



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101853780 B

(45) 授权公告日 2012. 05. 23

(21) 申请号 201010151515. 3

(22) 申请日 2010. 03. 23

(30) 优先权数据

081098/09 2009. 03. 30 JP

(73) 专利权人 索尼公司

地址 日本东京都

(72) 发明人 久保井信行 小林正治

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 郭定辉

(51) Int. Cl.

H01L 21/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101432865 A1, 2009. 05. 13,

US 6029079 A, 2000. 02. 22,

CN 1661368 A, 2005. 08. 31,

审查员 刘博

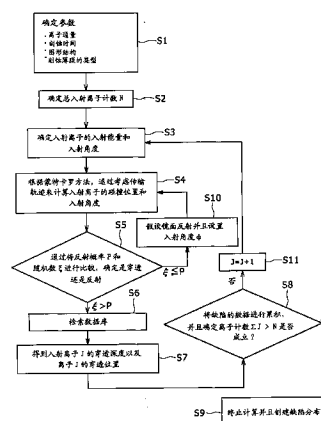
权利要求书 6 页 说明书 27 页 附图 18 页

(54) 发明名称

离子辐射损伤预测方法和仿真器以及离子辐射设备和方法

(57) 摘要

公开了离子辐射损伤预测方法和仿真器以及离子辐射设备和方法。所述离子辐射损伤预测方法包括参数计算步骤,其通过考虑轰击制造目标的入射离子的传输路径,以及通过采用将入射离子的通量、入射能量和角度的分布作为输入参数的蒙特卡罗方法,来计算所述离子的碰撞位置和入射角度;以及缺陷分布计算步骤,其用于:通过参考在所述参数计算步骤得到的信息以及预先创建的数据库,来针对数据进行检索,其中所述数据库用于存储对所述制造目标具有影响的晶体缺陷量的分布、离子反射概率的分布以及离子穿透深度的分布;基于在检索操作中得到的所述数据以及入射离子的入射能量和角度,得到入射离子的穿透深度和位置;以及根据穿透深度和位置,计算制造目标中缺陷的分布。



1. 一种离子辐射损伤预测方法, 包含:

参数计算步骤, 其通过考虑由轰击制造目标的入射离子跟踪的、作为到所述制造目标的路径的传输路径, 以及通过采用将入射离子的通量的分布、入射离子的入射能量的分布以及入射离子的入射角度的分布作为输入参数的蒙特卡罗方法, 来计算所述入射离子的碰撞位置和所述入射离子的入射角度; 以及

缺陷分布计算步骤,

通过参考在所述参数计算步骤得到的信息以及由根据经典分子动力学或分子动力学的第一原理的计算所预先创建的数据库, 来执行针对数据进行检索的检索操作, 其中所述数据库用作: 用于存储对所述制造目标具有影响的晶体缺陷量的分布的数据库、用于存储离子反射概率的分布的数据库以及用于存储离子穿透深度的分布的数据库,

基于在所述检索操作中得到的所述数据、轰击所述制造目标的所述入射离子的入射能量以及所述入射离子的入射角度, 得到轰击所述制造目标的所述入射离子的穿透深度以及所述入射离子的穿透位置, 以及

根据轰击所述制造目标的所述入射离子的所述穿透深度以及所述入射离子的所述穿透位置, 计算所述制造目标中离子辐射所导致的缺陷的分布。

2. 如权利要求 1 所述的离子辐射损伤预测方法, 其中:

所述参数计算步骤包括:

第一步骤, 其确定如下输入参数: 入射离子所轰击的所述制造目标的薄膜类型、所述制造目标的结构、离子通量和离子辐射时间段,

第二步骤, 其基于所述输入参数并且根据所述蒙特卡罗方法, 确定表示在所述离子辐射时间段期间轰击所述制造目标的入射离子的数目的总入射离子计数 N ,

第三步骤, 其得到入射离子 J 的入射能量以及所述入射离子 J 的入射角度, 其中, 表示入射离子的参考标记 J 是整数, 其指示所述入射离子 J 是在所述离子辐射时间段期间轰击所述制造目标的所述入射离子的第 J 个入射离子, 以及

第四步骤, 其针对所述制造目标的形状, 通过考虑由轰击制造目标的所述入射离子 J 跟踪的、作为到所述制造目标的路径的传输路径, 并且通过采用所述蒙特卡罗方法, 计算所述入射离子 J 的碰撞位置以及所述入射离子 J 的入射角度; 而

所述缺陷分布计算步骤包括

第五步骤, 其将通过参考所述入射离子 J 的入射能量 E 以及所述入射离子 J 的入射角度 Φ 所得到的反射概率 P 与随机数 ξ 进行比较, 以便产生关于如下确定的结果: 所述入射离子 J 穿透所述制造目标, 还是所述入射离子 J 由所述制造目标的表面反射,

第六步骤, 如果在所述第五步骤产生的确定结果表明关系 $\xi > P$ 成立以指示所述入射离子 J 穿透所述制造目标, 则所述第六步骤通过参考基于离子入射角度、离子入射能量和制造目标的薄膜类型, 根据经典分子动力学或分子动力学的第一原理的计算所预先创建的、用作用于存储在所述制造目标中所述入射离子的分布的数据库的数据库, 来针对数据进行检索,

第七步骤, 其基于在第六步骤得到的所述数据、所述入射离子 J 的入射能量以及所述入射离子 J 的入射角度, 得到所述入射离子 J 的穿透深度以及所述入射离子 J 的穿透位置,

第八步骤, 其通过存储每个经处理的入射离子 J 的入射深度以及每个所述经处理的入

射离子 J 的穿透位置来累积所述经处理的入射离子 J 所导致的缺陷的数据,并且将所述经处理的入射离子 J 的数目与所述总入射离子计数 N 进行比较,以便产生关于所述经处理的入射离子 J 的数目是否已经达到所述总入射离子计数 N 的确定的结果,

第十一步骤,如果在所述第八步骤产生的所述确定结果指示所述经处理的入射离子 J 的数目尚未达到所述总入射离子计数 N,则所述第十一步骤根据表达式 $J = J+1$ 将所述整数 J 递增 1,并且返回到所述第三步骤继续执行所述离子辐射损伤预测方法,

第九步骤,如果在所述第八步骤产生的所述确定结果指示所述经处理的入射离子 J 的数目已经达到所述总入射离子计数 N,则所述第九步骤终止所述离子辐射损伤预测方法的执行,并且基于在所述第八步骤作为所述缺陷的数据所累积的数据来创建缺陷的分布,

第十步骤,如果在所述第五步骤产生的确定结果表明关系 $\xi \leq P$ 成立以指示所述入射离子 J 从所述制造目标的表面反射,则所述第十步骤确定所述入射离子 J 经历镜面反射处理,识别所述入射离子 J 的入射角度 ϕ ,并且返回到所述第四步骤继续执行所述离子辐射损伤预测方法,以及

对第一入射离子 J 到第 N 入射离子 J 中的每一个执行范围从所述第三步骤到所述第十一步骤的步骤的序列。

3. 如权利要求 2 所述的离子辐射损伤预测方法,其中,使用鞘层仿真器来得到如下处理的重复,所述处理为:通过利用所述离子与鞘层区域之间的电势差而以根据麦斯维尔分布的速率将注入到所述鞘层区域的离子进行加速;并且根据所述蒙特卡罗方法得到所述离子与存在于所述鞘层区域中的中性粒子的碰撞的重复。

4. 如权利要求 2 所述的离子辐射损伤预测方法,其中:

所述离子的辐射是等离子体刻蚀工艺;以及

通过将所述制造目标的电导率添加到根据经典分子动力学或分子动力学的第一原理的计算所创建的所述数据库,能够在用作所述等离子体刻蚀工艺的对象所述制造目标的侧壁以及所述制造目标的底部,计算电导率的 2 维或 3 维分布。

5. 如权利要求 2 所述的离子辐射损伤预测方法,其中,通过考虑入射离子对于所述制造目标的所述辐射所生成的电子的辐射而产生的电势影响,确定所述入射离子的传输轨迹。

6. 如权利要求 2 所述的离子辐射损伤预测方法,其中,通过利用气体仿真器以及鞘层仿真器,从制造工艺条件中得到如下输入参数:在所述制造目标正上方的入射离子的所述通量的分布、所述入射离子的所述入射能量的分布以及所述入射离子的所述入射角度的分布。

7. 如权利要求 2 所述的离子辐射损伤预测方法,其中,所述制造目标的形状固定,而不随着时间经过而变化。

8. 如权利要求 2 所述的离子辐射损伤预测方法,其中,所述制造目标的形状随着时间经过而变化。

9. 如权利要求 8 所述的离子辐射损伤预测方法,其中,所述制造目标的一部分的形状由于所述入射离子的辐射而变化,并且所述入射离子辐射到所述部分的坐标位置。

10. 一种离子辐射损伤仿真器,包含:

处理部分,其被配置为:执行计算以预测由于辐射到制造目标的入射离子而在所述制

造目标中生成的缺陷 ;以及

输出部分,其被配置为 :将所述处理部分所计算的、作为由于辐射到所述制造目标的入射离子而在所述制造目标中生成的所述缺陷的所述缺陷的分布进行输出,其中

所述处理部分通过进行以下步骤来执行所述计算,

参数计算步骤,其通过考虑由轰击制造目标的入射离子跟踪的、作为到所述制造目标的路径的传输路径,以及通过采用将入射离子的通量的分布、入射离子的入射能量的分布以及入射离子的入射角度的分布作为输入参数的蒙特卡罗方法,来计算所述入射离子的碰撞位置和所述入射离子的入射角度 ;以及

缺陷分布计算步骤,

通过参考在所述参数计算步骤得到的信息以及由根据经典分子动力学或分子动力学的第一原理的计算所预先创建的数据库,来执行针对数据进行检索的检索操作,其中所述数据库用作 :用于存储对所述制造目标具有影响的晶体缺陷量的分布的数据库、用于存储离子反射概率的分布的数据库以及用于存储离子穿透深度的分布的数据库,

基于在所述检索操作中得到的所述数据、轰击所述制造目标的所述入射离子的入射能量以及所述入射离子的入射角度,得到用于轰击所述制造目标的所述入射离子的穿透深度以及所述入射离子的穿透位置,以及

根据轰击所述制造目标的所述入射离子的所述穿透深度以及所述入射离子的所述穿透位置,计算所述制造目标中离子辐射所导致的缺陷的分布。

11. 一种离子辐射设备,包含 :

形状仿真器,其被配置为 :预测作为用作所述刻蚀工艺的对象制造目标的形状的变化、由刻蚀工艺所导致的变化 ;

离子辐射损伤仿真器,其被配置为 :通过参考作为所述制造目标的形状数据的、所述形状仿真器所预测的形状数据,预测由于辐射到所述制造目标的入射离子而由所述刻蚀工艺在所述制造目标中生成的离子辐射损伤 ;

控制部分,其被配置为 :基于所述离子辐射损伤仿真器所预测的仿真结果,执行控制以产生允许使所述离子辐射损伤的数目最小化的刻蚀条件 ;以及

刻蚀工艺部分,其被配置为 :根据从所述控制部分接收到的命令,对所述制造目标执行所述刻蚀工艺,其中

所述离子辐射损伤仿真器包括

处理部分,其被配置为 :执行计算以预测由于辐射到所述制造目标的入射离子而在所述制造目标中生成的缺陷,以及

输出部分,其被配置为 :将所述处理部分所计算的、作为由于辐射到所述制造目标的入射离子而在所述制造目标中生成的所述缺陷的所述缺陷的分布进行输出,

所述处理部分通过进行以下步骤来执行所述计算,

参数计算步骤,其通过考虑由轰击制造目标的入射离子跟踪的、作为到所述制造目标的路径的传输路径,以及通过采用将入射离子的通量的分布、入射离子的入射能量的分布以及入射离子的入射角度的分布作为输入参数的蒙特卡罗方法,来计算所述入射离子的碰撞位置和所述入射离子的入射角度 ;以及

缺陷分布计算步骤,

通过参考在所述参数计算步骤得到的信息以及由根据经典分子动力学或分子动力学的第一原理的计算所预先创建的数据库,来执行针对数据进行检索的检索操作,其中所述数据库用作:用于存储对所述制造目标具有影响的晶体缺陷量的分布的数据库、用于存储离子反射概率的分布的数据库以及用于存储离子穿透深度的分布的数据库,

基于在所述检索操作中得到的所述数据、轰击所述制造目标的所述入射离子的入射能量以及所述入射离子的入射角度,得到轰击所述制造目标的所述入射离子的穿透深度以及所述入射离子的穿透位置,以及

根据轰击所述制造目标的所述入射离子的所述穿透深度以及所述入射离子的所述穿透位置,计算所述制造目标中离子辐射所导致的缺陷的分布。

12. 一种离子辐射设备,包含:

离子辐射损伤仿真器,其被配置为:预测由于辐射到用作离子注入工艺的对象制造目标的入射离子而在所述制造目标中生成的离子辐射损伤;

控制部分,其被配置为:基于所述离子辐射损伤仿真器所预测的仿真结果,执行控制以产生包括在工艺条件范围中的、作为允许使所述离子辐射损伤的数目最小化的注入条件的离子注入条件;以及

离子注入工艺部分,其被配置为:根据从所述控制部分接收到的命令,对所述制造目标执行所述离子注入工艺,其中

所述离子辐射损伤仿真器包括

处理部分,其被配置为:执行计算以预测由于辐射到所述制造目标的入射离子而在所述制造目标中生成的缺陷的分布,以及

输出部分,其被配置为:将所述处理部分所计算的、作为由于辐射到所述制造目标的入射离子而在所述制造目标中生成的所述缺陷的所述缺陷的分布进行输出,

所述处理部分通过进行以下步骤来执行所述计算,

参数计算步骤,其通过考虑由轰击制造目标的入射离子跟踪的、作为到所述制造目标的路径的传输路径,以及通过采用将入射离子的通量的分布、入射离子的入射能量的分布以及入射离子的入射角度的分布作为输入参数的蒙特卡罗方法,来计算所述入射离子的碰撞位置和所述入射离子的入射角度;以及

缺陷分布计算步骤,

通过参考在所述参数计算步骤得到的信息以及由根据经典分子动力学或分子动力学的第一原理的计算所预先创建的数据库,来执行针对数据进行检索的检索操作,其中所述数据库用作:用于存储对所述制造目标具有影响的晶体缺陷量的分布的数据库、用于存储离子反射概率的分布的数据库以及用于存储离子穿透深度的分布的数据库,

基于在所述检索操作中得到的所述数据、轰击所述制造目标的所述入射离子的入射能量以及所述入射离子的入射角度,得到轰击所述制造目标的所述入射离子的穿透深度以及所述入射离子的穿透位置,以及

根据轰击所述制造目标的所述入射离子的所述穿透深度以及所述入射离子的所述穿透位置,计算所述制造目标中离子辐射所导致的缺陷的分布。

13. 一种离子辐射方法,包含以下处理:

执行形状仿真,以便预测作为用作所述刻蚀工艺的对象制造目标的形状的变化的、

刻蚀工艺所导致的变化；

执行离子辐射损伤仿真，以便通过参考由所述形状仿真的执行所预测的、作为所述制造目标的形状数据的形状数据，预测由于辐射到所述制造目标的入射离子而由所述刻蚀工艺在所述制造目标中生成的离子辐射损伤；

基于通过执行所述离子辐射损伤仿真所预测的仿真结果，进行控制以产生允许使所述离子辐射损伤的数目最小化的刻蚀条件；以及

根据所述刻蚀条件，对所述制造目标执行所述刻蚀工艺，其中

通过进行以下步骤来执行所述离子辐射损伤仿真：

参数计算步骤，其通过考虑由轰击制造目标的入射离子跟踪的、作为到所述制造目标的路径的传输路径，以及通过采用将入射离子的通量的分布、入射离子的入射能量的分布以及入射离子的入射角度的分布作为输入参数的蒙特卡罗方法，来计算所述入射离子的碰撞位置和所述入射离子的入射角度；以及

缺陷分布计算步骤，

通过参考在所述参数计算步骤得到的信息以及由根据经典分子动力学或分子动力学的第一原理的计算所预先创建的数据库，来执行针对数据进行检索的检索操作，其中所述数据库用作：用于存储对所述制造目标具有影响的晶体缺陷量的分布的数据库、用于存储离子反射概率的分布的数据库以及用于存储离子穿透深度的分布的数据库，

基于在所述检索操作中得到的所述数据、轰击所述制造目标的所述入射离子的入射能量以及所述入射离子的入射角度，得到轰击所述制造目标的所述入射离子的穿透深度以及所述入射离子的穿透位置，以及

根据轰击所述制造目标的所述入射离子的所述穿透深度以及所述入射离子的所述穿透位置，计算所述制造目标中离子辐射所导致的缺陷的分布。

14. 一种离子辐射方法，包含以下处理：

执行离子辐射损伤仿真，以便预测由于辐射到用作离子注入工艺的对象制造目标的入射离子而在所述制造目标中生成的离子辐射损伤；

基于通过执行所述离子辐射损伤仿真所预测的仿真结果，执行校正以产生包括在工艺条件范围中的、作为允许使所述离子辐射损伤的数目最小化的注入条件的校正离子注入条件；以及

根据所述校正离子注入条件，执行所述离子注入工艺以便将离子注入到所述制造目标中；其中

通过进行以下步骤来执行所述离子辐射损伤仿真：

参数计算步骤，其通过考虑由轰击制造目标的入射离子跟踪的、作为到所述制造目标的路径的传输路径，以及通过采用将入射离子的通量的分布、入射离子的入射能量的分布以及入射离子的入射角度的分布作为输入参数的蒙特卡罗方法，来计算所述入射离子的碰撞位置和所述入射离子的入射角度；以及

缺陷分布计算步骤，

通过参考在所述参数计算步骤得到的信息以及由根据经典分子动力学或分子动力学的第一原理的计算所预先创建的数据库，来执行针对数据进行检索的检索操作，其中所述数据库用作：用于存储对所述制造目标具有影响的晶体缺陷量的分布的数据库、用于存储

离子反射概率的分布的数据库以及用于存储离子穿透深度的分布的数据库，

基于在所述检索操作中得到的所述数据、轰击所述制造目标的所述入射离子的入射能量以及所述入射离子的入射角度，得到轰击所述制造目标的所述入射离子的穿透深度以及所述入射离子的穿透位置，以及

根据轰击所述制造目标的所述入射离子的所述穿透深度以及所述入射离子的所述穿透位置，计算所述制造目标中离子辐射所导致的缺陷的分布。

离子辐射损伤预测方法和仿真器以及离子辐射设备和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及离子辐射损伤预测方法、离子辐射损伤仿真器、离子辐射设备和离子辐射方法。

背景技术

[0002] 研究结果已经表明：在制造薄膜的处理（如刻蚀工艺、物理气相淀积（PVD）工艺或离子注入工艺）中生成的进入离子所导致的损伤很有可能对包含薄膜的器件的电特性具有很大影响。因此，这些损伤是需要尽快解决的问题。入射到用作生成离子的工艺的目标薄膜的经处理的薄膜的进入离子所导致的典型损伤是晶体（crystalline）缺陷。因此，包括图形的目标薄膜是指离子所轰击的薄膜。

[0003] 然而，仅通过利用当前的测量设备，难以对施加给真实图形（real pattern）（特别是图形的侧壁）的损伤进行直接分析。因此，为了研究所述损伤与包含薄膜的器件的电特性之间的关系细节以及需要针对改善该电特性所采取的措施的细节，通过仿真来预测对入射离子轰击的薄膜所施加的此损伤是重要的。

[0004] 例如，在现有离子注入工艺的仿真或离子在物质中的阻止本领和射程（SRIM）仿真中，可以预测入射离子穿透到被假定为具有无定形结构的目标薄膜中的深度。注意，对于与现有离子注入工艺的仿真有关的更多信息，建议读者参考文档，诸如日本专利特开 No. Hei 7-115071，而对于与 SRIM 仿真有关的更多信息，建议读者参考文档，诸如“The stopping and Range of Ions in Solids,” J. F. Ziegler, J. P. Biersack and U. Littmark, Pergamon Press, New York, 1985。

[0005] 然而，入射离子的穿透所导致的作为目标薄膜的缺陷的晶体缺陷不能通过考虑目标薄膜的晶体结构来定量地表示。晶体缺陷的典型示例是多晶硅和 / 或二氧化硅的晶格晶体的杂乱。

[0006] 另外，使用现有分子动力学仿真器的损伤仿真处理是通过考虑在穿透目标薄膜的入射离子与构成目标薄膜的原子之间的相互作用来执行的。结果，即使在入射离子的能量所导致的晶格晶体杂乱的情况下，也可以在原子级别或分子级别预测进入离子的入射角以及目标薄膜的类型。注意，对于与该仿真处理有关的更多信息，建议读者参考文档，诸如 H. Ohta and Hamaguchi, “Classical interatomic potentials for Si-O-F and Si-O-Cl systems,” Journal of Chemical Physics, Vol. 115, number 14, pp. 6679-6690, 2001。

[0007] 然而，在计算机（如，并入在普通制造设备中的计算机）可执行的计算的实际时间段内，可以仅在非常小的有限区域（其具有若干 nm × 若干 nm 的典型尺寸）中计算损伤的分布。计算机可执行的计算的实际时间段的典型示例是若干星期。然而，由于该非常小的有限区域所强加的限制，因此根据分子动力学所执行的实际计算至多可应用于忽略了已创建图形的假定平坦的目标薄膜这一情况的情况。另外，在每一个均具有小质量（例如，氢离子）的进入离子的情况下，目标薄膜内部的飞行距离增大。因此，执行计算所花费的时间变得甚至更长。

[0008] 因此,必定需要提供如下这样的新计算算法:其中,在短的实际时间段(如,若干小时或若干天)内,将用以发现在真实图形(具有100nm的规模)中以及在这种规模的实际工艺中离子辐射所导致的损伤分布而执行的计算结果反馈到器件工艺开发。例如,通过预测晶体缺陷的分布和/或验证缺陷生成机构来计算损伤的分布。

[0009] 另外,对于高性能图像传感器的开发,能够校正工艺条件以便通过采用上述新计算算法降低损伤数量的离子辐射设备成为必须。离子辐射设备的典型示例是干法刻蚀设备和离子注入设备。

发明内容

[0010] 本发明要解决的问题为如下这样的事实:即使可以在原子级别或分子级别预测进入离子所导致的晶体晶格杂乱、入射离子的入射角度以及目标薄膜的类型,如果必须在计算机(如,并入到普通制造设备中的计算机)可执行的计算的实际时间段内执行预测,那么也可以仅计算在非常小的有限矩形区域(其具有若干nm×若干nm的典型尺寸)中损伤的分布。

