基于一或多个测试节距参考目标的散射测量数据的回归来测量一或多个测试节距参考目标的所述一或多个选定属性,其中所述一或多个测试节距参考目标包含以所述选定图案分布的特征,其中所述一或多个测试节距参考目标的特征之间的间隔对应于所述一或多个测量目标的特征之间的间隔;

确定所述一或多个测试节距参考目标的所述散射测量数据与所述模型之间的测试节距残差;

基于所述修改节距残差与所述测试节距残差之间的比率的绝对值来产生所述加权函数。

3. 根据权利要求2所述的计量系统,其中所述加权函数 $W(\lambda)$ 包括:

$$W(\lambda) = \left\| \frac{R_{MP}(\lambda)}{R_{TP}(\lambda)} \right\|, \text{ 其中 } R_{MP}(\lambda) \text{ 表示所述修改节距残差, } R_{TP}(\lambda) \text{ 表示所述测试节距残差, 且 } \lambda \text{ 表示所述选定波长范围内的波长。}$$

4. 根据权利要求2所述的计量系统,其中使用用于确定所述修改节距残差的加权方案来确定所述测试节距残差。

5. 根据权利要求2所述的计量系统,其中使用均匀加权方案来确定所述测试节距残差。

6. 根据权利要求2所述的计量系统,其中所述一或多个修改节距参考目标包括:

两个或更多个修改节距参考目标,其中所述波长范围内的特定波长处的所述修改节距残差的值包括:

与所述特定波长处的所述两个或更多个修改节距参考目标相关联的两个或更多个残差的平均值。

7. 根据权利要求2所述的计量系统,其中所述一或多个测试节距参考目标包括:

两个或更多个测试节距参考目标,其中所述波长范围内的特定波长处的所述测试节距残差的值包括:

与所述特定波长处的所述两个或更多个测试节距参考目标相关联的两个或更多个残差的平均值。

8. 根据权利要求1所述的计量系统,其中产生加权函数包括:

估计与所述一或多个非所要衍射级中的每一者相关联的捕获强度;

估计与所述非所要衍射级中的每一者的所述捕获强度相关联的总污染强度;及

基于所述总污染强度来产生所述加权函数。

9. 根据权利要求8所述的计量系统,其中所述加权函数 $W(\lambda)$ 包括:

$$W(\lambda) = \begin{cases} 0 & I_{C,TOT}(\lambda) > n_0 I_0(\lambda) \\ 1 & I_{C,TOT}(\lambda) \leq n_1 I_0(\lambda), \text{其中 } I_{C,TOT}(\lambda) \text{ 表示所述总污染强度, } I_0 \\ \frac{n_0 I_0(\lambda) - I_{C,TOT}(\lambda)}{I_0(\lambda)(n_0 - n_1)} & \text{else} \end{cases}$$

(λ) 表示参考强度, λ 表示所述选定波长范围内的波长,且 n_0 及 n_1 表示界限参数,其中 n_0 表示上阈值及 n_1 表示下阈值。

10. 根据权利要求9所述的计量系统,其中所述参考强度包括:

所述散射测量数据的噪声方差。

11. 根据权利要求9所述的计量系统,其中所述总污染强度包括:

$$I_{C,TOT}(\lambda) = \sum_{m_x, m_y} \frac{A_C(\lambda, m_x, m_y)}{A_{Coll}} I_C(\lambda, m_x, m_y), \text{其中 } m_x \text{ 及 } m_y \text{ 表示两个正交方向上的衍射}$$

级, $I_C(\lambda, m_x, m_y)$ 表示所述散射测量工具的收集孔隙上的污染级(m_x, m_y)的平均强度, A_{Coll} 表示所述收集孔隙的面积,且 $A_C(\lambda, m_x, m_y)$ 表示所述收集孔隙上的污染面积。

12. 根据权利要求1所述的计量系统,其中产生加权函数包括:

基于一或多个修改节距参考目标的散射测量数据的回归来测量一或多个修改节距参考目标的所述一或多个选定属性,其中所述一或多个修改节距参考目标包含以所述选定图案分布的特征,其中特征之间的间隔经按比例调整使得由所述散射测量工具在测量所述一或多个修改节距参考目标时捕获的光被预测包含所述选定波长范围的单个衍射级;

确定所述一或多个修改节距参考目标的所述散射测量数据与所述模型之间的修改节距残差;

基于一或多个测试节距参考目标的散射测量数据的回归来测量一或多个测试节距参考目标的所述一或多个选定属性,其中所述一或多个测试节距参考目标包含以所述选定图案分布的特征,其中所述一或多个测试节距参考目标的特征之间的间隔对应于所述一或多个测量目标的特征之间的间隔;

确定所述一或多个测试节距参考目标的所述散射测量数据与所述模型之间的测试节距残差;

基于所述修改节距残差与所述测试节距残差之间的比率的绝对值来产生第一加权子函数;

估计与所述一或多个非所要衍射级中的每一者相关联的捕获强度;

估计与所述非所要衍射级中的每一者的所述捕获强度相关联的总污染强度；及基于所述总污染强度来产生第二加权子函数。

13. 根据权利要求12所述的计量系统,其中所述第一加权子函数 $W_{Res}(\lambda)$ 包括:

$W_{Res}(\lambda) = \left\| \frac{R_{MP}(\lambda)}{R_{TP}(\lambda)} \right\|$, 其中 $R_{MP}(\lambda)$ 表示所述修改节距残差, $R_{TP}(\lambda)$ 表示所述测试节距残

差,且 λ 表示所述选定波长范围内的波长,其中所述第二加权子函数 $W_{Ho}(\lambda)$ 包括:

$$W_{Ho}(\lambda) = \begin{cases} 0 & I_{C,TOT}(\lambda) > n_0 I_0(\lambda) \\ 1 & I_{C,TOT}(\lambda) \leq n_1 I_0(\lambda) \\ \frac{n_0 I_0(\lambda) - I_{C,TOT}(\lambda)}{I_0(\lambda)(n_0 - n_1)} & \text{else} \end{cases}, \text{其中 } I_{C,TOT}(\lambda) \text{ 表示所述总污染强度,}$$

$I_0(\lambda)$ 表示参考强度, λ 表示所述选定波长范围内的波长,且 n_0 及 n_1 表示界限参数,其中 n_0 表示上阈值及 n_1 表示下阈值,其中所述加权函数 $W(\lambda)$ 包括:

$W(\lambda) = \alpha W_{Ho}(\lambda) + (1 - \alpha) W_{Res}(\lambda)$, 其中 α 是界定所述第一加权子函数及所述第二加权子函数的相对权重的参数。

14. 根据权利要求13所述的计量系统,其中所述参考强度包括:

所述散射测量数据的噪声方差。

15. 根据权利要求13所述的计量系统,其中所述总污染强度包括:

$I_{C,TOT}(\lambda) = \sum_{m_x, m_y} \frac{A_C(\lambda, m_x, m_y)}{A_{Coll}} I_C(\lambda, m_x, m_y)$, 其中 m_x 及 m_y 表示两个正交方向上的衍射

级, $I_C(\lambda, m_x, m_y)$ 表示所述散射测量工具的收集孔隙上的污染级 (m_x, m_y) 的平均强度, A_{Coll} 表示所述收集孔隙的面积,且 $A_C(\lambda, m_x, m_y)$ 表示所述收集孔隙上的污染面积。

16. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述散射测量工具包括:

照明源,其经配置以产生包含所述选定波长范围的照明光束;

一或多个照明光学器件,其将所述照明光束引导到样本;

一或多个收集光学器件,其响应于所述照明光束而从所述样本收集光;及

检测器,其经配置以基于检测到由所述一或多个收集光学器件收集的光的至少一部分来产生所述散射测量数据。

17. 一种计量系统,其包括:

散射测量工具,其用于产生选定波长范围内的目标的散射测量数据;及

控制器,其通信地耦合到所述散射测量工具,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程序指令以引起所述一或多个处理器:

接收用于基于所述选定波长范围内的来自所述散射测量工具的散射测量数据的回归来测量包含以选定图案分布的一或多个特征的目标的一或多个选定属性的模型;

产生所述模型的加权函数来使与其中预测由所述散射测量工具在测量所述目标时捕获的光包含一或多个非所要衍射级的所述选定波长范围内的一或多个波长相关联的所述散射测量数据的部分去加重;

指导所述散射测量工具产生所述选定波长范围内的一或多个测量目标的散射测量数据,其中所述一或多个测量目标包含以所述选定图案分布的制造特征;及

基于所述一或多个测量目标的所述散射测量数据回归到由所述加权函数加权的所述

模型来测量所述一或多个测量目标的所述一或多个选定属性。

18. 根据权利要求17所述的计量系统,其中所述散射测量工具包括:

照明源,其经配置以产生包含所述选定波长范围的照明光束;

一或多个照明光学器件,其将所述照明光束引导到样本;

一或多个收集光学器件,其响应于所述照明光束而从所述样本收集光;及

检测器,其经配置以基于检测到由所述一或多个收集光学器件收集的光的至少一部分来产生所述散射测量数据。

19. 根据权利要求17所述的计量系统,其中所述散射测量工具包括:

光谱反射测量工具。

20. 根据权利要求17所述的计量系统,其中所述散射测量工具包括:

光谱椭圆偏测量工具。

21. 根据权利要求17所述的计量系统,其中产生加权函数包括:

基于一或多个修改节距参考目标的散射测量数据的回归来测量一或多个修改节距参考目标的所述一或多个选定属性,其中所述一或多个修改节距参考目标包含以所述选定图案分布的特征,其中特征之间的间隔经按比例调整使得由所述散射测量工具在测量所述一或多个修改节距参考目标时捕获的光被预测包含所述选定波长范围内的单个衍射级;

确定所述一或多个修改节距参考目标的所述散射测量数据与所述模型之间的修改节距残差;

基于一或多个测试节距参考目标的散射测量数据的回归来测量一或多个测试节距参考目标的所述一或多个选定属性,其中所述一或多个测试节距参考目标包含以所述选定图案分布的特征,其中所述一或多个测试节距参考目标的特征之间的间隔对应于所述一或多个测量目标的特征之间的间隔;

确定所述一或多个测试节距参考目标的所述散射测量数据与所述模型之间的测试节距残差;

基于所述修改节距残差与所述测试节距残差之间的比率的绝对值来产生所述加权函数。

22. 根据权利要求21所述的计量系统,其中所述加权函数 $W(\lambda)$ 包括:

$W(\lambda) = \left\| \frac{R_{MP}(\lambda)}{R_{TP}(\lambda)} \right\|$, 其中 $R_{MP}(\lambda)$ 表示所述修改节距残差, $R_{TP}(\lambda)$ 表示所述测试节距残差,

且 λ 表示所述选定波长范围内的波长。

23. 根据权利要求17所述的计量系统,其中产生加权函数包括:

估计与所述一或多个非所要衍射级中的每一者相关联的捕获强度;

估计与所述非所要衍射级中的每一者的所述捕获强度相关联的总污染强度;及

基于所述总污染强度来产生所述加权函数。

24. 根据权利要求23所述的计量系统,其中所述加权函数 $W(\lambda)$ 包括:

$$W(\lambda) = \begin{cases} 0 & I_{C,TOT}(\lambda) > n_0 I_0(\lambda) \\ 1 & I_{C,TOT}(\lambda) \leq n_1 I_0(\lambda) \\ \frac{n_0 I_0(\lambda) - I_{C,TOT}(\lambda)}{I_0(\lambda)(n_0 - n_1)} & \text{else} \end{cases}, \text{其中 } I_{C,TOT}(\lambda) \text{ 表示所述总污染强度, } I_0$$

(λ) 表示参考强度, λ 表示所述选定波长范围内的波长, 且 n_0 及 n_1 表示界限参数, 其中 n_0 表示上阈值及 n_1 表示下阈值。

25. 根据权利要求24所述的计量系统, 其中所述参考强度包括:

所述散射测量数据的噪声方差。

26. 根据权利要求24所述的计量系统, 其中所述总污染强度包括:

$$I_{C,TOT}(\lambda) = \sum_{m_x, m_y} \frac{A_C(\lambda, m_x, m_y)}{A_{Coll}} I_C(\lambda, m_x, m_y) \text{ 其中 } m_x \text{ 及 } m_y \text{ 表示两个正交方向上的衍射}$$

级, $I_C(\lambda, m_x, m_y)$ 表示所述散射测量工具的收集孔隙上的污染级 (m_x, m_y) 的平均强度, A_{Coll} 表示所述收集孔隙的面积, 且 $A_C(\lambda, m_x, m_y)$ 表示所述收集孔隙上的污染面积。

27. 根据权利要求17所述的计量系统, 其中产生加权函数包括:

基于一或多个修改节距参考目标的散射测量数据的回归来测量一或多个修改节距参考目标的所述一或多个选定属性, 其中所述一或多个修改节距参考目标包含以所述选定图案分布的特征, 其中特征之间的间隔经按比例调整使得由所述散射测量工具在测量所述一或多个修改节距参考目标时捕获的光被预测包含所述选定波长范围内的单个衍射级;

确定所述一或多个修改节距参考目标的所述散射测量数据与所述模型之间的修改节距残差;

基于一或多个测试节距参考目标的散射测量数据的回归来测量一或多个测试节距参考目标的所述一或多个选定属性, 其中所述一或多个测试节距参考目标包含以所述选定图案分布的特征, 其中所述一或多个测试节距参考目标的特征之间的间隔对应于所述一或多个测量目标的特征之间的间隔;

确定所述一或多个测试节距参考目标的所述散射测量数据与所述模型之间的测试节距残差;

