



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110276470 B

(45) 授权公告日 2023. 04. 18

(21) 申请号 201811578970.4

(22) 申请日 2018.12.21

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110276470 A

(43) 申请公布日 2019.09.24

(30) 优先权数据
2018-046238 2018.03.14 JP

(73) 专利权人 株式会社日立高新技术
地址 日本东京都

(72) 发明人 奥山裕 大森健史 栗原优
中田百科

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任
公司 11021
专利代理师 高颖

(51) Int.Cl.

G06Q 10/04 (2023.01)

G06Q 50/04 (2012.01)

H01J 37/32 (2006.01)

H01L 21/3065 (2006.01)

G06N 3/08 (2023.01)

(56) 对比文件

CN 104657777 A, 2015.05.27

CN 105321120 A, 2016.02.10

US 2004167721 A1, 2004.08.26

US 2013258058 A1, 2013.10.03

US 6578575 B1, 2003.06.17

李斌 等. 一种寻找Heston期权定价模型参
数的新方法.《数量经济技术经济研究》.2015,

审查员 郑舒玲

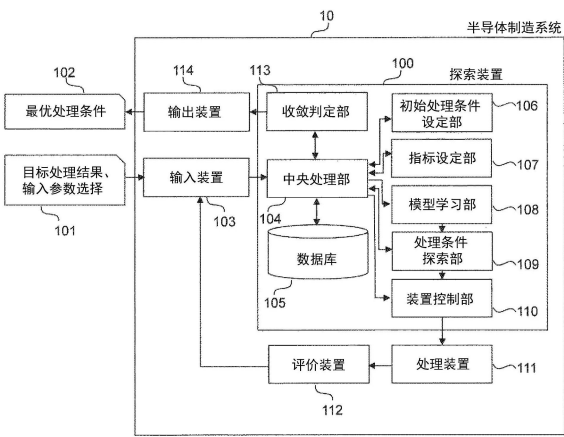
权利要求书3页 说明书11页 附图10页

(54) 发明名称

探索装置、探索方法以及等离子处理装置

(57) 摘要

本发明提供探索装置、探索方法以及等离子处理装置。实现处理装置中的最优处理条件探索的高效化。模型学习部(108)根据学习数据来学习预测模型,指标设定部(107)通过对目标输出参数值和学习数据的输出参数值当中最接近目标输出参数值的输出参数值之间进行插值,来设定指标输出参数值,处理条件探索部(109)使用预测模型来推定与目标输出参数值以及指标输出参数值对应的输入参数值,模型学习部(108)将处理条件探索部推定出的输入参数值和处理装置根据该推定出的输入参数值进行处理的结果即输出参数值的组用作追加学习数据,来更新预测模型。



1. 一种探索装置,对进行给定的处理的处理装置探索与提供给所述处理装置的目标输出参数值对应的所述处理装置的控制参数即输入参数值,

所述探索装置的特征在于,具有:

处理器;

存储器;和

探索程序,其存放于所述存储器,通过由所述处理器执行来探索与所述目标输出参数值对应的输入参数值,

所述探索程序具有:模型学习部、指标设定部、处理条件探索部、和收敛判定部,

所述模型学习部根据学习数据来学习预测模型,其中,所述学习数据是所述处理装置的输入参数值和所述处理装置根据该输入参数值进行处理的结果即输出参数值的组,

所述指标设定部通过对所述目标输出参数值和所述学习数据的输出参数值当中最接近所述目标输出参数值的输出参数值之间进行插值,来设定指标输出参数值,

所述处理条件探索部使用所述预测模型来推定与所述目标输出参数值以及所述指标输出参数值对应的输入参数值,

所述收敛判定部判定所述处理装置根据所述处理条件探索部推定出的输入参数值进行处理的结果即输出参数值是否收敛到所述目标输出参数值的给定的范围内,

在所述收敛判定部判定为未收敛的情况下,所述模型学习部将所述处理条件探索部推定出的输入参数值和所述处理装置根据所述推定出的输入参数值进行处理的结果即输出参数值的组追加到所述学习数据来更新所述预测模型,并且所述指标设定部重新设定所述指标输出参数值,由此继续进行与所述目标输出参数值对应的输入参数值的探索。

2. 根据权利要求1所述的探索装置,其特征在于,

所述存储器存放表示所述处理装置的输入参数的能设定范围的表格,

所述探索程序具有初始处理条件设定部,

所述初始处理条件设定部基于所述表格来设定多个初始输入参数值,使得在所述预测模型中使用的输入参数各自包含三个标准的值,

所述模型学习部将所述初始输入参数值和所述处理装置根据该初始输入参数值进行处理的结果即初始输出参数值的组用作初始学习数据来学习所述预测模型。

3. 根据权利要求2所述的探索装置,其特征在于,

将所述三个标准设为最大值、最小值、平均值。

4. 根据权利要求1所述的探索装置,其特征在于,

所述指标设定部在所述目标输出参数值和最接近所述目标输出参数值的输出参数值之间设定多个所述指标输出参数值。

5. 根据权利要求1所述的探索装置,其特征在于,

将所述收敛判定部判定为收敛的输入参数值作为与所述目标输出参数值对应的输入参数值进行输出。

6. 根据权利要求1所述的探索装置,其特征在于,

所述收敛判定部基于所述目标输出参数值和所述处理装置进行处理的结果即输出参数值之间的误差以及对目标输出参数给出的权重来判定是否收敛。

7. 根据权利要求1~6中任一项所述的探索装置,其特征在于,

所述处理装置是对半导体或包含半导体的半导体器件进行处理的装置、或对材料进行合成处理的合成装置。

8. 一种探索方法,使用探索装置对进行给定的处理的处理装置探索与提供给所述处理装置的目标输出参数值对应的所述处理装置的控制参数即输入参数值,

所述探索方法的特征在于,

所述探索装置具有:模型学习部、指标设定部、处理条件探索部、和收敛判定部,

所述模型学习部根据学习数据来学习预测模型,其中,所述学习数据是所述处理装置的输入参数值和所述处理装置根据该输入参数值进行处理的结果即输出参数值的组,

所述指标设定部通过对所述目标输出参数值和所述学习数据的输出参数值当中最接近所述目标输出参数值的输出参数值之间进行插值,来设定指标输出参数值,

所述处理条件探索部使用所述预测模型来推定与所述目标输出参数值以及所述指标输出参数值对应的输入参数值,

所述收敛判定部判定所述处理装置根据所述处理条件探索部推定出的与所述目标输出参数值对应的输入参数值进行处理的结果即输出参数值是否收敛到所述目标输出参数值,

在所述收敛判定部判定为未收敛的情况下,所述模型学习部将所述处理条件探索部推定出的输入参数值和所述处理装置根据该输入参数值进行处理的结果即输出参数值的组追加到所述学习数据,所述模型学习部更新所述预测模型,并且所述指标设定部重新设定所述指标输出参数值,由此继续进行与所述目标输出参数值对应的所述输入参数值的探索。

9. 根据权利要求8所述的探索方法,其特征在于,

在所述收敛判定部判定为收敛的情况下,将所述收敛判定部判定为收敛的输入参数值作为与所述目标输出参数值对应的输入参数值进行输出。

10. 根据权利要求8所述的探索方法,其特征在于,

所述探索装置具有初始处理条件设定部,

所述初始处理条件设定部基于所述处理装置的输入参数的能设定范围来设定多个初始输入参数值,使得在所述预测模型中使用的输入参数各自包含三个标准的值,

所述模型学习部将所述初始输入参数值和所述处理装置根据该初始输入参数值进行处理的结果即初始输出参数值的组用作初始学习数据来学习所述预测模型。

11. 一种等离子处理装置,使用等离子对样品进行等离子处理,

所述等离子处理装置的特征在于,具有:

处理室;

等离子生成装置,其在所述处理室内生成等离子;和

控制装置,其探索与所述样品的目标输出参数值对应的装置的控制参数即输入参数值,根据探索到的输入参数值来控制所述等离子生成装置,以便进行载置在所述处理室内的所述样品的等离子处理,

所述控制装置执行如下处理:

根据学习数据来学习预测模型,其中,所述学习数据是给定的输入参数值和根据该给定的输入参数值对所述样品进行等离子处理的结果即输出参数值的组,

通过对所述目标输出参数值和所述学习数据的输出参数值当中最接近所述目标输出参数值的输出参数值之间进行插值,来设定指标输出参数值,

使用所述预测模型来推定与所述目标输出参数值以及所述指标输出参数值对应的输入参数值,

在判定为根据使用所述预测模型推定出的与所述目标输出参数值对应的输入参数值对所述样品进行等离子处理的结果即输出参数值收敛到所述目标输出参数值的情况下,控制所述等离子生成装置,以便根据判定为收敛的输入参数值进行所述样品的等离子处理,

在判定为根据使用所述预测模型推定出的与所述目标输出参数值对应的输入参数值对所述样品进行等离子处理的结果即输出参数值未收敛到所述目标输出参数值的情况下,将所述推定出的输入参数值和根据该输入参数值对所述样品进行等离子处理的结果即输出参数值的组追加到所述学习数据,来更新所述预测模型,并且重新设定所述指标输出参数值,由此继续进行与所述目标输出参数值对应的输入参数值的探索。

