



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102884396 B

(45) 授权公告日 2015. 12. 16

(21) 申请号 201180020938. 4

G01B 11/24(2006. 01)

(22) 申请日 2011. 02. 24

G03F 7/20(2006. 01)

(30) 优先权数据

61/307, 874 2010. 02. 25 US

(56) 对比文件

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012. 10. 25

TW 200907584 A, 2009. 02. 16, 说明书第 6 页
第 6 行 - 第 13 页第 5 行, 附图 1-7.

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/IL2011/000188 2011. 02. 24

CN 201402360 Y, 2010. 02. 10, 全文 .

(87) PCT国际申请的公布数据

WO2011/104713 EN 2011. 09. 01

US 2005/0146729 A1, 2005. 07. 07, 全文 .

(73) 专利权人 诺威量测设备股份有限公司

US 2006/0068301 A1, 2006. 05. 30, 全文 .

地址 以色列雷霍沃特

CN 1670914 A, 2005. 09. 21, 全文 .

(72) 发明人 博亚兹·布里尔 鲍里斯·舍曼

审查员 石小容

(74) 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限

责任公司 11240

代理人 余刚 吴孟秋

(51) Int. Cl.

G01B 11/06(2006. 01)

权利要求书2页 说明书8页 附图4页

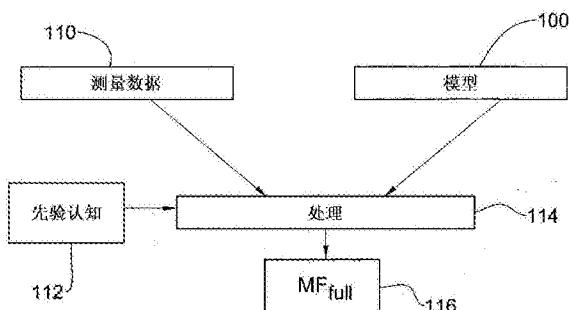
(54) 发明名称

在图案化结构中进行测量的方法和系统

(57) 摘要

提供了用于测量图案化结构的至少一个参数的方法和系统。该方法包括：提供输入数据，输入数据包括：测量数据，其包括：与该结构的不同地点的测量对应的多个测量信号；以及表示理论信号的数据，理论信号和测量信号之间的关系该表示结构的至少一个参数；提供基于表征结构的至少一个特性的至少一个所选全局参数的罚函数；以及在理论信号和测量信号之间进行拟合操作，所述拟合操作包括通过所述罚函数来确定理论信号和测量信号之间的优化关系，并使用优化关系来确定该结构的所述至少一个参数。

B
CN 102884396 B



1. 一种用于测量图案化结构的至少一个参数的方法,其中所述至少一个参数包括所述图案化结构的几何参数和 / 或所述图案化结构的材料的光学常数,所述方法包括:

提供输入数据,所述输入数据包括:

测量数据,包括与所述图案化结构的不同地点的测量对应的测量信号;

表示理论信号的数据,所述理论信号和测量信号之间的关系表示表征所述图案化结构的参数;

提供基于表征所述图案化结构的至少一个特性的至少一个所选全局参数的罚函数,其中所述全局参数对所述测量地点是恒定的并且与用于获得所述测量数据的第一测量处理和用于确定所述图案化结构的类似参数的第二测量处理之间的相关性有关;以及

在所述理论信号和测量信号之间执行拟合操作,所述拟合操作的所述执行包括使用所述罚函数来确定所述理论信号和测量信号之间的优化关系,并使用所述优化关系来确定所述图案化结构的所述至少一个参数。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,包括:使用优化优值函数执行所需次数的迭代,直到达到所述优化关系的期望收敛为止,并进行所述图案化结构的所述至少一个参数的所述确定。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法,其中,所述罚函数表征所述图案化结构的两个以上相关参数之间的关系。

4. 根据权利要求 3 所述的方法,其中,所述相关参数包括所述图案的临界尺寸和侧壁角度。

5. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述全局参数与外部参考是特定的已知关系。

6. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述第一测量处理和所述第二测量处理包括 OCD 和 CD-SEM 测量。

7. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法,其中,所述罚函数基于在至少一部分的所述测量地点内具有特定分布的公共全局参数。

8. 根据权利要求 7 所述的方法,其中,所述罚函数基于所述全局参数的平均值。

9. 根据权利要求 7 所述的方法,其中,所述罚函数基于所述全局参数值的平滑。

10. 根据权利要求 7 所述的方法,其中,所述特定分布为多项式函数。

11. 根据权利要求 10 所述的方法,其中,所述多项式分布的至少一些系数是已知的。

12. 根据权利要求 10 所述的方法,包括:使用优化优值函数执行所需次数的迭代,直到达到所述优化关系的期望收敛为止,所述多项式函数的至少一些系数在一个或多个初始迭代操作中确定。

13. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法,包括:通过进行迭代操作来优化所述罚函数。

14. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法,其中,所述图案化结构中的所述测量包括光学测量。

15. 根据权利要求 14 所述的方法,其中,所述测量数据包括光谱特征。

16. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法,其中,所述图案化结构为半导体晶圆。

17. 一种用于测量图案化结构的至少一个参数的控制系统,其中所述至少一个参数包括所述图案化结构的几何参数和 / 或所述图案化结构的材料的光学常数,所述系统包括:

数据输入实体,用于接收输入数据,所述输入数据包括:测量数据和理论数据,其中,所

述测量数据包括与所述图案化结构的不同地点的测量对应的测量信号,所述理论数据表示理论信号;以及

处理器实体,被配置为并且可操作地用于定义基于表征所述图案化结构的至少一个特性的至少一个所选全局参数的罚函数,其中所述全局参数对所述测量地点是恒定的并且与用于获得所述测量数据的第一测量处理和用于确定所述图案化结构的类似参数的第二测量处理之间的相关性有关;以及

用于在所述理论信号和测量信号之间执行拟合操作,所述拟合操作包括应用所述罚函数来确定所述理论信号和测量信号之间的优化关系,所述优化关系表示表征所述图案化结构的至少一个几何或光学参数,并使用所述优化关系来确定所述图案化结构的所述至少一个参数。

