



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110091081 A

(43)申请公布日 2019.08.06

(21)申请号 201910004435.6

B23K 101/42(2006.01)

(22)申请日 2019.01.03

(30)优先权数据

2018-013218 2018.01.30 JP

(71)申请人 住友重机械工业株式会社

地址 日本东京都

(72)发明人 田中研太 河村让一 万雅史

冈田康弘 田坂泰久

(74)专利代理机构 广州三环专利商标代理有限公司

公司 44202

代理人 郝传鑫

(51)Int.Cl.

B23K 26/382(2014.01)

B23K 26/70(2014.01)

H05K 3/00(2006.01)

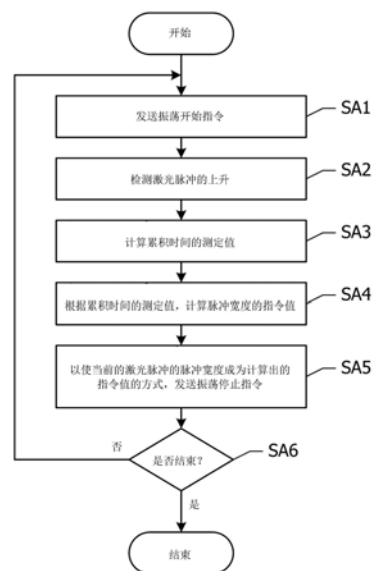
权利要求书1页 说明书7页 附图12页

(54)发明名称

激光控制装置

(57)摘要

本发明提供一种能够抑制脉冲能量的偏差的激光控制装置。激光控制装置求出输出脉冲激光束的激光振荡器开始激励至激光脉冲的上升为止的经过时间即累积时间作为测定值。根据累积时间的测定值,计算出从激光振荡器输出的激光脉冲的脉冲宽度的指令值。控制激光振荡器以使当前输出的激光脉冲的脉冲宽度成为计算出的指令值。



1. 一种激光控制装置,其特征在于,  
求出输出脉冲激光束的激光振荡器开始激励至激光脉冲的上升为止的经过时间即累积时间作为测定值,  
根据所述累积时间的测定值,计算出从所述激光振荡器输出的激光脉冲的脉冲宽度的指令值,  
控制所述激光振荡器以使当前输出的激光脉冲的脉冲宽度成为计算出的指令值。
2. 根据权利要求1所述的激光控制装置,其特征在于,  
所述激光控制装置还根据从所述激光振荡器输出的脉冲激光束的平均输出的测定值,调整所述激光振荡器的激励强度。
3. 根据权利要求1或2所述的激光控制装置,其特征在于,  
在计算激光脉冲的脉冲宽度的指令值时,将所述累积时间的测定值与所述累积时间的基准值进行比较,并根据比较结果来计算出激光脉冲的脉冲宽度的指令值。
4. 根据权利要求3所述的激光控制装置,其特征在于,  
在计算激光脉冲的脉冲宽度的指令值时,根据所述累积时间的测定值,更新所述累积时间的基准值。
5. 根据权利要求4所述的激光控制装置,其特征在于,  
周期性地更新所述累积时间的基准值,将所述累积时间的基准值更新为激光脉冲的所述累积时间的测定值的前一个周期的平均值。
6. 根据权利要求1至5中的任一项所述的激光控制装置,其特征在于,  
在计算激光脉冲的脉冲宽度的指令值时,使激光脉冲的脉冲宽度的指令值随着所述累积时间的测定值从所述累积时间的基准值变长而从脉冲宽度的基准值变长,使激光脉冲的脉冲宽度的指令值随着所述累积时间的测定值从所述累积时间的基准值变短而从脉冲宽度的基准值变短。

## 激光控制装置

[0001] 本申请主张基于2018年1月30日申请的日本专利申请第2018-013218号的优先权。该日本申请的全部内容通过参考援用于本说明书中。

### 技术领域

[0002] 本发明涉及一种激光控制装置。

### 背景技术

[0003] 在对印刷电路板进行钻孔加工等时使用利用了脉冲激光的加工技术。在专利文献1中公开了一种能够输出具有所期望的脉冲宽度的脉冲激光的激光加工装置。在该激光加工装置中,使激光谐振腔输出脉冲激光的脉冲控制电源开启之后,根据从激光谐振腔实际输出的脉冲激光束的输出时刻及脉冲宽度指令,使脉冲控制电源断开。即便使脉冲控制电源开启之后至脉冲激光束实际输出为止的时间产生偏差,也能够将脉冲宽度维持在所指示的值。

[0004] 专利文献1:国际公布第2014/010046号

[0005] 在使用脉冲激光束进行加工时,将每个脉冲的能量(脉冲能量)设为恒定是重要的。根据本申请发明人等的评价实验明确了,即便将脉冲宽度维持在所指示的值,抑制脉冲能量的偏差的效果有时也不够充分。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供一种能够抑制脉冲能量的偏差的激光控制装置。

[0007] 根据本发明的一种观点,提供一种激光控制装置,

[0008] 所述激光控制装置求出输出脉冲激光束的激光振荡器开始激励至激光脉冲的上升为止的经过时间即累积时间作为测定值,

[0009] 根据所述累积时间的测定值,计算出从所述激光振荡器输出的激光脉冲的脉冲宽度的指令值,

[0010] 控制所述激光振荡器以使当前输出的激光脉冲的脉冲宽度成为计算出的指令值。

[0011] 根据累积时间的测定值,改变从激光振荡器输出的激光脉冲的脉冲宽度的指令值,由此,与将脉冲宽度设为恒定的情况相比,能够减少脉冲能量的偏差。

### 附图说明

[0012] 图1是搭载了基于实施例的激光控制装置的激光加工装置的示意图。

[0013] 图2是表示从基于实施例的激光控制装置发送至激光振荡器的振荡指令信号S0的波形及从光检测器供给到激光控制装置的检测信号S1的波形的图表。

[0014] 图3A是表示脉冲宽度恒定的条件下的放电电压与脉冲能量之间的关系图表,图3B是表示放电电压与累积时间之间的关系图表,图3C是表示脉冲宽度恒定的条件下的累积时间与脉冲能量之间的关系图表。

[0015] 图4A是基于实施例的激光控制装置的框图的一例,图4B是表示存储于基于实施例的激光控制装置的存储部中的累积时间的测定值与脉冲宽度的指令值之间的对应关系的图表。

[0016] 图5是基于实施例的激光控制装置所执行的处理的流程图。

[0017] 图6是表示步骤SA4(图5)的处理的流程图。

[0018] 图7A是表示不管累积时间如何脉冲宽度均设为恒定时的累积时间的测定值与脉冲能量的测定值之间的关系关系的图表,图7B是表示使用了基于实施例的激光控制装置时的累积时间的测定值与脉冲能量的测定值之间的关系关系的图表。

[0019] 图8A是基于另一实施例的激光控制装置的框图,图8B是表示平均输出的测定值与放电电压的指令值之间的对应关系的图表。

[0020] 图9是基于图8A所示的实施例的激光控制装置控制放电电压的处理的流程图。

[0021] 图10是基于图8A所示的实施例的步骤SA4(图5)的流程图。

[0022] 图11是表示在将累积时间的基准值设为不变的情况下的放电电压的指令值、激光振荡器20的平均输出的测定值、累积时间的测定值及脉冲宽度的指令值的经时变化的一例的图表。

[0023] 图12是表示在使用了基于图8A所示的实施例的激光控制装置的情况下的放电电压的指令值、激光振荡器的平均输出的测定值、累积时间的测定值及脉冲宽度的指令值的经时变化的一例的图表。

[0024] 图中:20-激光振荡器,21-第1光学系统,22-折射镜,23-第2光学系统,24-工作台,25-加工对象物,26-光检测器,30-激光控制装置,31-激光脉冲检测部,32-信号发送部,33-脉冲宽度调整部,34-存储部,35-平均输出计算部,36-平均输出调整部

## 具体实施方式

[0025] 下面,参考图1~图7B,对基于实施例的激光控制装置进行说明。

[0026] 图1是搭载了基于实施例的激光控制装置30的激光加工装置的示意图。激光振荡器20从激光控制装置30接收振荡指令信号S0从而输出脉冲激光束。作为激光振荡器20,可以使用各种脉冲激光振荡器,例如可以使用进行脉冲振荡的二氧化碳激光振荡器等。激光振荡器20包括光学谐振腔、放电电极及放电电极驱动电路等。

[0027] 从激光振荡器20输出的脉冲激光束通过第1光学系统21后被折射镜22反射,接着通过第2光学系统23而入射至保持于工作台24上的加工对象物25。加工对象物25例如为印刷电路板,通过脉冲激光束对其进行钻孔加工。

[0028] 入射至折射镜22的脉冲激光束的一部分透过折射镜22而入射于光检测器26。光检测器26检测入射的激光脉冲,并输出与激光脉冲的光强度相对应的电信号(即,检测信号S1)。作为光检测器26,可以使用具有能够追踪脉冲波形的变化的响应速度的红外线传感器,例如可以使用碲化镉汞传感器(MCT传感器)等。另外,光检测器26也可以配置在紧接着激光振荡器20的激光射出口之后的位置。