12. 根据权利要求11所述的等离子处理装置,其特征在于,

所述控制装置基于输入参数的能设定范围来设定多个初始输入参数值,使得在所述预测模型中使用的输入参数各自包含三个标准的值,

将所述初始输入参数值和根据该初始输入参数值对所述样品进行等离子处理的结果即初始输出参数值的组用作初始学习数据来学习所述预测模型。

13. 根据权利要求11或12所述的等离子处理装置,其特征在于,

所述目标输出参数值作为表示所述样品的等离子处理后的处理形状的尺寸而给出。

探索装置、探索方法以及等离子处理装置

技术领域

[0001] 本发明涉及探索处理的最优解的探索装置、探索方法以及具有进行处理的最优化的功能的等离子处理装置。

背景技术

[0002] 近年来,为了提升半导体器件的性能,对半导体器件导入新材料,同时半导体器件的结构正变得立体化、复杂化。另外,在当前的尖端半导体器件的加工中要求纳米级的精度。因此,半导体处理装置需要将多种材料高精度地加工成各种形状,必然会成为具备大量控制参数(输入参数)的装置。

[0003] 与此相伴,为了充分发挥半导体处理装置的性能,需要决定几种到几十种的控制参数。因此,随着装置的性能提升,装置复杂化,找到能得到所期望的加工结果的控制参数的组合越来越困难。这会引起器件开发的长期化,成为开发成本增大的原因。

[0004] 因此,需要半自动地探索最优的控制参数从而容易地发挥装置的性能的功能或装置。

[0005] 另外,并不限于半导体处理装置,最优解探索是在各种产品的制造、开发阶段会遇到的问题。例如,在针对金属、塑料产品的加工装置的条件设置、高分子、电池、磁铁、医药品等中所使用的高功能新材料的探索等中会遇到。

[0006] 专利文献1公开了具备自主学习引擎且根据半导体处理装置伴随时间的变化来自自动补正装置的输入参数值的方法以及系统。

[0007] 专利文献2公开了使用机器学习来自动补正研磨加工装置的输入参数值的装置。

[0008] 现有技术文献

[0009] 专利文献

[0010] 专利文献1:JP特表2013-518449号公报

[0011] 专利文献2:JP特开平10-86039号公报

[0012] 专利文献1以及专利文献2的方法是,在事先通过某些实验求得最优的输入参数值的基础上,追随装置在之后伴随时间的变化。因此,初始的最优条件本身依然需要通过要求大量工时的实验来决定。

[0013] 另外,在专利文献1以及专利文献2的方法中,在自主学习引擎的学习和机器学习中的预测模型的学习中使用大量的学习数据。所谓学习数据,在处理装置的情况下,是由作为装置的控制参数的输入参数值和表征处理装置的处理结果的输出参数值的组构成的数据的汇集。但是,一般,大多情形下,取得输出参数值都会很费事。例如,在作为半导体处理装置之一的蚀刻装置中,为了取得加工结果的数据而需要切割样品,将截面在电子显微镜下进行观察,并将截面形状数值化。在这样的情况下,准备大量的数据会存在困难。

[0014] 由于所能准备的学习数据数越多则预测模型的精度越提升,因此会按照在装置的规格内无遗漏地分派输入参数的条件来作成学习数据。或者,若用户有领域知识且能限定可得到最优解那样的参数区域,就也能对该区域分配大量的数据点。但是,即使以所能准备

的数目,例如以百的级别的数据数来使模型得到学习,在输入参数的种类多的情况下,也可预料到会出现预测模型的精度不充分而得不到所期望的结果。在该情况下,需要一边在认为包含最优解的区域中追加数据点并更新预测模型,一边继续探索解。在该方法中,初始学习数据的作成本身需要大量工时,这也会成为课题。

发明内容

[0015] 本发明的目的在于,通过在使用少数数据的同时效率良好地探索实现设为目标的处理结果的处理装置的最优输入参数值(最优处理条件)来实现装置运用的高效化。

[0016] 本发明的一个方案的探索装置,对进行给定的处理的处理装置探索与提供给处理装置的目标输出参数值对应的处理装置的控制参数即输入参数值,该探索装置具有:处理器;存储器;和探索程序,其存放于存储器,通过由处理器执行来探索与目标输出参数值对应的输入参数值,探索程序具有:模型学习部、指标设定部、处理条件探索部、和收敛判定部,模型学习部利用学习数据来学习预测模型,其中,学习数据是处理装置的输入参数值和处理装置根据该输入参数值进行处理的结果即输出参数值的组,指标设定部通过对目标输出参数值和学习数据的输出参数值当中最接近目标输出参数值的输出参数值之间进行插值,来设定指标输出参数值,处理条件探索部使用预测模型来推定与目标输出参数值以及指标输出参数值对应的输入参数值,收敛判定部判定处理装置根据处理条件探索部推定出的输入参数值进行处理的结果即输出参数值是否收敛到目标输出参数值的给定的范围内,在收敛判定部判定为未收敛的情况下,模型学习部将处理条件探索部推定出的输入参数值和处理装置根据推定出的输入参数值进行处理的结果即输出参数值的组追加到学习数据并更新预测模型,并且指标设定部重新设定指标输出参数值,由此继续进行与目标输出参数值对应的输入参数值的探索。

[0017] 发明效果

[0018] 能实现处理装置中的运用的高效化以及处理的最优化。前述以外的课题、结构以及效果通过以下实施例的说明会变得明确。

附图说明

[0019] 图1是表示半导体制造系统的系统结构例的图。

[0020] 图2是表示探索装置的硬件结构的框图。

[0021] 图3是根据目标处理结果决定最优处理条件的流程图。

[0022] 图4是用于说明例示的目标输出参数的图。

[0023] 图5是目标输出参数的示例。

[0024] 图6是表示输入参数的能设定范围的表格。

[0025] 图7是输入参数的选择例。

[0026] 图8是自动设定的初始处理条件。

[0027] 图9是根据初始处理条件进行处理而得到的输出参数值(初始处理结果)。

[0028] 图10是根据初始处理条件进行处理而得到的加工形状的图。

[0029] 图11是表示重复进行推定时的输出参数值(处理结果)的推移的图。

[0030] 图12是表示重复进行推定时的加工形状的推移的图。

- [0031] 图13是表示材料合成系统的系统结构例的图。
- [0032] 图14是目标输出参数的示例。
- [0033] 图15是表示输入参数的能设定范围的表格。
- [0034] 图16是输入参数的选择例。
- [0035] 图17是自动设定的初始处理条件。
- [0036] 图18是具有最优处理条件探索功能的等离子处理装置的概略图。
- [0037] 附图标记说明
- [0038] 10 半导体制造系统
- [0039] 20 材料合成系统
- [0040] 100 探索装置
- [0041] 103 输入装置
- [0042] 104 中央处理部
- [0043] 105 数据库
- [0044] 106 初始处理条件设定部
- [0045] 107 指标设定部
- [0046] 108 模型学习部
- [0047] 109 处理条件探索部
- [0048] 110 装置控制部
- [0049] 111 处理装置
- [0050] 112 评价装置
- [0051] 113 收敛判定部
- [0052] 114 输出装置
- [0053] 115 接口
- [0054] 116 处理器
- [0055] 117 ROM
- [0056] 118 RAM
- [0057] 211 合成装置
- [0058] 212 分析装置

具体实施方式

[0059] 在最优解的探索中,不需要遍及整个参数空间来作成高精度的预测模型,只要是仅能高精度地预测最优解附近的预测模型就足够了。对最优解探索这样的目的而言,参数空间中远离最优解的数据点的贡献小,最优解附近的数据点的贡献大。即,无遗漏地配置在参数空间内的大部分数据点的贡献小。因此,由于期望极力减少初始学习数据数,因此在本实施例,作为初始学习数据,设定对参数空间内进行探索所需的最小限的个数。例如,关于各参数,设定最大值、最小值和平均值这三个标准。或者,可以根据参数数,基于正交表来设定条件。

[0060] 另一方面,在追加学习数据来提升预测模型的精度时,期望接近最优解来作出贡献大的数据。在作成初始学习数据的时间点,虽然不能瞄准最优解的附近来设定数据点,但

只要存在进行了一次学习的预测模型,就能在该时间点的预测模型的精度的范围内推定最优的输入参数值,该值是位于真正的最优解(全局解)的附近或局部解的附近的数据点的可能性高。在此,若采用一边缩小进行探索的参数空间的范围一边探索解的逼近(approach)的方法,则在数据数少的情况下落入局部解的可能性高。因此,在本实施例中,设定输出参数值接近目标输出参数值的指标输出参数值,使用该时间点的预测模型来反算与其对应的输入参数值。该输入参数值应该是位于局部解或全局解的附近的数据。通过重复这一过程,能不落入局部解地探索全局解。

[0061] 通过以上,设定接近目标输出参数值的指标输出参数值,同目标输出参数值(目标处理结果)一起探索针对指标输出参数值的输入参数值(处理条件),以便使初始学习数据的数目仅设定成在参数空间内进行探索所需的最小限的个数,另一方面,作为追加的学习数据,成为位于局部解、最优解附近的数据。由此,能抑制所使用的数据数,并能效率良好地探索最优解。

[0062] 以下,基于附图来说明本发明的实施方式。

[0063] 【实施例1】

[0064] 图1是表示半导体制造系统的系统结构例的图。半导体制造系统10具有:探索装置100、输入装置103、输出装置114、处理装置111、和评价装置112。