18. 一种用于测量图案化结构的至少一个参数的测量系统,所述测量系统包括:至少一个测量单元,被配置为并且可操作地用于生成测量数据,所述测量数据为与所述图案化结构的不同地点的测量对应的形式;以及权利要求 17 所述的用于接收和处理所述测量信号的控制系统。

在图案化结构中进行测量的方法和系统

技术领域

[0001] 本发明总的来说涉及半导体产业领域，并且涉及用于测量图案化物品(例如，半导体晶圆)的参数的技术。

背景技术

[0002] 对于半导体结构的特性进行表征是半导体产业长久以来的需求。由于基于这种结构的半导体器件的尺寸缩小，因此需要高灵敏度的测量工具和数据分析来监测半导体结构(尤其是图案化与非图案化薄膜的堆栈形式的结构)的特性。

[0003] 已知光学临界尺寸(OCD)测量技术(也称为散射测量)对于测量图案化(周期性)结构的参数是有效的。通常采用拟合操作来执行OCD测量。根据该操作，描述被测结构的理论模型用于生成理论数据或参考数据，并且将该理论数据或参考数据与测量数据迭代比较，同时变化模型参数直到找到“最佳拟合”为止。“最佳拟合”模型的参数被认为与测量参数相对应。

[0004] 测量数据通常为光学数据，可对这些数据进行分析以得出有关图案的几何参数的信息，包括厚度、临界尺寸(CD)、行距、行宽、壁深、壁轮廓等以及样本所含材料的光学常数。用于这种测量的光学测量工具通常为基于椭圆光度法和/或反射测量法的工具。基于反射测量法的工具通常测量来自样本/通过样本返回/传输的辐射大小的变化，而基于椭圆光度法的工具通常测量与样本相互作用后的辐射的偏振态的变化。除了这些技术或作为这些技术的替代方法，从图案化(周期性)结构返回(反射和/或散射)的光的角度分析可用于测量定义/表征该结构的参数。

发明内容

[0005] 在本技术领域中存在着对于有助于测量(例如，光学测量)图案化结构的参数的需求。

[0006] 上述传统方法通常包括理论数据和测量数据之间的比较。这在图1中已经示意性示出。理论数据基于一个或多个光学模型，每个光学模型基于多个参数的各种组合。模型中考虑到的参数通常有两种，一种与结构有关，另一种与测量技术有关。某个函数(例如，优值函数)通常用于比较理论数据和测量数据，优值函数本身或其导数的数值(值)定义为与期望的拟合度对应的参数。优值函数通常为以下函数：使得两个数据(理论和测量)作为输入(例如，光谱特征)，并且结果是作为两个输入特征之间“距离”的测量值的单个数值。例如，针对包括N个波长 λ_i 的光谱的优值函数MF(X)可以是以下形式：

$$[0007] MF(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (I_t(\lambda_i) - I_m(\lambda_i))^2 \quad (1)$$

[0008] 其中， I_t 和 I_m 为理论光学特征和测量光学特征(例如，强度)

[0009] 如果比较阶段并没有提供期望的结果，则改变理论数据的模型参数，从而改变理论输入数据，然后重复比较直到获得期望的拟合度(例如，收敛到优值函数的最小值)为止。

[0010] 通常的情况是结构的一个或多个参数对测量信号没有影响或者影响很小。在这种情况下,模型里的这个参数保持不变以避免模型的不稳定,尤其是由于弱影响参数。至于随机变化或未知的参数(非建模参数),其通常根本不包含在模型里。这些和其他因素降低了测量的准确度。

[0011] 在通常的基于散射测量的应用中,挑战在于考虑到大量参数(包括彼此相依或不相依的参数)的并行变化而向处理控制提供可靠的信息。通常,对于一些参数的测量的灵敏度不足以验证精确的测量,而且结果是有噪声的并且与实际处理行为不对称。因此,本发明基于对图案化结构(例如,半导体晶圆)具有许多测量地点这一事实的理解以及对于应当优选使用处理行为从而指引和稳定拟合处理的一些通用理解。这样可以降低最终结果的不确定性,允许改变(浮动)大量参数,并且增强用户对报告结果的信任度。

[0012] 根据本发明一个宽泛方面,提供一种用于测量图案化结构的至少一个参数的方法。该方法包括:提供输入数据,该输入数据包括测量数据,该测量数据包括与该结构的不同地点的测量对应的多个测量信号,和表示理论信号的数据,理论信号和测量信号之间的关系则表示该结构的至少一个参数;提供基于至少一个所选全局参数的罚函数,该全局参数表征结构的至少一个特性;以及在理论信号和测量信号之间执行拟合处理,所述拟合处理包括使用所述罚函数确定理论信号和测量信号之间的优化关系,并使用该优化关系来确定该结构的所述至少一个参数。

[0013] 在一些实施方式中,使用优化优值函数进行所需次数的迭代,直到达到优化关系期望的收敛为止。然后,优化关系用于确定该结构的该至少一个参数。

[0014] 罚函数可以是以下类型:其表征该结构的两个以上相关参数之间的关系。在一些示例中,相关参数可包括该图案的临界尺寸和侧壁角度。

[0015] 在本发明的一些实施方式中,罚函数基于对测量地点基本上不变的全局参数。该结构的全局参数并且使用优化关系来确定该结构的所述至少一个参数。

[0016] 在本发明另一个宽泛方面,提供一种用于测量图案化结构的至少一个参数的测量系统。该测量系统包括:一个或多个测量单元,被配置为并且可操作地用于生成测量数据,测量数据处于与该结构的不同地点的测量对应的形式;以及上述用于接收和处理所述测量信号的控制系统。在使用不止一个测量单元的情况下,这些单元可以是相同类型或不同类型,采用类似或不同的测量技术。

附图说明

[0017] 为了理解本发明并领会如何在实际中执行本发明,下面仅通过非限制性示例方式描述的实施方式结合附图进行描述,其中:

[0018] 图1为用于测量图案化结构的参数的传统方法的示意图;