[0029] 第1光学系统21包括光束扩展器、非球面透镜及光圈等。光束扩展器改变激光束的光束直径及束散角。非球面透镜将光束分布从高斯形状改变为平顶形状。光圈对光束的截面形状进行整形。

[0030] 第2光学系统23包括光束扫描器及 $f\theta$ 透镜等。光束扫描器例如包括一对加尔瓦诺镜,其基于来自激光控制装置30的指令使激光束沿二维方向扫描。 $f\theta$ 透镜将光束扫描器进行扫描的激光束聚光在加工对象物25的表面。另外,也可以采用使光圈的位置缩小投影在加工对象物25的表面的结构。

[0031] 工作台24例如能够将加工对象物25保持在水平的保持面上,并且能够使加工对象物25沿水平面内的两个方向移动。激光控制装置30控制工作台24的移动。工作台24例如使用XY工作台。

[0032] 激光控制装置30根据来自光检测器26的激光脉冲的检测信号S1,按照激光脉冲调整从激光振荡器20输出的脉冲激光束的脉冲宽度以使脉冲能量恒定。

[0033] 图2是表示从激光控制装置30(图1)发送至激光振荡器20(图1)的振荡指令信号S0的波形及从光检测器26(图1)供给到激光控制装置30(图1)的检测信号S1的波形的图表。

[0034] 若在时刻 $t_0$ 振荡指令信号S0上升,则激光振荡器20开始向放电电极供给高频电力。通过向放电电极供给高频电力,激光振荡器20的激光介质开始被激励。即,振荡指令信号S0的上升相当于激光振荡器20的振荡开始指令,振荡指令信号S0的上升时刻相当于激光振荡器20开始激励的时刻。

[0035] 在从开始激励的时刻 $t_0$ 延迟的时刻 $t_1$ ,激光脉冲上升。对应于激光脉冲的上升,检测信号S1也上升。在此,将从开始激励的时刻 $t_0$ 至激光脉冲的上升时刻 $t_1$ 为止的经过时间振作累积时间BU。在激光脉冲的上升时刻时,显现出基于增益开关的极短时间的峰波形,之后维持大致恒定的光强度。在此,将维持几乎恒定的光强度的部分称作脉冲波形的主要部分。

[0036] 若在时刻 $t_2$ 振荡指令信号S0下降,则激光振荡器20停止向放电电极供给高频电力。若停止向放电电极供给高频电力,则激光振荡器20的激光介质不会被激励。即,振荡指令信号S0的下降意味着激光振荡器20的激励停止指令。若激光振荡器20停止激励,则从激光振荡器20输出的激光脉冲的强度会急剧下降。

[0037] 将检测信号S1的一个脉冲波形以时间积分的值取决于每个脉冲的能量(脉冲能量)。在本说明书中,将取决于脉冲能量的该积分值称作“脉冲能量依存物理量”。

[0038] 由于基于增益开关的极短时间的峰波形的时间宽度与整个脉冲宽度相比非常短,因此可以将脉冲波形去除了基于增益开关的极短时间的峰波形之后的部分的积分值用作脉冲能量依存物理量。并且,由于激励停止之后的尾部部分的时间宽度与激光脉冲的脉冲宽度相比也非常短并且尾部部分的光强度随着时间的经过急剧下降,因此也可以将去除了尾部部分后的脉冲波形的积分值用作脉冲能量依存物理量。如此,可以将脉冲波形的主要部分的积分值用作脉冲能量依存物理量。

[0039] 图3A是表示脉冲宽度恒定的条件下的激光振荡器20的放电电压与脉冲能量之间的关系图表。若放电电压变高,则施加于激光振荡器20的高频电力变大。若放电电压变高导致施加的高频电力变大,则能够使激光介质激励得更强。其结果,脉冲能量变高。因此,放电电压、高频电力等也可以被称作激励强度。

[0040] 图3B是表示放电电压与累积时间之间的关系图表。若放电电压变高,则激光介质的激励状态更早达到振荡阈值,因此累积时间变短。

[0041] 图3C是表示脉冲宽度恒定的条件下的累积时间与脉冲能量之间的关系图表。从

图3A所示的放电电压与脉冲能量之间的关系及图3B所示的放电电压与累积时间之间的关系可知,随着累积时间变长,脉冲能量降低。相反地,若累积时间变短,则脉冲能量变大。

[0042] 在图3A~图3C中,作为一例,示出了累积时间因放电电压而发生变化的例子,但是,使累积时间发生变化的因素并非仅为放电电压。累积时间也会因其他因素而发生变化,但在脉冲宽度恒定的条件下,通常,如图3C所示,具有脉冲能量随着累积时间变长而下降的倾向。

[0043] 图4A是基于实施例的激光控制装置30的框图的一例。激光控制装置30包括激光脉冲检测部31、信号发送部32、脉冲宽度调整部33及存储部34。

[0044] 激光脉冲检测部31接收来自光检测器26的检测信号S1,并检测出激光脉冲的上升时刻。信号发送部32向激光振荡器20发送振荡指令信号S0。

[0045] 在存储部34中存储有累积时间的测定值与脉冲宽度的指令值之间的对应关系。

[0046] 图4B是表示存储于存储部34中的累积时间的测定值与脉冲宽度的指令值之间的对应关系的图表。当累积时间的测定值为基准值 $BU_{ref}$ 时,相应地,脉冲宽度的指令值为基准值 $PW_{ref}$ 。两者的对应关系定义为如下:随着累积时间的测定值从基准值 $BU_{ref}$ 变长,脉冲宽度的指令值从基准值 $PW_{ref}$ 变长,并且随着累积时间的测定值从基准值 $BU_{ref}$ 变短,脉冲宽度PW的指令值从基准值 $PW_{ref}$ 变短。

[0047] 脉冲宽度调整部33(图4A)从信号发送部32获取表示振荡指令信号S0的上升时刻(图2的 $t_0$ )的信息,并从激光脉冲检测部31获取表示激光脉冲的上升时刻(图2的 $t_1$ )的信息。脉冲宽度调整部33从所获取的该些信息求出累积时间(图2),并将其设为累积时间的测定值。而且,根据累积时间的测定值及存储于存储部34中的对应关系来计算出激光脉冲的脉冲宽度的指令值。

[0048] 信号发送部32获取由脉冲宽度调整部33计算出的脉冲宽度的指令值。而且,信号发送部32以使当前输出的激光脉冲的脉冲宽度与脉冲宽度的指令值一致的方式使发送给激光振荡器20的振荡指令信号S0(图2)下降。由此,从激光振荡器20输出的激光脉冲的脉冲宽度与指令值大致一致。

[0049] 图5是基于实施例的激光控制装置30(图4A)所执行的处理的流程图。

[0050] 信号发送部32向激光振荡器20发送振荡开始指令(步骤SA1)。具体而言,使振荡指令信号S0(图2)上升。由此,从激光振荡器20输出的激光束上升。激光脉冲检测部31(图4)获取检测信号S1(图2)并检测出激光脉冲的上升(步骤SA2)。

[0051] 若检测到激光束的上升,则脉冲宽度调整部33计算出累积时间的测定值(步骤SA3)。而且,脉冲宽度调整部33根据累积时间的测定值并参考存储于存储部34中的对应关系而计算出脉冲宽度的指令值(步骤SA4)。之后,信号发送部32以使当前的激光脉冲的脉冲宽度与指令值一致的方式向激光振荡器20发送振荡停止指令(步骤SA5)。具体而言,使振荡指令信号S0(图2)下降。

[0052] 直至激光加工结束为止,重复从步骤SA1至步骤SA5为止的处理(步骤SA6)。

[0053] 图6是表示步骤SA4(图5)的处理的流程图。首先,脉冲宽度调整部33将累积时间的测定值与基准值 $BU_{ref}$ (图4B)进行比较(步骤SA41)。而且,脉冲宽度调整部33根据比较结果及存储于存储部34中的对应关系来计算出脉冲宽度的指令值(步骤SA42)。

[0054] 接着,对通过基于上述实施例的激光控制装置30来控制激光加工装置而能够得到

的优异效果进行说明。

[0055] 如图3C所示,在二氧化碳激光振荡器等脉冲激光振荡器中,具有即便脉冲宽度恒定脉冲能量也会随着累积时间变长而下降的倾向。在实施例,如图4B所示,通过使当前输出的激光脉冲的脉冲宽度的指令值随着累积时间的测定值变长而变长,从而补偿脉冲能量的下降。因此,与以使脉冲宽度恒定的方式进行控制的情况相比,能够减少脉冲能量的偏差。

[0056] 接着,参考图7A及图7B,对通过评价实验来确认的使用基于上述实施例的激光控制装置30而获得的效果进行说明。

[0057] 图7A是表示不管累积时间如何脉冲宽度均设为恒定时的累积时间的测定值与脉冲能量的测定值之间的关系的图表。横轴以任意单位表示累积时间,纵轴以任意单位表示脉冲能量。一个圆形记号表示一个激光脉冲的测定值。由此可知,存在脉冲能量随着累积时间变长而下降的倾向。

