[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl[7]
G02B 7/00

[12]发明专利申请公开说明书

[21]申请号 00104772.8

[43]公开日 2001年8月1日

[11]公开号 CN 1306220A

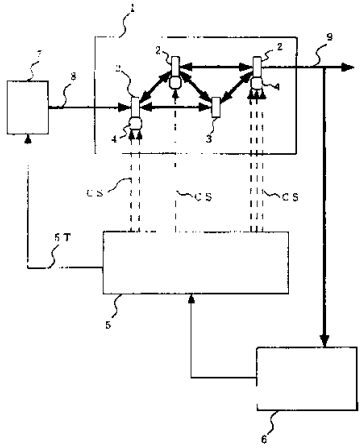
[22]申请日 2000.3.28 [21]申请号 00104772.8
[30]优先权
[32]2000.1.17 [33]JP [31]7741/2000
[71]申请人 通商产业省工业技术院长
地址 日本东京
共同申请人 河西勇二 村川正宏 板谷太郎 樋口哲也
[72]发明人 河西勇二 村川正宏 板谷太郎 樋口哲也
[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所
代理人 王以平

权利要求书3页 说明书44页 附图页数35页

[54]发明名称 光学装置、光学装置的调整方法及存储了程序的存储媒体

[57]摘要

一种具备包含多个光学元件的光学单元1的光学装置，调整装置5内置或连接在外部，利用上述调整装置输出的控制信号CS来变更上述光学元件内特定的多个光学元件2的参数，上述调整装置按照概率搜索算法变更上述特定的多个光学元件的参数，以使上述光学装置的功能满足规定的规格。由此，能够用较少的调整工时在光学装置上获得比传统调整技术调整时更高的功能，更高的性能。



ISSN1008-4274

权 利 要 求 书

1. 一种光学装置，具备包含多个光学元件的光学单元和调整装置，其特征在于：所述调整装置依次输出变更上述光学元件内特定的多个光学元件的参数的控制信号，其按照概率搜索算法变更上述特定的多个光学元件的参数，使该参数成为使上述光学装置的功能满足规定的规格的参数。

2. 权利要求 1 所记载的光学装置，其特征在于：该调整装置通过按照遗传算法依次变更、搜索控制信号的值，变更特定的多个光学元件的参数，使其成为光学装置的功能达到满足所规定的规格的状态的最佳值。

3. 权利要求 1 所记载的光学装置，其特征在于：该调整装置通过按照模拟退火算法依次变更、搜索控制信号的值，变更特定的多个光学元件的参数，使其成为光学装置的功能达到满足所规定的规格的状态的最佳值。

4. 权利要求 1 至 3 所记载的光学装置，其特征在于：作为该调整装置评价光学装置的功能状态的函数，使用加权累计多个评价结果的评价函数。

5. 权利要求 1 至 4 所记载的光学装置，其特征在于：测量基于控制信号调整光学元件的参数过程中的参数值，将其与此时输出光的观测值成组保存到存储器，并把该组中评价值最大的组的元件参数值作为局部的最佳值。

6. 权利要求 1 至 5 所记载的光学装置，其特征在于：所述包含光学元件的光学单元是激光器。

7. 权利要求 1 至 5 所记载的光学装置，其特征在于：所述光学元件含有可变形反射镜。

8. 权利要求 7 所记载的光学装置，其特征在于：所述包含光学元件的光学单元是波面控制器。

9. 权利要求 7 所记载的光学装置，其特征在于：所述包含光学元

件的光学单元是望远镜。

10. 权利要求 1 所记载的光学装置，其特征在于：所述调整装置包括一个电子计算机和该电子计算机能够读取的存储媒体。

11. 权利要求 1 所记载的光学装置，其特征在于：所述特定的多个光学元件中的一个光学元件的多个参数是可调整的。

12. 一种控制多个光学元件的光学装置的调整方法，其特征在于：按照概率搜索算法依次输出控制信号，变更上述多个光学元件内的特定的多个光学元件的参数，搜索光学装置的功能满足所规定的规格的最佳值。

13. 权利要求 12 所记载的光学装置的调整方法，其特征在于：该输出的控制信号的值，按照遗传算法依次变更控制信号的值并搜索出最佳值。

14. 权利要求 12 所记载的光学装置的调整方法，其特征在于：该输出的控制信号的值，按照模拟退火算法依次变更控制信号的值并搜索出最佳值。

15. 权利要求 14 所记载的光学装置的调整方法，其特征在于：作为评价该光学装置的功能状态的函数，使用加权累计多个评价结果的评价函数。

16. 权利要求 12 至 15 所记载的光学装置的调整方法，其特征在于：测量基于该控制信号调整光学元件的参数过程中的参数值，将其与此时输出光的观测值成组保存到存储器，并把该组中评价值最大的组的元件参数值作为局部的最佳值。

17. 权利要求 12 至 16 所记载的光学装置的调整方法，其特征在于：调整在激光器中使用的光学单元的光学元件的参数。

18. 权利要求 12 至 16 所记载的光学装置的调整方法，其特征在于：作为该光学元件，调整包含可变形反射镜的光学元件的参数。

19. 权利要求 18 所记载的光学装置的调整方法，其特征在于：调整在波面控制器中使用的光学单元的光学元件的参数。

20. 权利要求 18 所记载的光学装置的调整方法，其特征在于：调

整在望远镜中使用的光学单元的光学元件的参数。

21. 一种调整装置，其特征在于：利用具备电子计算机和可在该电子计算机上读取的存储媒体的调整装置，进行权利要求 12 至 20 所记载的方法的调整。

22. 一种存储媒体，其特征在于：保存有进行权利要求 12 至 20 所记载的调整的调整程序。

23. 权利要求 12 所记载的光学装置的调整方法，其特征在于：所述特定的多个光学元件中的一个光学元件的多个参数是可调整的。

说　　明　　书

光学装置、光学装置的调整方法及存储了程序的存储媒体

本发明涉及具有调整光学单元和光学元件的调整装置的光学装置，所述光学单元包含某个光学元件的调整将影响其他光学元件的调整结果的多个光学元件，涉及其调整方法及保存执行该调整方法程序的存储媒体，作为使用被调整的光学单元的光学装置，其又涉及激光、波面控制器以及望远镜。

作为提高利用光学装置实现的功能的状态使之达到规定目标值的方法，传统上采用：（1）利用熟练人员进行光学元件的调整；（2）采用高精度的光学元件。

但是，在（1）的利用熟练人员调整光学元件的方法中，需要在设置该光学装置的场所进行调整，如果调整一个光学元件，则需要调整相关连的其他光学元件，在调整时间上需要很多的时间。而且，有时即使是熟练人员也未必能获得良好的调整效果，同时也无法客观地判断光学装置的调整结果是否为最佳。此外，还存在因需要熟练人员而存在的调整成本高的问题。

为了确实减小上述（1）中的利用熟练人员调整光学元件带来的负担，可以使用（2）中的采用高精度光学元件的方法。但高精度光学元件一般很贵，且存在难以稳定地供货的问题，从而也使光学装置的制造变得困难。

因此，传统的方法存在有光学装置的制造成本高，需要由熟练人员进行调整且调整时间较长的缺点。

在上述调整方法中，一般认为如果可以自动地调整则无需熟练人员且可高效，但是，在（1）的调整之处的调整中，一般地如图2所示，由于对调整之处光学元件的功能的影响对每一个调整之处不是独立的，所以，自动调整非常困难，在其调整中仍需要熟练人员。

在光学装置的调整之处是多个的正常情况下，多数场合这些调整之处具有相互依存关系。图 2 例示的是在调整之处和调整结果（调整量）上具有横跨调整之处的依存关系（相关关系）情况的说明图。例如，把第 1 个调整之处调整为光学装置的功能最佳，接着，把第二个调整之处调整为光学装置的功能最佳。此时，第一个调整之处的调整结果会因进行了第二个调整之处的调整而造成其不再是最佳的状态，即若进行再度调整则与先前不同的调整结果成为最佳状态。

以激光装置的谐振器为例说明相互的依存关系。激光装置的谐振器一般由 3 个以上的反射镜及棱镜构成，光路呈闭合状态。在此，当改变某一个反射镜的位置或朝向时，光路全体将发生变化。为此，其他的所有反射镜的最佳位置及朝向也发生了变化。这种现象表明，如果改变作为调整之处的反射镜及棱镜的位置及方向之一，则其他的所有的调整之处的最佳调整结果也随之改变。

由于在上述这样的多个调整之处的调整不是独立的情况下，其调整范围的大小与连带调整之处的个数是相同的维数，所以，因调整搜索空间按调整之处数目的指数型增长，而导致组合数爆炸，调整需要难以估计的时间，甚至出现不可调整的情况。作为例子，如果考虑有 10 个每个用 8 位的设定信号调整的调整之处完全连带的情况，则调整的搜索空间成为 $2^{80} \fallingdotseq 10^{24}$（10 的 24 次方）这样巨大数目的组合，在传统方法中，用有限的时间进行调整是不可能的。

传统产业用激光装置由反射镜、激光晶体（光学晶体）、分散元件（棱镜）等光学部件和这些部件的保持部件构成。在由这些部件构成的激光谐振器中，光学部件的配置要求以微米的精度设置。对于反射镜需要纵向、横向、高度方向、横向反射方向、高度反射方向 5 个方向的调整。在激光谐振器内部，设置有 2 个以上的反射镜及其保持机构。在激光装置实施增大输出功率、短脉冲化等功能的提高时，反射镜、分散元件等光学部件数达 6 个以上。它们的保持部件的调整之处则多达 30 个位置以上。

另一方面，由于在激光谐振器内部光的强度强，由克尔镜效应而

诱发非线性现象，激光输出光的功率、波长、横模等产生变动。从而，由非线性现象也导致光学部件的最佳配置条件变化。脉冲激光装置的情况下，对最短脉冲条件和最大输出条件光学部件的最佳配置不同。

最佳配置条件的搜索一般由熟练的技术人员进行。在光学部件数是 6 个左右时，典型情况下，熟练人员需要一周左右、非熟练人员需要一个月以上的调整时间。进而，在上述的调整中，因光学部件的保持部件的位置随时间发生偏离而导致激光装置的光输出与时间一起变动，故调整进一步困难。

通过把激光装置的光输出的信息反馈给激光装置，可以进行激光装置的最佳化。作为光输出的信息，包括功率（输出光强）、光路位置、方向、波长、相位、波面、脉冲宽度等。在空间上分割激光束并分别对这些信息进行评价时，可获得多个评价值。这些评价值是相互从属的，其相关关系依存于激光装置的动作条件。存在 2 个以上这样的评价值的情况是极其普通的。

但是，在现有技术中，一般地对光输出的信息中的功率只进行激发光强度的控制，对光输出的信息中光路的位置、方向，只进行可以控制位置/方向的反射镜的位置/方向的控制。

这些方法的特征在于找出对评价值影响强烈的单一的光学元件并对其进行反馈控制。在这些方法中，由于只最佳化单一的元件，所以，没有进行激光装置整体的最佳化。

很多情况下这些评价值具有非线性的强相关，这种情况存在光学装置整体的调整之处最佳化困难，同时调整效率非常恶劣的问题。

在波面控制器中，由于要准确地计算波面各点处的相位值需要花费难以估计的时间，所以，要使波面控制器的功能具有良好特性将很困难。

在望远镜中，在用大凹面镜将观测对象成像到成像面上时，由于凹面镜的反射面的位置/形状偏离理想的位置/形状，故像的解像度降低。

另外，光学装置因移动或搬运时的振动或冲击导致构成要素的配

置变动，从而存在装置性能劣化的问题。

因而，在光学装置中，需要多个光学元件的位置、方向、光学特性等（以下称为参数）的综合调整。

鉴于上述各点，本发明的目的是提供即使是在被调整的光学元件的参数在多个光学元件存在相互从属的非线性相关时，也不需要传统上必需的熟练人员，使用低于传统的精度的光学元件自动地获得比用传统技术调整时更高功能、更高性能的光学装置及其调整方法，进而还提供改善因光学装置的移动、搬运、历时变化等原因造成的光学装置的功能、性能降低的方法。

为达成上述目的，（权利要求 1 所记载的）本发明的光学装置是一个具备包含多个光学元件的光学单元和调整装置的光学装置，其特征在于输出变更上述光学元件内特定的多个光学元件的参数的控制信号的上述调整装置，以及上述调整装置按照概率搜索方法输出变更上述特定的多个光学元件的参数以使上述光学装置的功能满足规定的规格的控制信号。

此外，（权利要求 10 所记载的）本发明的光学装置的调整方法的特征是：在控制多个光学元件的光学装置的调整方法中，按照概率搜索的方法依次输出控制信号，变更上述多个光学元件内特定的多个光学元件的参数，以搜索出使光学装置的功能满足规定规格的最佳值。

按照本发明的光学装置及其调整方法，因实现规定功能的光学装置的多个光学元件中特定的多个光学元件由对应控制信号所示之值使元件参数变化的光学元件构成，调整装置通过驱动机构，按照概率搜索的方法，变更给予这些特定的多个光学元件的多个控制信号的值以使光学装置的功能能够满足所规定的规格，所以，在需要调整实现上述规定功能的光学元件的参数时，可以不需要熟练人员而自动地对应其功能获得比用传统技术调整时更高的功能、更高的性能。而且还可以改善光学装置的移动或搬运、以致于历时变化起因的光学装置功能、性能的降低。

这里，光学装置的性能一般地可以用以该光学装置具有的可调整的多个光学元件的各种参数为变量的函数 F 来表示。让光学装置的功能满足规定的规格等价于求函数 F 的最佳解。本发明人着眼于该点，发现了以遗传算法为主的概率搜索方法可适用于光学装置的调整。

遗传算法是概率搜索方法之一，是一种（1）有效作用于广域搜索、（2）在评价函数 F 以外不需要导数值等派生的信息、（3）且具有简单的实用安装性的算法。因此，在本发明中，如权利要求 2 及权利要求 11 所记载的那样，可以在利用上述调整装置变更多个控制信号值的过程中使用遗传算法。

另外，在上述评价函数 F 满足特殊的条件时，也可以代替遗传算法，使用也是概率搜索方法之一的模拟退火法算来提高搜索效率。因此，在本发明中，如权利要求 3 及权利要求 12 所记载的那样，可以在利用上述调整装置变更的多个控制信号值的过程中使用模拟退火算法。这种做法与遗传算法相比，尽管调整所获得的性能较低，但可以缩短调整时间。

进而，在本发明中，如权利要求 4 及权利要求 13 所记载的那样，在调整装置搜索最佳值时，也可以使用加权累计上述光学装置 1 的多个评价结果的评价函数。

在本发明中，如权利要求 5 及权利要求 14 所记载的那样，也可以测量基于控制信号调整光学元件的参数过程中的参数值，将其与此时输出光的观测值成组保存在存储器中，再从其组中把评价值最大的组的元件参数值作为局部的最佳值。采用这种做法可以改善搜索效率，大幅度地缩短调整时间。

上述所述的本发明之光学装置，如权利要求 6 及权利要求 15 所记载的那样，也可以是激光装置。

进而，上述所述的本发明之光学装置，如权利要求 7 及权利要求 16 所记载的那样，可以是使用了可变形反射镜的装置，或者如权利要求 8 及权利要求 17 所记载的那样，也可以是波面控制器。此外，还可以如权利要求 9 及权利要求 18 所记载的那样是望远镜。

上述的光学装置以及光学装置的调整方法中的上述调整装置也可以如权利要求 19 所记载的那样由电子计算机来构成，采用这种做法，可以在短时间内简单而准确地按照概率搜索方法进行使光学装置的功能满足所规定的规格的搜索多个元件参数的处理。

权利要求 20 所记载的本发明的存储媒体的特征是：该存储媒体是保存了权利要求 19 所记载的电子计算机运行的、按照概率搜索方法进行使光学装置的功能满足所规定的规格的搜索多个元件参数的处理程序的媒体。

利用本发明的存储媒体，可以记录并保存用于本发明的光学装置、以及本发明的光学装置的调整方法的电子计算机运行的处理程序，并可以进行在任意场所的光学装置的调整。

本发明的其他目的、其他特征将在根据附图进行的以下所述的详细说明中申明。

图 1 是说明本发明之光学装置及本发明之光学装置的调整方法的原理图，也是例示第 1 实施例的构成图。

图 2 是说明调整之处的依存关系而产生的问题之图。

图 3 是表示本发明之调整装置的构成图。

图 4 是表示用于本发明之光学装置的、进行平移的驱动机构之一例的构成图。

图 5 是表示本发明之调整装置的构成图。

图 6 是表示用于本发明之光学装置的、进行单轴旋转的驱动机构之一例的构成图。

图 7 是表示用于本发明之光学装置的、进行二轴旋转的驱动机构之一例的构成图。

图 8 是表示用于本发明之光学元件及驱动机构的可变形反射镜之一例的构成图。

图 9 是表示上述可变形反射镜的电极配置之一例的构成图。

图 10 是表示用于本发明之光学元件及驱动机构的可变形反射镜

的其他构成例的构成图。

图 11 是表示可变的元件参数为透过率或吸收系数的本发明之光学元件及驱动机构之一例的构成图。

图 12 是表示可变的元件参数为偏振的本发明之光学元件及驱动机构之一例的构成图。

图 13 是表示可变的元件参数为相位及光强的本发明之光学元件及驱动机构之一例的构成图。

图 14 是表示可变的元件参数为分配比的本发明之光学元件及驱动机构之一例的构成图。

图 15 是表示可变的元件参数为调制率的本发明之光学元件及驱动机构之一例的构成图。

图 16 是表示可变的元件参数为波长特性的本发明之光学元件及驱动机构之一例的构成图。

图 17 所示是本发明之光学装置调整方法第 1 实施例处理程序概要的流程图。

图 18 所示是经典遗传算法程序的概要的流程图。

图 19 是例示在遗传算法中使用的染色体的说明图。

图 20 所示是在上述实施例的方法中使用了遗传算法的处理程序的流程图。

图 21 是在上述实施例方法的遗传算法中所使用的染色体以及由此确定的寄存器值及元件参数值的说明图。

图 22 所示是用上述实施例方法中的遗传算法进行的选择淘汰处理的程序的流程图。

图 23 所示是用上述实施例方法中的遗传算法进行的杂交处理的程序的说明图。

图 24 所示是用上述实施例方法中的遗传算法进行的变异处理的程序的说明图。

图 25 所示是用上述实施例方法中的遗传算法进行的局部学习的程序的流程图。

图 26 是例示上述局部学习方法的动作的说明图。

图 27 所示是上述实施例光学装置的一变形例的构成图。

图 28 是例示本发明之光学装置及本发明之光学装置的调整方法的第 2 实施例的说明图。

图 29 是说明用于上述实施例之光学装置的光学元件的位置及方向的说明图。

图 30 是表示作为利用上述实施例的方法产生的上述实施例的光学装置的调整实验结果的评价函数值与遗传算法中的代数的关系的特性图。

图 31 所示是在本发明之光学装置及其调整方法的第 3 实施例中的使用了模拟退火算法的处理程序的流程图。

图 32 是表示作为利用上述实施例的方法产生的上述实施例的光学装置的调整实验结果的评价函数值与模拟退火算法中的迭代次数的关系的特性图。

图 33 所示是例示本发明之光学装置及其调整方法的第 4 实施例中波面控制器的构成的构成图。

图 34 所示是例示上述实施例中波面控制器的其他构成的构成图。

图 35 所示是例示本发明之光学装置及其调整方法的第 5 实施例的构成的构成图。

图 36 所示是能够在本发明之光学装置及其调整方法中使用的寄存器的其他构成的构成图。

下面，利用实施例，根据图面详细说明本发明的实施形态。

本发明可适用于多种光学装置。即，可以在调整对象的光学装置中设置多个调整之处，并可以用本发明之方法调整该调整之处。在下面的第 1 个实施例（实施形态）中，对适用本发明的普通光学装置的情况进行叙述。

光学装置作为构成要素通常具有多个叫做反射镜、透镜、棱镜的光学元件。一般情况下，在光学装置中，作为其构成要素的光学元件

在光学装置内的位置或方向因制造误差或者给予光学装置的振动或者冲击而较设计标准有较大的偏离，所以，要满足光学装置的要求标准，调整必不可缺。

图 1 是应用本实施例的光学装置的一构成例。图 1 中，1 是实现规定功能的光学单元，光学元件 2、3 是上述光学单元 1 的构成要素，光学元件 2 是对应控制信号（调整信号）CS 的值可以使元件的参数变化的可调整的元件，光学元件 3 是不进行调整的元件。4 是连接在可调整的光学元件 2 的、用于对应控制信号 CS 所示的值使可调整的光学元件 2 的参数变化的驱动机构。5 是用于按照本发明之方法调整光学单元 1 的调整装置，6 是用于观测光学单元 1（光学装置）的光输出的状态的观测装置。在本实施例中，调整装置 5 及观测装置 6 为光学单元 1 的外部装置。

图 1 中的 8、9 分别是输入光学装置的光（输入光）以及从光学装置输出的光（输出光）。

图 1 中 7 是调整光产生装置，其产生调整光学单元 1 所使用的调整光。该调整光产生装置 7 在不进行调整时停止并作为输入光 8 输入普通的输入光。该调整光根据来自调整装置 5 的信号 5T 产生，并作为光学装置 1 的输入光 8 输入到光学装置 1。调整光是光强的波长分布及空间分布一定的连续光或脉冲光，是作为调整光学装置 1 时的基准的光。该调整光也可以切换多种类的光，此时，其按照信号 5T 切换。

调整光产生装置 7 除了是按照来自调整装置 5 的信号 5T 产生调整光的装置外，也可以是不通过调整装置 5 而独自产生调整光的装置。进而，也可以省略调整光产生装置 7，代之调整光，把通常输入到光学装置的输入光看作调整光。当然也可以把输入光的光源内置于光学装置内。

图 1 中，有关光学元件 2 及光学元件 3 的配置，以及所用的光学元件的光路是其概念性的例示，实际中应由光学装置的设计来决定。同样，输入到驱动机构 4 的控制信号 CS 的数量对应在光学元件的调整中所需要的参数的数量来确定。

可调整的光学元件 2 以及不进行调整的光学元件 3 是由反射镜、透镜、光学滤光片、棱镜、衍射光栅、偏振镜件、电光元件、声光元件、光学晶体（激光晶体）、狭缝以及由这些光学元件的复合而构成的光学元件等等，其作为光学单元 1 的构成要素发挥功能。即，在光学装置中，可调整的光学元件 2 以及不进行调整的光学元件 3 在光学单元 1 中被设置于所使用的光的光路上，进行把该光反射到其他方向、聚光、分割/合成光路、根据波长的筛选、衰减、按照波长的光路分类、按照偏振的光的筛选、调制、波长变换等。

在上面，可调整的光学元件 2 是用本发明之方法进行调整的光学元件，不进行调整的光学元件 3 虽然是不进行利用本发明的方法做调整的光学元件，但其也可以利用其他的方法，进行如在光学装置组装后马上粗调等利用传统的方法进行的调整。

所谓光学元件 2 的元件参数（参数），是光学单元 1 内的光学元件 2 的位置、方向、光学特性，位置方面是如正交座标系 X 轴、Y 轴、Z 轴各自的方向的位移量 x、y、z，方向方面是如以 X 轴为中心的旋转量θx、以 Y 轴为中心的旋转量θy、以 Z 轴为中心的旋转量θz。所谓的调整的光学特性是指如反射率、透过率、吸收系数、放大系数、波长转换效率、折射率、偏振特性（延迟）、传递特性（相位、光强、横模等）、分配比、调制率，以及上述的这些波长特性、聚光条件（焦点的形状、象差）、相干性、光路条件。

作为调整对象的光学单元 1 如上述那样，由可调整的光学元件 2 和不可调整的光学元件 3 构成，在该实施例中，认为在制造后或者在因光学装置的移动等受到振动或冲击后通过微调整可调整的光学元件 2 的参数，可以使光学特性满足要求标准。但是，如图 2 所例示的那样，由于该光学装置是某个光学元件 2 的某个参数的调整会对其他的几乎所有的参数的调整结果带来影响的光学装置，所以，在许多情况下，调整搜索空间将产生组合爆炸。因此，使用基于本发明的遗传算法的后述的调整方法非常有效。

在本实施例中，可调整光学元件 2 的参数使光学装置的功能满足

规定的标准。调整装置 5 的一构成例示于图 3。图中，5R 是保持数据的寄存器，5RG 是具备调整之处数量的寄存器 5R 的寄存器组。5A 是按照本发明之方法执行调整程序的调整算法运行装置，5F 是计算光学装置功能的评价值的评价函数器。图中，4 是驱动机构，4C 是比较电路，4D 是驱动变更光学元件的参数的驱动装置 4 的电机驱动电路（后面说明）。

在本实施例的调整中，上述驱动机构 4 根据对应于保持在示于图 3 的调整装置 5 内的寄存器 5R 上的数字值的控制信号 CS，变更要调整的调整元件 2 的参数。该控制信号 CS 是一一对应了寄存器 5R 的数据的模拟信号或者数字信号。这里仅设置与光学元件 2 的调整之处的总数相一致的个数的寄存器 5R。寄存器 5R 在把保持的数字值输出给驱动机构的同时，可以通过调整装置 5 内的调整算法执行装置 5A 变更所保持的值。

上述的调整算法执行装置 5A 按照遗传算法，搜索最佳值作为多个寄存器 5R 的保持值。调整装置 5 可由个人计算机或者微机等的具备有可读取的存储媒体/存储媒体的读出装置的电子计算机来构成，也可以使用日本特开平 9－294069 号专利公开的可编程 LSI，或利用梶谷等的论文《利用遗传算法的神经网络的构造学习电路的实现》（日本神经电路学会杂志，Vol.5，No4，pp.145~153，1998 年）所刊载的电路构成。

在上述的电子计算机中，实现调整算法执行装置 5A 及评价函数器 5F 的功能的程序保存在硬盘、ROM（读出专用存储器）、光盘、光磁盘、软磁盘、磁盘、闪存存储器、利用铁电介质的存储器、利用磁性体的 MRAM、具有备份功能的半导体存储器等存储媒体中。同样地，也可以在电子计算机上实现后述的驱动机构控制装置 5C 的功能，涉及用于此目的的调整方法的程序（进行调整的程序）同样地保存在上述的存储媒体中。

此外，也可以通过网络传递、发送进行上述调整的程序。

观测装置 6 输入光学装置（光学单元 1）的输出光并分析该输入

光，在变换成电信号后，传递给调整装置 5。调整装置 5 通过评价函数器 5F 计算对应于调整光的光学装置 1 的输出是怎样的理想程度的评价值。该评价值被传递给调整装置 5 内的调整算法执行装置 5A。调整算法执行装置 5A 如后述的那样，用本发明之方法搜索最佳的调整结果。