[0065] 处理装置111是对半导体或包含半导体的半导体器件进行处理的装置。处理装置111的处理内容并没有特别限定。例如,包含光刻装置、成膜装置、图案加工装置、离子注入装置、清洗装置。在光刻装置中例如包含曝光装置、电子射线描绘装置、X射线描绘装置。成膜装置例如包含CVD (Chemical Vapor Deposition, 化学气相沉积)、PVD (Physical Vapor Deposition, 物理气相沉积)、蒸镀装置、溅射装置、热氧化装置。图案加工装置例如包含湿式蚀刻装置、干式蚀刻装置、电子束加工装置、激光加工装置。离子注入装置例如包含等离子掺杂装置、离子束掺杂装置。清洗装置例如包含液体清洗装置、超声波清洗装置。

[0066] 处理装置111基于从探索装置100输入的处理条件(输入参数值)来进行半导体或半导体器件的处理,并交付给评价装置112。评价装置112测量由处理装置111处理过的半导体或半导体器件,并取得处理结果(输出参数值)。评价装置112包含利用光学式监视器、电子显微镜的加工尺寸测量装置。也可以将由处理装置111处理过的半导体或半导体器件的一部分作为断片取出,将该断片运送到评价装置112来测量。

[0067] 探索装置100具有:中央处理部104、数据库105、初始处理条件设定部106、指标设定部107、模型学习部108、处理条件探索部109、装置控制部110、和收敛判定部113。关于各个方框的内容使用流程图后述。

[0068] 输入装置103具备GUI等输入界面和读卡器等存储介质读出装置,向探索装置100输入数据。另外,不仅从用户接受数据,还同样接受来自评价装置112的实测值,并输入到探索装置100。输入装置103例如包含键盘、鼠标、触控面板、存储介质读出装置等。

[0069] 输出装置114将从探索装置100交付的处理条件作为最优处理条件102向用户显示。作为进行显示的手段,有在显示器显示、或在文件写出等。输出装置114例如包含显示器、打印机、存储介质写出装置等。

[0070] 在图2示出表示探索装置100的硬件结构的框图。探索装置100探索用于实现从输入装置103输入的目标输出参数值(目标处理结果)的处理装置111的输入参数值(处理条

件)。探索装置100具有：处理器116、通信接口115、ROM117、和RAM118。通信接口115将处理器116和外部的输入装置103、输出装置114、处理装置111连接。处理器116连接通信接口115、ROM117、和RAM118。在ROM117中存放表示针对处理装置111的输入参数的能设定范围的表格、针对参数的制约条件、收敛判定条件、和由处理器116执行的处理程序。在RAM118中存放探索过程中生成的学习数据和学习模型等。

[0071] 另外，在与图1的对应中，数据库105被安装为ROM117以及RAM118，探索装置中的各方框被安装为存放在ROM117中的程序（探索程序）。

[0072] 图3是在半导体制造系统10中由探索装置100执行的根据目标处理结果（目标输出参数值）来决定处理装置的最优处理条件的流程图。

[0073] 首先，关于处理装置111所进行的处理，将设为目标的目标处理结果（目标输出参数值）以及作为对处理装置进行控制的参数来选择的输入参数101从输入装置103交接到中央处理部104（步骤S100）。

[0074] 接着，中央处理部104将接受到的目标输出参数值和选择出的输入参数存放到数据库105，并且将选择出的输入参数交付给初始处理条件设定部106。在初始处理条件设定部106中，根据所交付的输入参数从数据库105读取输入参数的能设定范围的数据，并自动设定初始处理条件（步骤S101）。关于初始处理条件的设定方法，使用具体例后述。中央处理部104将所设定的初始处理条件存放到数据库105，并且将初始处理条件交付给装置控制部110。

[0075] 装置控制部110将初始处理条件转送到处理装置111。或者，也可以由用户将装置控制部110输出的初始处理条件输入到处理装置111。处理装置111按照所输入的初始处理条件进行处理，并在评价装置112中进行评价，将取得的处理结果（初始处理结果）输入到输入装置103。中央处理部104被从输入装置103交接初始处理结果（步骤S102）。中央处理部104将初始处理条件和初始处理结果交付给收敛判定部113。

[0076] 收敛判定部113将初始处理结果与目标处理结果进行比较，判定是否在给定的精度内收敛到目标处理结果（步骤S103）。若收敛，就将收敛到目标处理结果的初始处理条件交付给输出装置114，输出装置114作为最优处理条件102进行输出（步骤S110）。

[0077] 在输出参数值（处理结果）的收敛性的判定中能使用由（数学式1）给出的与所使用的全部输出参数相关的输出参数值和目标输出参数值之间的误差的平方和。

[0078] 【数学式1】

$$\sum_{i=1}^{NP} (x_i - y_i)^2 \cdot W_i \quad (\text{数学式 1})$$

[0080] 在此，NP是所使用的输出参数的总数， x_i 是第i个目标输出参数值， y_i 是第i个输出参数值（实效值）， W_i 是用户对每个输出参数指定的权重。

[0081] 另一方面，若未收敛，则将继续进行处理的命令从收敛判定部113送到中央处理部104，中央处理部104在数据库105中作成由初始处理条件（初始输入参数值）和初始处理结果（初始输出参数值）构成的初始学习数据（步骤S104）。

[0082] 接着，中央处理部104从数据库105读入目标输出参数值（目标处理结果）和初始学

习数据,将它们交付给指标设定部107。指标设定部107设定指标处理结果(指标输出参数值)(步骤S105)。所设定的指标输出参数值被交付给中央处理部104,存放在数据库105中。

[0083] 说明由指标设定部107设定的指标处理结果(指标输出参数值)。一般,即使仅将目标输出参数值作为对象来探索最优处理条件,在学习数据数少的情况下,所得到的最佳的输出参数值(实效值)和目标输出参数值之间的背离也会很大,不能容易地接近最优处理条件(最优的输入参数值)。因此,在本实施例中,通过设定从已经得到的最佳的输出参数值即该阶段中的学习数据的最佳的输出参数值到目标输出参数值的中途阶段的目标处理结果(将其称作指标处理结果(指标输出参数值)),来一点一点地接近最优解。另外,接近目标输出参数值的数据由于若在参数空间中来看位于最优解附近的可能性高,因此还能得到增加最优解附近的学习数据来提升预测模型的精度的效果。因此,指标设定部107从已有的学习数据当中选出最接近目标输出参数值的最佳数据(输出参数值(实效值)),通过在这时对最佳的输出参数值和目标输出参数值之间进行内插插值来设定指标输出参数值。要设定的指标的个数只要是一个以上就可以是任意个,考虑效率而期望设定多个,例如设定四~五个左右。

[0084] 接着,中央处理部104从数据库105读入初始学习数据,将初始学习数据送到模型学习部108。模型学习部108对将输入参数值(处理条件)和输出参数值(处理结果)建立关系的预测模型进行学习(步骤S106)。作为预测模型,能使用神经网络、支持向量机、内核法等。学习到的预测模型被交付给处理条件探索部109。

[0085] 接着,处理条件探索部109使用从模型学习部108交付的预测模型以及从数据库105读出的对输入参数的制约条件,来探索针对从数据库105读出的目标输出参数值以及指标输出参数值的处理条件(步骤S107)。对于预测模型来说,由于处理条件是输入,处理结果成为输出,因此为了根据处理结果倒求处理条件,能使用模拟退火法、遗传算法等各种最优解探索方法。相对于此,在设为以处理结果为输入并以处理条件为输出的预测模型的情况下,得到的处理条件有可能不会收于能设定范围,另外,由于即使在不同的处理条件下也有可能给出类似的处理结果,因此会出现多个处理条件成为解的候补等问题。因此,采用使用预测模型根据处理结果来求取处理条件的方法。处理条件探索部109将探索到的处理条件(指标输入参数值)交付给装置控制部110,并且经由中央处理部104存放到数据库105中。

[0086] 装置控制部110将所交付的处理条件(指标输入参数值)转送到处理装置111。或者,可以由用户将装置控制部110输出的处理条件输入到处理装置111。处理装置111按照所输入的初始条件进行处理,在评价装置112中进行评价,将所取得的处理结果(指标输出参数值)输入到输入装置103。中央处理部104被从输入装置103交接处理结果(指标输出参数值)(步骤S108)。中央处理部104将处理条件(指标输入参数值)和处理结果(指标输出参数值)交付给收敛判定部113。

[0087] 收敛判定部113将处理结果(输出参数值(实效值))与目标处理结果(目标输出参数值)进行比较,判定是否在给定的精度内收敛到目标处理结果(步骤S109)。若收敛,则将收敛到目标处理结果的处理条件交付给输出装置114,输出装置114作为最优处理条件102输出(步骤S110)。

[0088] 另一方面,若未收敛,则将继续进行处理的命令从收敛判定部113送到中央处理部104,中央处理部104将针对新探索到的目标处理结果以及指标处理结果的处理条件(输入

参数值)和处理结果(输出参数值(实效值))的组作为追加学习数据追加到数据库105的学习数据集中,由此来更新学习数据集(步骤S104)。

[0089] 以下,直到处理结果收敛到目标处理结果为止都重复进行学习数据集的作成、更新(S104)~收敛判定(S109)的推定过程。如此,自主地探索实现目标处理结果的最优处理条件。