[0058] 图7B是表示使用了基于上述实施例的激光控制装置30时的累积时间的测定值与脉冲能量的测定值之间的关系的图表。此时的脉冲能量的分布的标准偏差小于图7A所示的脉冲能量的标准偏差。由此确认到,通过使用基于实施例的激光控制装置30,脉冲能量的偏差变小。

[0059] 接着,参考图8A~图12,对基于另一实施例的激光控制装置进行说明。以下,省略对与基于图1~图7B所示的实施例的激光控制装置的结构相同的结构的说明。在本实施例中,不仅改变激光脉冲的脉冲宽度,还改变施加给激光振荡器20的激励强度。为了改变激励强度,例如可以改变施加给放电电极的放电电压的大小,也可以改变施加给放电电极的高频电流的占空比。在以下说明中,通过改变放电电压来改变激励强度。

[0060] 图8A是基于本实施例的激光控制装置30的框图。基于本实施例的激光控制装置30除了具有基于图4A所示的实施例的激光控制装置30的各部之外,还具有平均输出计算部35及平均输出调整部36。而且,在存储部34中存储有平均输出的测定值与激励强度的指令值之间的对应关系。

[0061] 图8B是表示平均输出的测定值与放电电压的指令值之间的对应关系的图表。当平均输出的测定值为基准值 $P_{ref}$ 时,相应地,放电电压的指令值为基准值 $V_{ref}$ 。显示出放电电压的指令值随着平均输出的测定值从基准值 $P_{ref}$ 变高而下降的倾向。相反地,显示出放电电压的指令值随着平均输出的测定值从基准值 $P_{ref}$ 变低而变高的倾向。

[0062] 平均输出计算部35(图8A)根据来自光检测器26的检测信号S1(图2)来计算某一恒定期间的平均输出,并将其设为平均输出的测定值。平均输出通过在恒定期间内所获取的脉冲波形的积分值的合计值除以恒定期间的长度而计算出。

[0063] 平均输出调整部36根据平均输出的测定值与存储于存储部34中的对应关系(图8B)来计算放电电压的指令值。例如,使放电电压的指令值随着平均输出的测定值从基准值 $P_{ref}$ 变大而从基准值 $V_{ref}$ 变小,并且使放电电压的指令值随着平均输出的测定值从基准值 $P_{ref}$ 变小而从基准值 $V_{ref}$ 变大。

[0064] 信号发送部32根据由平均输出调整部36求出的放电电压的指令值向激光振荡器20发送指示放电电压的信号S2。激光振荡器20在使激光介质激励时向放电电极施加由信号S2指示的放电电压。

[0065] 图9是基于本实施例的激光控制装置30(图8A)控制放电电压的处理的流程图。

[0066] 若启动激光控制装置30,则将放电电压的指令值设定为基准值 $V_{ref}$ (步骤SB1)。在输出激光束时,根据当前的放电电压的指令值,使激光振荡器20进行激励(步骤SB2)。放电电压的指令值在恒定期间内固定。将放电电压的指令值固定的恒定期间称作“放电电压固定期间”。在放电电压固定期间内,也按照激光脉冲进行图4所示的基于累积时间的脉冲宽度的调整。

[0067] 若设定了放电电压的指令值之后经过了放电电压固定期间,则平均输出计算部35(图8A)计算出放电电压固定期间的平均输出,并将其设为平均输出的测定值(步骤SB3)。平均输出调整部36(图8A)根据平均输出的测定值与存储于存储部34中的对应关系(图8B)来更新放电电压的指令值(步骤SB4)。信号发送部32向激光振荡器20发送更新后的指令值。直至激光加工结束为止,重复从步骤SB2至步骤SB4为止的处理(步骤SB5)。

[0068] 图10是图5的步骤SA4的流程图。步骤SA41及步骤SA42与图6所示的实施例的对应的步骤相同。在图6所示的实施例中,累积时间的基准值 $BU_{ref}$ 不变。在本实施例中,周期性地更新累积时间的基准值 $BU_{ref}$ 为累积时间的测定值。例如,在计算出了脉冲宽度的指令值之后,若从累积时间的基准值 $BU_{ref}$ 的前一个更新经过了更新周期(步骤SA43),则将累积时间的基准值 $BU_{ref}$ 更新为前一个周期的激光脉冲的累积时间的平均值。在更新了累积时间的基准值 $BU_{ref}$ 之后,执行步骤SA5(图5)。

[0069] 接着,在对采用基于图8A~图10的实施例的激光控制装置30而能够得到的优异效果进行说明之前,参考图11,对将累积时间的基准值设为不变的情况(即,不执行步骤SA43及步骤SA44(图10)的情况)进行说明。

[0070] 图11是表示在将累积时间的基准值 $BU_{ref}$ 设为不变的情况下的放电电压的指令值、激光振荡器20的平均输出的测定值、累积时间的测定值及脉冲宽度的指令值的经时变化的一例的图表。另外,累积时间的测定值及脉冲宽度的指令值按照激光脉冲而发生变化,但在图11中示出了累积时间的基准值 $BU_{ref}$ 的每个更新周期的平均值。在初始状态下,放电电压的指令值被设定为基准值 $V_{ref}$ ,脉冲宽度的指令值被设定为基准值 $PW_{ref}$ 。平均输出的测定值与基准值 $P_{ref}$ 大致一致,累积时间的测定值与基准值 $BU_{ref}$ 大致一致。

[0071] 若平均输出的测定值因某些原因而从基准值 $P_{ref}$ 下降( $t_{10}$ ),则进行使放电电压的指令值上升的控制( $t_{11}$ )(图9的步骤SB4)。若放电电压的指令值上升,则激光振荡器20的输出变高,因此平均输出的测定值上升( $t_{12}$ )并且累积时间的测定值变短( $t_{13}$ )。

[0072] 若累积时间的测定值变得比基准值 $BU_{ref}$ 短,则进行使脉冲宽度的指令值比基准值 $PW_{ref}$ 变短的控制( $t_{14}$ )(图5的步骤SA4)。脉冲宽度的指令值变短朝着使平均输出下降的方向起作用。因此,平均输出的测定值会下降( $t_{15}$ )。若平均输出的测定值下降,则放电电压的指令值与在时刻 $t_{10}$ 时同样地上升( $t_{16}$ )。其结果,平均输出的测定值返回基准值 $P_{ref}$ ( $t_{17}$ )。放电电压的上升朝着使累积时间缩短的方向起作用,因此累积时间的测定值会进一步变短( $t_{18}$ )。若累积时间的测定值变短,则累积时间的基准值 $BU_{ref}$ 与测定值之差变大,因此脉冲宽度的指令值会进一步变短( $t_{19}$ )。

[0073] 如此,通过持续执行使脉冲宽度的指令值缩短的处理,脉冲宽度的指令值达到容许下限值 $PW_{min}$ 。在脉冲宽度的指令值达到容许下限值 $PW_{min}$ 之后,脉冲宽度的指令值被固定在容许下限值 $PW_{min}$ 。如此,即便同时采用放电电压的调整及脉冲宽度的调整,有时也会出现



调整脉冲宽度的功能不起作用的情况。这是因为,与基于放电电压的变化的脉冲能量的变化相比,从放电电压的变化经由累积时间的变化及脉冲宽度的调整直至脉冲能量的变化为止的增益更大。若调整脉冲宽度的功能不起作用,则会导致无法得到抑制脉冲能量的偏差的效果。

[0074] 图12是表示在使用了基于本实施例的激光控制装置30的情况下的放电电压的指令值、激光振荡器20的平均输出的测定值、累积时间的测定值及脉冲宽度的指令值的经时变化的一例的图表。从时刻 $t_{10}$ 至 $t_{17}$ 为止的放电电压的指令值、激光振荡器20的平均输出的测定值、累积时间的测定值及脉冲宽度的指令值的经时变化与图11所示的例子相同。

[0075] 若放电电压上升( $t_{16}$ ),则累积时间的测定值变短( $t_{21}$ )。此时,将累积时间的基准值 $BU_{ref}$ 更新为前一个周期的测定值的平均值(步骤SA44)。在图12中,用虚线表示累积时间的基准值 $BU_{ref}$ 。由于累积时间的基准值 $BU_{ref}$ 得到更新,因此例如在时刻 $t_{21}$ 的累积时间的测定值与基准值 $BU_{ref}$ 之差变得与在时刻 $t_{13}$ 的累积时间的测定值与基准值 $BU_{ref}$ 之差大致相等。因此,脉冲宽度的指令值实质上不会发生变化( $t_{22}$ )。

[0076] 若从时刻 $t_{21}$ 经过了累积时间的基准值 $BU_{ref}$ 的更新周期,则累积时间的基准值 $BU_{ref}$ 得到更新( $t_{23}$ ),累积时间的测定值变得与累积时间的基准值 $BU_{ref}$ 大致相等。因此,进行使脉冲宽度的指令值大致返回基准值 $PW_{ref}$ 的控制( $t_{24}$ )(步骤SA4)。使脉冲宽度变长的控制朝着提高平均输出的方向起作用,因此平均输出的测定值会上升( $t_{25}$ )。