[0019] 图2为本发明的用于测量图案化结构的测量系统的方框图;

[0020] 图3为本发明的用于测量图案化结构的方法的主要步骤的流程图;

[0021] 图4A为图3的方法的具体但非限制性示例的流程图;以及

[0022] 图4B为图3的方法的另一具体但非限制性示例的流程图。

具体实施方式

[0023] 图 1 示出了用于基于数据拟合来测量特定参数的传统方法的基本原理。

[0024] 参考图 2, 图 2 以方框图的形式示出了被配置为并且可操作地用于执行本发明的测量图案化结构 S (例如, 晶圆) 的参数的测量系统 10。该系统 10 包括被配置为用于处理和分析(在线或离线收集的) 数据并且生成表示结构的一个或多个所需参数的输出数据的控制单元 12。控制单元 12 通常为计算机系统(由一个或多个计算机实体形成)并且包括存储器实体 12A 和处理器实体 12B 等; 并且通常还包括数据输入和输出实体 12C。

[0025] 控制单元 12 接收或是从测量单元 14 (经由合适的数据接收器通过视情况而定的有线或无线信号传输) 或是来自外部数据存储器(事先将数据从测量单元传输至该外部数据存储器)的测量数据 MD。这样, 一般来说, 测量单元 14 构成一个或多个测量数据源。测量单元可以是任何合适的类型, 例如, 在 OCD 测量的情况下为光学类型。测量单元的构成和操作不是本发明的一部分, 因此, 除了要注意以下几点, 这里将不再详述。光学测量单元可采用基于散射测量的方案, 例如: 垂直或斜入射, 基于光谱或角度等, 或其组合。在转让给本发明的受让方的美国专利第 6,657,736 号中公开了适用于本发明的测量单元的示例。因此, 对于基于散射测量的光学测量系统, 该文献通过引用结合于此。尽管以下将本发明示例为与光学测量单元相关, 但是应理解的是, 本发明并不限于该具体应用。还应注意的是, 可以从多于一个的测量单元提供测量数据, 这些测量单元可以是类似或不同的测量类型(光学、电学、声学等)。

[0026] 存储器实体 12A 用于基于某模型和 / 或多个模型参数集来存储(永久或临时)用于拟合操作的理论数据。根据本发明, 使用数据特定的罚函数来优化拟合操作, 其中, 该数据特定的罚函数事先存储在系统中或可从测量数据中得出。通常, 罚函数与关于被测结构的一个或多个全局参数 / 条件的某些认知(数据)相关。应理解的是, 这些认知并不一定意味着在实际测量前已经知晓某些参数的值, 而是指一个或多个全局参数的行为是已知的, 或者这些认知在实际测量过程中能够更新。全局参数通常为结构的特征。在这方面, 应理解的是, 待测的图案化结构包括一组由一个或多个类似的参数表征的地点。本发明在(例如, 基于制造工艺)描述该集合的所述参数的预期行为的全局参数中采用优化标准。这样, 处理器实体 12B 进行操作以确定通过应用基于全局参数的罚函数所优化的理论数据和测量数据之间的关系。然后, 优化关系用于确定结构的期望参数。下面将对此进行更具体的描述。

[0027] 参考图 3, 示出了能够由上述系统(即, 控制单元)实现的本发明的方法的主要步骤的流程图。提供理论数据(步骤 100)。该理论数据通常离线生成, 即, 先于并且独立于对具体结构进行的实际测量, 并呈现出理论信号(特征)的集合(库), 其中, 每个理论信号对应于根据特定条件下某个类型的结构可测量的数据(即, 参数的值)。在晶圆中基于散射测量的 OCD 测量的情况下, 这些特征可以是光谱特征。提供来自结构 S 上的至少两个(但是优选多个)测量地点的测量数据 MD (步骤 110)。在获得测量数据的同时或单独地(例如, 测量前), 提供表示与被测的该具体结构的一个或多个全局参数有关的数据(步骤 112)。

[0028] 使用关于全局参数的所述数据(在步骤 112 提供)处理理论数据和测量数据(步骤 114), 定义用于处理理论数据对测量数据的罚函数, 产生优化的优值函数 MF_{full} (步骤 116)。优值函数数值 MF_{full} 被确定为局部优值函数 MF_{local} 和全局优值函数 MF_{globa} 的某个函数, 其中, 局部优值函数 MF_{local} 表示针对某个测量地点的理论数据和测量数据之间的比较(关系), 而全局优值函数 MF_{globa} 与基于关于全局参数的数据的罚函数相对应:

[0029] $MF_{full} = f(MF_{local}, MF_{global}) \quad (2)$

[0030] 根据一示例, 可按照如下方式确定优化的优值函数 MF_{full} :

[0031] $MF_{full} = MF_{local} + MF_{global} \quad (3)$

[0032] 在另一非限制性示例中 :

[0033] $MF_{full} = MF_{local} + (1+G) \quad (4)$

[0034] 其中, 根据针对所有地点已知的 / 确定的全局参数来确定 G。

[0035] 然后, 尽管在该图中未具体指明, 但是通过分析优值函数 MF_{full} 来识别其是否满足与期望的拟合度对应的预定条件。如果不满足, 则根据迭代程序来改变理论模型, 直到达到最佳拟合(例如, 优值函数的期望最小数)。基于最佳拟合结果, 对应模型的参数用于表征测量参数。

[0036] 在本发明的一些实施方式中, 测量数据的处理可始于包括以下各项的标准操作 : 正如上面参考图 1 所述的, 使用标准优化处理来单独拟合每个测量地点。应注意的是, 由于数据处理的这个阶段预计不会是最终的, 而仅仅是下一个阶段的起始点, 因此匹配 / 拟合度可以相对较低, 从而节省计算时间。然后, 处理的下一个阶段从处理的初始、标准阶段产生的每个点的拟合操作的“低准确度”开始, 或通常始于任意点。处理的该下一个阶段基于关于全局参数的数据并且旨在优化 / 调整优值函数。