[0011] 本发明的发明者已经发明了一种新的技术,用于将用以发现在具有100nm规模的真实图形中以及在这种规模的实际工艺中离子辐射所导致的损伤的分布而执行的计算结果,在较短的实际时间段(如,若干小时或若干天)内反馈至器件工艺的开发。

[0012] 根据本发明一实施例的离子辐射损伤预测方法包括参数计算步骤,其通过考虑由轰击制造目标的入射离子跟踪的、作为到所述制造目标的路径的传输路径,以及通过采用将入射离子的通量的分布、入射离子的入射能量的分布以及入射离子的入射角度的分布作为输入参数的蒙特卡罗方法,来计算所述入射离子的碰撞位置和所述入射离子的入射角度;以及缺陷分布计算步骤,其用于:通过参考在所述参数计算步骤得到的信息以及由根据经典分子动力学或分子动力学的第一原理的计算所预先创建的数据库,来执行针对数据进行检索的检索操作,其中所述数据库用作:用于存储对所述制造目标具有影响的晶体缺陷量的分布的数据库、用于存储离子反射概率的分布的数据库以及用于存储离子穿透深度的分布的数据库。进而,所述缺陷分布计算步骤基于在所述检索操作中得到的所述数据、轰击所述制造目标的所述入射离子的入射能量以及所述入射离子的入射角度,得到轰击所述制造目标的所述入射离子的穿透深度以及所述入射离子的穿透位置。另外,所述缺陷分布计算步骤根据轰击所述制造目标的所述入射离子的所述穿透深度以及所述入射离子的所述穿透位置,计算所述制造目标中离子辐射所导致的缺陷的分布。

[0013] 根据本发明如上所述提供的离子辐射损伤预测方法,可以在实际计算时间段内定量地预测穿透到制造目标的侧壁和/或制造目标的底部的入射离子的分布以及入射离子所导致的物理损伤量(或晶体缺陷)的2维或3维分布。注意,仅通过进行实验,难以在实际测量时间段内测量所述分布。由于通过根据分子动力学的计算而已预先创建的数据库的使用,因此可以在实际计算时间段内定量地预测所述分布,由此需要更少的时间来用于计算离子穿透深度的分布以及晶体缺陷量的分布。

[0014] 根据本发明另一实施例的离子辐射损伤仿真器包括:处理部分,其被配置为执行计算以预测由于辐射到制造目标的入射离子而在所述制造目标中生成的缺陷;以及输出部分,其被配置为将所述处理部分所计算的、作为由于辐射到所述制造目标的入射离子而在

所述制造目标中生成的所述缺陷的所述缺陷的分布进行输出。所述处理部分通过进行参数计算步骤来执行所述计算,其中所述参数计算步骤通过考虑由轰击制造目标的入射离子跟踪的、作为到所述制造目标的路径的传输路径,以及通过采用将入射离子的通量的分布、入射离子的入射能量的分布以及入射离子的入射角度的分布作为输入参数的蒙特卡洛方法,来计算所述入射离子的碰撞位置和所述入射离子的入射角度。所述处理部分通过进一步进行缺陷分布计算步骤来执行所述计算,其中所述缺陷分布计算步骤包括如下步骤:通过参考在所述参数计算步骤得到的信息以及由根据经典分子动力学或分子动力学的第一原理的计算所预先创建的数据库,来执行针对数据进行检索的检索操作,其中所述数据库用作:用于存储对所述制造目标具有影响的晶体缺陷量的分布的数据库、用于存储离子反射概率的分布的数据库以及用于存储离子穿透深度的分布的数据库。所述缺陷分布计算步骤进一步包括如下步骤:基于在所述检索操作中得到的所述数据、轰击所述制造目标的所述入射离子的入射能量以及所述入射离子的入射角度,得到轰击所述制造目标的所述入射离子的穿透深度以及所述入射离子的穿透位置。所述缺陷分布计算步骤包括如下步骤:根据轰击所述制造目标的所述入射离子的所述穿透深度以及所述入射离子的所述穿透位置,计算所述制造目标中离子辐射所导致的缺陷的分布。

[0015] 通过利用本实施例如上所述提供的离子辐射损伤仿真器,可以在实际计算时间段内定量地预测穿透到制造目标的侧壁和 / 或制造目标的底部的入射离子的分布以及入射离子所导致的物理损伤量 (或晶体缺陷) 的 2 维或 3 维分布。注意,仅通过进行实验,难以在实际测量时间段内测量所述分布。由于通过根据分子动力学的计算而已预先创建的数据库的使用,因此可以在实际计算时间段内定量地预测所述分布,由此需要更少的时间来用于计算离子穿透深度的分布以及晶体缺陷量的分布。

[0016] 根据本发明进一实施例的离子辐射设备包括:形状仿真器,其被配置为:预测刻蚀工艺所导致的、作为用作所述刻蚀工艺的对象制造目标的形状的变化。所述离子辐射装置进一步包括离子辐射损伤仿真器,其被配置为:通过参考所述形状仿真器所预测的、作为所述制造目标的形状数据的形状数据,预测在所述制造目标中由刻蚀工艺生成的离子辐射损伤。所述离子辐射设备进一步包括控制部分,其被配置为:基于所述离子辐射损伤仿真器所预测的仿真结果,执行控制以产生允许使前述离子辐射损伤的数目最小化的刻蚀条件。所述离子辐射装置进一步包括刻蚀工艺部分,其被配置为:根据从所述控制部分接收到的命令,对所述制造目标执行所述刻蚀工艺。所述离子辐射损伤仿真器包括处理部分,其被配置为:执行计算以预测由于辐射到所述制造目标的入射离子而在所述制造目标中生成的缺陷;以及输出部分,其被配置为:将所述处理部分所计算的、作为由于辐射到所述制造目标的入射离子而在所述制造目标中生成的所述缺陷的所述缺陷的分布进行输出。所述处理部分通过进行参数计算步骤来执行所述计算,其中参数计算步骤通过考虑由轰击制造目标的入射离子跟踪的、作为到所述制造目标的路径的传输路径,以及通过采用将入射离子的通量的分布、入射离子的入射能量的分布以及入射离子的入射角度的分布作为输入参数的蒙特卡洛方法,来计算所述入射离子的碰撞位置和所述入射离子的入射角度。所述处理部分通过进一步进行缺陷分布计算步骤来执行所述计算,所述缺陷分布计算步骤包括如下步骤:通过参考在所述参数计算步骤得到的信息以及由根据经典分子动力学或分子动力学的第一原理的计算所预先创建的数据库,来执行针对数据进行检索的检索操作,其

中所述数据库用作：用于存储对所述制造目标具有影响的晶体缺陷量的分布的数据库、用于存储离子反射概率的分布的数据库以及用于存储离子穿透深度的分布的数据库。所述缺陷分布计算步骤进一步包括如下步骤：基于在所述检索操作中得到的所述数据、轰击所述制造目标的所述入射离子的入射能量以及所述入射离子的入射角度，得到轰击所述制造目标的所述入射离子的穿透深度以及所述入射离子的穿透位置。所述缺陷分布计算步骤进一步包括如下步骤：根据轰击所述制造目标的所述入射离子的所述穿透深度以及所述入射离子的所述穿透位置，计算所述制造目标中离子辐射所导致的缺陷的分布。

[0017] 通过利用本实施例如上所述提供的离子辐射设备，可以在实际计算时间段内定量地预测穿透到制造目标的侧壁和 / 或制造目标的底部的入射离子的分布以及入射离子所导致的物理损伤量（或晶体缺陷）的 2 维或 3 维分布。注意，仅通过进行实验，难以在实际测量时间段内测量所述分布。由于通过根据分子动力学的计算而已预先创建的数据库的使用，因此可以在实际计算时间段内定量地预测所述分布，由此需要更少的时间来用于计算离子穿透深度的分布以及晶体缺陷量的分布。

[0018] 根据本发明又一实施例的离子辐射设备包括离子辐射损伤仿真器，其被配置为：预测由于辐射到用作离子注入工艺的对象制造目标的入射离子而在所述制造目标中生成的损伤。所述离子辐射损伤仿真器进一步包括控制部分，其被配置为：基于所述离子辐射损伤仿真器所预测的仿真结果，执行控制以产生包括在工艺条件范围中的、作为允许使所述离子辐射损伤的数目最小化的注入条件的离子注入条件。所述离子辐射损伤仿真器进一步包括离子注入工艺部分，其被配置为：根据从所述控制部分接收到的命令，对所述制造目标执行所述离子注入工艺。所述离子辐射损伤仿真器包括处理部分，其被配置为：执行计算以预测由于辐射到所述制造目标的入射离子而在所述制造目标中生成的缺陷；以及输出部分，其被配置为：将所述处理部分所计算的、作为由于辐射到所述制造目标的入射离子而在所述制造目标中生成的所述缺陷的所述缺陷的分布进行输出。所述处理部分通过进行参数计算步骤来执行所述计算，其中参数计算步骤通过考虑由轰击制造目标的入射离子跟踪的、作为到所述制造目标的路径的传输路径，以及通过采用将入射离子的通量的分布、入射离子的入射能量的分布以及入射离子的入射角度的分布作为输入参数的蒙特卡洛方法，来计算所述入射离子的碰撞位置和所述入射离子的入射角度。所述处理部分通过进一步进行缺陷分布计算步骤来执行所述计算，所述缺陷分布计算步骤包括如下步骤：通过参考在所述参数计算步骤得到的信息以及由根据经典分子动力学或分子动力学的第一原理的计算所预先创建的数据库，来执行针对数据进行检索的检索操作，其中所述数据库用作：用于存储对所述制造目标具有影响的晶体缺陷量的分布的数据库、用于存储离子反射概率的分布的数据库以及用于存储离子穿透深度的分布的数据库。所述缺陷分布计算步骤进一步包括如下步骤：基于在所述检索操作中得到的所述数据、轰击所述制造目标的所述入射离子的入射能量以及所述入射离子的入射角度，得到轰击所述制造目标的所述入射离子的穿透深度以及所述入射离子的穿透位置。所述缺陷分布计算步骤进一步包括如下步骤：根据轰击所述制造目标的所述入射离子的所述穿透深度以及所述入射离子的所述穿透位置，计算所述制造目标中离子辐射所导致的缺陷的分布。

[0019] 通过利用本实施例如上所述提供的离子辐射装置，可以在实际计算时间段内定量地预测穿透到制造目标的侧壁和 / 或制造目标的底部的入射离子的分布以及入射离子所

导致的物理损伤量（或晶体缺陷）的 2 维或 3 维分布。注意，仅通过进行实验，难以在实际的测量时间段内测量所述分布。由于通过根据分子动力学的计算而已预先创建的数据库的使用，因此可以在实际的计算时间段内定量地预测所述分布，由此需要更少的时间来用于计算离子穿透深度的分布以及晶体缺陷量的分布。

[0020] 根据本发明又一实施例的离子辐射方法包括如下处理：执行形状仿真，以便预测刻蚀工艺所导致的、作为用作所述刻蚀工艺的对象制造目标的形状的变化。所述离子辐射方法进一步包括如下处理：执行离子辐射损伤仿真，以便通过参考由所述形状仿真的执行所预测的、作为所述制造目标的形状数据的形状数据，预测由所述刻蚀工艺在所述制造目标中生成的离子辐射损伤。所述离子辐射方法进一步包括如下处理：基于通过执行所述离子辐射损伤仿真所预测的仿真结果，进行控制以产生允许使所述离子辐射损伤的数目最小化的刻蚀条件。所述离子辐射方法进一步包括如下处理：根据所述刻蚀条件，对所述制造目标执行所述刻蚀工艺。通过进行参数计算步骤来执行所述离子辐射损伤仿真，其中参数计算步骤通过考虑由轰击制造目标的入射离子跟踪的、作为到所述制造目标的路径的传输路径，以及通过采用将入射离子的通量的分布、入射离子的入射能量的分布以及入射离子的入射角度的分布作为输入参数的蒙特卡洛方法，来计算所述入射离子的碰撞位置 and 所述入射离子的入射角度。通过进一步进行缺陷分布计算步骤来执行所述离子辐射损伤仿真，其中缺陷分布计算步骤包括如下步骤：通过参考在所述参数计算步骤得到的信息以及由根据经典分子动力学或分子动力学的第一原理的计算所预先创建的数据库，来执行针对数据进行检索的检索操作，其中所述数据库用作：用于存储对所述制造目标具有影响的晶体缺陷量的分布的数据库、用于存储离子反射概率的分布的数据库以及用于存储离子穿透深度的分布的数据库。缺陷分布计算步骤进一步包括如下步骤：基于在所述检索操作中得到的所述数据、轰击所述制造目标的所述入射离子的入射能量以及所述入射离子的入射角度，得到轰击所述制造目标的所述入射离子的穿透深度以及所述入射离子的穿透位置。缺陷分布计算步骤进一步包括如下步骤：根据轰击所述制造目标的所述入射离子的所述穿透深度以及所述入射离子的所述穿透位置，计算所述制造目标中离子辐射所导致的缺陷的分布。

[0021] 通过利用本实施例如上所述提供的离子辐射方法，可以在实际的计算时间段内定量地预测穿透到制造目标的侧壁和 / 或制造目标的底部的入射离子的分布以及入射离子所导致的物理损伤量（或晶体缺陷）的 2 维或 3 维分布。注意，仅通过进行实验，难以在实际的测量时间段内测量所述分布。由于通过根据分子动力学的计算而已预先创建的数据库的使用，因此可以在实际的计算时间段内定量地预测所述分布，由此需要更少的时间来用于计算离子穿透深度的分布以及晶体缺陷量的分布。

[0022] 根据本发明又一实施例的离子辐射方法包括如下处理：执行离子辐射损伤仿真，以便预测由于辐射到用作离子注入工艺的对象制造目标的入射离子而在所述制造目标中生成的离子辐射损伤。所述离子辐射方法进一步包括如下处理：基于通过执行所述离子辐射损伤仿真所预测的仿真结果，执行校正以产生包括在工艺条件范围中的、作为允许使所述离子辐射损伤的数目最小化的注入条件的校正离子注入条件。所述离子辐射方法进一步包括如下处理：根据所述校正离子注入条件，执行所述离子注入工艺以便将离子注入到所述制造目标中。通过进行参数计算步骤来执行所述离子辐射损伤仿真，其中参数计算步

骤通过考虑由轰击制造目标的入射离子跟踪的、作为到所述制造目标的路径的传输路径，以及通过采用将入射离子的通量的分布、入射离子的入射能量的分布以及入射离子的入射角度的分布作为输入参数的蒙特卡洛方法，来计算所述入射离子的碰撞位置和所述入射离子的入射角度。通过进一步进行缺陷分布计算步骤来执行所述离子辐射损伤仿真，其中缺陷分布计算步骤包括如下处理：通过参考在所述参数计算步骤得到的信息以及由根据经典分子动力学或分子动力学的第一原理的计算所预先创建的数据库，来执行针对数据进行检索的检索操作，其中所述数据库用作：用于存储对所述制造目标具有影响的晶体缺陷量的分布的数据库、用于存储离子反射概率的分布的数据库以及用于存储离子穿透深度的分布的数据库。缺陷分布计算步骤进一步包括如下处理：基于在所述检索操作中得到的所述数据、轰击所述制造目标的所述入射离子的入射能量以及所述入射离子的入射角度，得到轰击所述制造目标的所述入射离子的穿透深度以及所述入射离子的穿透位置。缺陷分布计算步骤进一步包括如下处理：根据轰击所述制造目标的所述入射离子的所述穿透深度以及所述入射离子的所述穿透位置，计算所述制造目标中离子辐射所导致的缺陷的分布。

[0023] 通过利用本实施例如上所述提供的离子辐射方法，可以在实际的计算时间段内定量地预测穿透到制造目标的侧壁和 / 或制造目标的底部的入射离子的分布以及入射离子所导致的物理损伤量（或晶体缺陷）的 2 维或 3 维分布。注意，仅通过进行实验，难以在切实可行的测量时间段内测量所述分布。由于通过根据分子动力学的计算而已预先创建的数据库的使用，因此可以在实际的计算时间段内定量地预测所述分布，由此需要更少的时间来用于计算离子穿透深度的分布以及晶体缺陷量的分布。

[0024] 由于本发明实施例提供的离子辐射损伤预测方法允许显著地缩短仿真时间，因此该离子辐射损伤预测方法提供了如下的优点：可以缩短互补金属氧化物半导体（CMOS）器件工艺和图像传感器工艺的开发的周转时间（TAT）以及这些工艺的评估，从而可以降低开发成本。

[0025] 由于本发明实施例提供的离子辐射损伤仿真器允许显著地缩短仿真时间，因此该离子辐射损伤仿真器提供了如下的优点：可以缩短 CMOS 器件工艺和图像传感器工艺的开发的 TAT 以及这些工艺的评估，从而可以降低开发成本。

[0026] 由于本发明实施例提供的离子辐射设备能够显著地缩短利用了离子辐射的刻蚀工艺和离子注入工艺的仿真时间，并且在实施所期望的处理尺寸的同时使离子辐射导致的损伤的数目最小化，因此该离子辐射装置提供了如下的优点：可以缩短 CMOS 器件的刻蚀工艺与图像传感器的开发的 TAT 以及对于这些工艺的评估，从而可以降低开发成本。

[0027] 由于本发明实施例提供的离子辐射方法能够显著地缩短离子注入工艺的仿真时间，因此该离子辐射方法提供了如下的优点：可以缩短 CMOS 器件的离子注入工艺与图像传感器的开发的 TAT 以及对于这些工艺的评估，从而可以降低开发成本。

附图说明

[0028] 图 1 示出表示根据本发明第一实施例的离子辐射损伤预测方法的第一典型示例的流程图；

[0029] 图 2 示出图示通过利用等离子体气体仿真器所执行的预测的典型结果的多个图；

[0030] 图 3 示出图示通过利用鞘层仿真器（sheath simulator）所执行的预测的典型结

果的多个图；

[0031] 图 4 示出图示数据库的概念的多个图；

[0032] 图 5 是示出根据分子动力学的计算的计算区域的图；

[0033] 图 6A 到图 6C 是在缺陷分布、基于缺陷分布的内插、通过内插计算损伤分布、生成加权随机数以及根据通过内插得到的损伤分布来确定基于随机数的深度的说明中所要参考的多个图；

[0034] 图 7 示出针对具有 200eV 的入射能量 E 及 40 度的入射角度 Φ 的入射离子的情况，在内插的说明中所要参考的多个说明图；

[0035] 图 8 示出表示根据本发明第一实施例的、鞘层仿真器所执行的、用以预测离子能量的分布和离子入射角度的分布的处理的流程图；

[0036] 图 9 示出表示本发明第一实施例所实施的、用作硅栅制造中所采用的方法的离子辐射损伤预测方法的第二典型示例的流程图；

[0037] 图 10 是示出实施本发明的模式所提供的算法的离子辐射损伤仿真器的大致外观的图；

[0038] 图 11 示出表示本发明第一实施例所实施的、用作硅栅制造中所采用的方法的离子辐射损伤预测方法的第三典型示例的流程图；

[0039] 图 12 示出表示气体仿真器的算法的流程图；

[0040] 图 13 是示出根据本发明第三实施例的离子辐射设备的第一典型示例的框图；

[0041] 图 14 是示出在根据第三实施例的离子辐射设备的第一典型示例中所使用的形状仿真器的大致外观的图；

[0042] 图 15 是示出在根据第三实施例的离子辐射设备的第一典型示例中所使用的形状仿真器采用的离子辐射方法的图；

[0043] 图 16 示出表示在图 15 所示流程图的步骤 S412 通过利用仿真器以便从数据库中获取校正值得执行的计算的细节的流程图；

[0044] 图 17 是示出根据本发明第三实施例的离子辐射设备的第二典型示例的框图；以及

[0045] 图 18 示出表示根据第三实施例的离子辐射设备的第二典型示例所采用的离子辐射方法的流程图。

具体实施方式

[0046] 下文将描述表示本发明的实施方案的每一优选实施例。

[0047] <1. 第一实施例>

[0048] [离子辐射损伤预测方法的第一典型示例]

[0049] 参考图 1 所示的流程图，说明根据本发明第一实施例的离子辐射损伤预测方法的第一典型示例。

[0050] 如图 1 的流程图所示，首先执行参数计算步骤。在参数计算步骤，通过考虑由入射离子跟踪的、作为到制造目标的路径的传输路径并且通过采用蒙特卡罗方法（其将入射离子的通量的分布、入射离子的入射能量的分布、入射离子的入射角度的分布作为输入参数）来计算进入到制造目标的入射离子的碰撞位置以及入射离子的入射角度。

[0051] 更具体而言,按照如下执行参数计算步骤。在第一步骤 S1,确定输入参数。也就是说,执行第一步骤 S1 以便确定输入参数(如,入射离子轰击的制造目标的薄膜类型、制造目标的结构、入射离子的通量以及离子辐射时间的长度)。制造目标的结构包含制造目标的大小和制造目标的形状。

[0052] 然后,在第二步骤 S2,确定总入射离子计数 N。总入射离子计数 N 是在离子辐射时间段内入射至制造目标的进入离子的总数。根据蒙特卡罗方法,基于输入参数来执行第二步骤 S2。

[0053] 然后,在第三步骤 S3,得到入射离子的入射能量 E 以及离子的入射角度 ϕ 。更具体地,为了得到轰击制造目标的第 J 个入射离子 J 的入射能量 E 以及离子 J 的入射角度 ϕ (其中,作为词语‘离子’的后缀所附的参考符号 J 表示该离子是第 J 个入射离子)而执行第三步骤 S3。

[0054] 在已经完成了上述参数计算步骤之后,执行缺陷分布计算步骤。在缺陷分布计算步骤,首先,通过参考在参数计算步骤得到的信息以及通过根据经典分子动力学或分子动力学的第一原理的计算而预先创建的数据库而在检索操作中检索数据。该数据库包括:用于存储对制造目标具有影响的晶体缺陷的量的分布的数据库、用于存储离子反射概率的分布的数据库以及用于存储离子穿透深度的分布的数据库。然后,基于在检索操作中得到的数据,得到轰击制造目标的第 J 个入射离子 J 的入射能量 E 和离子 J 的入射角度 ϕ 、轰击制造目标的第 J 个入射离子 J 的穿透深度以及离子的穿透位置。最后,计算在制造目标中由离子辐射导致的缺陷的分布。

[0055] 作为入射能量 E 的分布和入射角度 ϕ 的分布,可以利用通过等离子体气体仿真器和鞘层仿真器(其在附图中未示出)所产生的典型预测结果。如上所述,在检索数据库的操作中以及同样在基于内插的计算中,将入射能量 E 和入射角度 ϕ 用作输入参数。图 2 是示出通过利用等离子体气体仿真器所执行的预测的典型结果的多个图。另一方面,图 3 图示用于示出通过利用鞘层仿真器所执行的预测的典型结果的多个图。代替利用通过等离子体气体仿真器和鞘层仿真器所产生的预测结果,可以利用作为等离子体发射光的实际测量或者能谱的实际测量的结果所获得的值。