[0077] 若平均输出的测定值上升,则进行使放电电压的指令值下降的控制( $t_{26}$ )(图9的步骤SB4)。若放电电压的指令值下降,则平均输出的测定值会下降( $t_{27}$ ),并且累积时间的测定值会变长( $t_{28}$ )。由于累积时间的基准值 $BU_{ref}$ 会被前一个周期的累积时间的测定值的平均值更新,因此累积时间的测定值变得比基准值 $BU_{ref}$ 长。因此,进行使脉冲宽度的指令值变长的控制( $t_{29}$ )(图10的步骤SA42)。

[0078] 若脉冲宽度的指令值变长,则平均输出的测定值与在时刻 $t_{24}$ 时同样地变大( $t_{30}$ ),之后,进行使放电电压的指令值下降的控制( $t_{31}$ )。其结果,平均输出的测定值下降( $t_{32}$ ),并且累积时间的测定值变长( $t_{33}$ )。由于累积时间的基准值 $BU_{ref}$ 被前一个周期的累积时间的测定值的平均值更新,因此累积时间的测定值和基准值 $BU_{ref}$ 之差变得与在时刻 $t_{28}$ 时的累积时间的测定值和基准值 $BU_{ref}$ 之差大致相等。其结果,脉冲宽度的指令值实质上不会发生变化( $t_{34}$ )。

[0079] 如此,在本实施例中,根据测定值更新累积时间的基准值 $BU_{ref}$ ,因此能够防止脉冲宽度的指令值固定在容许下限值 $PW_{min}$ 。因此,即使在同时采用放电电压的调整及脉冲宽度的调整的情况下,也能够有效地使调整脉冲宽度的功能起作用。因此,能够得到输出稳定且脉冲能量的偏差降低这两个效果。

[0080] 上述各个实施例仅是示例,理所当然,在不同的实施例中示出的结构可以进行部分替换或组合使用。关于多个实施例的基于相同结构的相同的作用效果,不在每个实施例中逐一进行说明。而且,本发明并不只限于上述实施例。例如,本发明可以进行各种变更、改良及组合等,这对本领域技术人员来说是显而易见的。