[0037] 例如, 定义 / 计算针对预定集合中每个地点的至少一个全局参数, g_1, g_2, \dots, g_i 。应注意的是, 从先前的优化 / 迭代步骤已知, 所有地点的全局参数对于所有地点可以一样, 或者对于每个地点或一些地点的值不同, 并且根据一些或所有地点的测量来确定。每个地点可分配有修正优化的优值函数 MR_{full} , 该函数考虑到经由 MR_{global} 表达的罚函数, 其中, MR_{global} 基于表示所选全局参数的数据。全优值函数数值比常规、局部优值函数 MF_{local} 大, 其削弱用户期望抑制的全局行为, 见上面的等式(3) 和(4)。

[0038] 可基于修正 / 优化的优值函数 MF_{full} 针对每个地点进行拟合(收敛)处理。根据某个中间停止判据(例如, 将优值函数改进到某个中间水平), 或是按照一步或是按照数步停止来进行步进前移。可重复或不重复拟合操作步骤, 直到获得对于所有地点的 MF_{full} 的足够收敛为止。下面参考图 4A 和图 4B 对此进一步举例说明。

[0039] 根据一些示例, 所选全局参数与某个外部参考相关, 该外部参考为测量处理的基本上不变的特征。因此, 优化操作采用对外部参考的拟合。该外部参考例如可以是 OCD 测量工具和 CD-SEM 之间的相关性 R^2 。应理解的是, 本发明可用于改进 OCD 或 CD-SEM 测量, 以及任何其他测量技术。因此, R^2 用作针对优化的公共全局参数。实际上, 该优化还在很大程度上优化了总测量不确定性(TMU)。由于(例如)由 MF_{global} 数值表达的罚函数值应尽可能最小化, 因此 MF_{global} 可表达为 :

[0040] $MF_{global} = \alpha \cdot (1-R^2)^n \quad (5)$

[0041] 其中, $n < 1$ 可用于增强 R^2 接近数字 1 的效果 ; α 是允许调整 MF_{global} 对 MF_{local} 的相对强度的比例因子。

[0042] 根据其他一些示例, 最佳拟合法可用于按照以下方式使用全局数据来评估局部误差。X 被指定为对于优化处理中具体步骤在特定地点感兴趣的全局参数(例如, CD) 所估计的值, X_{ref} 被指定为针对同一地点的某个外部参考值, 所述全局参数的值 X_{fit} 可通过其与外部参考值的关系表达为 :

[0043] $X_{fit} = a \cdot X_{ref} + b$ (6)

[0044] 其中, a 和 b 为优化 X_{fit} 尽可能靠近 X_{ref} 的校正系数。

[0045] X_{fit} 值和当前值之间的个别差异用于确定罚函数, 例如, 优值函数校正:

[0046] $MF_{global} = a \cdot ((X_{fit} - X) / dX)^2$ (7)

[0047] 其中, dX 为具有 X 维数的固定值, dX 可用于调整拟合 / 收敛处理中 MF_{global} 的强度。

[0048] 这样, 常数值的某个外部参考可直接用作全局参数或用作定义全局参数的因子。可替换地, 全局参数可以是晶圆中逐地点变化的参数, 具有其值在这些地点中的已知特定分布。这种参数例如可以该结构的或是晶圆中整个测量地点集或其一部分的至少最上面的层的厚度 T。关于全局参数的数据可表示该参数(例如, 厚度)的行为的平滑度。这样, 可通过增强跨测量地点集的至少一部分的给定参数的行为平滑度来提供测量结果的稳定性。例如, 可通过下面的方法获得:

[0049] 例如, 可通过将 N 个临近地点(例如, 3 个点)拟合到某个平滑函数并评估该函数在地点坐标中的中间值来估计针对每个地点的局部平滑值。估计的平滑值 X_{smooth} 和模型参数的对应值 X 的差值除以某个相关校正因子可用作例如由 MF_{global} 表达的罚函数:

[0050] $MF_{global} = a \cdot ((X_{smooth} - X) / dX)^2$ (8)

[0051] 在不是平滑度函数或者除了平滑度函数之外, 跨晶圆中测量地点的全局行为可选为某个全局参数的径向函数 / 分布, 例如, 作为沿着晶圆半径 R 的多项式函数。在优化操作的每个步骤中, 整个测量数据集拟合到所述的径向函数, 并且拟合水平 / 程度(例如, 残差平方和或相关性)用于确定罚函数进而针对所有地点的 MF_{global} 。

[0052] 应注意的是, 可选择测量地点集, 这样, 它们全部共享在优化操作中使用的至少一个参数的公共行为。同样, 优选地, 分析这些地点以选择合适的测量集。例如, 优选地, 从优化的优值函数中使用的测量集中过滤掉(手动或自动)由于某种原因具有与总体的其它地点明显不同的参数行为(例如, 拟合水平)的地点。

[0053] 可选地, 但是优选地, 通过验证每个地点正确的光谱设置和合理的收敛来定义和优化每个测量地点的测量方法(关于测量地点和 / 或有关所述地点的测量条件的信息)。

[0054] 以下为本发明用于测量图案化结构的技术的具体而非限制性的示例。

[0055] 参考图 4A, 示出了能够由上述图 2 所示的系统实现的本发明的一个实施方式的方法的流程图。该具体而非限制性示例示出了全局参数针对特定的测量地点基本不变, 然而全局参数针对不同的地点相同或不同的情况。因此, 该图举例说明了对于来自一个测量地点的测量数据的处理, 而类似的操作可独立进行, 例如针对多个地点并行进行。

[0056] 当处理针对测量地点恒定的全局参数时, 该全局参数可能与某个外部参考相关。在该实施方式中, 针对每个测量点(地点)的全局参数值定义为用户提供的常数值, 或定义为该参数和其他事先已经确定的(浮动)参数之间的用户定义关系(方程式)。这种方程式可以表示测量地点上全局参数的空间分布, 或通常在至少一部分图案化结构上的空间分布。

