



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112740491 A

(43) 申请公布日 2021. 04. 30

(21) 申请号 201980061175.4

(74) 专利代理机构 北京尚诚知识产权代理有限公司 11322

(22) 申请日 2019.07.02

代理人 杨琦 黄浩

(30) 优先权数据

2018-177894 2018.09.21 JP

(51) Int.Cl.

H01S 3/10 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

H01S 3/00 (2006.01)

2021.03.18

H01S 5/062 (2006.01)

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2019/026351 2019.07.02

(87) PCT国际申请的公布数据

W02020/059247 JA 2020.03.26

(71) 申请人 浜松光子学株式会社

地址 日本静冈县

(72) 发明人 栗田隆史 加藤义则 川嶋利幸

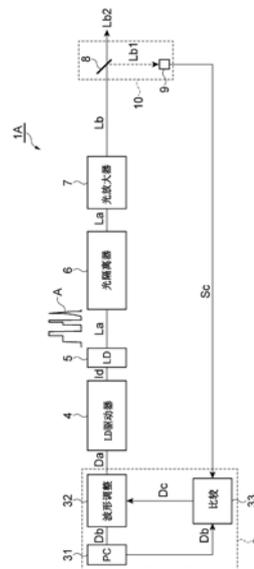
权利要求书1页 说明书10页 附图12页

(54) 发明名称

激光装置及激光波形控制方法

(57) 摘要

本发明提供一种激光装置(1A),其具备:半导体激光元件(5);波形运算部(3),其运算输入波形数据(Da);驱动电路(4),其将具有与输入波形数据(Da)相对应的时间波形的驱动电流(Id)提供给半导体激光元件(5);光放大器(7),其放大从半导体激光元件(5)输出的激光(La);以及光波形检测部(10),其检测从光放大器(7)输出的放大后的激光(Lb)的波形。波形运算部(3)将由光波形检测部(10)检测到的放大后的激光(Lb)的波形与目标波形进行比较,调整输入波形数据(Da)的时间波形,使放大后的激光(Lb)的波形接近目标波形。由此,可实现能够使装置尺寸小型化的激光装置和激光波形控制方法。



1. 一种激光装置,其特征在于,
具备:
半导体激光元件;
波形运算部,其运算输入波形数据;
驱动电路,其与所述波形运算部和所述半导体激光元件电连接,生成具有与所述输入波形数据相对应的时间波形的驱动电流,将该驱动电流提供给所述半导体激光元件;
光放大器,其与半导体激光元件光耦合,放大从所述半导体激光元件输出的光;以及
光波形检测部,其检测从所述光放大器输出的放大后的光波形,
所述波形运算部将由所述光波形检测部检测到的放大后的光波形与目标波形进行比较,调整所述输入波形数据的时间波形,使放大后的光波形接近所述目标波形。
2. 根据权利要求1所述的激光装置,其特征在于,
所述波形运算部以使由所述光学波形检测部检测到的放大后的光波形与所述目标波形的差分接近0的方式调整所述输入波形数据的时间波形。
3. 根据权利要求1或2所述的激光装置,其特征在于,
所述波形运算部具有预先存储表示所述目标波形的数据的存储部。
4. 根据权利要求1~3中的任一项所述的激光装置,其特征在于,
所述驱动电路具有:
D/A转换部,其将数字的所述输入波形数据转换成模拟的驱动信号;以及
电流转换部,其将所述驱动信号转换成所述驱动电流,
所述D/A转换部,其对分割所述输入波形数据的时间波形而成的连续的多个区间波形数据一边赋予时间差一边依次转换成所述驱动信号。
5. 一种激光波形控制方法,其特征在于,
包含:
电流提供步骤,其生成具有与所述输入波形数据相对应的时间波形的驱动电流,将所述驱动电流提供给半导体激光元件;
光放大步骤,其放大从所述半导体激光元件输出的光;
光波形检测步骤,其检测放大后的光波形;以及
波形调整步骤,其将通过所述光波形检测步骤检测到的放大后的光波形与目标波形进行比较,调整所述输入波形数据的时间波形,使放大后的光波形接近所述目标波形。
6. 根据权利要求5所述的激光波形控制方法,其特征在于,
在所述波形调整步骤中,以使通过所述光波形检测步骤检测到的放大后的光波形与所述目标波形的差分接近0的方式调整所述输入波形数据的时间波形。
7. 根据权利要求5或6所述的激光波形控制方法,其特征在于,
所述电流提供步骤包含:
D/A转换步骤,其将数字的所述输入波形数据转换成模拟的驱动信号;以及
电流转换步骤,其将所述驱动信号转换成所述驱动电流,
在所述D/A转换步骤中,对分割所述输入波形数据的时间波形而成的连续的多个区间波形数据一边赋予时间差一边依次转换成所述驱动信号。

激光装置及激光波形控制方法

技术领域

[0001] 本公开涉及一种激光装置和激光波形控制方法。

背景技术

[0002] 非专利文献1中公开了一种激光装置,其输出具有纳秒量级的脉冲宽度的光脉冲。该激光装置具备输出作为连续(CW)光的激光的光源、从光源输出的激光在时间上切断为脉冲光的声光调制器(AOM)、以及将从AOM输出的脉冲光整形为任意的波形的电光调制器(EOM)。光源是激光二极管(LD)激发的光纤激光器。

[0003] 现有技术文献

[0004] 非专利文献

[0005] 非专利文献1:Saumyabrata Banerjee et al.,“100 J-level nanosecond pulsed diode pumped solid state laser(100J级纳秒脉冲二极管泵浦固体激光器)”, Optics Letters,Vol.41 No.9,pp.2089-2092(2016)

发明内容

[0006] 发明要解决的问题

[0007] 任意地整形超短脉冲光或短脉冲光的时间波形对于例如激光加工和各种测量器(例如形状监视器、冲击波监视器)非常有用。这是因为期望通过根据加工对象或测量对象选择适当的脉冲光波形来提高加工精度或测量精度。然而,即使以高精度生成期望的波形,当进行光放大以获得需要的脉冲光强度时,存在由光放大器的非线性引起的放大后的光波形失真的问题。因此,预先考虑光放大器的非线性,可以想到将放大后的光波形成为期望的形状的波形的脉冲光输入到光放大器。

[0008] 例如非专利文献1中公开的那样,现有的脉冲光生成装置通过EOM将从光纤激光器或固体激光器输出的连续光整形为任意的波形。由于光纤激光器和固体激光器的尺寸容易变大,并且,由于在EOM中由温度变化引起的特性的变动(温度漂移)大,因此,另外还需要用于补偿EOM的温度漂移的构造。这些是阻碍激光装置的小型化的因素。

[0009] 本发明的目的在于提供一种能够使装置尺寸小型化的激光装置和激光波形控制方法。

[0010] 解决问题的手段

[0011] 本发明的一个实施方式是激光装置。激光装置具备:半导体激光元件;波形运算部,其运算输入波形数据;驱动电路,其与波形运算部和半导体激光元件电连接,生成具有与输入波形数据相对应的时间波形的驱动电流,将该驱动电流提供给半导体激光元件;光放大器,其与半导体激光元件光耦合,放大从半导体激光元件输出的光;以及光波形检测部,其检测从光放大器输出的放大后的光波形,波形运算部将由光波形检测部检测到的放大后的光波形与目标波形进行比较,调整输入波形数据的时间波形,使放大后的光波形接近目标波形。