在本实施例，输入光及输出光的光路数分别各为一个，但在本发明中，光学装置 1 的输入光 8 以及输出光 9 的光路数可以是包含多个情况的任意场合，此外，如象内置激发光源的激光器那样，也可以是没有输入光 8 的情况。还可以是在双方向上处理光的光学装置的情况。在该情况下，由于对应于信号的方向输入光 8 和输出光 9 发生变化，所以要交换调整光发生器 7 和观测装置 6 的连接来实施本发明的调整。

用于本发明的调整的输出光 9 不仅仅是光学装置 1 原来的输出光，也可以从光学装置的内部（光学单元 1）取出。

光学单元 1 中的光学元件 2 的调整之处的总数是多个，如图 2 例示的那样，在光学元件 2 的调整之处，某个调整之处的调整会影响到其他的所有调整之处的调整结果，对调整搜索空间的组合产生爆炸的情况，本发明尤其有效。

本实施例的光学单元 1 以利用带有寄存器组 5RG 的调整装置 5 调整按照电信号的调整信号利用驱动机构 4 调整的光学元件 2 为最大特征。下面，进行本实施例的光学装置的动作说明。

光学元件 2 是由反射镜、透镜、光学滤光片、棱镜、波导型光学元件（光纤、波导型调制器、光纤光栅）、半导体光学部件（半导体反射镜、半导体吸收调制器）、衍射光栅、偏振镜件、电光元件、声光元件、光学晶体（激光晶体）、狭缝以及由这些光学元件的复合而构成的光学元件等等，是可以对应于调整装置 5 输出的控制信号 CS 利用驱动机构 4 改变其位置、方向、光学特性的参数的光学元件。

进而，本实施例以所用的光学元件 2 的调整之处的个数是多个为特征。调整之处是多个的情况下光学元件 2 的个数也可以是 1 个。光学元件 2 是多个时，不问其是否是同一种类的光学元件。另外，通常

驱动机构 4 的数量与光学元件 2 的调整之处的个数相同。但是驱动机构之一部分，如使电流流过电机的电路等也可以一体化。

光学元件 2 是利用驱动机构 4 使其参数变化的元件。可变的参数如上述那样，是任意座标系中的位置、方向、光学特性，某一个调整之处的变更，即，通过某一个驱动机构 4 的动作来变化的参数不限于是 1 个，以下示出驱动装置 4 的构成例。

图 4 所示是一可在一个方向上平移的光学元件 2 的驱动机构 4 的构成例。图 4 中，401 是该驱动装置的基台。402 是被驱动做平移的载荷台，设置有可在基台 401 上沿一个方向运动的轨道（没有图示）。在该载荷台 402 上安装有光学元件 2。403 是螺杆，404 是固定在基台 401 上的螺母。405 是用于转动螺杆 403 的电机，406 是用于检测螺杆 403 的旋转量（旋转角）的测位计。407 是弹簧，用于防止由螺杆 403 和螺母 404 之间的间隙产生的位置的不确定性，此外，其还发挥使螺杆 403 的移动量和载荷台 402 的移动量一样的功能。

在该驱动机构中，利用电机 405 转动螺杆 403，由于螺母 404 固定在基台 401 上，故螺杆 403 在其中心轴的方向上移动。该移动量的大小比例于螺杆 403 的旋转角。螺杆 403 旋转一周（旋转角 360 度）时，该移动量与螺杆 403 的螺纹齿的节距相等。载荷台 402 与螺杆 403 进行一样的移动。

4C 是用于输入控制信号 CS 和测位计所示的旋转角信号（PS）并比较对应于控制信号 CS 的旋转角和测位计所示的旋转角的比较电路。4D 是根据比较电路 4C 的输出输出用于驱动电机 405 的电流（MD）的电机驱动电路，其输出在让作为比较电路输出的对应控制信号 CS 的旋转角和测位计所示的旋转角变小的方向上转动电机的电流。

根据以上的操作，该驱动机构使安装在该驱动机构上的光学元件 2 平移到对应于控制信号 CS 所示的值的位置。即，该驱动机构对应控制信号 CS 所示的值使光学单元 1 内的光学元件 2 的参数发生变化。

也可以将图 4 构成例中的比较电路 4C 及电机驱动电路 4D 装入调整装置 5 内。图 5 所示为该一构成例。图 5 中的 5C 是驱动机构控制

装置，输入来自测位计 406 的信号并具有同图 4 的比较电路 4C 及电机驱动电路 4D 一样的功能。在此，具有与图 3 相同参考符号的部位表示是同一部件或与之相当的部件。

除了直流电机外，电机 405 也可以使用利用压电效应的压电电机。此外，由于在电机 405 是步进电机时可以对应流过步进电机的电流的状态控制电机的旋转角度，故此时可以省略测位计 406 及比较电路 4C。该情况下，电机驱动电路 4D 中输入控制信号 CS。

如果要在光学元件 2 进行二方向的平移，可以 2 层重叠使用上述图 4 构成的驱动机构 4。即，在重叠为 2 层的驱动机构中，可以采用下层的载荷台 402 和上层的基台 401 相互固定或二者一体的构成。此时，下层的载荷台 402 与上层的基台 401 的朝向关系既可以平行，也可以垂直。当然还可以是任意的一定角度。

如果要在光学元件 2 进行三方向的平移，可以和上述二方向的平移情况同样地 3 层重叠使用上述图 4 构成的驱动机构 4。即，在重叠为 3 层的驱动机构 4 中，可以采用下层的载荷台 402 和中央段的基台 401 相互固定或二者一体的构成，也可以采用中央段的载荷台 402 和上层的基台 401 相互固定或二者一体的构成。此时，各层的基台 401 与载荷台 402 的朝向关系同样地既可以是平行的，也可以是垂直的，还可以是任意的一定角度的。

图 6 所示是对光学元件 2 进行单轴旋转的驱动机构 4 的一构成例。图 6 中，401 是该驱动机构的基台。402 是被驱动做平移的载荷台，其以用 410 表示的支点为中心旋转。在该载荷台 402 上安装有光学元件 2。403 是螺杆，404 是固定在基台 401 上的螺母。405 是用于转动螺杆 403 的电机，406 是用于检测螺杆 403 的旋转量（旋转角）的测位计。407 是弹簧，用于防止由螺杆 403 和螺母 404 之间的间隙产生的位置的不确定性，此外，其还具有获得与螺杆 403 的移动量一一对应的载荷台 402 的转动量的功能。

在该驱动机构中，由电机 405 转动螺杆 403，由于螺母 404 固定在基台 401 上，故螺杆 403 在其中心轴的方向上移动。该移动量的大

小比例于螺杆 403 的旋转角。当螺杆 403 旋转一周（旋转角 360 度）时，该移动量与螺杆 403 的螺纹齿的节距相等。4C 是用于比较对应于控制信号 CS 的旋转角和测位计所示的旋转角的比较电路。

4D 是根据比较电路 4C 的输出输出用于驱动电机 405 的电流的电机驱动电路，其输出在让作为比较电路输出的对应控制信号 CS 的旋转角和测位计所示的旋转角变小的方向上转动电机的电流。通过螺杆 403 的移动，载荷台 402 进行以支点 410 为中心的旋转。通过以上的动作，该驱动机构使安装在该驱动机构上的光学元件 2 转动到对应控制信号 CS 所示值的方向来。即，该驱动机构对应控制信号 CS 所示之值使该光学元件 2 的参数发生变化。

除了直流电机外，电机 405 也可以使用利用压电效应的压电电机。此外，由于在电机 405 为步进电机时可以对应流过步进电机的电流的状态控制电机的旋转角度，故此时可以省略测位计 406 及比较电路 4C。此时，在电机驱动电路 4D 上输入控制信号 CS。

如果要在光学元件 2 上进行二轴的旋转，可以使用 2 组上述图 6 构成的驱动机构。进而，也可以共用支点 410、弹簧 407，采用示于图 7 的构成。在图 7 中，403a、403b 是用于获得对应 2 个轴的旋转的螺杆，410 是共同的支点、407 是共同的弹簧。图 7 中省略了对螺杆 403a、403b 的移动所需要的其他构成要素的记载。螺杆 403a、403b 各自独立平移行到对应控制信号 CS 的位置的移动，获得 2 个轴的独立的旋转。

如果要在光学元件 2 上进行三轴的旋转，则和上述二轴旋转的情况同样地使用 3 组上述图 6 构成的驱动机构即可。

在 1 个光学元件 2 的可变化的参数是平移和旋转的复合时，可以组合上述的平移时的构成例和旋转时的构成例来实现。

在光学元件 2 是可变形反射镜时，可以进行对处理的光的波面的控制。图 8 及图 9 所示是可变形反射镜的光学元件 2 及其驱动机构 4 的一构成例。图 8 所示是该可变形反射镜的构成例的断面，图 9 所示是该可变形反射镜构成例的电极配置平面图。

在图 8 中，201 是对应控制信号 CS 所示之值变形的反射镜，202 是反射镜的支撑构造，203 是若干个电极。4AM 是对应控制信号 CS 之值输出电压的放大器。在本构成例，由 1 个可变形反射镜构成的光学元件 2 和多个驱动机构 4 为一整体构成。

该变形反射镜 201 由导电性物质构成，为方便起见设其为接地电位。多个电极 203 接近并面向该反射镜 201 且等距离地设置。此时，如果在电极 203 上施加电压，则由于静电引力，接近电极 203 的反射镜 201 的部分将被拉近电极。其结果是，该反射镜 201 发生变形。在此，电极 203 及放大器 4AM 起着驱动机构 4 的作用。

由于电极 203 是多个，所以对应施加到各自电极上的电压，各自的电极附近的反射镜将被拉近。此时，反射镜 201 的变形的自由度与电极 203 的个数相同。电极 203 如图 9 所示那样配置。在上述构成例中，一个可变形反射镜的电极个数、反射镜 201 的变形的自由度、调整之处的个数都是 37。

即，该反射镜 201 具有和输入的控制信号 CS 同一数目的参数，以与其相同数目的自由度变形。这里，邻接某个电极 203 的其他电极 203 上的电压对对应该电极 203 的位置的反射镜 201 的变形量有很大影响。为此，多个被调整的参数如图 2 所示，将对该参数的调整结果相互产生影响。

关于可变形反射镜的其他构成例，图 10 示出其断面。图 10 中，4PZ 是压电元件，204 是绝缘体的支撑构造。此外，与图 8 的情况相同的部位均附加有相同的符号。电极 203 的配置和图 9 所示的构成例一样。

即，输入的控制信号 4CS 被放大器 4AM 放大，并把对应该控制信号 CS 的电压施加到压电元件上。这样，压电元件发生机械性的变形，从而反射镜 201 变形。因此，和上述的构成例同样地，可以对应控制信号 CS 所示之值改变反射镜的形状。在该构成例中，由于反射镜 201 是通过压电元件 4PZ、电极 203、以及支撑构造 204 机械性地固定，所以，在希望减小来自外部的振动所产生的影响的场合非常有效。

作为可变形反射镜的另外的构成例，也可以把图 10 中的压电元件 4PZ 用压电元件和产生机械性位移的驱动机构的复合构成。在该驱动机构中，可以使用图 4 中示出的驱动机构。该情况下，通过用该驱动机构使反射镜形状产生的大的位移，利用压电元件进行位移的微调整，可以以高的精度获得大的位移。

图 11 示出可变的元件参数是透过率或吸收系数时的光学元件的一构成例。图 11 中，210 是半导体结型元件，211 是输入光，212 是输出光，213 是电极，4AM 是放大器，对应于本发明中的驱动机构。控制信号 CS 被输入放大器 4AM，对应其控制信号 CS 的电压通过电极 213，作为半导体结型元件 210 的反向偏置电压施加到该半导体结型元件上。此时，半导体结型元件 210 内部的物理参数发生变化，光的透过率或者吸收系数发生变化。

在可变的元件参数是反射率时，可以采用在图 11 的构成中形成一个在半导体结型元件 210 的与光路相垂直的一个面上形成反射膜的构成。该情况下，入射光和反射光的光路同一，利用控制信号 CS 所示的值变化反射率。

图 12 示出可变的元件参数是复折射率时的光学元件的一构成例。图 12 中，220 是液晶，221 是偏振镜，222 是相位调整器。对其他的与图 11 同样的构成要素附加有相同的符号。液晶 220 利用施加的电压改变复折射率。元件 220 也可以代替液晶使用具有复折射率的电光晶体。相位调整器 222 是 1/2λ 片（波长板）或 1/4λ 片（波长板）。该构成例也同上述的可变透过率的情况一样，把对应控制信号 CS 的电压施加到液晶 220 上，改变液晶的复折射率，使传过该光学元件的光的偏振特性（延迟）发生变化。

图 13 示出可变的元件参数是传递特性（相位/光强）时的光学元件的一构成例。图 13 中，230 是电光晶体，231 是分波器，232 是合波器，233 是反射镜，221 是偏振镜。对其他的与图 11 同样的构成要素附加有相同的符号。电光晶体 230 也可以是液晶等。分波器以及合波器是例如偏振分束器。输入光 211 被分波器 231 分为 2 份，一份光

通过电光晶体 230 对应控制电压所示之值改变相位。该光和来自分波器 231 的光被合波器 232 合成。此时，对应控制信号 CS 该光学元件的输出光的光强发生变化。

图 14 示出可变的元件参数是分配比时的光学元件的一构成例。图 14 中，230 是控制偏振的电光晶体，231 是分波器，如是偏振分束器。221 是偏振镜。212a、212b 是被分配成二束的输出光。对其他的与图 11 同样的部件上附加有相同的参考符号。同上述的光学元件一样地，输入光 211 通过电光晶体 230 对应控制电压所示之值改变偏振的状态。该光由分波器 231 对应偏振的状态进行分配。其结果是对应控制信号 CS 光学元件的分配比发生变化。

图 15 示出可变的元件参数是调制率时的光学元件的一构成例。图 15 中，4VA 是电信号的可变增益放大器，230 是电光晶体。此外的其他与图 11 同样的构成要素上附加有相同的符号。输入光 211 在电光晶体 230 被调制信号调制。此时，通过利用控制信号 CS 改变可变增益放大器 4VA 的增益，可对应控制信号 CS 改变该光学元件的调制率。

图 16 示出可变的元件参数是振幅、相位特性的波长依存性（波长特性）时的光学元件的一构成例。图 16 中，250 是利用多个控制信号 CS 控制其透过特性的液晶板，251 是衍射元件，252 是透镜。衍射元件 251 可以是衍射光栅或棱镜。输入光 211 由衍射元件 251 及透镜 252 按波长分开光路。进而，液晶板 250 对应多个控制信号 CS 所示之值改变多个光路的振幅、相位特性。其结果是逐个波长地改变光的振幅、相位。然后，通过透镜 252 及衍射元件 251 把波长不同的光路合成为一个光路。其结果是对应多个控制信号 CS 该光学元件的振幅、相位特性的波长依存性发生变化。

上述的可改变光学特性的光学元件虽然只是可电子地改变其光学特性的元件，但也有可光学地改变光学元件 2 的光学特性的情况。

在可光学地改变光学元件 2 的光学特性的元件中，包括有波长变换晶体，光放大介质，光调制器，光开关元件。波长变换晶体是光学晶体，是利用基于偏振振动的非线性的非线性光学现象的材料。光放

大介质包括有激光晶体，有机色素（染料），半导体，光放大波导。

激光晶体形成激光能级（产生激光迭代的可能的能级）的反转分布并利用受激发射放大光。有机色素（染料）在有机色素中形成激光能级的反转分布并利用受激发射放大光。光放大波导是把铒等具有激光能级的元素添加到波导中而成的器件，如添加铒的光纤。

可声学地改变光学元件 2 的光学元件的光学特性的元件是声光元件，例如，把超声波施加到设置在光学元件的光路上的介质上，利用由该超声波的驻波引起的介质的物理参数的变化来改变光学元件的光学特性。

此外，光学元件 2 也可以是上述光学元件 2 的复合而成的元件。

下面，对用于调整上述光学装置的本发明之调整方法的第 1 实施例进行说明。

上述光学装置生产出来后，在调整工序中，如图 1 所示的那样，在该光学装置上分别配置有光学单元 1、调整装置 5、观测装置 6 以及调整光产生装置 7。调整光产生装置 7 将调整光 8a 输入光学装置，调整装置 5 按照图 17 所示的处理程序，进行寄存器组 5RG 的寄存器值的设定。

在该处理程序中，首先在步骤 S1，利用人工进行粗调并让光学装置动作，并测量此时的各光学元件的元件参数值，再把该值作为初始设定值写入寄存器 5R，让其作为寄存器值来保持，在步骤 S2，调整光产生装置 7 输出调整光，相对于该调整光让光学装置动作，然后在步骤 S3 用观测装置 6 观测该光学装置的光输出，并把其结果送入调整装置 5，接着在步骤 S4，调整装置 5 使用送来的观测值判断光学装置的性能是否在满足规定标准的允许范围内。

这里，不在允许范围时，在步骤 S5，调整装置 5 变更寄存器组 5RG 中保持着的寄存器值，接着在步骤 S6，等待一定的时间直到驱动机构 4 停止为止，然后在步骤 S7 判断是否满足了结束条件（具体后述），如果已满足结束条件，则在步骤 S8 在进行了不合格品处理后结束目前的处理，如果没有满足结束条件，则返回步骤 S2，反复执行上述的一

系列的处理。进而在上述步骤 S4，当得到了光学装置的性能已达到满足规定标准的性能的判定时，则结束目前的处理。

关于由上述的初始设定值变更寄存器值的方法，可以使用若干种方法，下面示出其例。即，第 1 方法是对在假定的寄存器值的范围内的所有的组合，按适当的顺序逐个替换设定值的方法，第 2 方法是使之随机地产生设定值的方法。而第 3 方法则是把人工的粗调结果作为初始设定值，然后从该初始设定值向正方向和负方向变化设定值的方法。

在作为调整对象的光学单元 1 内被调整的光学元件 2 的数目少，不产生寄存器值的组合爆炸时，可以使用第 1、第 2 方法。但是，因为本实施例是考虑被调整的光学元件 2 的数目多，在要调整的元件参数的调整搜索空间产生组合爆炸的情况，所以，使用第 3 种方法。此时，使用被称为遗传算法的方法。下面，对使用了遗传算法的光学装置的调整方法进行说明。

作为上述遗传算法的参考文献，有如 ADDISON－WESLEY PUBLISHING COMPANY，INC. 出版社 1989 年出版的 David E. Goldberg 著的《Genetic Algorithms in Search，Optimization，and Machine Learing》。本发明所说的遗传算法称为演化算法，是一个包含演化策略（Evolution Strategy: ES）的方法的算法。作为演化策略的参考文献，有如 John Wily & Sons 出版社 1995 年出版的、H. P. Schwefel 著的《Evolution and Optimum Seeking》。

光学装置的性能可以用以多个元件参数值为变量的评价函数 F 来表示。这样，使光学装置的性能满足所规定的标准便等价于求解最适于评价函数 F 的参数值。本发明人着眼于此点，发现了可适用于光学装置的调整的上述遗传算法。调整装置 5 按照该遗传算法变更寄存器组 5RG 的寄存器值。

在遗传算法中，首先设定具有遗传基因的假想的群体，那些适应预先确定的环境的个体具有多的机会产生子体。进而，按被称为遗传操作的程序让子体继承父代的遗传基因。通过进行这样的世代交替并

让遗传基因及群体进化，使具有高适应值的个体在群体中占优势。作为此时的遗传操作，可使用在实际生物的生殖中也发生的遗传基因的杂交、以及变异等。

图 18 是表示所使用的遗传算法的概要程序的流程图，这里，最初在步骤 S11 确定个体的染色体。即，确定在世代交替时以怎样的形式把怎样内容的数据从父代传递给子体。染色体例示于图 19。这里，设用 M 个记号 Ai（i=1、2、· · M）的序列表示作为对象的最佳化问题的变量矢量 x，并将之看作是由 M 个遗传基因构成的染色体。各个记号 Ai 是遗传基因，这些可获得的值是等位基因。图 19 中，Ch 表示染色体，Gs 表示基因，遗传基因座的个数 M 是 5。作为对立遗传基因，相应于问题来确定某个整数组、某个范围的实数值、简单的记号序列等。在图 19 的例中，字母 a ～ e 是对立遗传基因。这样被记号化的遗传基因的集合便是个体的染色体。

在上述步骤 S11 中，接着确定表示各个个体是怎样程度地适应着环境的适应值的计算方法。此时的设计为，作为对象的最佳化问题的评价函数的值越高的变量或者越低的变量，与之对应的个体的适应值越高。另外，在此后进行的世代交替中，适应值越高的个体，其生存的概率或留下子代的概率比其他的适应值低的个体要更高。反之，适应值低的个体被视为不能很好地适应环境的个体，使之消亡。这是反映进化论的自然淘汰法则的方法。即，从生存的可能性方面看，适应值是表现各个个体怎样程度优越的尺度。

在遗传算法中，当开始搜索时，作为求解的问题一般还是完全的“黑匣子（未知数）”，什么样的个体理想还完全不清楚。因此，通常初始的群体是使用随机数让其随机地产生。从而，这里的程序也一样，在步骤 S12 开始处理后的步骤 S13，使用随机数随机地产生初始的群体。而在对搜索空间有某种预备知识时，有时也进行以被认为评价值高的部分为中心来产生群体等的处理。这里，把所产生的个体的总数称为群体的个体数。

下面，在步骤 S14，根据在前面的步骤 S11 确定的计算方法计算

群体中各个个体的适应值。如果对各个个体求出了适应值，则在步骤S15，从群体中选择淘汰作为下一代的个体的基础的个体。但是，如果只进行选择淘汰，则只是在此时具有最高适应值的个体在群体中所占的比例变高，并不产生新的搜索点。为此，要进行下面所述的被称为杂交和变异的操作。

即，在下一步骤 S16，从利用选择淘汰生成的下一代的个体中按规定的发生频率随机地选择二个个体进行配对，组合变换染色体并创造子染色体（杂交）。这里，把发生杂交的概率称为杂交率。由杂交生成的子代个体是继承了来自于相当于父代的个体各自的性状的个体。通过该杂交处理，个体的染色体的多样性升高并产生进化。

杂交处理后，在下一步骤 S17，按一定的概率让个体的遗传基因变化（变异）。这里，发生变异的概率称为变异率。以低概率改变遗传基因的内容的现象，是一种在实际生物的遗传基因中也能看到的现象。但是，如果变异率过大，则杂交产生的父代性状的遗传特征可能消失，因其与随机地搜索搜索空间中的情况一样而需要加以注意。

利用以上的处理可以确定下一代的群体，这里，在下一步骤 S18，检查所生成的下一代的群体是否满足用于结束搜索的评价基准。该评价基准依赖于具体问题，但代表性的有以下几种。

· 群体中的最大适应值比某个阈值大。

· 群体全体的平均适应值比某个阈值大。

· 群体的适应值的增加率在某个阈值以下的世代延续一定的期间以上。

· 世代交替的次数已经达到了预先确定的次数。

对满足了象上述这样的某一个结束条件（评价基准）的情况，程序将进入步骤 S19 并结束搜索，把该时刻群体中适应值最高的个体作为所求的最佳化问题的解。在不满足结束条件时，返回到步骤 S14 的各个个体的适应值的计算处理并继续搜索。通过这样的世代交替的反复，可以在保持群体的个体数一定的同时，提高个体的适应值。以上是遗传算法的概要。

上面所述的遗传算法的框架是没有规定实际编程细则的宽松的结构，并非是相对于各个问题规定详细的算法的框架。为此，要把遗传算法应用于本实施例的光学装置的调整，需要在光学装置的调整使用中实现以下项目。

（a）染色体的表示方法

（b）个体的评价函数

（c）选择淘汰方法

（d）杂交方法

（e）变异方法

（f）搜索结束条件

图 20 所示是使用了本实施例中的遗传算法的调整装置 5 的处理程序的流程图。该图 20 的处理具体地表示图 17 的步骤 S3～步骤 S5 的处理。本实施例的最大特征是作为遗传算法的染色体直接使用寄存器 5 的寄存器值，由此，可以省略用于把染色体的信息变换成寄存器值的处理等。

以图 21 为例具体地说明该问题。该图是调整图 4 及图 6 所示的驱动装置时的例子，寄存器 5R 保持着+4.32、-15.67、+3.47、-9.71 等值。串联地连接这些值的结构是染色体，对本例情况，染色体中的各遗传基因为取+4.32、-15.67、+3.47、-9.71 等值。由于寄存器 5R 的值对应着驱动机构 4 内的测位计 406 的值，所以，可控制光学元件 2 使测位计 406 的值成为用寄存器 5R 所指示的值。因为测位计 406 的值和元件参数的值一一对应，故遗传算法的遗传基因的值亦和元件参数的值一一对应。

作为在图 20 的处理中使用的遗传算法的个体的评价函数 F，使用的是在用个体的染色体所表现的寄存器值设定光学单元后让其动作，并表现利用观测装置 6 观测到光输出何种程度接近理想的输出的函数。

为了用于图 20 所示的处理，先在图 17 的步骤 S1，作为遗传算法的初始群体，使用同样的随机数作成多个个体。也就是说，这意味着

该情况下初始群体的各染色体的各遗传基因的值取的是上限值和下限值之间的随机的实数值。但是，当对元件参数的误差倾向具有某种预备知识时，可以把被认为是适应值更高的个体作为初始群体来生成。

根据观测装置 6 送来的观测结果，由评价函数器 5F 使用上述评价函数来计算适应值。此后，利用调整算法运行装置 5A 在步骤 S23 判断光学装置 1 的性能是否在满足所规定的标准的允许范围内，当不在允许范围内时，进行步骤 S24 的选择淘汰、步骤 S25 的杂交、步骤 S26 的变异以及步骤 S27、步骤 S28 的局部学习的处理（后述），并作出下一代的个体的群体（解的候补群体）。

而在步骤 S23 的判断中光学装置的性能满足了所规定的标准时，调整处理将结束，但对即使是反复一定世代数进行调整处理也不能获得满足标准的染色体（寄存器值）的情况，则判定作为调整对象的光学装置为不合格品，在图 17 的步骤 S8 进行作为不合格品的处理。在规定的标准中存在有尽可能地增大或减小如输出光的强度等评价值的指示时，则在步骤 S23 作为结束调整处理的条件，使用代数是否超过一定数目之类的条件，不进行不合格品处理。