[0057] 提供包括各种模型或某个模型的多个参数集的理论数据(步骤 200)。该理论数据通常离线生成, 即, 先于并且独立于对具体结构的实际测量, 并呈现出理论数据(特征)的集合(库), 其中, 每个理论数据与特定条件下根据某个类型的结构可测量的数据(即, 参数的值)相对应。在图案化结构(诸如半导体晶圆)中基于光谱测量的 OCD 测量的情况下, 可以是光谱特征。提供来自结构 S 上测量地点的测量数据 MD(步骤 210)。同样, 还提供(在获

得测量数据的同时或与其独立(例如,在测量前))关于被测的具体结构的一个或多个全局参数的数据(步骤 212)。如上所述,该数据可包括全局参数值或描述与一个或多个其他浮动参数相关的全局参数行为的函数。

[0058] 使用关于全局参数(步骤 212 中提供)的所述数据来处理理论数据和测量数据(步骤 214),并确定它们之间的关系,例如,以所谓的局部优值函数 MF_{local} 的形式(步骤 216)。然后,通过使用关于全局参数的所述数据来优化该优值函数(步骤 218)。实际上是通过向局部优值函数应用某个罚函数来实现该优化。罚函数基于关于全局参数的数据并且例如可通过所谓的全局优值函数 MF_{global} 表达。这样,获得理论数据和测量数据之间的产生的优化关系(步骤 220),这里称为 MT_{full} ,作为局部优值函数和全局优值函数的某个函数(见上面的等式(2))。

[0059] 然后,分析优化的优值函数 MF_{full} 以确定其是否满足与期望的拟合度对应的预定条件(步骤 222)。如果不满足,则根据迭代操作改变理论模型,直到达到最佳拟合(例如,优值函数的期望最小数)。基于最佳拟合结果,对应模型的参数用于表征针对该测量地点的测量参数(如上所述)。如上所述,可以针对多个地点进行类似的操作。

[0060] 参考图 4B,图 4B 举例说明了针对以下情况的本发明的方法,即,全局参数不是常数而是取决于多个测量地点的所谓的公共全局参数,因此可能不单独与外部参考相关。例如,这种全局参数在结构内可具有某种已知的一般分布(函数),而函数的系数需要并且可基于多个地点中至少一些地点的测量数据更新。下面将对此进一步举例说明。

[0061] 如图所示,提供理论数据(步骤 300),提供来自 i 个地点的测量数据(步骤 310 和 310')。在一些实施方式中,不同的地点与不同的理论数据相关。因此,该图中的步骤 300 和 300' 对应于提供不同的理论数据。

[0062] 使用该示例中不同的理论数据(其是可选的)来处理针对每个地点的理论数据和测量数据(步骤 312 和 312')。该处理操作产生理论数据和测量数据之间的某些局部关系,例如,局部优值函数 MF^1_{local} 和 MF^i_{local} 以及与全局参数相关或不相关的参数的某些值,这些值使用各个局部优值函数确定。基于先前提供的关于一个或多个全局参数(步骤 316)的数据(例如,全局参数行为(例如,其特定分布)来处理如此确定的对应于全局参数的“局部值”(步骤 314)。步骤 314 的处理旨在确定罚函数或所谓的全局优值函数。

[0063] 在该全局参数针对多个测量地点是公共参数的实施方式中,罚函数也取决于多个地点。例如,罚函数利用全局参数的平均值或处于具有一个或多个未知系数的已知函数(例如,多项式)形式的全局参数。例如,通过某个线性函数表达罚函数:

$$P(x, y) = ax + by + c \quad (9)$$

[0065] 其中,可根据先前的迭代(步骤 312 和 312')定义 / 更新系数 a, b, c 。该计算可能需要至少三个地点(三个测量光谱)或更多的地点,例如,对于这种参数来说,光谱可能超过 10 个。

[0066] 同理,可采用抛物线函数(即,全局参数值定义为针对所有测量光谱的之前迭代结果的抛物线逼近法的结果)。在第一次迭代后,确定针对每个测量点的参数值集合 $P_1 (x_1, y_1)$ 。然后,确定针对每个点(地点)的抛物线逼近法的系数 a, b, c, d, e, f 和罚函数

$$P_2(x_i, y_i) = a \cdot x_i^2 + b \cdot x_i + c \cdot y_i^2 + d \cdot y_i + e \cdot x_i \cdot y_i + f \quad (10)$$

[0068] 该计算可能需要 6 个以上光谱,例如,超过 20 个光谱。

[0069] 在另一示例中,罚函数基于全局参数的平滑,例如,针对每个测量地点的公共全局参数定义为针对晶圆上三个最近测量位置的之前迭代结果的中间值。

[0070] 而又一示例可以是全局参数值为根据之前迭代确定的一个或多个其他浮动参数的线性相关逼近(或全局参数对该全局参数和其他浮动参数之间施加线性约束)的结果:

$$[0071] P_{2k} = \sum_{i=k}^n a_i \cdot P_{1i} + c \quad (11)$$

[0072] 这里,可选择参数 P_{2k} 和 P_{1i} 分别表征 CD 和侧壁角度(SWA)。

[0073] 然后连同根据局部优值函数确定的全局参数值,使用关于全局参数行为的数据,从而定义罚函数,然后基于此来确定优化关系或所谓全优值函数 MF_{full} (步骤 318 和 318')。接下来,在一些示例中,使用基于模型参数变化的迭代操作以标准方式进行拟合操作(步骤 320, 320')。可替代地,通过优化单独迭代操作中的罚函数、逐步变化模型参数、确定不同地点的全局参数以及确定优化的罚函数从而优化全优值函数 MF_{full} 来进一步优化拟合操作。

[0074] 应注意的是,图 3A 和图 3B 的上述两个示例可一起使用。例如,通过组合使用恒定外部参考(例如,全局参数和外部参考之间的关系)和公共全局参数方面(例如,全局参数的平均值)来优化罚函数。更具体地,在第一次迭代阶段,可按照图 1 的方式使用常规数据整理,在第二次迭代过程中,使用用户提供的恒定全局参数值(例如, OCD 和 CD-SEM 之间的关系),然后在第三次迭代程序中,期望的参数值定义为第二次迭代阶段整理结果的平均值。