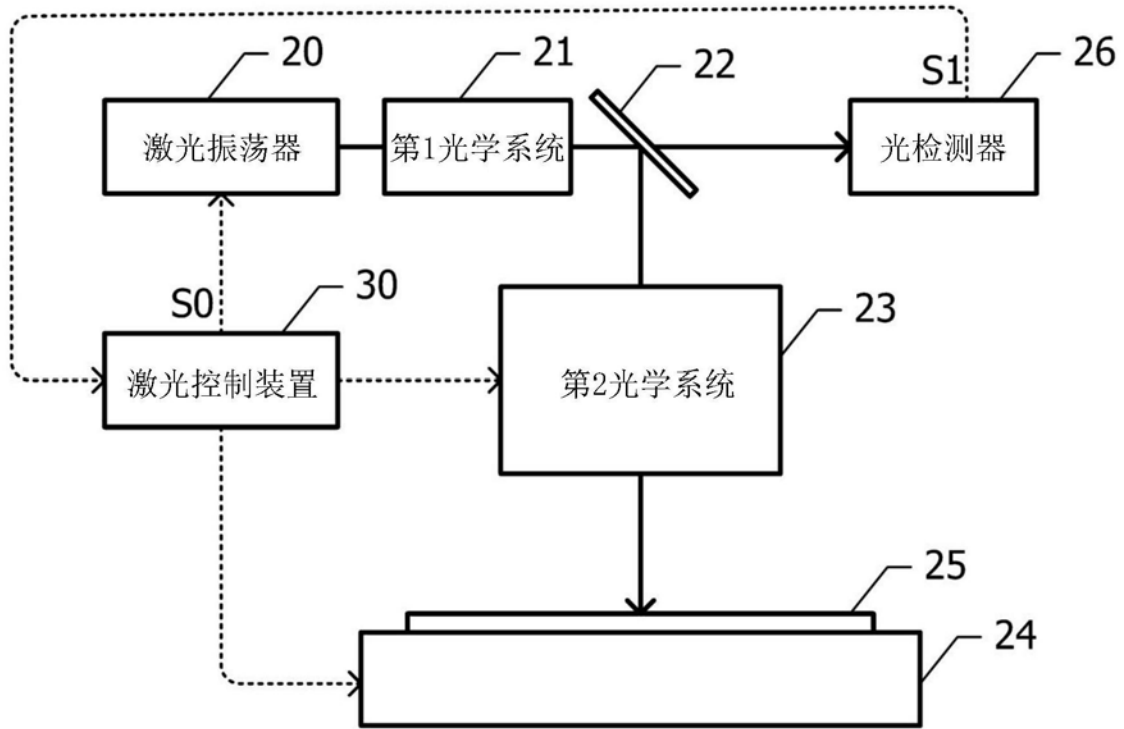


图1

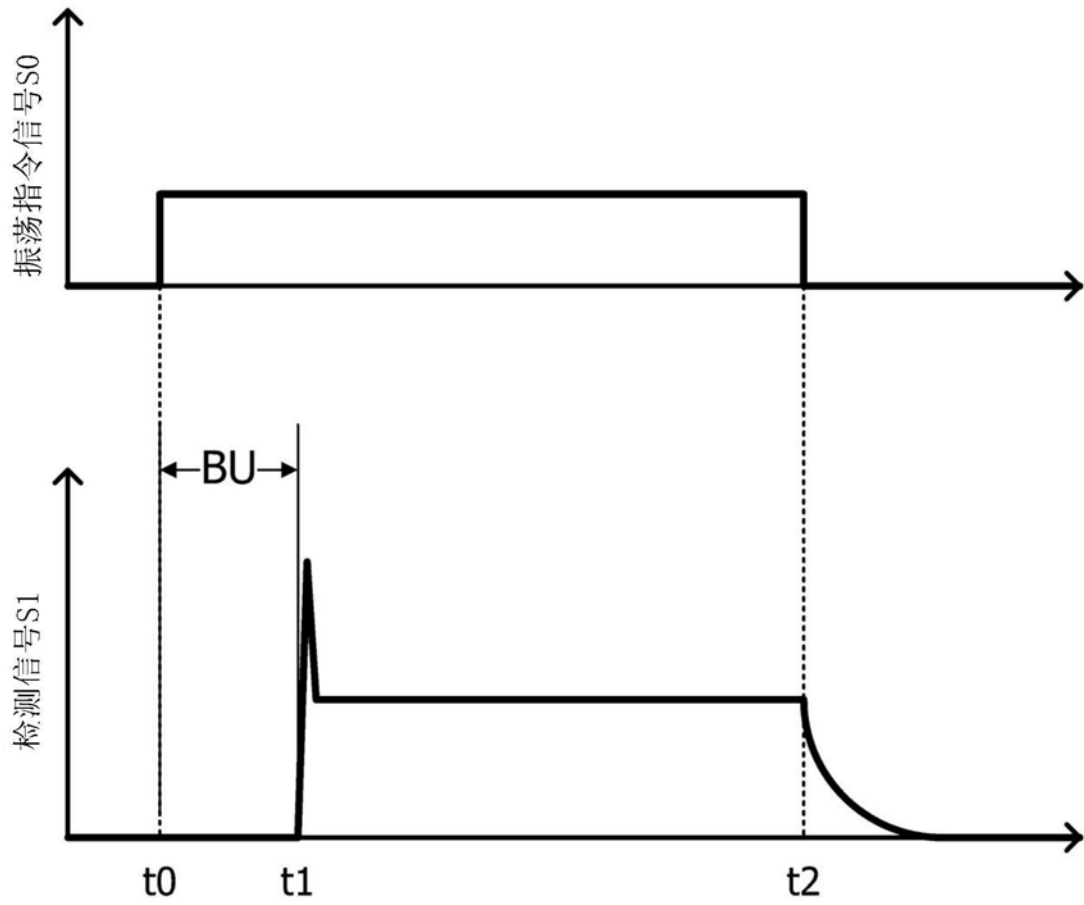


图2

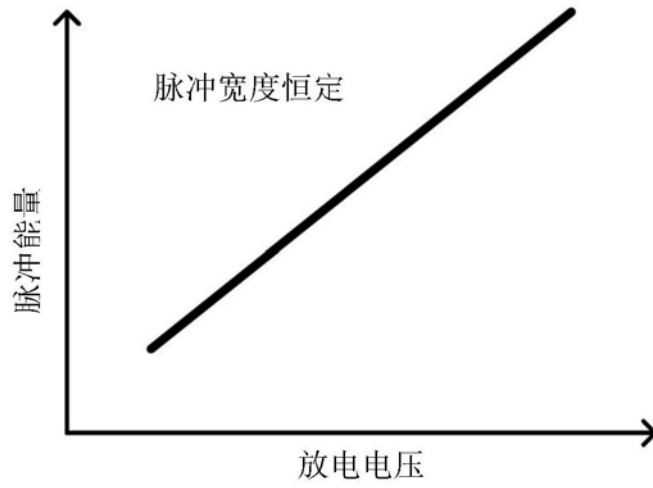


图3A

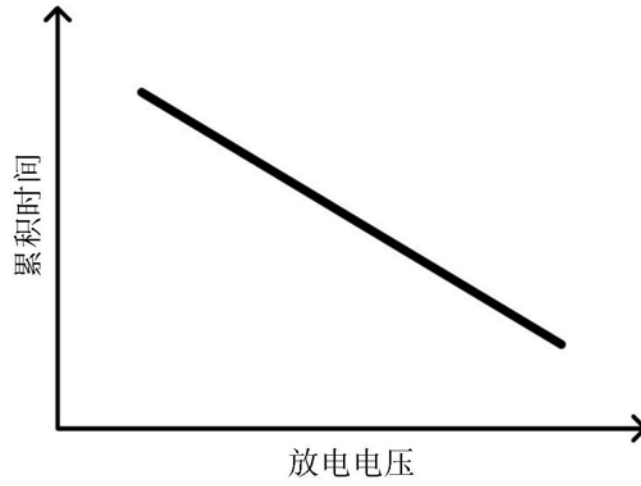


图3B