[0056] 稍后将描述上面提到的前述等离子体气体仿真器和鞘层仿真器。

[0057] 更具体而言,按照如下执行上述缺陷分布计算步骤。

[0058] 首先,在第四步骤 S4,在根据蒙特卡罗方法计算入射离子 J 的碰撞位置以及离子 J 的入射角度 ϕ 时,考虑进入制造目标的入射离子 J 的传输轨迹。更具体地,在该第四步骤 S4,通过采用蒙特卡罗方法,针对制造目标的形状而得到由入射离子 J 跟踪的、作为到制造目标的轨迹的传输轨迹。例如,执行第四步骤 S4,以便计算入射离子 J 和制造目标的表面之间的碰撞位置以及入射离子 J 的传输路径结合制造目标的表面所形成的入射角度 ϕ 。

[0059] 另外,针对具有入射能量 E 和入射角度 ϕ 的每个离子在制造目标表面的入射,预先计算诸如晶体缺陷 D、离子反射概率 P 和加权值 F 之类的数据。注意,晶体缺陷 D 和加权值 F 均是 z 的函数,其中,参考符号 z 表示离子穿透的深度。针对具有平面形状的制造目标,通常利用根据经典分子动力学或分子动力学的第一原理的仿真器已经计算出了诸如晶体缺陷 D、离子反射概率 P 和加权值 F 之类的数据。然后,预先将计算结果存储为数据库。也就是说,计算结果通常用于创建如图 4 的概念图中所示的数据库。

[0060] 在如下给出的定义 (1) 或 (2) 中, 定义了通过利用分子动力学的仿真器计算的、作为一个入射离子所导致的缺陷的晶体缺陷 $D(z)$ 。

[0061] (1) 根据经典分子动力学所计算出的晶体缺陷 D 的定义

[0062] 利用根据经典分子动力学的仿真器的计算的区域被分为如图 5 的示意图中所示的单元。更确切地, 通常将计算区域分为均具有大小 $2\text{nm} \times 2\text{nm} \times 2\text{nm}$ 的单元 1、单元 2 和单元 3。如从下面给出的等式 (1) 中显而易见的那样, 将单元中的晶体缺陷 $D(z)$ 定义为存在于深度 z 的原子 A 的位置 (X_A 、 Y_A 、 Z_A) 距离原始晶体结构位置 (X_{AO} 、 Y_{AO} 、 Z_{AO}) 的每一平移之和。等式中使用的参考符号 N_A 表示存在于一个单元中的晶体原子的数目。

$$[0063] \quad D(z) = \sum_A^{N_A} \sqrt{(X_A - X_{AO})^2 + (Y_A - Y_{AO})^2 + (Z_A - Z_{AO})^2}$$

[0064] (2) 根据第一原理分子动力学计算出的晶体缺陷 D 的定义

[0065] 根据第一原理分子动力学, 可以计算分子或原子的状态作为波形的函数。将缺陷 $D(z_i)$ 定义为单元中结合能 (binding energy) 变化 ΔU 之和。结合能变化 ΔU 均由等式 $\Delta U = U/U_0$ 来表示, 并被相加来定义缺陷 $D(z_i)$ 。参考符号 U 表示由下列等式所表示的共价结合能:

$$[0066] \quad U = \int E \times n(E) dE$$

[0067] 如从上面等式中显而易见的那样, 根据原子状态 $n(E)$ 估算共价结合能 U 。上述等式中使用的参考符号 E 表示哈密尔敦对角化分量。另一方面, 等式 $\Delta U = U/U_0$ 中使用的参考符号 U_0 表示针对没有离子注入情况下的共价结合能。

[0068] 利用根据上述定义所定义的晶体缺陷 D , 通过如下的等式 (2) 定义最终累积在单元 i 中的总损伤 $D_T(z_i)$:

$$[0069] \quad D_T(z_i) = \sum^{N_i} D(z) \quad \dots (2)$$

[0070] 上面给出的等式 (2) 中所使用的参考标记 N_i 表示注入到单元 i 的入射离子的数目。

[0071] 另外, 存在计算方法 A 和 B 来用于在第四步骤确定入射离子的传输轨迹。下面说明计算方法 A 和 B 如下。

[0072] 计算方法 A 是如下这样的方法: 其通过假定离子通过在制造目标 (如, 图形) 中重复直接前进和镜面反射 (或穿透到薄膜) 而传播, 来计算入射离子的传输轨迹。

[0073] 计算方法 B 是如下这样的方法: 其通过还考虑由于刻蚀制造工艺所导致的作为图形表面的电荷分布的电荷分布所引起的电势效应 (也称作充电效应), 来计算入射离子的传输轨迹。

[0074] 根据计算方法 (A), 以根据离子速度分量 (V_x , V_y) 的分布所获得的梯度 V_y/V_x 以及根据辐射位置 (或相对位置) 所获得的直线来表示传输轨迹。

[0075] 另一方面, 根据计算方法 (B), 需要考虑除了离子之外的电子的存在, 计算由图形中的电子和离子所创建的电势分布和电场分布, 并且求解通过此电势分布和此电场分布传播的离子和电子的运动等式。通常, 通过采用逐次法 (如, 逐次超松弛 (SOR) 法), 以与求解泊松等式的处理相同的方式来求解该运动等式。对于细节, 建议读者参考文档, 如 Taku Shimada 于 2006 年提交于 Keio 大学的博士论文, 题目为 “Development Modeling of a Trench Shape of SiO₂ and an Organic Low-Permittivity Material in

a SurfaceCharging/Etching/Deposition Competition Process”。

[0076] 然后,执行第五步骤 S5,以便根据将反射概率 P 与随机数 ξ 进行比较的结果来确定入射离子 J 经历了穿透还是反射。也就是说,在第五步骤 S5,将通过参考入射离子 J 的入射能量 E 以及入射离子 J 的入射角度 φ 所得到的反射概率 P 与随机数 ξ 进行比较,以便确定入射离子 J 穿透了制造目标还是入射离子 J 由制造目标的表面反射。

[0077] 例如,当入射离子 J 与用作制造目标的图形的侧壁或者图形的底部碰撞时,在该点生成具有处于范围 $0 < \xi < 1$ 中的值的随机数 ξ 。另外,从数据库中检索入射离子 J 的入射能量 E 和入射角度 φ ,然后将其用于样条内插处理以得到反射概率 P 。随后,将随机数 ξ 与反射概率 P 进行比较,以便产生关于如下这样的确定的结果:入射离子 J 穿透了用作制造目标的图形的部分到达深度 z 并导致晶体缺陷,还是入射离子 J 以镜面反射现象受到图形表面的反射并且保持入射离子 J 的能量。

[0078] 如果在第五步骤 S5 产生的确定结果表明反射概率 P 比随机数 ξ 更小,即,关系 $\xi > P$ 成立以指示入射离子 J 已穿透制造目标,那么执行下列的步骤。在第六步骤 S6,针对诸如制造目标的薄膜类型以及入射离子 J 的类型之类的数据检索数据库。数据库用于存储在制造目标中入射离子的分布。基于入射离子 J 的入射能量 E 、该离子的入射角度 φ 以及制造目标的薄膜类型,通过根据经典分子动力学的计算和根据分子动力学的第一原理的计算,已经预先创建了入射离子的分布。

[0079] 然后,在第七步骤 S7,得到入射离子 J 的穿透深度以及入射离子 J 的穿透位置。更具体而言,在第七步骤 S7,基于在第六步骤 S6 执行的检索操作中所得到的数据,得到入射离子 J 的入射能量 E 和入射角度 φ 、入射离子 J 的穿透深度以及该离子 J 的穿透位置。

[0080] 因此,可以得到单元中具有入射能量 E 和入射角度 φ 的入射离子 J 所导致的晶体缺陷的分布。注意,晶体缺陷的分布是关于穿透深度 z 的分布。另外,生成加权随机数并用于确定穿透深度 z 。注意,加权随机数是随机数与权重 $F(z)$ 的乘积,所述权重 $F(z)$ 表示穿透深度 z 处的离子计数分布率,其中,离子计数分布率是入射离子计数与根据分子动力学的计算中所使用的总入射离子计数的比率。

[0081] 例如,对于 $\xi > P$ (其表示生成了晶体缺陷的情况),针对制造目标的薄膜类型以及入射离子 J 的类型来检索数据库。在样条内插处理中使用图 6A 所示的晶体缺陷分布曲线,以便针对如图 6B 的示意图所示的入射能量 E 和入射角度 φ 得到晶体缺陷分布曲线。然后,生成加权随机数,并且将其用于基于如图 6C 的示意图中所示样条内插处理所得到的晶体缺陷分布曲线来确定穿透深度 z 。作为示例,图 7 是针对具有 200eV 的入射能量 E 及 40 度的入射角度 φ 的入射离子 J 的情况而示出样条内插处理的多个说明图。

[0082] 然后,在第八步骤 S8,将缺陷数据进行累积,并且将所累积的缺陷数据的离子计数 ΣJ 与总入射离子计数 N 进行比较,以便确定关系 $\Sigma J > N$ 是否成立。更具体而言,通过存储入射离子 J 的穿透深度 z 以及离子 J 的穿透位置来累积缺陷数据。另外,将表示经处理的入射离子 J 的数目的离子计数 ΣJ 与总入射离子计数 N 进行比较,以便确定入射离子 J 的数目是否已经达到了总入射离子计数 N 。

[0083] 如果在第八步骤 S8 产生的确定结果表明经处理的入射离子 J 的数目尚未达到总入射离子计数 N ,则流程前进到第十一步骤 S11,在该第十一步骤 S11,如图 1 所示的流程图中的等式 $J = J+1$ 所表示的那样,通过把索引 J 递增 1 而更新索引 J 。然后,流程返回到第

三步骤 S3,以便针对更新后的索引 $J(=J+1)$ 所指示的入射离子来重复处理。

[0084] 事实上,重复执行范围从第三步骤 S3 至第八步骤 S8 的步骤的序列,直到经处理的入射离子 J 的数目达到总入射离子计数 N 为止。

[0085] 另一方面,如果在第八步骤 S8 产生的确定结果表明经处理的入射离子 J 的数目已达到总入射离子计数 N ,则流程前进到第九步骤 S9,在该第九步骤 S9,离子辐射损伤预测方法终止并且基于晶体缺陷的累积数据来创建晶体缺陷分布。

[0086] 另外,另一方面,如果在第五步骤 S5 产生的确定结果示出反射概率 P 等于或大于随机数 ξ ,即,关系 $\xi \leq P$ 成立以指示入射离子 J 由制造目标的表面反射,则流程前进到第十步骤 S10,在该第十步骤 S10,将入射离子确定为已经历了镜面反射并且得到该离子的入射角度 ϕ 。也就是说,在第十步骤 S10,将入射离子确定为已经历了关于从制造目标表面反射离子的镜面反射处理,并且确定该离子的入射角度 ϕ 。然后,流程返回到第四步骤 S4。

[0087] 如上所述,根据该算法,针对由具有满足关系 $1 \leq J \leq N$ 的值的索引 J 所标识的每一第 J 个入射离子重复地执行从第三步骤 S3 至第十一步骤 S11 的处理。

[0088] 上述离子辐射损伤预测方法特征在于:考虑了根据蒙特卡罗方法所识别出的、作为制造目标(或图形)中由入射离子(或入射粒子)跟踪的路径的传输路径,同时使用通过根据分子动力学的计算所预先创建的数据库。因此,可以显著地减少向根据分子动力学的计算所分配的那部分时间的长度。另外,还可以在短时间段内计算在以 100nm 工艺创建的制造目标(或图形)的侧壁和/或底部中入射离子所导致的缺陷的 2 维或 3 维分布。注意,目前为止难以在短时间段内计算 2 维或 3 维分布。

[0089] 对于入射离子的每一类型、入射离子的每一能量、入射离子的每一入射角度和入射离子所轰击的薄膜的每一类型所提供的、用作检索操作的对象的数据数据库通常包含:用于存储在用作离子辐射的对象薄膜上生成的晶体缺陷的量的分布的数据库、用于存储离子辐射概率的分布的数据库、离子穿透深度的分布的数据库以及权重值的数据库。

[0090] 根据上述离子辐射损伤预测方法,可以在计算时间的实际时段内定量地预测穿透到制造目标的侧壁和/或底部的入射离子的分布以及入射离子所导致的物理损伤量(或晶体缺陷)的 2 维或 3 维分布。注意,仅通过进行实验,难以在测量时间的实际时段内测量所述分布。由于使用通过根据分子动力学的计算而预先创建的数据库,因此上述预测是可能的,由此需要更少的时间来用于计算离子穿透深度的分布以及晶体缺陷量的分布。

[0091] 例如,离子辐射损伤预测方法所采用的算法使得可以针对具有 100nm 这一规模的实际图形来执行计算。注意,作为根据分子动力学的计算,难以执行针对具有 100nm 这一规模的真实图形的计算。因此,可以以比根据分子动力学的现有计算的速度更高的速度来得到晶体缺陷 D 的分布。值得注意的是,晶体缺陷 D 的分布是指示在真实的图形中生成了什么程度的晶体缺陷 D 的信息。

[0092] 另外,在用作刻蚀制造工艺的对象薄膜中,不仅可以将离子辐射损伤预测方法应用于入射离子所导致的晶体缺陷,而且例如可以将其应用于光子(如 UV(紫外)光)所生成的晶体缺陷。

[0093] 除此之外,通过利用形状仿真器以预测由于诸如刻蚀制造工艺之类的处理而改变了制造目标(图形)的形状的这一状态,可以针对改变其形状的制造目标(图形)而以真实方式预测离子损伤的分布。因此,可以提供采用了形状规范与离子损伤所导致的缺陷这

两者的最优工艺条件。注意,离子损伤所导致的缺陷被认为是与制造的器件的电特性有关的缺陷。

[0094] 稍后将描述形状仿真器。

[0095] [典型的鞘层仿真器]

[0096] 根据蒙特卡罗方法,将鞘层仿真器用于预测处理。在鞘层仿真器所执行的预测处理中,将具有基于麦克斯韦分布的速率的离子辐射到鞘层区域,在该鞘层区域中,每个离子由于离子和鞘层区域之间的电势差而加速,并且与鞘层区域中存在的中性粒子碰撞。每一离子重复所述加速和碰撞。

[0097] 图 8 示出表示鞘层仿真器所执行的处理的流程图。

[0098] 如图 8 所示,该流程图以作为设置输入参数的输入参数设置处理的步骤 S20 开始。输入参数包括电子密度或等离子体密度、电子温度、离子温度、离子质量、中性粒子温度、中性粒子质量、气压、下偏置频率、自感偏置 V_{dc} 、下外加偏置 V_{rf} 和入射离子的数目。

[0099] 在输入参数设置步骤之后,通过执行:设置初始速率的步骤 S21、设置偏置的初始相位部分的步骤 S22 以及设置距碰撞的距离的步骤 S23,来进行粒子注入工艺。

[0100] 更具体而言,首先,在步骤 S21,基于所生成的随机数来设置离子的初始速率。例如,根据麦克斯韦分布给出离子的初始速率。

[0101] 然后,在步骤 S22,基于所生成的随机数来设置偏置的初始相位部分。随后,在步骤 S23,基于所生成的随机数来设置距关于制造目标的碰撞的距离。

[0102] 然后,执行作为偏置加速步骤的步骤 S24。也就是说,在偏置加速步骤,通过将偏置应用于离子而使离子加速。

[0103] 随后,执行作为飞行距离和碰撞距离比较步骤的步骤 S25。在步骤 S25,如果‘飞行距离 < 碰撞距离’成立以指示飞行距离比距关于制造目标的碰撞的距离更短,则流程返回到步骤 S24,在该步骤 24,通过将偏置应用于离子而使离子加速。

[0104] 另一方面,如果关系‘飞行距离 $\geq$ 碰撞距离’成立以指示飞行距离等于或长于距关于制造目标的碰撞的距离,则流程前进到步骤 S26,在该步骤 S26,基于所生成的随机数来计算离子的碰撞后方向以及离子的碰撞后能量。例如,执行步骤 S26 以便基于所生成的随机数来计算:入射离子所取得的作为离子和制造目标之间碰撞后的穿透方向的碰撞后穿透方向、或者入射离子所取得的作为跟随离子和制造目标之间的碰撞的反射方向的碰撞后反射方向。另外,还基于生成的随机数来计算离子的碰撞后能量。

[0105] 然后,执行步骤 S27,以便通过将偏置应用于离子而使离子加速并且基于生成的随机数而得到距碰撞的距离。也就是说,通过应用于离子的偏置而使入射离子加速,并且基于生成的随机数来计算距离子和制造目标表面之间的碰撞的距离。

[0106] 随后,执行作为飞行距离和鞘层区域厚度比较步骤的步骤 S28。在步骤 S28,如果‘飞行距离 < 鞘层区域的厚度’成立以指示飞行距离比鞘层区域的厚度更短,则流程返回到步骤 S24,在该步骤 S24,通过将偏置应用于离子而使离子加速。

[0107] 另一方面,如果关系‘飞行距离 $\geq$ 鞘层区域的厚度’成立以指示飞行距离等于或长于鞘层区域的厚度,则流程前进到步骤 S29,在该步骤 S29,计算基础(basic)入射时间的入射角以及基础入射时间的入射能量。例如,在进入鞘层区域之前,离子具有根据如上所述的麦斯维尔分布的速率。然后,具有根据麦斯维尔分布的速率的离子进入鞘层区域。当离子

进入鞘层区域时,由于离子和鞘层区域之间的电势差,鞘层区域使离子加速。在离子正加速的同时,离子还与中性粒子碰撞。通常通过采用蒙特卡罗方法来计算加速的重复和碰撞的重复。

[0108] 接着,执行作为产生关于如下确定的结果的步骤的步骤 S30,所述确定为:经处理的粒子的数目是否小于表示粒子数目的设置粒子计数。如果在步骤 S30 产生的确定结果指示关系‘经处理的粒子的数目<设置粒子计数’(其意味着经处理的粒子的数目小于设置粒子计数)成立,则流程返回到以步骤 S21 开始的粒子注入工艺。

[0109] 另一方面,如果确定结果指示关系‘经处理的粒子的数目 $\geq$ 设置粒子计数’成立,则预测处理的流程前进到终止计算/预测处理的步骤 S31。

[0110] 鞘层仿真器执行基于上述算法的计算,以便预测鞘层区域中入射离子的行为。

[0111] [离子辐射损伤预测方法的第二典型示例]

[0112] 下列描述说明了根据基于本发明第一实施例的离子辐射损伤预测方法的第一典型示例,用于在硅栅的刻蚀制造工艺中预测损伤分布所执行的处理。该预测处理中所采用的技术称为根据本发明第一实施例的离子辐射损伤预测方法的第二典型示例。图 9 示出了根据离子辐射损伤预测方法的第二典型示例,表示用于在硅栅的刻蚀制造工艺中预测损伤分布的典型计算算法的流程图。

[0113] 图 9 所示的流程图以确定输入参数的第一步骤 S101 开始。更确切地,执行该第一步骤 S101 来确定输入参数,如,用作通过将离子辐射到薄膜所执行的刻蚀制造工艺的对象的薄膜的类型、薄膜的图形结构、离子通量和刻蚀时间的长度。用作刻蚀制造工艺的对象的薄膜的图形结构包括薄膜的图形大小和薄膜的图形形状。

[0114] 然后,在第二步骤 S102,确定总入射离子计数 N。更具体而言,总入射离子计数 N 是在离子辐射时间段内轰击用作刻蚀制造工艺的对象的薄膜的入射离子的总数,并且在第二步骤 S102,根据蒙特卡罗方法,基于输入参数来确定总入射离子计数 N。

[0115] 然后,在第三步骤 S3,确定鞘层仿真器的输入参数。鞘层仿真器的输入参数是在图 8 所示流程图的步骤 S20 所设置的输入参数。如先前所述,在图 8 所示流程图的步骤 S20 设置的输入参数包括电子密度或等离子体密度、电子温度、离子温度、离子质量、中性粒子温度、中性粒子质量、气压、下偏置频率、自感偏置 V_{dc}、下外加偏置 V_{rf} 和总入射离子计数。

[0116] 然后,在第四步骤 S104,通过利用鞘层仿真器来执行计算。在使用鞘层仿真器所执行的计算中,仿真器对具有初始能量和入射角度的入射离子 J 的入射进行仿真。也就是说,仿真器对鞘层区域中入射离子 J 的行为进行仿真。例如,得到进入至用作刻蚀制造工艺的对象的薄膜的入射离子 J 的入射能量和入射角度,其中,参考符号 J 指示该离子是第 J 个入射离子。

[0117] 然后,执行第五步骤 S105 作为通过考虑由入射离子 J 跟踪的传输路径并且通过采用蒙特卡罗方法,计算用以轰击制造目标的入射离子 J 的碰撞位置以及入射离子 J 的入射角度的步骤。在该第五步骤 S105,通过采用蒙特卡罗方法,针对制造目标的形状而得到由入射离子 J 跟踪的、作为到制造目标的轨迹的传输轨迹。例如,执行第五步骤 S105,以便计算入射离子 J 与制造目标的表面之间的碰撞的位置,以及入射离子 J 的传输路径结合制造目标的表面所形成的入射角度。

[0118] 另外,针对在制造目标表面具有入射能量 E 和入射角度 ϕ 的每个离子的入射,预先

计算诸如晶体缺陷 D、离子反射概率 P 和加权值 F 之类的数据。注意,晶体缺陷 D 和加权值 F 均为 z 的函数,其中,参考符号 z 表示离子穿透的深度。通常针对具有平面形状的制造目标,利用根据经典分子动力学或分子动力学的第一原理的仿真器已经计算出了上述数据。然后,预先将计算结果存储为数据库。也就是说,计算结果通常用于创建如图 4 的概念图中所示的数据库。

[0119] 接着,执行第六步骤 S106,以根据将反射概率 P 与随机数 ξ 进行比较的结果来确定入射离子 J 经历了穿透还是反射。也就是说,在第六步骤 S106,将通过参考入射离子 J 的入射能量 E 和入射角度 φ 所得到的反射概率 P 与随机数 ξ 进行比较,以便基于比较结果来确定入射离子 J 是穿透了制造目标,还是入射离子 J 由制造目标的表面反射。