基于所述修改节距残差与所述测试节距残差之间的比率的绝对值来产生第一加权子函数;

估计与所述一或多个非所要衍射级中的每一者相关联的捕获强度;

估计与所述非所要衍射级中的每一者的所述捕获强度相关联的总污染强度; 及

基于所述总污染强度来产生第二加权子函数。

28. 根据权利要求27的计量系统, 其中所述第一加权子函数 $W_{Res}(\lambda)$ 包括:

$$W_{Res}(\lambda) = \left\| \frac{R_{MP}(\lambda)}{R_{TP}(\lambda)} \right\| \text{ 其中 } R_{MP}(\lambda) \text{ 表示所述修改节距残差, } R_{TP}(\lambda) \text{ 表示所述测试节距残差,}$$

且 λ 表示所述选定波长范围内的波长, 其中所述第二加权子函数 $W_{HO}(\lambda)$ 包括:

$$W_{HO}(\lambda) = \begin{cases} 0 & I_{C,TOT}(\lambda) > n_0 I_0(\lambda) \\ 1 & I_{C,TOT}(\lambda) \leq n_1 I_0(\lambda) \\ \frac{n_0 I_0(\lambda) - I_{C,TOT}(\lambda)}{I_0(\lambda)(n_0 - n_1)} & \text{else} \end{cases} \text{ 其中 } I_{C,TOT}(\lambda) \text{ 表示所述总污染强}$$

度, $I_0(\lambda)$ 表示参考强度, λ 表示所述选定波长范围内的波长, 且 n_0 及 n_1 表示界限参数, 其中 n_0 表示上阈值及 n_1 表示下阈值, 其中所述加权函数 $W(\lambda)$ 包括:

$W(\lambda) = \alpha W_{HO}(\lambda) + (1 - \alpha) W_{Res}(\lambda)$, 其中 α 是界定所述第一加权子函数及所述第二加权子函数的相对权重的参数。

29. 根据权利要求28所述的计量系统,其中所述参考强度包括:
所述散射测量数据的噪声方差。

30. 根据权利要求28所述的计量系统,其中所述总污染强度包括:

$$I_{C,TOT}(\lambda) = \sum_{m_x, m_y} \frac{A_C(\lambda, m_x, m_y)}{A_{Coll}} I_C(\lambda, m_x, m_y), \text{ 其中 } m_x \text{ 及 } m_y \text{ 表示两个正交方向上的衍射}$$

级, $I_C(\lambda, m_x, m_y)$ 表示所述散射测量工具的收集孔隙上的污染级 (m_x, m_y) 的平均强度, A_{Coll} 表示所述收集孔隙的面积, 且 $A_C(\lambda, m_x, m_y)$ 表示所述收集孔隙上的污染面积。

31. 一种计量方法,其包括:

接收用于基于选定波长范围内的来自散射测量工具的散射测量数据的回归来测量包含以选定图案分布的一或多个特征的目标的一或多个选定属性的模型;

产生所述模型的加权函数来使与其中预测由所述散射测量工具在测量所述目标时捕获的光包含一或多个非所要衍射级的所述选定波长范围内的一或多个波长相关联的所述散射测量数据的部分去加重;

指导所述散射测量工具产生所述选定波长范围内的一或多个测量目标的散射测量数据,其中所述一或多个测量目标包含以所述选定图案分布的制造特征;及

基于所述一或多个测量目标的所述散射测量数据回归到由所述加权函数加权的所述模型来测量所述一或多个测量目标的所述一或多个选定属性。

用于散射测量建模的方法及系统

[0001] 相关申请案的交叉参考

[0002] 本申请案根据35U.S.C.§119(e)规定主张名叫菲利普·阿特金斯(Phillip Atkins)、列权·李(Liequan Lee)、克里希南·香卡(Krishnan Shankar)、大卫·吴(David Wu)及艾米丽·邱(Emily Chiu)的发明者在2019年1月18日申请的标题为在高衍射级存在的情况下的CD建模(CD MODELING IN THE PRESENCE OF HIGHER DIFFRACTION ORDERS)的序列号为62/794,510的美国临时申请案的权利要求,所述申请案的全部内容以引用的方式并入本文中。

技术领域

[0003] 本发明大体上涉及散射测量计量,且更特定来说,本发明涉及光谱散射测量计量。

背景技术

[0004] 散射测量基于分析光从样本发出的角度而非分析样本的图像来提供计量测量。入射于样本上的光基于样本上的特征的结构及组成来以各种角度反射、散射及/或衍射。此外,反射、散射及/或衍射光的角度及/或强度通常随入射光的不同波长变化。因此,光谱散射测量捕获多个波长处的散射测量信号以进一步特性化样本上的特征。

[0005] 散射测量计量通常利用模型来使散射测量数据(例如反射、散射及/或衍射光)与样本的一或多个属性(其包含(但不限于)特征的物理尺寸(例如临界尺寸(CD))、特征高度、一或多个样本层上的特征之间的间隔距离、一或多个样本层的材料性质或一或多个样本层的光学性质)有关。

[0006] 通常期望限制专用于计量的样本的空间以将空间留给所关注的制造特征。用于减小计量目标的大小的技术是在收集光时利用大数值孔径。然而,情况可能为大数值孔径会从样本捕获与无用衍射级相关联的光,其会将噪声引入到散射测量数据与模型的拟合中。因此,期望提供消除上述缺陷的系统及方法。

发明内容

[0007] 根据本发明的一或多个说明性实施例,公开一种计量系统。在说明性实施例中,所述系统包含控制器。在另一说明性实施例中,所述控制器接收用于基于选定波长范围内的来自散射测量工具的光谱散射测量数据的回归来测量包含以选定图案分布的一或多个特征的目标的一或多个选定属性的模型。在另一说明性实施例中,所述控制器产生所述模型的加权函数来使与其中预测由所述散射测量工具在测量所述目标时捕获的光包含一或多个非所要衍射级的所述选定波长范围内的一或多个波长相关联的所述光谱散射测量数据的部分去加重。在另一说明性实施例中,所述控制器指导所述光谱散射测量工具产生所述选定波长范围内的一或多个测量目标的散射测量数据,其中所述一或多个测量目标包含以所述选定图案分布的制造特征。在另一说明性实施例中,所述控制器基于所述一或多个测量目标的所述散射测量数据回归到由所述加权函数加权的所述模型来测量所述一或多个

测量目标的所述一或多个选定属性。

[0008] 根据本发明的一或多个说明性实施例,公开一种计量系统。在说明性实施例中,所述系统包含用于产生选定波长范围内的目标的光谱散射测量数据的散射测量工具。在另一说明性实施例中,所述系统包含控制器。在另一说明性实施例中,所述控制器接收用于基于所述选定波长范围内的来自所述散射测量工具的光谱散射测量数据的回归来测量包含以选定图案分布的一或多个特征的目标的一或多个选定属性的模型。在另一说明性实施例中,所述控制器产生所述模型的加权函数来使与其中预测由所述散射测量工具在测量所述目标时捕获的光包含一或多个非所要衍射级的所述选定波长范围内的一或多个波长相关联的所述光谱散射测量数据的部分去加重。在另一说明性实施例中,所述控制器指导所述光谱散射测量工具产生所述选定波长范围内的一或多个测量目标的散射测量数据,其中所述一或多个测量目标包含以所述选定图案分布的制造特征。在另一说明性实施例中,所述控制器基于所述一或多个计量目标的所述散射测量数据回归到由所述加权函数加权的所述模型来测量所述一或多个测量目标的所述一或多个选定属性。

[0009] 根据本发明的一或多个说明性实施例,公开一种计量方法。在一个说明性实施例中,所述方法包含接收用于基于选定波长范围内的来自散射测量工具的光谱散射测量数据的回归来测量包含以选定图案分布的一或多个特征的目标的一或多个选定属性的模型。在另一说明性实施例中,所述方法包含产生所述模型的加权函数来使与其中预测由所述散射测量工具在测量所述目标时捕获的光包含一或多个非所要衍射级的所述选定波长范围内的一或多个波长相关联的所述光谱散射测量数据的部分去加重。在另一说明性实施例中,所述方法包含指导所述光谱散射测量工具产生所述选定波长范围内的一或多个测量目标的散射测量数据,其中所述一或多个测量目标包含以所述选定图案分布的制造特征。在另一说明性实施例中,所述方法包含基于所述一或多个测量目标的所述散射测量数据回归到由所述加权函数加权的所述模型来测量所述一或多个测量目标的所述一或多个选定属性。

[0010] 应了解,以上一般描述及以下详细描述两者仅供例示及说明且未必限制本发明。并入本说明书中且构成本说明书的一部分的附图说明本发明的实施例且与具体实施方式一起用于阐释本发明的原理。

附图说明

[0011] 所属领域的技术人员可通过参考附图来更好理解本发明的众多优点,其中:

[0012] 图1A是根据本发明的一或多个实施例的散射测量计量系统的框图;

[0013] 图1B是根据本发明的一或多个实施例的散射测量计量工具的概念图;

[0014] 图1C是根据本发明的一或多个实施例的经配置有共同物镜的散射测量计量工具的概念图;

[0015] 图2是说明根据本发明的一或多个实施例的用于散射测量计量的方法中所执行的步骤的流程图;

[0016] 图3是说明根据本发明的一或多个实施例的与基于参考目标的测量来产生加权函数相关联的子步骤的流程图;

[0017] 图4A是根据本发明的一或多个实施例的测试节距目标的透视图;

[0018] 图4B是根据本发明的一或多个实施例的修改节距目标的透视图;

[0019] 图5是说明根据本发明的一或多个实施例的基于比较与图4B中所说明的修改节距目标相关联的修改节距残差与图4A中所说明的测试节距目标相关联的测试节距残差所产生的权重的标绘图；

[0020] 图6是说明根据本发明的一或多个实施例的用于基于估计与由散射测量计量工具捕获的非所要衍射级的部分相关联的总污染强度来产生加权函数的子步骤的流程图；

[0021] 图7是说明根据本发明的一或多个实施例的基于与图4A中所说明的测试节距目标402的测量相关联的估计总污染强度所产生的权重的标绘图；及

[0022] 图8是说明根据本发明的一或多个实施例的基于残差加权法及射线跟踪法的线性组合所产生的权重的标绘图。

具体实施方式

[0023] 现将详细参考附图中所说明的所公开标的物。已相对于本发明的特定实施例及具体特征来特别展示及描述本发明。本文所阐述的实施例应被视为意在说明而非限制。所属领域的一般技术人员应易于明白，可在不背离本发明的精神及范围的情况下对形式及细节作出各种改变及修改。

[0024] 本发明的实施例是针对用于光谱散射测量的系统及方法，其并入用于基于包含一或多个所要衍射级的散射测量数据来测量样本的一或多个属性的模型且进一步并入权重来使与非所要衍射级相关联的散射测量数据去加重。

[0025] 散射测量计量工具通常照射样本及在光瞳平面中捕获（例如使用检测器）从样本发出的相关联光。据此来说，可捕获来自样本的光的角度及强度。接着，此散射测量数据可通过模型来与样本的各种属性中的任一者有关。例如，样本上的特征可基于各种物理或光学样本属性（例如（但不限于）若干样本层、一或多个层上的特征的图案（例如分布）、层的组成、层的厚度或层的光学性质）来反射、散射及/或衍射入射光。因此，模型可并入入射光与样本的相互作用的各种模拟及/或估计以提供样本的物理或光学属性与对应散射测量数据之间的关系。此外，由于光的散射、反射及衍射通常依据波长而变化，所以光谱散射测量工具可同时或循序捕获多个波长的散射测量信号。

[0026] 情况通常为制造样本的物理或光学属性不同于目标值。因此，模型通常可包含一或多个浮动参数，使得与制造样本相关联的散射测量数据可拟合到模型。据此来说，浮动参数的所得值可用于确定样本的一或多个属性的测量值。例如，将散射测量数据拟合到模型可提供一或多个特征的测量，例如（但不限于）特征尺寸（例如临界尺寸（CD））、特征高度、侧壁角、选定样本层上的特征之间的间隔（例如分布特征的节距）或不同层上的特征之间的间隔（例如覆盖测量）。通过另一实例的方式，将散射测量数据拟合到模型可提供一或多个样本层的测量，例如（但不限于）层厚度或折射率。

[0027] 情况可能为不同应用（例如并入不同特征的目标的测量）的散射测量模型可能需要不同散射测量数据作为输入。例如，光学临界尺寸（OCD）测量可（但未必）利用并入与散射测量单衍射级（例如0级）相关联的散射测量数据的模型。据此来说，与非所要衍射级（例如较高级衍射）相关联的散射测量数据会在拟合到模型时引入噪声。据此来说，非所要衍射级会污染测量且可导致测量不准确。

[0028] 在此应认识到，光谱散射测量模型通常可受益于跨宽带宽范围的散射测量数据以

提供足以用于准确及精确确定浮动参数的值的信息。然而,实际上,可期望利用特定散射测量工具(例如特定光谱散射测量工具)来特性化导致至少一些非所要散射测量数据(例如与所要衍射级相关联)的收集的目标。继续上述实例,可期望对具有足以使得特定光谱散射测量工具针对工具的带宽内的至少一些波长收集至少一些较高级衍射的大节距分布的特征的目标执行OCD测量。例如,光从样本上的周期性特征衍射的角度一般可随节距增大及光的波长减小而减小。因此,适合于特性化一些最先进逻辑设备或静态随机存取存储器(SRAM)装置的目标可具有足以导致尤其在使用可见光或紫外(UV)光时收集至少一些较高级衍射的大节距的特征。