[0090] 以下,以处理装置111是蚀刻装置的情况为例来进行说明。图4是本例中的输出参数,各输出参数表示加工后的截面形状。加工后的截面形状通过用电子显微镜(评价装置112)读取来取得。在该示例中,使用八个输出参数:(x1)掩模顶部宽度、(x2)掩模底部宽度、(x3)加工深度、(x4)加工部顶部宽度、(x5)加工部中央部的宽度、(x6)加工部底部的宽度、(x7)加工部最大宽度、(x8)微槽的深度来记述加工后的截面形状。

[0091] 图5是输入到输入装置103的目标输出参数值的示例,给出针对图4所示的八个输出参数的目标值(尺寸)。该目标输出参数值所表示的目标形状相当于宽度800[nm]、深度1000[nm]的垂直沟槽结构的截面形状。另外,还对各输出参数给出在收敛性的计算时使用的权重。在该示例中,以如下方式进行指定,即,与记述针对掩模层的加工后的截面形状的输出参数值(x1~x2)的精度相比,更重视记述针对蚀刻对象的加工后的截面形状的输出参数值(x3~x8)的精度。

[0092] 图6是预先存放在数据库105中的表示蚀刻装置的输入参数的最大值、最小值的表格,根据装置的规格来决定。在该示例中,能使用七个输入参数。即,是气体压力、放电电力、晶片施加偏置电力、各种气体的流量。另外,各输入参数的能设定范围如以下那样,气体压力的控制范围给出1~10[Pa],放电电力的控制范围给出500~1000[W],偏置电力的控制范围给出0~100[W],气体流量的控制范围给出0~200[sccm]。

[0093] 图7是设为控制对象的输入参数的选择例,在该示例中,选择除“气体种类4”以外的六个参数。

[0094] 图8是由初始处理条件设定部106设定的初始输入参数值(初始处理条件)的示例。对用户选择出的六个输入参数(图7),基于表示输入参数的能设定范围的表格(图6)来自动设定。对于条件1来说,关于气体压力、放电电力、偏置这三个参数,设定为能控制范围的平均值,关于气体流量,均等分配地设定,使得总流量成为200[sccm]。另外,该200[sccm]这样的值是示例,可以是不超过蚀刻装置的能排气的上限值的适当的值。条件1成为条件2~13的基准值。条件2~7以条件1为基准,关于气体压力、放电电力、偏置,分别个别地分派成最大值以及最小值来设定。条件8~13以条件1为基准,关于三个气体流量,分别个别地分派成最大值以及最小值,关于剩余的两个气体流量,设定成均等分配。如此设定的13个条件关于各参数成为三个标准(最大值、最小值、平均值)以上,且该13个条件成为在由六维构成的参数空间中开始最优解探索所需的组合。另外,根据参数的个数的不同,还能不自动设定,而是使用正交表由用户设定。

[0095] 图9是按照图8的初始处理条件使蚀刻装置进行加工处理来表征其处理结果的输出参数值(实效值)(初始处理结果)。初始处理条件下的加工后的截面形状(初始处理结果)使用电子显微镜(评价装置112)取得。图10是该数据的图示例,示出与各初始处理条件对应的各初始处理结果(加工形状)(S201)。另外,作为参考,还示出与目标输出参数值对应的加工形状S200(目标处理结果)。初始处理条件(图8)即初始输入参数值和对应的初始处理结

果(图9)即初始输出参数值的组(本例中是13组)构成初始学习数据。

[0096] 图11是重复10次本实施例的推定过程时的相对于目标形状以及指标形状的输出参数值(实效值)的推移。在该示例中,对推定过程的每一遍设定四个指标形状。图12图示了图11的结果。实线表征所设定的目标形状以及指标形状,虚线表征对目标形状以及指标形状的输出参数值根据使用这时的预测模型推定出的处理条件(输入参数值)在蚀刻装置中进行处理而得到的加工形状的实测结果。在此,在推定过程中使用预测模型来探索处理条件的情况下,之前叙述了需要考虑对输入参数的制约条件,但在本例的情况下,例如在根据装置的排气能力对气体的总流量设定上限值M的情况下,在探索解时,需要用(数学式2)所示的制约条件式来限制进行探索的区域。这里, F_i 是第i个气体的流量,N是所使用的气体种类的总数。

[0097] 【数学式2】

[0098]
$$\sum_{i=1}^N F_i \leq M$$
 (数学式 2)

[0099] 另外,由于在全部气体的流量成为0的情况下不会引起蚀刻,因此从探索区域除外。

[0100] 如图12所示那样,在推定过程第1遍,学习数据仅是初始学习数据13个,由于预测模型的精度低,因此在探索到的条件下得到的形状与目标形状、指标形状的差别大。通过重复进行推定、学习,预测模型的精度得到提升,在推定过程第10遍,能得到在误差范围内设定的形状。

[0101] 如此,探索装置100将处理装置111的输入参数值与输出参数的值的关系模型化,进而为了探索实现目标输出参数值(目标处理结果)的最优的输入参数值,自动地设定指标输出参数值(指标处理结果)。并且,通过将处理装置111和评价装置112的处理结果用作追加学习数据来更新预测模型。通过重复进行这样的推定动作,能自主地探索能得到目标处理结果的输入参数的值,能自动地发挥处理装置111的性能。由此,能实现与处理装置111的输入参数相关的最佳解的探索效率的提升,能实现处理装置的运用的高效化以及处理的最优化。

[0102] 作为实施例1的变形例,还能在处理装置所具有的控制装置搭载探索装置的功能。在图18示出具有最优处理条件探索功能的等离子处理装置的概略图作为处理装置的示例。具备等离子产生用的天线56和对其施加高频电压的高频电源51以及第1高频匹配器52。为了向处理室60内导入多个气体种类而设置第1流路61、第2流路62。另外,在此,仅图示了两个系统,但并不特别限定流路数。通过使天线56中产生的高频的交变电磁场作用到被导入的混合气体,从而从反应粒子生成感应耦合的等离子63。另外,装置具备用于进行基于所产生的等离子63的处理的基板电压产生器54以及第2高频匹配器53。另外,具备能监视在对处理对象即基板(样品)59进行加工时产生的等离子体的变动的终点判定装置55,具有将由终点判定装置55得到的信号反馈到第1质量流控制器57以及第2质量流控制器58的机构。根据终点判定装置55的信号,第1质量流控制器57能调整第1流路61的气体流量,第2质量流控制器58能调整第2流路62的气体流量。

[0103] 等离子处理装置的控制装置70对装置的高频电源51、基板电压产生器54、终点判

定装置55等等离子生成装置进行控制来对基板59实施蚀刻加工等等离子处理,并且通过安装存放于探索装置中的ROM117(图2)的相当于用于执行探索处理的探索程序的处理程序,能实施作为实施例1说明的探索处理。等离子处理装置的输入装置71、输出装置72在进行探索处理的情况下,分别起到相当于探索装置(图1)中的输入装置103、输出装置114的功能。如此,不是对处理装置111独立地设置探索装置100,而是能作为处理装置111的一个功能来搭载探索处理,用探索到的输入参数值控制等离子生成装置来进行等离子处理。

[0104] 【实施例2】

[0105] 在实施例1中,以包括对半导体或包含半导体的半导体器件进行处理的处理装置的半导体制造系统为例对本发明进行了说明,但能运用本发明的探索装置或探索方法的并不限于半导体制造系统。作为实施例2,说明将探索装置或探索方法运用到对材料合成进行处理来作为处理的合成装置的示例。另外,对具有与实施例1实质相同的功能的构成要素标注相同附图标记并省略详细的说明,以相异的部分为中心进行说明。

[0106] 图13是表示材料合成系统的系统结构例的图。材料合成系统20具有探索装置100、输入装置103、输出装置114、合成装置211、和分析装置212。

[0107] 合成装置211是将磁性材料、高分子材料、或医药品等各种材料合成的装置。合成装置211根据从探索装置100输入的处理条件(输入参数值)来进行材料的合成处理,将合成的物质交付给分析装置212。分析装置212进行用于评价由合成装置211合成的物质的分析,取得材料特性数据(输出参数值)。分析装置212可以按要测量的每种材料特性由多个装置构成。

[0108] 另外,在基于计算机的材料计算中能精度良好地预测合成的物质的材料特性的情况下,还能用计算机代替合成装置211和分析装置212。

[0109] 在实施例2中也遵循图3的流程进行最优处理条件的探索处理。目标处理结果作为表示合成装置211所合成的物质的特性的目标材料特性(目标输出参数值)而给出。

[0110] 图14是在输入到输入装置103的目标材料特性的指定中所使用的输出参数的示例,是使用各种分析装置取得所合成的物质的材料特性的示例。在该示例中使用六个参数来记述材料特性。在该示例中,作为输出参数,使用(1)熔点、(2)沸点、(3)密度、(4)热导率、(5)电导率、(6)体积弹性率。若是磁性材料,则除此以外还能使用饱和磁化强度、矫顽磁力、磁各向异性、居里温度等特性。另外,还给出针对各输出参数的权重。该权重在收敛性的计算时使用。在该示例中,指定与其他输出参数相比更重视体积弹性率的精度的探索。