[0120] 例如,当入射离子 J 与用作制造目标的图形的侧壁或图形的底部碰撞时,在该点生成具有处于范围 $0 < \xi < 1$ 中的值的随机数 ξ 。另外,从数据库中检索入射离子 J 的入射能量 E 和入射角度 φ ,并且将其用于样条内插处理以得到反射概率 P。随后,将随机数 ξ 与反射概率 P 进行比较,以便产生关于如下确定的结果:入射离子 J 穿透用作制造目标的部分图形到达深度 z 并导致晶体缺陷,还是入射离子 J 以镜面反射现象被图形的表面反射并且保持入射离子 J 的能量。

[0121] 如果在第六步骤 S106 产生的确定结果表明反射概率 P 比随机数 ξ 更小,即,关系 $\xi > P$ 成立而指示入射离子 J 穿透了制造目标,那么执行下列的步骤。在第七步骤 S107,针对诸如制造目标的薄膜类型以及入射离子 J 的类型之类的数据而检索数据库。数据库用于存储在制造目标中入射离子的分布。基于入射离子 J 的入射能量 E、该离子的入射角度 φ 以及制造目标的薄膜类型,通过根据经典分子动力学的计算以及根据分子动力学的第一原理的计算而已经预先创建了入射离子的分布。

[0122] 例如,对于 $\xi > P$ (其表示生成了晶体缺陷的情况),针对制造目标的薄膜类型以及入射离子 J 的类型来检索数据库。在样条内插处理中使用图 6A 所示的晶体缺陷分布曲线,以便针对如图 6B 的示意图所示的入射能量 E 和入射角度 φ 得到晶体缺陷分布曲线。作为示例,图 7 是针对具有 200eV 的入射能量 E 及 40 度的入射角度 φ 的入射离子 J 的情况而示出样条内插处理的多个说明图。

[0123] 然后,在第八步骤 S108,得到入射离子 J 的穿透深度以及离子 J 的穿透位置。更具体而言,在第八步骤 S108,基于在第七步骤 S107 执行的检索操作中得到的数据,得到入射离子 J 的入射能量 E 和入射角度 φ 、入射离子 J 的穿透深度以及离子 J 的穿透位置。

[0124] 因此,可以得到单元中具有入射能量 E 和入射角度 φ 的入射离子 J 所导致的晶体缺陷的分布。注意,晶体缺陷的分布是关于穿透深度 z 的分布。另外,生成加权随机数并且将其用于确定穿透深度 z 。注意,加权随机数是随机数与权重 $F(z)$ 的乘积,所述权重 $F(z)$ 表示穿透深度 z 处的离子计数分布率,其中,离子计数分布率是入射离子计数与根据分子动力学的计算中所使用的总入射离子计数的比率。

[0125] 然后,在第九步骤 S109,将缺陷数据进行累积,并且将所累积的缺陷数据的离子计数 ΣJ 与总入射离子计数 N 进行比较,以便确定关系 $\Sigma J > N$ 是否成立。更具体而言,通过存储入射离子 J 的穿透深度 z 以及离子 J 的穿透位置来累积缺陷数据。另外,将表示经处理的入射离子 J 的数目的离子计数 ΣJ 与总入射离子计数 N 进行比较,以便确定经处理的入射离子 J 的数目是否已经达到了总入射离子计数 N。

[0126] 如果在第九步骤 S109 产生的确定结果表明经处理的入射离子 J 的数目尚未达到总入射离子计数 N, 则流程前进到第十二步骤 S112, 在该第十二步骤 S112, 如图 9 所示流程图中的等式 $J = J+1$ 所表示的那样, 通过把入射离子的索引 J 递增 1 而更新索引 J。然后, 流程返回到第四步骤 S104, 以便针对更新后的索引 J ($= J+1$) 所指示的入射离子来重复处理。

[0127] 事实上, 重复执行范围从第四步骤 S104 至第九步骤 S109 的步骤的序列, 直到经处理的入射离子 J 的数目达到总入射离子计数 N 为止。

[0128] 另一方面, 如果在第九步骤 S109 产生的确定结果表明经处理的入射离子 J 的数目已达到总入射离子计数 N, 则流程前进到第十步骤 S110, 在该第十步骤 S110, 离子辐射损伤预测方法终止并且基于所累积的晶体缺陷数据来创建晶体缺陷分布。

[0129] 另外, 另一方面, 如果在第六步骤 S106 产生的确定结果表明反射概率 P 等于或大于随机数 ξ , 即, 关系 $\xi \leq P$ 成立而指示入射离子 J 被制造目标的表面反射, 则流程前进到第十一步骤 S111, 在该第十一步骤 S111, 将入射离子确定为已经经历了镜面反射并且得到了该离子的入射角度 ϕ 。也就是说, 在第十一步骤 S111, 将入射离子确定为已经经历了从制造目标的表面反射离子的镜面反射处理, 并且检测该离子的入射角度 ϕ 。然后, 流程返回到第五步骤 S105 以重复开始于该步骤的处理。

[0130] 如上所述, 根据该算法, 针对由具有满足关系 $1 \leq J \leq N$ 的值的索引 J 所标识的每一第 J 个入射离子, 重复地执行开始于第四步骤 S104 且结束于第十二步骤 S112 的处理。

[0131] 根据上述算法, 由此可以在利用抗蚀剂图形作为掩模的硅栅制造工艺的过刻蚀 (over etching) 步骤预测氢离子所导致的每一损伤的分布。在过刻蚀步骤所使用的抗蚀剂图形是栅制造评估图形。抗蚀剂图形的结构具有 250nm 的抗蚀剂薄膜厚度、80nm 的 BARC (Bottom Anti Reflective Coating, 底部抗反射涂层) 薄膜厚度、150nm 的硅薄膜厚度、300nm 的间距以及 100nm 的线宽。另外, 设置单元大小为 $2\text{nm} \times 2\text{nm} \times 2\text{nm}$ 。抗蚀剂图形是具有固定形状的图形, 其在预测的过程中不变化。预先提供用于具有与单元大小相等的大小的区域的数据库。通过根据分子动力学的计算来创建数据库。图 4 中下方的示意图中示出了该数据库的典型示例。针对 $10^{16}/\text{s} \cdot \text{cm}^2$ 的离子通量以及 10 秒的刻蚀时间段来执行过刻蚀步骤。轰击具有大小 $500\text{nm} \times 2\text{nm}$ 的抗蚀剂图形的总入射离子计数 N 为 1×10^{16} 。该入射离子总数对应于这种过刻蚀步骤。另外, 通过在下述条件下, 利用之前所述的鞘层仿真器而得到离子能量 E 的分布和入射角度 ϕ 的分布。此分布用作基于所述算法 (通过参考图 9 所示的流程图而已经于先前对其进行过说明) 的、作为抗蚀剂图形中的传输路径计算的计算中的输入参数, 并且还用作基于数据库的内插计算中的输入参数。注意, 利用鞘层仿真器的计算所得到的输入参数用作在图 9 所示流程图的第三步骤 S103 所确定的参数。

[0132] 将鞘层仿真器设置为在下列典型条件下工作:

[0133] 电子能量 : 5eV

[0134] 离子温度 : 1,000K

[0135] 中性粒子温度 : 400K

[0136] 气压 : 1.33Pa, 13.3Pa 和 6.7Pa

[0137] 等离子体密度 : $10^{10}/\text{cm}^3$

[0138] 等离子体电势 : 20V

[0139] 外加偏置电压 :200V

[0140] 自偏置电压 : -200V

[0141] 外加偏置频率 :13.56MHz

[0142] 离子质量 :1amu

[0143] 中性粒子质量 :1amu

[0144] 使用 Windows/Cygwin OS 作为用于该算法的代码的执行的平台。然而,同样也可以使用另一 OS 来用作该平台。其他 OS 的典型示例为 Mac、OSX、LINUX 和 UNIX 系列的 OS。算法本身是通过利用 Fortran 77 而编写的(即使同样也可以使用任何其他语言)。所述其他语言的典型示例为 Fortran90、Fortran95、C、C++ 和 JAVA。也就是说,用于编写算法的语言并不是问题。

[0145] 图 10 是示出实施所述算法的离子辐射损伤仿真器的大致外观的图。仿真器的界面部分由 tcl/tk 和 PGLOT 构成。仿真器的界面部分使得计算控制和计算对于用户是可见的。然而,也可以使用另一控制系统语言和另一工具。

[0146] 然后,计算在气压 1.33Pa、13.3Pa 和 6.7Pa 中每一个气压辐射的离子所导致的缺陷的 2 维分布。此外,同样还得到针对相同条件的离子能量分布。除此之外,同样还预测离子路径结合图形表面所形成的每一入射角度的分布。通过利用 Windows/Cygwin OS 作为在计算机(其具有用作计算机的 CPU 的、频率为 1.60GHz 的 Intel Pentium M 处理器)中执行的平台,可以将计算时间降低至 50 小时。另一方面,如果仅执行根据分子动力学的计算,则对具有 2nm×2nm 大小并且在其之中没有创建图形的平面区域中的样本执行计算所花费的时间为 2000 小时。由此显而易见的是,通过采用本发明提供的方法来用于预测离子辐射所导致的损伤的方法,可以显著地降低计算时间。注意,2000 小时的计算时间是针对将剂量设置为与对于 50 小时的仿真器计算时间的值相等的值的情况,执行根据分子动力学的计算所花费的时间。

[0147] 另外,根据本发明的离子辐射损伤预测方法,用作制造工艺(如刻蚀制造工艺或离子注入工艺)的对象的薄膜不需要是由硅制造的薄膜。例如,该薄膜也可以是由二氧化硅制造的薄膜、由氮化硅制造的薄膜、有机薄膜或由金属制造的另一薄膜。

[0148] 除此之外,在本发明的方法中,应用了本方法的图形的形状并不是问题。也就是说,图形的结构不一定是栅的结构。例如,图形的结构可以是侧壁结构、浅沟结构、大马士革结构、接触孔结构或通孔(via-hole)结构。另外,已经通过描述固定图形(如,用作过刻蚀制造工艺的对象的图形)而示例了用于预测离子辐射所导致的损伤的方法。然而,也可以将该方法应用于随着时间的经过而变化的图形形状。形状随时间变化的图形的典型示例是用作主刻蚀制造工艺的对象的图形。除此之外,即使已经说明了用于预测 2 维损伤分布的方法的应用,但本发明同样也可以容易地扩展至用于预测 3 维损伤分布的方法。

[0149] 另外,为了改善计算的精度,可以考虑充电效应。充电效应是在刻蚀制造工艺的过程中累积在图形表面上的电荷产生的电势差所导致的、用作对于离子和电子的传输轨迹的影响的影响。因此,通过考虑充电效应,可以通过考虑入射离子和入射电子的辐射所产生的对于制造目标的电势差影响来识别入射离子的传输轨迹。

[0150] 上述离子辐射是在等离子体刻蚀工艺中执行的离子辐射。因此,通过将制造目标的电导率添加至根据分子动力学的计算所创建的数据库,可以针对用作等离子体刻蚀工艺

的对象的制造目标的侧壁和 / 或底部,来计算电导率的 2 维或 3 维分布。

[0151] [离子辐射损伤预测方法的第三典型示例]

[0152] 下列描述根据基于本发明第一实施例的离子辐射损伤预测方法的第一典型示例,说明用于在硅栅的刻蚀制造工艺中预测损伤分布所执行的其他处理。该其他处理中所采用的技术称为根据本发明第一实施例的离子辐射损伤预测方法的第三典型示例。图 11 示出了根据离子辐射损伤预测方法的第三典型示例,表示用于在硅栅的刻蚀制造工艺中预测损伤分布的典型计算算法的流程图。通过参考图 11 所示的流程图,按照如下那样说明离子辐射损伤预测方法的第三典型示例。

[0153] 图 11 所示的流程图以确定输入参数的第一步骤 S101 开始。更确切地,执行该第一步骤 S101 来确定输入参数,如,用作通过将离子辐射到薄膜而执行的刻蚀制造工艺的对象的薄膜的类型、用作刻蚀制造工艺的对象的薄膜的图形结构、离子通量和刻蚀时间的长度。用作刻蚀制造工艺的对象的薄膜的图形结构包括薄膜的图形大小和薄膜的图形形状。

[0154] 在此情况下,作为在步骤 S122(其为执行气体仿真器计算的步骤)执行的计算的结果而获得离子通量。通过将在配方参数步骤 S121 生成的配方参数作为输入参数,来执行步骤 S122 的计算。配方参数是真实工艺条件的参数。

[0155] 然后,在第二步骤 S102,确定总入射离子计数 N。总入射离子计数 N 是在离子辐射时间段内轰击用作刻蚀制造工艺的对象的薄膜的入射离子的总数。第二步骤 S102 是根据蒙特卡罗方法,基于输入参数而执行的。

[0156] 然后,在第三步骤 S103,确定鞘层仿真器的输入参数。第三步骤 S103 的鞘层仿真器的输入参数是在图 8 所示流程图的步骤 S20 所设置的输入参数。如先前所述,此输入参数包括电子密度或等离子体密度、电子温度、离子温度、离子质量、中性粒子温度、中性粒子质量、气压、下偏置频率、自感偏置 Vdc、下外加偏置 Vrf 和入射离子的数目。

[0157] 然后,在第四步骤 S104,通过利用鞘层仿真器来执行计算。在利用鞘层仿真器所执行的计算中,仿真器对具有入射的初始能量和角度的入射离子 J 的入射进行仿真。也就是说,仿真器对鞘层区域中入射离子 J 的行为进行仿真。例如,得到入射离子 J 的入射能量和入射角度,其中,作为后缀附给词语‘离子’的参考符号 J 表明该离子是第 J 个入射离子。

[0158] 然后,执行第五步骤 S105 作为采用蒙特卡罗方法,通过考虑入射离子 J 跟踪的传输路径,计算轰击制造目标的入射离子 J 的碰撞位置以及入射离子 J 的入射角度的步骤。也就是说,在得到入射离子 J 和制造目标表面之间的碰撞位置以及入射离子 J 结合制造目标的表面所形成的入射角度时,将传输轨迹考虑在内。具体而言,在该第五步骤 S105,通过采用蒙特卡罗方法,针对制造目标的形状得到入射离子 J 跟踪的、作为到制造目标的轨迹的传输轨迹。

[0159] 另外,针对在制造目标表面具有入射能量 E 和入射角度 ϕ 的每个离子的入射,预先计算诸如晶体缺陷 D、离子反射概率 P 和权重值 F 之类的数据。注意,晶体缺陷 D 和权重值 F 均为 z 的函数,其中,参考符号 z 表示离子穿透的深度。通常针对具有平面形状的制造目标,利用根据经典分子动力学或分子动力学的第一原理的仿真器已经计算出了诸如晶体缺陷 D、离子反射概率 P 和权重值 F 之类的数据。然后,预先将计算结果存储为数据库。也就是说,计算结果通常用于创建如图 4 的概念图中所示的数据库。

[0160] 接着,执行第六步骤 S106,以根据将反射概率 P 与随机数 ξ 进行比较的结果来确

定入射离子 J 经历了穿透还是反射。也就是说,在第六步骤 S106,将通过参考入射离子 J 的入射能量 E 和入射角度 ϕ 所得到的反射概率 P 与随机数 ξ 进行比较,以便基于比较结果来确定入射离子 J 穿透了制造目标,还是入射离子 J 被制造目标的表面反射。

[0161] 例如,当入射离子 J 与用作制造目标的图形的侧壁或图形的底部碰撞时,在该点生成具有处于范围 $0 < \xi < 1$ 中的值的随机数 ξ 。另外,从数据库中检索入射离子 J 的入射能量 E 和入射角度 ϕ ,并且将其用于样条内插处理以得到反射概率 P。随后,将随机数 ξ 与反射概率 P 进行比较,以便产生关于如下确定的结果:入射离子 J 穿透用作制造目标的部分图形达到深度 z 并导致晶体缺陷,还是入射离子 J 以镜面反射现象被图形的表面反射并且保持入射离子 J 的能量。

[0162] 如果在第六步骤 S106 产生的确定结果表明关系 $\xi > P$ 成立而指示入射离子 J 穿透了制造目标,那么执行下列步骤。首先,在第七步骤 S107,针对诸如制造目标的薄膜类型以及入射离子 J 的类型之类的数据而检索数据库。该数据库是用于存储在制造目标中入射离子的分布的数据库。基于入射离子 J 的入射能量 E 和入射角度 ϕ 以及制造目标的薄膜类型,通过根据经典分子动力学的计算以及根据分子动力学的第一原理的计算而已经预先创建了制造目标中入射离子的分布。

[0163] 例如,对于 $\xi > P$ (其表示生成了晶格缺陷的情况),针对制造目标的薄膜类型以及入射离子 J 的类型来检索数据库。在样条内插处理中使用图 6A 所示的晶体缺陷分布曲线,以便针对如图 6B 的示意图所示的入射能量 E 和入射角度得到晶体缺陷分布曲线。作为示例,图 7 是针对具有 200eV 的入射能量 E 及 40 度的入射角度 ϕ 的入射离子 J 的情况而示出样条内插处理的多个说明图。

[0164] 然后,在第八步骤 S108,得到入射离子 J 的穿透深度以及离子 J 的穿透位置。更具体而言,在第八步骤 S108,基于在第七步骤 S107 执行的检索操作中得到的数据,得到入射离子 J 的入射能量 E 和入射角度 ϕ 、入射离子 J 的穿透深度以及离子 J 的穿透位置。

[0165] 因此,可以得到单元中具有入射能量 E 和入射角度 ϕ 的入射离子 J 所导致的晶体缺陷的分布。注意,晶体缺陷的分布是关于穿透深度 z 的分布。另外,生成加权随机数并且将其用于确定穿透深度 z。注意,加权随机数是随机数与权重 F(z) 的乘积,所述权重 F(z) 表示穿透深度 z 处的离子计数分布率,其中,离子计数分布率是入射离子计数与根据分子动力学的计算中所使用的总入射离子计数的比率。

[0166] 然后,在第九步骤 S109,将缺陷数据进行累积,并且将所累积的缺陷数据的离子计数 ΣJ 与入射离子计数 N 进行比较,以便确定关系 $\Sigma J > N$ 是否成立。更具体而言,通过存储入射离子 J 的穿透深度 z 以及离子 J 的穿透位置来累积缺陷数据。另外,将表示经处理的入射离子 J 的数目的离子计数 ΣJ 与总入射离子计数 N 进行比较,以便产生关于入射离子 J 的数目是否已经达到了总入射离子计数 N 的确定的结果。

[0167] 如果在第九步骤 S109 产生的确定结果表明经处理的入射离子 J 的数目尚未达到总入射离子计数 N,则流程前进到第十二步骤 S112,在该第十二步骤 S112,如图 11 所示流程图中的等式 $J = J+1$ 所表示的那样,通过把入射离子的索引 J 递增 1 来更新索引 J。然后,离子辐射损伤预测方法的流程返回到第四步骤 S104,以便针对更新后的索引 J ($= J+1$) 所指示的入射离子来重复处理。

[0168] 事实上,重复执行范围从第四步骤 S104 至第九步骤 S109 的步骤的序列,直到经处

理的入射离子 J 的数目达到总入射离子计数 N 为止。

[0169] 另一方面,如果在第九步骤 S109 产生的确定结果表明经处理的入射离子 J 的数目已达到总入射离子计数 N,则流程前进到第十步骤 S110,在该第十步骤 S110,离子辐射损伤预测方法终止并且基于所累积的晶体缺陷数据来创建晶体缺陷分布。

[0170] 此外,另一方面,如果在第六步骤 S106 产生的确定结果表明关系 $\xi \leq P$ 成立而指示入射离子 J 被制造目标的表面反射,则流程前进到第十一步骤 S111,在该第十一步骤 S111,将入射离子确定为已经经历了镜面反射并且得到了该离子的入射角度 ϕ 。也就是说,在第十一步骤 S111,将入射离子确定为已经经历了从制造目标的表面反射离子的镜面反射处理,并且检测到该离子的入射角度 ϕ 。然后,流程返回到第五步骤 S105 以便重复开始于该步骤的处理。

[0171] 如上所述,根据该算法,针对具有满足关系 $1 \leq J \leq N$ 的值的索引 J 所标识的每一第 J 个入射离子而重复地执行开始于第四步骤 S104 并结束于第十二步骤 S112 的处理。

[0172] 用于预测入射离子所导致的损伤的方法的第三典型示例同样不关心用作刻蚀制造工艺的对象的薄膜的类型、用作刻蚀制造工艺的对象的图形的结构的类型以及图形随着时间的经过是固定还是变化。另外,同样可以将充电效应考虑在内。

[0173] 通过参考图 12 所示的流程图说明气体仿真器所采用的算法。

[0174] 如图 12 所示,该流程图以用于确定参数的步骤 S201 开始。参数通常包括工艺信息、设备信息、晶片信息以及作为关于腔室壁的信息的壁状态信息。工艺信息包括电子温度、压力(即,处理容许温度)、流量(即,处理气体的流量)、离子温度、中性粒子温度、体(bulk)等离子体密度和刻蚀时间段。设备信息包括腔室的半径、间隙长度(即,用作制造目标的晶片与上电极之间的距离)、上电极的半径和腔室的体积。晶片信息包括孔径比和晶片的半径。壁状态信息包括粒子粘合概率,如粒子对于顶板的粘合的概率以及粒子对于侧壁的粘合的概率。

[0175] 然后,执行步骤 S202 来计算电子密度。例如,在电子密度的计算中,使用从正的辉光柱(glow pillar)模型中获得的值。作为替代,给出实际测量值。

[0176] 按照如下那样说明电子密度的计算。

[0177] 关于作为模型的输入参数的电子密度(如等离子体密度)的分布,假设在流体连续性等式中存在稳定状态并且存在轴对称分布 $n(r)$,根据正辉光柱理论得到等式(3)所表示的扩散方程。在等式(3)中,参考标记 ν 表示碰撞频率,而参考标记 D 表示扩散系数。

$$[0178] \quad \frac{\partial^2 n}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial n}{\partial r} + \frac{\nu}{D} n = 0 \quad \dots (3)$$

[0179] 等式(3)称作贝塞尔差分等式。假定针对 $r = 0$ 的密度 n_0 ,如等式 4 所示,可以以 J_0 表示对于贝塞尔等式的解。在等式(4)中,参考标记 J_0 表示第 0 阶贝塞尔函数。

$$[0180] \quad n = n_0 J_0(\sqrt{\nu/(D \times r)}) \quad \dots (4)$$

[0181] 在用作腔室壁的圆柱形侧壁中,假定对于 $r = R$ 而言 $n = 0$,满足 $J = 0$ 的最小解为 2.405。也就是说,如等式(5)所示那样,以距腔室中心的距离 r 和腔室的半径 R_{w0} 来表示电子密度分布 $n(r)$ 。

$$[0182] \quad n = n_0 J_0(\sqrt{2.405 r / R}) \quad \dots (5)$$

[0183] 因此,可以得到腔室中每一位置的电子密度。

[0184] 然后,在步骤 S203,计算粒子密度和通量。通过将 Cl(氯)族气体作为示例而对离子密度和通量的计算进行了示例。当然,粒子密度和通量的下列描述对于除了 Cl(氯)族气体之外的气体来说同样是成立的。例如,对于针对每个离子基密度(radical density)随着时间的变化,由等式(6)来表示关于 Cl、Cl⁺、Cl⁺⁺、Cl⁻、Cl₂⁺、SiCl₄ 和 SiCl₂ 的联立常微分方程组:

$$[0185] \quad \frac{dn(i,t)}{dt} = \sum_m K_m n(i,t)n(j,t) - \frac{n(i,t)}{\tau_r} - \frac{n(i,t)}{\tau_n} \quad (\text{其中 } i = 1, \dots, 7) \dots (6)$$