上述步骤 S24 的选择淘汰处理，使用的是图 22 所示的流程图的方法。该方法首先在步骤 S31 及步骤 S32 从群体中随机地选择两个个体 A、B，接着，在步骤 S33 至步骤 S35 把该两个个体 A、B 中的具有大的适应值的个体作为让之存留到下一代的个体。进而，从步骤 S36 返回到步骤 S31 并反复其操作，直到存留的个体数达到群体的个体数。在该方法中，虽然适应值大的个体被选作为下一代的个体的可能性高，但因为是随机地选择个体 A、B，故即便是适应值低的个体也残存有被选作为下一代的个体的可能性。这样做的结果是，如果只剩下适应值高的个体，则群体易于过早收敛，调整将陷入局部最佳解。

上述步骤 S25 的杂交处理使用的是图 23 所示的说明图中的方法。这是在随机的位置上部分地调换染色体的操作，是一种被称为 1 点杂交的做法。在图 23，Ch1 及 Ch2 是作为选择淘汰结果残存的父代 A、B 的染色体，在这里的杂交处理中，在随机地选择的杂交位置 CP 处

切断这些染色体。在图 23 的例中，以从左边起的第 2 个遗传基因和第 3 个遗传基因间为杂交位置。进而，通过调换切断的部分的遗传基因型，生成分别具有染色体 Ch3 及 Ch4 的子体 A'、子体 B'，并用它们置换原来的个体 A、B。

接着步骤 S25 的杂交而运行的上述步骤 S26 的变异，是在各染色体的遗传基因上加上按照高斯分布 N（0、σ）产生的正态随机数的操作。图 24 示出变异的例子。在该图中，对染色体 Ch5，加上按照高斯分布产生的正态随机数 N 并变更为染色体 Ch6。

在结束了步骤 S26 的变异后，将所获得的染色体的值写入寄存器组 5RG。此后，驱动机构控制装置 5C 控制驱动机构 4 使元件参数的值成为对应寄存器值的值。在没有驱动机构控制装置 5C 时，位于驱动装置内的比较器 4C 及电机驱动电路 4D 进行使元件参数成为对应寄存器值的值的控制。在该控制中，与观测装置 6 在观测输出光的状态时所需要的时间相比，该控制一般需要 10 倍到 100 倍的时间。

因此，本发明发明了在进行该控制的过程中也让观测装置 6 动作，并使用其观测值来高效地进行搜索的调整方法。我们把该方法称之为局部学习，在步骤 S27、步骤 S28 运行。在进行局部学习时，使用示于图 5 的调整装置 5。在观测装置 6 观测输出光的状态所需要的时间较控制元件参数所需要时间大时，不进行该局部学习而只进行步骤 S27。

上述步骤 S28 的局部学习处理使用的是图 25 所示的说明图的方法。该方法是：首先在对应于图 20 的步骤 S27 的图 25 的步骤 S41 变更寄存器值，并让图 5 的驱动机构控制装置 5C 动作，在步骤 S42 利用观测装置 6 观测光学装置的输出光，与此同时，驱动机构控制装置 5C 在步骤 S43 测量元件参数的值。在步骤 S44，驱动机构控制装置 5C 及函数评价器 5F 把在步骤 S42 和步骤 S43 获得的输出光的观测值和元件参数的值送入调整算法运行装置 5A，调整算法运行装置 5A 以它们为组保存到存储器 5M。

进而在步骤 S45，由驱动机构控制装置 5C 反复步骤 S42～步骤

S44，一直到判定元件参数的值已成为了对应寄存器值的值为止。在步骤 S46，在判定元件参数的值已成为对应寄存器值的值后，在调整算法运行装置 5A 中，选出保存在存储器 5M 中的输出光观测值和元件参数的值的组中评价函数 F 的值为最大的组，即局部的最佳解。最后在步骤 S47，使用在步骤 S46 选出的组的元件参数值，求解与之对应的寄存器值并用该值换写染色体。

在上述局部学习处理中，使用图 26 说明作为调整对象的元件参数是 2 个时的动作例。首先，在步骤 S41，设变更寄存器值之前的元件参数的值是（XS、YS）。进而，设对应在步骤 S41 变更的寄存器值的元件参数的值是（XE、YE）。此时，在从步骤 S42 到步骤 S45 的循环中，元件参数的值通过驱动机构控制装置 5C 被缓慢地从（XS、YS）变化到（XE、YE）。同在此时，通过步骤 S44，把变更途中的元件参数的值和与该值对应的观测结果的组保存到多个存储器中。

而后，在步骤 S46，选出保存在存储器中的上述元件参数值和观测值的组中按照观测结果计算出来的评价函数 F 的值（适应值）为最大的组。该例的情况，由于元件参数在（XM、YM）时取评价函数值最大的 FM，故在步骤 S46 选择（XM、YM）的组。最后在步骤 S47，染色体的值被换写为对应元件参数（XM、YM）的值。

图 26 的例的情况，即不进行局部学习的情况，由于仅在元件参数为（XS、YS）时和（XE、YE）时的二种情况进行搜索（观测），故不可能发现评价函数值为 FM 的元件参数（XM、YM）。但在进行局部学习时，因为在元件参数变更的过程中也进行观测，即在（XS、YS）（XE、YE）以外的多个元件参数值（大致从 10 到 100 个左右）中进行搜索，所以可以发现（XM、YM）。进而，由于用对应于该（XM、YM）的寄存器值换写染色体，故可大幅度地改善搜索效率。

如上所述的这样，在本实施例的光学装置中，对多个光学元件使用可变更元件参数的元件 2，并搜索这些光学元件 2 的元件参数以使之更有益于光学装置的性能。从而，不需要由熟练人员进行手动调整及高精度的光学元件，另外，也不需要高精度的驱动装置，并能够自

动地把光学装置调整到使之满足规定的标准。这意味着可以用比传统技术调整时少的工时获得比传统技术调整时高的性能。

下面，对本发明之第 1 实施例的光学装置的一个变形例进行说明。在先前的实施例中，把被调整的光学元件 2 安装在光学装置内，而调整装置 5 及观测装置 6 作为外部装置可以装卸地连接在光学单元 1 上。但在本发明中，也可以构成为把相当于调整装置 5 或观测装置 6 的功能作为调整机构装入光学单元 1 的装置。

这样构成的变形例示于图 27。这里，在光学装置 1A 内被组入了光学单元 1、相当于调整装置 5 及观测装置 6 的功能。

即，图 27 的光学装置的例子在光学装置 1A 的输入光 8 及输出光 9 的光路部分上设置了利用反射镜的切换开关 13。该切换开关 13 如图示的例那样，既可以设置在光学装置 1A 内，也可以设置在光学装置 1A 外。这里，如果操作切换开关 13，则在光学单元 1 的输出光被输入到观测装置 6 的同时，调整装置 5、调整光产生装置 7 开始动作，进行设定值的调整。如果设定结束，则通过切换开关 13 的操作把光学单元 1 的输出光切换到本来的输出光路侧。在该例中，设置有在不能获得满足标准的解（寄存器值）时发出警告显示的显示器 14。

按照该变形例，不但可以进行组装后的光学装置 1A 的调整，而且在用户购买了装入有光学装置 1 的产品后，用户自己也可以随时进行光学装置 1A 的调整。这样一来，即便是在移动搬运了光学装置 1A 时，或者在放置光学装置 1A 的环境的温度及其他发生了变化时引起光学装置的性能特性产生变化，也可以补偿其变化，进而，其还有可以改善因光学元件的元件参数的偏离而引起的光学装置的功能·性能降低的优点。切换开关 13 不仅限于手动，也可以采用在光学装置 1A 起动时自动切换的构成。

另外，作为调整装置 5，通过使用先前的梶谷等的论文记载的遗传算法运行电路等，该变形例还适合于小型化。

由于利用该变形例，用户可以进行随时调整，故光学元件的支撑物或光学单元 1 的基台（光学平台）的刚性可以是比传统情况低的物

体。作为结果，可以获得使光学单元 1 大幅度地轻量化、小型化乃至于降低成本之类的效果。

下面，给出作为本发明之光学装置的第 2 实施例的超短脉冲激光装置（所产生的光脉冲的宽度从飞秒级到 10 皮秒级的激光装置）的一个实施例。图 28 例示的是作为本发明之光学装置的第 2 实施例的超短脉冲激光装置的构成图。

超短脉冲激光装置具有所产生的光脉冲的脉冲宽度达飞秒级的非常之短，且所产生的光脉冲的强度的尖点值（峰值）非常之大的特点，因此，其不仅在以超高速采样测量技术为代表的测量技术中，而且在光通信技术、医疗技术、加工技术中超短脉冲激光装置也有很高的实用性。

超短脉冲激光装置以激发光源、光学晶体、构成谐振器（谐振腔）的多个反射镜及棱镜等光学元件为该激光装置的主要的构成要素。而且在超短脉冲激光的功能中，人们所期望的特性是：所产生的光脉冲的强度尽可能的高，脉冲的宽度尽可能的短，光脉冲强度的峰值尽可能的大，而所需要的激发光的强度则尽可能的小。

在实际制造的超短脉冲激光装置中，由于制造工序中的加工、装配精度的限制，移动、搬运时的振动或冲击，设计上的误差等引起的该光学元件的位置或方向（参数）的误差，致使光学元件的作用不完全，其结果是造成光脉冲的强度降低，脉冲的宽度变长，光脉冲强度的峰值降低，所需要的激发光的强度升高之类的功能的降低。

因此，在该第 2 实施例中，设定构成超短脉冲激光装置的光学元件中的多个光学元件的参数可变，并使用遗传算法进行调整以提高该激光的功能。图 28 示出了该第 2 实施例的超短脉冲激光装置的构成，该超短脉冲激光装置（以下称为“激光装置”）1L 相当于第 1 实施例中的光学单元 1。进而，对与图 1 中所使用的一样的部件附加有与其相同的参考符号。

图 28 是应用了本发明之光学单元的超短脉冲激光装置的一个构成例，在该实施例中，调整装置 5 及观测装置 6 为外部装置。在激光装

置 1L，从 2M1 到 2M4 是作为对应控制信号 CS 所示之值让参数变化的光学元件的、可以使参数变化的反射镜，2P1 及 2P2 也是作为对应控制信号 CS 所示之值让参数变化的光学元件的、可以使参数变化的棱镜。3M1 及 3M2 是作为本发明之方法中的不进行调整的光学元件的反射镜，3C 也是作为本发明之方法中的不进行调整的光学元件的光学晶体（激光晶体）。

7PB 是产生激光装置的激发光的光源（激发光源），激发光源 7PB 对应于实施例 1（图 1）中的调整光产生装置，是一种内置于作为调整对象的光学装置即激光装置 1L 的构成。而光学晶体 3C 及从 2M1 到 2M4 的部分构成用于让光往返于 2M1 和 2M4 之间的谐振器（谐振腔）。设该谐振器为 2R，我们将如后述的那样利用本发明之方法调整该谐振器 2R。

另外，图 28 中，4 是驱动机构，该驱动机构 4 把对应于保持在作为保持电路的寄存器 5R 上的数字值的电信号作为控制信号 CS，提供给作为光学元件的从 2M1 到 2M2，以及 2P1、2P2。这里，驱动机构 4 及寄存器 5R 只设置有相当于调整之处的个数的数目（图 28 的构成中是 14）。

上述驱动机构 4 可以利用在实施例 1 中使用的图 4 到图 7 所示的构成。各自的调整之处的参数，对应于寄存器 5R 的 32 位的数据电机 405 旋转，使得测位计 406 所示的值能够达到对应于该数据的值，由此改变光学元件 2 的位置或者方向。

图 28 中，8 是由激发光源产生的激发光，9 是激光装置 1L 的输出光。6 是观测激光装置 1L 的输出光 9 并输出计算了光强度、脉冲强度、或者与脉冲强度关连的量（如由激光脉冲光引起的在化合物半导体中因双光子吸收而产生的电流值）等、或者它们的组合而得到的结果的装置。

5 是调整装置，按照遗传算法，用和第 1 实施例中详述的同样的方法，搜索最佳的值作为多个寄存器 5R 的保持值。

上述反射镜 2M1 是平面反射镜，其反射入射到该反射镜的光的一

部分，并透过其反射了的光的剩余部分。上述反射镜 2M2 是凹面反射镜，在凹面侧反射并会聚入射的光的一部分，此外，从背面透过输入的光的一部分。上述反射镜 2M3 是凹面反射镜，其反射并会聚入射到凹面侧的光。上述反射镜 2M4 是平面反射镜，其反射入射到该反射镜上的光的一部分。上述棱镜 2P1 及 2P2 利用光的折射作用以依存于光的波长的角度折曲光路。反射镜 2M1 到 2M2、以及棱镜 2P1、2P2 设置在可以利用驱动机构 4 控制位置及方向的图 4 至图 7 的载荷台 402 上。

上述反射镜 3M1、3M2 是平面反射镜，其反射入射到该反射镜上的光。上述光学晶体 3C 是添加了钛的蓝宝石晶体，吸收并蓄积入射光的能量，通过受激辐射现象进行光的放大。所使用的反射镜及光学晶体在组装激光 1 时，有时也进行位置或方向的调整，以获得合适的光路，但在本实施例中，可以不进行利用本发明的调整方法的调整。

所使用的 2M1 到 2M4、以及棱镜 2P1 及 2P2 是用本发明之方法进行调整的光学元件，根据控制信号 CS 所示之值改变光学元件的参数，即，位置及方向，或者方向。由此，改变谐振器 2R 的特性并改变激光的特性。

使用附图对上述的被调整的光学元件的位置和方向进行说明。图 29 是为方便起见用平板表示了光学元件的图，21 是需要调整的光学元件。这里，为方便起见设作为光学元件 21 的基准的轴为 X 轴，定义如下。即，在光学元件 21 是反射镜时，设通过反射镜的中心并垂直于面的线为 X 轴；在光学元件 21 是凹面反射镜时，设连结焦点和凹面反射镜的中心的线为 X 轴；在光学元件 21 是棱镜时，设作为棱镜中平均光路中心的线为 X 轴。为方便起见，设光学元件 21 的其他轴为 Y 轴，定义如下。即，在光学元件 21 是棱镜时，设在由入射光的光路和出射光的光路构成的平面上与该 X 轴垂直的线为 Y 轴；在光学元件 21 是平面反射镜或凹面反射镜时，设与 X 轴垂直的任意一条线为 Y 轴。进而，定义与该 X 轴和该 Y 轴垂直的线为 Z 轴。X 轴、Y 轴、及 Z 轴的符号的朝向（正的方向）的定义任意。这里，当光学元件 21 被

驱动机构 4 改位移置时，设 X 轴方向的移动量为 x，Y 轴方向的移动量为 y，Z 轴方向的移动量为 z。

关于光学元件 21 的方向，当以平行于 Y 轴的某条直线为轴利用驱动机构 4 使光学元件 21 只转动角度θy 时，为方便起见，称之为 Y 轴方向的旋转。同样地，以平行于 Z 轴的某条直线为轴只使其转动角度θz 时，为方便起见称之为 Z 轴方向的旋转。

在本实施例中，也可以适用实施例 1 的由图 4 到图 7 所示的方法，利用驱动机构 4 变化光学元件 21 的位置及/或方向。关于每一个被调整的光学元件，表 1 示出被调整的内容及参数。

表 1

光学元件	被调整的内容	被调整的参数
2M1	Y 轴方向旋转，Z 轴方向旋转	θy，θz
2M2	X 轴方向移动，Y 轴方向旋转、Z 轴方向旋转	x，θy，θz
2M3	X 轴方向移动，Y 轴方向旋转、Z 轴方向旋转	x，θy，θz
2M4	Y 轴方向旋转，Z 轴方向旋转	θy，θz
2P1	Y 轴方向移动，Z 轴方向旋转	y，θz
2P2	Y 轴方向移动，Z 轴方向旋转	y，θz

适用于上述的光学元件的驱动机构 4 及该光学装置的构成，具体地，可是如下的构成。反射镜 2M1 及 2M4 分别是安装在图 7 所示构成的驱动机构的载荷台 402 上的构成。反射镜 2M2 及 2M3 是分别使用示于图 4 的构成及示于图 7 的构成的组合，且图 4 中的载荷台 402 是作成在图 7 没有图示的基台的驱动机构的构成，是将该反射镜安装在图 7 的载荷台 402 上的构成。棱镜 2P1 及 2P2 分别使用示于图 4 的构成及示于图 6 的构成的组合，且图 4 中的载荷台 402 是作成在图 6 中的基台 401 的驱动机构的构成，是将该棱镜安装在图 6 的载荷台 402 上的构成。

激发光源 7PB 是使用四氧化钇钒晶体（YVO4）并产生波长为

530nm 的连续光的激光装置。

在激发光源 7PB 产生的光，经由反射镜 3M1 及 3M2，且其光的一部分透过反射镜 2M2 照射到光学晶体 3C 上。在光学晶体 3C 上，吸收并蓄积该照射的光能量，向反射镜 2M2 方向及反射镜 2M3 方向发射与该照射的光波长相异的光 RL。在由反射镜 M1 到 M4、棱镜 P1、P2、光学晶体 3C 组成的谐振器 2R 中，该光 RL 以由光路的长度所决定的时间周期往复于作为谐振器的两端的反射镜 2M1 和 2M4 之间。利用该光的往复可获得激光振荡。因为反射镜 2M1 透过光的一部分，故可获得输出光 9。

理想的情况是上述的光学元件的位置及方向和激光装置设计上的位置及方向完全一致，此时，激光装置的特性良好（如该激光装置的输出光的强度高，脉冲宽度短，脉冲的峰值强度高，需要的激发光的强度低的状态）。

但是，在实际制造的超短脉冲激光装置中，由于制造工序中的加工、装配精度的限制、移动、搬运时的振动或冲击、设计上的误差等引起的该光学元件的位置或方向（参数）的误差，致使光学元件的作用不完全，其结果是造成激光装置的性能降低。

因此，在该实施例的激光装置 1L 中，通过调整作为谐振器 2R 构成要素的反射镜 2M1 到 2M4 以及棱镜 2P1、2P2 的位置或方向（参数），可以使激光装置达到性能高的状态，即，光脉冲的强度高，脉冲宽度短，强度的峰值高，所需要的激发光的强度低。

下面叙述适用于图 28 所示的实施例中激光装置 1L 的本发明的第 2 实施例的调整方法。这里，为方便起见，作为所期望的激光装置的性能，在例中说明光脉冲的强度高的情况。

该激光装置 1L 的要求标准之一例如下。

（1） 在激发光的功率为 3W（瓦特）时输出光的平均功率为 250mW 以上。

（2） 输出光的平均功率尽可能地大。

该激光装置 1L 的性能可以用以多个光学元件 2M1～2M4 及 2P1、

2P2 的元件参数为变量的评价函数 F 来表示。使激光装置 1L 的性能尽可能地高等价于求使评价函数 F 最佳化的参数值。

在本实施例中，因为是被调整的光学元件 2 的数目多达 6 个及被调整的元件参数的个数为 14 个因而会产生组合爆炸的情况，所以，调整装置 5 使用评价函数 F，按照遗传算法变更寄存器组 5RG 的值。

光谐振器内的光学元件的调整同第 1 实施例的情况一样，按照图 17 及图 20 所示的流程图进行。本实施例的最大特征是直接使用寄存器组 5RG 的值作为遗传算法的染色体。因此，不需要用于把染色体的信息变换成寄存器值的处理等。

即，本实施例中染色体如图 21 所示的那样，由对应 14 个元件参数值的 14 个寄存器 5R 的寄存器值构成。而且对应各个元件参数的各个寄存器 5R 为 32 位的浮动小数点值。因此，寄存器长（＝染色体长）是 448 比特（位）。所以，上述实施例的光学装置 1 的调整搜索空间的大小是 2^{448} 近似于 10^{135}（10 的 135 次方），不用说要进行基于穷举搜索的调整是不可能的。

各寄存器值的上限值及下限值依存于初始设定时的人工粗调整的精度，对应于粗调整后所需要的光学元件 2 的移动量、旋转量所确定的移动范围、旋转范围而定。该寄存器值的上限值及下限值也可以随着调整装置 5 所进行的调整进度来缩小上限值和下限值的宽度。此外，在调整装置 5 所进行的调整过程获得的寄存器值频繁出现与上限值或者下限值相等的情况时，即使是在调整过程中也可以加宽下限值和上限值的宽度。在本实施例中，各寄存器值的上限值设为从初始设定值增加 32.0，下限值为从初始设定值减少 32.0。

作为图 20 的处理中使用的遗传算法的个体的评价函数 F，使用的是在用个体的染色体表现的寄存器值设定了激光装置 1L 后让其动作，并表示利用观测装置所观测到的光输出是何种程度接近理想的输出的函数。具体地，在本实施例的实验例中，使用功率计作为观测装置，以其所观测到的功率的评价值作为个体的适应值。

上述的评价函数 F 规定为激光装置 1L 输出的平均功率越大则激光

装置 1L 越理想。例如，如果设用某个染色体表现的寄存器值所设定的光学装置的光输出功率是 6.8mW，则此时的评价函数 F 的值变为 6.8。

为了用于图 20 所示的处理，先在图 17 的步骤 S1 使用一样的随机数生成多个个体作为遗传算法的初始群体。也就是说，这意味着在该情况下初始群体各染色体的各遗传基因的值取上限值和下限值之间的随机的实数值。在本实施例，群体的个体数为 50。

确定完后，用各个个体表现的寄存器值使激光装置 1L 动作，使用在步骤 S3 用观测装置 6 所观测的观测结果，在步骤 S4 由调整装置 5 利用上述评价函数计算适应值。此后，顺序地在步骤 S24 进行选择淘汰、在步骤 S25 进行杂交、在步骤 S26 进行变异、在步骤 S28 进行局部学习的处理，作出下一代的个体的群体（解的候补群体）。在本实施例中，作为在全部个体数中进行杂交的个体数的比例的杂交率为 0.5，在变异之际所加算的正态随机数的高斯分布的 σ 用的是 3.2。

在步骤 S4，判断激光装置 1L 的性能是否满足如前所述那样的规定规格，在满足了规定规格时，结束调整处理。而在不管怎样反复一定世代数进行调整处理也不能获得满足规格的染色体（寄存器值）时，则判定作为调整对象的激光装置 1L 为不合格品，在步骤 S8 进行作为不合格品的处理。在本实施例中，中断循环的代数取为 30。

下面给出关于图 28 所示的激光装置 1L（具体地说是该光学装置 1 内的激光谐振器 2R）应用了使用本实施例的遗传算法的调整方法时的实验结果。在该实验中，调整光使用的是功率 3.0W、波长 530nm 的 YVO4 激光光，用功率计观测透过透过率为 2.0% 的平面耦合器的输出光。所使用的功率计对应于观测装置 6，其观测结果正比于激光装置 1L 的输出光的平均强度，并把该值作为评价函数值使用。

上述的实验结果因在人工粗调整中功率计上仅得到了 4.37mW 功率，而在对激光装置利用使用了本实施例的遗传算法的方法进行了调整时则得到了 9.96mW（实际的光输出是 9.96/2.0% = 498mW）的功率，所以可以满足上述的规格。图 30 示出实验中每一代中的最优个体的评价函数值 F 与代数的关系。可以看出，随着遗传算法的代数的增

加，激光输出光的功率值增加，评价值得到改善。例如，要获得 9.96mW 的功率，利用传统技术，即使是熟练人员也需要一周以上的长时间，且最后还不能得到这样的性能，而利用本发明的方法，则能够自动地在短时间（在本实验中约 3 个小时）获得比传统技术好得多的结果。因此，通过本实验可以确认本实施例的调整方法的有效性。

如上所述的这样，在本实施例的激光装置 1L 中，对多个光学元件使用可变更元件参数的元件 3M1～4、3P1、3P2，搜索这些光学元件 3 的元件参数使得激光装置 1L 的性能最佳。因此，不需要熟练人员的手动调整及高精度的光学元件，此外，也不需要高驱动精度的驱动装置，可以自动地调整激光装置 1L 使之满足规定的规格。这意味着可以用比传统技术调整时少的成本及工时来获得比传统技术调整时高的性能。

另外，按照本发明，对因移动、搬运激光装置 1L、或历时变化或温度变化等造成元件参数值偏离最佳值的情况，也能够自动地、用比传统技术调整时少的成本及工时调整出比用传统技术调整时高的性能。

还有，在激光 1L 的谐振器 2R 具有棱镜时，由于相同元件参数之间的非线性相关比没有棱镜时强，所以，本实施例特别适用。

对于本实施例，可以实施以下的变形例。

（1）在进行调整时，用观测装置 6 测定的激光装置 1L 的输出光的测定项目不仅仅是光脉冲的强度这一种，也可以使用光脉冲的脉冲宽度、光脉冲的强度的峰值、进而如光脉冲的光谱宽度、光脉冲的光谱对称性、光脉冲的稳定性、光脉冲的噪声成分的量等中的若干个，对应要求规格来使测定项目多种类化，这样一来，既可以对应多种要求规格，也可以进一步提高调整精度。

（2）在上述实施例中，设反射镜 M1 到 M4、棱镜 P1、P2 的参数为可变的，进而，也可以设反射镜 3M1、3M2 的参数为可变的。

（3）如果在激光装置 1L 的输出光的光路上设置使用了可以改变参数的可变形反射镜的波面控制器，利用后述的第 4 实施例的方法，结合调整该波面控制器，可以获得更高的特性。

在上述（1）的测定项目为多个种类时，可以使用例如下面（1）式这样的评价函数。

$$F = \Sigma wi|Xi - Ai| \quad (1)$$

fitness = 1/（1 + F），其中 i 是测定项目

这里，F 是评价函数值，wi 是对应测定项目的加权系数，Xi 是关于测定项目 i 的观测结果值，Ai 是关于测定项目 i 的理想值。fitness 是遗传算法中的适应值。该测定项目是如输出光的平均强度、光脉冲的脉冲宽度、光脉冲的强度的峰值、光脉冲的光谱宽度、光脉冲的光谱对称性、光脉冲的稳定性、光脉冲的噪声成分的量等。测定项目最好是用于评价光学装置的功能（作为光学装置所追求的光学装置的功能/动作并由设计确定的内容）是否满足规定规格（是逐一项目列举的光学装置的必需的功能、动作、特性等，该项目除了是可以用数值表示的项目外，还可以是如尽可能地大/小，尽可能地高/低之类的项目）所需要的足够的项目。

在上述的第 1、第 2 实施例中，对于从寄存器组 5RG 的初始设定值出发来变更寄存器值的方法使用了遗传算法。但是，遗传算法中的适应值，亦即，在表示寄存器的设定值是何种程度地接近理想的解的评价函数 F 中，对局部的最佳解的个数少的情况（大致为 1 位数），可以使用被称为模拟退火法的算法来代替遗传算法。另外，即使是在局部的最佳解的个数多的场合，模拟退火法与遗传算法相比，虽然作为调整结果获得的性能降低，但却可以高速地搜索。