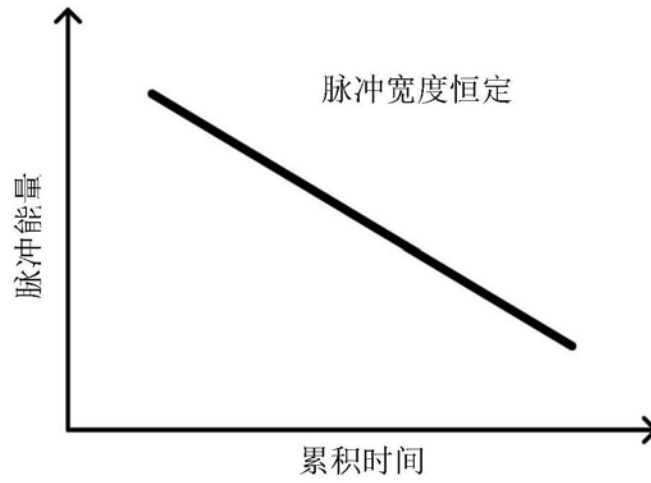


图3C

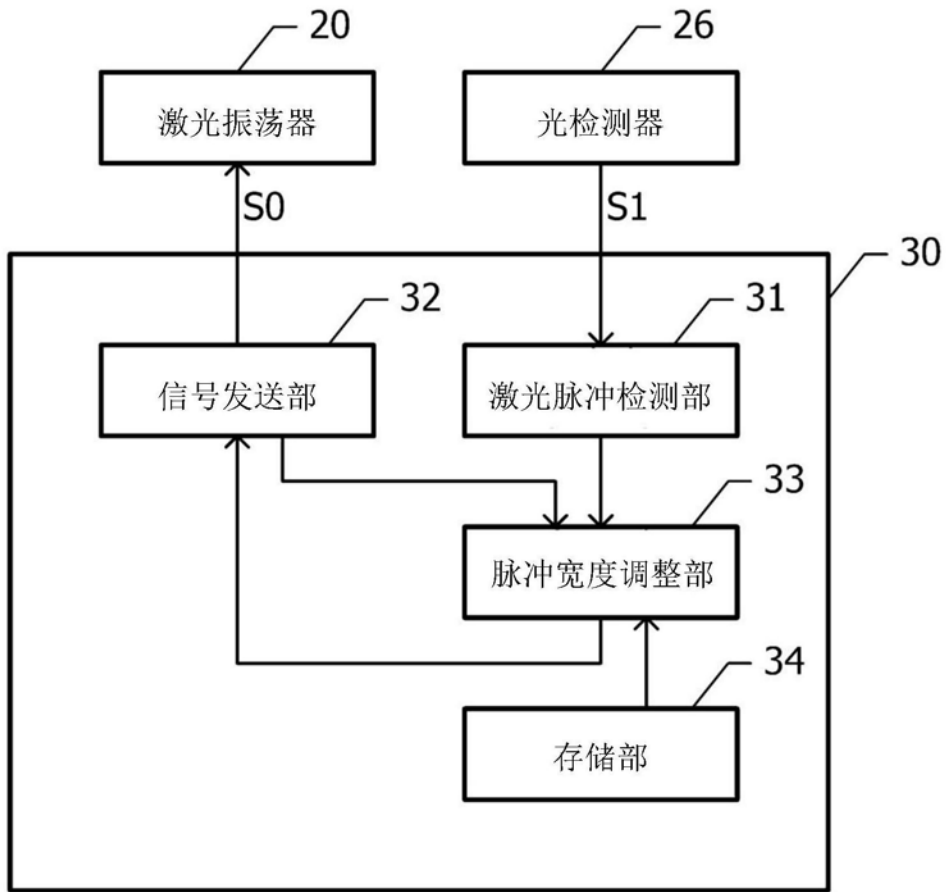


图4A

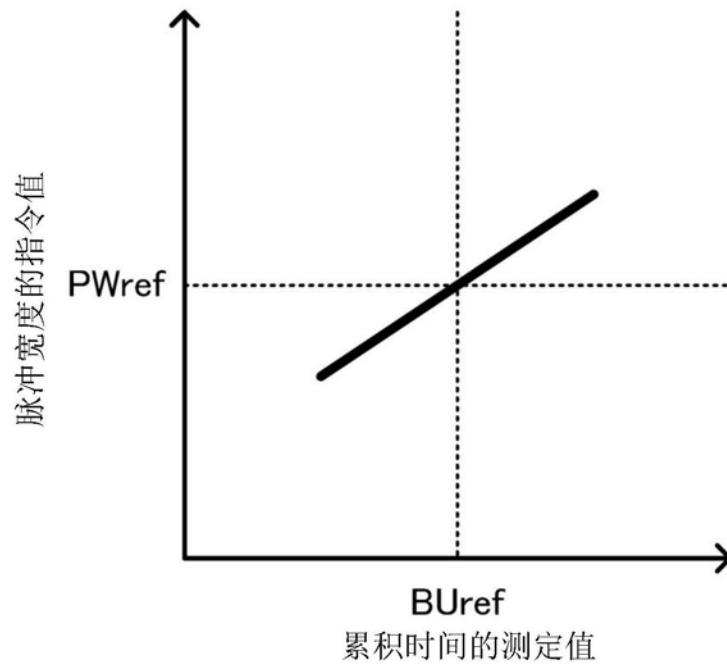


图4B

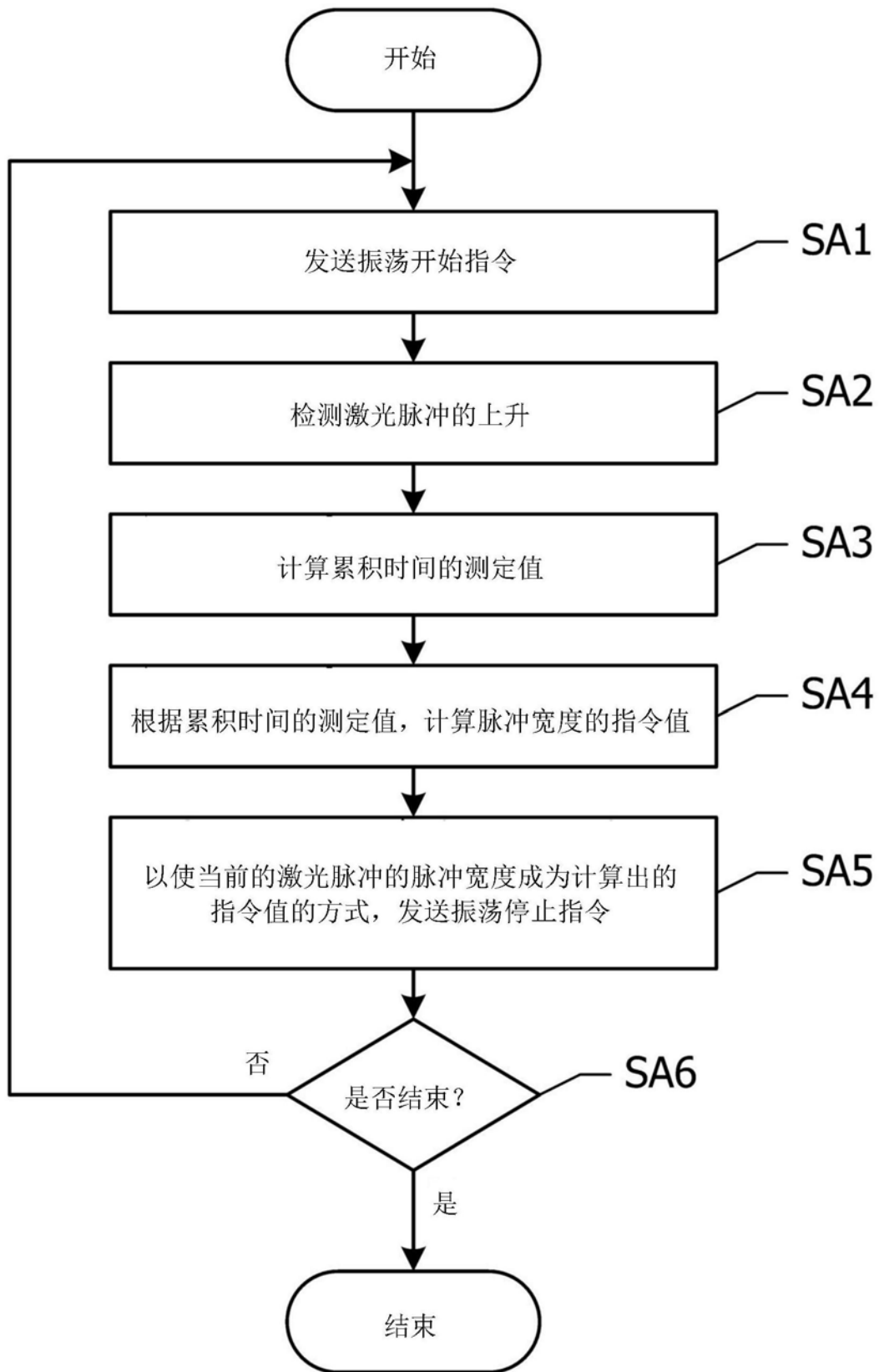


图5

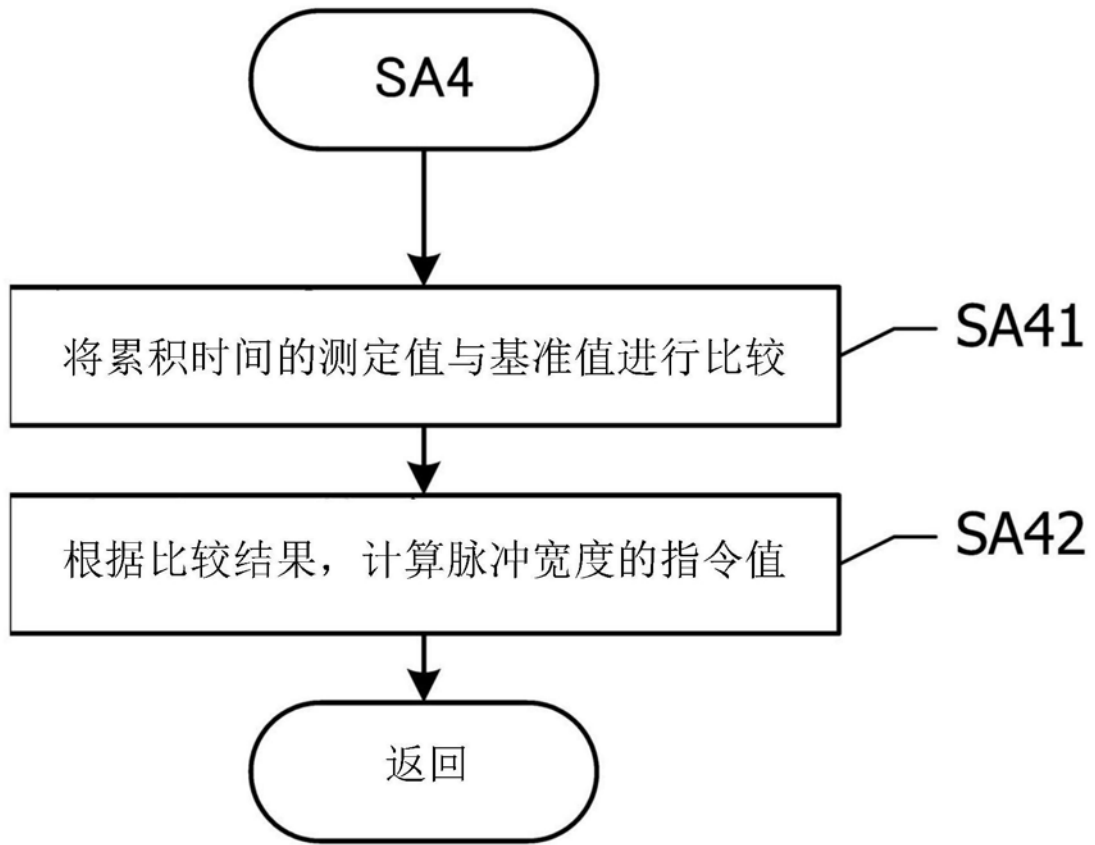