[0029] 然而,在此应认识到,非所要散射测量数据的影响可随不同波长变化。本发明的实施例是针对产生散射测量模型的加权函数来使非所要散射测量数据(例如与非所要衍射级相关联的散射测量数据)去加重。因此,可在非所要散射测量数据不过度影响测量的准确度的程度下利用非所要散射测量数据,其可基于任何选定拟合度计量来确定。据此来说,每一波长处所引入的污染程度可与跨宽光谱范围的数据的益处平衡以提供准确拟合。例如,应注意,可仅排除引入(或预计会引入)污染的波长的数据。然而,此方法可基于选定拟合计量来提供模型的紧密拟合,但有限量的收集数据实际上会降低测量的准确度。相比来说,根据本发明的实施例的基于污染程度来使散射测量数据加权可导致高度准确测量,不管污染如何。

[0030] 本发明的实施例包含用于产生光谱散射测量模型的加权函数的多个系统及方法,光谱散射测量模型经设计以使来自选定光谱散射测量工具(例如具有选定测量带宽及数值孔径的光谱散射测量工具)的光谱散射测量数据与测试目标(例如测量目标)的所关注的一或多个属性(例如CD或其类似者)有关。例如,测试目标可包含一或多个样本层中的特征的已知分布。

[0031] 在一些实施例中,通过测量测试节距目标及至少一修改节距目标的光谱散射测量数据来产生加权函数。例如,测试节距目标可与所关注的测试目标相同,而修改节距目标可包含根据与所关注的测试目标相同的图案分布但具有足以避免由选定光谱散射测量工具捕获非所要衍射级的小节距值的特征。此外,散射测量数据可拟合到模型且可确定波长相依残差。接着,可基于修改节距目标及测试节距目标的残差的比率来产生波长相依加权函数。

[0032] 在一些实施例中,基于每一波长处的污染的估计来产生加权函数,可使用包含(但不限于)射线跟踪技术或严格耦合波分析(RCWA)技术的各种技术来产生污染的估计。

[0033] 在一些实施例中,基于多个技术的组合来产生加权函数。例如,加权函数可产生为(但不限于)多个加权技术的线性组合。

[0034] 现大体上参考图1A到8来更详细描述使用加权模型来散射测量计量的系统及方法。

[0035] 图1A是根据本发明的一或多个实施例的散射测量计量系统100的框图。

[0036] 在一个实施例中,散射测量计量系统100包含用于产生与一或多个样本相关联的散射测量数据的散射测量计量工具102。散射测量计量工具102可包含适合于提供一或多个波长处的散射测量计量信号的所属领域中已知的任何类型的散射测量计量系统。例如,散射测量计量工具102可包含(但不限于)分光计、具有一或多个照明角的光谱椭圆偏计、用于测

量穆勒 (Mueller) 矩阵元素 (例如使用旋转补偿器) 的光谱椭偏计、光谱反射计或散射计。

[0037] 此外, 散射测量计量工具102可包含单个计量工具或多个计量工具。例如, 第7, 933, 026号美国专利中大体上描述包含多个硬件配置的计量工具, 所述专利的全部内容以引用的方式并入本文中。第7, 478, 019号美国专利中大体上描述并入多个计量工具的计量系统, 所述专利的全部内容以引用的方式并入本文中。第5, 608, 526号美国专利中大体上描述基于主要反射光学器件的聚焦光束椭偏术, 所述专利的全部内容以引用的方式并入本文中。第5, 859, 424号美国专利中大体上描述使用变迹器来减轻引起照明点的扩散超过由几何光学器件界定的大小的光学衍射的效应, 所述专利的全部内容以引用的方式并入本文中。第6, 429, 943号美国专利中大体上描述使用具有同时多入射角照明的高数值孔径工具, 所述专利的全部内容以引用的方式并入本文中。

[0038] 散射测量计量工具102可产生与样本上的任何位置相关联的散射测量数据。在一个实施例中, 散射测量计量工具102产生样本上的装置特征的散射测量数据。据此来说, 散射测量计量工具102可直接特性化所关注的特征。在另一实施例中, 散射测量计量工具102产生一或多个计量目标 (例如目标) 的散射测量数据, 计量目标包含经设计以表示样本上的装置特征的制造特征。据此来说, 跨样本分布的一或多个计量目标的测量可归因于装置特征。例如, 情况可为样本特征的大小、形状或分布可能不适合于准确计量测量。相比来说, 计量目标可包含一或多个样本层上的特征, 其具有经调适使得目标的散射测量数据对特征的一或多个选定物理或光学属性高度敏感的大小、形状及分布。接着, 目标的散射测量数据可与选定属性的特定值有关 (例如通过模型)。

[0039] 计量目标可经设计以对各种物理或光学属性 (其包含 (但不限于) CD、覆盖、侧壁角、膜厚度、膜组成或工艺相关参数 (例如焦点、剂量及其类似者)) 敏感且因此促进所述物理或光学属性的测量。为此, 计量目标可包含周期性结构 (例如一维、二维或三维周期性结构) 或隔离非周期性特征的任何组合。2016年3月22日授予的第9, 291, 554号美国专利中大体上描述使用计量工具来特性化非周期性结构, 所述专利的全部内容以引用的方式并入本文中。此外, 计量目标可大体上特性化为具有可归因于特征的图案或分布的一或多个空间频率 (例如一或多个节距)。2015年7月23日公开的第2015/0204664号美国公开专利案中大体上描述散射测量覆盖计量中的对称目标设计的使用, 所述专利案的全部内容以引用的方式并入本文中。

[0040] 计量目标可位于样本上的多个位点处。例如, 目标可位于切割道内 (例如裸片之间) 及/或位于裸片本身中。可由第7, 478, 019号美国专利中所描述的相同或多个计量工具同时或连续测量多个目标, 所述专利的全部内容以引用的方式并入本文中。

[0041] 在另一实施例中, 散射测量计量系统100包含控制器104。在另一实施例中, 控制器104包含经配置以执行保存于存储器媒体108 (例如存储器) 上的程序指令的一或多个处理器106。据此来说, 控制器104的一或多个处理器106可执行本发明中所描述的各种过程步骤中的任一者。此外, 存储器媒体108可存储任何类型的数据来供散射测量计量系统100的任何组件使用。例如, 存储器媒体108可存储散射测量计量工具102的方案、由散射测量计量工具102产生的散射测量数据或其类似者。

[0042] 控制器104的一或多个处理器106可包含所属领域中已知的任何处理元件。就此来说, 一或多个处理器106可包含经配置以执行算法及/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106可由桌面计算机、大型计算机系统、工作站、图像计算机、并行处理器或经配置以执行程序(其经配置以操作散射测量计量系统100)的任何其它计算机系统(例如网络计算机)组成,如本发明中所描述。应进一步认识到,术语“处理器”可经广义界定以涵盖具有执行来自非暂时性存储器媒体108的程序指令的一或多个处理元件的任何装置。

[0043] 存储器媒体108可包含所属领域中已知的任何存储媒体,其适合于存储可由相关联的一或多个处理器106执行的程序指令。例如,存储器媒体108可包含非暂时性存储器媒体。通过另一实例的方式,存储器媒体108可包含(但不限于)只读存储器、随机存取存储器、磁性或光学存储器装置(例如磁盘)、磁带、固态驱动器及其类似者。应进一步注意,存储器媒体108可与一或多个处理器106容置于共同控制器外壳中。在一个实施例中,存储器媒体108可相对于一或多个处理器106及控制器104的物理位置远程定位。例如,控制器104的一或多个处理器106可存取可通过网络(例如因特网、内部网络及其类似者)存取的远程存储器(例如服务器)。因此,以上描述不应被解译为本发明的限制,而是仅为说明。

[0044] 另外,控制器104及任何相关联组件(例如处理器106、存储器媒体108或其类似者)可包含容置于共同外壳中或多个外壳内的一或多个控制器。此外,控制器104可与散射测量计量系统100中的任何组件集成及/或执行其功能。

[0045] 控制器104可执行任何数目个本文所公开的处理或分析步骤(其包含(但不限于)接收、产生或应用模型来使散射测量数据与样本特征的选定属性有关),其可涉及若干算法。例如,可使用所属领域中已知的任何技术(其包含(但不限于)几何引擎、过程建模引擎或其组合)来对计量目标建模(参数化)。第2014/0172394号美国公开专利案中大体上描述过程建模的使用,所述案的全部内容以引用的方式并入本文中。几何引擎可(但未必)由AcuShape软件(由科磊公司(KLA-TENCOR)提供的产品)实施。通过另一实例的方式,可(但不限于)使用电磁(EM)解算器来对照明光束与样本上的计量目标的光学相互作用建模。此外,EM解算器可利用所属领域中已知的任何方法,其包含(但不限于)严格耦合波分析(RCWA)、有限元素法分析、力矩分析法、面积分技术、体积分技术或有限差分域分析。

[0046] 控制器104可使用所属领域中已知的任何数据拟合到模型及优化技术来进一步分析从散射测量计量工具102收集的数据以将收集数据应用于模型,模型包含(但不限于)库、快速降级模型、回归、机器学习算法(例如神经网络)、支持向量机(SVM)、降维算法(例如主成分分析(PCA)、独立成分分析(ICA)、局部线性嵌入(LLE)及其类似者)、数据的稀疏表示(例如傅里叶或小波变换、卡曼(Kalman)滤波器、用于促进与相同或不同工具类型匹配的算法及其类似者)。例如,数据收集及/或拟合可(但未必)由信号响应计量(SRM)(由科磊公司提供的产品)执行。

[0047] 在另一实施例中,控制器104使用不包含建模、优化及/或拟合(例如相位特性化或其类似者)的算法来分析由散射测量计量工具102产生的原始数据。在此应注意,由控制器执行的运算算法可(但未必)通过使用并行化、分布式计算、负载平衡、多服务支持、运算硬件的设计及实施或动态负载优化来适应计量应用。此外,算法的各种实施方案可(但未必)由控制器104(例如通过固件、软件或现场可编程门阵列(FPGA)及其类似者)或与散射测量计量工具102相关联的一或多个可编程光学元件执行。

[0048] 图1B是根据本发明的一或多个实施例的散射测量计量工具102的概念图。

[0049] 在一个实施例中,散射测量计量工具102包含照明源110来产生照明光束112。照明光束112可包含一或多个选定波长的光,其包含(但不限于)紫外(UV)辐射、可见辐射或红外(IR)辐射。

[0050] 在一个实施例中,照明源110包含激光源。例如,照明源110可包含(但不限于)一或多个窄带激光源、一或多个宽带激光源、一或多个超连续光谱激光源、一或多个白光激光源或其类似者。此外,照明源110可包含所属领域中已知的任何类型的激光源,其包含(但不限于)二极管激光源或二极管泵浦激光源。

[0051] 在另一实施例中,照明源110包含灯源。通过另一实例的方式,照明源110可包含(但不限于)弧光灯、放电灯、无电极灯及其类似者。据此来说,照明源110可提供具有低相干性(例如低空间相干性及/或时间相干性)的照明光束112。

[0052] 在另一实施例中,照明源110包含宽带等离子体(BBP)照明源。据此来说,照明光束112可包含由等离子体发射的辐射。例如,BBP照明源110可(但未必)包含一或多个泵浦源(例如一或多个激光),其经配置以聚焦到气体的体积中以引起能量由气体吸收以产生或维持适合于发射辐射的等离子体。此外,等离子体辐射的至少一部分可用作为照明光束112。

[0053] 在另一实施例中,照明源110提供可调谐照明光束112。例如,照明源110可包含可调谐照明源(例如一或多个可调谐激光及其类似者)。通过另一实例的方式,照明源110可包含耦合到可调谐滤波器的宽带照明源。

[0054] 照明源110可进一步提供具有任何时间分布的照明光束112。例如,照明光束112可具有连续时间分布、调制时间分布、脉冲时间分布或其类似者。

[0055] 在另一实施例中,照明源110经由照明路径116将照明光束112引导到样本114且经由收集路径120收集从样本发出的光(例如收集光118)。收集光118可包含响应于入射照明光束112而产生的来自样本114的光的任何组合,例如(但不限于)样本114的反射光、散射光、衍射光或发光。

[0056] 在另一实施例中,样本114位于样本台122上。样本台122可包含所属领域中已知的任何类型的平移台,其适合于使样本114上的一或多个特征(例如目标)对准于散射测量计量工具102内以执行散射测量测量。例如,样本台122可包含线性平移台、旋转台及/或翻转/倾斜台的任何组合。

[0057] 在一个实施例中,照明路径116可包含照明聚焦元件124来将照明光束112聚焦到样本114上。照明路径116可包含适合于修改及/或调节照明光束112的一或多个照明光束调节组件126。例如,一或多个照明光束调节组件126可包含(但不限于)一或多个偏光器、一或多个滤波器、一或多个分束器、一或多个变迹器或一或多个光束整形器、一或多个扩散器、一或多个均质器或一或多个透镜。

[0058] 在另一实施例中,收集路径120可包含收集聚焦元件128来自样本114捕获收集光118。在另一实施例中,散射测量计量系统100包含经配置以通过收集路径120检测从样本114发出的收集光118的至少一部分的检测器130。检测器130可包含适合于测量从样本114接收的照明的所属领域中已知的任何类型的光学检测器。例如,检测器130可包含(但不限于)CCD检测器、CMOS检测器、TDI检测器、光电倍增管(PMT)、雪崩光电二极管(APD)及其类似者。在另一实施例中,检测器130可包含适合于识别从样本114发出的辐射的波长的光谱检测器。

[0059] 收集路径120可进一步包含任何数目个收集光束调节元件132来引导及/或修改由收集聚焦元件128收集的照明,其包含(但不限于)一或多个透镜、一或多个滤波器、一或多个偏光器或一或多个相位板。