[0186] 其中,

[0187] $\frac{dn(i,t)}{dt}$ 表示关于时间的密度变化,

[0188] $\sum_m K_m n(i,t)n(j,t)$ 表示 m 个类型的化学反应,

[0189] $\frac{n(i,t)}{\tau_r}$ 表示发射效应,以及

[0190] $\frac{n(i,t)}{\tau_n}$ 表示扩散效应。

[0191] 在上面给出的等式(6)中,参考符号 n(i,t) 表示感兴趣粒子的密度,参考符号 k_m 表示化学反应速率、参考符号 n(j,t) 表示用作感兴趣粒子的化学反应同伴的粒子的密度,参考符号 τ_r 表示发射特性时间,参考符号 τ_n 表示扩散特性时间。上面给出的等式(6)所表示的联立常微分方程组对具有彼此非常不同的阶的各项进行处理。所述项的示例为:电子密度、化学反应速率和时间步长。因此,通过仅仅采用普通的 4 阶 Rung-Kutta 方法,联立常微分方程组的解可能在某些情况下不收敛。为了解决该问题,此模型采用作为针对刚性常微分联立方程组所准备的隐性数值求解方法而公知的 Gear 方法。另外,将电子密度和 Cl₂ 密度均假设为常数。这是由于相比于其他化学反应,等离子体转换的主化学反应的时标(time scale)(弛豫时标(relaxation time scale))较小(小于 0.1nsec),并且总是提供气体。

[0192] 如上所述,等式(6)所表达的联立常微分方程组中的参考符号 τ_r 指示以秒所表示的发射特性时间。通过下面给出的等式(7)来表示发射特性时间 τ_r。在等式(7)的右手侧,参考符号 P 指示以 mT 所表示的气压,参考符号 V 指示以升所表示的腔室体积,而参考符号 Q 指示以 sccm 表示的总液体流。发射特性时间 τ_r 具有范围在 1msec 与几十 msec 之间的值。

$$[0193] \quad \tau_r = \frac{(P/1000) \times V}{Q/79} \dots (7)$$

[0194] 另外,同样如上所述,等式(6)所表示的联立常微分方程组中的参考符号 τ_n 指示以秒所表示的扩散特性时间。通过下面给出的等式(8)~(13)来表示扩散时间 τ_n。在等式(8)~(13)中,参考符号 Λ 指示特性扩散长度,而参考符号 D 指示扩散常数。可以在假设等离子体体部分(plasma bulk portion)为考虑的对象的情况下,通过关于圆柱形等离子体的扩散长度来近似特性扩散长度 Λ。另一方面,扩散常数 D 是两个电极扩散常数。另外,在等式(8)~(13)中,参考符号 R 指示以 cm 所表示的腔室半径,参考符号 v 指示用于表示每秒的碰撞数目的碰撞频率,参考符号 k_B 指示具有值为 (1.308×10⁻²³J/K) 的玻尔兹曼常数,参考符号 T_e 指示以 (eV×11600K) 所表示的电子温度,参考符号 m 指示以

($Z \times 1.627 \times 10^{-27} \text{kg}$) 所表示的离子质量, 参考符号 n_0 指示以 m^{-3} 所表示的等离子体密度, 参考符号 λ_D 指示以德拜 (Debye) 单位所表示的德拜长度。扩散特性时间 τ_n 具有毫秒量级的值。

$$[0195] \quad \tau_n = \frac{\Lambda^2}{D} \quad \dots(8)$$

$$[0196] \quad \frac{1}{\Lambda_2} = \left(\frac{2.405}{R}\right)^2 \quad \dots(9)$$

$$[0197] \quad D = \frac{k_B T_e}{m \nu} \quad \dots(10)$$

$$[0198] \quad \nu = 2.9 \times 10^{-12} n_0 \times \log Y / T_e^{1.5} \quad \dots (11)$$

$$[0199] \quad Y = \frac{4\pi}{3} \lambda_D^3 \times n_e \times 9 \quad \dots(12)$$

$$[0200] \quad \lambda_D = 7.43 \times 10^3 \sqrt{\frac{T_e}{n_0}} \quad \dots(13)$$

[0201] 然后, 通过利用作为对于联立常微分方程组的解所获得的粒子密度, 假定 Baum 速率和热运动速率, 可以分别通过下面给出的等式 (14) 和 (15) 来表示离子的通量 $\Gamma_{\text{离子}}$ 和基通量 $\Gamma_{\text{基}}$ 。在等式 (14) 和 (15) 中, 参考符号 k_B 表示玻尔兹曼常数, 参考符号 T_e 表示电子温度, 参考符号 T_n 表示基温度, 参考符号 n_i 表示离子密度, 参考符号 n_n 表示基密度, 参考符号 M_i 表示离子的质量, 参考符号 M 表示基质量。

[0202]

$$\Gamma_{\text{离子}} = 0.61 \times \sqrt{\left(\frac{k_B T_e}{M_i}\right)} \times n_i \quad \dots(14)$$

[0203]

$$\Gamma_{\text{基}} = \frac{1}{4} \times \sqrt{\left(\frac{8k_B T_n}{\pi M}\right)} \times n_n \quad \dots(15)$$

[0204] 如上所述, 可以计算出粒子密度和通量。

[0205] 然后, 执行步骤 S204, 以便确定是否已经经过了计算时间段。也就是说, 执行步骤 S204, 以便产生关于是否已经经过了所设置的刻蚀时间段的确定的结果。如果确定的结果表明基于算法的计算处理已经在所设置的刻蚀时间段之后完成, 那么处理的流程前进到终止计算处理的步骤 S205。另一方面, 如果确定的结果表明基于算法的计算处理不是在所设置的刻蚀时间段之后完成的 (即, 如果确定的结果表明基于算法的计算处理已经在所设置的刻蚀时间段内完成), 则处理的流程前进到执行时间的扩展以便将计算处理进行扩展的步骤 S206。在步骤 S206, 在经过预先确定的时间后, 再次计算粒子密度和通量。然后, 计算处理的流程返回到步骤 S204 以便如上所述那样产生关于是否已经经过了所设置的刻蚀时间段的确定的结果。事实上, 步骤 S204 和 S206 重复执行, 直到经过了所设置的刻蚀时间为止, 即, 直到所述确定表明基于算法的计算处理已经在所设置的刻蚀时间段之后完成为止。当确定的结果表明基于算法的计算处理已经在所设置的刻蚀时间段之后完成时, 处理的流程前进到终止计算处理的步骤 S205。

[0206] 当在根据本发明第一实施例的离子辐射预测方法的第一至第三典型示例的执行中利用根据分子动力学的第一原理的计算所创建的数据库的时候, 可以像图 4 中下方的示

意图所示那样将电导率添加至数据库。通过以这种方式将电导率添加至数据库,可以在制造工艺的过程中以及恰好在制造工艺后预测制造工艺所损伤的区域中的电导率的分布。也就是说,在制造工艺期间以及之后,可以预测受损伤区域中的电特性变化。用于内插来自这种数据库的的方法与之前通过参考图 6 的图所说明的方法相同。

[0207] 根据哈密尔敦函数,通过采用基于根据分子动力学的第一原理所计算出的波形函数的方法以及基于非平衡态格林函数的方法,计算在创建数据库的处理中添加至数据库的电导率。对于与用于计算电导率的方法有关的更多信息,建议读者参考文档,如 Meir 和 Wingreen 于 1992 年在 Phys. Rev. Lett., Vol. 68, p. 2512 中所著的文章。

[0208] <2. 第二实施例>

[0209] [典型的离子辐射损伤仿真器]

[0210] 按照如下那样说明根据本发明第二实施例的离子辐射损伤仿真器的典型示例。

[0211] 离子辐射损伤仿真器的典型示例包括:

[0212] 处理部分,其被配置为:执行计算以预测由于辐射到制造目标的入射离子而在所述制造目标中生成的缺陷;以及

[0213] 输出部分,其被配置为:将所述处理部分所计算的、作为由于辐射到所述制造目标的入射离子而在所述制造目标中生成的缺陷分布的缺陷分布进行输出。

[0214] 处理部分通过采用均于之前所说明的、作为根据本发明第一实施例的离子辐射损伤预测方法的第一至第三典型实施例之一的算法的计算算法中的任何一个,来执行计算以预测缺陷。

[0215] 另一方面,输出部分通常是如下这样的图像显示设备:该图像显示设备用于显示处理部分所计算出的、作为由于辐射到所述制造目标的入射离子而在所述制造目标中生成的缺陷分布的缺陷分布。作为替代,输出部分是如下这样的打印设备:该打印设备用于打印处理部分所计算出的、作为由于辐射到所述制造目标的入射离子而在所述制造目标中生成的缺陷分布的缺陷分布。作为另一替代,输出部分通常是如下这样的存储设备:该存储设备用于存储处理部分所计算出的、作为由于辐射到所述制造目标的入射离子而在所述制造目标中生成的缺陷分布的缺陷分布。存储设备的典型示例是硬盘。通过将缺陷分布存储在诸如硬盘之类的存储设备中,可以使用缺陷分布而将工艺条件反馈到离子辐射设备(其为用于将离子辐射到制造目标的设备)中所采用的控制部分。

[0216] <3. 第三实施例>

[0217] [离子辐射设备的第一示例]

[0218] 通过参考图 13 的框图说明根据本发明第三实施例的离子辐射设备的第一示例。

[0219] 如图 13 的框图所示,离子辐射设备的第一示例是干法刻蚀设备 400,其采用形状仿真器 410 来预测在刻蚀制造工艺中所生成的、作为用作刻蚀制造工艺的对象的制造目标的形状的变化。另外,干法刻蚀设备 400 还采用离子辐射损伤仿真器 420,通过参考形状仿真器 410 所预测的、作为制造目标的形状数据的形状变化,来预测在刻蚀制造工艺中离子辐射所导致的损伤。

[0220] 除此之外,干法刻蚀设备 400 还采用控制部分 430 和刻蚀工艺部分 440。控制部分 430 是这样的部分:其被配置为基于离子辐射损伤仿真器 420 所预测的仿真结果来控制用于将离子辐射所导致的损伤的数目最小化的刻蚀条件。除此之外,刻蚀工艺部分 440 是

这样的部分：其被配置为根据从控制部分 430 接收到的命令来执行刻蚀制造工艺。

[0221] 在实际中，刻蚀工艺部分 440 采用测量单元来用于监控处理状态。然而，该测量部分未示出在图 13 中。测量单元的典型示例是朗缪尔 (Langmuir) 探针、OES (发光分光器)、QMS (正交质量分光器) 和能谱分析仪。

[0222] 很像之前所述的根据第二实施例的离子辐射损伤仿真器那样，离子辐射损伤仿真器 420 通过采用均于之前作为根据本发明第一实施例的离子辐射损伤预测方法的第一至第三典型示例之一的算法所说明的计算算法中的任何一种算法，执行用于预测损伤分布的计算。

[0223] 形状仿真器 410 是用于预测制造形状的仿真器。图 14 是示出形状仿真器 410 的大致外观的图。形状仿真器 410 和离子辐射损伤仿真器 420 分别实施由图 15 和 16 中所示流程图所表示的计算算法。

[0224] 首先，下列描述说明图 15 所示的、用作表示形状仿真器 410 所采用的计算算法的流程图流程图。

[0225] 图 15 所示的流程图开始于步骤 S411，结束于步骤 S417。

[0226] 执行步骤 S411 以获得如下这样的输入参数，所述输入参数包括由刻蚀工艺部分 440 中使用的监控器所输出的工艺配方值和测量值。注意，该监控器未示出在图 13 的框图中。

[0227] 然后，在下一步骤 S412，离子辐射损伤仿真器 420 用于执行计算以便从数据库中获得校正值。也就是说，离子辐射损伤仿真器 420 执行操作以便从数据库中获取校正值。在步骤 S412 所执行的工艺的细示出在将于稍后描述的图 16 的流程图中。该数据库是用于存储数据的数据库，所述数据包括掩模孔径比、图形结构 (立体角)、刻蚀气体、刻蚀薄膜的类型、晶片温度、气压、气体流量、电源的临界尺寸 (CD) 和斜角 (taper angle)。

[0228] 然后，在下一步骤 S413，离子辐射损伤仿真器 420 将校正值传递给控制部分 430。也就是说，离子辐射损伤仿真器 420 将校正值提供给控制部分 430。随后，控制部分 430 将校正值提供给刻蚀工艺部分 440 作为要将工艺参数设置为的值。

[0229] 然后，在下一步骤 S414，刻蚀工艺部分 440 将工艺参数设置为从控制部分 430 接收到的校正值。也就是说，刻蚀工艺部分 440 将工艺参数设置为基于从控制部分 430 接收到的校正值的值。随后，执行基于被设置为校正值的参数的刻蚀制造工艺。

[0230] 然后，在自从开始刻蚀制造工艺已经经过了预先确定的时间之后，执行用作 ‘刻蚀结束?’ 步骤的下一步骤 S415，以便确定是否要终止刻蚀制造工艺。通常执行 ‘刻蚀结束?’ 步骤 S415 以便产生关于刻蚀形状是否已经取得期望形状的确定的结果。

[0231] 如果在 ‘刻蚀结束?’ 步骤 S415 产生的确定结果指示尚不终止刻蚀制造工艺，则流程前进到将刻蚀时间进行扩展的步骤 S416。然后，流程返回到步骤 S412，在该步骤 S412，离子辐射损伤仿真器 420 从数据库获得基于当前刻蚀状态的新校正值。随后，重复随后的步骤 S413 和 S414 的处理。事实上，重复执行步骤 S416、S412、S413、S414 和 S415 的处理，直到在 ‘刻蚀结束?’ 步骤 S415 产生的确定结果指示要终止刻蚀制造工艺为止。

[0232] 当在 ‘刻蚀结束?’ 步骤 S415 产生的确定结果指示要终止刻蚀制造工艺时，计算算法的流程前进到终止仿真的步骤 S417。

[0233] 接下来，通过参考图 16 所示的流程图，下列描述说明为了从数据库获得校正值而

由离子辐射损伤仿真器 420 在以上说明的步骤 S412 执行的处理的细节。

[0234] 图 16 所示的流程图开始于执行监控信号核对的步骤 S421。例如,基于在刻蚀工艺部分 440 中安装的下电极的温度数据,通过采用内插技术而得到满足期望的处理尺寸 (CD) 的最佳值 T' 。

[0235] 然后,在下一步骤 S422,将处于最佳值 T' 的处理尺寸 (CD) 与许可规范进行比较,以便产生关于处于最佳值 T' 的处理尺寸 (CD) 是否在许可规范内的确定的结果。如果确定结果指示处于最佳值 T' 的处理尺寸 (CD) 在该许可规范内,则处理的流程前进到图 15 所示流程图的步骤 S413 以将校正值传递给控制部分 430,然后控制部分 430 将校正值提供给刻蚀工艺部分 440。

[0236] 另一方面,如果在下一步骤 S422 产生的确定结果指示处于最佳值 T' 的处理尺寸 (CD) 不在许可规范内,则处理的流程前进到步骤 S423,在该步骤 S423,将监控信号与最佳值 T' 进行核对,以便基于在刻蚀工艺部分 440 中可用的气压数据,通常通过采用内插技术而得到满足期望的处理尺寸 (CD) 的最佳值 P' 。

[0237] 然后,在下一步骤 S424,将处于最佳数据 P' 的处理尺寸 (CD) 和许可规范进行比较,以便产生关于处于最佳值 P' 的处理尺寸 (CD) 是否在许可规范内的确定的结果。如果确定结果指示处于最佳值 P' 的处理尺寸 (CD) 在许可规范内,则流程前进到图 15 所示流程图的步骤 S413 以将校正值传递给控制部分 430,该控制部分 430 然后将校正值提供给刻蚀工艺部分 440。

[0238] 另一方面,如果在下一步骤 S424 产生的确定结果指示最佳值 P' 的处理尺寸 (CD) 不在许可规范内,则流程前进到将监控信号、最佳值 T' 和最佳值 P' 相互核对的步骤 S425。例如,在步骤 S425,基于在刻蚀工艺部分 440 中可用的低偏置电源数据,通常通过采用内插技术而得到满足期望的处理尺寸 (CD) 的最佳值 Wb' 。

[0239] 然后,在下一步骤 S426,通过利用离子辐射损伤仿真器,实施用于预测离子辐射在最佳值 P' 和 Wb' 的范围中所导致的损伤的方法。实施步骤 S426 的方法,以便执行通过参考图 1 所示的流程图而于先前说明的、作为根据第一实施例的离子辐射损伤预测方法的第一示例的第一典型离子辐射损伤预测方法的算法。注意,也可以实施步骤 S426 的方法,以便执行分别通过参考图 9 或 11 所示的流程图而于先前说明的、作为根据第一实施例的离子辐射损伤预测方法的第二或第三示例的第二或第三典型离子辐射损伤预测方法的算法。

[0240] 然后,在下一步骤 S427,通过利用离子辐射损伤仿真器来确定使损伤数量最小化的最佳值 P' 和 Wb' 。也就是说,在该步骤确定的最佳值 P' 和 Wb' 是使损伤数量最小化的值。

[0241] 如上所述,在用作本发明所提供的离子辐射设备的干法刻蚀设备 400 中,监控刻蚀工艺部分 440 中的刻蚀状态,并且将作为监控结果所获得的数据提供给形状仿真器 410。然后,在离子辐射损伤仿真器 420 执行用于获得使离子辐射所导致的损伤数量最小化的工艺条件 (或仿真校正值) 的处理时,将形状仿真器 410 中生成的作为受监控目标的形状的变化形状变化考虑在内。注意,受监控目标的典型示例是用作刻蚀制造工艺的对象的图形以及用作刻蚀制造工艺的对象的薄膜。离子辐射损伤仿真器 420 将仿真校正值提供给控制部分 430,控制部分 430 然后将工作信号赋予刻蚀工艺部分 440 以便实施工艺校正。

[0242] 如上所述,用作本发明所提供的离子辐射设备的干法刻蚀设备 400 使用了离子辐

射损伤仿真器 420。因此,可以在实际时间段内,定量地预测穿透到制造目标的侧壁和 / 或底部的入射离子的分布以及入射离子所导致的物理损伤量 (或晶体缺陷) 的 2 维或 3 维分布。注意,仅通过进行实验,难以在实际测量时间段内测量分布。由于通过根据分子动力学的计算所预先创建的数据库的使用而可以在实际计算时间段内定量地预测分布,由此对于入射离子穿透的分布以及晶体缺陷的分布而言,需要更少的计算时间。

[0243] 结果,可以显著地缩短基于离子辐射所执行的刻蚀制造工艺的仿真时间。另外,可以在实现期望的处理大小的同时使离子辐射所导致的损伤数量最小化。因此,该离子辐射设备提供了这样的优点:可以缩短 CMOS 器件刻蚀工艺和图像传感器刻蚀工艺的开发的 TAT 以及这些工艺的评估,从而可以降低开发成本。

[0244] [离子辐射设备的第二示例]

[0245] 通过参考图 17 的框图,说明根据本发明第三实施例的离子辐射设备的第二示例。

[0246] 如图 17 所示,离子辐射设备的第二示例是离子注入设备 500,其采用离子辐射损伤仿真器 500 来用于预测注入离子所导致的离子辐射损伤。

[0247] 另外,离子注入设备 500 还具有控制部分 530 以及离子注入工艺部分 540。控制部分 530 是如下这样的部分:其被配置为基于离子辐射损伤仿真器 520 所预测的仿真结果来控制用于使离子辐射所导致的损伤数量最小化的注入条件。另一方面,离子注入工艺部分 540 是如下这样的部分:其被配置为根据从控制部分 530 接收到的命令而执行刻蚀制造工艺。

[0248] 离子注入工艺部分 540 配备有离子源 542,离子源 542 通常包括:离子源电源;以及气柜,其作用于针对离子注入而提供气体的源。离子源 542 的离子发射侧配置有质量分析部分 544。质量分析部分 544 具有用于使得所发射离子的方向一致的磁体和狭缝。另外,质量分析部分 544 的离子发射侧配备有加速器 546,其用于将注入的离子加速。除此之外,加速器 546 的离子发射侧配备有晶片处理腔室 548,其用于将加速后的离子辐射至晶片。

[0249] 图 18 示出表示由上述离子注入设备 500 所实施的离子注入方法的流程图。

[0250] 如图 18 所示,流程图开始于确定输入参数的步骤 S511。更具体而言,执行该步骤以便设置工艺条件的输入参数以及每一参数的许可范围。通常,工艺条件的输入参数包括离子能量、入射角度和剂量。输入参数的范围通常包括针对剂量的 $\pm 10\%$ 的范围和入射角度的范围。

[0251] 然后,在下一步骤 S512,离子辐射损伤仿真器 520 执行某些计算。更具体而言,离子辐射损伤仿真器 520 执行用于在参数许可范围中针对缺陷量来检索数据库的操作以及关于缺陷量的内插以便产生内插的缺陷量,并且对可用于将内插的缺陷量最小化的最优工艺参数进行自动校正。在该步骤,离子辐射损伤仿真器 520 采用离子辐射损伤预测方法的第一典型示例。由于离子的辐射在该情况下是离子的注入,因此,可以执行不具有离子注入区域的形状的变化的离子注入。因此,无需利用在刻蚀制造工艺中所需要的形状仿真器。注意,在需要生成离子注入区域的形状的变化的情况下,可以利用采用了离子辐射损伤预测方法的第二或第三典型示例的离子辐射损伤仿真器 520。在这种情况下,用于设置输入参数的条件是适用于离子注入的条件。