[0111] 图15是表示预先存放在数据库105中的合成装置的输入参数的最大值、最小值的表格,根据合成装置的规格来决定。在该示例中,能使用七个输入参数。即,反应温度、反应时间、搅拌数、各种材料的比。另外,各输入参数的能设定范围如以下那样,反应温度的控制范围给出30~100[°C],反应时间的控制范围给出1~10[小时],搅拌数的控制范围给出100~1000[rpm],材料比的控制范围给出0~100[%]。

[0112] 图16是设为控制对象的输入参数的选择例,在该示例中,选择除材料4的比以外的六个输入参数。

[0113] 图17是由初始处理条件设定部106设定的初始输入参数值(初始处理条件)的示例。基于表示输入参数的能设定范围的表格(图15)对用户选择出的六个输入参数(图16)自动进行设定。对于条件1来说,关于反应温度、反应时间、搅拌数这三个参数,设定为能控制

范围的平均值,关于材料比,设定均等分配的值,使得合计成为100[%]。条件1成为条件2~13的基准值。条件2~7以条件1为基准,关于反应温度、反应时间、搅拌数,分别个别地分派成最大值以及最小值来设定。条件8~13以条件1为基准,关于三个材料比,分别个别地分派成最大值和最小值,关于其他两个材料比,设定成均等分配。

[0114] 由收敛判定部113判定合成装置211所合成的物质的材料特性(输出参数值)是否收敛到目标材料特性(目标输出参数值)(图3的步骤S103、S109)。在输出参数值的一致度的判定中,使用由(数学式3)给出的与所使用的全部输出参数相关的输出参数值和目标输出参数值之间的误差的平方和。这时,由于参数的维度分别不同,因此在进行标准化后算出误差。所谓标准化,是指通过从值中减去数据整体的平均并除以数据整体的标准偏差而变换成平均0、方差1的数据。

[0115] 【数学式3】

$$[0116] \quad \sum_{i=1}^{NP} (z_i - t_i)^2 \cdot W_i \quad (\text{数学式 3})$$

[0117] 在此, NP是所使用的输出参数的总数, z_i 是第 i 个标准化后的目标输出参数值, t_i 是第 i 个标准化后的输出参数值(实效值), W_i 是用户对每个输出参数指定的权重。

[0118] 另外,在各推定过程中,指标设定部107设定与实施例1中的指标处理结果相当的指标材料特性(图3的步骤S105)。从已有的学习数据当中选出最接近目标材料特性的最佳的特性值(输出参数值(实效值)),设定从最佳的输出参数值到目标输出参数值的中途阶段的指标材料特性(指标输出参数值)。与实施例1同样,通过对最佳的输出参数值和目标输出参数值之间进行插值来设定指标输出参数值。

[0119] 另外,处理条件探索部109使用从模型学习部108交付的预测模型以及从数据库105读出的对输入参数的制约条件来探索给出目标输出参数值以及指标输出参数值的处理条件(图3的步骤S107)。

[0120] 由于作为实施例2的对输入参数的制约条件,材料比的合计必须成为100[%],因此若将所指定的材料数设为 N ,则独立的变量是 $N-1$ 个。若现在将第 i 个材料的比设为 R_i ,则关于第 N 个材料的比 R_N 有(数学式4)的制约条件。

[0121] 【数学式4】

$$[0122] \quad R_N = 100 - \sum_{i=1}^{N-1} R_i \quad (\text{数学式 4})$$

[0123] 进而,在以 R_i ($i \neq N$) 为参数来进行探索时,不能分别个别地取到最大值为止的任意值,而要承受制约条件即(数学式5)的制约。

[0124] 【数学式5】

$$[0125] \quad \sum_{i=1}^{N-1} R_i \leq 100 \quad (\text{数学式 5})$$

[0126] 因此,在全部指定 N 个材料的情况下,进行探索的材料比的参数数成为 $(N-1)$ 个,在探索解时,考虑制约条件即(数学式5),之后使用(数学式4)来决定材料 N 的比。

[0127] 如此,探索装置100将合成装置211的输入参数的值与输出参数的值的关系模型化,进而为了探索实现目标输出参数值(目标材料特性)的最优的输入参数值,自动地设定指标输出参数值(指标材料特性)。并且,通过将合成装置211和分析装置212的处理结果用作追加学习数据来更新预测模型。通过重复进行这样的推定动作,能自主地探索能得到目标材料特性的输入参数的值,能自动地发挥合成装置211的性能。由此,能实现与合成装置211的输入参数相关的最佳解的探索效率的提升,能实现合成装置的运用的高效化以及处理的最优化。

[0128] 另外,本发明并不限于前述的实施例,而包含添附的权利要求书的主旨内的各种变形例以及同等的结构。例如,前述的实施例为了易于理解地说明本发明而详细进行了说明,但本发明并不一定限于具备所说明的全部结构。另外,可以将某实施例的结构的一部分替换成其他实施例的结构。另外,也可以在某实施例的结构中加进其他实施例的结构。另外,也可以对各实施例的结构的一部分进行其他结构的追加、削除或置换。

[0129] 另外,前述的各结构、功能、处理部、处理单元等可以将它们的一部分或全部通过例如以集成电路进行设计等,从而用硬件来实现,也可以通过处理器解释并执行实现各个功能的程序,从而用软件来实现。实现各功能的程序、表格、文件等信息能存放在存储器、硬盘、SSD(Solid State Drive,固态驱动器)等存储装置、或IC(Integrated Circuit,集成电路)卡、SD卡、DVD(Digital Versatile Disc,数字通用盘)的记录介质中。