[0060] 在另一实施例中,图1B中所描绘的散射测量计量工具102可促进样本114及/或一个以上照明源110(例如耦合到一或多个额外检测器130)的多角度照明。据此来说,图1B中所描绘的散射测量计量工具102可执行多个计量测量。在另一实施例中,散射测量计量工具102可包含多个检测器130来促进通过散射测量计量工具102进行的多个计量测量(例如多个计量工具)。

[0061] 此外,散射测量计量工具102可促进样本114及/或一个以上照明源110的多角度照明。据此来说,散射测量计量工具102可执行多个计量测量。在另一实施例中,一或多个光学组件可安装到围绕样本114枢转的可旋转臂(图中未展示),使得样本114上的照明光束112的入射角可由可旋转臂的位置控制。

[0062] 在一些实施例中,一或多个组件由照明路径116及收集路径120两者共有。图1C是根据本发明的一或多个实施例的经配置有共同物镜的散射测量计量工具102的概念图。在一个实施例中,散射测量计量工具102包含分束器134,其经定向使得物镜136可同时将照明光束112引导到样本114及捕获从样本114发出的收集光118。据此来说,物镜136可替代或结合图1B的照明聚焦元件124及/或收集聚焦元件128操作。

[0063] 大体上参考图1A到1C,控制器104可通信地耦合到散射测量计量系统100的任何组件。在一个实施例中,控制器104通信地耦合到照明源110以提供散射测量测量的照明的一或多个选定波长。在另一实施例中,控制器104经配置到照明路径116的一或多个元件以指导照明光束112与样本114之间的入射角的调整。

[0064] 图2是说明根据本发明的一或多个实施例的用于散射测量计量的方法200中所执行的步骤的流程图。申请者应注意,本文先前在散射测量计量系统100的背景中所描述的实施例及启用技术应被解译为延伸到方法200。然而,应进一步注意,方法200不受限于散射测量计量系统100的架构。

[0065] 在一个实施例中,方法包含步骤202,其接收用于基于选定波长范围内的光谱散射测量数据来测量包含以选定图案分布的特征的目标的选定属性的模型。

[0066] 如本文先前在散射测量计量系统100的背景中所描述,但不受限于散射测量计量系统100的架构,散射测量模型可使散射测量数据与目标(例如计量目标)的一或多个属性有关。例如,可使用所属领域中已知的任何技术(其包含(但不限于)几何引擎、过程建模引擎或其组合)来对目标建模。

[0067] 在一个实施例中,模型适合于测量包含以选定图案分布的特征的所关注的特定测量目标(例如测量目标)的一或多个选定属性。例如,测量目标可对应于经设计以提供相关于及表示制造于相同样本上的特定类型的装置特征的测量的计量目标。据此来说,模型可并入所关注的测量目标的各种物理属性,例如(但不限于)样本层的数目、任何样本层中的特征的CD、任何样本层中的特征的高度、特征之间的间隔距离(例如与周期性分布特征相关联的节距)或侧壁角。模型可进一步并入所关注的测量目标的各种光学属性,例如(但不限于)一或多个样本层的厚度或组成。

[0068] 模型可基于照明光束112与所关注的目标的相互作用的任何数目个模拟及/或估

计来确定照明光束112的散射、反射及/或衍射。例如,照明光束与样本上的计量目标的光学相互作用可(但不限于)使用电磁(EM)解算器来建模。此外,EM解算器可利用所属领域中已知的任何方法,其包含(但不限于)严格耦合波分析(RCWA)、有限元素法分析、力矩分析法、面积分技术、体积分技术或有限差分域分析。

[0069] 在一个实施例中,步骤202中所接收的模型适宜或以其它方式适合于与特定光谱散射测量工具一起使用。例如,模型可适合于与照明源110的光谱范围一起使用。通过另一实例的方式,模型可并入照明路径116及/或收集路径120的数值孔径。据此来说,模型可考虑散射测量计量工具102的特性来提供目标预期散射测量数据(例如由检测器130产生的信号)的属性之间的准确关系。

[0070] 在另一实施例中,模型包含一或多个浮动参数,使得散射测量数据可拟合到模型以确定浮动参数的特定值,其接着可与目标的选定属性的特定值有关。因此,将散射测量数据拟合到模型可提供目标的任何数目个物理或光学属性的测量。

[0071] 散射测量数据可使用所属领域中已知的任何技术来拟合到,例如(但不限于)库、快速降级模型、回归、机器学习算法(例如神经网络)、支持向量机(SVM)、降维算法(例如主成分分析(PCA)、独立成分分析(ICA)、局部线性嵌入(LLE)及其类似者)、数据的稀疏表示(例如傅里叶或小波变换、卡曼滤波器、用于促进与相同或不同工具类型匹配的算法及其类似者)。在一个实施例中,散射测量数据可使用最大似然估计(MLE)回归技术来拟合到模型。据此来说,可通过最大化似然函数来基于输入数据集确定浮动参数的值。

[0072] 步骤202的模型可由任何源接收。在一个实施例中,模型从外部源(例如外部服务器、外部控制器或其类似者)接收。在另一实施例中,模型至少部分由控制器104产生。据此来说,模型的一或多个方面可存储于存储器媒体108中及从存储器媒体108接收。

[0073] 在另一实施例中,方法包含步骤204,其产生模型的加权函数来使与一或多个非所要衍射级相关联的光谱散射测量数据的部分去加重。例如,情况可为所关注的测量目标可具有以导致在使用散射测量计量工具102来测量时收集非所要衍射级的节距(例如空间频率)分布的特征。

[0074] 在此应认识到,所要衍射级与非所要衍射级之间的差异可基于特定模型及/或所测量的特定关注属性来变化。因此,本文的实例应被解译为说明而非限制。在一个实施例中,一或多个所要衍射级包含单个衍射级,使得非所要衍射级包含在由散射测量计量工具102提供的测量条件下产生的剩余衍射级。例如,如本文先前在OCD散射测量工具的背景中所描述,但不受限于OCD散射测量工具,一或多个所要衍射级可包含单个衍射级(例如0级),使得非所要衍射级与较高级衍射相关联。在另一实施例中,一或多个所要衍射级包含两个或更多个衍射级。

[0075] 可使用所属领域中已知的任何技术来确定与一或多个非所要衍射级相关联的光谱散射测量数据的部分。例如,步骤204可包含使用参考目标的模拟、估计或测量的任何组合来预测照明光束112的哪些波长会导致由散射测量计量工具102捕获的光的非所要衍射级。

[0076] 此外,步骤204可包含非所要衍射级将噪声引入到拟合中及引入测量不准确度的程度预测。据此来说,加权函数可基于预测影响来可变地使与波长相关联的散射测量数据去加重。因此,与引起具有相对较高影响的非所要衍射级的波长相关联的散射测量数据可

比与引起具有相对较低影响的非所要衍射级的波长相关联的散射测量数据在更大程度上受抑制。

[0077] 在另一实施例中,方法包含步骤206,其指导光谱散射测量工具产生选定波长范围内的一或多个测量目标(例如所关注的测量目标)的散射测量数据。例如,一或多个测量目标可位于所关注的样本上。在另一实施例中,方法包含步骤208,其基于一或多个测试目标的散射测量数据回归到由加权函数加权的模型来测量一或多个测量目标的选定属性。因此,可应用在步骤202中接收且由步骤204的加权函数修改的模型来测量任何数目个关注样本上的任何数目个关注测量目标上的任何选定属性(例如物理及/或光学属性)。

[0078] 在另一实施例中,尽管图中未展示,但选定属性的测量可作为反馈及/或前馈数据提供到一或多个额外工艺工具。例如,一批中的测量目标上的选定属性的测量可作为反馈数据提供到一或多个工艺工具(例如半导体制造工具)以减轻样相同批或不同批中的样本的任何工艺偏差。通过另一实例的方式,一批中的测量目标上的选定属性的测量可作为前馈数据提供到一或多个工艺工具以补偿针对当前批所识别的任何工艺偏差。

[0079] 再次参考步骤204,在此应注意,可根据本发明来以各种方式产生用于基于预测影响来使散射测量数据去加重的加权函数。图3到5大体上说明基于参考目标的测量的加权函数,参考目标包含具有经修改以不含非所要衍射级的特征间隔的至少一参考目标。图6及7大体上说明基于较高级衍射的影响的理论估计的加权函数。此外,如下文将相对于图8更详细描述,加权函数可包含两个或更多个加权方案的组合(例如线性组合)。

[0080] 图3是说明根据本发明的一或多个实施例的与基于参考目标的测量来产生加权函数相关联的子步骤的流程图300。例如,流程图300可表示与图2的步骤204相关联的子步骤。

[0081] 在一个实施例中,步骤204包含子步骤302,其测量一或多个修改节距参考目标的选定属性。例如,修改节距参考目标可包含与所关注的测量目标相同或大体上相同的特征的图案,但其中间隔距离经修改及/或按比例调整以将衍射限制为所要衍射级。据此来说,修改节距参考目标可模拟所关注的测量目标的材料及几何形状以尽可能或实际上提供测量目标的准确表示,同时还将衍射限制为所要级。

[0082] 在另一实施例中,步骤204包含子步骤304,其确定一或多个修改节距参考目标的散射测量数据与模型之间的修改节距残差(例如依据波长而变化)。

[0083] 可在子步骤302中测量任何数目个修改节距参考目标。在一个实施例中,在子步骤302中测量单个修改节距参考目标。因此,修改节距残差可表示为每一波长的单个修改节距参考目标的散射测量数据与模型之间的残差。在另一实施例中,在子步骤302中测量多个修改节距参考目标。例如,多个修改节距参考目标可经制造有可预期通过制造工艺的偏差发生的各种物理或光学属性的变化。因此,修改节距残差可由每一波长的一或多个修改节距参考目标的散射测量数据与模型之间的残差的统计组合(例如平均值、中值或其类似者)表示。

[0084] 在另一实施例中,步骤204包含子步骤306,其测量对应于一或多个测量目标的一或多个测试节距参考目标的选定属性。例如,测试节距参考目标可具有以与所关注的测量目标相同的图案且以相对于所关注的测量目标的尺度分布的特征。据此来说,测试节距参考目标可与所关注的测量目标相同或否则完全模拟所关注的测量目标。

[0085] 在另一实施例中,步骤204包含子步骤308,其确定一或多个修改节距参考目标的

散射测量工具与模型之间的测试节距残差(例如依据波长而变化)。

[0086] 可在子步骤306中测量任何数目个测试节距参考目标。在一个实施例中,在子步骤306中测量单个测试节距参考目标。因此,测试节距残差可表示为每一波长的单个测试节距参考目标的散射测量数据与模型之间的残差。在另一实施例中,在子步骤306中测量多个测试节距参考目标。例如,多个测试节距参考目标可经制造有可预期通过制造工艺的偏差发生的各种物理或光学属性的变化。因此,测试节距残差可由每一波长的一或多个测试节距参考目标的散射测量数据与模型之间的残差的统计组合(例如平均值、中值或其类似者)表示。

[0087] 在此应注意,任何加权方案可用于测量及回归修改节距参考目标(例如在子步骤302中)及测试节距参考目标(例如在子步骤306中)以确定相关联的修改节距及测试节距残差。此外,用于产生修改节距残差的加权方案可与用于产生测试节距残差的加权方案相同或不同。据此来说,在此应认识到,适宜基于修改节距参考目标的测量来确定修改节距残差的加权方案未必同样适宜基于测试节距参考目标的测量来确定测试节距残差。

[0088] 在一个实施例中,均匀加权方案用于产生修改节距残差及/或测试节距残差。在另一实施例中,波长及/或系统相依加权方案用于产生修改节距残差及/或测试节距残差。例如,加权方案可适宜于补偿任何已知信号偏差的特定散射测量计量工具102。通过另一实例的方式,加权方案可(但未必)仅受限于其中预期不发生非所要衍射级的污染的波长。由于修改节距及测试节距残差提供为污染敏感加权函数的输入(例如参阅以下子步骤310),所以限制来自与污染(或预测污染)相关联的波长的信息不会影响所得加权函数的性能。

[0089] 在另一实施例中,步骤204包含子步骤310,其基于修改节距残差与测试节距残差的比率来产生加权函数。

[0090] 在此应认识到,存在促成与将散射测量数据拟合到模型相关联的残差的计算的三个主要误差源:建模误差、与非所要衍射级相关联的污染及各种非建模误差(例如校准误差及其类似者)。如果可估计或否则解释建模误差及各种非建模误差,那么残差(例如修改节距残差与测试节距残差)之间的差异可解释与由非所要衍射级引起的污染相关联的误差。因此,比较(例如经由比率)每一波长处的修改节距残差与测试节距残差可提供每一波长处的污染的影响的估计,其接着可用于使散射测量数据到模型的拟合加权。

[0091] 在一个实施例中,加权函数($W_{res}(\lambda)$)表示为修改节距残差与测试节距残差之间的比率的绝对值,如由等式1所描述:

$$[0092] \quad W_{Res}(\lambda) = \left\| \frac{R_{MP}(\lambda)}{R_{TP}(\lambda)} \right\| \quad (1)$$

[0093] 其中 $R_{MP}(\lambda)$ 表示修改节距残差, $R_{TP}(\lambda)$ 表示测试节距残差,且 λ 表示散射测量计量工具102的光谱内的波长。此外,加权函数($W_{res}(\lambda)$)可界限于值0到1之间。