[0075] 这样,本发明采用通过适当选择描述跨测量地点集的预计处理行为的全局参数而定义的优化标准。这些标准可以包括其他事项,例如特别包括:(a) 跨整个晶圆或其至少一部分的给定参数的平滑行为,例如,贯穿该集合所预计的具体函数行为,例如,作为半径(“中心到边缘”)函数的平滑行为;(b) 拟合到某个外部参考(例如,CD-SEM, 反之亦然);(c) 预计跨测量集一致的参数,例如,材料参数。

[0076] 应注意的是,在本发明的一些实施方式中,可考虑预计跨整个测量数据集一致的参数。与平均值的偏差的总和可用作全局 MF, 以增强一致性, 或可使用与平均值的单独偏差。在这方面,要考虑到以下事项:如果在一致值不正确的情况下强制一致值,则在其他参数上会反应出作为噪声的误差。假设选择一致值,则可采用多种方案:(1) 独立优化循环;(2) 允许每个地点单独改变全局值,但是每个步骤后强制所有的值至平均值;(3) 使用全局 MF 使每个测量数据集收敛,使得跨数据集的值类似但不相同,然后强制所有地点上的平均值,接着在不改变全局参数的情况下再运行;以及(4),其与(3)类似,使用全局 MF 使每个测量数据集收敛,然后计算平均值,用平均值替代所有值,从该起始位置再次浮动,并且所有参数是开集合(open)。

[0077] 这样,本发明采用全局拟合方法的技术通过利用参数与某种参考点或全局结果的偏差来削弱优值函数(增加惩罚)从而能实现在多个测量地点或一组测量点上(例如,整个晶圆上)的结果更一致。可加权相关惩罚,从而匹配常规(局部)优值函数的比例。例如,可按照下面的方式实现:

$$[0078] MF'(\bar{x}) = MF(\bar{x}) + \sum_{s=1}^N \alpha_s \cdot (x_s - g_s)^2 \quad (12)$$

- [0079] 其中, α_m 为加权因子, 针对 N 个全局参数的外部参考 g 可以是下面的一个或多个:
- [0080] - 例如 CD-SEM 提供的外部绝对参考 $g=x_{ref}$;
- [0081] - 拟合的外部参考 $g=ax_{ref}+b$ (通过全局参数与外部参考值的关系表达该全局参数), 其中, 通过来自之前迭代的全数据集上的全局拟合来计算系数 a 和 b;
- [0082] - 晶圆上的之前迭代的平均值 $g=\langle x \rangle$;
- [0083] - 更复杂的全局拟合函数, 取决于晶圆坐标, 例如, 抛物线拟合, 平滑分布条件等。
- [0084] 上述为参数和优化程序的非限制性示例, 其并不限制本发明的范围。
- [0085] 本发明提供了一种采用拟合操作的一般原理但是借助了适当优化优值函数的罚函数来测量图案化结构的参数的新方法。这可通过利用与考虑关于结构全局参数的一些认知所确定的罚函数相对应的局部优值函数来校正全局优值函数来实现。