模拟退火法的详细介绍，希望参考 JOHN WILEY & SONS 在 1989 年出版的 E. Aarts and J. Korst 著的《Simulated Annealing and Boltzmann Machines》。模拟退火算法是登山法的一种，是一种添加了利用被称为温度的控制参数，使搜索不受局部的最佳解束缚的算法。

在下面叙述的本发明第 3 实施例的激光装置及其调整方法中，如图 28 所示那样，在与先前的第 2 实施例一样的构成中，由调整装置 5 根据该模拟退火算法变更寄存器组 5RG 的值。在本实施例中特别地，最大的特征是直接使用寄存器组 5RG 的值作为模拟退火算法中的预备

解。采用这种做法，可以和第 2 实施例一样地省略用于把预备解的信息变换成寄存器值的处理等。在此，准备有表示预备解怎样程度地接近理想解的评价函数 F。

即，在本实施例的方法中，让激光装置 1L 动作，如图 31 所示那样，使用步骤 S51 中观测装置 6 所观测的结果并在步骤 S52 由调整装置 5 利用上述评价函数 F 计算预备解的评价函数值。此后，在步骤 S54，比较该评价函数值与前一循环中的评价函数值并判断值是否得到了改善。

对得到了改善的情况，把此时刻的寄存器值作为下一个寄存器预备值，前进到步骤 S57，对该寄存器预备值实施使其预备值的一部分变化的操作。该操作被称为迭代。在本实施例中，作为模拟退火算法的迭代，使用的是和用图 24 说明的遗传算法中的变异法一样的方法。

在步骤 S54，对值没有得到改善的情况，在步骤 S55 计算被称为接收函数的、值域是 0 以上 1 以下的后述的函数的值。比较该函数值和在 0~1 间产生的正态随机数的实数值，在随机数值一方小时，作为接收迭代结果的函数前进到上述的步骤 S57。在该情况下，暂时在评价函数变坏的方向进行搜索。对接收函数值比随机数值侧大的情况，在步骤 S56 把寄存器预备值返回到前一循环中的寄存器值后，前进到步骤 S57。

循环 k 中的接收函数值用下面的（2）式记述。

$$\exp\{[F(k)-F(k-1)]/T(k)\} \qquad (2)$$

这里，F（k-1）是前一循环中的评价函数值，F（k）是现循环中的评价函数值。T（k）是被称为温度的参数，温度越高接收函数值越接近 1。亦即，温度越高，搜索越向评价函数的变坏方向前进。这是以避免搜索受到局部最佳解的束缚为目的而进行的动作。由此，在搜索的初始阶段把温度设高，通过随着搜索的进行而温度慢慢地降低下去，来期待最终达到真正最佳解。所使用的操作被称为模拟退火或者 Simulated Annealing。

模拟退火算法在激光装置 1L 的性能和光学元件 2 的关系比较简

单，激光装置 1L 的评价函数 F 不具有多个局部最佳解时，可以进行较遗传算法高效的搜索。但是，在评价函数具有多个最佳解时，在实际的时间内因受局部最佳解的束缚，而不能获得如遗传算法那样的性能。但是，其还是有达到收敛所需要的时间短的优点。

此后在步骤 S58，变更寄存器值使之将寄存器预备值作为寄存器值，在步骤 S59，进行用图 25 所说明的使用了遗传算法的局部学习处理。通过反复上述的操作进行激光装置 1L 的调整，直到评价函数值升高并获得满意的解（激光装置 1L 的特性满足规定的规格）为止。

在全部搜索了设定值的可取值的组合时，或迭代一定的时间进行处理都不能获得满意的解的情况，判断作为调整对象的激光装置 1L 为不合格品，进行作为不合格品的处理。

下面给出关于图 28 所示的激光装置 1L（具体地说是该光学装置 1 内的光谐振器 2R）应用使用了本实施例的模拟退火算法的调整方法时的实验结果。在该实验中，和实施例 2 的实验条件一样地，调整光使用的是功率 3.0W、波长 530nm 的 YVO4 激光光，用功率计观测透过透过率为 2.0% 的平面耦合器的输出光。

这里，让温度按下面的（3）式变化。

$$T(k) = 0.1/(k+1) \qquad (3)$$

上述的实验结果因在人工粗调整中功率计上仅得到了 4.14mW 功率，而在对激光装置利用使用了本实施例的模拟退火算法的方法进行了调整时则得到了 6.01mW（实际的光输出是 6.01/2.0% = 301mW）的功率。图 32 示出实验中的评价函数值 F 与迭代次数的关系。可以看出，随着迭代的前进，激光输出的功率值增加，评价值得到改善。与遗传算法的结果相比，获得 4.14÷9.97 × 100 % =60.3% 的性能。另一方面，关于搜索时间，只用了不到遗传算法的 1 代程度的时间就完成了收敛。通过本实验可以确认本实施例的调整方法的有效性。

利用上述的模拟退火算法，虽然与遗传算法相比所得到的性能较低，但却可以高速地进行激光装置 1L 的调整。本实施例虽然举例说明了光学单元使用的是第 2 实施例所示的激光装置的情况，但不用多讲，

光学单元当然也可以是第 1 实施例所示的普通的光学元件，同样的做法，虽然与遗传算法相比所得到的性能较低，但却可以高速地进行光学单元 1 的调整。

下面给出作为本发明的光学装置的第 4 实施例的波面控制器主要构成部的一个构成例。波面控制器是控制输入光的空间相位的元件，是具有可以去除相位的空间不均匀性并获得波面（等位面）一致的输出光功能的元件。作为构成进行正确的波面控制所必要的装置的构成要素，该波面控制器使用半导体制造中的曝光装置（板印装置）、波长变换器、干涉计，分光测量仪、光放大器等。

图 33 示出该第 4 实施例中波面控制器的主要构成部的一例，图 33 中，1C 是波面控制器，该波面控制器 1C 是代替第 1 实施例的光学单元使用波面控制器 1C 而构成的。即，是在把图 1 的光学装置换成图 33 所示的波面控制器后的图 1 的构成。在该实施例中，调整装置 5 及观测装置 6 为外部装置。在该波面控制器 1C 内，2MD 是通过变更所输入的电信号来改变作为参数的镜面的形状的可变形的反射镜（可变形反射镜），并利用图中的控制信号 CS 来调整参数。8、9 分别是输入光、输出光，波面（等相位面）用虚线来表示。

可变形反射镜 2MD 如实施例 1 的图 8 所示那样构成，对应于控制信号 CS 所示之值改变镜面 201 的形状。在本实施例中，其调整之处是 37 处。因此，在本实施例中，使用 37 个控制信号 CS 和 37 组保持该控制信号的寄存器 5R。波面控制器 1C 利用可变形反射镜 2DM 的镜面 201 的形状的变更来改变输出光 9 的波面（相位特性）。因为所使用的波面控制器的具体的构成方法已众所周知，故省略其详细的说明，以下，对本实施例中所使用的波面控制器的动作进行说明。

即，在这里，通过调整施加到可变形反射镜 2DM 的 37 处电极 203 上的电压，可以使输出光 9 的波面空间模式特性成高斯状态，进而，可降低波面空间模式中的高次模式。但是，如果改变施加到某个电极 203 上的电压，则关于上述的波面的空间模式的调整最佳值也随之改变。因此，要把波面控制器 1C 调整到特性满足规定规格的最好的状

态，则必需综合地调整可变形反射镜 2MD 的 37 处调整之处。

我们对用于调整上述波面控制器 1C 的、本发明的调整方法的第 4 实施例进行说明。该实施例的调整方法，基本上和先前的第 1 实施例的调整方法相同。

在波面控制器被实际安装在需要其功能的部位后，在检查工序，调整装置 5、观测装置 6 及调整光产生装置 7 分别被连接到该波面控制器 1C，调整光产生装置 7 输入调整光作为波面控制器 1C 的输入光 8。观测装置 6 把所观测的如输出光的波面空间模式特性、以及波面的空间模式中的高次模式的结果作为用于评价函数的值给予调整装置 5，调整装置 5 利用在上述多个观测结果上加了权重的评价函数进行评价。调整装置 5 按照与图 18 所示的同样的处理程序，进行波面控制器 1C 的可变形反射镜 2DM 的调整值的设定。

按照本实施例的方法，波面控制器 1C（光学装置）内的光学元件使用参数可变的光学元件 2DM，搜索该光学元件的特性以使光学装置的功能为最佳。因此，无需利用熟练人员的手动调整及高精度的光学元件，此外，也不需要高精度的驱动装置，可以自动地调整波面控制器 1C 使之满足所规定的规格。这意味着用比传统技术调整时少的成本及工时可以获得比用传统技术调整时高的性能。

虽然本实施例中设定了可变形反射镜的调整之处数为 37 处，但在本发明中，不言而喻可不问该调整之处的个数多少。此外，本实施例还特别适合于波面控制器 1C 用具有多个调整之处的可变形反射镜构成的情况。当通过可变形反射镜的调整能够获得的最大变形量与所处理的光的波长是相同程度的长度时效果最佳。

虽然在本实施例中是假定如图 33 所示的那样，输出光 9 没有被聚光，但相反地，如图 34 所示的那样，对输出光被聚光时的变形例也同样有效。图 34 是会聚了图 33 的输出光的情况，与图 33 一样的部件上附加有一样的参考符号。

在来自波面控制器 1C 的输出光被聚光时，也和上述的实施例完全一样地来调整该波面控制器 1C。在该变形例中，对输出光 9 被聚光到

波长变换晶体或光放大介质上的情况特别有效。

本实施例还具有可自由地控制反射镜的形状的效果，也有效于为获得理想的反射镜的形状而进行的调整。该情况下的实施例示于下面的第 5 实施例。

图 35 所示是作为本发明的光学装置的第 5 实施例的望远镜的一个构成例。图 35 中，1T 表示作为光学装置（单元）的望远镜，该望远镜 1T 作为成为调整对象的光学元件，备有凹面的可变形反射镜 2DM2。另外，在图 35 中，与图 1 所示相同的部分附加有同一的符号。8 是对望远镜的输入光，即，是来自用望远镜 1T 所观测的对象的光。CCD 是设置在望远镜成像面上的摄像装置，这里，假定摄像装置 CCD 固有的解像度足够的高。另外，作为摄像装置的输出的电信号（图像信号）是该望远镜的输出。用于调整的观测装置 6 及调整装置 5 是装入到望远镜 1T 的内部装置。

望远镜 1T 由发挥凹面镜功能的可变形反射镜 2DM2 反射、会聚作为来自观测对象的光的输入光 8，该被会聚的光由摄像装置 CCD 变换成电的图像信号。在本实施例中，代替在实施例 1 中的光输出使用电的图像信号进行评价、进行调整。由此可知，作为本发明的光学装置的输出的 9，不仅仅是光，还可以是电信号等光以外的信息。

作为望远镜所期望的特性，是用尽可能高的解像度来摄取观测对象。为了得到这样的特性，需要尽可能地集中上述反射镜 2DM2 的焦点于一点，并调整成像面使之能与摄像装置 CCD 的位置一致。但是，因望远镜的制造误差、望远镜的移动或温度变化等影响，作为理想成像面的设计上的摄像装置 CCD 的位置和实际的摄像装置 CCD 的位置并不完全一致。为此，需要调整可变形反射镜 2DM2 的特性使之适合望远镜 1T 的特性，具体地是调整可变形反射镜 2DM2 的各个调整之处的变形量。

反射镜 2DM2 可以是和实施例 1 的图 10 及实施例 4 的图 34 的情况一样的构成。采用与实施例 1 及实施例 4 相同的做法，在本实施例中也是对应控制信号 CS 所示之值改变参数即反射镜 2DM2 的形状。

来自调整装置 5 的控制信号 CS 使示于图 10 的可变形反射镜的电极 203 的电压发生变化，从而让可变形反射镜 2DM2 的形状发生变化。由此，望远镜的成像的状态发生变化，且解像度发生变化。其结果是可以对应寄存器组 5RG 的寄存器值改变并提高望远镜的解像度。

我们对用于调整该望远镜 1T 的、本发明之调整方法的第 5 实施例进行说明。该实施例的方法基本上也同先前的第 1 实施例的调整方法一样。

在望远镜 1T 制造或者被移动后，或者使用望远镜的环境温度等条件发生了变化后，调整光被作为输入光 8 输入到望远镜 1T。该调整光也可以代替调整光产生装置所产生的光，使用随时间的变化少的实际的观测对象。理想的调整光最好是对比度高的像；且是在与望远镜的观测对象同样距离处产生的光。因此，作为调整光，可以使用已知的细密的像，如置于远方的细密的市松花纹，或者来自月球面的光。

在可变形反射镜 2DM2 的形状偏离理想的形状时，来自摄像装置 CCD 的输出变成解像度降低的图像。因此，调整装置 5 可以在评价函数中使用观测装置 6 输出的摄像装置 CCD 的像的解像度、具体地如使用图像信号频谱中的高频成分的比例。

在本实施例的方法中，如上所述通过在评价函数中使用望远镜得到的解像度来进行调整。调整装置 5 按照和第 1 实施例的方法的情况同样的处理程序，进行可变形反射镜 2DM2 的参数的设定。

即，在本实施例中，使用反射镜形状可变的光学元件（可变形反射镜 2DM2），搜索该反射镜的形状（光学元件 2DM2 的参数）以使作为光学装置的望远镜的功能（特性）最佳。因此，按照本实施例，可以吸收由在望远镜 1T 的制造工序中处理不均匀、部件的材质不均匀、设计上的误差，进而由移动、搬运产生的振动、温度变化、历时变化等原因造成的光学元件的特性的误差，调整望远镜 1T 使之具有满足规定规格的功能。

如上述这样，本发明对下述情况也有效，即作为直接的调整对象的光学元件（可变形反射镜 2DM2）的调整，是通过补偿与其回路共

同工作而构成光学装置的其他要素（摄像元件 CCD）的特性（位置）来进行的情况。

在本实施例中，不用说，当然不问可变形反射镜 2DM2 的调整之处的个数。另外，本实施例更适合于构成望远镜的反射镜的尺寸非常大的情况。

在本发明中还可以使用下述方法，即，当让光学装置动作的条件是多个，且对每一个条件光学装置的最佳的调整结果不同时，对应各光学元件，准备多组寄存器组 5RG，逐个条件地切换寄存器组 5RG 的方法。

另外，由于存在光学装置的动作特性因其装置的温度而发生变化的情况，所以，存在最佳调整结果也随温度一起变化的情况。进而，还存在需要从最初的规格改变光学装置的规格（如激光输出脉冲的光谱的形状）的特性的情况。

图 36 给出逐一条件地切换寄存器组 5RG 时的一个构成例。在此，设条件数为 k。SEL 是对应于条件切换对应的寄存器组 5RG 的选择器，5－1 至 5－k 是 k 个寄存器组 5RG。这里，为方便起见，把 5－i 中的 i 称为寄存器序号。

使用了该构成时的调整方法，可以如下面这样进行。在即使光学装置的温度变化也希望该装置的特性一定时，事先让温度与寄存器序号相对应，在检查工序，用对应各自寄存器序号的温度进行利用本发明的方法的调整，并把调整结果保存在寄存器组 5RG－1～5RG－k 中。进而，在使用光学装置时，利用选择器 SEL 检测出电路的温度并选择所对应的寄存器序号。

在上述的调整方法中，也可以省略用对应于若干个寄存器序号的温度进行的调整，该情况下，也可以把根据其他被调整的寄存器值通过插值而推定的寄存器值保存在这些寄存器中。作为插值的方法，可以使用线性近似、样条函数等。

也可以对应多个规格条件来切换光学装置的特性。在该情况下，让规格条件和寄存器序号相对应，在检查工序，用对应各自寄存器序

号的规格条件进行利用本发明的方法的调整，并把调整结果保存在寄存器组 5RG－1 至 5RG－k 中。进而，在使用光学装置时，利用选择器 SEL 选择对应规格条件的寄存器序号。

同上述的调整方法中一样地，也可以省略用对应若干个寄存器序号的规格条件进行的调整，并把根据其他被调整的寄存器值通过插值而推定的寄存器值保存在这些寄存器中。

另一方面，本发明的光学装置中的驱动机构 4，也可以采用其一部分可以拆装的构成。在该情况下，在利用本发明的方法调整了光学装置后，可以把驱动机构 4 的一部分再利用于其他的光学装置。即，调整后，可以用粘接剂或者螺钉等固定作为驱动机构 4 的可动部分的载荷台 402 和作为固定部分的基台 401，而使其以外的该驱动机构的部分可以拆装。

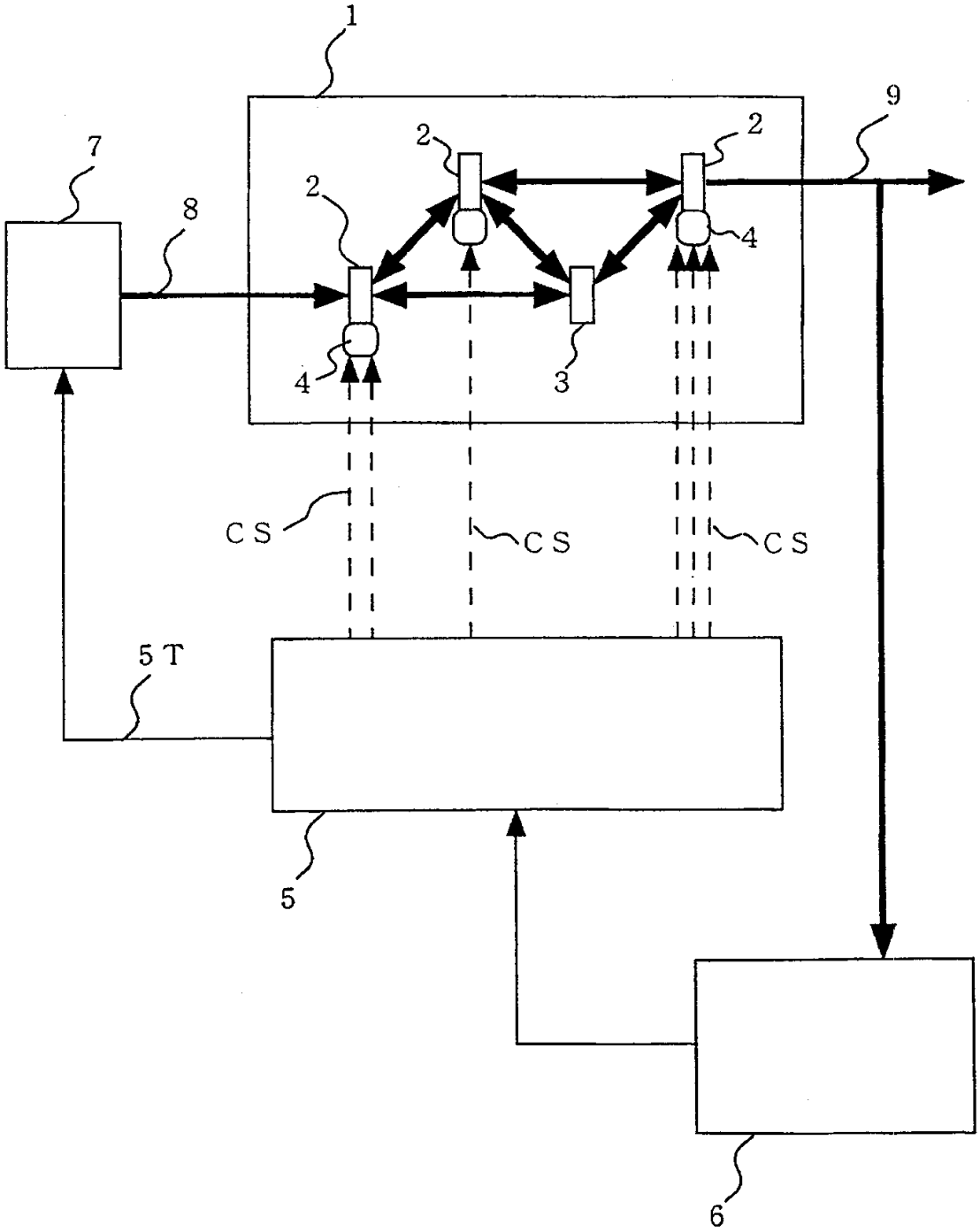
按照该构成例，因为驱动机构 4 的一部分可以拆装，故在结束了调整的光学装置 1 中可以省略驱动机构 4 的一部分，由此能实现光学装置的轻量化或降低成本。