[0130] 另外,控制线和信息线表示说明上认为必要的线,并不一定表示安装上需要的全部控制线和信息线。实际上,可以认为几乎全部结构都相互连接。

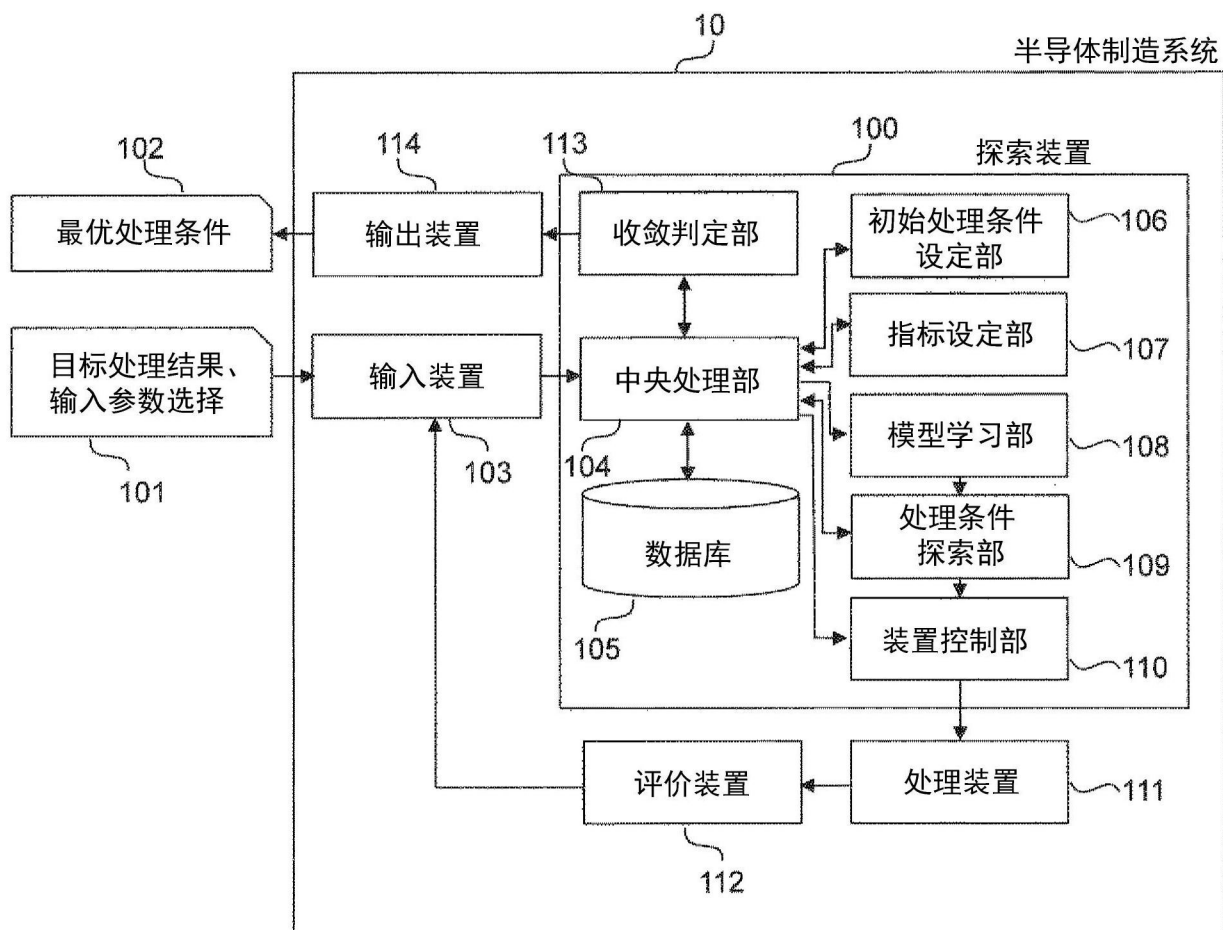


图1

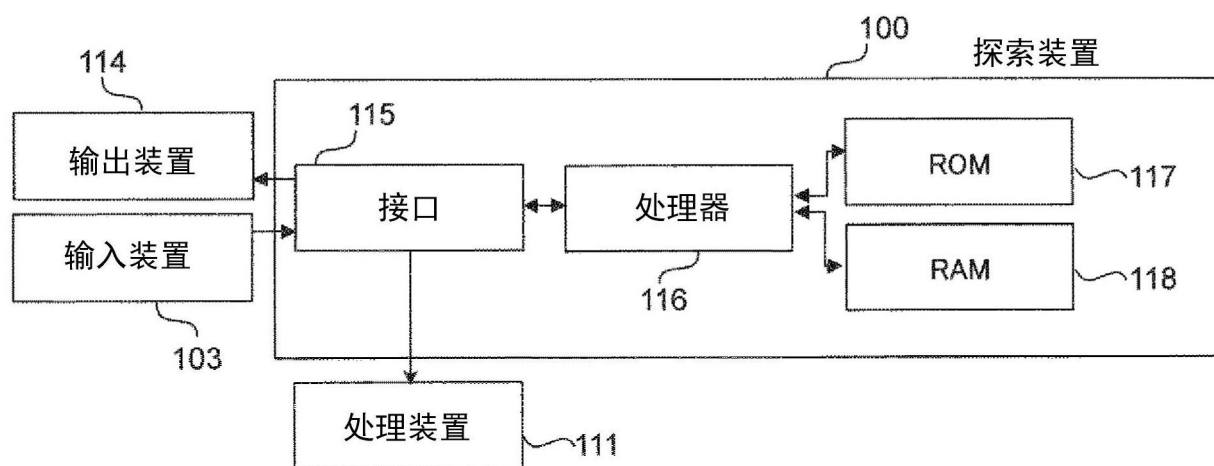


图2

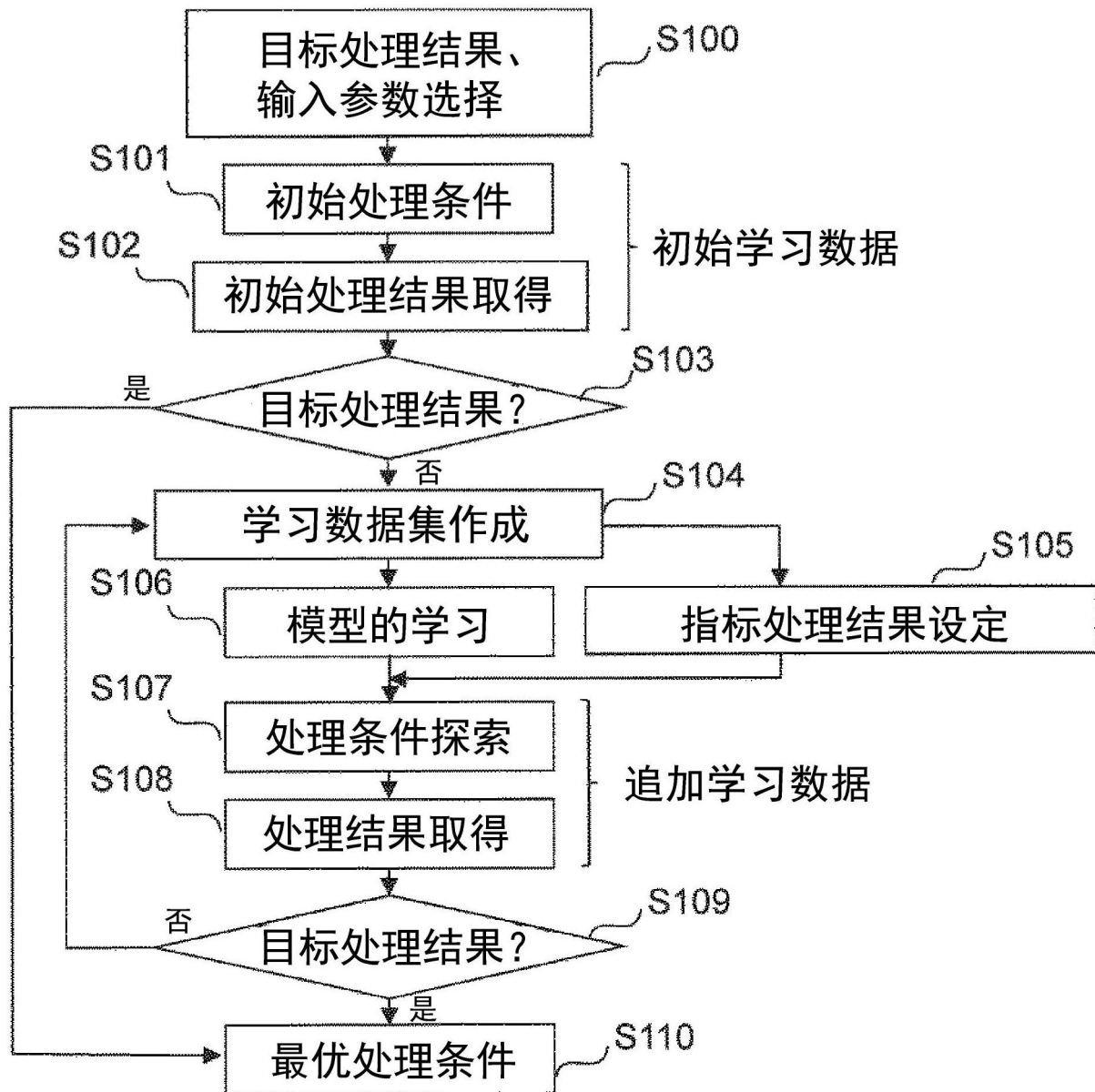


图3

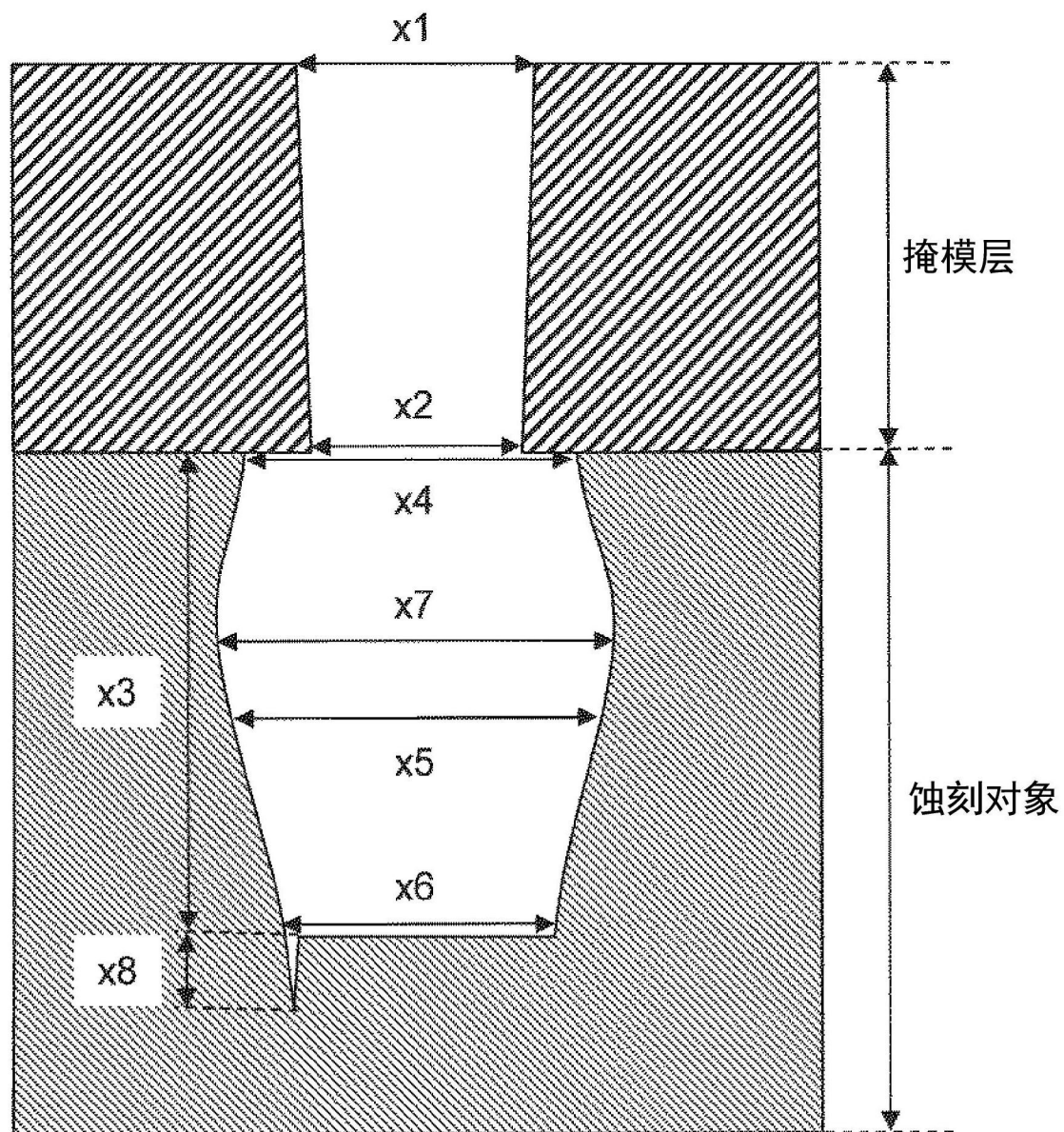


图4

输出参数	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8
目标值	860	750	1000	800	800	800	800	0
权重	1	1	2	2	2	2	2	2