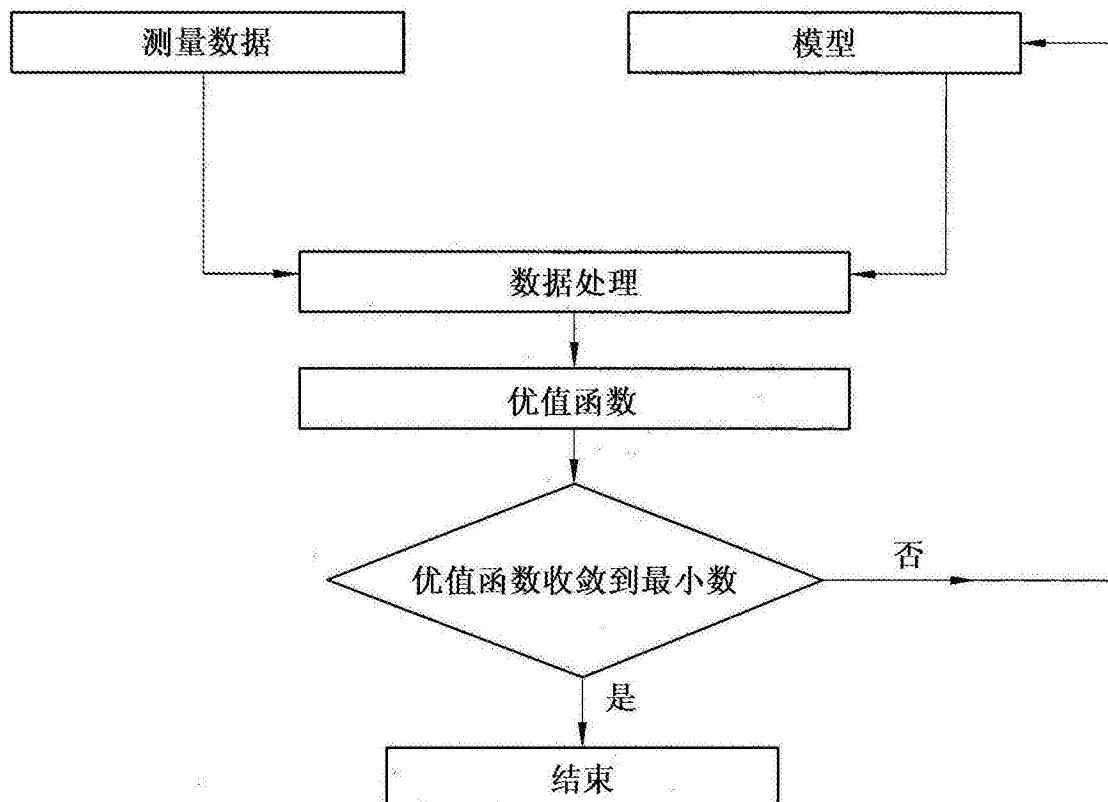


图 1

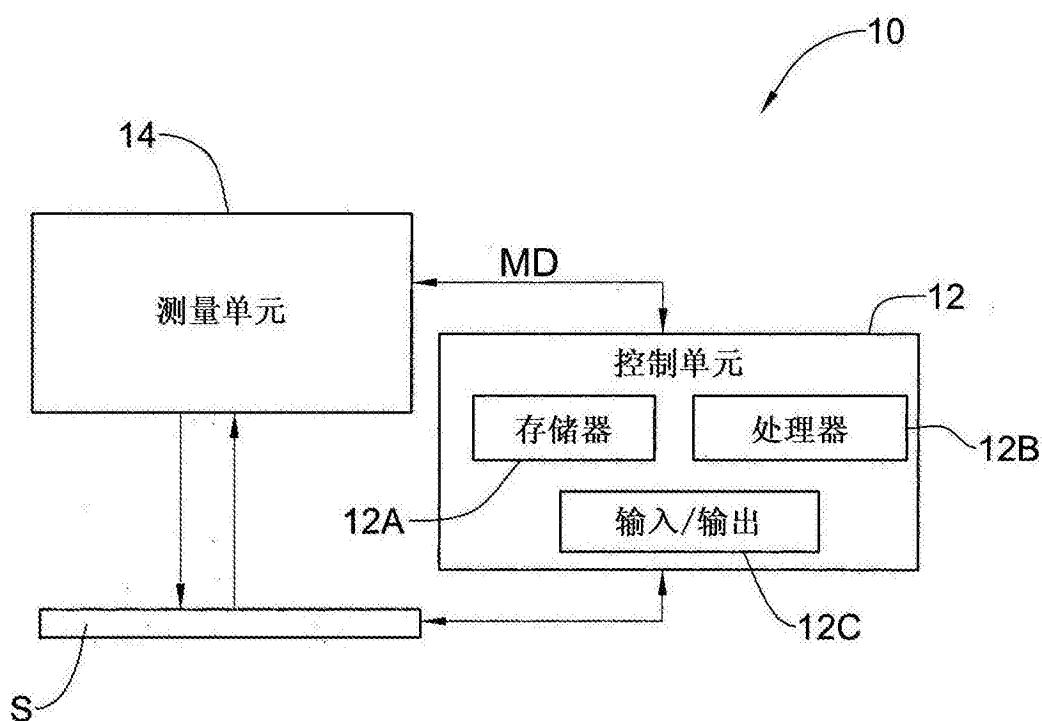


图 2

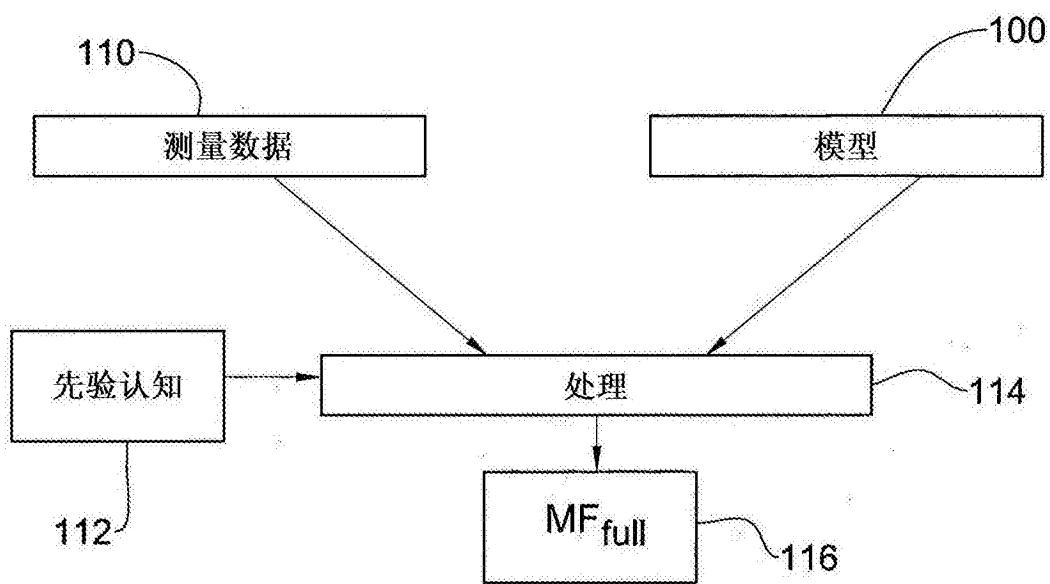