[0012] 本发明的一个实施方式是激光波形控制方法。激光波形控制方法包含：电流提供步骤，其生成具有与输入波形数据相对应的时间波形的驱动电流，将驱动电流提供给半导体激光元件；光放大步骤，其放大从半导体激光元件输出的光；光波形检测步骤，其检测放大后的光波形；以及波形调整步骤，其将通过光波形检测步骤检测到的放大后的光波形与目标波形进行比较，调整输入波形数据的时间波形，使放大后的光波形接近目标波形。

[0013] 在上述激光装置和激光波形控制方法中，使用半导体激光元件代替输出连续光的光纤激光器或固体激光器作为光源。然后，基于由光波形检测部（光波形检测步骤）检测到的放大后的光波形来调整用于驱动半导体激光元件的驱动信号的波形。由此，可以调整从半导体激光元件输出的光波形，从而使放大后的光波形接近目标波形。

[0014] 此外，波形运算部之类的电子电路、以及半导体激光元件的尺寸远小于光纤激光器、固体激光器和EOM的尺寸。此外，关于半导体激光元件的温度漂移，通过珀耳帖（Peltier）元件等使半导体激光元件的温度保持恒定就足够了。综上所述，根据上述的激光装置和激光波形控制方法，与现有的装置和方法相比，能够使装置尺寸小型化。

[0015] 发明效果

[0016] 根据本发明的实施方式，可以提供一种能够使装置尺寸小型化的激光装置和激光波形控制方法。

附图说明

[0017] 图1是示出一个实施方式所涉及的激光装置1A的结构的框图。

[0018] 图2是示出激光装置1A的具体例的框图。

[0019] 图3是示出驱动电路4的详细的结构例的框图。

[0020] 图4是模式性地示出波形定时调整部43的功能的图。

[0021] 图5是示出激光装置1A的动作的流程图。

[0022] 图6的(a)～(d)是模式性地示出光脉冲波形的图。

[0023] 图7(a)是示出放大前的激光La的时间波形的(矩形波)的图表，(b)是示出将具有(a)所示的时间波形的激光La放大之后的激光Lb的时间波形的图表。

[0024] 图8(a)是示出放大前的激光La的时间波形的(斜升波)的图表，(b)是示出将具有(a)所示的时间波形的激光La放大之后的激光Lb的时间波形的图表。

[0025] 图9是示出从半导体激光元件5输出的激光La的时间波形的例子的图表，(a)示出半值全宽为4纳秒的高斯波形，(b)示出半值全宽为32纳秒的高斯波形。

[0026] 图10是示出从半导体激光元件5输出的激光La的时间波形的例子的图表，(a)示出半值全宽为120纳秒的矩形波，(b)示出半值全宽为4纳秒的斜升波。

[0027] 图11是示出现有的激光装置的结构框图。

[0028] 图12是表示在图11所示的激光装置附加了基于输出波形来调整驱动信号的反馈电路的情况下的结构的框图。

[0029] 符号说明：

[0030] 1A……激光装置；3……波形运算部；4……驱动电路；5……半导体激光元件；6……光隔离器；7……光放大器；8……光分支部；9……光检测部；10……光波形检测部；11……偏置电流控制部；12……带通滤波器；13……光纤连接器；14……准直透镜；31……

计算机;32……波形调整部;33……比较部;41……控制基板;41a……CPU;41b……高速DAC接口;42……波形数据容纳部;43……波形定时调整部;44……波形信号生成部;45……电流转换部;46……D/A转换部;61、62、63、64……光隔离器;71……光纤放大器;72、73……固体激光放大器;Da……输入波形数据;Db……目标波形数据;Dc……差分数据;DD1~DD4……区间波形数据;F1~F3……光纤”;Id……驱动电流;La、Lb……激光;Sc……光强度信号;Sd……驱动信号;TA……延迟时间。

具体实施方式

[0031] 在下文中,参照附图详细描述激光装置和激光波形控制方法的实施方式。此外,在附图的描述中,相同的要素由相同的符号表示,省略重复的说明。

[0032] 图1是示出一个实施方式所涉及的激光装置1A的结构框图。如图1所示,本实施方式的激光装置1A具备波形运算部3、驱动电路4、半导体激光元件5、光隔离器6、光放大器7、光分支部8、和光检测部9。

[0033] 波形运算部3由电子电路构成,与驱动电路4电连接。波形运算部3运算并生成用于使从光放大器7输出的光脉冲的波形(以下,称为输出波形)接近目标波形的输入波形数据Da,将该输入波形数据Da提供给驱动电路4。在一个例子中,波形运算部3具有计算机31、波形调整部32、和比较部33。计算机31具有CPU和存储器,根据存储于存储器的程序进行动作。

[0034] 计算机31的存储器是本实施方式中的存储部,预先存储所期望的(任意的)光波形、即表示目标波形的数据(以下,称为目标波形数据)。该目标波形数据在激光装置1A的动作之前,通过计算机31的数据输入端子,由操作者预先存储于存储器。或者,计算机31可以作为波形设计部,自己设计目标波形。即,计算机31可以计算用于实现从外部赋予的光照射条件(加工条件、观察条件)的目标波形。表示计算出的目标波形的目标波形数据存储在计算机31的存储器。

[0035] 比较部33与之后描述的光检测部9电连接,基于从光检测部9获得的检测信号(光强度信号Sc),取得输出波形。另外,比较部33与计算机31电连接,从计算机31取得目标波形数据Db。比较部33将输出波形与目标波形进行比较,将表示其差分的差分数据Dc发送到波形调整部32。

[0036] 此外,比较部33可以由具有CPU和存储器的计算机构成。在该情况下,比较部33可以与计算机31分体,也可以在与计算机31共同的计算机内实现。

[0037] 波形调整部32与计算机31电连接,从计算机31取得目标波形数据Db。此外,波形调整部32与比较部33电连接,取得从比较部33输出的差分数据Dc。波形调整部32基于这些数据Db、Dc,以输出波形接近目标波形(即,差分变小)的方式生成输入波形数据Da。

[0038] 此外,波形调整部32也可以由具有CPU和存储器的计算机构成。在该情况下,波形调整部32可以与计算机31和比较部33分体,也可以在与计算机31和比较部33中的至少一个共同的计算机内实现。

[0039] 驱动电路4的输入端与波形运算部3的波形调整部32电连接,从波形调整部32接收输入波形数据Da。驱动电路4生成具有与输入波形数据Da相对应的时间波形的驱动电流Id。驱动电路4的输出端与半导体激光元件5电连接,将生成的驱动电流Id提供给半导体激光元件5。此外,有时在驱动电流Id重叠有不随时间变化的大小恒定的偏置电流。

[0040] 半导体激光元件5是激光二极管,与驱动电路4电连接。驱动电路4将驱动电流 I_d 提供给半导体激光元件5的阴极或阳极中的任一个。半导体激光元件5接收驱动电流 I_d 以产生激光 L_a 。该激光 L_a 是由光放大器7进行放大前的光,具有与输入波形数据 D_a 相对应的时间波形。