图6

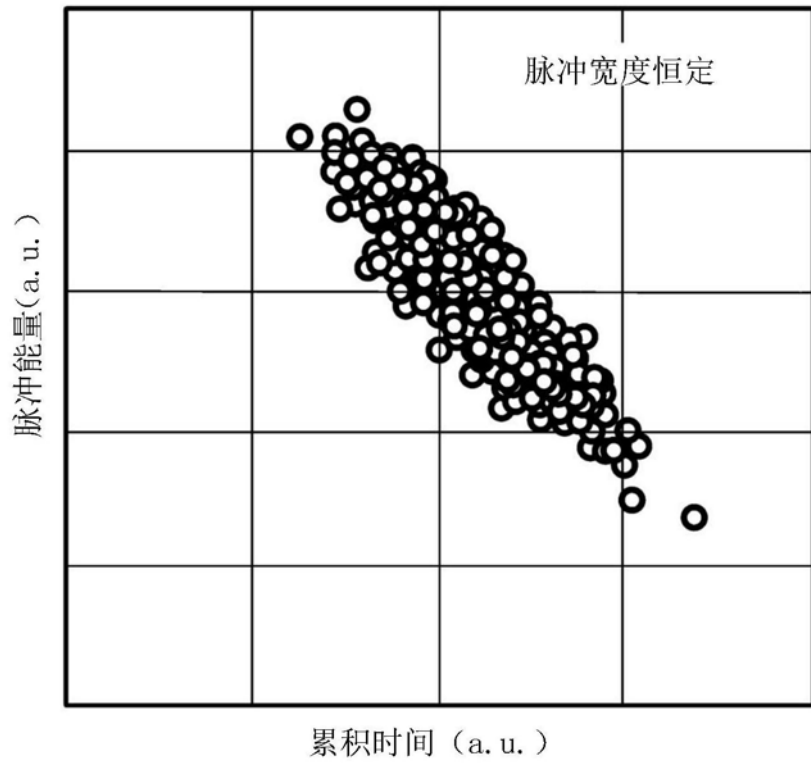


图7A

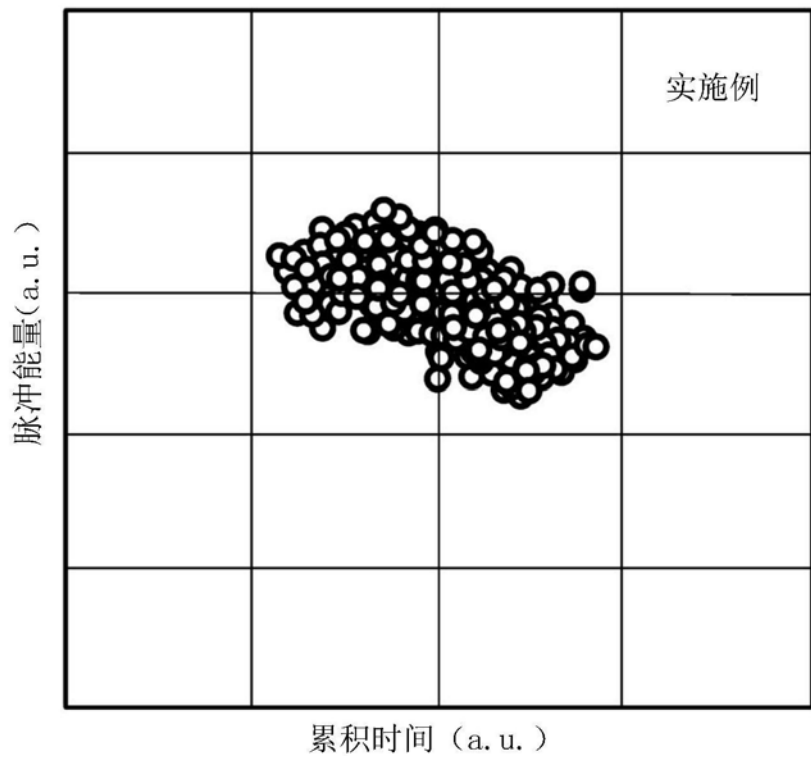


图7B



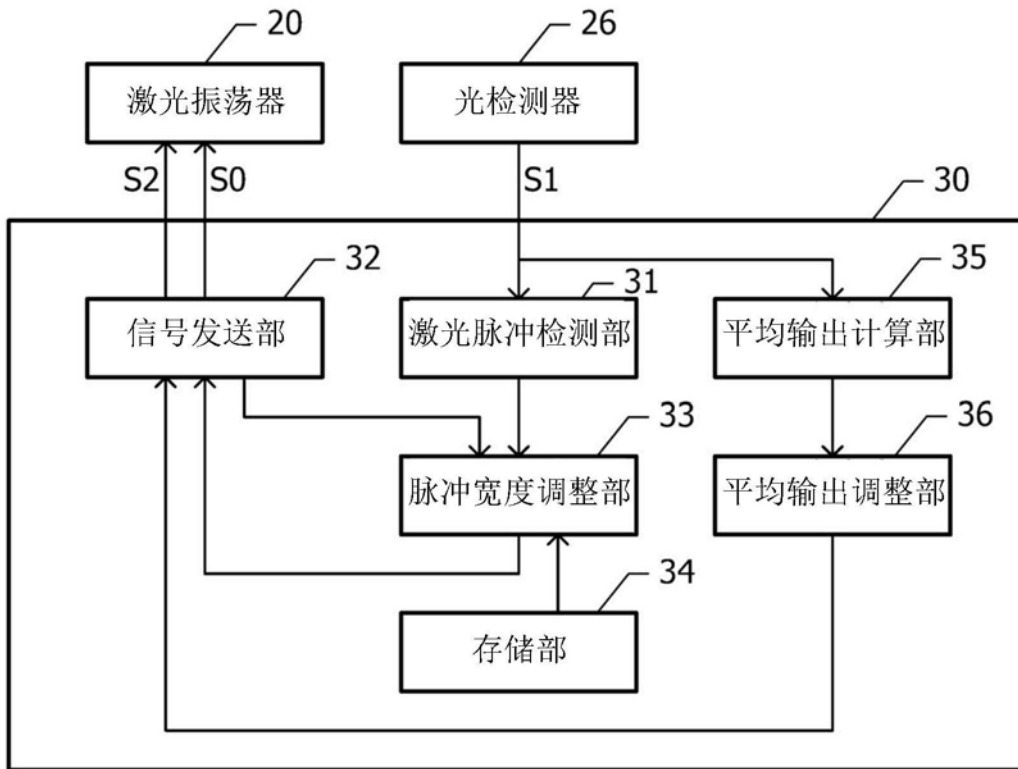


图8A

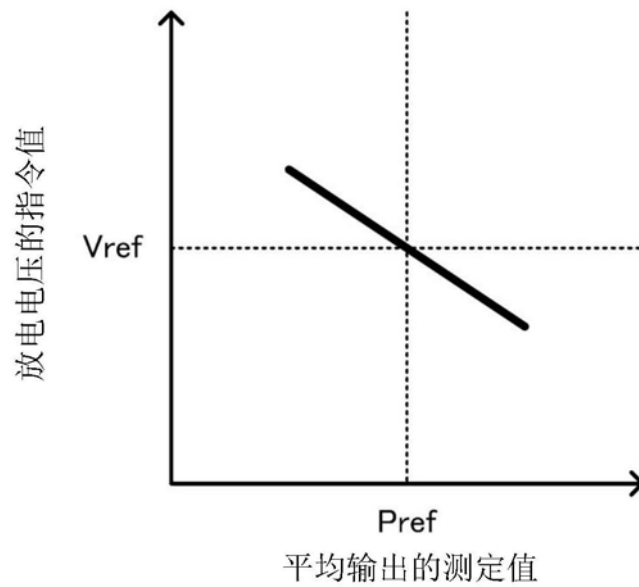