[0252] 然后,在下一步骤 S513,离子辐射损伤仿真器 520 将校正值传递给控制部分 530。

严格说来,离子辐射损伤仿真器 520 经由控制部分 530 而将校正值提供给离子注入工艺部分 540。

[0253] 然后,在下一步骤 S514,离子注入工艺部分 540 将离子注入工艺部分 540 的工艺参数设置为校正值。

[0254] 随后,在下一步骤 S515,执行离子注入工艺。以此方式,可以执行抑制缺陷量的离子注入工艺。

[0255] 在由离子注入设备 500 执行的离子注入工艺中,通过考虑图 4 中下方的示意图所示的数据库,可以进一步将离子注入能量区域提升至 keV 量级的级别。因此,也可以将注入离子的工艺中所生成的晶体缺陷的分布定量地预测到离子注入条件、对于分布的离子注入能量以及对于离子入射角度的相关性之下的图形。结果,可以在添加了缺陷量的情况下优化离子注入条件。注意,离子注入条件包括离子注入能量、离子注入角度和剂量。

[0256] <4. 第四实施例>

[0257] [离子辐射方法的第一典型示例]

[0258] 下列描述说明根据本发明第四实施例的离子辐射方法的第一典型示例。

[0259] 在离子辐射设备的第一典型示例中通常采用离子辐射方法的第一典型示例。

[0260] 首先,使用形状仿真器执行形状仿真以预测刻蚀制造工艺中所导致的、作为用作刻蚀制造工艺的对象的制造目标的形状的变化。

[0261] 然后,使用离子辐射损伤仿真器执行离子辐射损伤仿真,以便通过参考形状仿真所预测的、作为制造目标的形状数据的形状数据,来执行用于预测在刻蚀制造工艺中发生的离子辐射损伤的离子辐射损伤仿真。

[0262] 随后,将使离子辐射所导致的损伤数量最小化的刻蚀条件(即,所谓的校正值)提供给控制部分。刻蚀条件是基于由离子辐射损伤仿真预测的仿真结果而确定的条件。

[0263] 最后,基于校正值,在控制单元校正的条件下执行将制造目标进行刻蚀的刻蚀制造工艺。

[0264] 作为上述的形状仿真,可以执行之前所述的形状仿真。同样地,作为上述的离子辐射损伤仿真,可以执行前面所述的根据采用了离子辐射损伤预测方法的离子辐射损伤仿真器的仿真。

[0265] [离子辐射方法的第二典型示例]

[0266] 下列描述说明根据本发明第四实施例的离子辐射方法的第二典型示例。

[0267] 离子辐射方法的第二典型示例通常用于离子辐射设备的第二典型示例中。

[0268] 首先,使用离子辐射损伤仿真器执行离子辐射损伤仿真来预测辐射到制造目标的离子所导致的损伤。

[0269] 然后,基于在离子辐射损伤仿真中预测的仿真结果,在工艺条件的范围内将工艺条件校正到使离子辐射所导致的损伤数量最小化的离子注入条件。

[0270] 最后,在该离子注入条件下执行制造目标的离子辐射处理。

[0271] 离子辐射损伤仿真器用于通过采用之前所述的离子辐射损伤预测方法来执行离子辐射损伤仿真。

[0272] 在根据离子辐射方法的第二典型示例执行的离子注入工艺中,通过考虑图 4 中下方的示意图所示的数据库,可以进一步将离子注入能量区域提升至 keV 量级的级别。因此,

也可以将注入离子的工艺中所生成的晶体缺陷的分布定量地预测到离子注入条件、对于分布的离子入射能量以及对于离子入射角度的相关性之下的图形。结果,可以在添加了缺陷量的情况下优化离子注入条件。注意,离子注入条件包括离子注入能量、离子注入角度和剂量。

[0273] 如上所述,可以定量地预测穿透到制造目标的侧壁和 / 或底部的入射离子的分布以及入射离子所导致的物理损伤量 (或晶体缺陷) 的 2 维或 3 维分布。注意,仅通过进行实验,难以在实际测量时间段内测量分布。另外,可以在比根据至今为止所知的分子动力学的计算的情况的计算时间段短得多的计算时间段内定量地预测分布。

[0274] 除了此外,如果使用形状仿真器,则可以预测真实图形制造形状和离子损伤量两者。因此,可以自动地执行导致了期望的规范形状和少量损伤的制造工艺的优化。结果,离子辐射方法提供了这样的优点:可以缩短 CMOS 器件刻蚀工艺和图像传感器刻蚀工艺的开发的 TAT 以及这些工艺的评估,从而可以降低开发成本。

[0275] 另外,如果使用形状仿真器并且将电导率加以考虑,那么可以执行将形状和损伤考虑在内的处理。除此之外,即使预测当时存在的电导率的分布也是可能的。因此,可以改善 CMOS 器件和图像传感器的性能特性。CMOS 器件和图像传感器的性能特性通常包括信号电荷 Q_s 的特性、用于控制暗电流的特性以及用于降低白点数目的特性。

[0276] 另外,通过利用仿真器,可以预测所有的制造大气气体、离子鞘层区域、制造目标的形状和损伤的分布。因此,可以在公开地且在短时间段内开发新结构和新工艺,而无需使用实际的晶片。

[0277] 另外,可以通过利用用于将损伤数目最小化的校正值来执行刻蚀制造工艺和 / 或离子注入工艺。因此,可以降低均由辐射到制造目标的离子所导致的缺陷的数目。结果,可以进一步改善器件特性。

[0278] 本申请包含与于 2009 年 3 月 30 日向日本专利局提交的日本优先权专利申请 JP 2009-081098 中公开的主题有关的主题,其全部内容通过引用的方式合并在此。

[0279] 本领域的技术人员应该理解,依据设计要求和因素可能出现各种变型、组合、部分组合和变更,只要其在所附权利要求及其等价物的范围内即可。

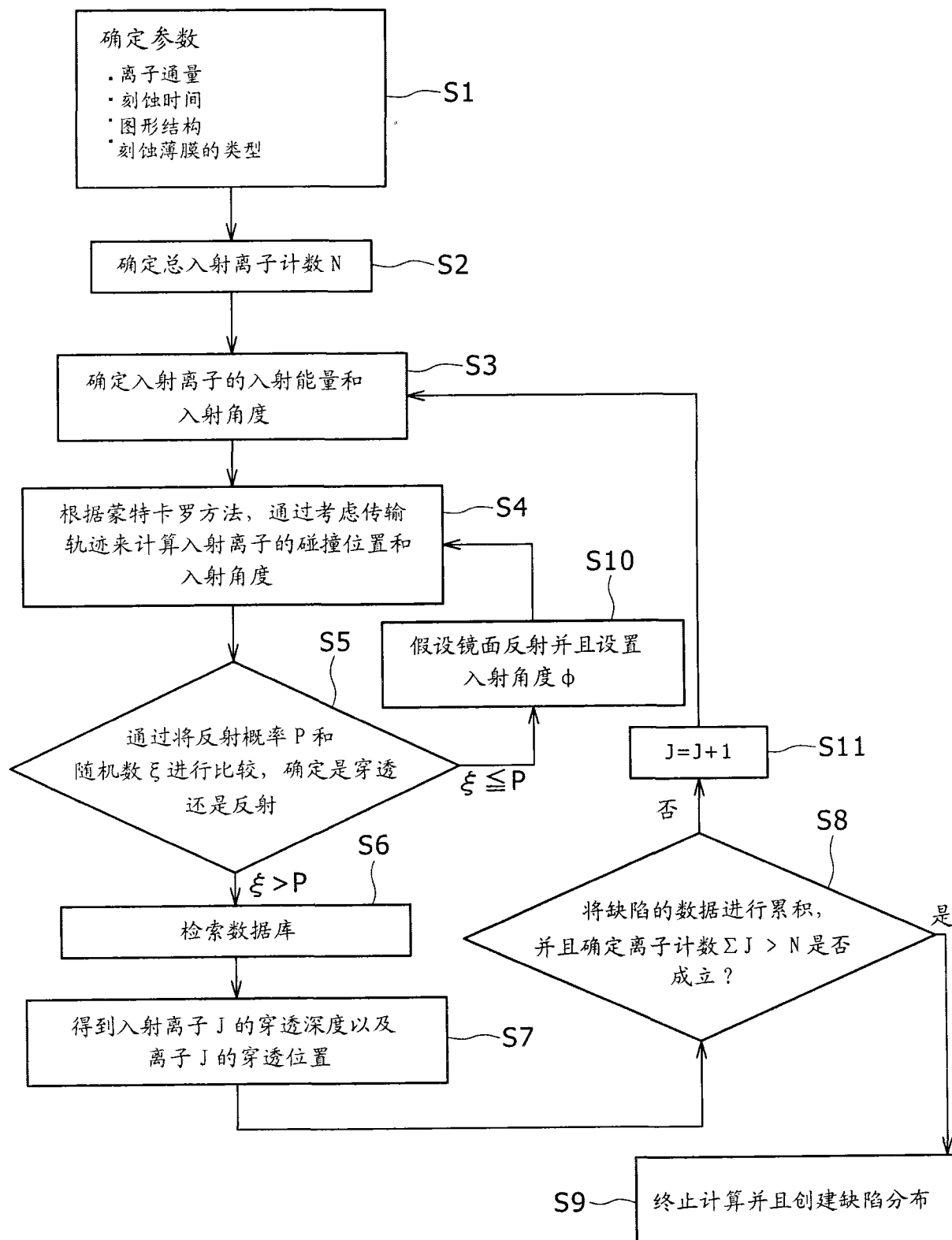


图 1

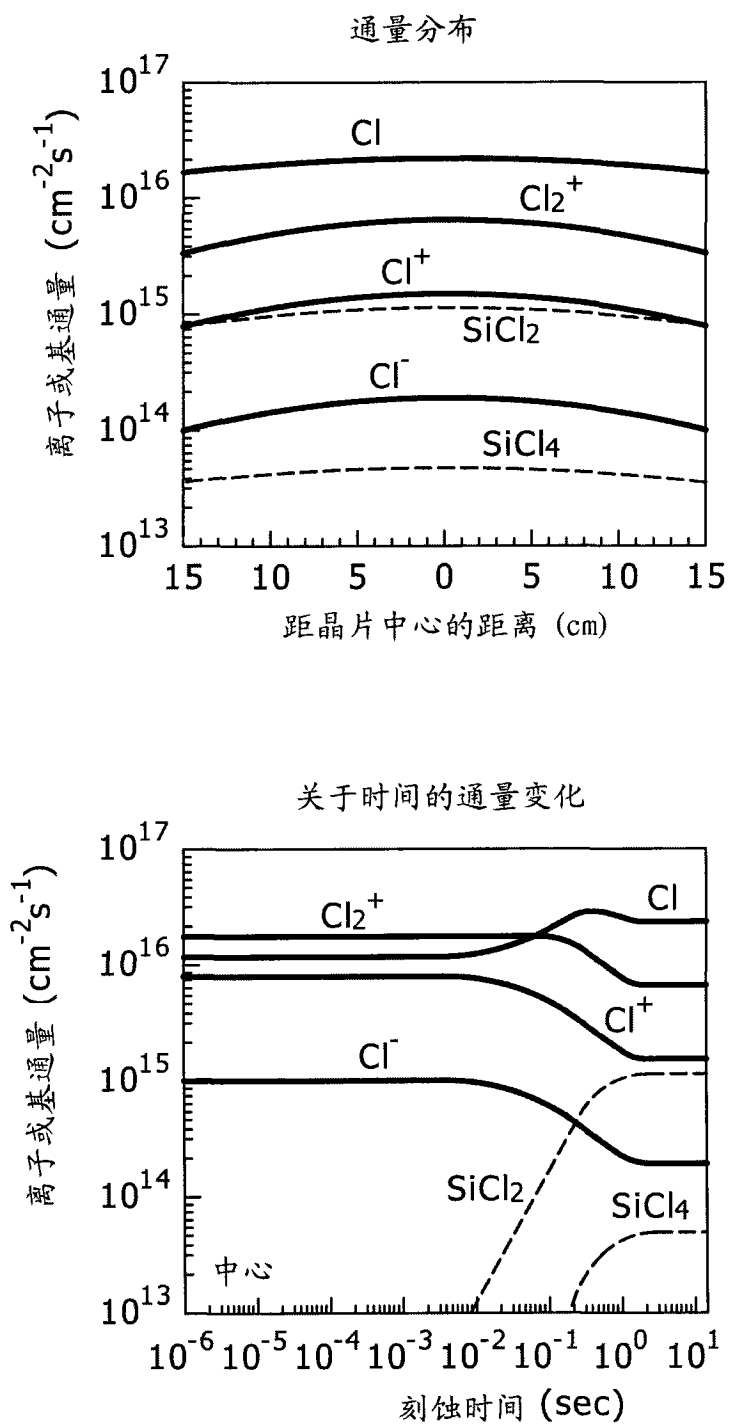


图 2

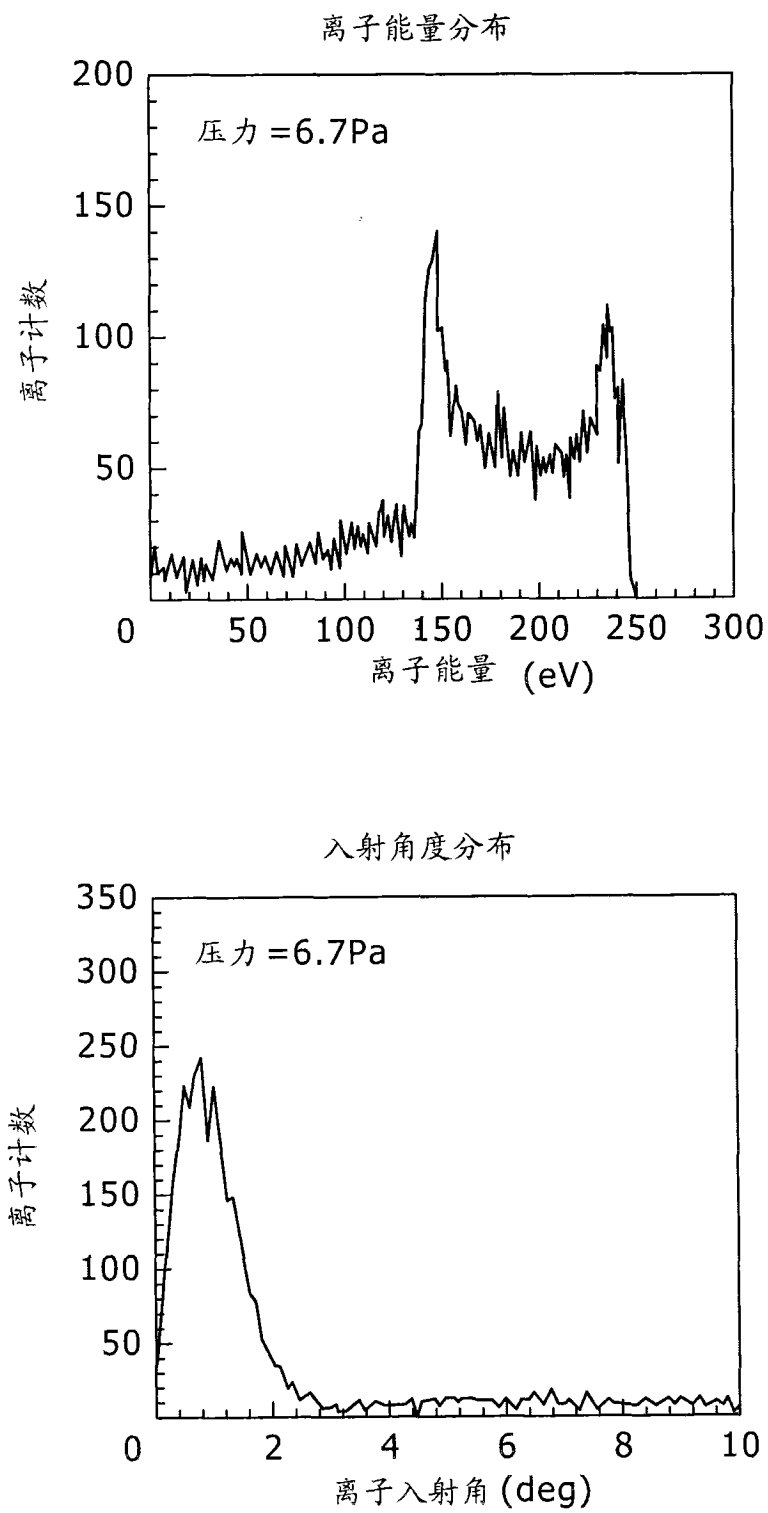
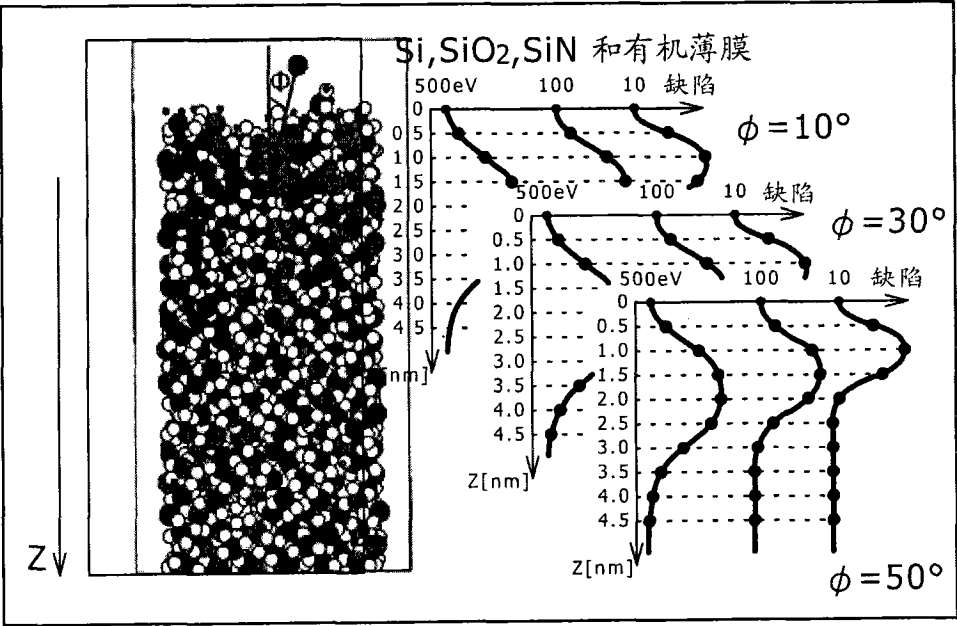


图 3



制造目标的薄膜类型 1						
离子类型 1						
	入射角度 ϕa			入射角度 ϕb		
能量	晶体缺陷	反射概率	权重	晶体缺陷	反射概率	权重
E1	D1a(z)	P1a	F1a(z)	D1b(z)	P1b	F1b(z)
E2	D2a(z)	P2a	F2a(z)	D2b(z)	P2b	F2b(z)
E3	D3a(z)	P3a	F3a(z)	D3b(z)	P3b	F3b(z)
离子类型 2						
	入射角度 ϕa			入射角度 ϕb		
能量	晶体缺陷	反射概率	权重	晶体缺陷	反射概率	权重
E1	D1a'(z)	P1a'	F1a'(z)	D1b'(z)	P1b'	F1b'(z)
E2	D2a'(z)	P2a'	F2a'(z)	D2b'(z)	P2b'	F2b'(z)
E3	D3a'(z)	P3a'	F3a'(z)	D3b'(z)	P3b'	F3b'(z)

图 4

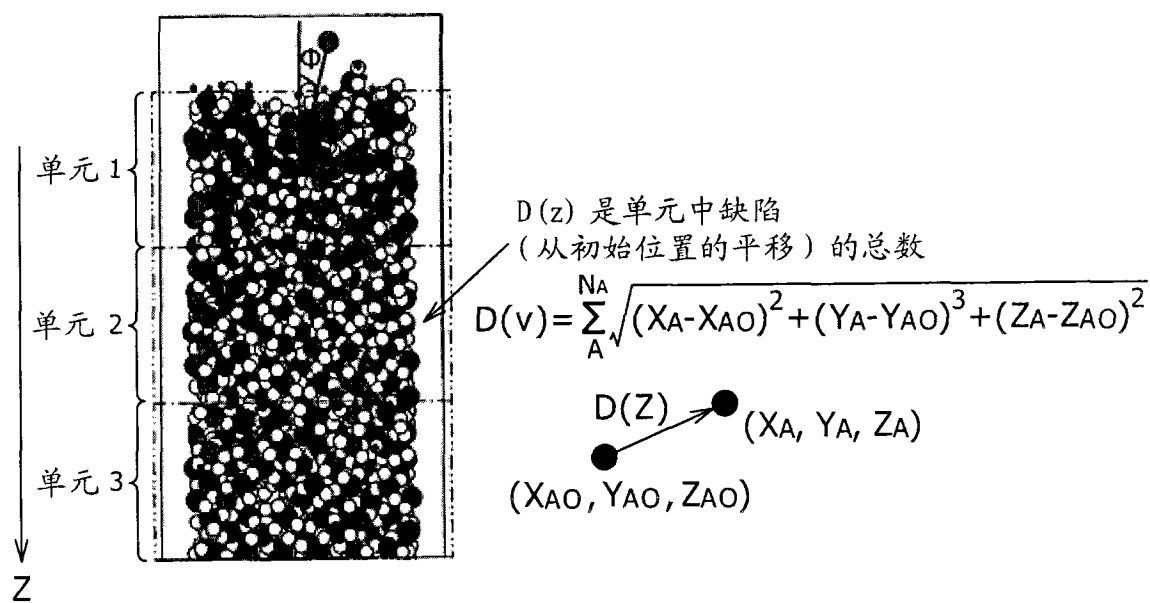
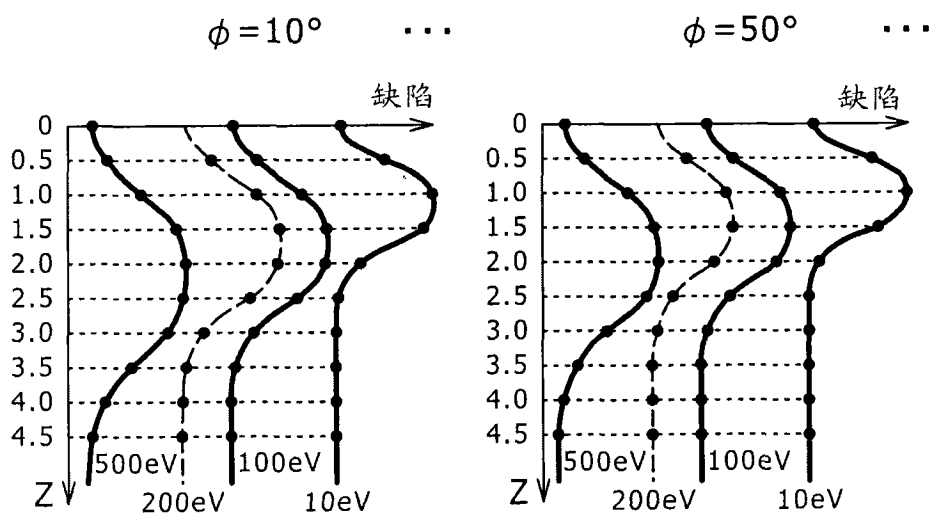
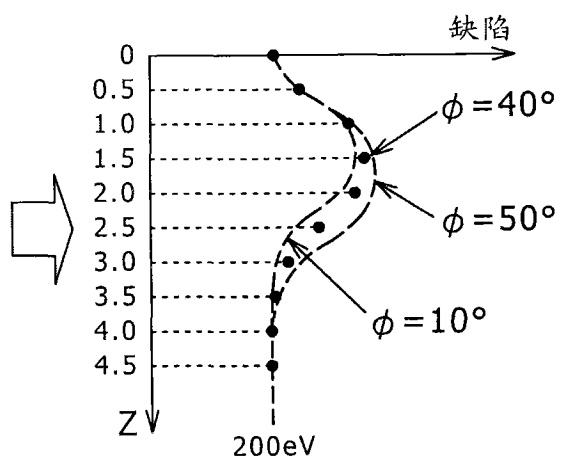