[0041] 在一个例子中,半导体激光元件5是分布式反馈型(DFB)激光二极管。由于半导体激光元件5是DFB激光二极管,因此可以容易地进行复合光放大器7的增益的波长特性的最优化。此外,图中的波形A模式性地示出从半导体激光元件5输出的激光 L_a 的时间波形。半导体激光元件5的输出功率例如为数纳焦。

[0042] 光隔离器6的光输入端与半导体激光元件5的激光输出端光耦合。另外,光隔离器6的光输出端与光放大器7的光输入端光耦合。即,光隔离器6介于半导体激光元件5与光放大器7之间的光路上。光隔离器6防止由光放大器7放大的光返回到半导体激光元件5。

[0043] 光放大器7的光输入端经由光隔离器6与半导体激光元件5光耦合,放大从半导体激光元件5输出的激光 L_a 。光放大器7不将激光转换成电信号,而是直接将光本身放大。光放大器7可以由例如光纤放大器、固体激光放大器或它们的组合构成。

[0044] 光纤放大器具有由添加了例如Er、Yb等的杂质的玻璃构成的光纤,通过与激光 L_a 一起对该光纤输入有激发光,从而放大激光 L_a 。另外,固体激光放大器可以由添加了例如Nd等的杂质的玻璃或钇铝石榴石(YAG)构成。固体激光放大器通过与激光 L_a 一起输入有激发光,从而放大激光 L_a 。光放大器7的增益例如在3~30dB的范围内。

[0045] 光分支部8和光检测部9构成光波形检测部10。光波形检测部10检测从光放大器7输出的放大后的光波形。光分支部8与光放大器7的光输出端光耦合。光分支部8通过反射(或透射)从光放大器7输出的放大后的激光 L_b 的一部分 L_{b1} ,透射(或反射)剩余部分 L_{b2} ,从而将放大后的激光 L_b 的一部分 L_{b1} 分支。光分支部8可以由例如玻璃板构成。

[0046] 激光 L_b 的一部分 L_{b1} 的强度 P_1 与剩余部分 L_{b2} 的强度 P_2 的比(分支比) P_1/P_2 例如在0.005~0.01的范围内。光检测部9与光分支部8光耦合,接收放大后的激光 L_b 的一部分 L_{b1} 。此外,激光 L_b 的剩余部分 L_{b2} 输出至激光装置1A的外部,用于激光加工、各种测量等。

[0047] 光检测部9生成作为与激光 L_b 的一部分 L_{b1} 的光强度相对应的电信号的光强度信号 S_c ,将该光强度信号 S_c 提供给比较部33。在一个例子中,光检测器9可以包含光电二极管、和将流过光电二极管的光电流转换成电压信号的电路而构成。光检测部9可以将生成的电压信号作为光强度信号 S_c 输出,也可以将生成的电压信号转换成数字信号,将该数字信号作为光强度信号 S_c 输出。在光强度信号 S_c 是电压信号的情况下,在比较部33转换成数字信号。此外,光检测部9可以包含光电管(例如,双平面光电管)来代替光电二极管。

[0048] 图2是示出激光装置1A的具体例的框图。在图2所示的具体示例中,激光设备1A具备作为图1所示的光隔离器6的光隔离器61、62、63和64、以及作为光放大器7的光纤放大器71、固体激光放大器72和73。如上所述,在该具体例中,光放大器7多级地构成。此外,激光装置1A具备带通滤波器12、光纤连接器13、和准直透镜14。

[0049] 光纤放大器71的光输入端和半导体激光元件5经由光纤F1而光耦合。光隔离器61介于光纤放大器71和半导体激光元件5之间。光隔离器61防止光(激光 L_a 和激发光)从光纤放大器71返回到半导体激光元件5。由此,可以防止半导体激光元件5的损伤。

[0050] 光纤放大器71的光输出端和带通滤波器12经由光纤F2而光耦合。光隔离器62介于

光纤放大器71和带通滤波器12之间。光隔离器62防止比带通滤波器12更后级的光返回到光纤放大器71。

[0051] 光纤放大器71是第一级的光放大器,放大从半导体激光元件5输出的激光La。光纤放大器71的增益例如在20~30dB的范围内。带通滤波器12阻挡从光纤放大器71输出的光中包含的荧光的波长分量。带通滤波器12可以由例如电介质多层膜构成。

[0052] 带通滤波器12经由光纤F3而与光纤连接器13光耦合。光纤F3的终端连接光纤连接器13。即,通过带通滤波器12的光在光纤F3中传播并到达光纤连接器13之后,输出到空间。

[0053] 准直透镜14经由空间而与光纤连接器13光耦合,使从光纤连接器13放射状地输出的光平行化(Collimate)。由于通过后述的固体激光放大器72和73放大的光的强度大,因此,为了避免激光对玻璃等的光学材料的损伤,如上所述在比光纤连接器13更后级中不是在光纤中而是在空间中传播。此外,在图2中,用虚线示出了在空间中传播的光。

[0054] 固体激光放大器72经由光隔离器63而与准直透镜14光耦合。光隔离器63防止固体激光放大器72的光返回到比固体激光放大器72更前级。由此,可以防止对光纤放大器71的损坏。

[0055] 固体激光放大器72是第二级的光放大器,进一步放大从光纤放大器71输出的放大后的激光。固体激光放大器72的增益例如在3~20dB的范围内。

[0056] 固体激光放大器73经由光隔离器64而与固体激光放大器72光耦合。即,光纤放大器71与固体激光放大器72和73互相串联耦合。光隔离器64防止固体激光放大器73的光返回到比固体激光放大器73更前级。由此,可以防止对固体激光放大器72的损坏。

[0057] 固体激光放大器73是第三级光放大器,进一步放大从固体激光放大器72输出的放大的激光。固体激光放大器73的增益例如在3~10dB的范围内。通过固体激光放大器73放大的光作为放大后的激光Lb输出。

[0058] 图3是示出驱动电路4的详细的结构例的框图。如图3所示,驱动电路4具有控制基板41、波形数据容纳部42、波形定时调整部43、波形信号生成部44、以及电流转换部45。另外,控制基板41包含CPU41a和高速DAC接口41b而构成。其中,高速DAC接口41b、波形数据容纳部42、波形定时调整部43和波形信号生成部44构成D/A转换部46。D/A转换部46是电子电路,将数字的输入波形数据Da转换成模拟的驱动信号Sd。

[0059] 控制基板41是用作与波形运算部3的接口的电路板。CPU41a经由通信线而与波形运算部3的波形调整部32(参照图1)电连接,从波形调整部32接收输入波形数据Da。CPU41a在适当的定时将该输入波形数据Da发送到高速DAC接口41b。高速DAC接口41b将输入波形数据Da临时存储于波形数据容纳部42。波形数据容纳部42与高速DAC接口41b电连接,例如由易失性的存储元件构成。

[0060] 本实施方式的波形调整部32将输入波形数据Da输出作为分割输入波形数据Da的时间波形而成的连续的多个区间波形数据(参照图4)。这些区间波形数据对于两个以上的区间波形数据的每个,并列且同时地输出。然后,波形数据容纳部42存储多个区间波形数据,并根据要求输出多个区间波形数据。