当然，本发明可以适用于使用光学单元的光学装置的整体、一部分、或者多个部分的任何一种，不管光学单元的规模。

以上根据图示例进行了说明，但本发明不限于上述的例子，也包括在权利要求范围所记载的范围内本领域人员能够容易地改变的其他的构成。

说 明 书 附 图

图 1



00·03·28

图 2

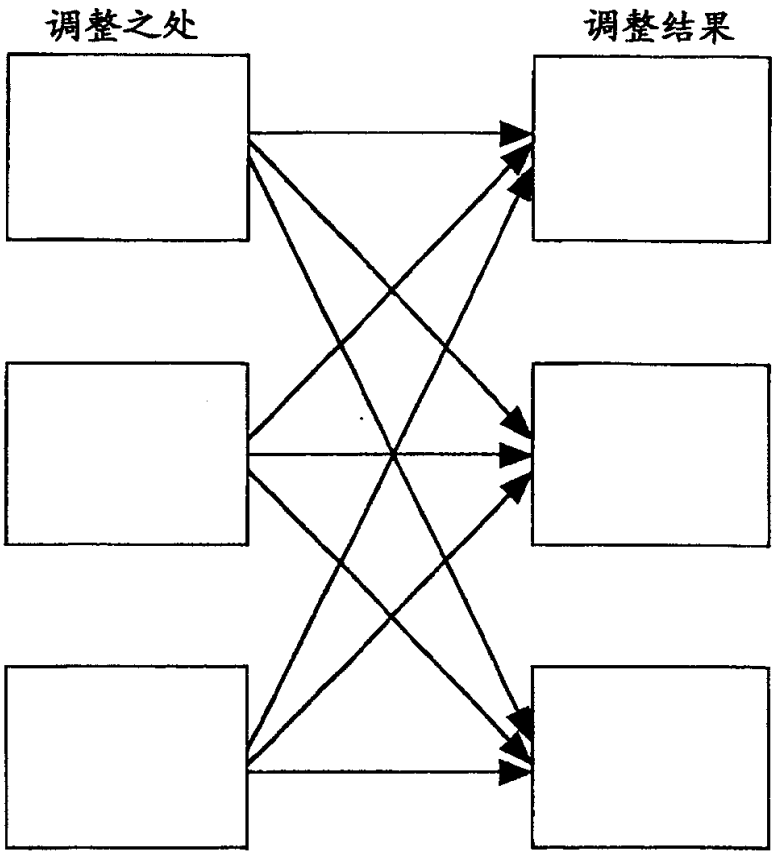


图 3

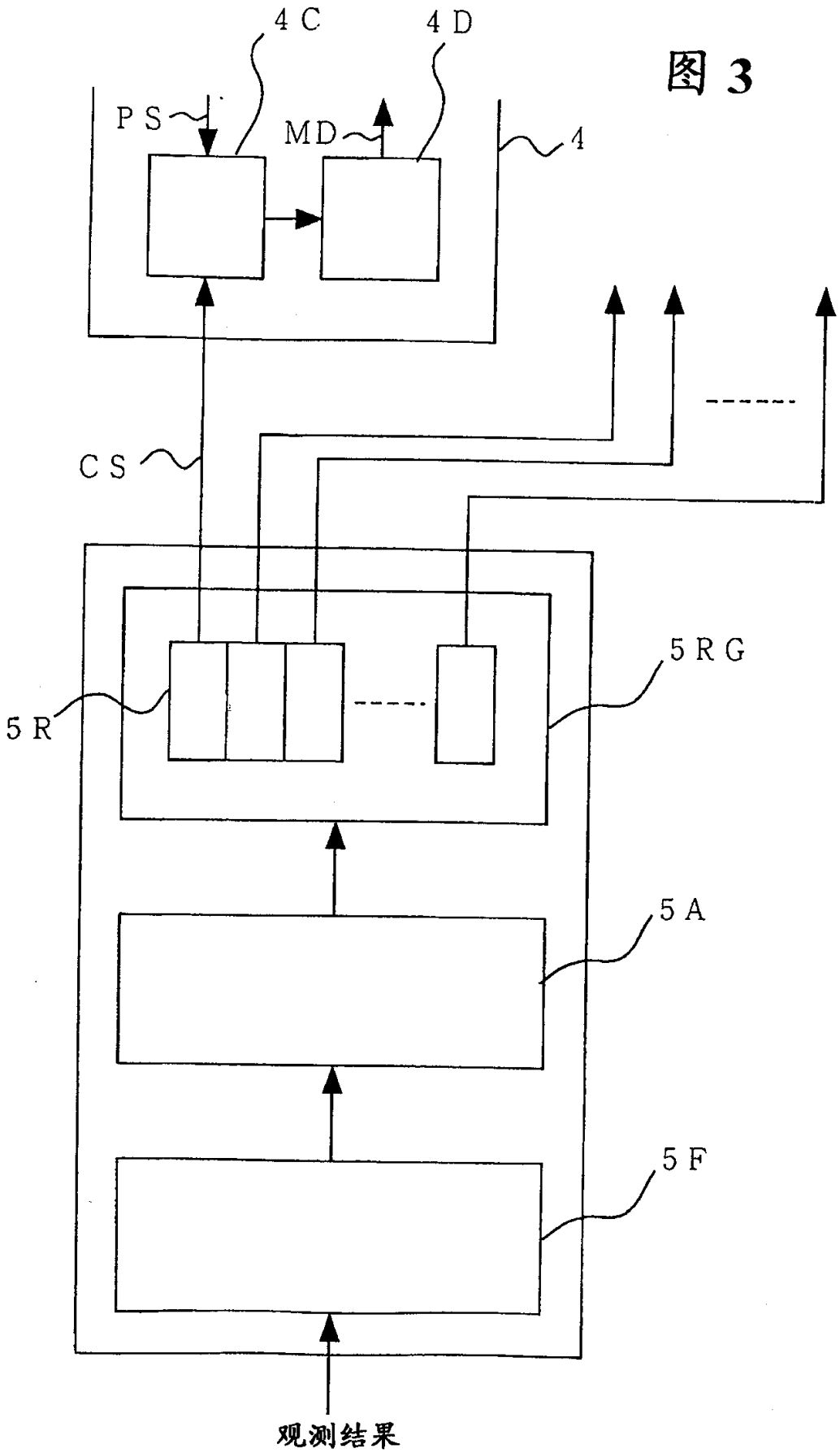


图 4

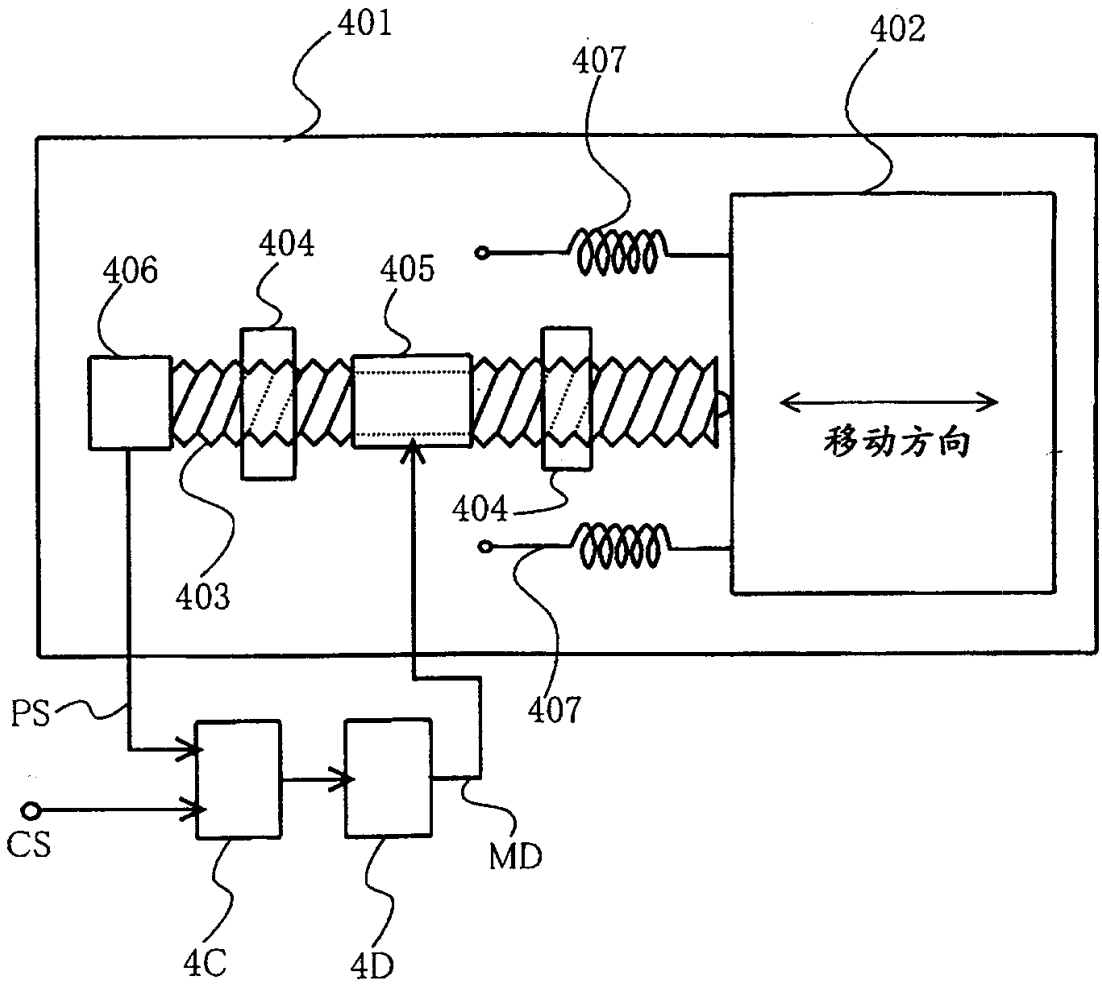


图 5

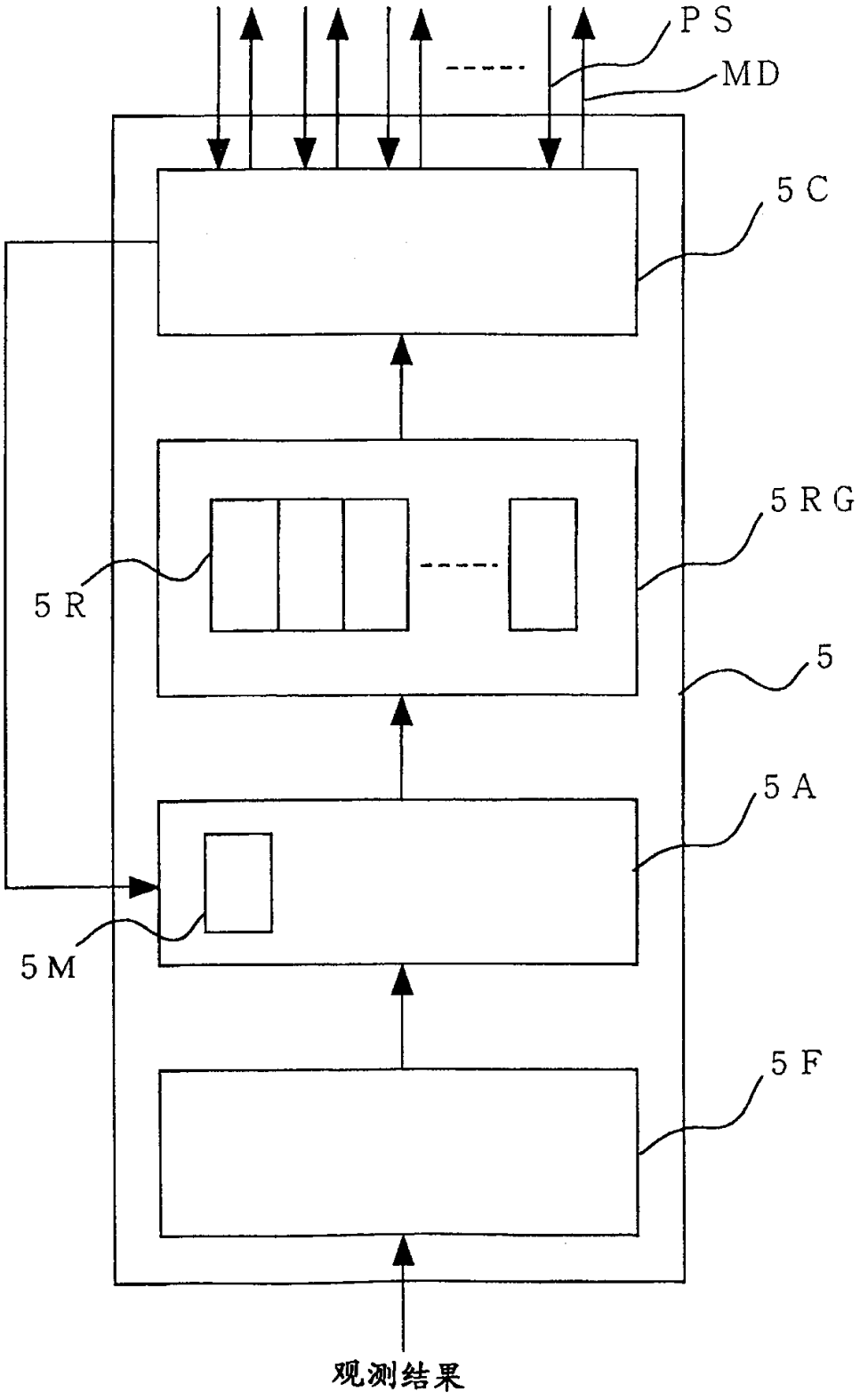


图 6

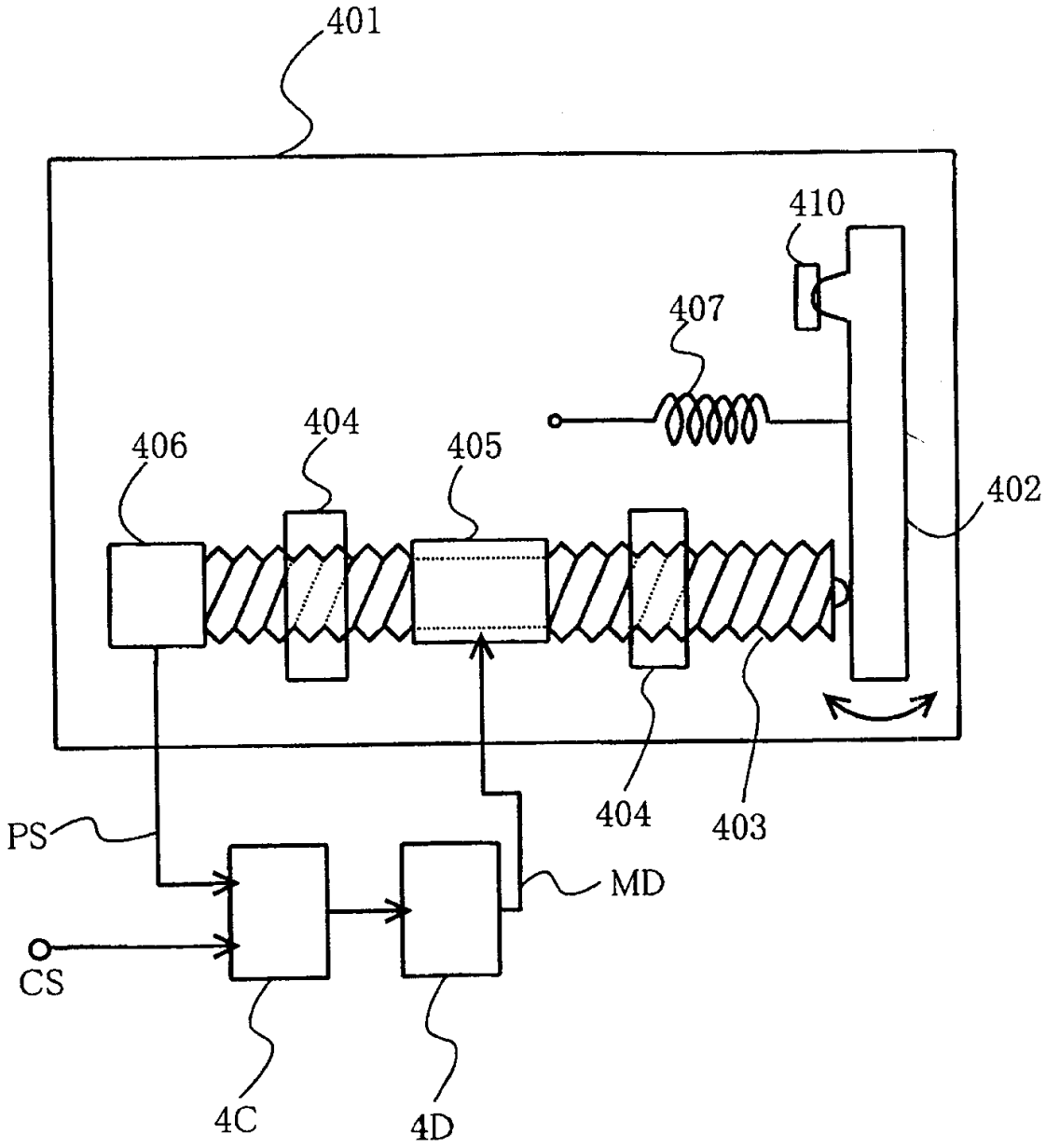
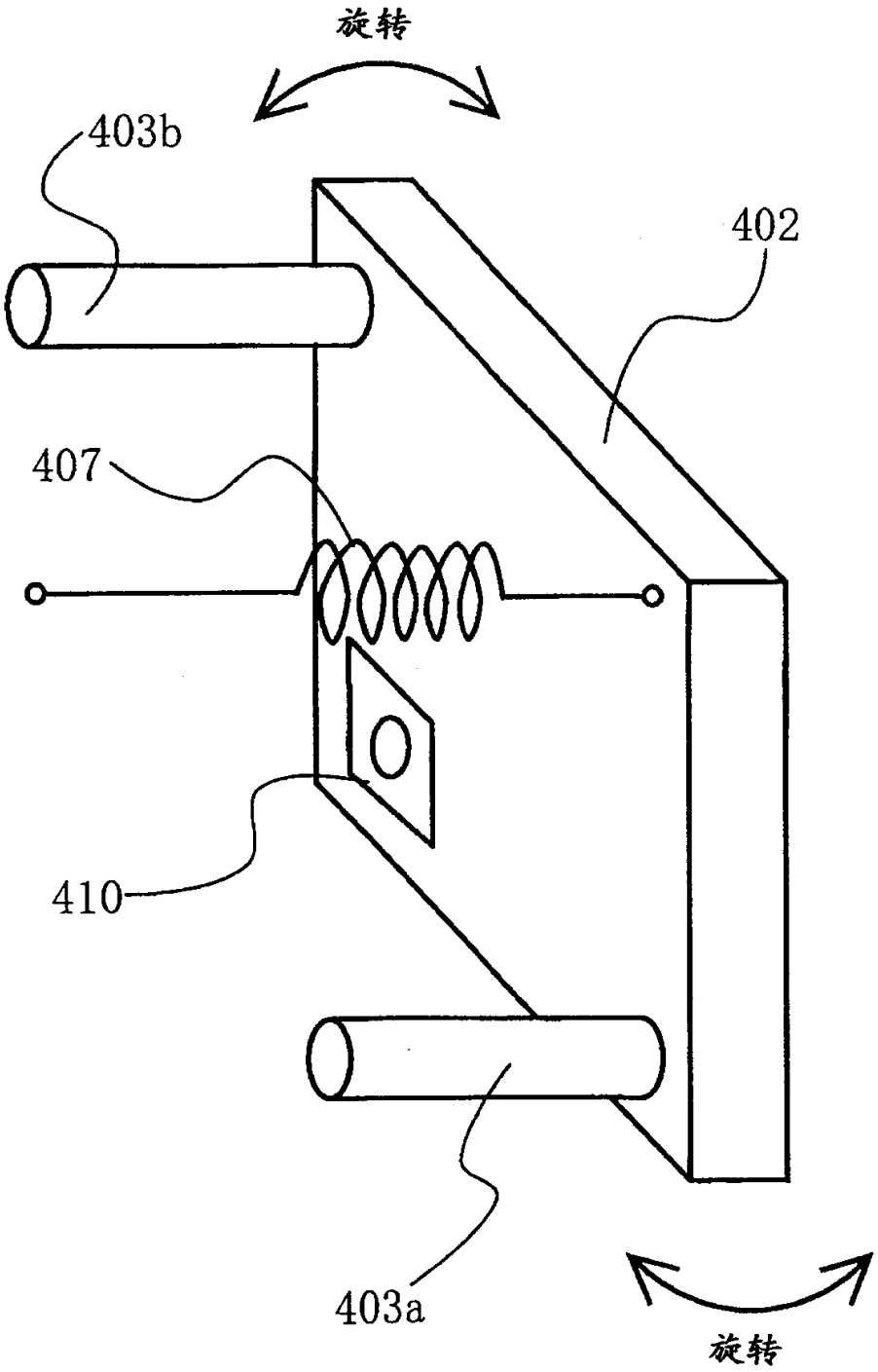
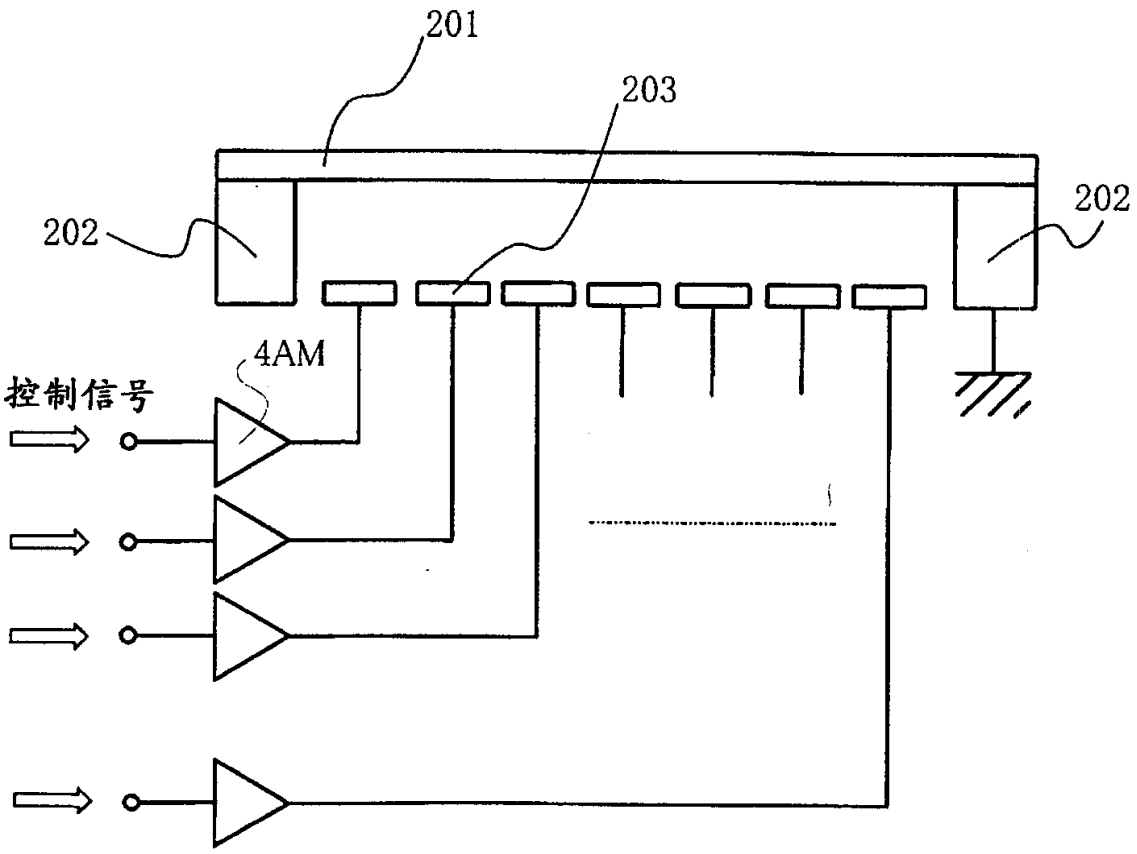