图 5



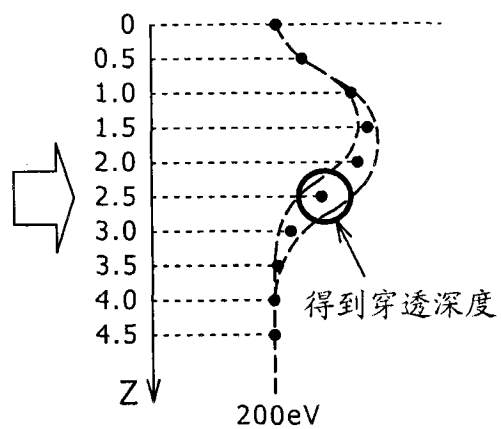
基于针对不同入射角度 ϕ 的能量的内插

图 6A



通过内插，针对所期望的入射角度
来计算损伤分布

图 6B



生成加权随机数以确定穿透深度

图 6C

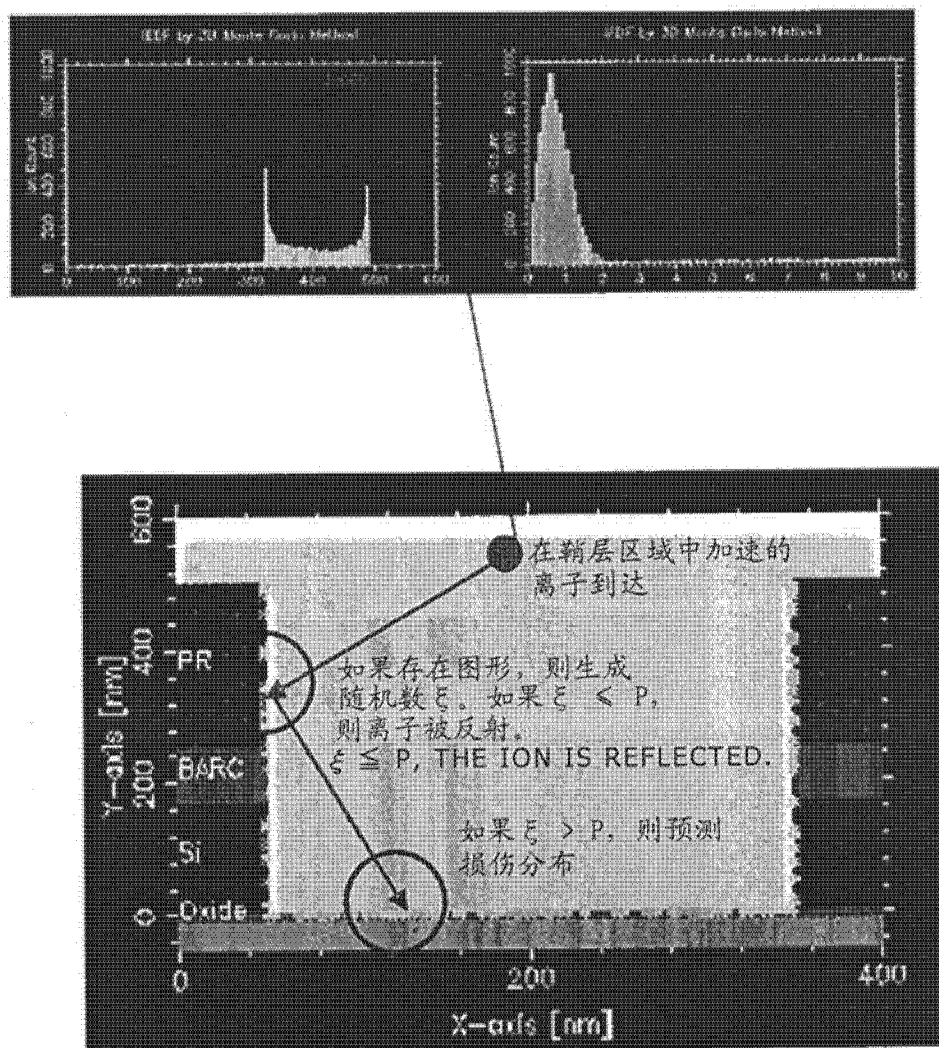


图 7

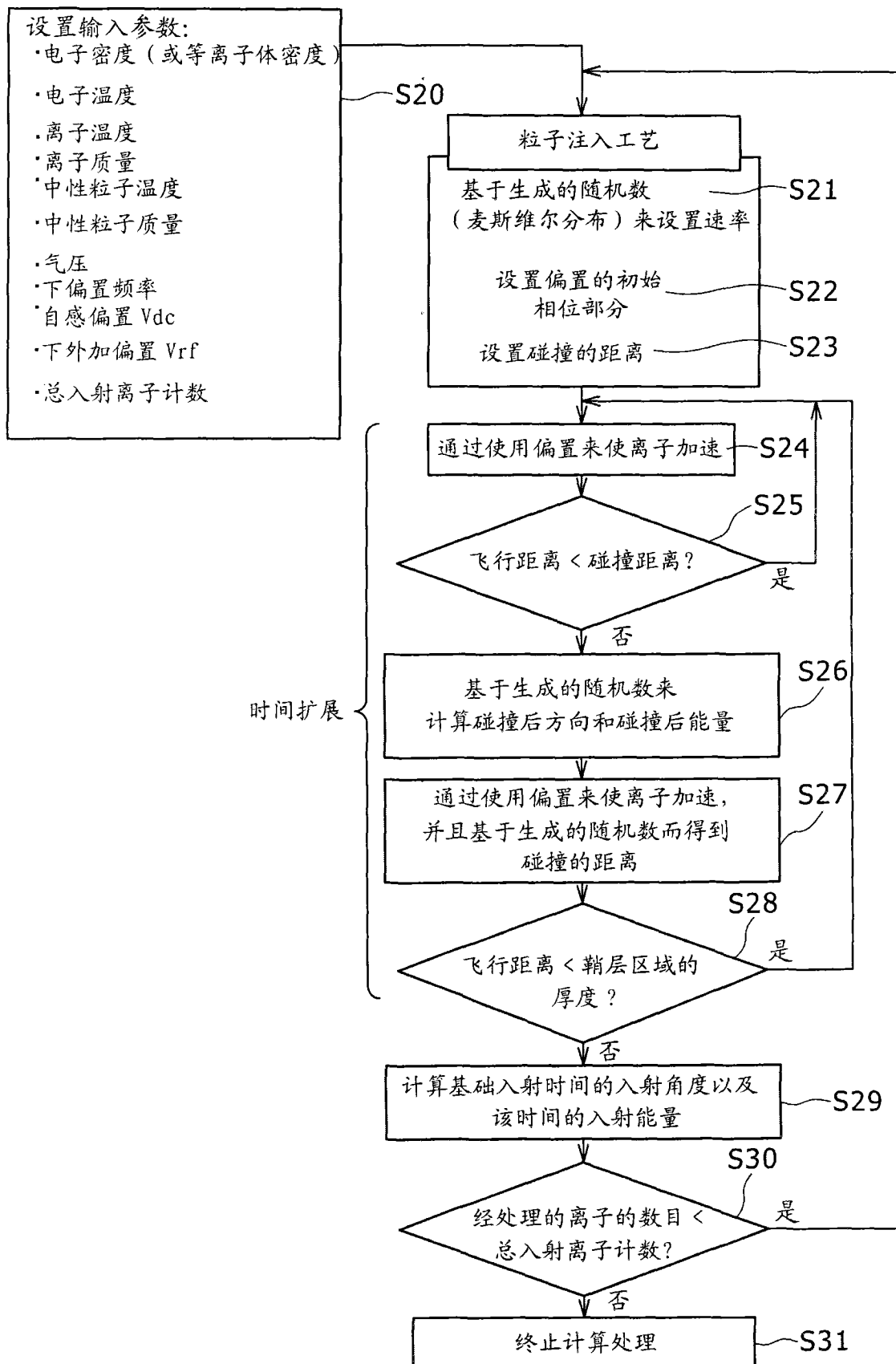


图 8

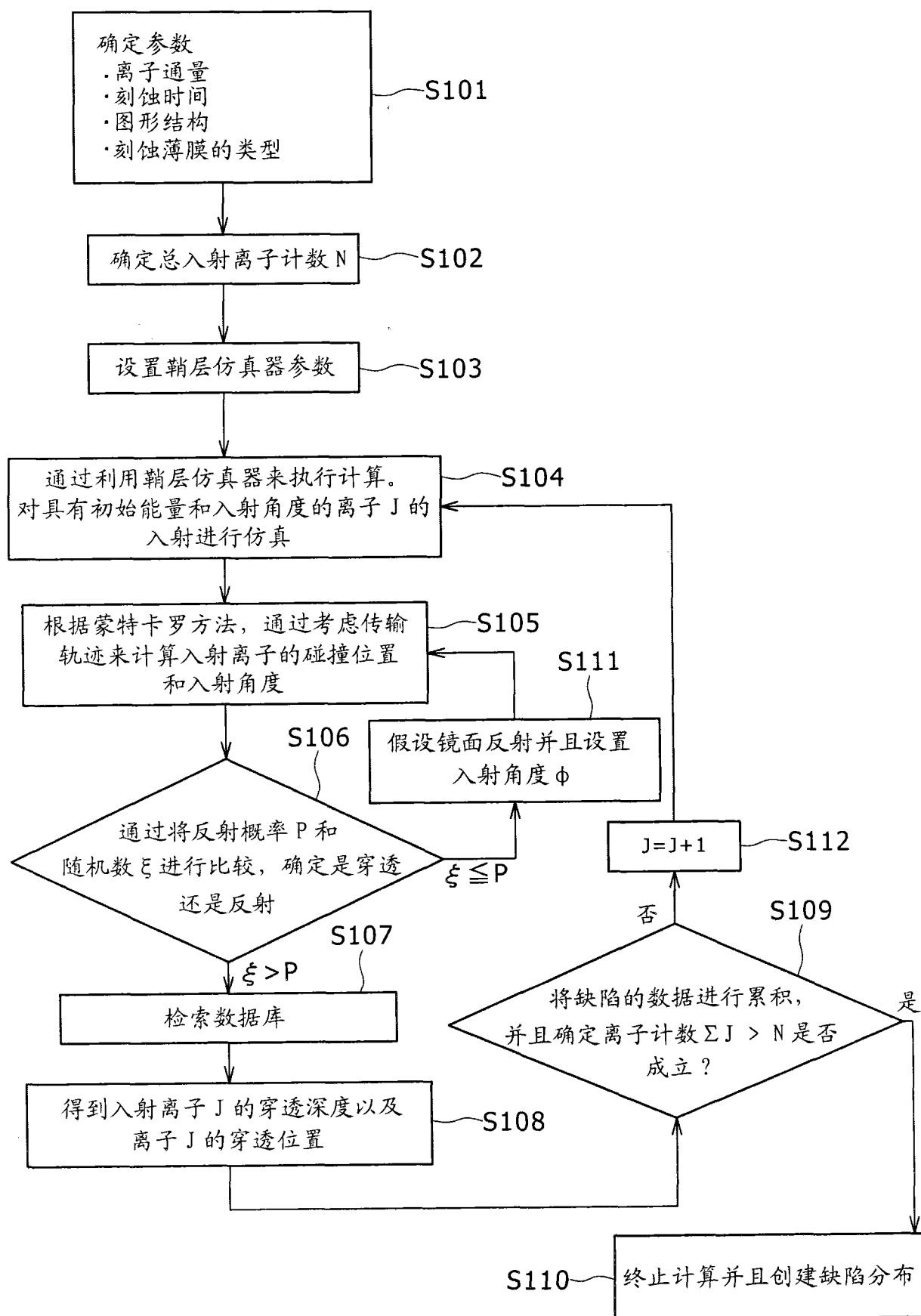


图 9

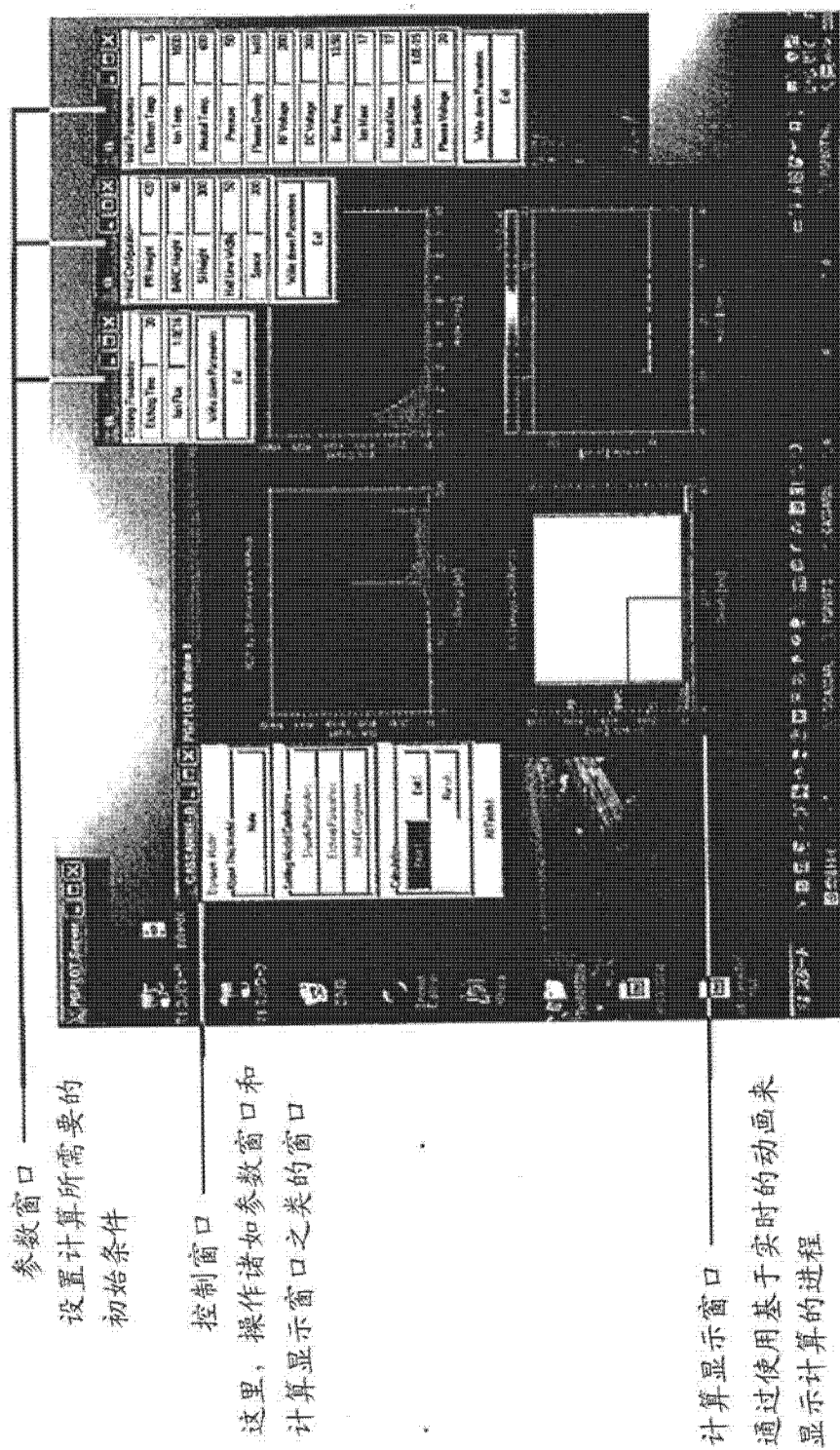


图 10

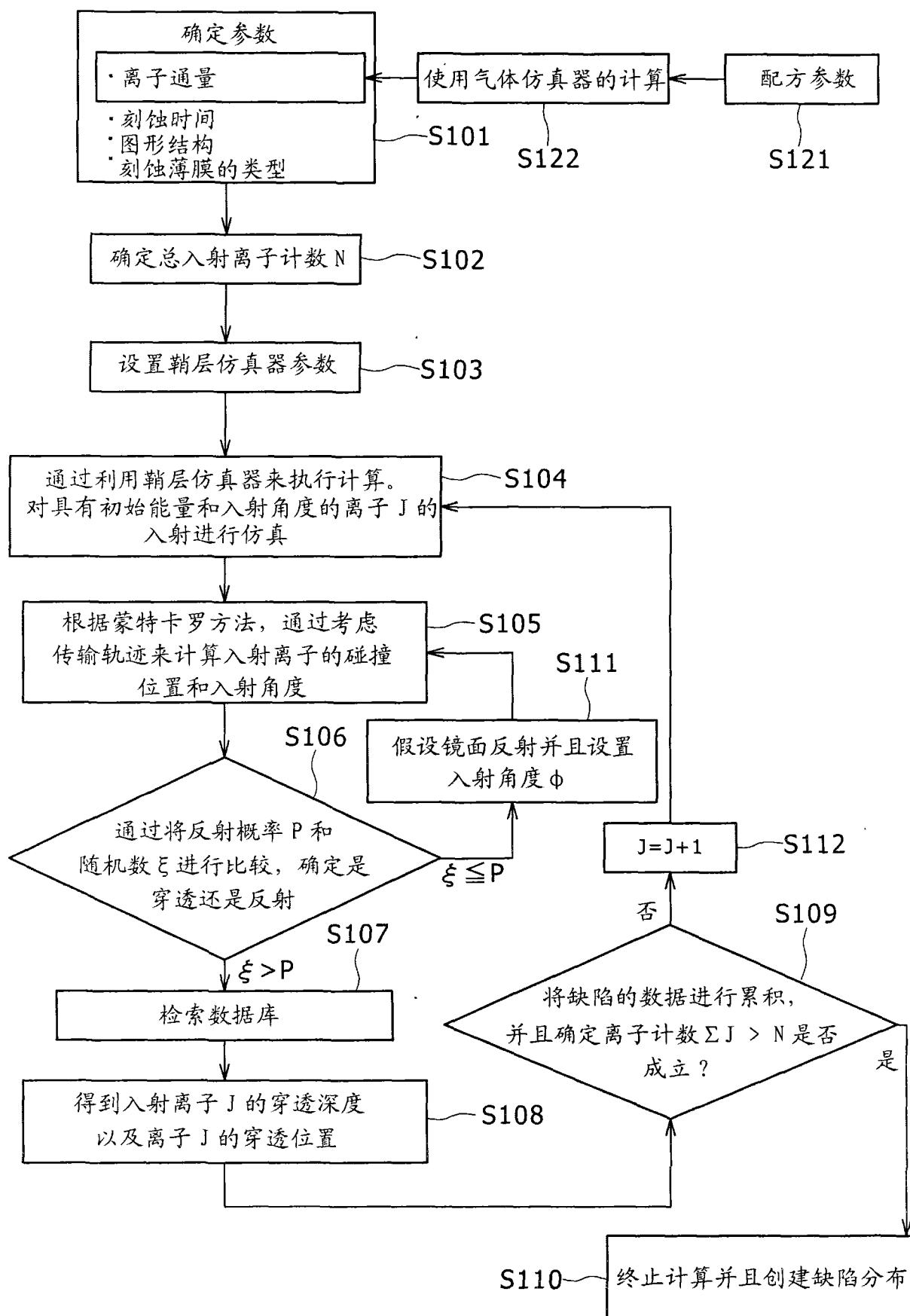