图5

	气体压力	放电电力	偏置	气体种类 1	气体种类 2	气体种类 3	气体种类 4
最大值	10	1000	100	200	200	200	200
最小值	1	500	0	0	0	0	0

图6

	气体压力	放电电力	偏置	气体种类 1	气体种类 2	气体种类 3	气体种类 4
选择	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N

图7

	气体压力	放电电力	偏置	气体种类 1	气体种类 2	气体种类 3
条件 1	5.5	750	50	66.7	66.7	66.7
条件 2	10	750	50	66.7	66.7	66.7
条件 3	1	750	50	66.7	66.7	66.7
条件 4	5.5	1000	50	66.7	66.7	66.7
条件 5	5.5	500	50	66.7	66.7	66.7
条件 6	5.5	750	100	66.7	66.7	66.7
条件 7	5.5	750	0	66.7	66.7	66.7
条件 8	5.5	750	50	200	0	0
条件 9	5.5	750	50	0	100	100
条件 10	5.5	750	50	0	200	0
条件 11	5.5	750	50	100	0	100
条件 12	5.5	750	50	0	0	200
条件 13	5.5	750	50	100	100	0

图8

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8
条件1	a1	b1	c1	d1	e1	f1	g1	h1
条件2	a2	b2	c2	d2	e2	f2	g2	h2
条件3	a3	b3	c3	d3	e3	f3	g3	h3
条件4	a4	b4	c4	d4	e4	f4	g4	h4
条件5	a5	b5	c5	d5	e5	f5	g5	h5
条件6	a6	b6	c6	d6	e6	f6	g6	h6
条件7	a7	b7	c7	d7	e7	f7	g7	h7
条件8	a8	b8	c8	d8	e8	f8	g8	h8
条件9	a9	b9	c9	d9	e9	f9	g9	h9
条件10	a10	b10	c10	d10	e10	f10	g10	h10
条件11	a11	b11	c11	d11	e11	f11	g11	h11
条件12	a12	b12	c12	d12	e12	f12	g12	h12
条件13	a13	b13	c13	d13	e13	f13	g13	h13

图9

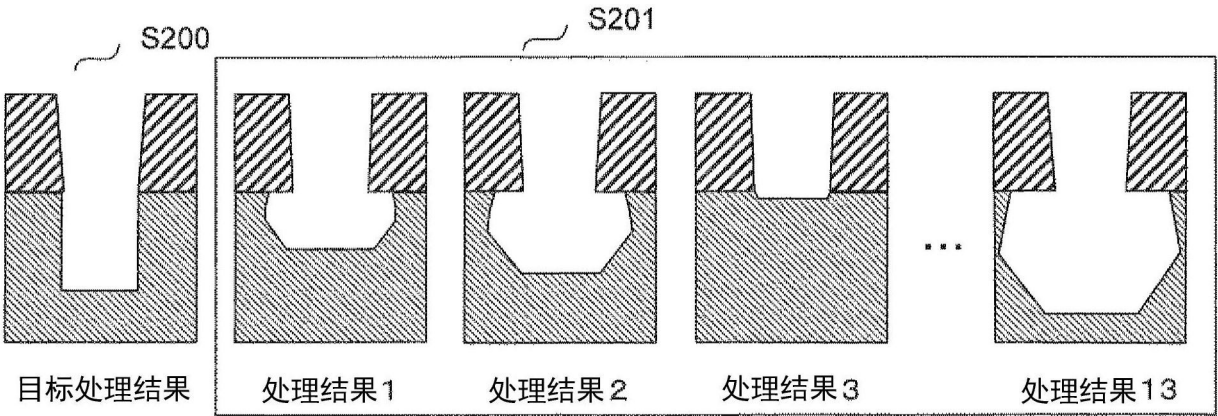


图10

推定过程第 1 遍

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8
目标	a1_0	b1_0	c1_0	d1_0	e1_0	f1_0	g1_0	h1_0
指标 1-1	a1_1	b1_1	c1_1	d1_1	e1_1	f1_1	g1_1	h1_1
指标 1-2	a1_2	b1_2	c1_2	d1_2	e1_2	f1_2	g1_2	h1_2
指标 1-3	a1_3	b1_3	c1_3	d1_3	e1_3	f1_3	g1_3	h1_3
指标 1-4	a1_4	b1_4	c1_4	d1_4	e1_4	f1_4	g1_4	h1_4



推定过程第 5 遍

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8
目标	a5_0	b5_0	c5_0	d5_0	e5_0	f5_0	g5_0	h5_0
指标 5-1	a5_1	b5_1	c5_1	d5_1	e5_1	f5_1	g5_1	h5_1
指标 5-2	a5_2	b5_2	c5_2	d5_2	e5_2	f5_2	g5_2	h5_2
指标 5-3	a5_3	b5_3	c5_3	d5_3	e5_3	f5_3	g5_3	h5_3
指标 5-4	a5_4	b5_4	c5_4	d5_4	e5_4	f5_4	g5_4	h5_4



推定过程第 10 遍

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8
目标	a10_0	b10_0	c10_0	d10_0	e10_0	f10_0	g10_0	h10_0
指标 10-1	a10_1	b10_1	c10_1	d10_1	e10_1	f10_1	g10_1	h10_1
指标 10-2	a10_2	b10_2	c10_2	d10_2	e10_2	f10_2	g10_2	h10_2
指标 10-3	a10_3	b10_3	c10_3	d10_3	e10_3	f10_3	g10_3	h10_3
指标 10-4	a10_4	b10_4	c10_4	d10_4	e10_4	f10_4	g10_4	h10_4