[0061] 波形定时调整部43与波形数据容纳部42电连接,调整(控制)从波形数据容纳部42输出输入波形数据Da的定时。图4是模式性地示出波形定时调整部43的功能的图。如图4所示,波形定时调整部43一边赋予适当的时间差,一边依次输出从波形数据容纳部42读取的

多个区间波形数据DD1~DD4。在此,适当的时间差例如是各区间波形数据的时间宽度。该时间宽度规定了输出波形的时间分辨率,在一个实施方式中为1纳秒。

[0062] 波形信号生成部44依次输入从波形定时调整部43输出的多个区间波形数据DD1~DD4,将这些区间波形数据DD1~DD4转换成作为模拟信号(电压信号)的驱动信号Sd。此时,区间波形数据DD1~DD4的转换定时的时间差与由波形定时调整部43赋予的时间差大致一致。

[0063] 电流转换部45与波形信号生成部44电连接,将驱动信号Sd转换成驱动电流Id。即,电流转换部45由包含晶体管的模拟电路构成,将作为电压信号的驱动信号Sd转换成作为电流信号的驱动电流Id。此时生成的驱动电流Id的时间波形与驱动信号Sd的时间波形大致相同。

[0064] 此时,在电流转换部45还连接有偏置电流控制部11。偏置电流控制部11控制包含于驱动电流Id中的偏置分量的大小。半导体激光元件5与电流转换部45的电流输出端电连接,从电流转换部45接收驱动电流Id并输出激光La。激光La的时间波形与驱动电流Id的时间波形大致相同。

[0065] 图5是示出激光装置1A的动作的流程图。此外,图6的(a)~(d)是模式性地示出光脉冲波形的图。在这些图中,将光脉冲波形表示为连续的多个单位区间的波峰值(光强度)的集合。延迟时间TA根据需要来设定,光脉冲波形的起点从基准时间起延迟了延迟时间TA。在图6的(a)~(d)中,纵轴表示光强度,横轴表示时间。参照图5和图6,对激光装置1A的动作和本实施方式所涉及的激光波形控制方法进行说明。

[0066] 首先,波形调整部32设定初始的输入波形数据Da(步骤ST1)。该初始输入波形数据Da基于目标波形数据Db而设定。在一个例子中,目标波形数据Db原本地作为初始的输入波形数据Da而使用。接下来,驱动电路4基于该初始的输入波形数据Da将驱动电流Id提供给半导体激光元件5,半导体激光元件5输出激光La(电流提供步骤ST2)。图6的(a)模式性地示出了基于初始的输入波形数据Da而生成的激光La的时间波形。该激光La由光放大器7放大(光放大步骤ST3)。

[0067] 此外,电流供应步骤ST2包含D/A转换步骤ST21和电流转换步骤ST22。在D/A转换步骤ST21中,D/A转换部46将数字的输入波形数据Da转换成模拟的驱动信号Sd。此时,如上所述,对分割输入波形数据Da的时间波形而成的连续的多个区间波形数据DD1~DD4(参照图4)一边赋予时间差一边依次转换成驱动信号Sd。在电流转换步骤ST22中,电流转换部45将驱动信号Sd转换成驱动电流Id。

[0068] 随后,通过光检测部9检测放大后的激光Lb的时间波形(输出波形)(光波形检测步骤ST4)。图6的(b)模式性地示出检测出的输出波形。在大多数情况下,放大后的激光Lb的时间波形与放大前的激光La的时间波形不同。原因之一可以列举为光放大器7中的激发状态随着时间经过而变化。即,紧接在激光La的入射后,光放大器7强烈地激发,并且以高的增益放大激光La。然而,随着从激光La的入射开始经过时间,光放大器7的激发强度逐渐减小,激光La的放大增益也随之减小。

[0069] 图7和图8是示出实际测量的放大前的激光La和放大后的激光Lb的各时间波形的图表。图7的(a)示出放大前的激光La的时间波形的(矩形波),图7的(b)示出将具有图7的(a)所示的时间波形的激光La放大之后的激光Lb的时间波形。另外,图8的(a)是示出放大前

的激光La的时间波形的(斜升波),图8的(b)是示出将具有图8的(a)所示的时间波形的激光La放大之后的激光Lb的时间波形。此外,纵轴表示光强度(任意单位),横轴表示时间(单位:纳秒)。如这些图所示,放大后的激光Lb的时间波形与放大前的激光La的时间波形大幅不同。

[0070] 再次参照图5。在波形调整步骤ST5中,首先,比较部33将检测出的输出波形与目标波形数据Db中所示的目标波形(图6的(c))进行比较,输出其差分(误差)(步骤ST51)。接下来,波形调整部32基于该差分来调整输入波形数据Da的时间波形。即,波形调整部32运算新的输入波形数据Da,以使得该差分变得更小(即,接近0)(步骤ST52)。

[0071] 驱动电路4基于该新的输入波形数据Da,将驱动电流Id提供给半导体激光元件5,半导体激光元件5输出激光La(电流提供步骤ST2)。图6的(d)模式性地示出基于新的输入波形数据Da生成的激光La的时间波形。该激光La由光放大器7放大(光放大步骤ST3)。通过重复上述步骤ST2~ST5,放大后的激光Lb的时间波形接近目标波形。这样生成的激光Lb输出到激光设备1A的外部。

[0072] 对具备上述结构的本实施方式的激光装置1A和激光波形控制方法所获得的效果,与现有的激光装置和控制方法所具有的技术问题一同说明。图11是示出现有的激光装置的结构框图。该激光装置具备光隔离器6和光放大器7。此外,该激光装置具备半导体激光元件100、驱动电路101、光放大器102、声光调制器(AOM)103、电光调制器(EOM)104、计算机105、任意脉冲产生器106、定时控制部107和RF放大器108。

[0073] 驱动电路101向半导体激光元件100提供恒定的大小的驱动电流Id。半导体激光元件100输出光强度恒定的连续光Le1作为种子光源。光放大器102例如是光纤放大器或固体激光放大器,放大该连续光Le1。放大前的连续光Le1的光强度为例如10mW,放大后的连续光Le2的光强度为例如2W。AOM103通过规定放大后的连续光Le2的时间宽度,生成脉冲光Lp1。脉冲光Lp1的时间宽度例如为100纳秒。

[0074] 计算机105预先存储目标波形数据,或生成目标波形数据。任意脉冲发生器106从计算机105接收目标波形数据,基于目标波形数据生成驱动信号。任意脉冲发生器106将驱动信号提供给RF放大器108。定时控制部107使任意脉冲发生器106将驱动信号提供给RF放大器108的定时与AOM103生成脉冲光Lp1的定时同期。

[0075] RF放大器108放大驱动信号并提供给EOM104。EOM104由驱动信号驱动,将脉冲光Lp1的时间波形调整为与该驱动信号相对应的波形,生成脉冲光Lp2。EOM104是例如铌酸锂(LN)调制器。脉冲光Lp2通过光隔离器6发送到光放大器7。光放大器7放大脉冲光Lp2。放大后的脉冲光Lp2输出到激光装置的外部。