[0094] 现参考图4A到5,描述说明基于参考目标的测量来产生加权函数的模拟实例。图4A是根据本发明的一或多个实施例的测试节距目标402的透视图。图4B是根据本发明的一或多个实施例的修改节距目标404的透视图。在此实例中,模型经设计以提供鳍片结构的顶部及底部部分的至少CD测量。此外,针对此实例,模型是基于0级衍射且较高级衍射表示可促成测量的噪声的非所要衍射级。

[0095] 图4A中所说明的测试节距目标402包含三维光栅结构,其包含两个层中的重叠特

征。测试节距目标402可(但未必)适合为用于产生表示SRAM装置特征的计量测量的大节距SRAM目标。例如,测试节距目标402包含:第一层406,其包含第一层特征408;第二层410,其包含第二层特征412;及第三层414(例如基板层),其无任何特征。第一层特征408及第二层特征412各自包含两组鳍片结构(例如第一组416及第二组418),其中鳍片结构以沿Y方向1.25微米(μm)的节距420及沿X方向2.5微米的节距422周期性分布。例如,两组鳍片结构可(但未必)通过沿Y方向切断鳍片结构来制造。第一层特征408及第二层特征412可重叠(如图4A中所说明),但未必需要重叠。

[0096] 除第一层特征408及第二层特征412各自包含单组鳍片结构之外,图4B中所说明的修改节距目标404包含与测试节距目标402大体上相同的二维光栅结构。例如,修改节距目标404对应于无沿Y方向的切割线的测试节距目标402。据此来说,修改节距目标404可具有与测试节距目标402大体上相同的属性,例如(但不限于)鳍片结构的CD(例如沿Y方向)、鳍片高度、沿Y方向的节距、层厚度、层组成或层折射率。

[0097] 图5是说明根据本发明的一或多个实施例的基于比较与图4B中所说明的修改节距目标404相关联的修改节距残差与图4A中所说明的测试节距目标402相关联的测试节距残差所产生的权重的标绘图500。据此来说,使用图3中所说明的步骤来产生加权函数。例如,权重可对应于适合于(但不限于)最大似然估计器的加权函数。

[0098] 修改节距残差及测试节距残差各产生为来自13个测量的残差的平均值,其中通过扰动修改节距目标404及测试节距目标402的各种属性(例如(但不限于)鳍片结构(例如沿Y方向的第一层特征408及第二层特征412)的节距、鳍片结构的顶部及底部CD、样本层的材料属性及测试节距目标402的沿X方向的鳍片结构组之间的间隔)来产生13个测量。以此方式,扰动可表示制造工艺的偏差。

[0099] 图5还说明污染截止波长502,在低于污染截止波长502时捕获至少一些非所要较高级衍射(例如由散射测量计量工具102)。如图5中所说明,使用此技术所产生的权重具有整个光谱范围(其包含低于截止波长502的波长)内的非零值。因此,可使用波长的此扩展能够利用散射测量计量工具102的带宽的显著部分(包含其中捕获非所要较高级衍射的波长),但对测量的准确度的影响有限。

[0100] 另外,也如图5中所说明,基于比较修改节距残差与测试节距残差所产生的权重可补偿额外误差(例如建模误差及/或非建模误差)。此可通过简化高于截止波长502的特定值的加权函数来理解。

[0101] 通过比较使用加权函数所获得的拟合的质量与包含较高级衍射的全模拟来特性化图5中的加权函数的准确度。在此情况中,从并入高级衍射的全模拟的测试节距目标402回归散射测量数据获得卡方拟合计量值282.5,其用作为基准。相比来说,从并入仅0级衍射及均匀加权方案(例如无权重应用于较高级污染的校正)的测试节距目标402回归散射测量数据导致卡方值435.8,其指示相对较差模型拟合。此外,应用图5的加权函数导致卡方值297.4,其指示相对良好模型拟合及与全模拟相当的结果。

[0102] 在此应注意,基于来自本文所描述的参考目标的残差的比较来产生加权函数可实现在无需非所要衍射级或其相关联影响的任何计算的情况下准确拟合到模型。

[0103] 现参考图6及7,更详细描述通过估计非所要衍射级的污染的影响来产生加权函数。此方法可替代或结合基于来自本文先前所描述的参考目标的残差来产生加权函数使

用。

[0104] 在一个实施例中,基于估计与由散射测量计量工具102捕获的非所要衍射级的部分相关联的总污染强度来产生加权函数。例如,权重可在选定范围内与总污染强度成比例。

[0105] 可根据本发明来以各种方式估计与非所要衍射级相关联的总污染强度。在此应认识到,加权函数未必需要以与基本模型相同的精确度确定。鉴于模型提供散射测量数据(例如由散射测量计量工具102捕获的散射、反射及/或衍射光)与所测量的样本的属性之间的关系,加权函数在拟合到模型时仅调整特定波长处的散射测量数据的相对影响。因此,情况可为原本不适合用于模型内的近似或估计可适合于产生将应用于模型的加权函数。

[0106] 图6是说明根据本发明的一或多个实施例的用于基于估计与由散射测量计量工具102捕获的非所要衍射级的部分相关联的总污染强度来产生加权函数的子步骤的流程图600。例如,流程图600可表示与图2的步骤204相关联的子步骤。然而,应了解,以下模型仅供说明且不应被解译为限制。

[0107] 在一个实施例中,步骤204包含子步骤602,其估计与所关注的波长(例如散射测量计量工具102的光谱范围内的波长)的光的一或多个非所要衍射级相关联的捕获强度。可使用所属领域中已知的任何技术(其包含(但不限于)射线跟踪技术、RCWA技术、与提供足够级分离的模型耦合的一或多个非所要衍射级的直接测量或其类似者)来估计与特定波长处的非所要衍射级相关联的捕获强度。此外,可使用技术的任何组合来估计与非所要衍射级相关联的捕获强度。

[0108] 在一个实施例中,使用射线跟踪模型来估计与每一衍射级相关联的污染强度。例如,射线跟踪模型可考虑从照明孔隙投射到样本上的无限小聚焦点大小的光线及从样本发出到与各种衍射级相关联的收集孔隙的射线的对应投射。因此,可基于来自每一衍射级的光穿过收集孔隙的程度来确定与每一衍射级相关联的污染强度。

[0109] 射线跟踪模型可(但未必)使用以下公式来实施。在一个实施例中,射线跟踪模型可跟踪从照明孔隙的至少一部分投射到样本上的无限小聚焦点大小的照明射线(例如照明光束112)。例如,可跟踪来自沿表示照明孔隙(例如照明孔隙的边界)的二维曲线的点的射线。在此应注意,跟踪来自照明孔隙的边界的射线可提供污染强度的准确估计。

[0110] 针对具有分别沿X及Y方向的节距值 d_x 及 d_y 的目标,可产生倒易晶格:

$$\begin{aligned}
 \vec{p}_1 &= d_x \hat{x} \\
 \vec{p}_2 &= d_y (\cos \theta_{OA} \hat{x} + \sin \theta_{OA} \hat{y}) \\
 [0111] \quad \vec{k}_1 &= 2\pi \frac{\vec{p}_2 \times \hat{z}}{\vec{p}_1 \cdot (\vec{p}_2 \times \hat{z})}, \\
 \vec{k}_2 &= 2\pi \frac{\hat{z} \times \vec{p}_1}{\vec{p}_2 \cdot (\hat{z} \times \vec{p}_1)}
 \end{aligned} \tag{2}$$

[0112] 其中 θ_{OA} 是界定为X节距与Y节距(例如 d_x 与 d_y)之间的单位晶胞的角度的正交角, $\vec{p}_1$ 及 $\vec{p}_2$ 表示实空间中的主向量,且 $\vec{k}_1$ 及 $\vec{k}_2$ 表示波空间中的对应主向量。

[0113] 此外,从样本发出的射线的波向量可写为入射波向量 $\vec{k}_0$ 及分别在X及Y方向上的衍射级 m_x 及 m_y 的函数:

$$\begin{aligned}
 k_x &= k_{0,x} + m_x \overline{k_1} \cdot \hat{x} + m_y \overline{k_2} \cdot \hat{x} \\
 [0114] \quad k_y &= k_{0,y} + m_x \overline{k_1} \cdot \hat{y} + m_y \overline{k_2} \cdot \hat{y}, \\
 k_z^2 &= k_0^2 - k_x^2 - k_y^2
 \end{aligned} \tag{3}$$

[0115] 其中值 k_z^2 可限于为正值以排除渐逝波。

[0116] 从此,从样本发出的射线可投射到含有收集孔隙的平面上。此外,可通过以下操作来确定衍射级中的每一者的收集孔隙上的照明面积:识别哪些射线投影落入收集孔隙的内部内,确定投射射线与孔隙之间的边缘相交点,且找到由衍射级中的每一者的内部点及边缘相交点确定的多边形。

[0117] 最后,所有非所要衍射级的收集孔隙上的照明面积可用于确定穿过收集孔隙的衍射级的强度(例如污染强度)。

[0118] 在一个实施例中,步骤204包含子步骤604,其估计与非所要衍射级的组合捕获强度相关联的总污染强度。可使用各种技术来估计与非所要衍射级的组合捕获强度相关联的总污染强度。在一个实施例中,总污染强度产生为穿过收集孔隙的非所要衍射级的捕获强度的总和。在另一实施例中,基于收集光瞳中的污染的面积来按比例调整且接着加总非所要衍射级的各种捕获强度。据此来说,与非所要衍射级相关联的捕获光的强度及捕获光覆盖收集孔隙的程度两者可被视为促成污染的影响。

[0119] 例如,总污染强度($I_{C,TOT}(\lambda)$)可(但未必)表示为:

$$[0120] \quad I_{C,TOT}(\lambda) = \sum_{m_x, m_y} \frac{A_C(\lambda, m_x, m_y)}{A_{Coll}} I_C(\lambda, m_x, m_y), \tag{4}$$

[0121] 其中 m_x 及 m_y 表示两个正交方向上的衍射级, $I_C(\lambda, m_x, m_y)$ 表示散射测量计量工具102的收集数值孔径上的污染级(m_x, m_y)的平均强度, A_{Coll} 表示收集孔隙的面积,且 $A_C(\lambda, m_x, m_y)$ 表示收集孔隙上的污染面积。

[0122] 在另一实施例中,步骤204包含子步骤606,其基于总污染强度来产生加权函数。

[0123] 接着,可使用各种技术基于估计总污染强度来产生加权函数。在一个实施例中,相对于参考水平(I_0)界定上阈值(n_1)以描述其中估计总污染强度压倒信号的条件。针对满足此条件的波长,可将权重设置为0以从分析排除相关联散射测量数据。在另一实施例中,可相对于参考水平(I_0)界定下阈值(n_0)以描述其中估计总污染强度可忽略的条件。针对满足此条件的波长,可将权重设置为1以向相关联散射测量数据提供全权重。在另一实施例中,针对上阈值与下阈值之间的波长,权重可在1与0之间转变。例如,加权函数($W_{HO}(\lambda)$)可遵循1与0之间的线性关系,如等式5中所描述:

$$[0124] \quad W_{HO}(\lambda) = \begin{cases} 0 & I_{C,TOT}(\lambda) > n_0 I_0(\lambda) \\ 1 & I_{C,TOT}(\lambda) \leq n_1 I_0(\lambda) \\ \frac{n_0 I_0(\lambda) - I_{C,TOT}(\lambda)}{I_0(\lambda)(n_0 - n_1)} & else \end{cases}, \tag{5}$$

[0125] 在此应认识到,上阈值及下阈值的任何组合可用于基于总污染强度来产生权重。例如, n_0 或 n_1 可设置为0。此外,可使用所属领域中已知的任何技术来确定上阈值及下阈值的值。在一个实施例中,特别确定上阈值及/或下阈值。例如,可确定上阈值及/或下阈值以提供目标基准拟合计量(例如卡方值或其类似者)。在另一实施例中,基于信号的预期噪声来

确定上阈值及/或下阈值。例如,可减少或消除具有选定噪声水平(例如 3σ 或其类似者)的信号。

[0126] 可使用任何计量来选择参考水平(I_0)。在一个实施例中,参考水平(I_0)经选择以对应于与任何选定信号(例如(但不限于)收集信号或污染强度)相关联的噪声方差水平($\sigma(\lambda)$)。在另一实施例中,基于一或多个后处理信号(例如(但不限于)反射率测量、谐波信号(例如与光谱椭圆偏测量或其类似者相关联)或计算样本穆勒)来选择参考水平(I_0)。

[0127] 然而,应了解,将加权函数描述为两个界限条件之间的线性函数的上述实例仅供说明且不应被解译为限制。在另一实施例中,可使用上阈值与下阈值之间的非线性关系来界定加权函数。在另一实施例中,不界定下阈值且可将非零权重应用于散射测量计量工具102的光谱范围内的所有波长。

[0128] 图7是说明根据本发明的一或多个实施例的基于与图4A中所说明的测试节距目标402的测量相关联的估计总污染强度所产生的权重的标绘图700。据此来说,可使用图6中所说明的步骤来产生加权函数。此外,使用上阈值(n_0) 3及下阈值(n_0) 0来产生图7中的权重。

[0129] 如图7中所说明,使用此技术所产生的权重具有整个光谱范围(其包含低于截止波长502的波长)内的非零值。因此,可使用波长的此扩展能够利用散射测量计量工具102的带宽的显著部分(包含其中捕获非所要较高级衍射的波长),但对测量的准确度的影响有限。

[0130] 另外,也如图7中所说明,基于比较修改节距残差与测试节距残差所产生的权重可补偿额外误差(例如建模误差及/或非建模误差)。此可通过简化高于截止波长502上方的特定值的加权函数来理解。