图8B

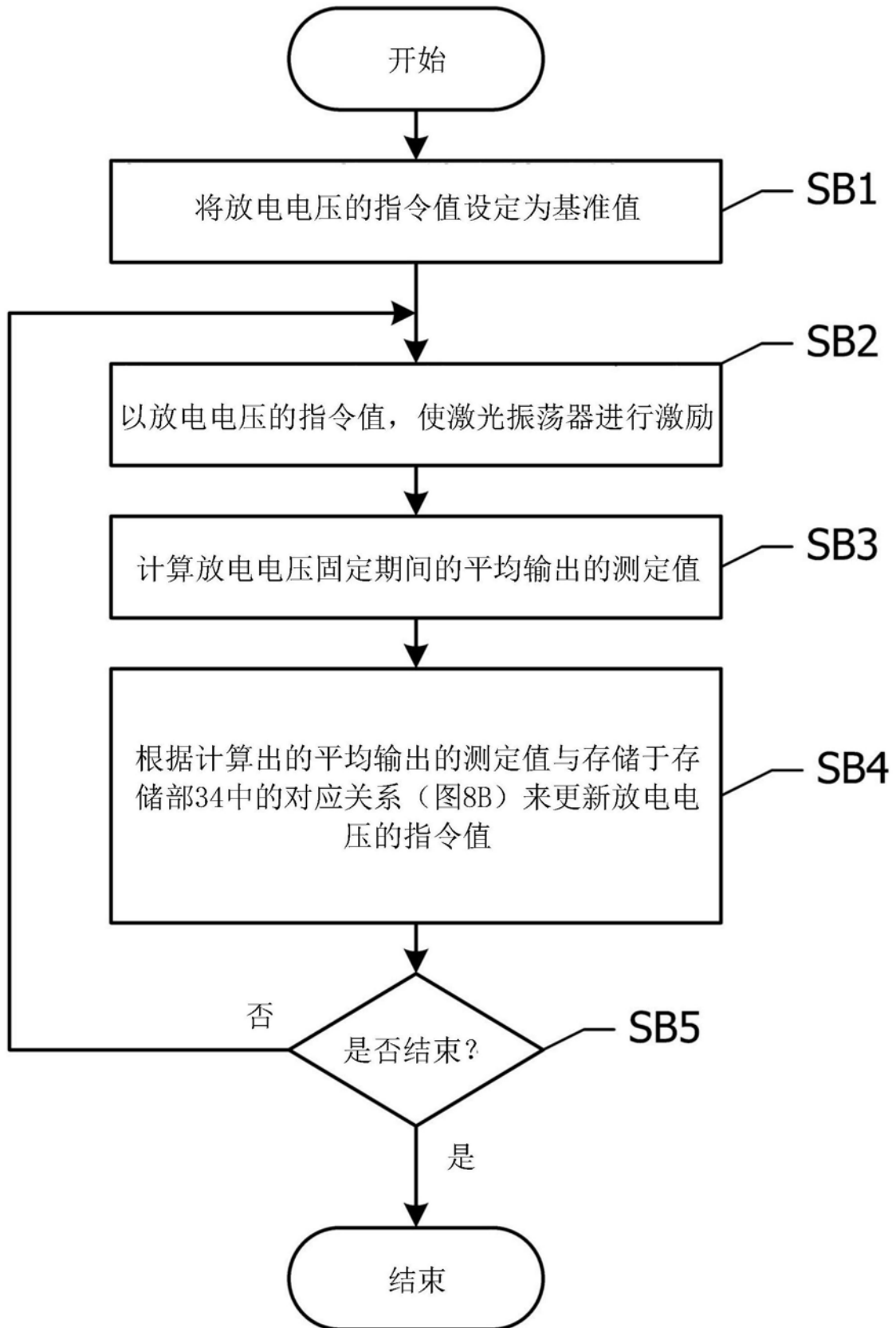


图9

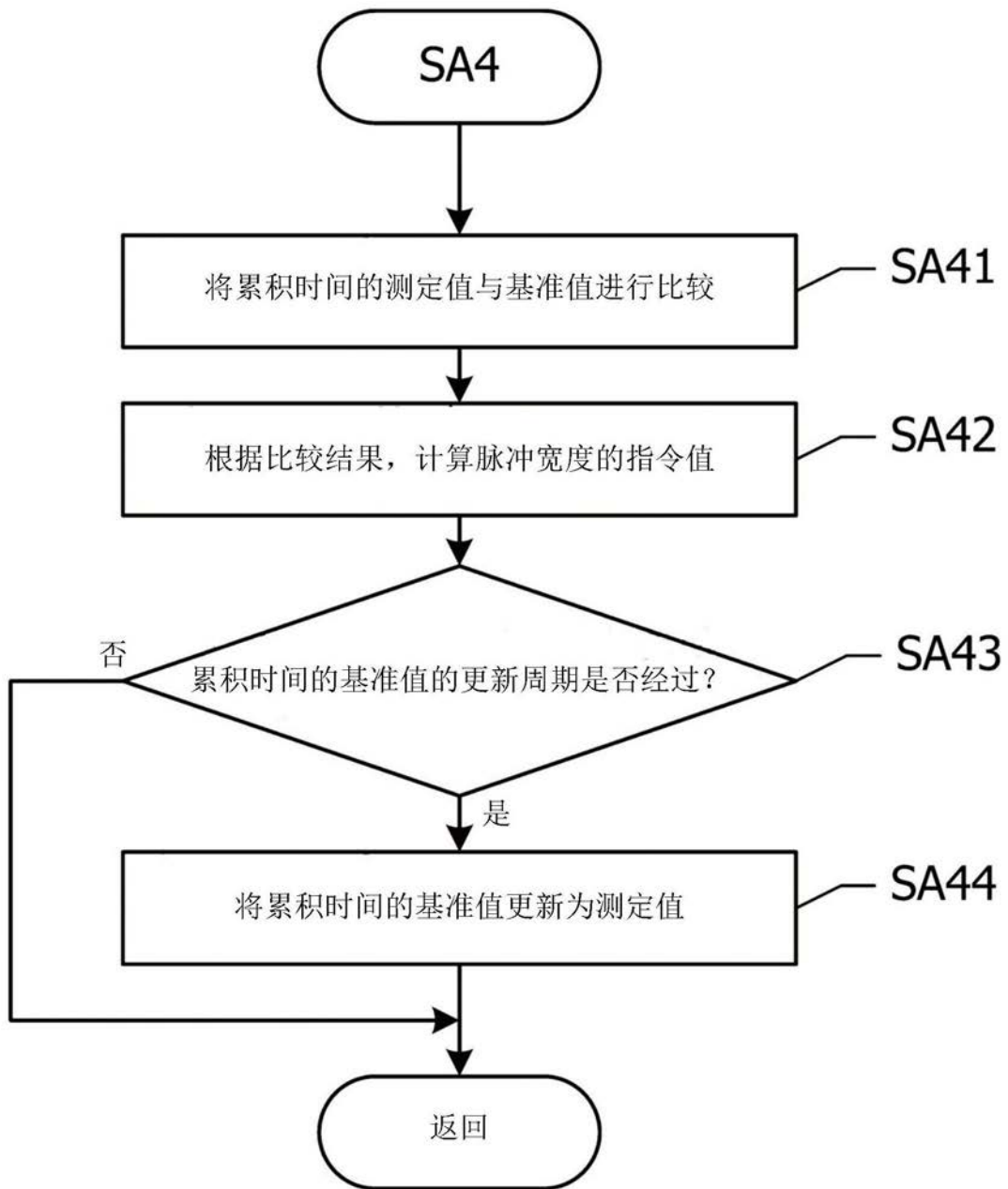


图10

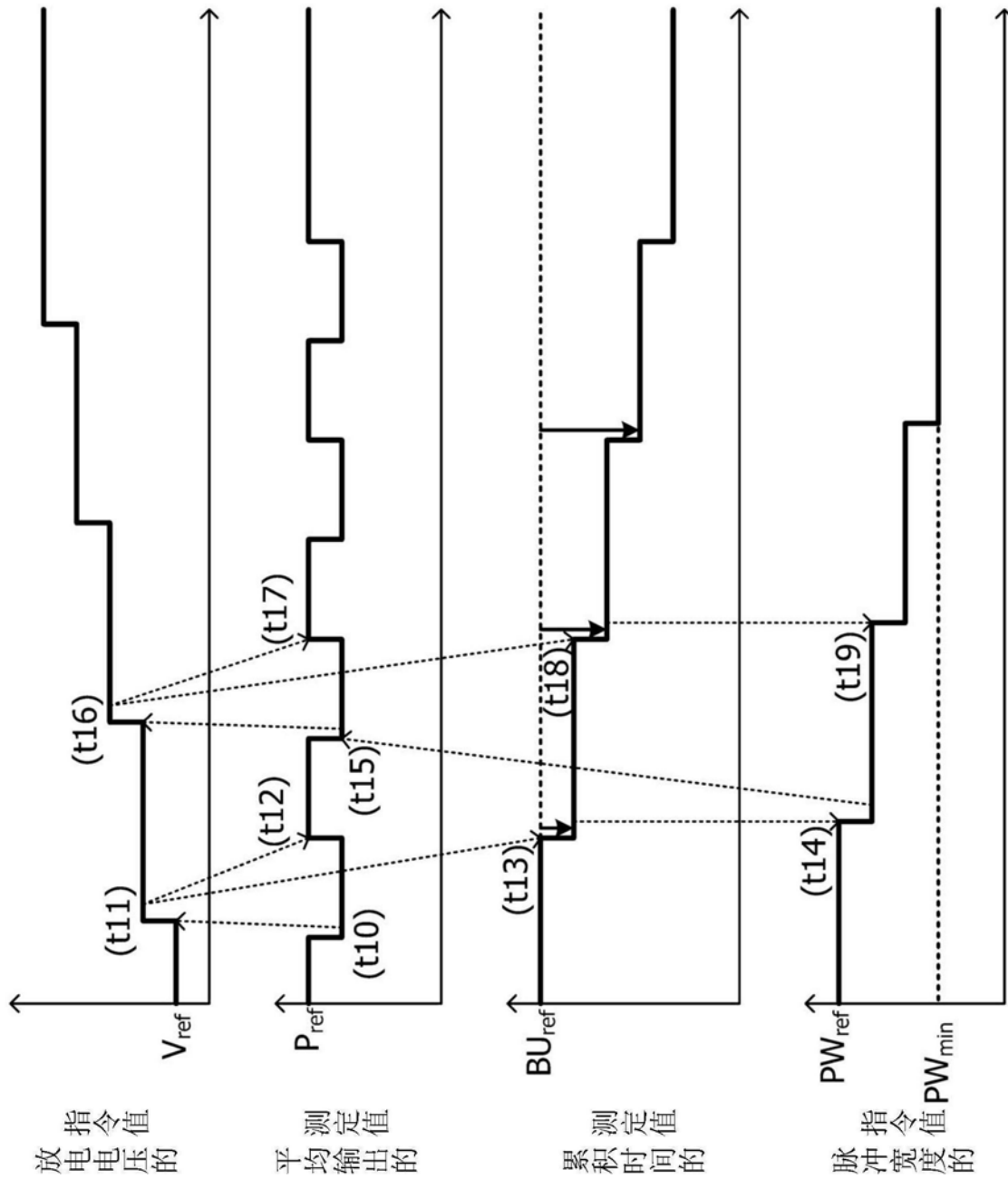


图11

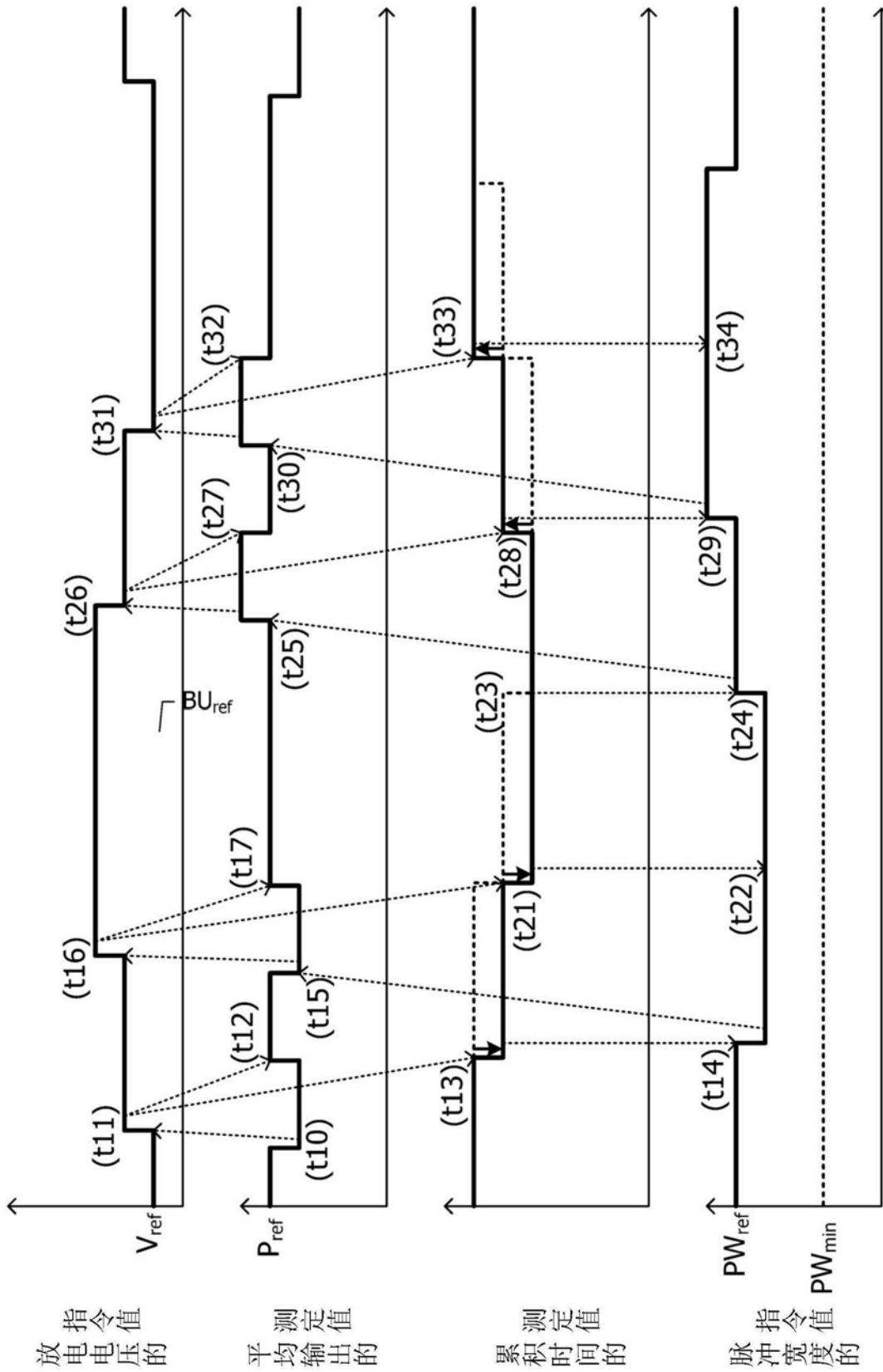


图12