[0076] 图12是表示在图11所示的激光装置附加了基于输出波形来调整驱动信号的反馈电路的情况下的结构的框图。除了图11所示的各要素之外,图12所示的激光装置还具备光分支部8、光检测部9、比较部109、和波形调整部110。光分支部8将由光放大器7放大后的脉冲光Lp2的一部分分支。光检测部9检测分支的一部分脉冲光Lp2的光强度。比较部109将从计算机105输出的目标波形数据与检测到的脉冲光Lp2的时间波形进行比较,并输出其差分。波形调整部110以使得该差分接近0的方式调整驱动信号。

[0077] 在图11和图12所示的激光器装置中,将从光纤激光器或固体激光器输出的连续光Le2通过EOM104整形成任意的波形。由于光纤激光器和固体激光器的尺寸容易变大,并且,

由于在EOM104中由温度变化引起的特性的变动(温度漂移)大,因此,另外还需要用于补偿EOM104的温度漂移的构造。这些是阻碍激光装置的小型化的因素。

[0078] 在本实施方式中,将半导体激光元件5用作被放大光的光源,而不是输出连续光的光纤激光器或固体激光器。然后,基于由光波形检测部10(光波形检测步骤ST4)检测出的放大后的激光Lb的时间波形,对用于驱动半导体激光元件5的驱动信号Sd的时间波形进行调整。由此,可以调整从半导体激光元件5输出的激光La的时间波形,以使放大后的激光Lb的时间波形更接近目标波形。

[0079] 此外,波形运算部3之类的电子电路、以及半导体激光元件5的尺寸远小于光纤激光器、固体激光器和EOM的尺寸。此外,关于半导体激光元件5的温度漂移,通过珀耳帖(Peltier)元件等使半导体激光元件5的温度保持恒定就足够了。

[0080] 综上所述,根据本实施方式,与现有的装置和方法相比,能够使装置的尺寸小型化。在本发明人制作的实验设备的例子中,在将本实施方式的激光装置1A的宽度和深度设为与现有的装置大致同等的情况下,现有的装置的高度为1500mm,相对于此,本实施方式的激光装置1A的高度为88mm,远小于现有的装置。

[0081] 此外,在通过EOM104对连续光Le2进行整形的现有的方式中,通过调整光透射率来整形输出波形,但是难以使光透射率严密地设为0,在希望使光强度严密地设为0的区间中残留有少量的光强度。另一方面,在本实施方式中,通过调整用于驱动半导体激光元件5的驱动信号Sd的时间波形来对输出波形进行整形。因此,如果以使驱动电流Id小于阈值的方式控制驱动信号Sd,则不会从半导体激光元件5输出激光La,因此可以容易地将光强度严密地设为0。

[0082] 另外,与使用EOM104对光脉冲波形进行整形的方式相比,根据对半导体激光元件5的驱动电流Id进行整形的本实施方式的方式,能够以短的时间分辨率来控制输出波形。

[0083] 此外,在EOM104中,输入电压(驱动信号)和透光率互相为非线性关系。因此,在波形调整部110中,除了改变在光放大器7中产生的时间波形之外,还需要用于补偿EOM104中的时间波形的失真的计算、或校准表等,计算会复杂化。相对于此,在本实施方式中,由于半导体激光元件5的光输出强度与驱动电流Id互相为大致线性的关系,因此波形调整部32中的计算相对容易。

[0084] 此外,在使用EOM104对光脉冲波形进行整形的方式中,可输出的脉冲光Lp1的时间宽度被限制为例如100纳秒等的短时间。相对于此,在本实施方式中,由于半导体激光元件5不具有这样的时间限制,因此能够生成更长时间的光脉冲。

[0085] 图9和图10是示出从半导体激光元件5输出的激光La的时间波形的例子的图表。此外,纵轴表示光强度(任意单位),横轴表示时间(单位:纳秒)。图9的(a)示出半值全宽为4纳秒的高斯波形。图9的(b)示出半值全宽为32纳秒的高斯波形。图10的(a)示出半值全宽为120纳秒的矩形波。图10的(b)示出半值全宽为4纳秒的斜升波。如上所述,根据本实施方式的激光装置1A,能够生成任意的各种时间波形。

[0086] 此外,如本实施方式中那样,可以在波形运算部3中(在波形调整步骤ST5中),由光波形检测部10检测到的放大后的激光Lb的时间波形与目标波形之间的差分接近0的方式,调整输入波形数据Da的时间波形。由此,可以使放大后的时间波形以更高的精度接近目标波形。在这种情况下,波形运算部3可以具有预先存储表示目标波形的数据的存储部(计

算机31的存储器)。

[0087] 此外,如本实施方式那样,驱动电路4(电流提供步骤ST2)可以具有将数字的输入波形数据Da转换成模拟的驱动信号Sd的D/A转换部46(D/A转换步骤ST21)、将驱动信号Sd转换成驱动电流Id的电流转换部45(电流转换步骤ST22)。然后,D/A转换部46(D/A转换步骤ST21)可以对分割输入波形数据Da的时间波形而成的连续的多个区间波形数据DD1~DD4一边赋予时间差一边依次转换成驱动信号Sd。由此,可以使驱动信号Sd更高速化,从而提高输出波形的时间分辨率。

[0088] 本发明的激光装置和激光波形控制方法不限于上述的实施方式和结构例,另外能够进行各种变形。例如,在上述实施方式中,将目标波形数据存储于波形运算部3,但是目标波形数据也可以从激光装置1A的外部输入。另外,可以根据需要省略光隔离器6。

[0089] 上述实施方式的激光装置构成为:具备:半导体激光元件;波形运算部,其运算输入波形数据;驱动电路,其与波形运算部和半导体激光元件电连接,生成具有与输入波形数据相对应的时间波形的驱动电流,将该驱动电流提供给半导体激光元件;光放大器,其与半导体激光元件光耦合,放大从半导体激光元件输出的光;以及光波形检测部,其检测从光放大器输出的放大后的光波形,波形运算部将由光波形检测部检测到的放大后的光波形与目标波形进行比较,调整输入波形数据的时间波形,使放大后的光波形接近目标波形。

[0090] 上述实施方式的激光波形控制方法构成为:包含:电流提供步骤,其生成具有与输入波形数据相对应的时间波形的驱动电流,将驱动电流提供给半导体激光元件;光放大步骤,其放大从半导体激光元件输出的光;光波形检测步骤,其检测放大后的光波形;以及波形调整步骤,其将通过光波形检测步骤检测到的放大后的光波形与目标波形进行比较,调整输入波形数据的时间波形,使放大后的光波形接近目标波形。

[0091] 在上述激光装置中,可以是:波形运算部以使由光学波形检测部检测到的放大后的光波形与目标波形的差分接近0的方式调整输入波形数据的时间波形。

[0092] 另外,在上述的激光波形控制方法中,可以是:在波形调整步骤中,以使通过光波形检测步骤检测到的放大后的光波形与目标波形的差分接近0的方式调整输入波形数据的时间波形。

[0093] 根据这样的结构,可以使放大后的光波形以更高精度接近目标波形。此外,在这种情况下,在激光装置中,可以是:波形运算部具有预先存储表示目标波形的数据的存储部。