[0131] 通过比较使用加权函数所获得的拟合的质量与包含本文先前在图5的背景中所描述的较高级衍射的全模拟来特性化图7中的加权函数的准确度。应用图7的加权函数导致卡方值215.5,其指示相对良好模型拟合及与具有卡方值282.5的全模拟相当的结果。

[0132] 现参考图8,在一些实施例中,加权函数可并入两个或更多个加权函数的组合。例如,根据本发明所描述的加权函数的任何组合可组合成单个加权函数。

[0133] 加权函数可组合为任何线性或非线性组合。在一个实施例中,加权函数是本文先前所描述的 $W_{\text{Res}}(\lambda)$ 及 $W_{\text{H0}}(\lambda)$ 的线性组合。例如,加权函数可表示为:

$$[0134] \quad W(\lambda) = \alpha W_{\text{Res}}(\lambda) + (1-\alpha) W_{\text{H0}}(\lambda), \quad (6)$$

[0135] 其中 α 是控制组合加权函数 $W(\lambda)$ 中的 $W_{\text{Res}}(\lambda)$ 及 $W_{\text{H0}}(\lambda)$ 的相对权重的参数。此外,可使用所属领域中已知的任何技术来确定 α 的值。在一个实施例中,特别确定上阈值及/或下阈值。例如,可确定 α 的值以提供目标基准拟合计量(例如卡方值或其类似者)。通过另一实例的方式,可确定 α 的值以提供相对于来自高精度计量工具(例如扫描电子显微镜、透射电子显微镜或其类似者)的参考测量的选定性能。例如,可使用高精度计量工具来测量具有选定属性(例如CD或其类似者)的已知值的一或多个目标位点。接着,可确定 α 的值以基于用于计量基于模型的方法相对于测量值的准确度的一或多个计量(例如R平方、斜率、偏移或其类似者)来提供选定性能。

[0136] 图8是说明根据本发明的一或多个实施例的基于残差加权法及射线跟踪法的线性组合所产生的权重的标绘图800。此外,使用等于0.75的 α 的值来产生图7中的权重。通过比较使用加权函数所获得的拟合的质量与包含本文先前在图5的背景中所描述的较高级衍射的全模拟来特性化图8中的加权函数的准确度。应用图8的加权函数导致卡方值220.0,其指

示相对良好模型拟合及与具有卡方值282.5的全模拟相当的结果。

[0137] 本文所描述的目标有时说明含于其它组件内或与其它组件连接的不同组件。应了解,此类描绘架构仅供例示,且事实上可实施实现相同功能性的许多其它架构。就概念来说,用于实现相同功能性的组件的任何布置经有效“相关联”使得实现所要功能性。因此,本文中经组合以实现特定功能性的任何两个组件可被视为经彼此“相关联”使得实现所要功能性,不管架构或中间组件如何。同样地,如此相关联的任何两个组件还可被视为经彼此“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)可物理相互作用及/或物理相互作用组件及/或可无线相互作用及/或无线相互作用组件及/或可逻辑相互作用及/或逻辑相互作用组件。

[0138] 可认为本发明及其许多所附优点将通过以上描述来理解,且应明白,可在不背离所公开的目标或不牺牲其所有材料优点的情况下对组件的形式、构造及布置作出各种改变。所描述的形式仅供说明,且所附权利要求书希望涵盖及包含此类改变。另外,应了解,本发明由所附权利要求书界定。