图 7



00-03-28

图 8



00-03-28

图 9

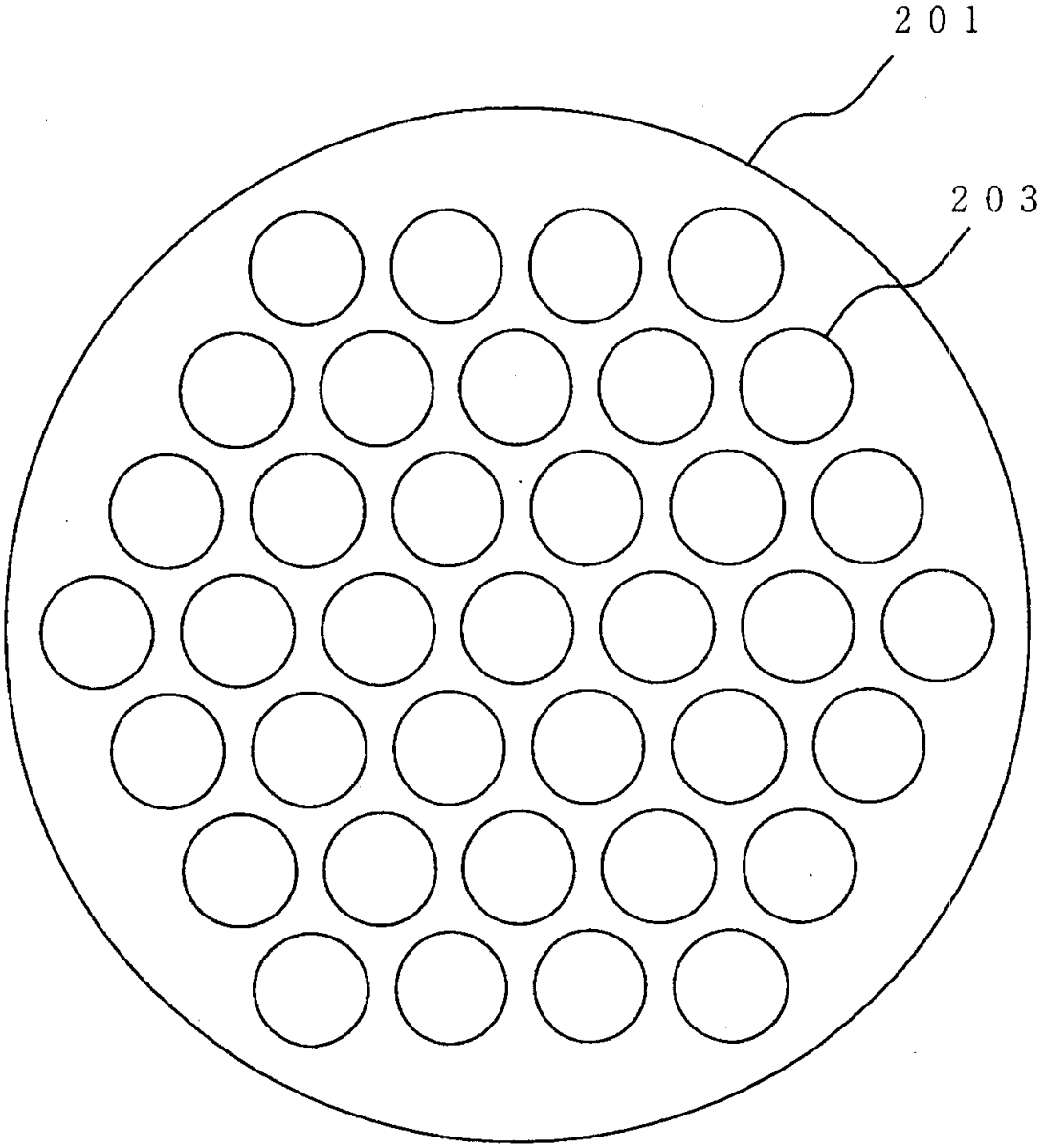


图 10

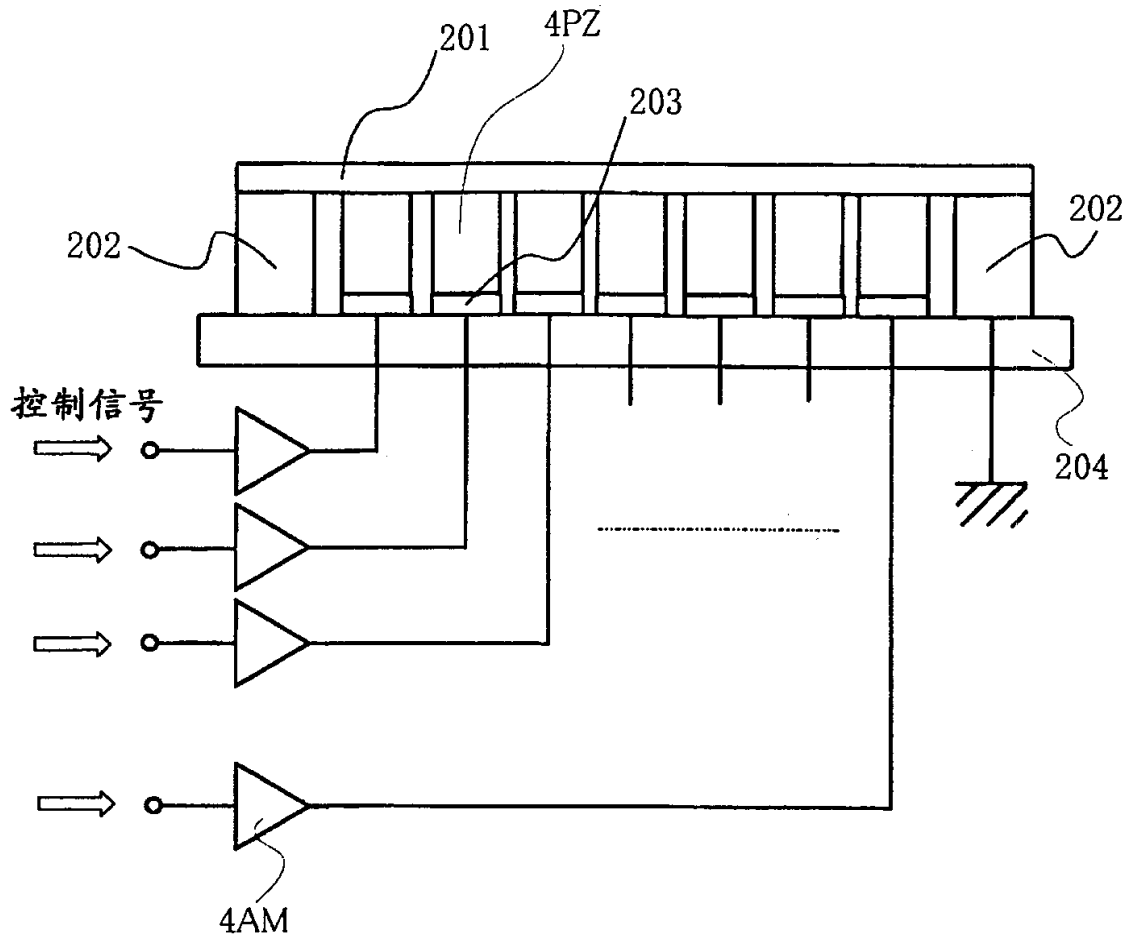


图 11

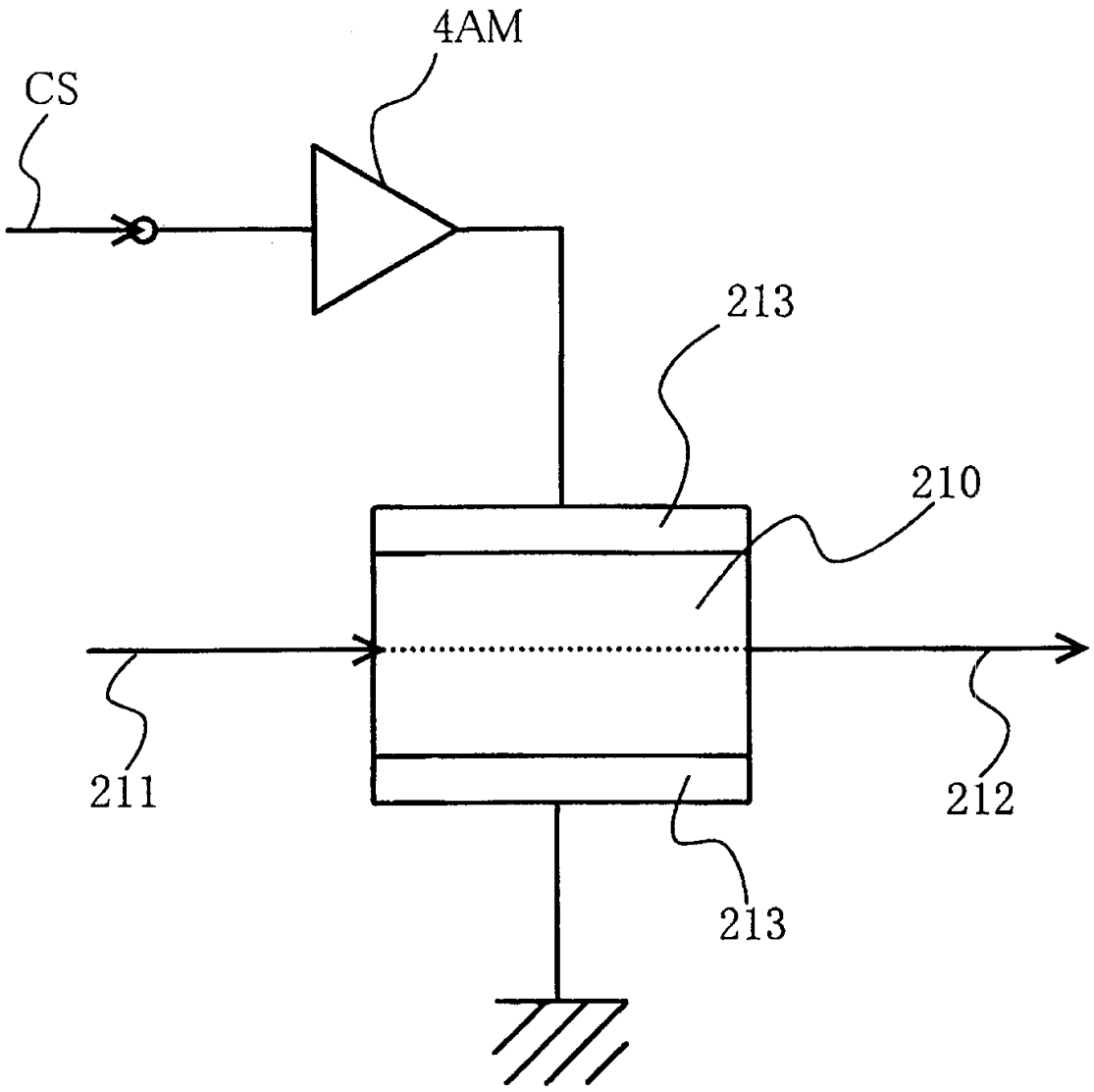


图 12

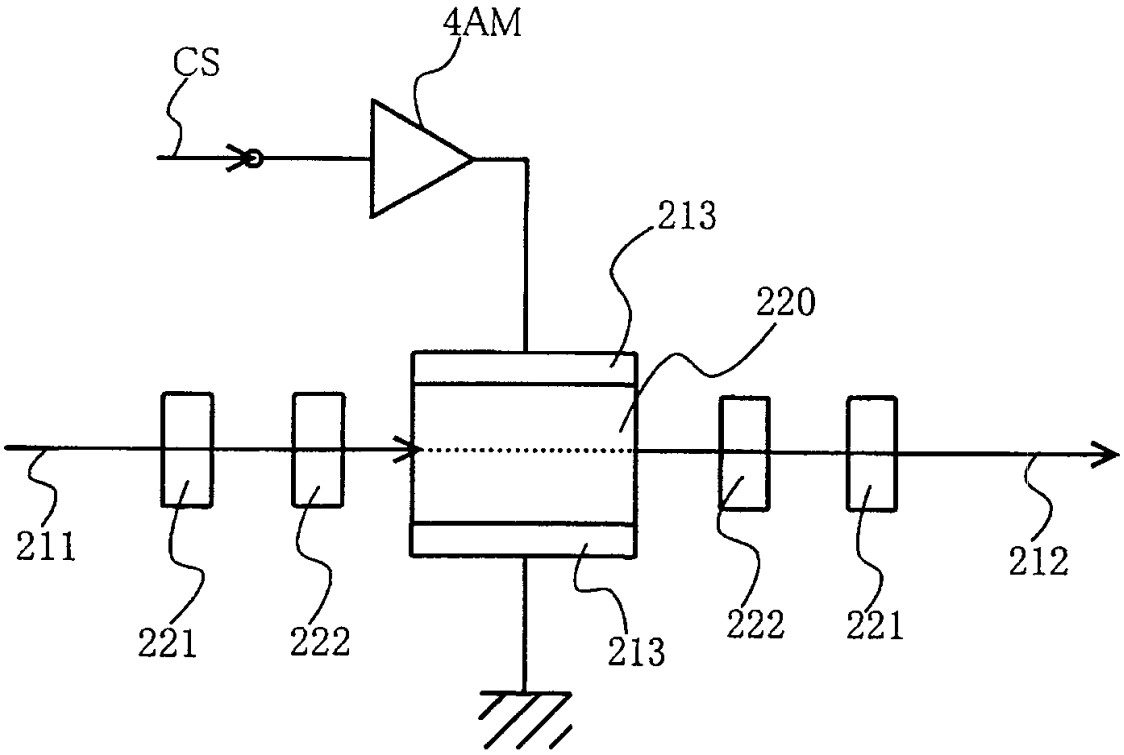


图 13

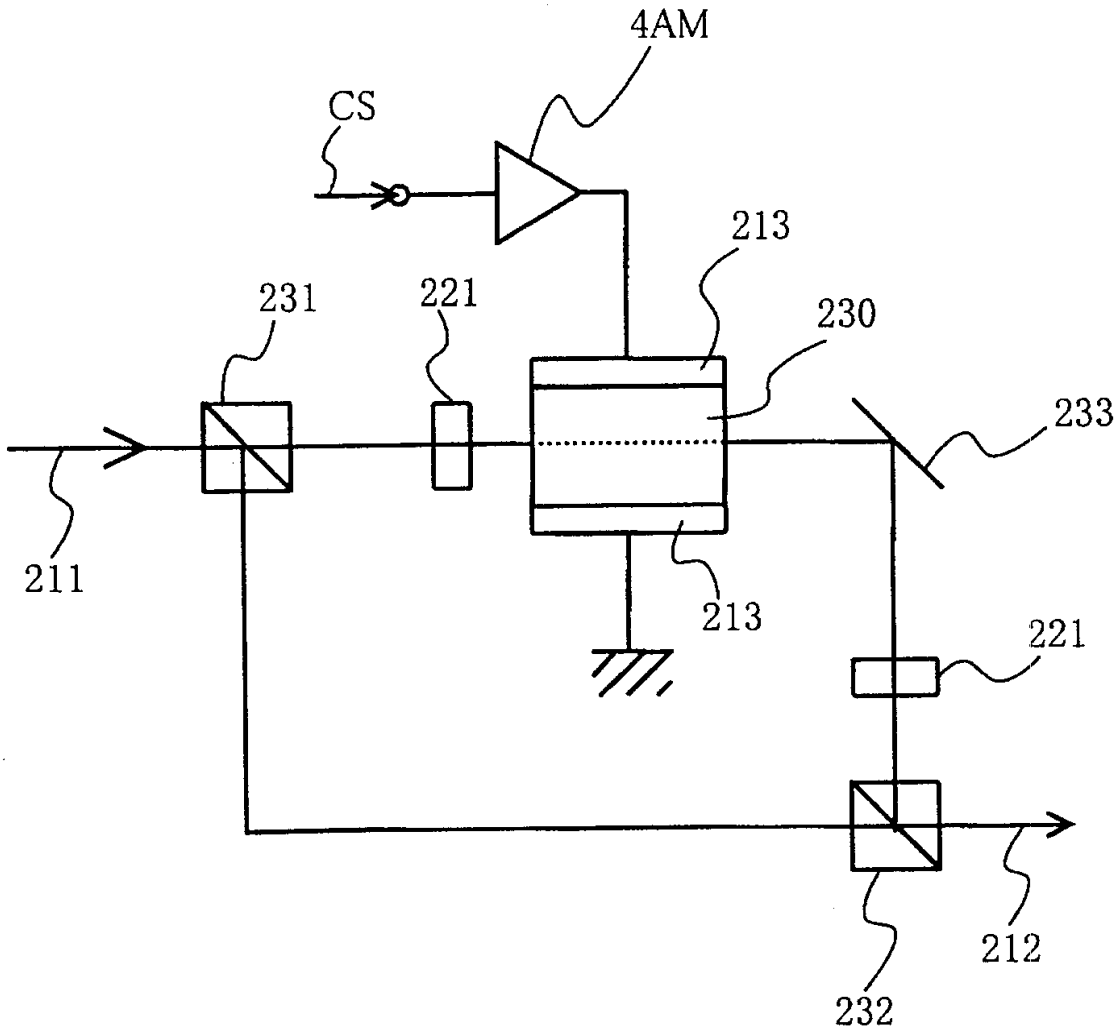


图 14

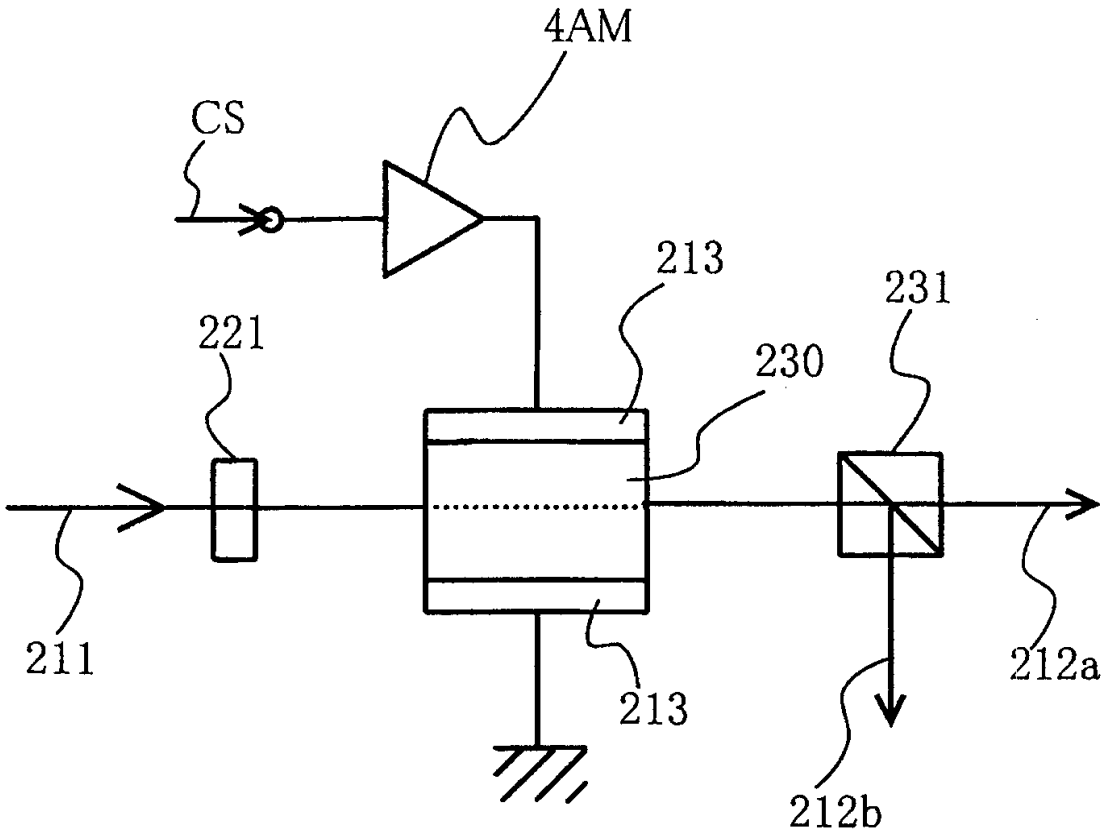


图 15

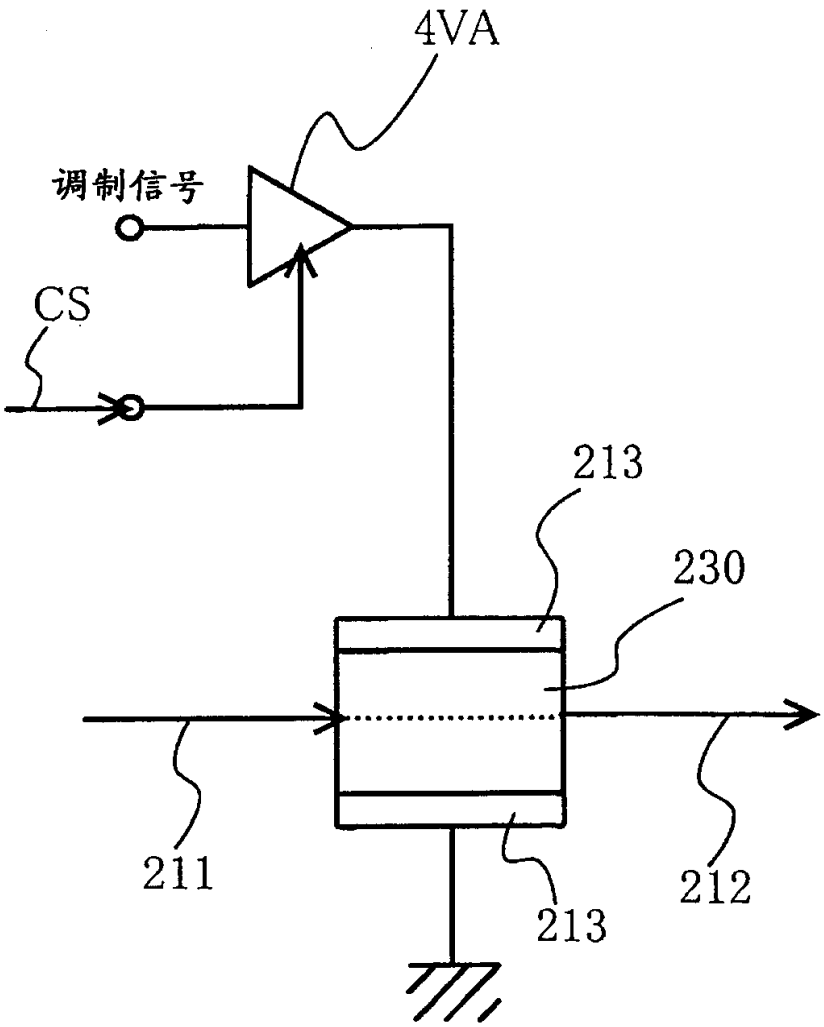


图 16

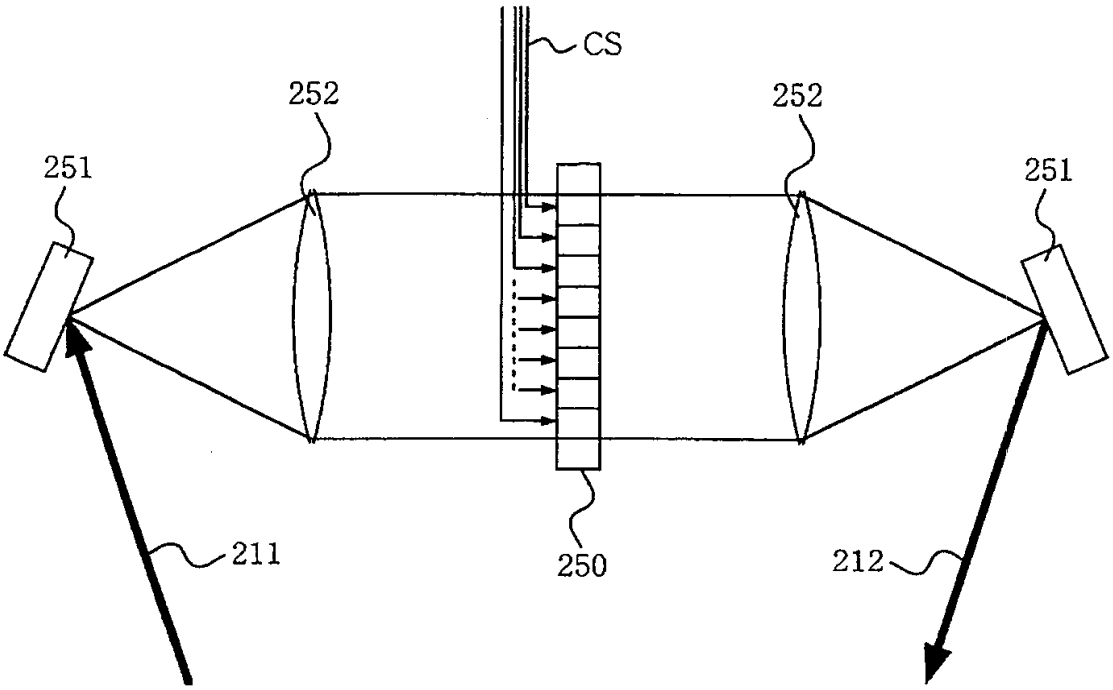


图 17

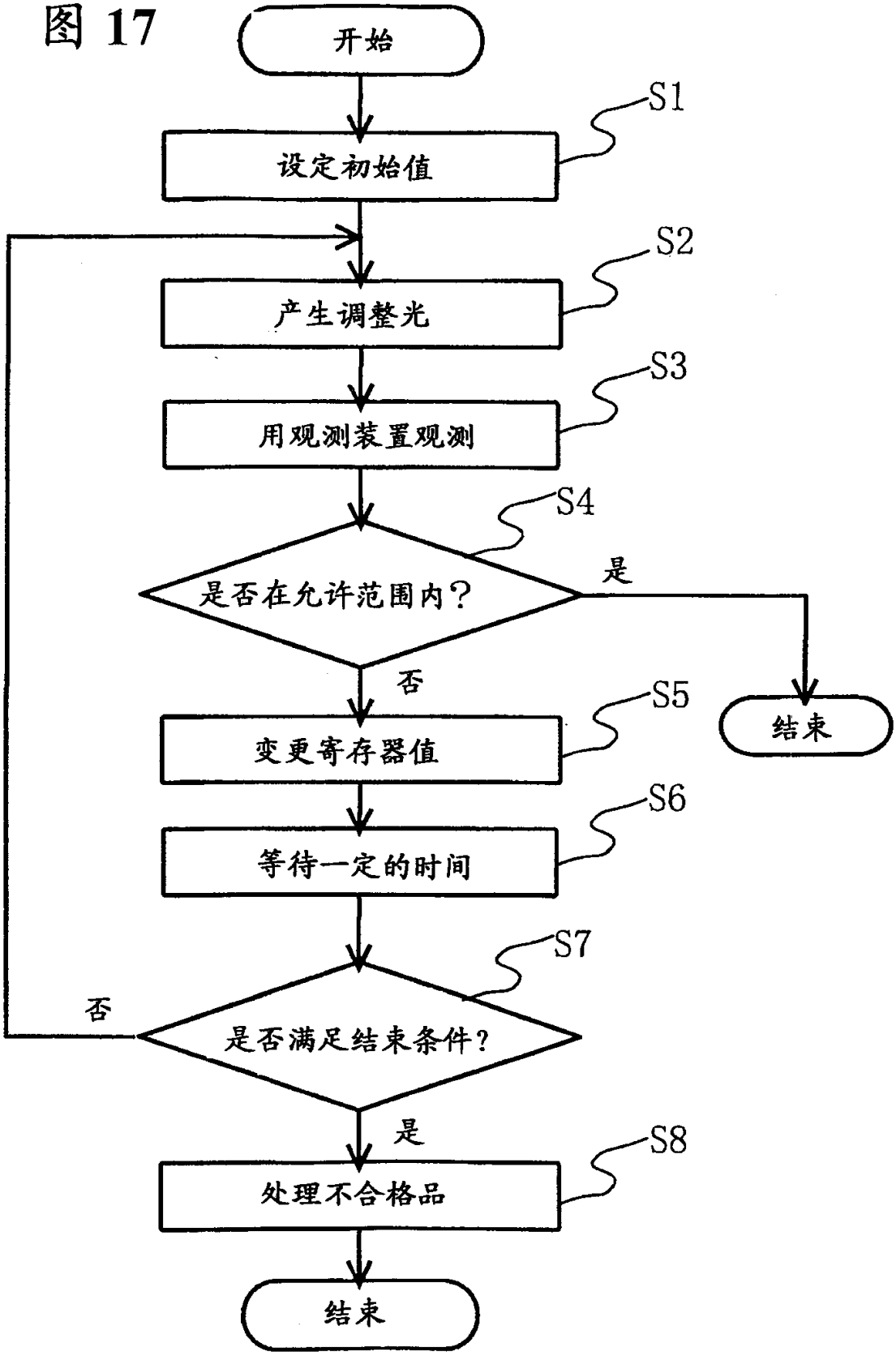

开始
S1
设定初始值
S2
产生调整光
S3
用观测装置观测
S4
是否在允许范围内？
是
结束
否
S5
变更寄存器值
S6
等待一定的时间
S7
否
是否满足结束条件？
是
S8
处理不合格品
结束

图 18

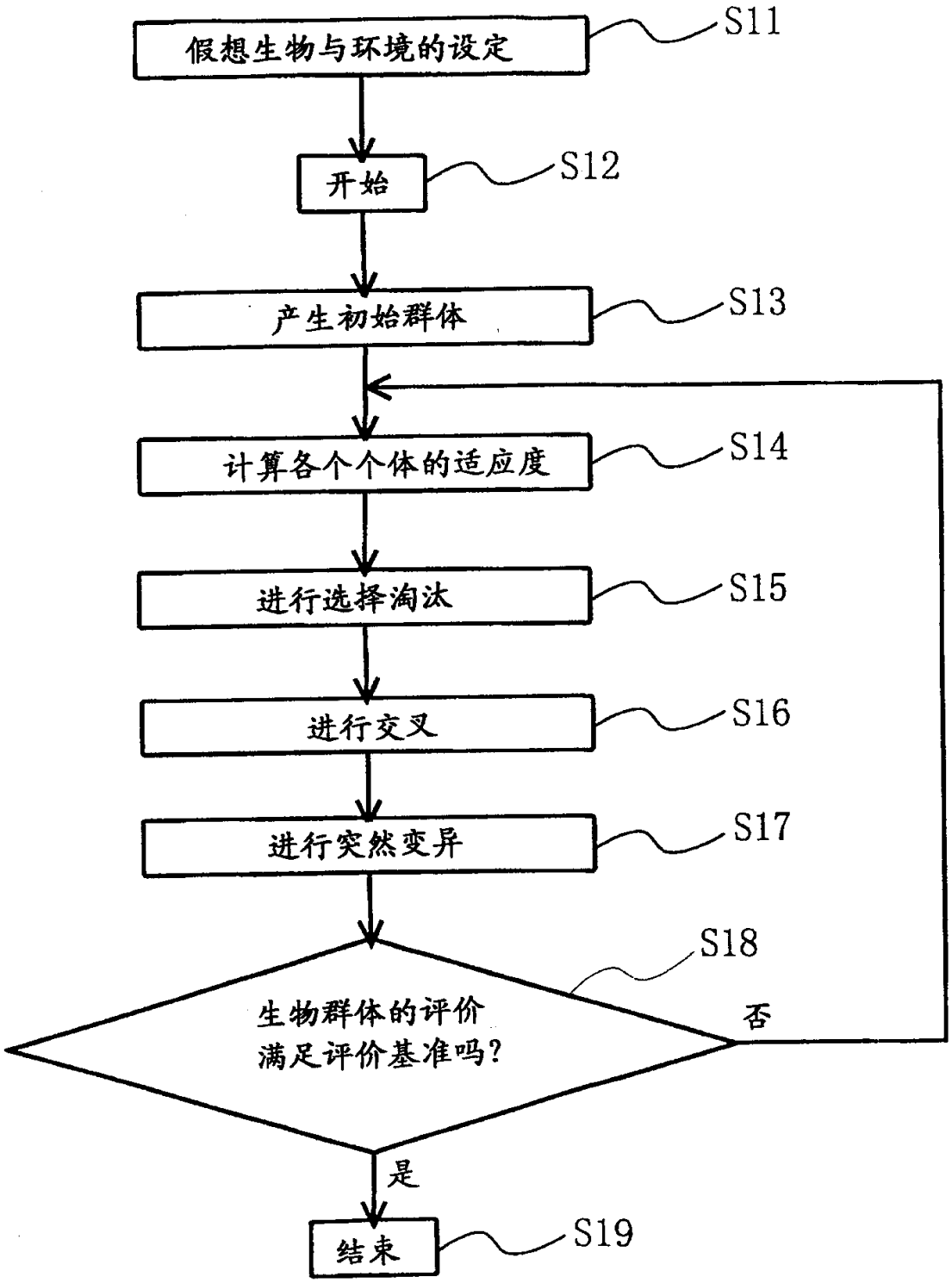
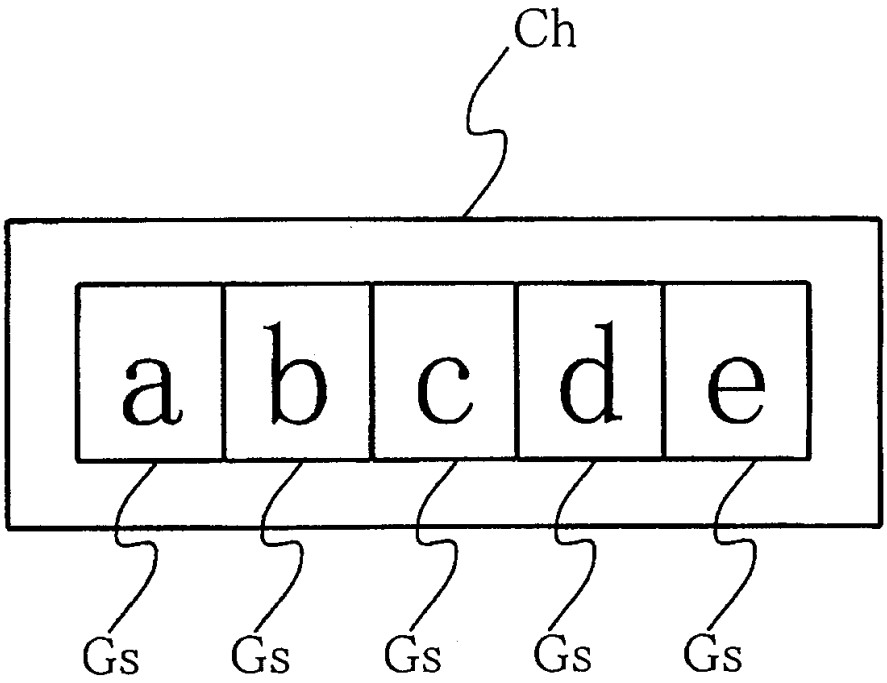