[0094] 在上述的激光装置中,可以是:具有:驱动电路;D/A转换部,其将数字的输入波形数据转换成模拟的驱动信号;以及电流转换部,其将驱动信号转换成驱动电流,D/A转换部,其对分割输入波形数据的时间波形而成的连续的多个区间波形数据一边赋予时间差一边依次转换成驱动信号。

[0095] 另外,在上述的激光波形控制方法中,可以是:电流提供步骤包含:D/A转换步骤,其将数字的输入波形数据转换成模拟的驱动信号;以及电流转换步骤,其将驱动信号转换成驱动电流,在D/A转换步骤中,对分割输入波形数据的时间波形而成的连续的多个区间波形数据一边赋予时间差一边依次转换成驱动信号。

[0096] 根据这样的结构,可以使驱动信号更高速化,从而提高光波形的时间分辨率。

[0097] 工业可用性

[0098] 本发明可以用作能够使装置尺寸小型化的激光装置和激光波形控制方法。

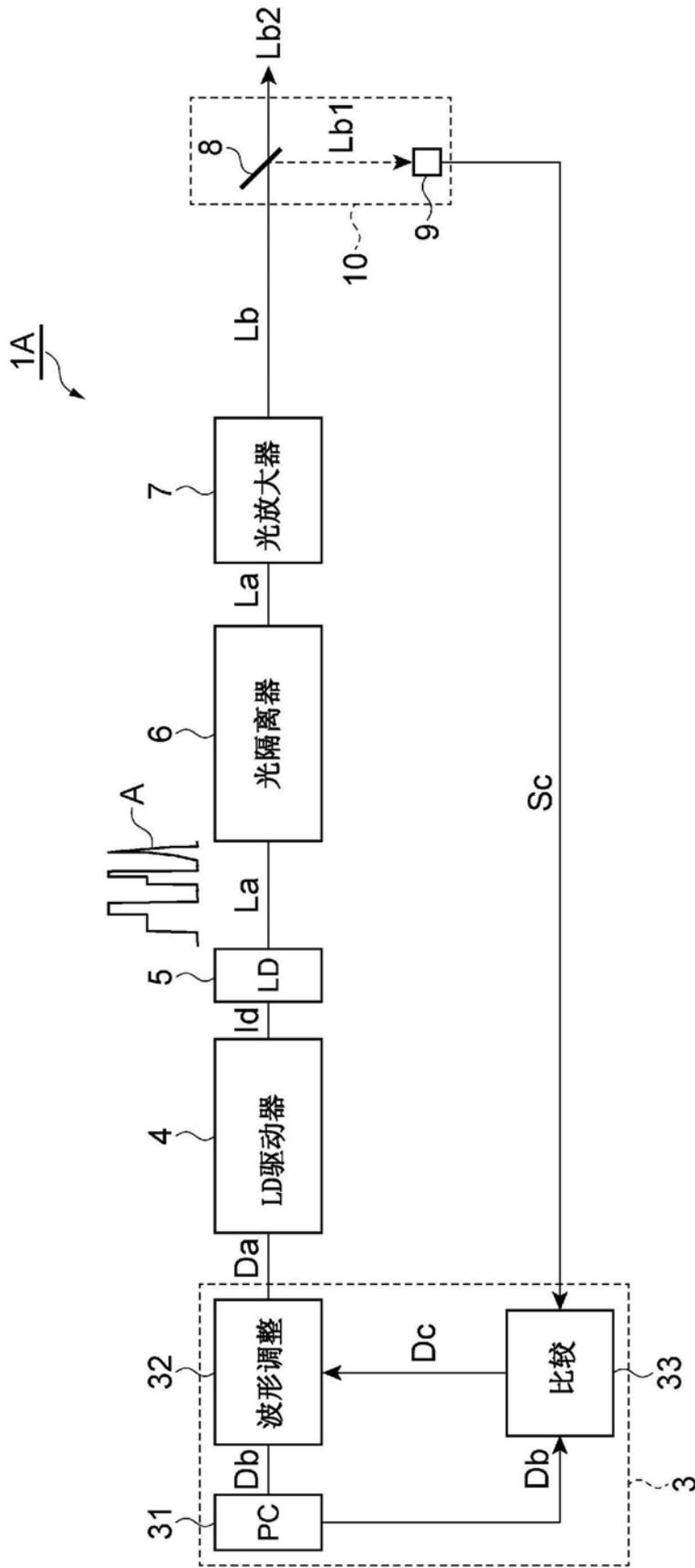


图1