100

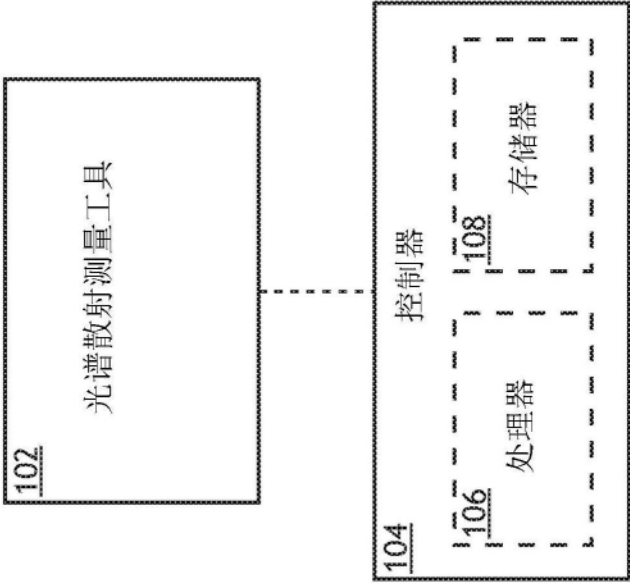


图1A

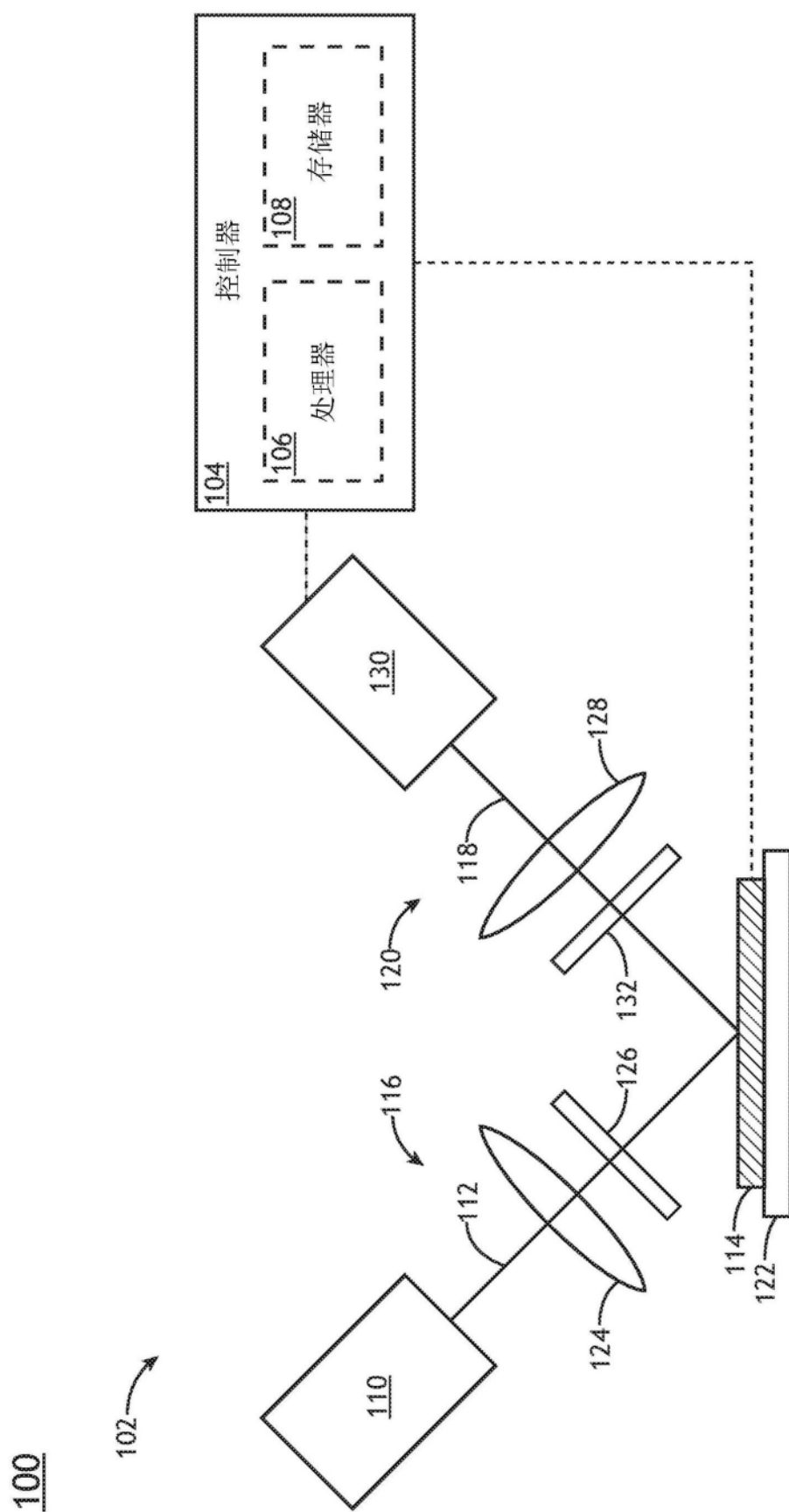


图1B

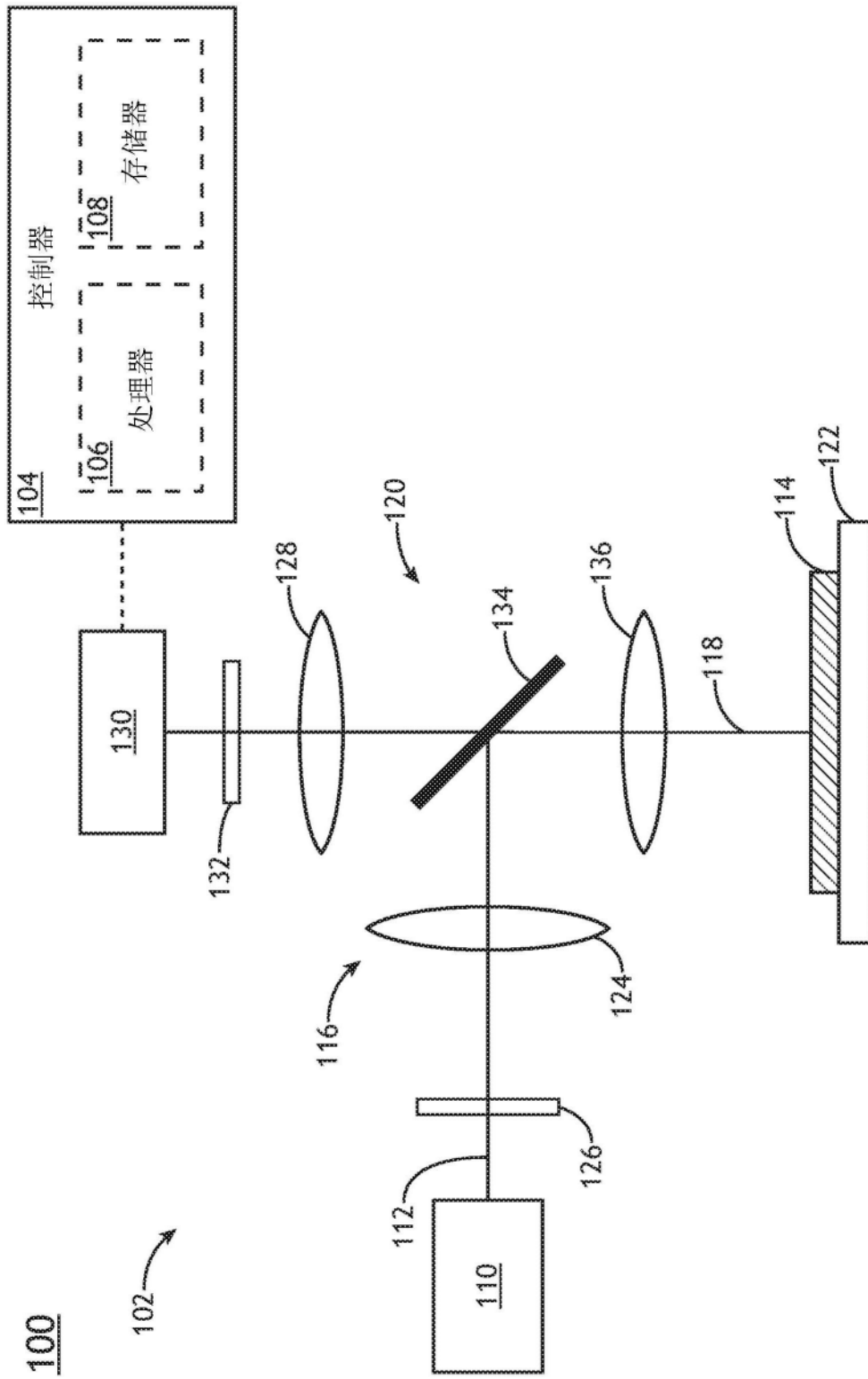


图1C

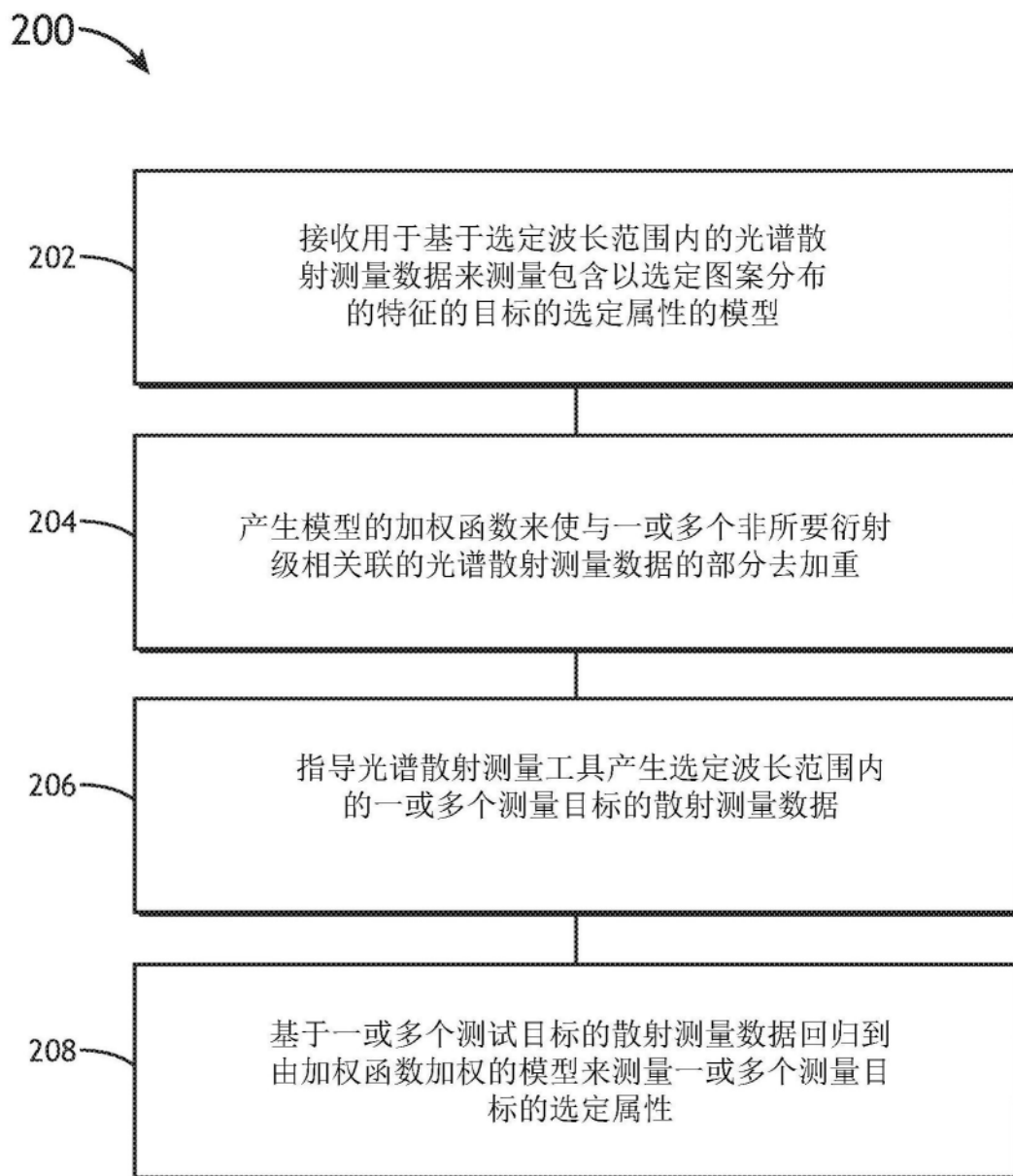


图2

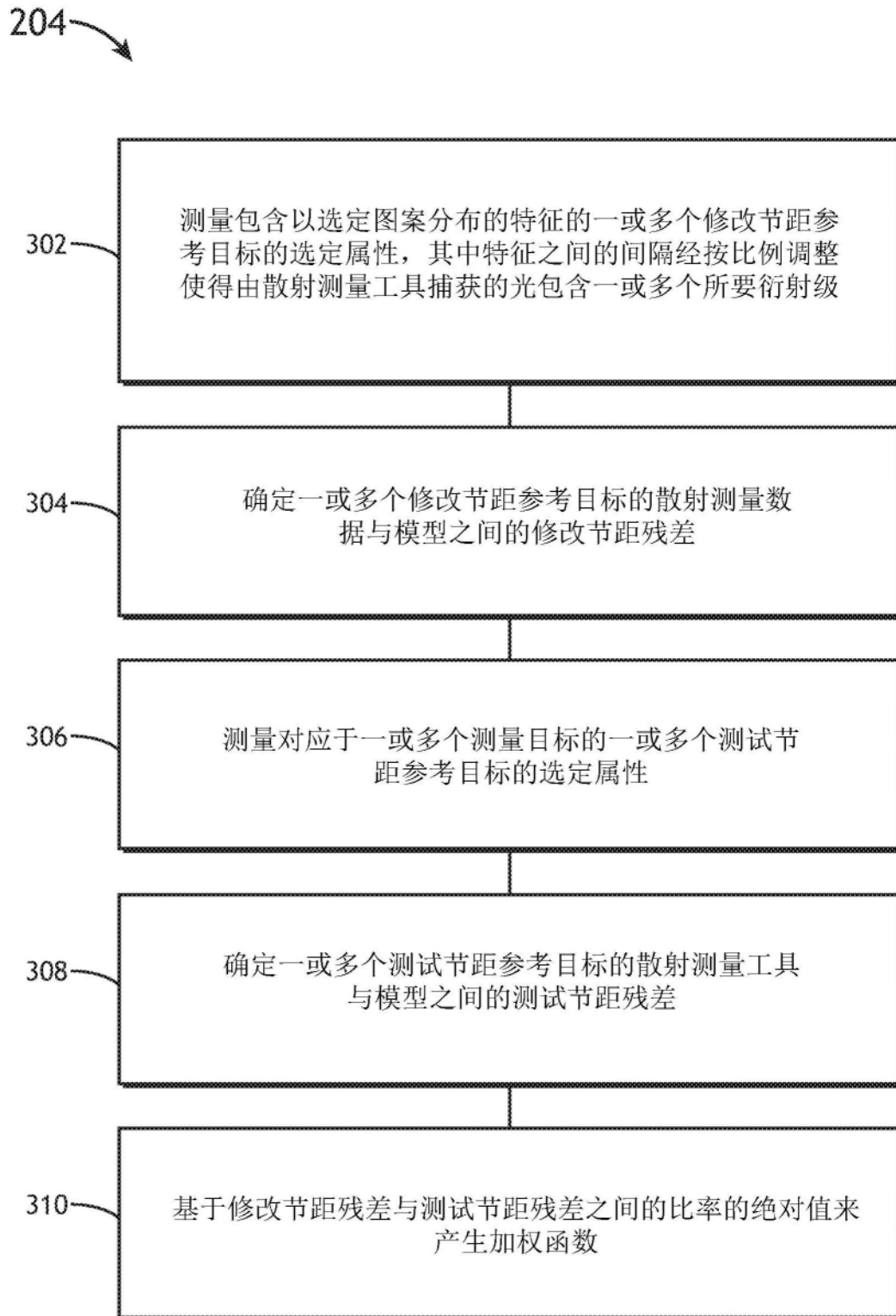


图3