假想生物与环境的设定
S11
开始
S12
产生初始群体
S13
计算各个个体的适应度
S14
进行选择淘汰
S15
进行交叉
S16
进行突然变异
S17
S18
生物群体的评价
满足评价基准吗?
否
是
结束
S19

图 19



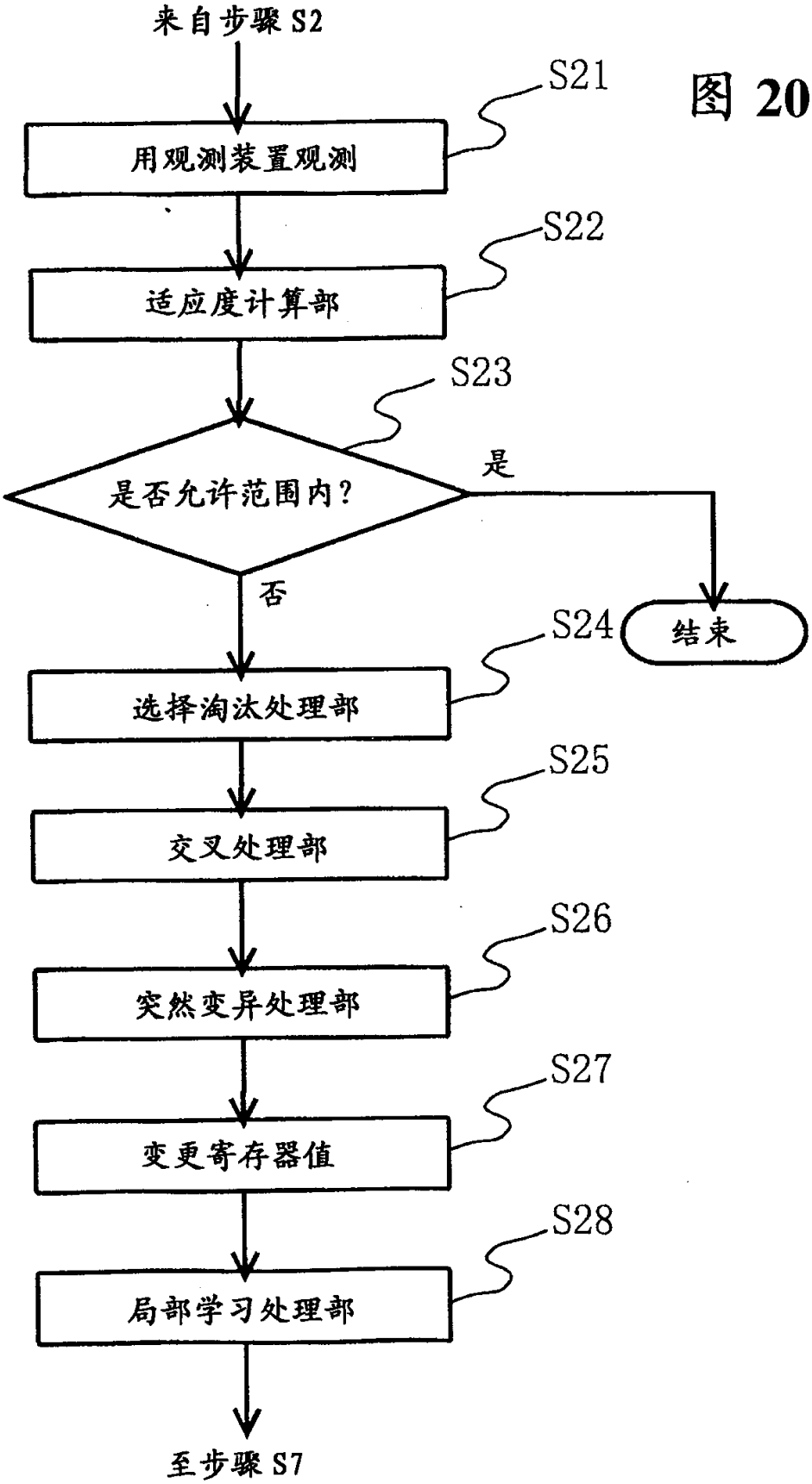

来自步骤 S2
S21
用观测装置观测
S22
适应度计算部
S23
是否允许范围内？
是
否
结束
S24
选择淘汰处理部
S25
交叉处理部
S26
突然变异处理部
S27
变更寄存器值
S28
局部学习处理部
至步骤 S7

图 20

图 21

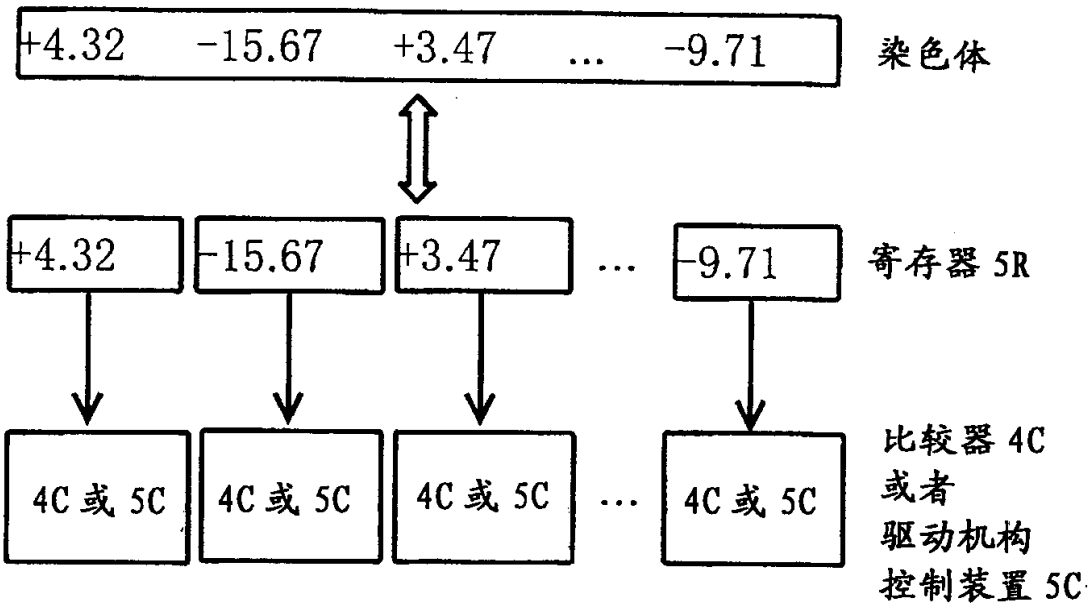

+4.32 -15.67 +3.47 ... -9.71
染色体
+4.32
-15.67
+3.47
...
-9.71
寄存器 5R
4C 或 5C
4C 或 5C
4C 或 5C
...
4C 或 5C
比较器 4C
或者
驱动机构
控制装置 5C

图 22

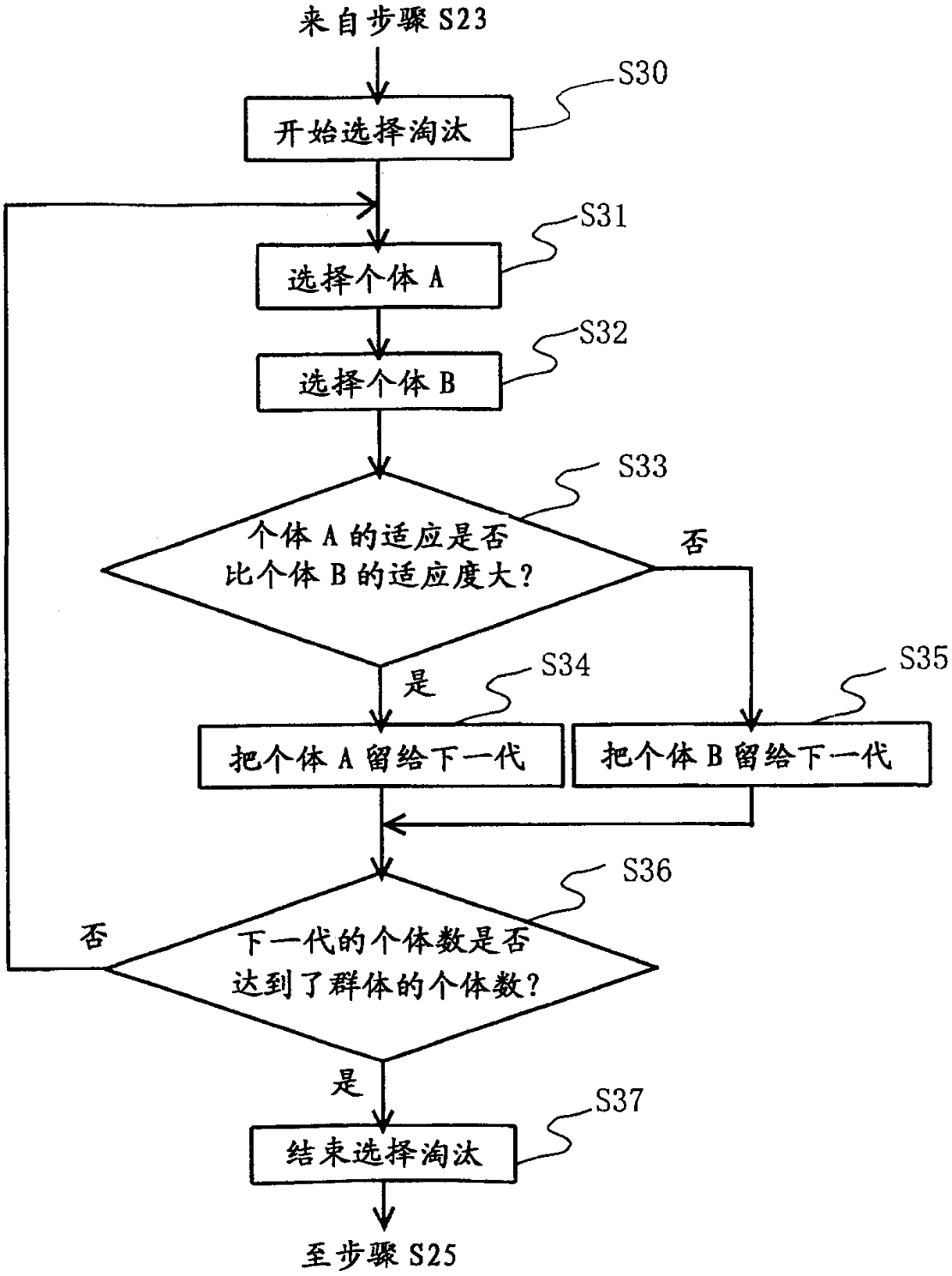

来自步骤 S23
S30
开始选择淘汰
S31
选择个体 A
S32
选择个体 B
S33
个体 A 的适应是否
比个体 B 的适应度大?
否
是
S34
S35
把个体 A 留给下一代
把个体 B 留给下一代
S36
否
下一代的个体数是否
达到了群体的个体数?
是
S37
结束选择淘汰
至步骤 S25

图 23

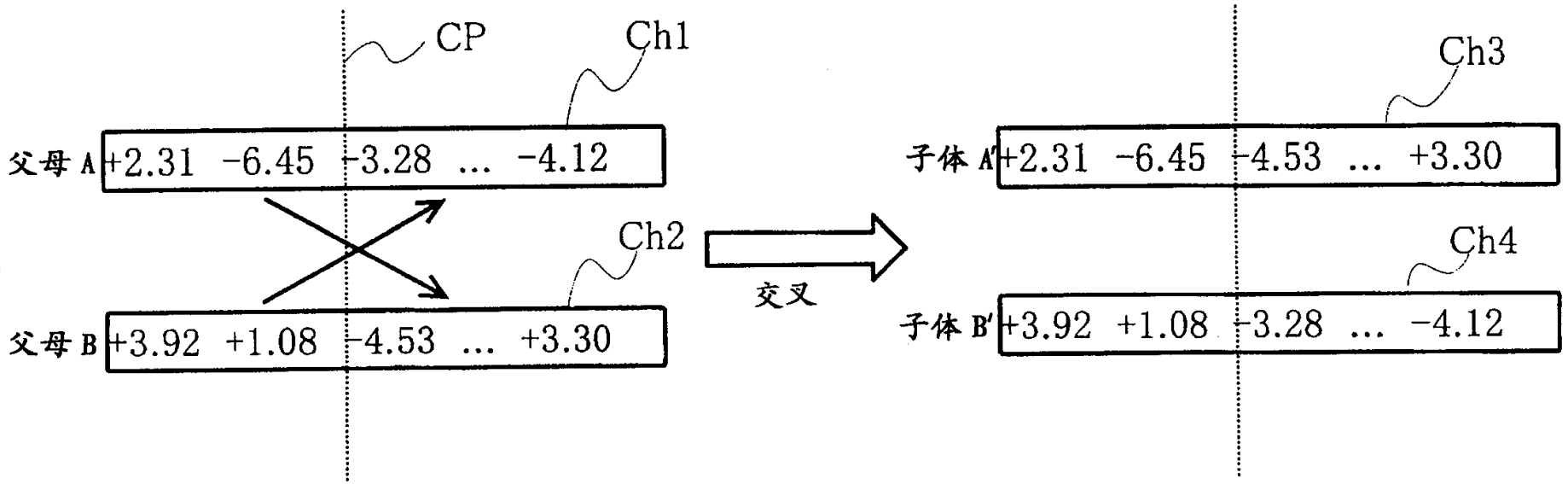

CP
Ch1
父母 A +2.31 −6.45 −3.28 … −4.12
Ch2
父母 B +3.92 +1.08 −4.53 … +3.30
交叉
Ch3
子体 A' +2.31 −6.45 −4.53 … +3.30
Ch4
子体 B' +3.92 +1.08 −3.28 … −4.12

图 24

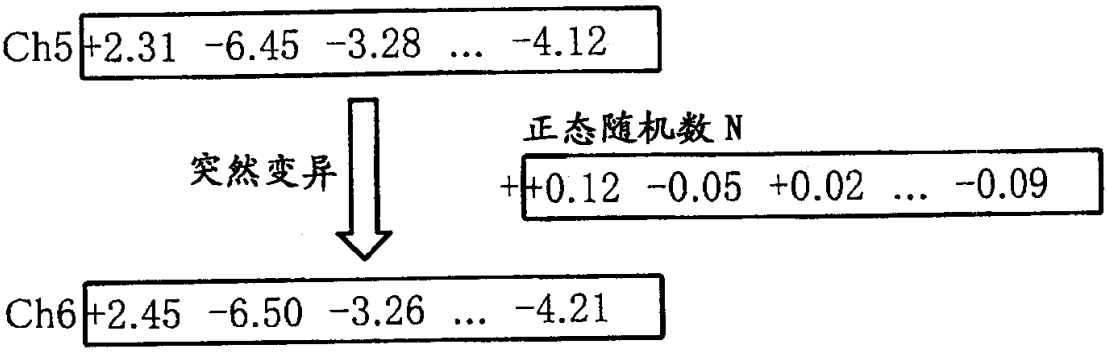

Ch5 +2.31 -6.45 -3.28 ... -4.12
突然变异
正态随机数 N
+0.12 -0.05 +0.02 ... -0.09
Ch6 +2.45 -6.50 -3.26 ... -4.21

图 25

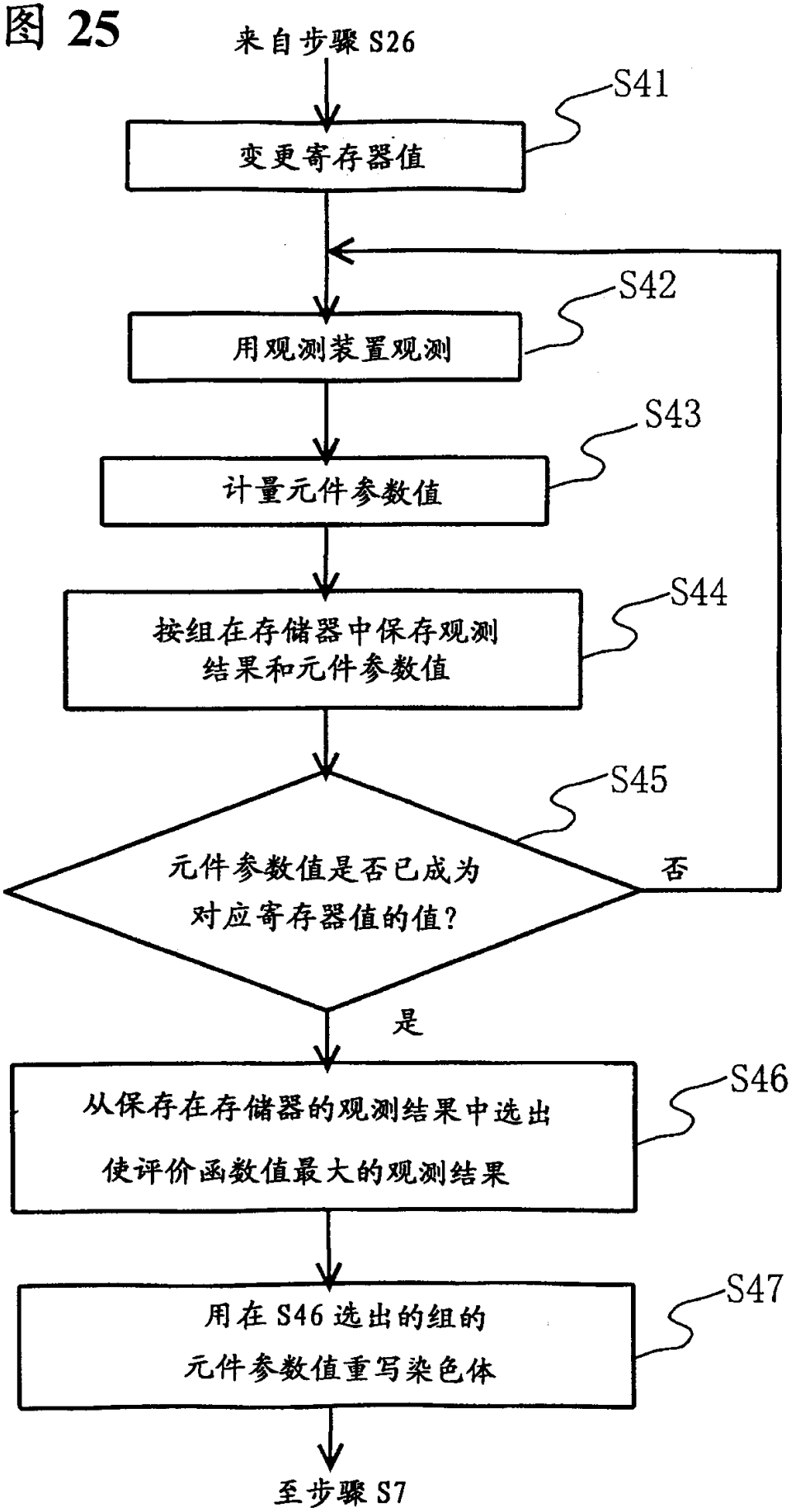
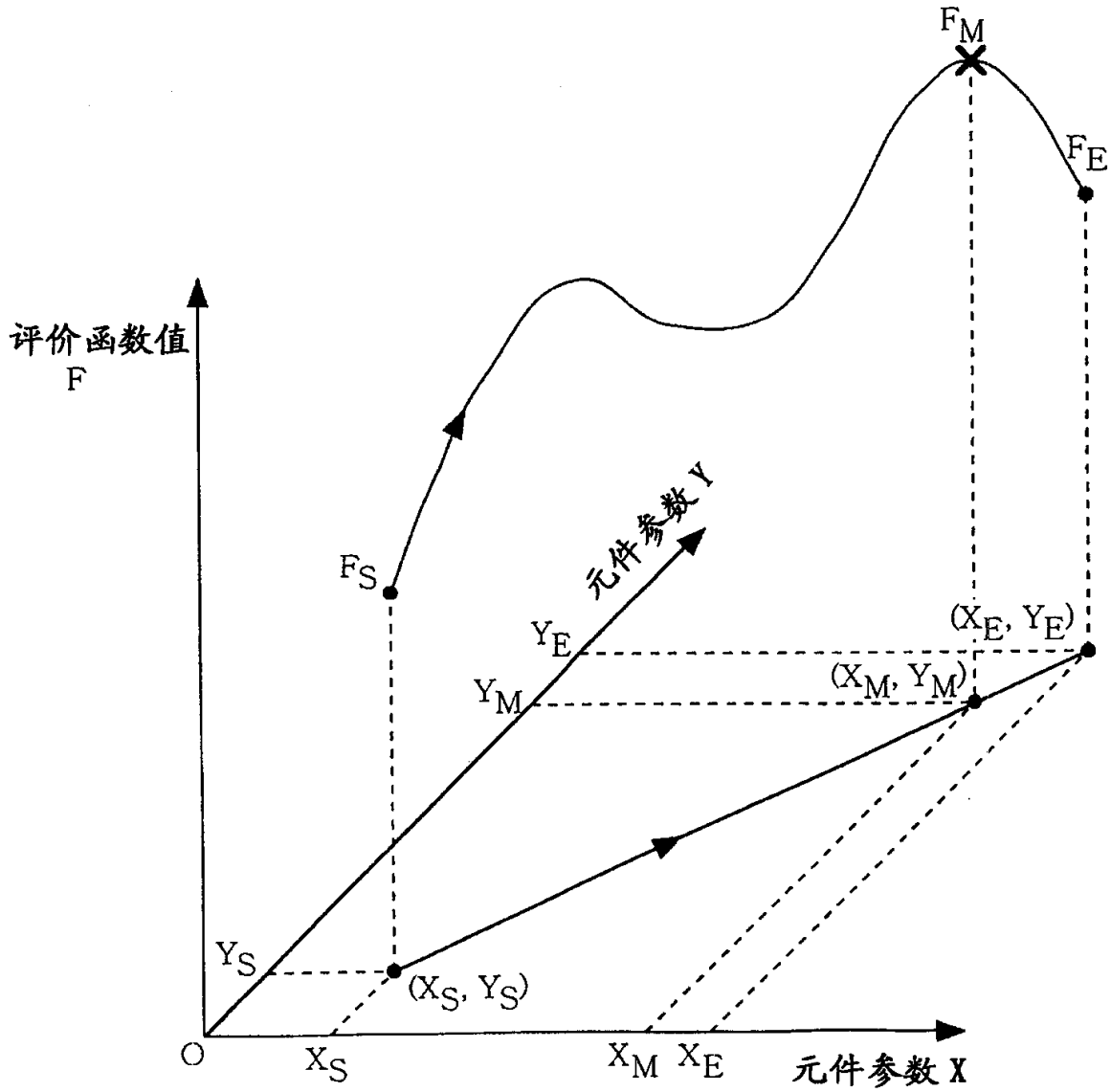

来自步骤 S26
S41
变更寄存器值
S42
用观测装置观测
S43
计量元件参数值
S44
按组在存储器中保存观测结果和元件参数值
S45
元件参数值是否已成为对应寄存器值的值?
否
是
S46
从保存在存储器的观测结果中选出使评价函数值最大的观测结果
S47
用在 S46 选出的组的元件参数值重写染色体
至步骤 S7