图 3

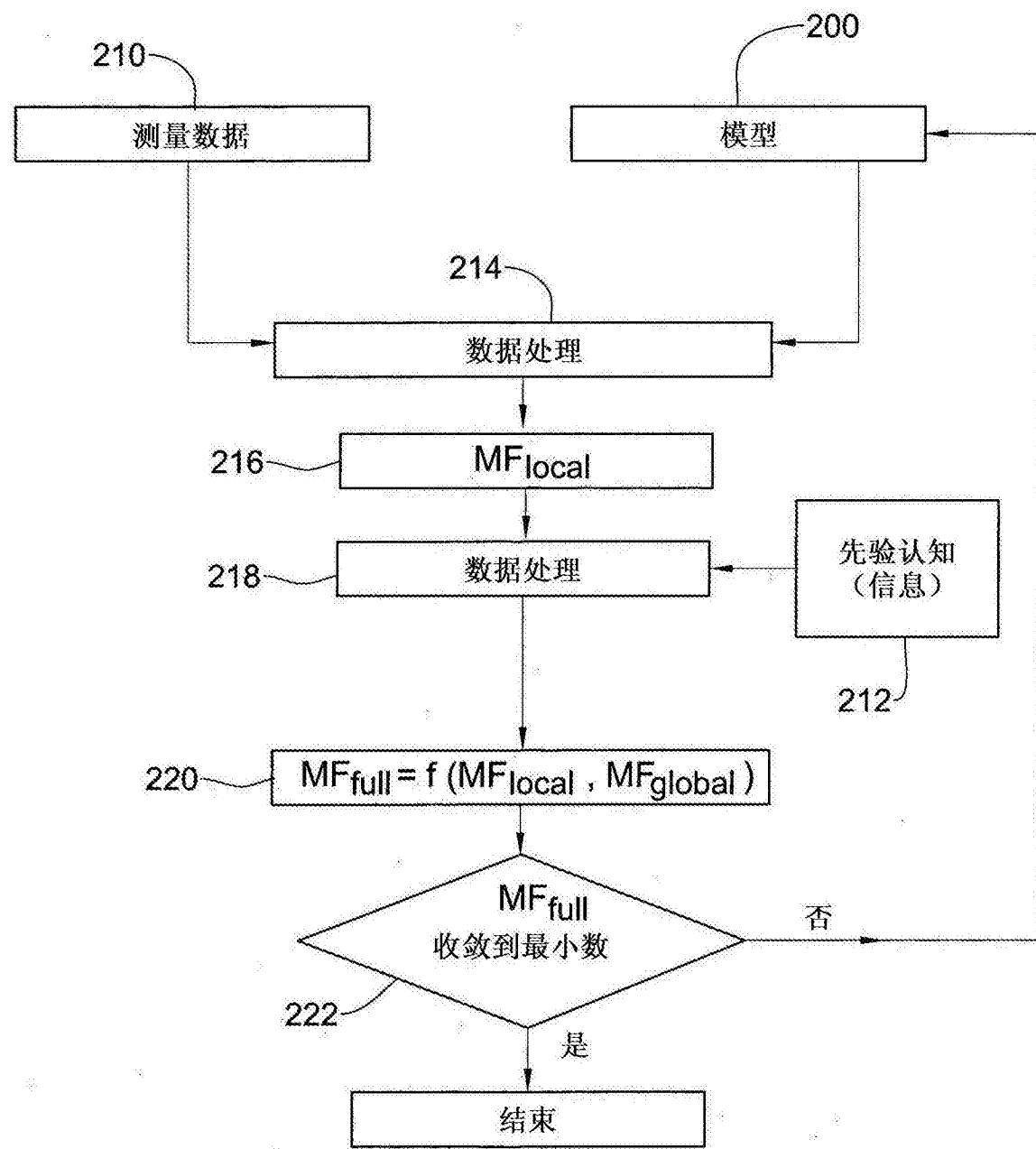


图 4A

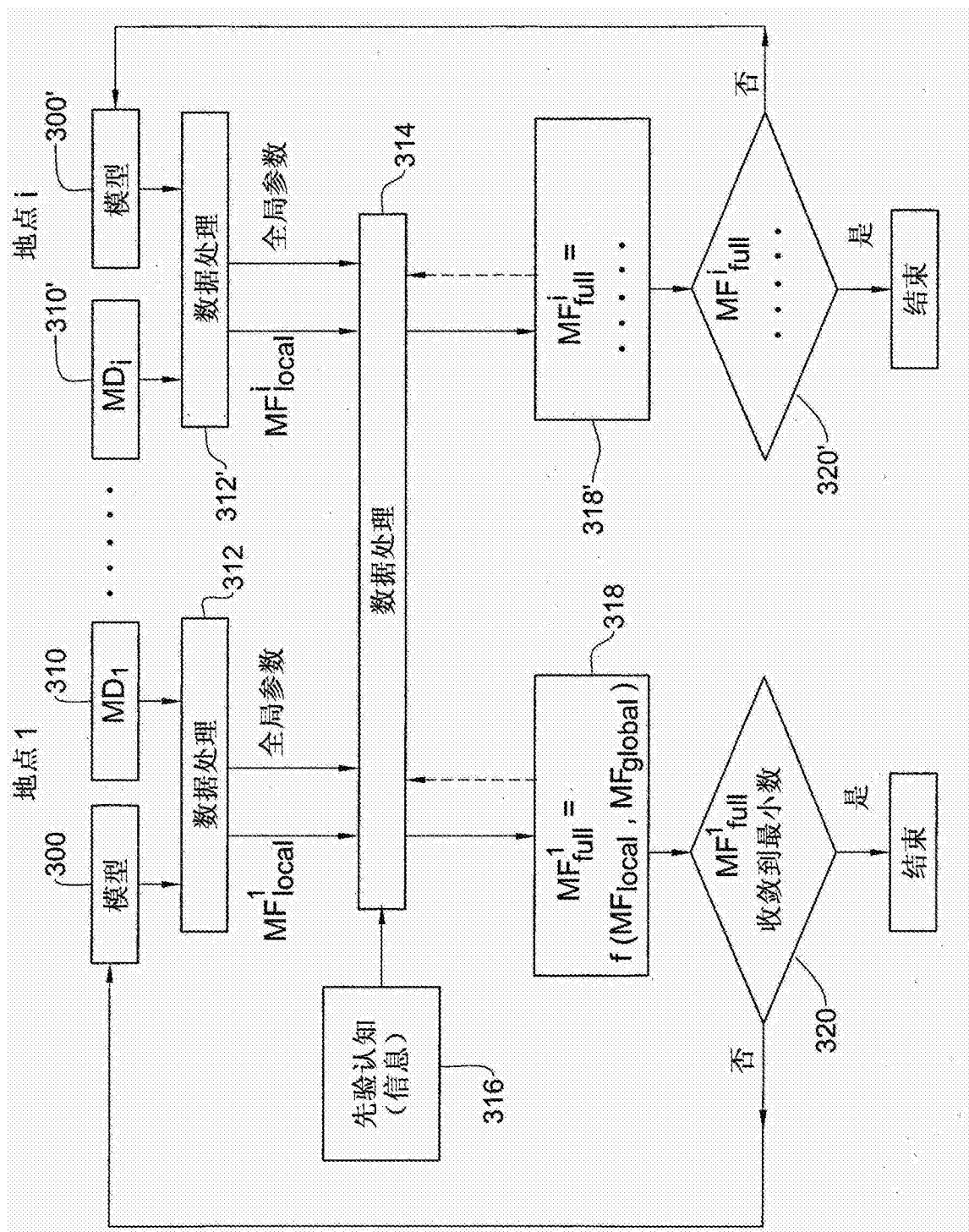


图 4B