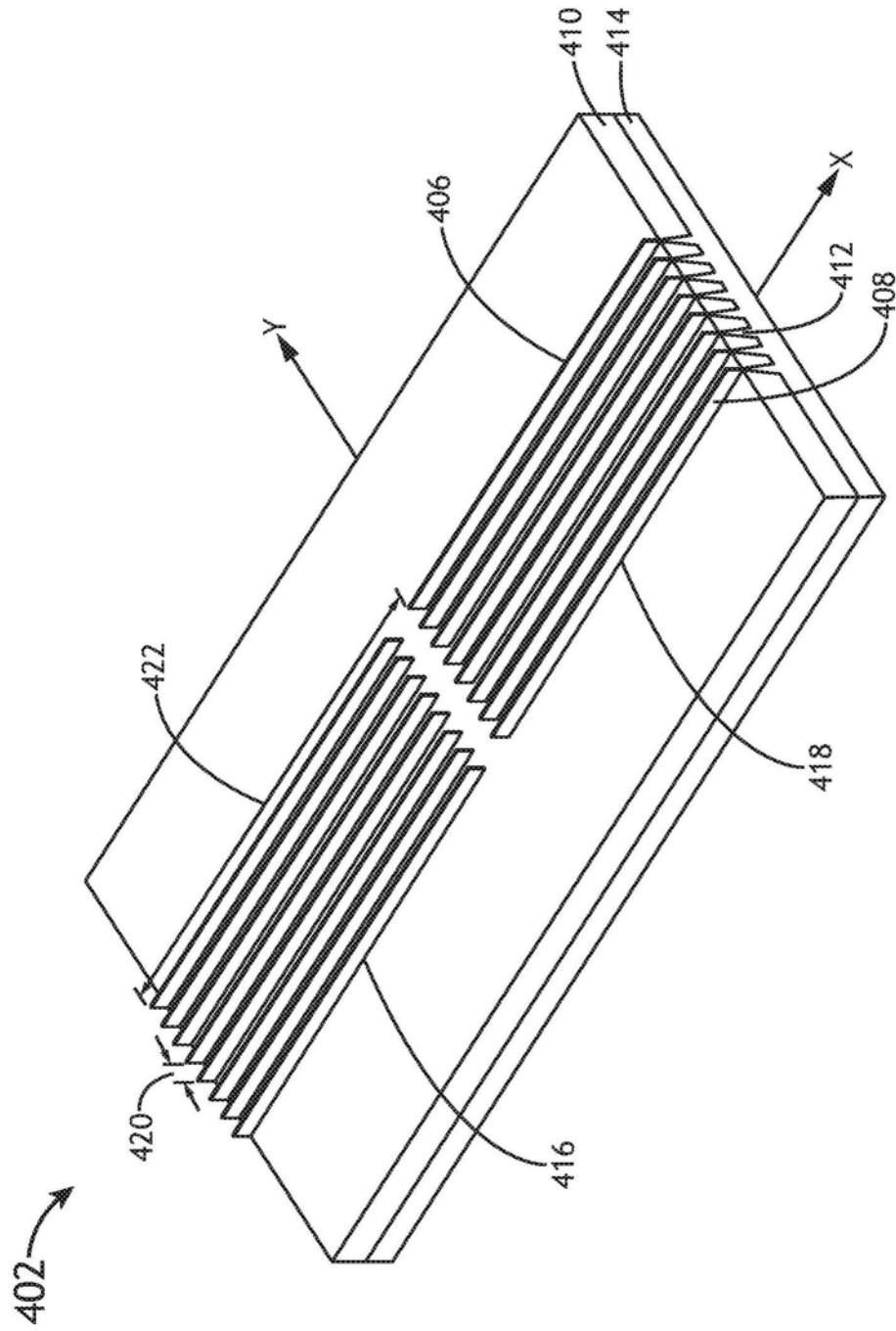


图4A

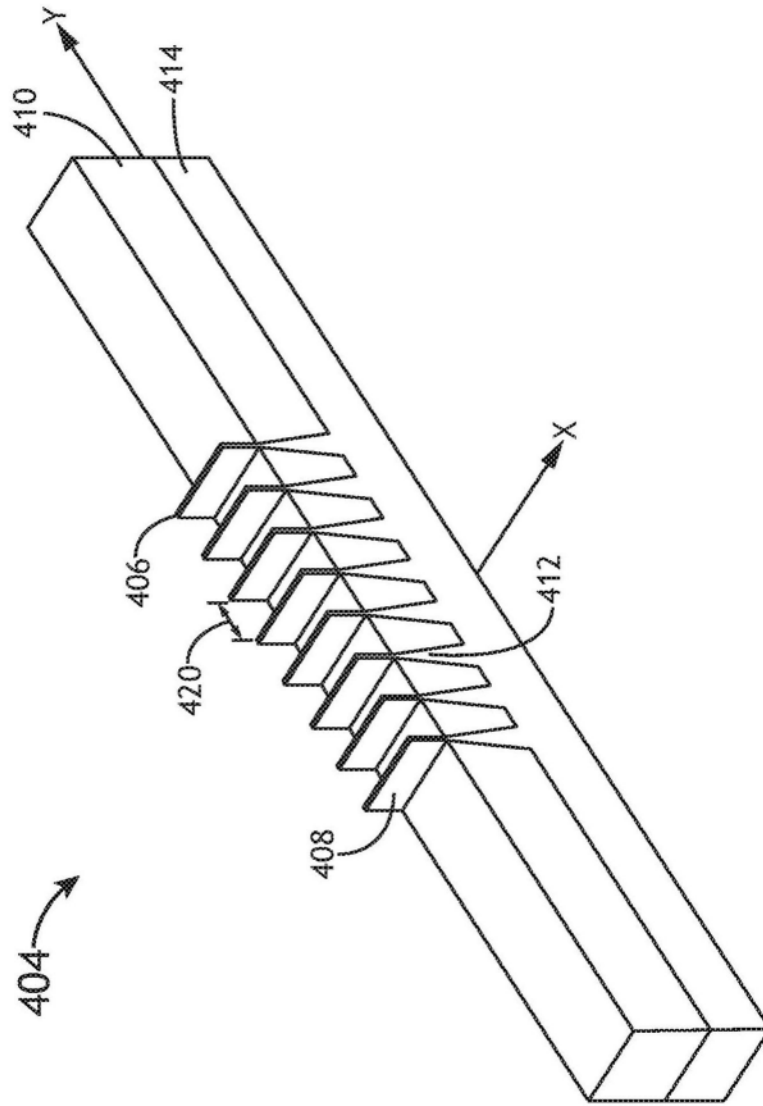


图4B

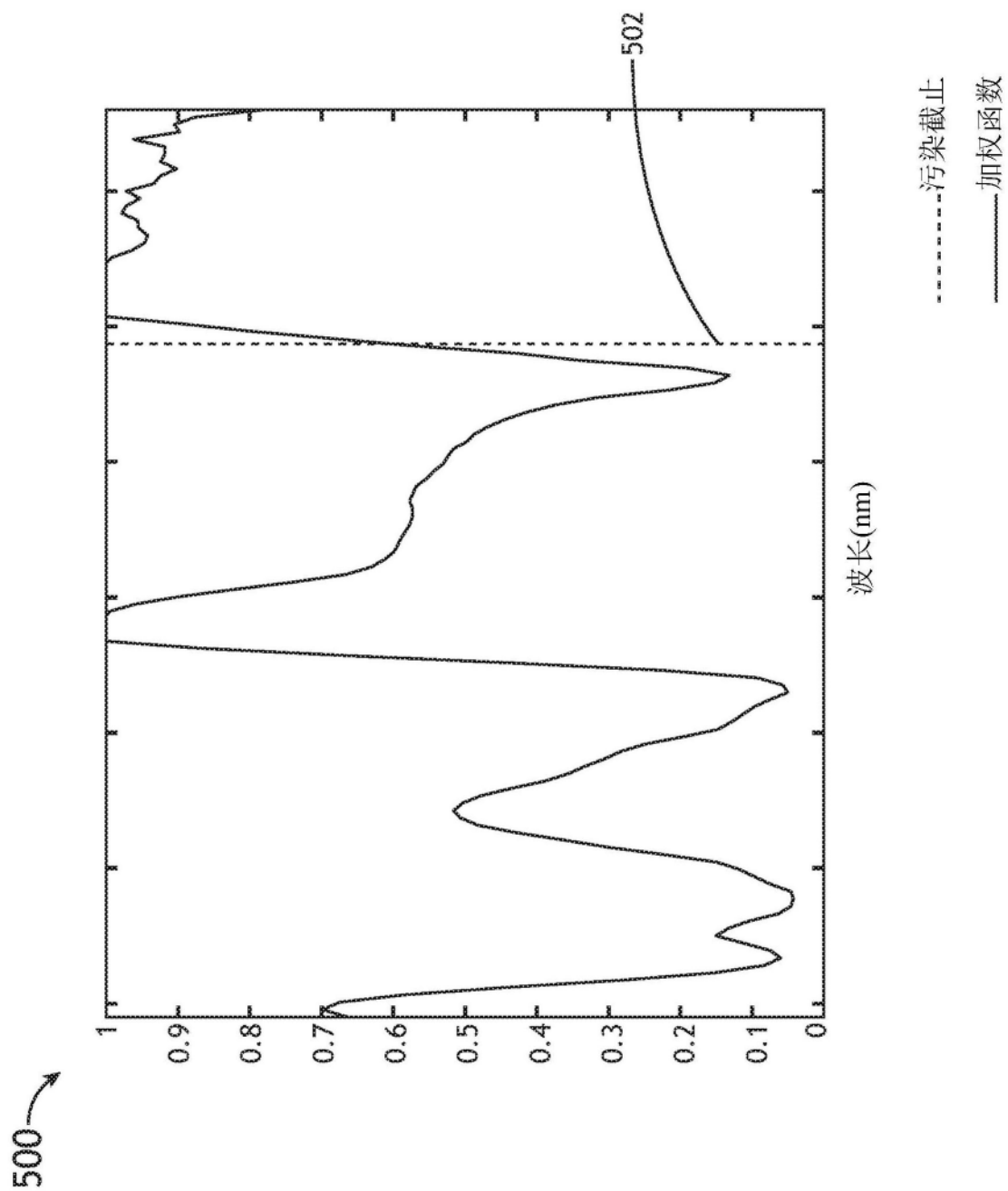


图5

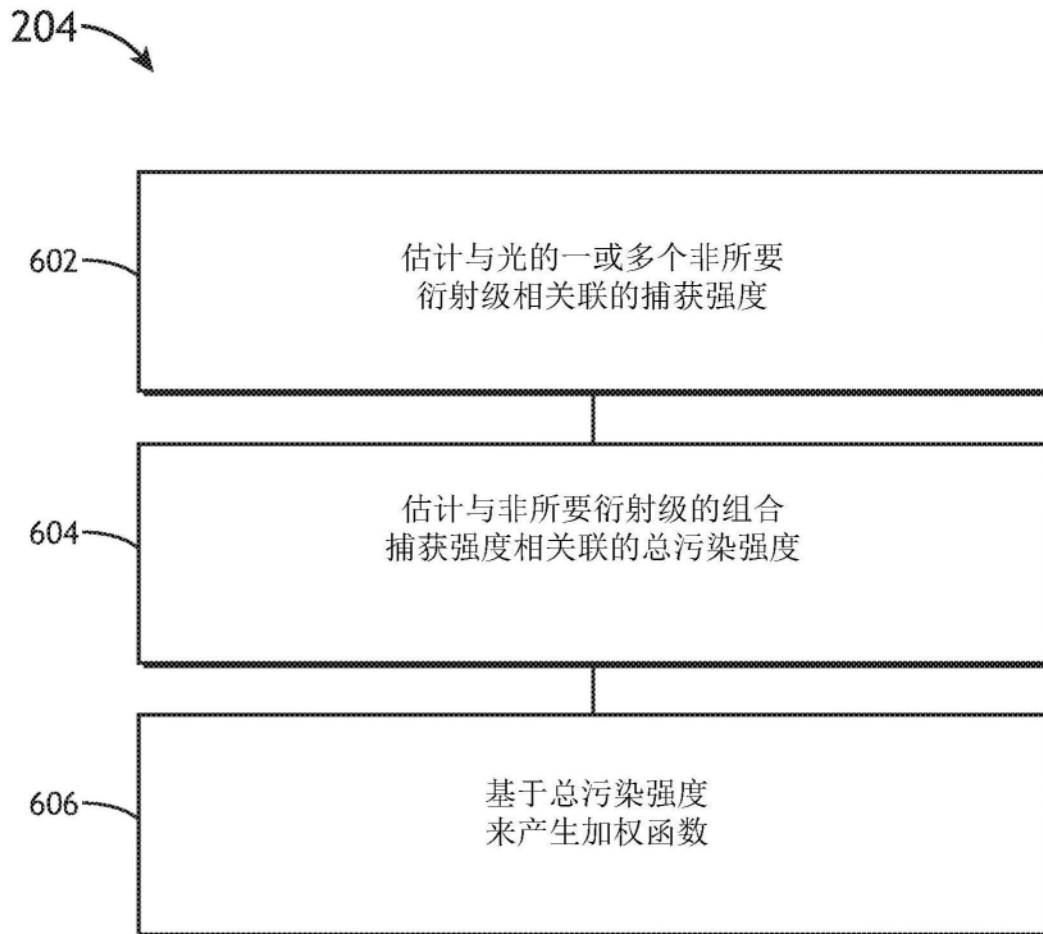


图6

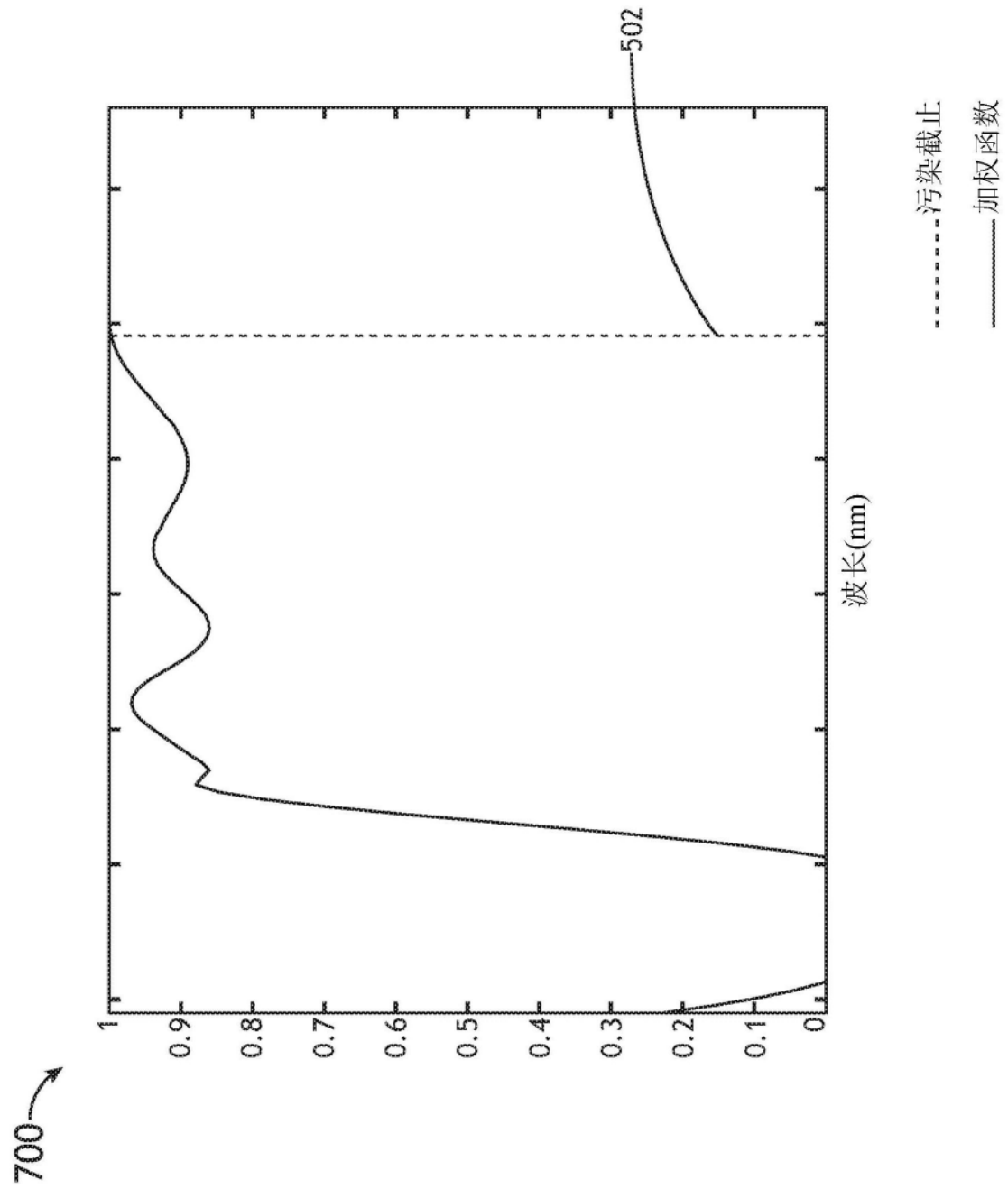


图7

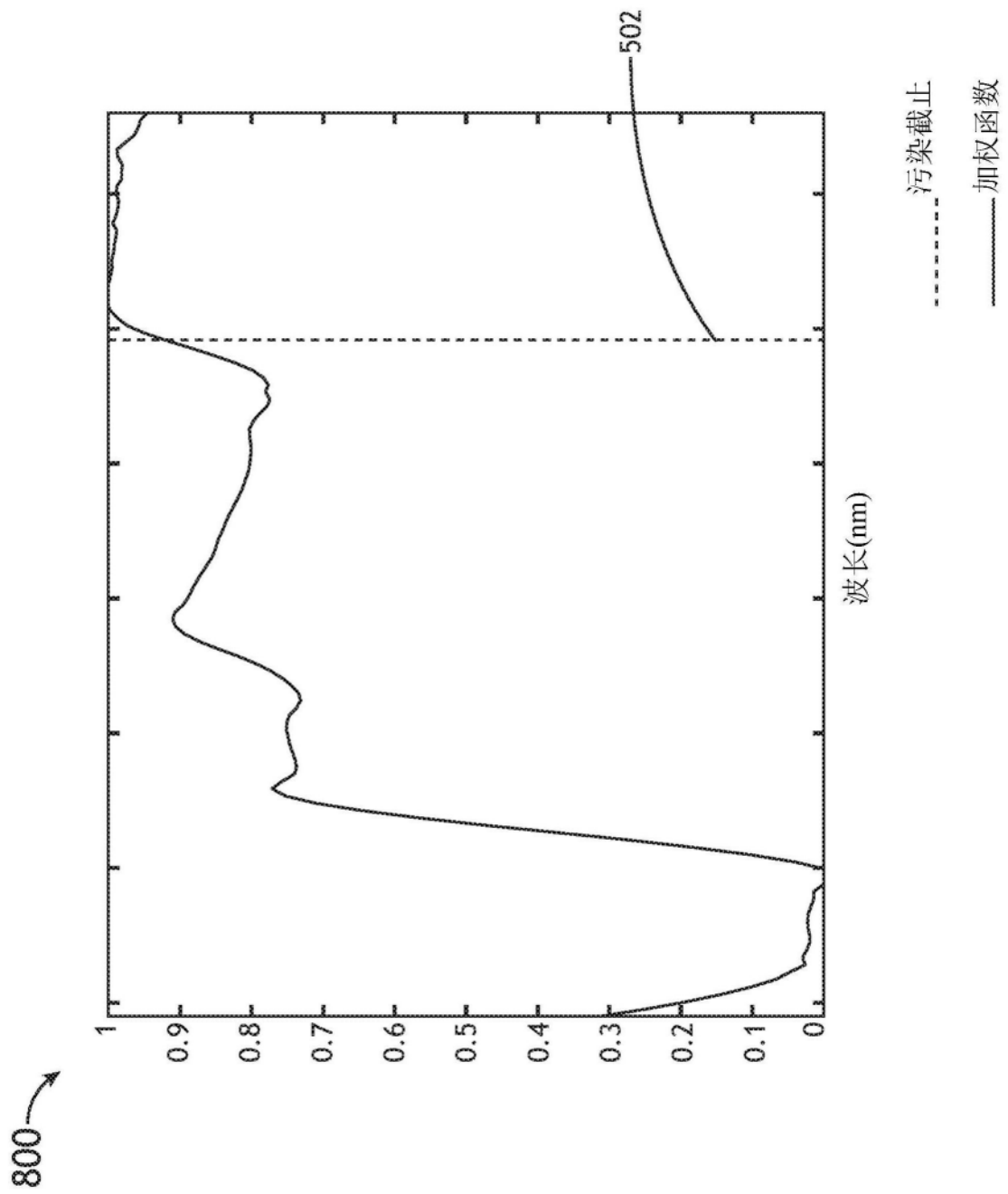


图8