图 26



00-03-28

图 27

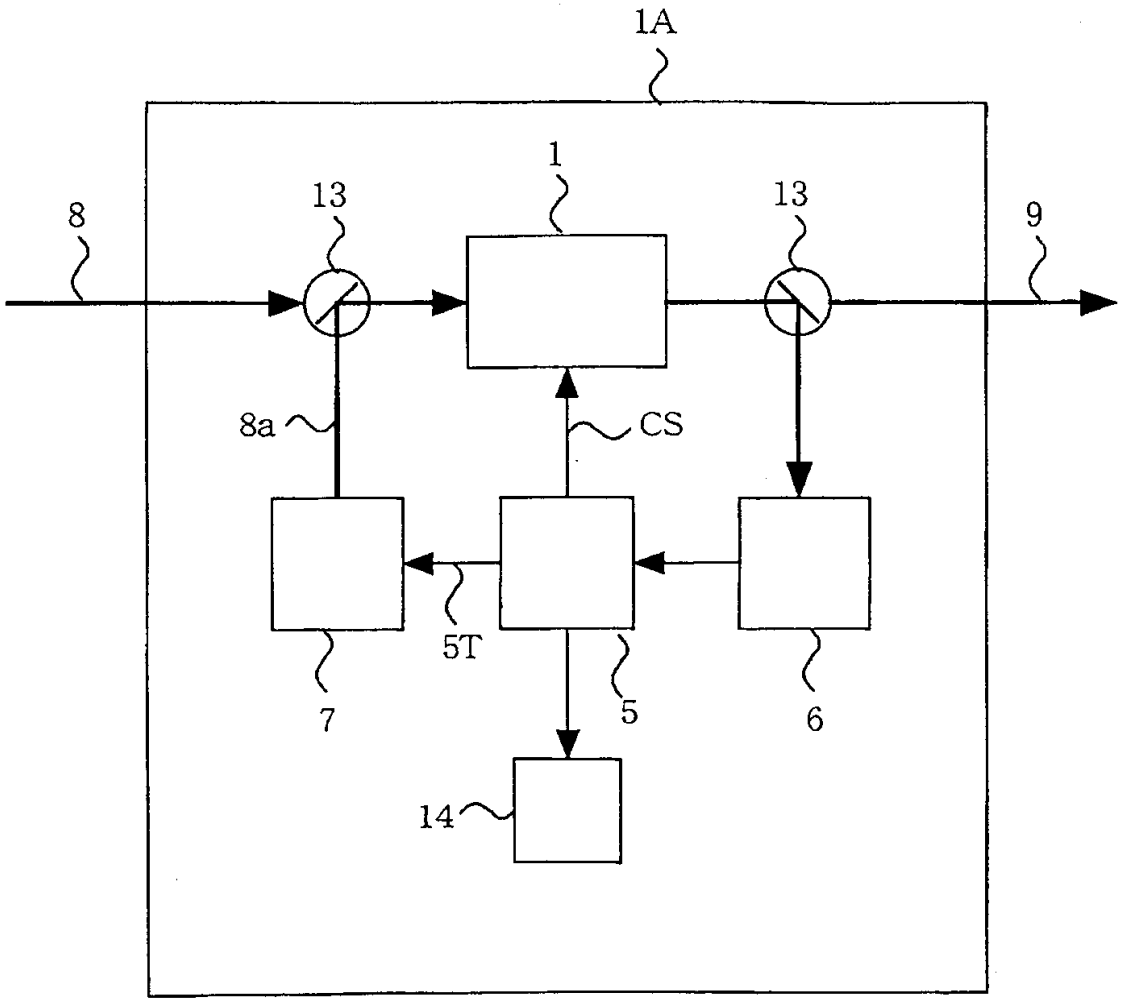


图 28

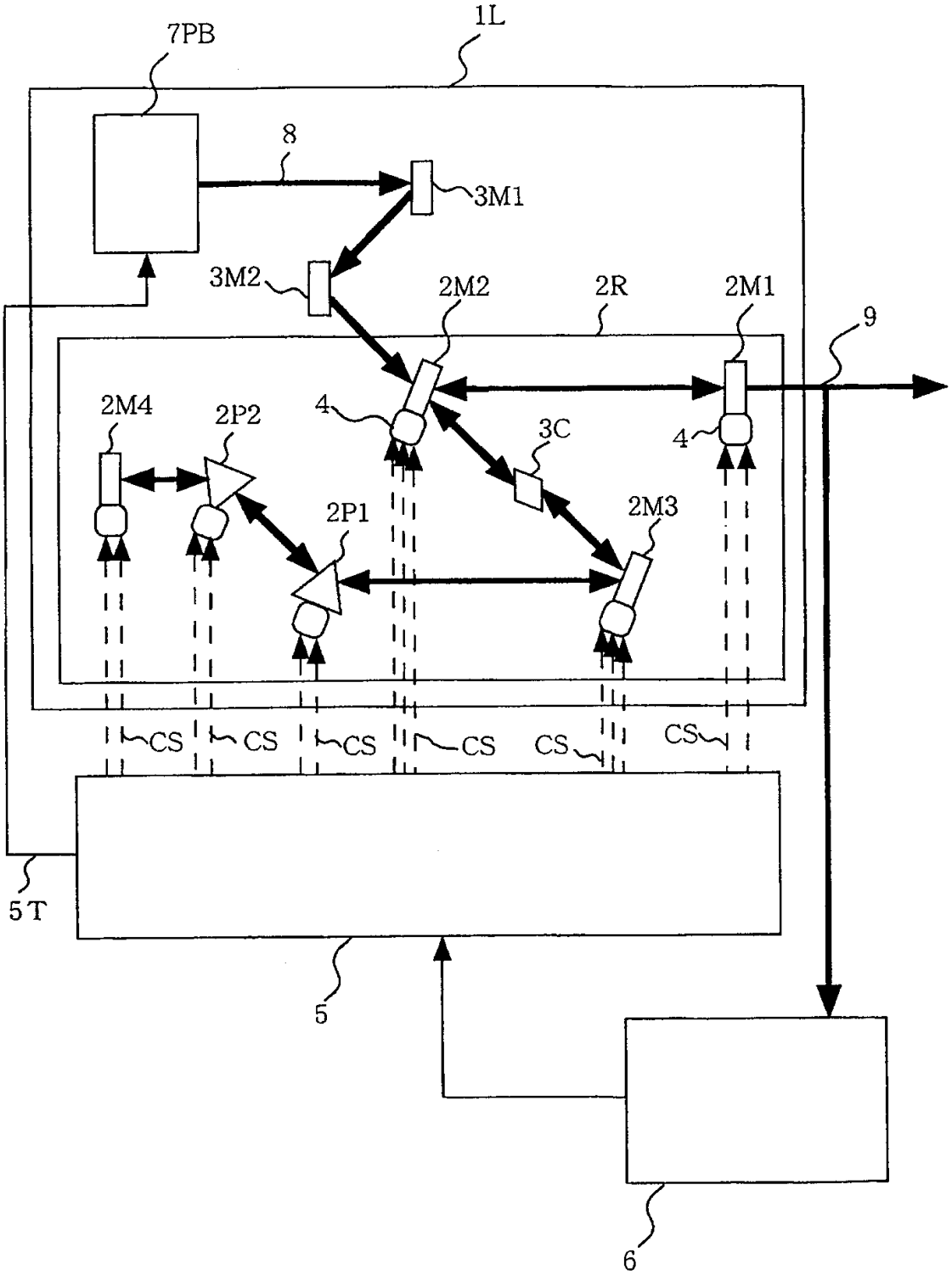

7PB
1L
8
3M1
3M2
2M2
2R
2M1
9
2M4
2P2
4
3C
4
2P1
2M3
CS
CS
CS
CS
CS
CS
5T
5
6

图 29

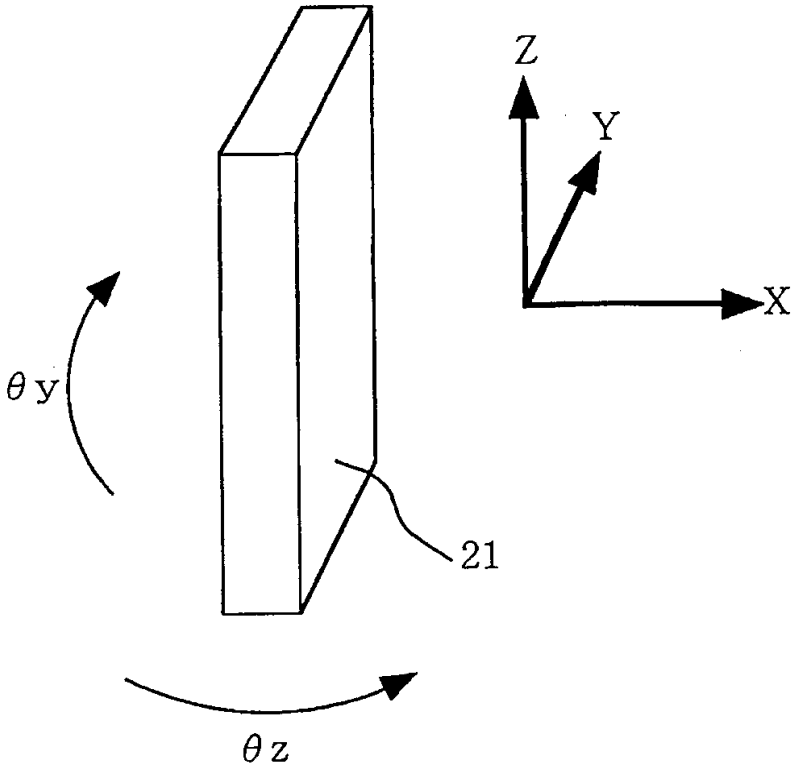
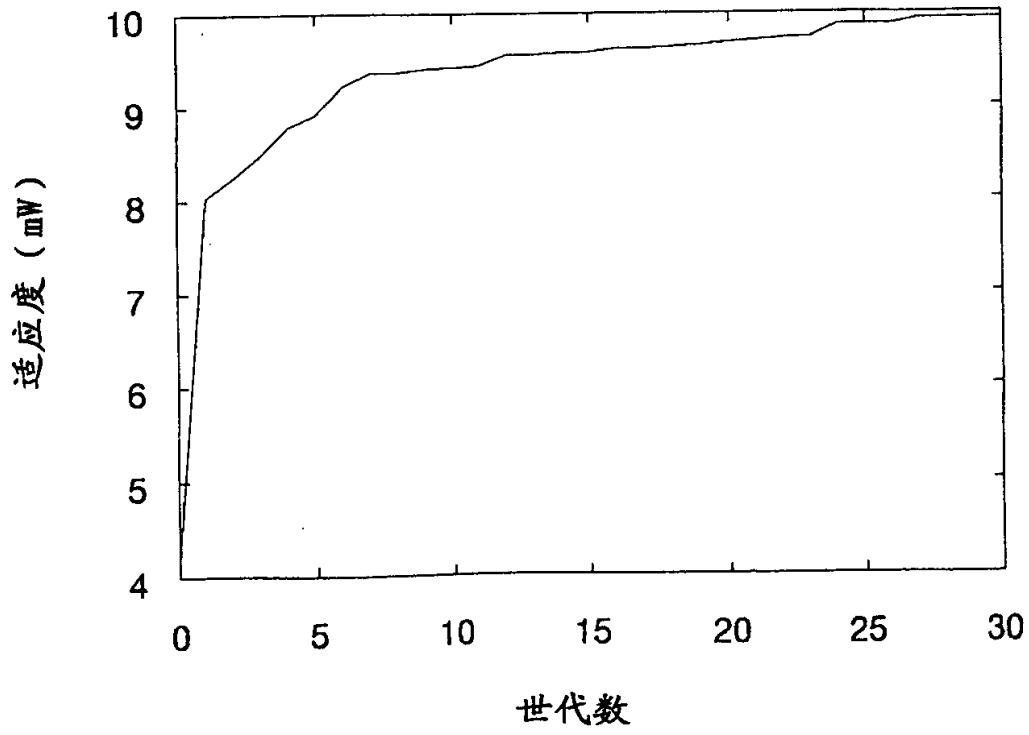


图 30



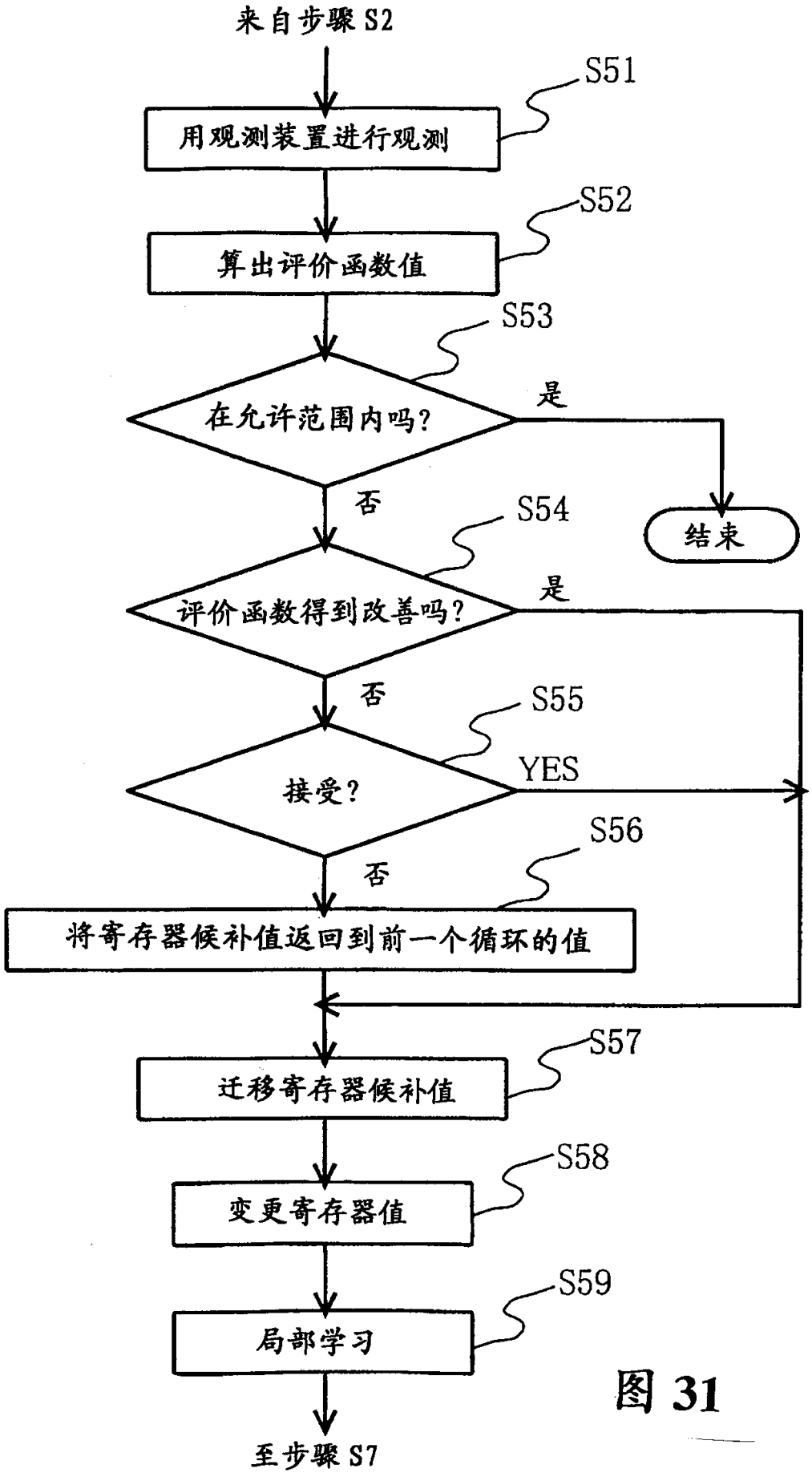
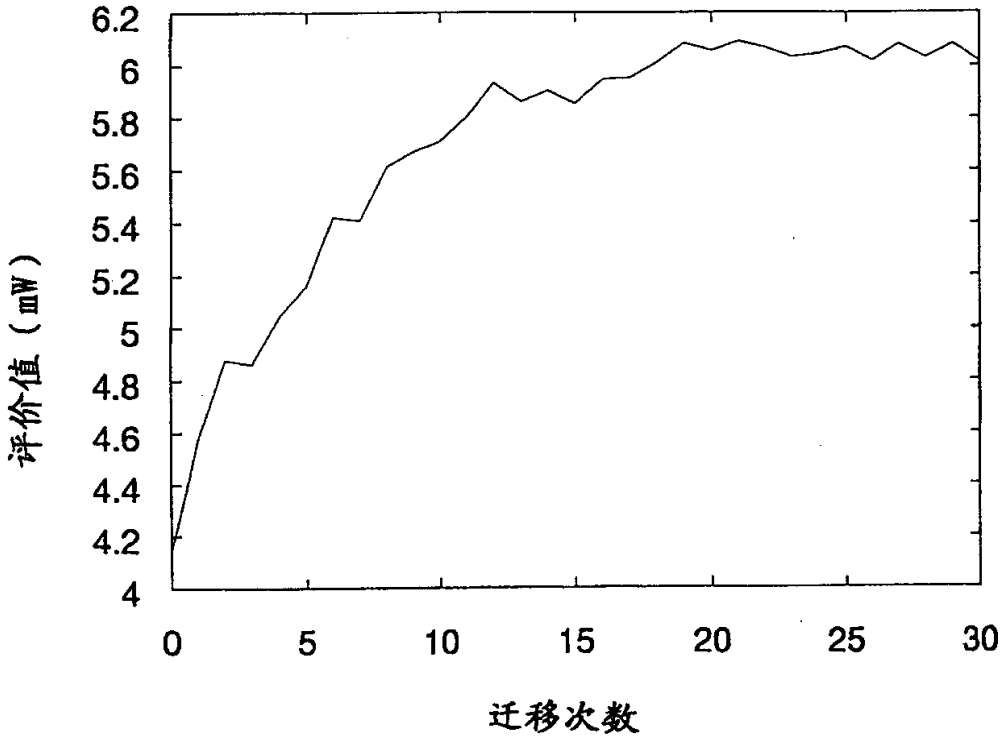

来自步骤S2
S51
用观测装置进行观测
S52
算出评价函数值
S53
在允许范围内吗?
是
结束
否
S54
评价函数得到改善吗?
是
否
S55
接受?
YES
否
S56
将寄存器候补值返回到前一个循环的值
S57
迁移寄存器候补值
S58
变更寄存器值
S59
局部学习
至步骤S7

图 31

图 32



00-03-28

图 33

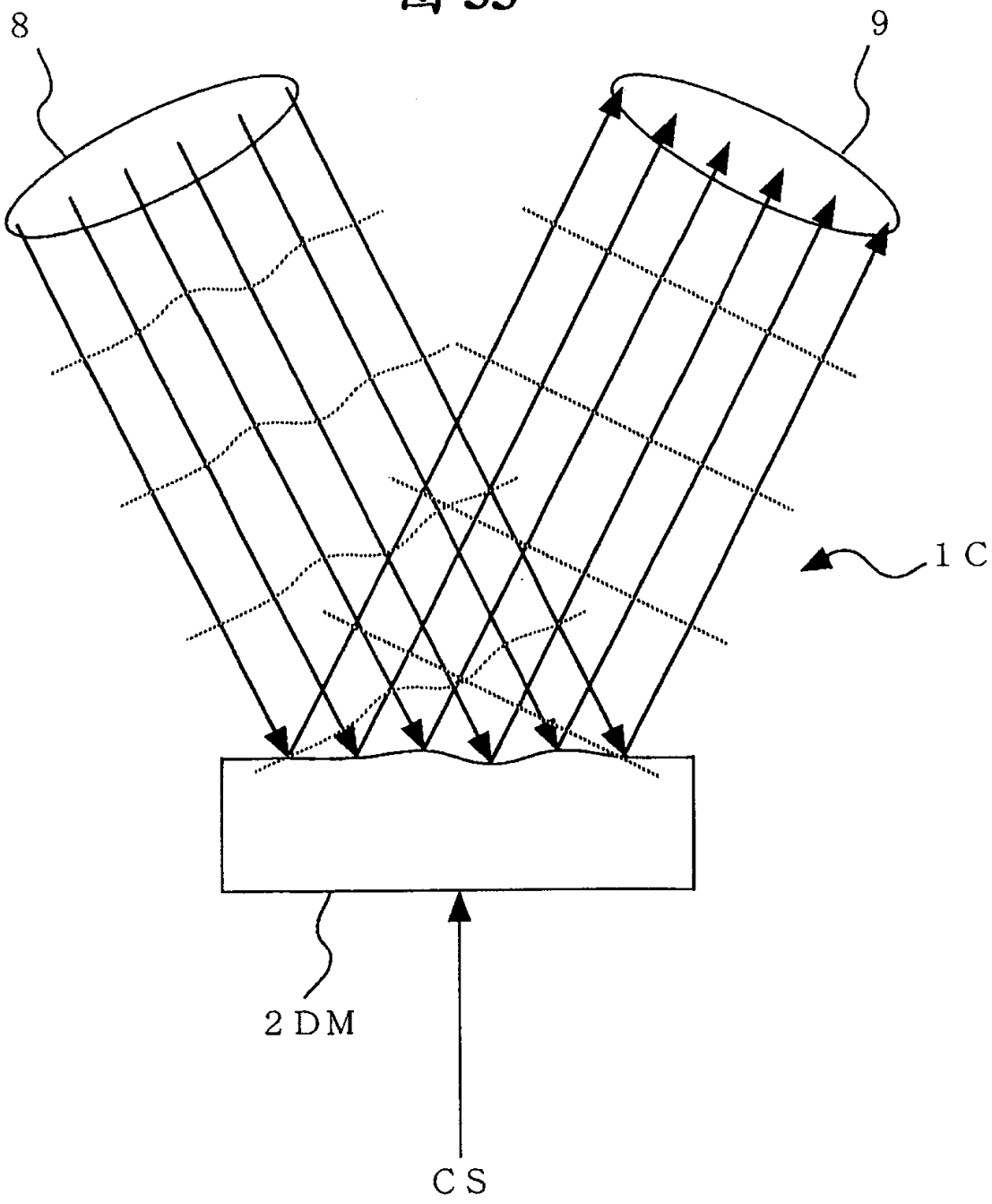


图 34

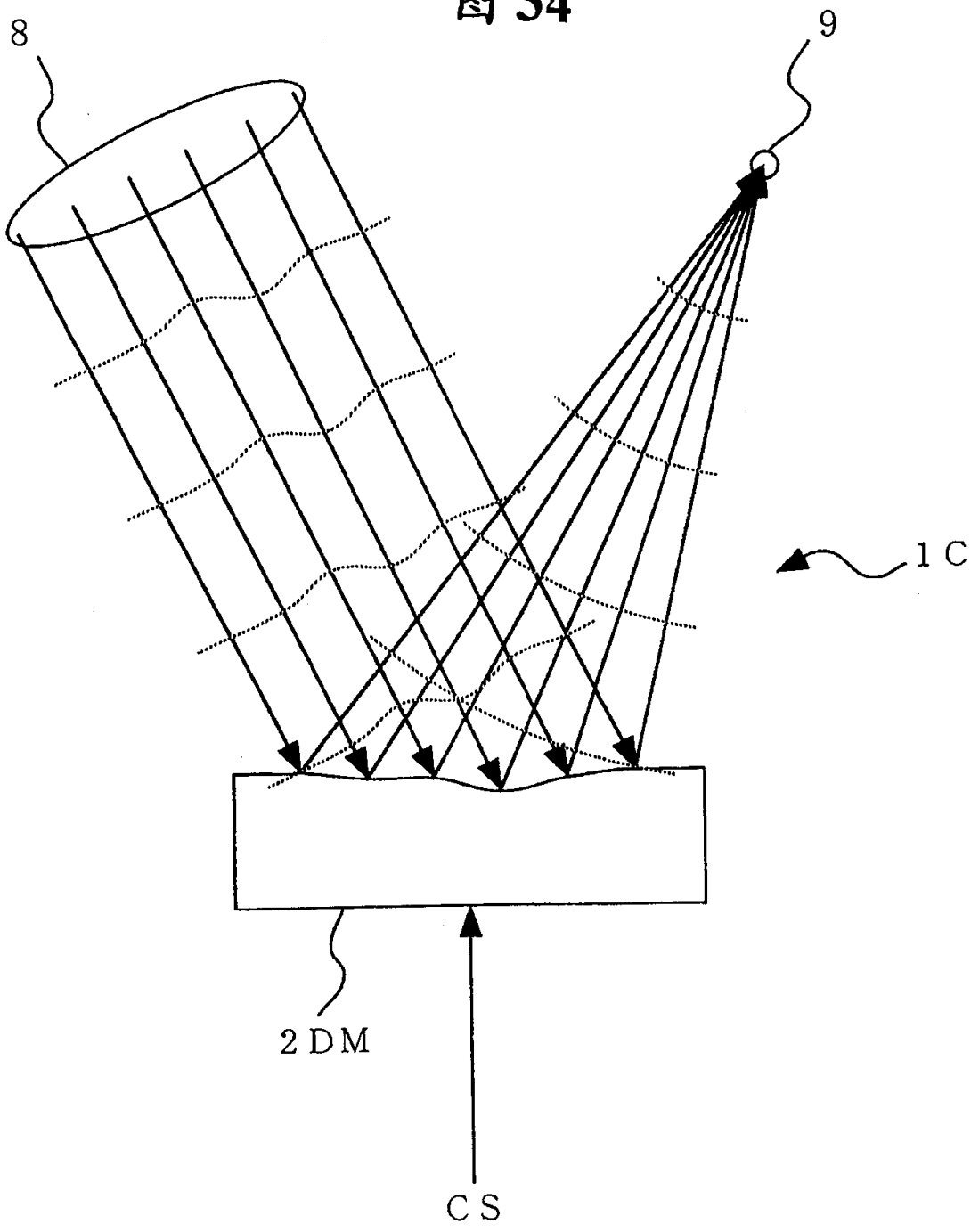


图 35

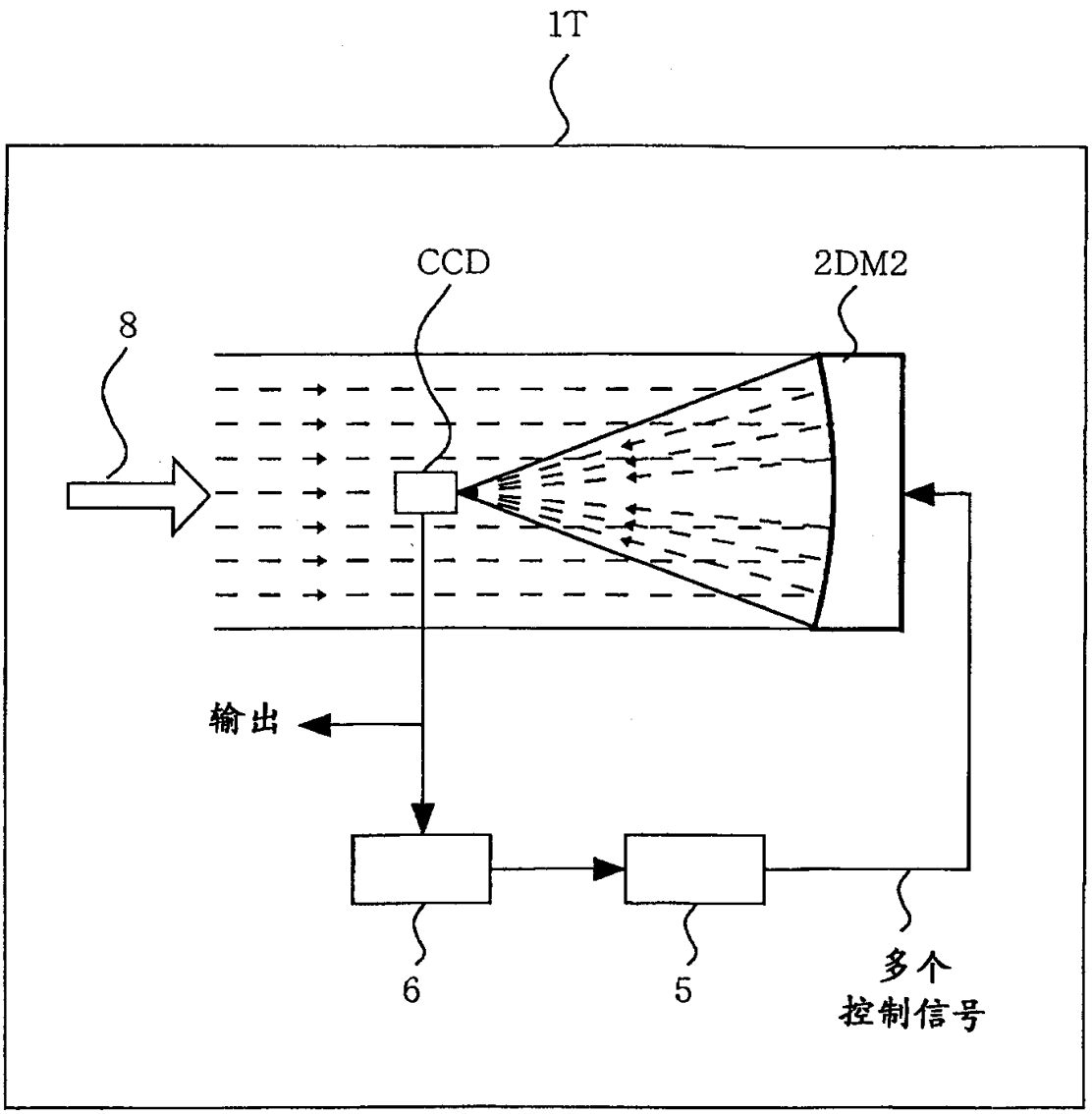


图 36