图11

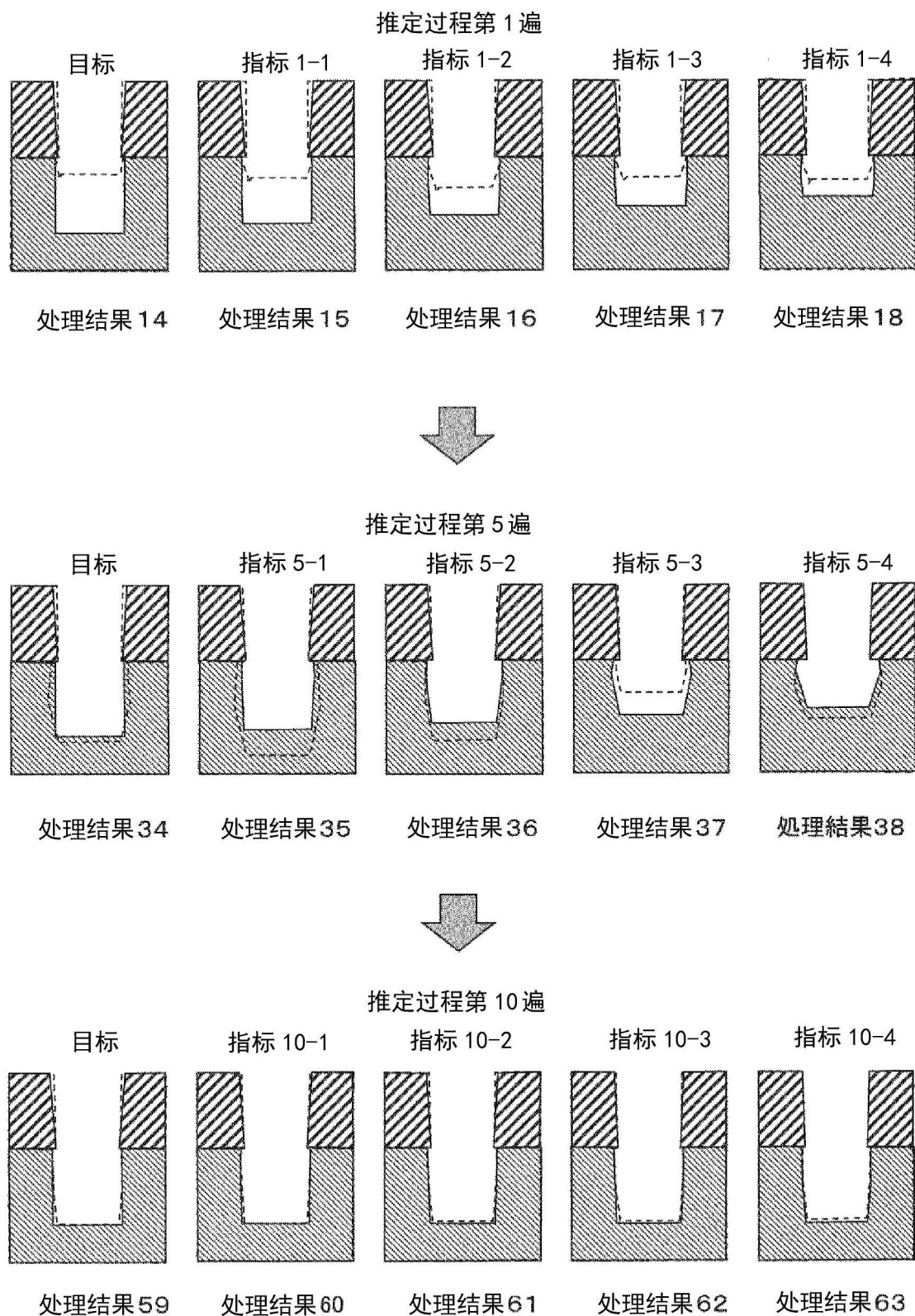


图12

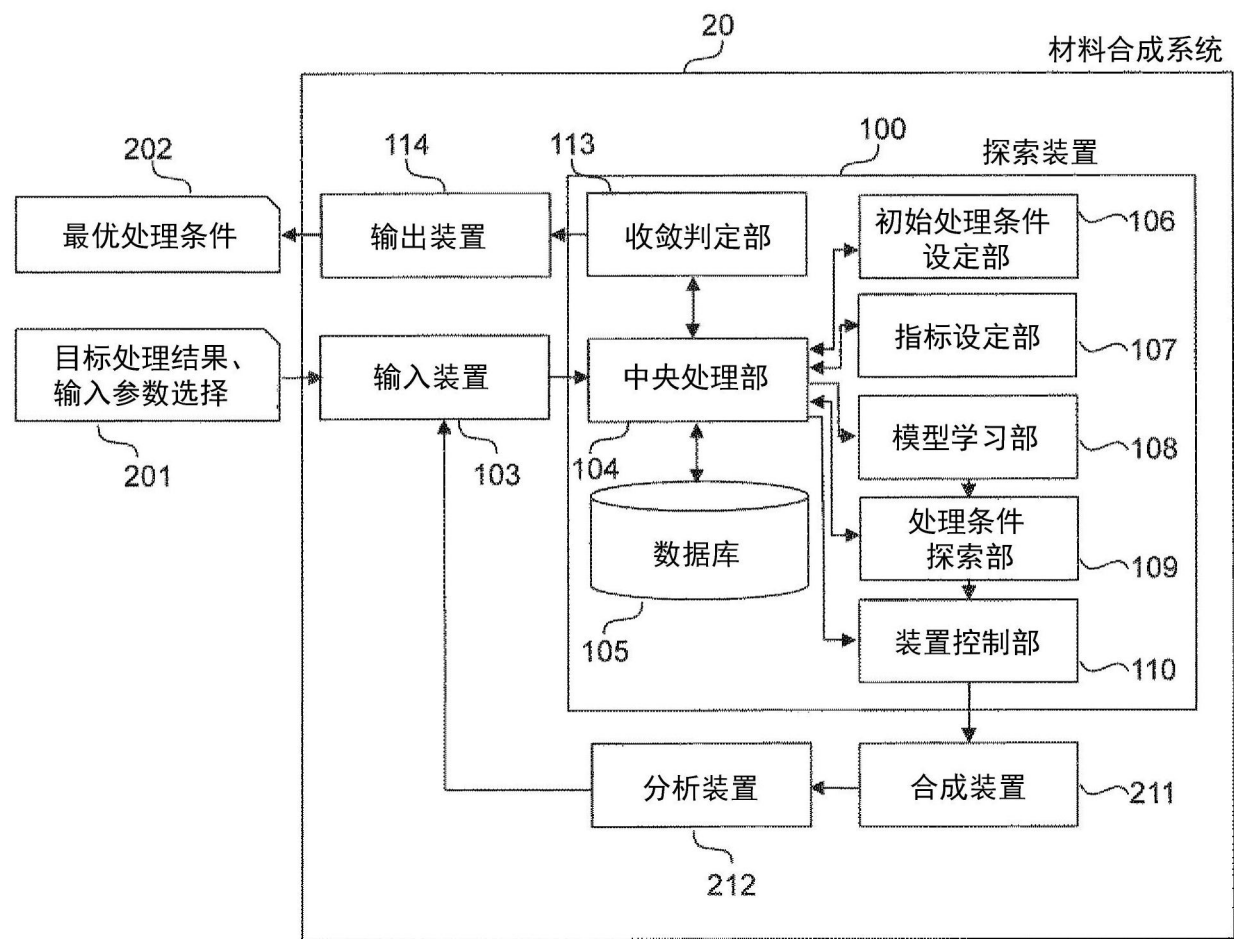


图13

输出参数	熔点	沸点	密度	热导率	电导率	体积弹性率
目标值	a	b	c	d	e	f
权重	1	1	1	1	1	2

图14

	反应温度	反应时间	搅拌数	材料 1 比	材料 2 比	材料 3 比	材料 4 比
最大值	100	10	1000	100	100	100	100
最小值	30	1	100	0	0	0	0

图15

	反应温度	反应时间	搅拌数	材料 1	材料 2	材料 3	材料 4
选择	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N

图16

	反应温度	反应时间	搅拌数	材料 1 比	材料 2 比	材料 3 比
条件 1	65	5.5	550	33.3	33.3	33.3
条件 2	100	5.5	550	33.3	33.3	33.3
条件 3	30	5.5	550	33.3	33.3	33.3
条件 4	65	10	550	33.3	33.3	33.3
条件 5	65	1	550	33.3	33.3	33.3
条件 6	65	5.5	1000	33.3	33.3	33.3
条件 7	65	5.5	100	33.3	33.3	33.3
条件 8	65	5.5	550	100	0	0
条件 9	65	5.5	550	0	50	50
条件 10	65	5.5	550	0	100	0
条件 11	65	5.5	550	50	0	50
条件 12	65	5.5	550	0	0	100
条件 13	65	5.5	550	50	50	0

图17

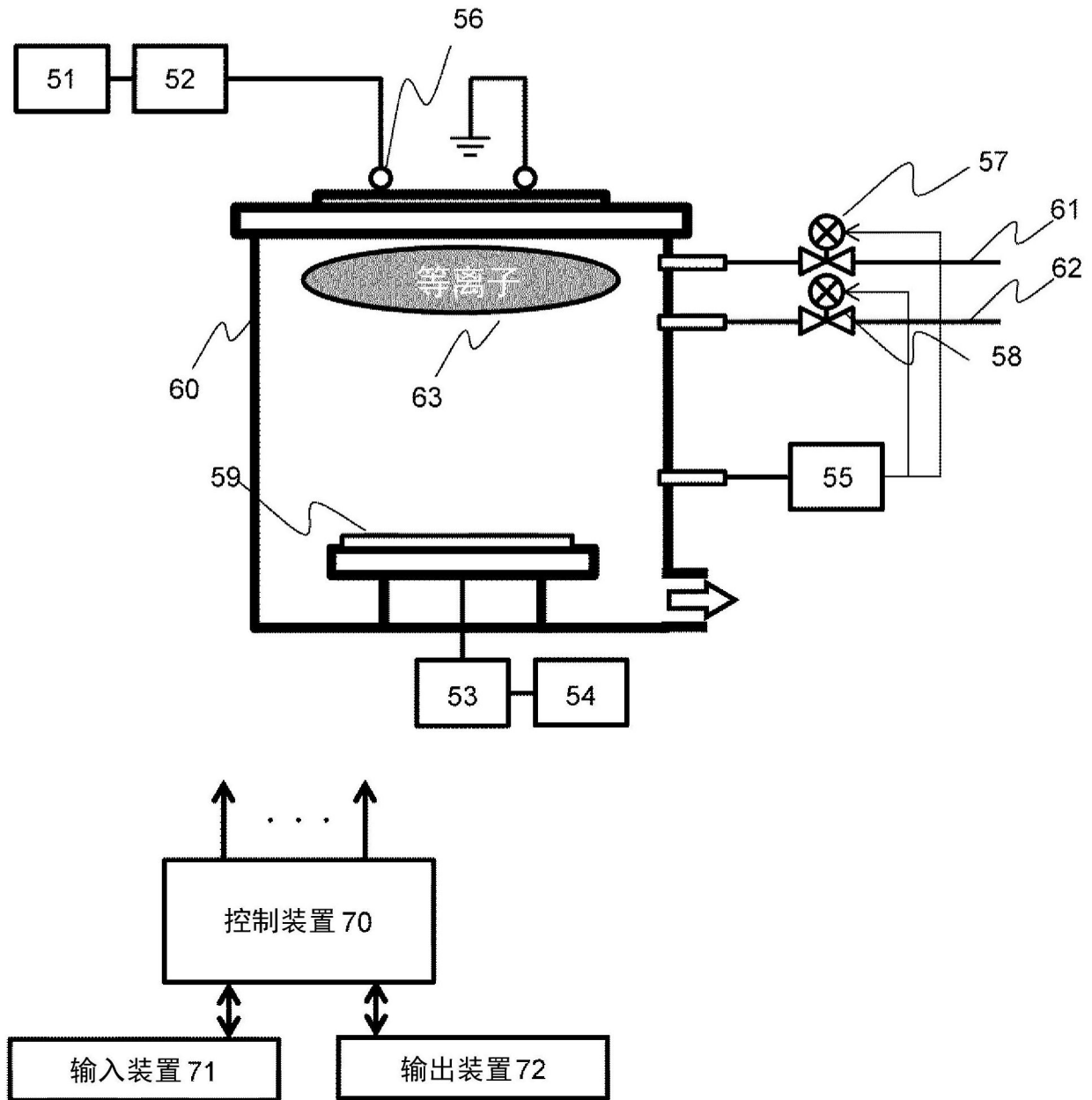


图18