图 11

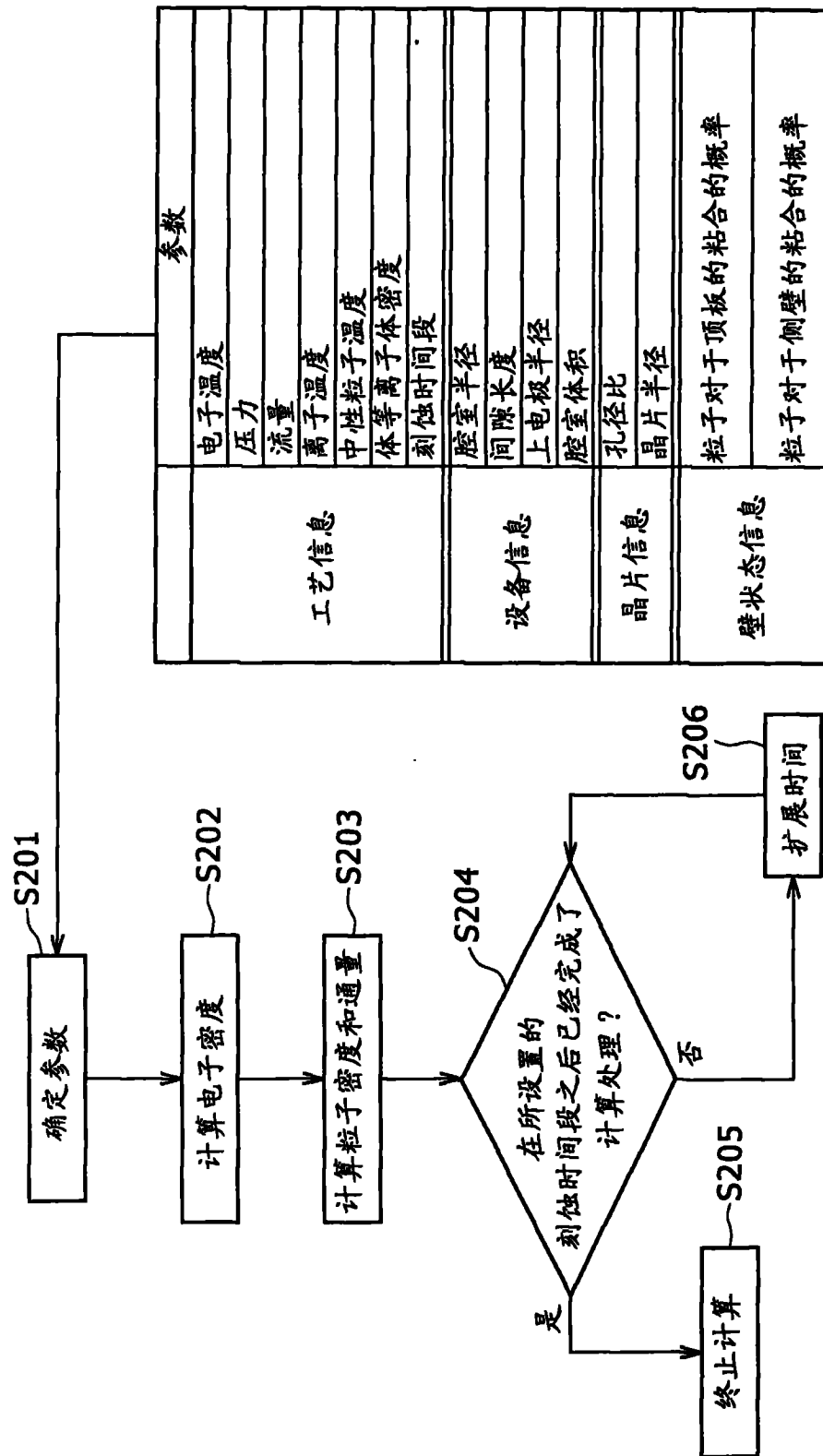


图 12

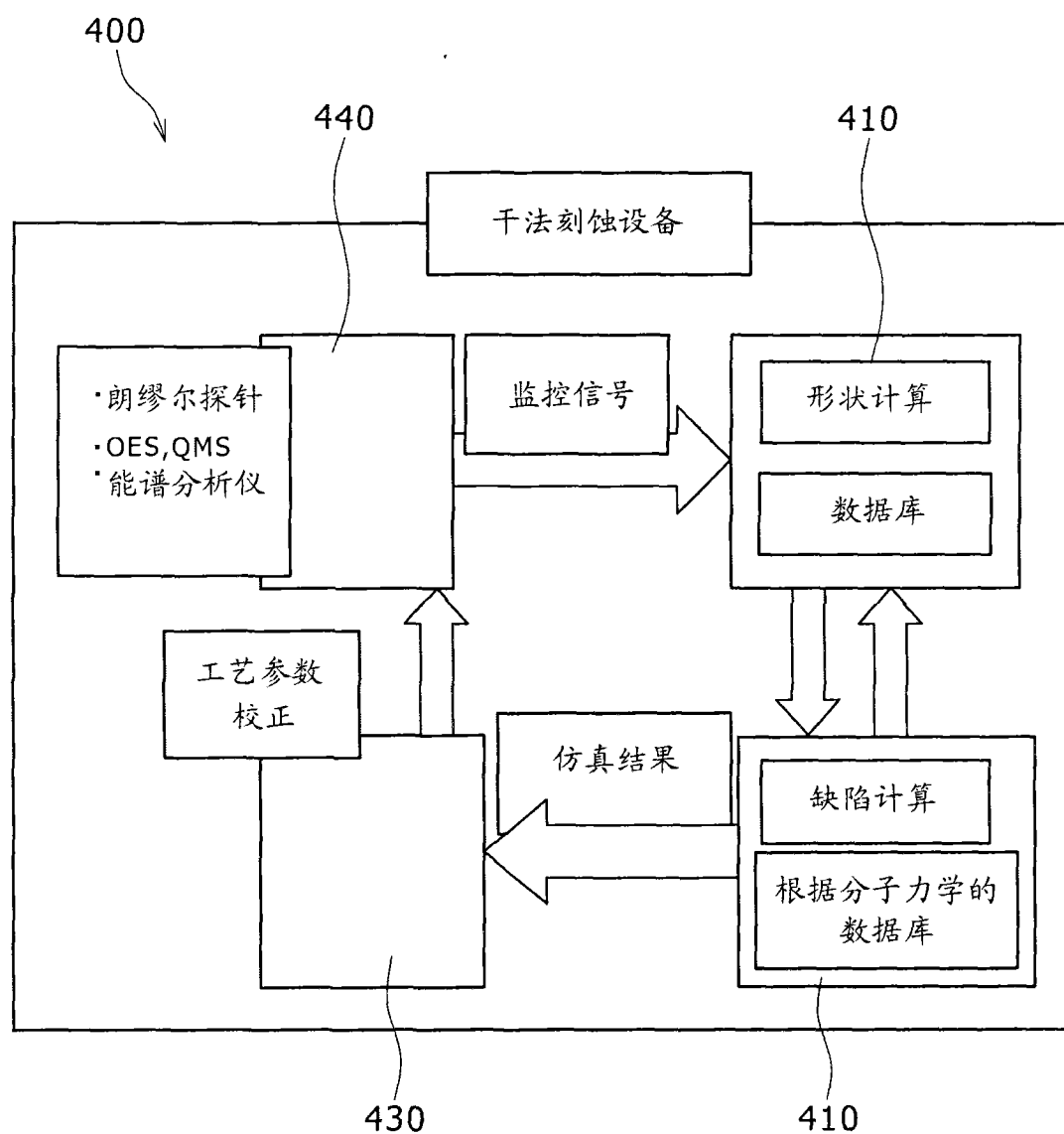


图 13

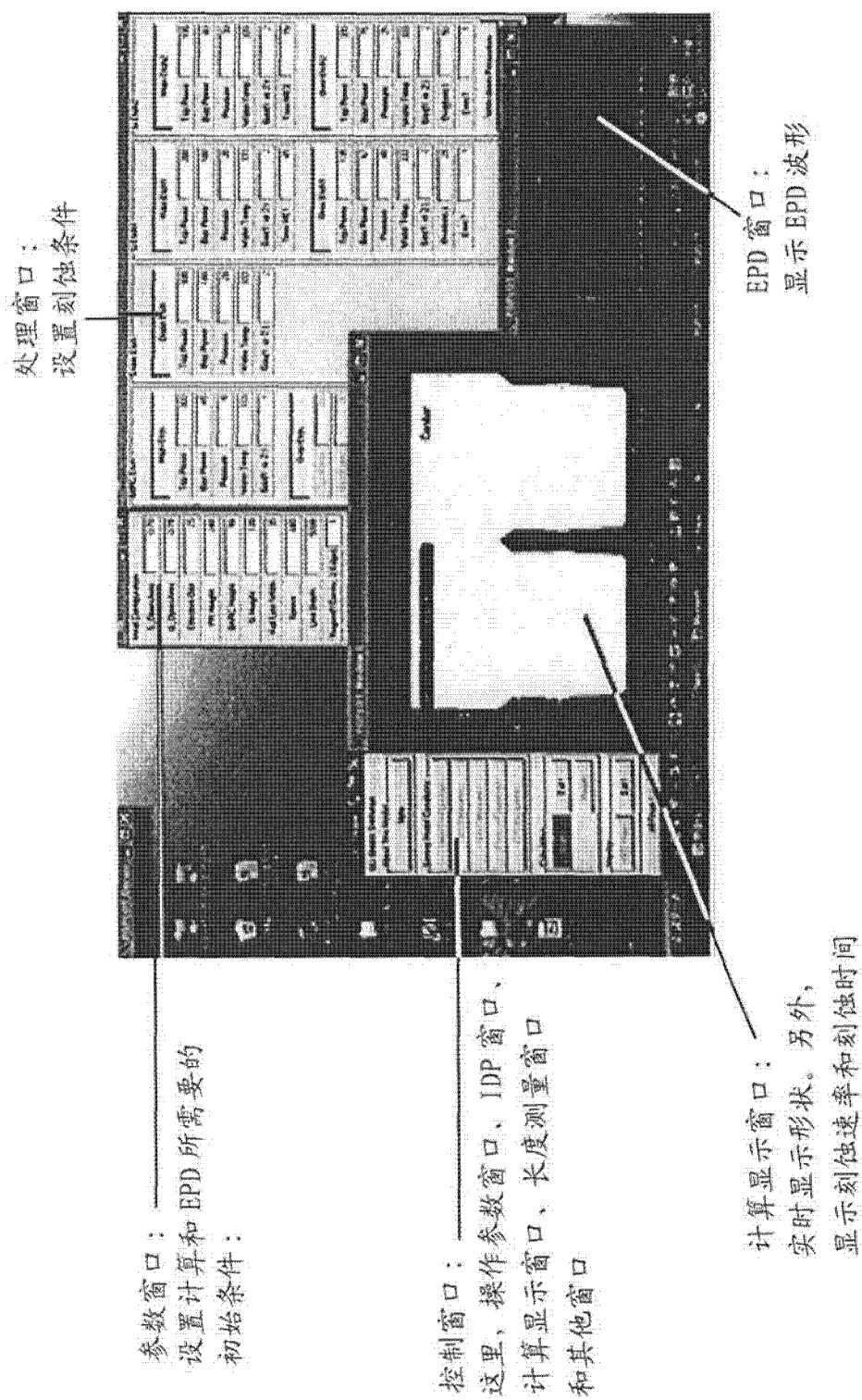


图 14

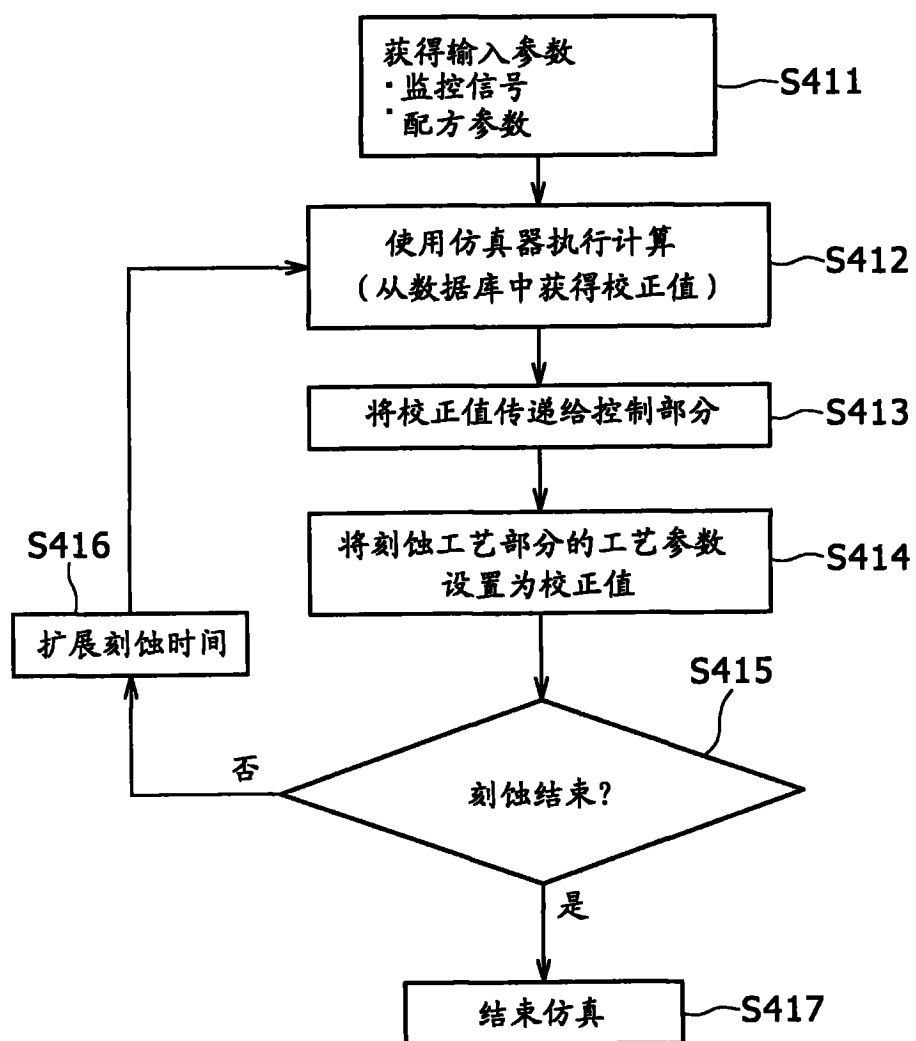


图 15

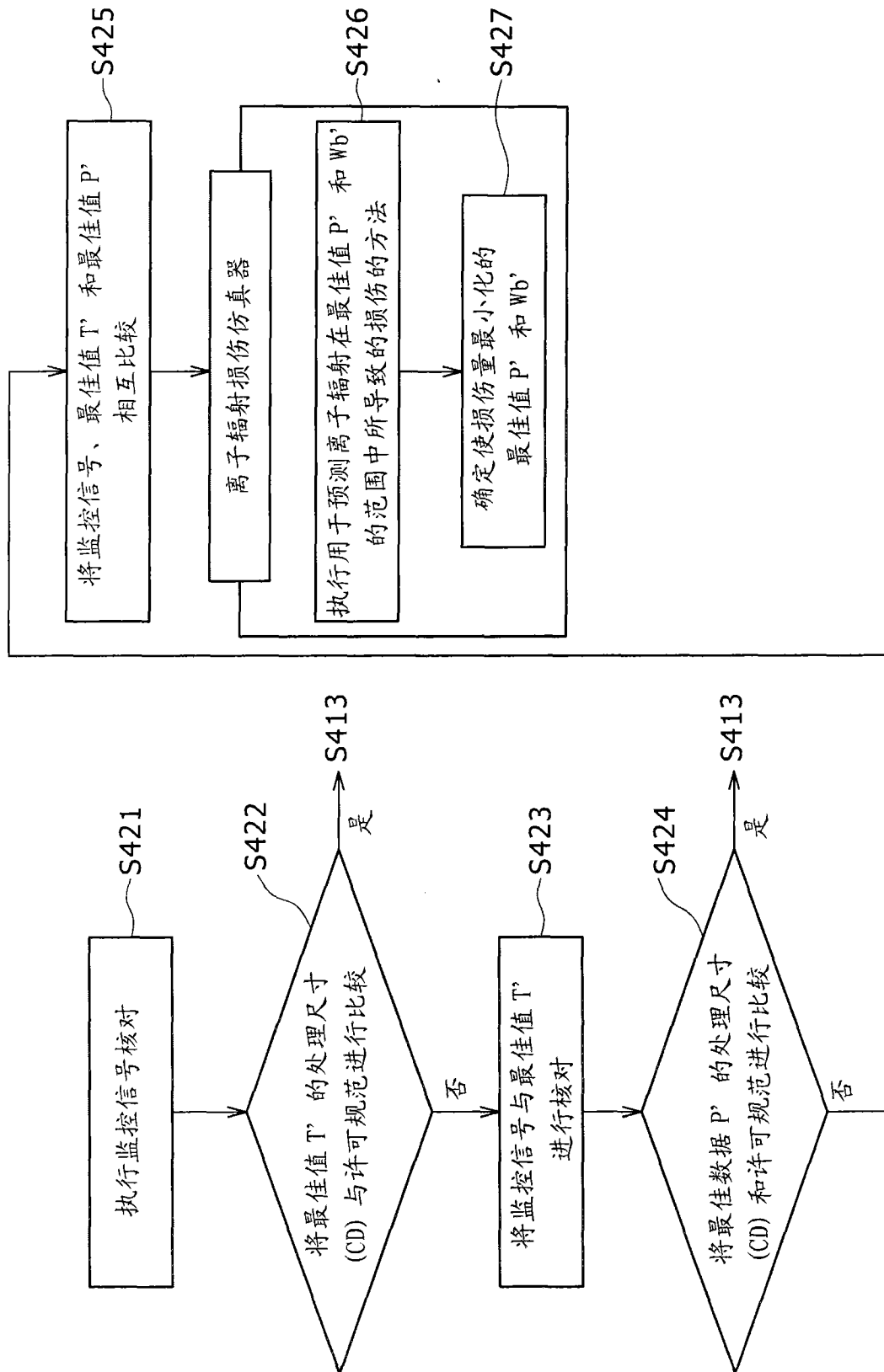


图 16

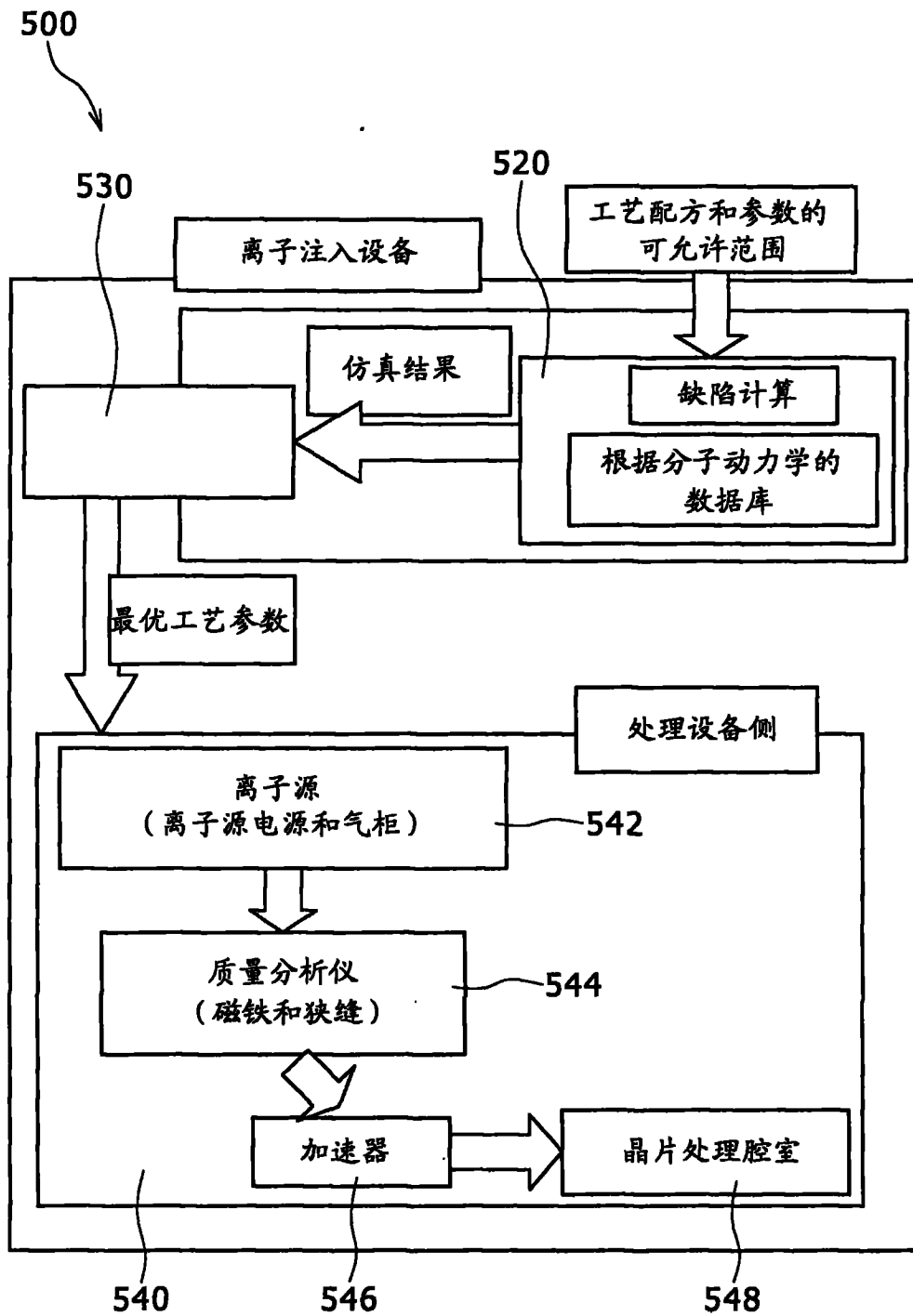


图 17

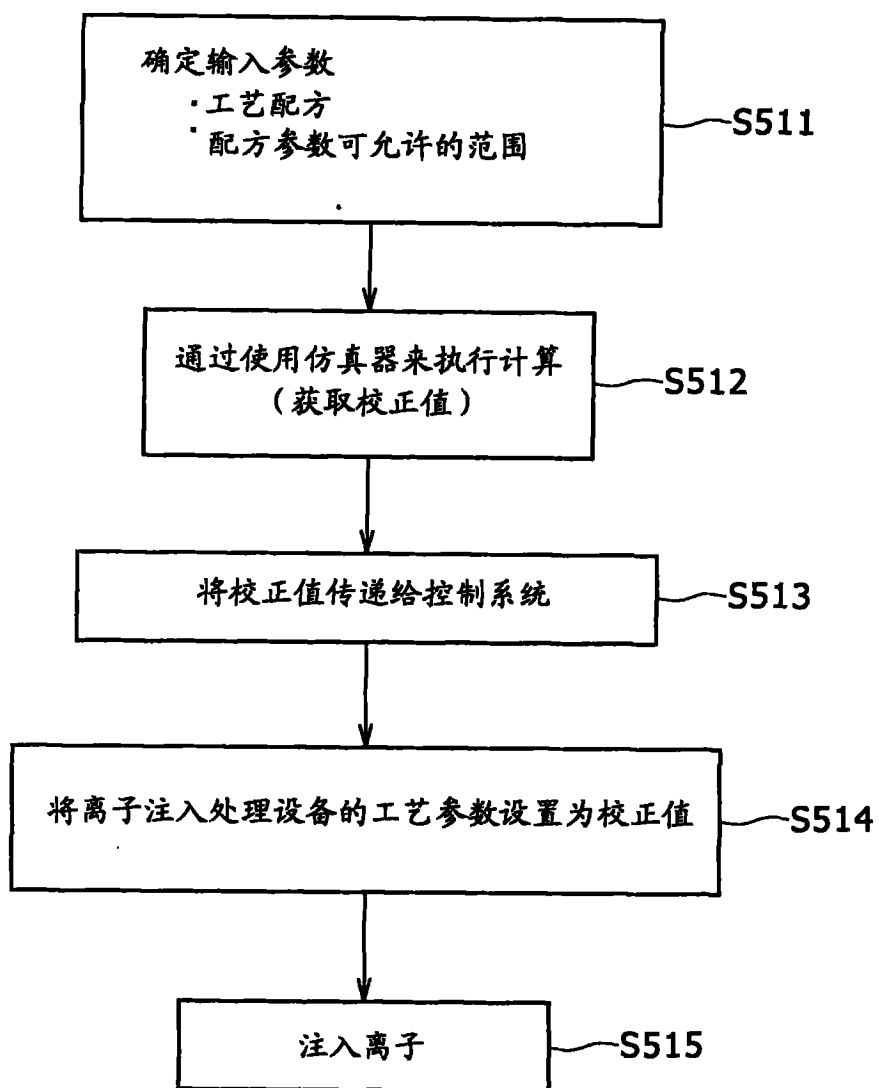


图 18