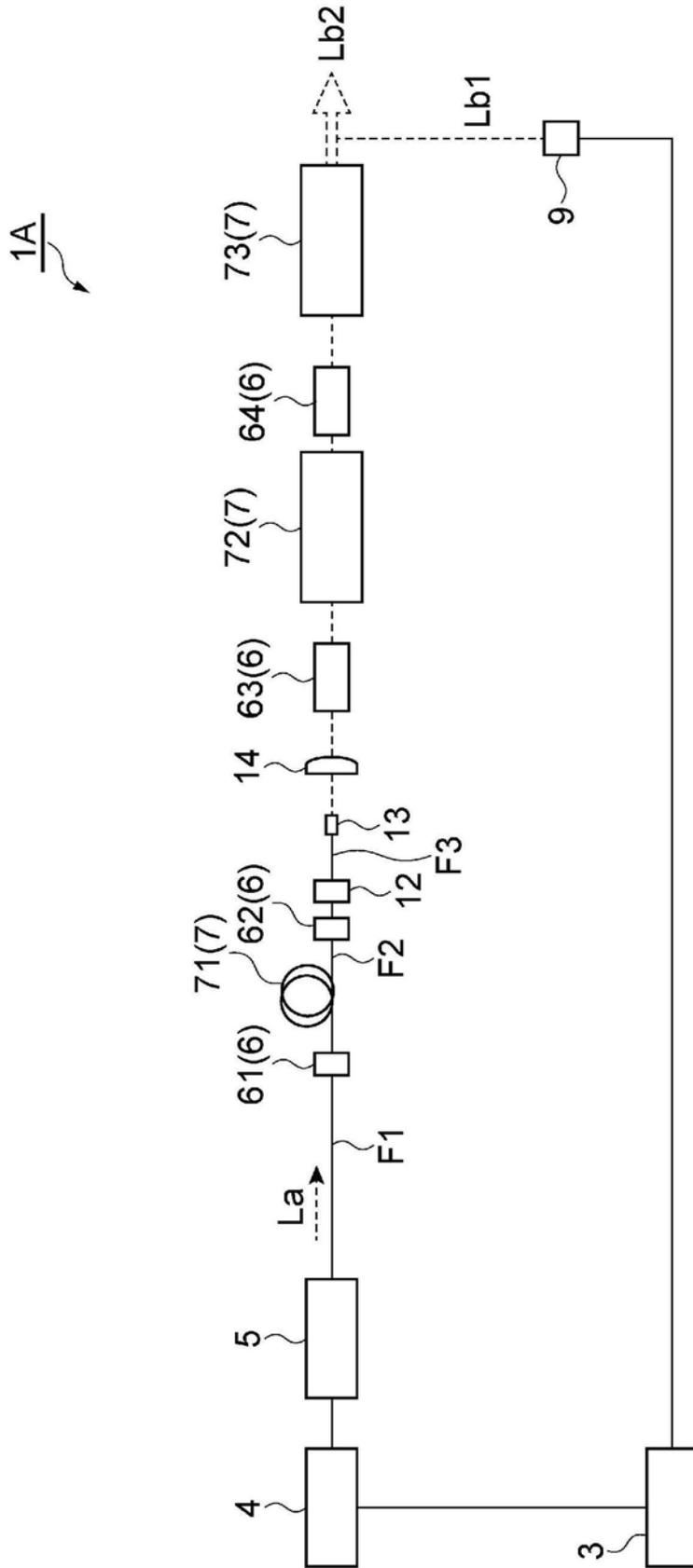


图2

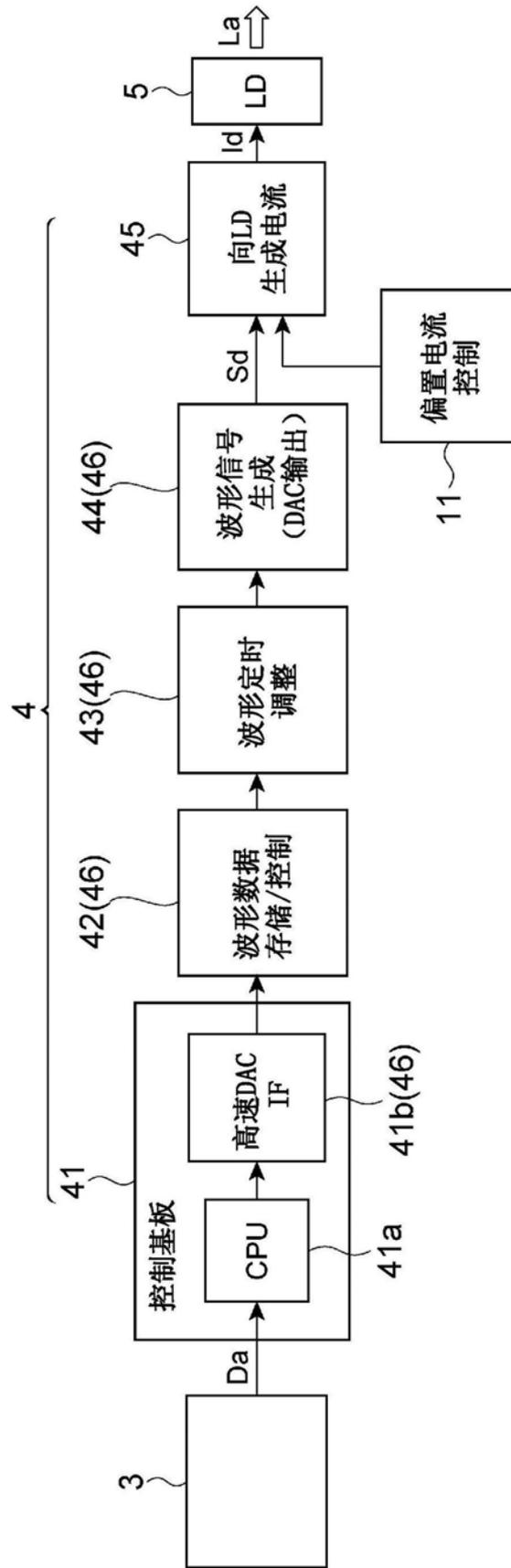


图3

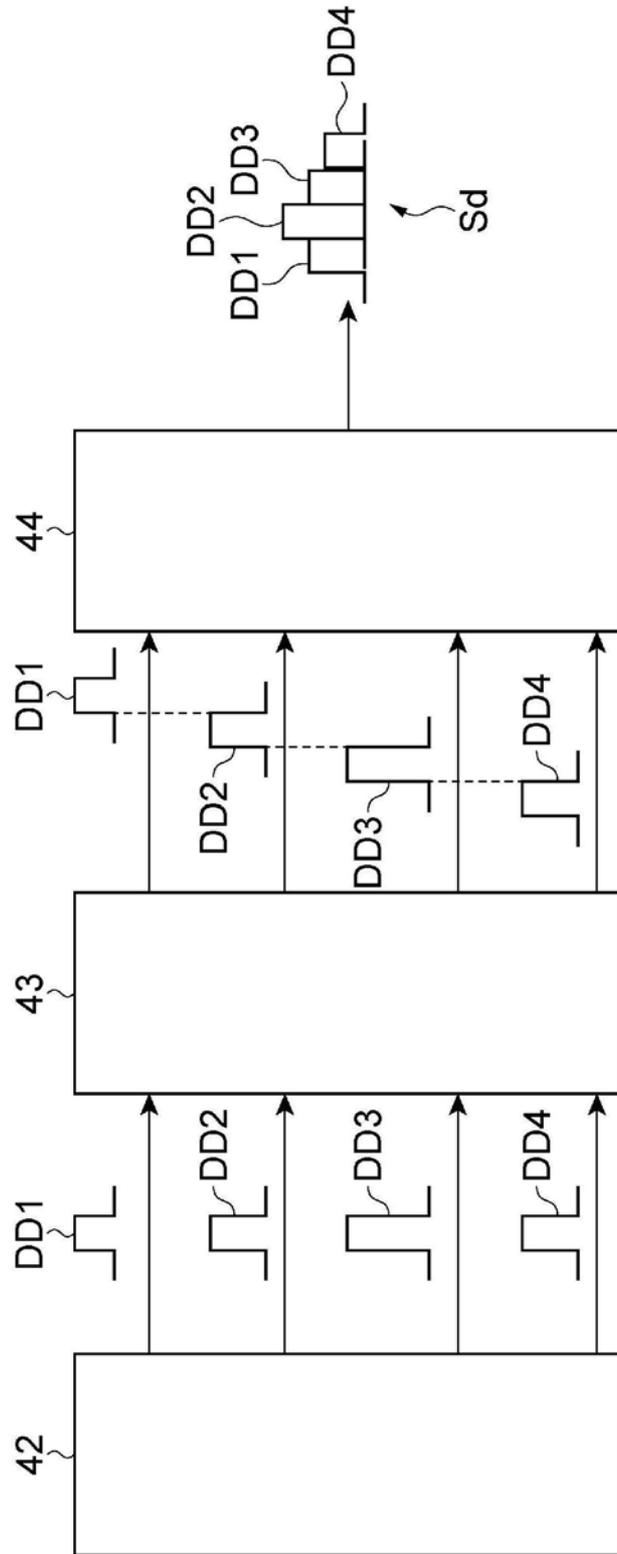


图4

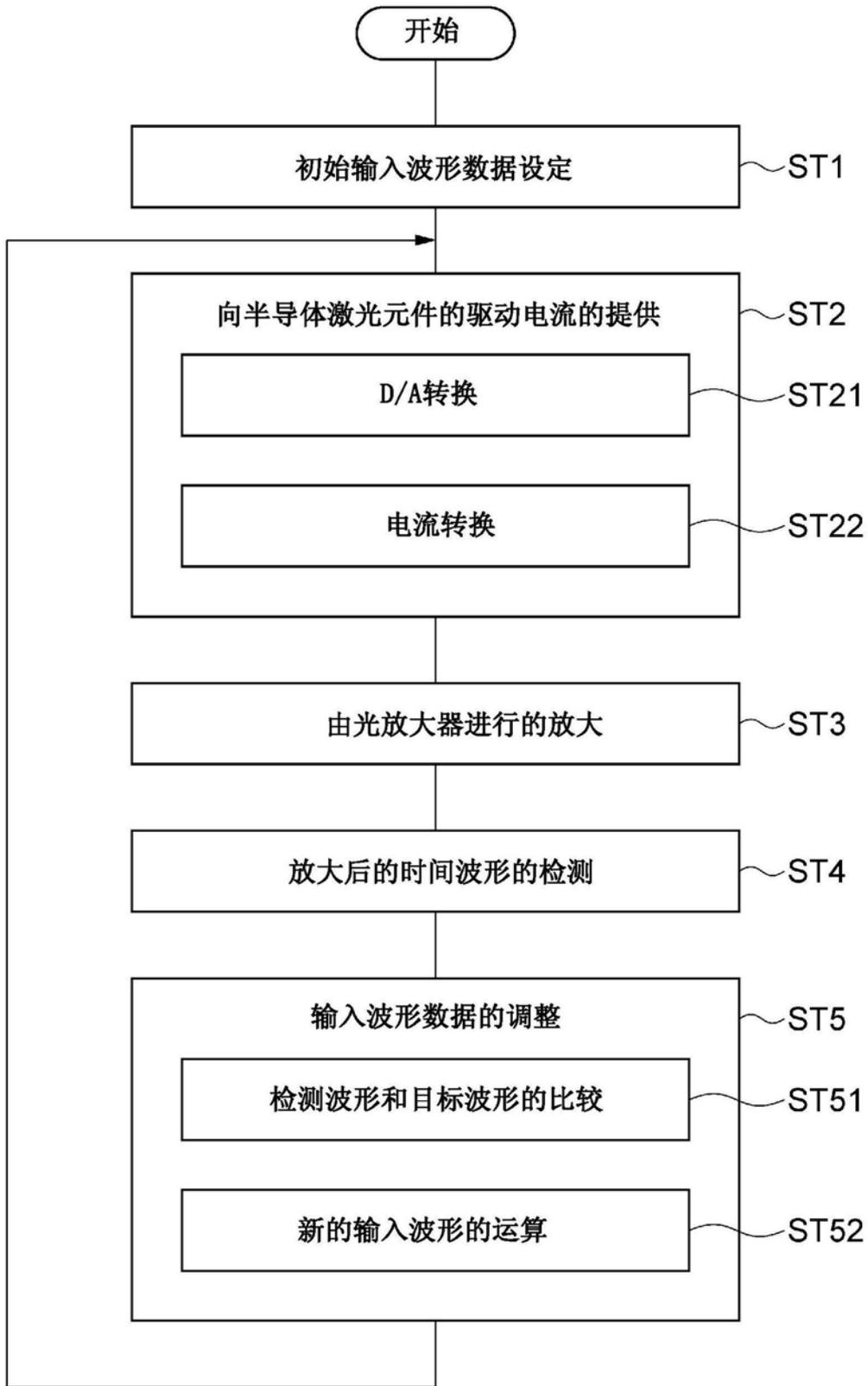


图5

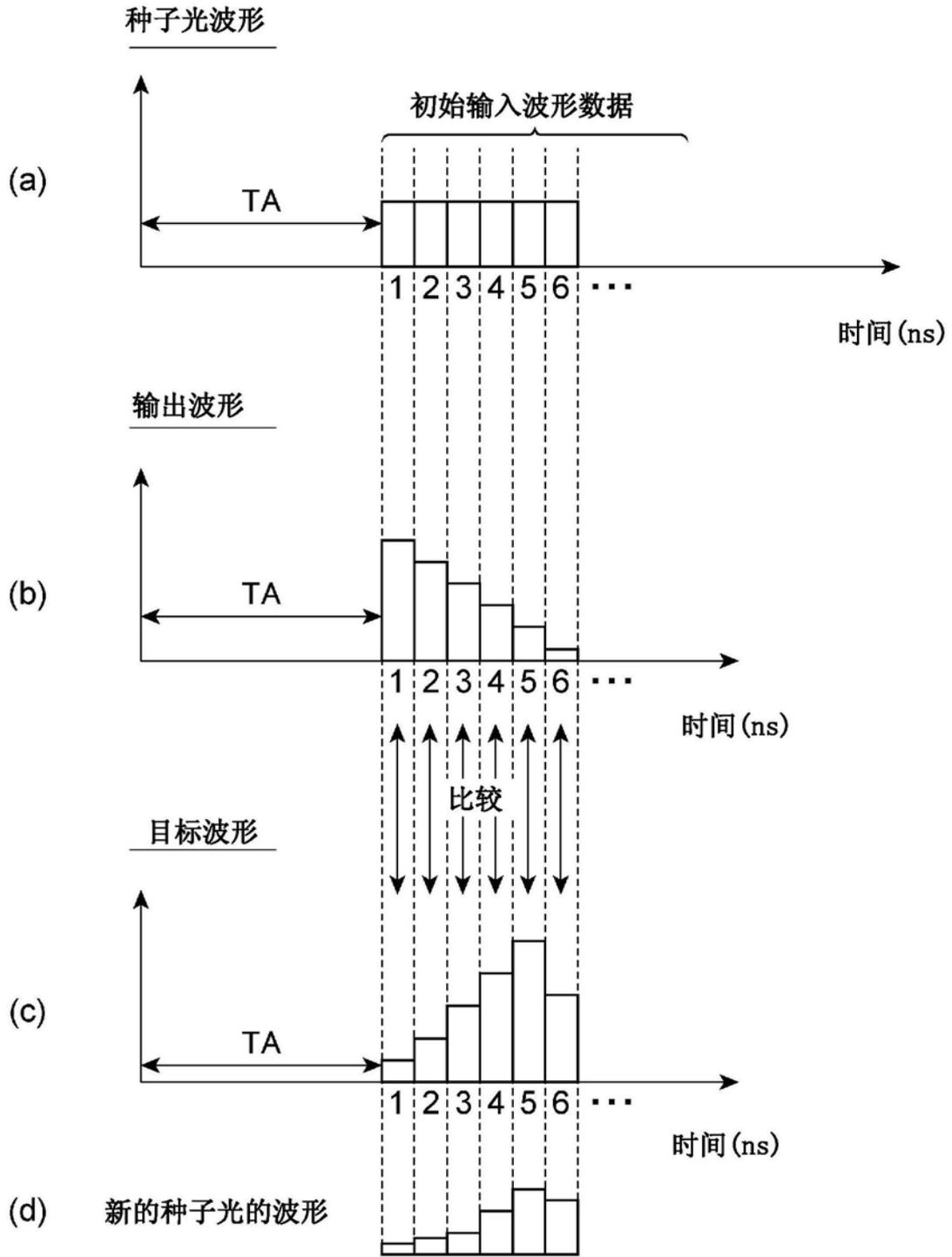


图6

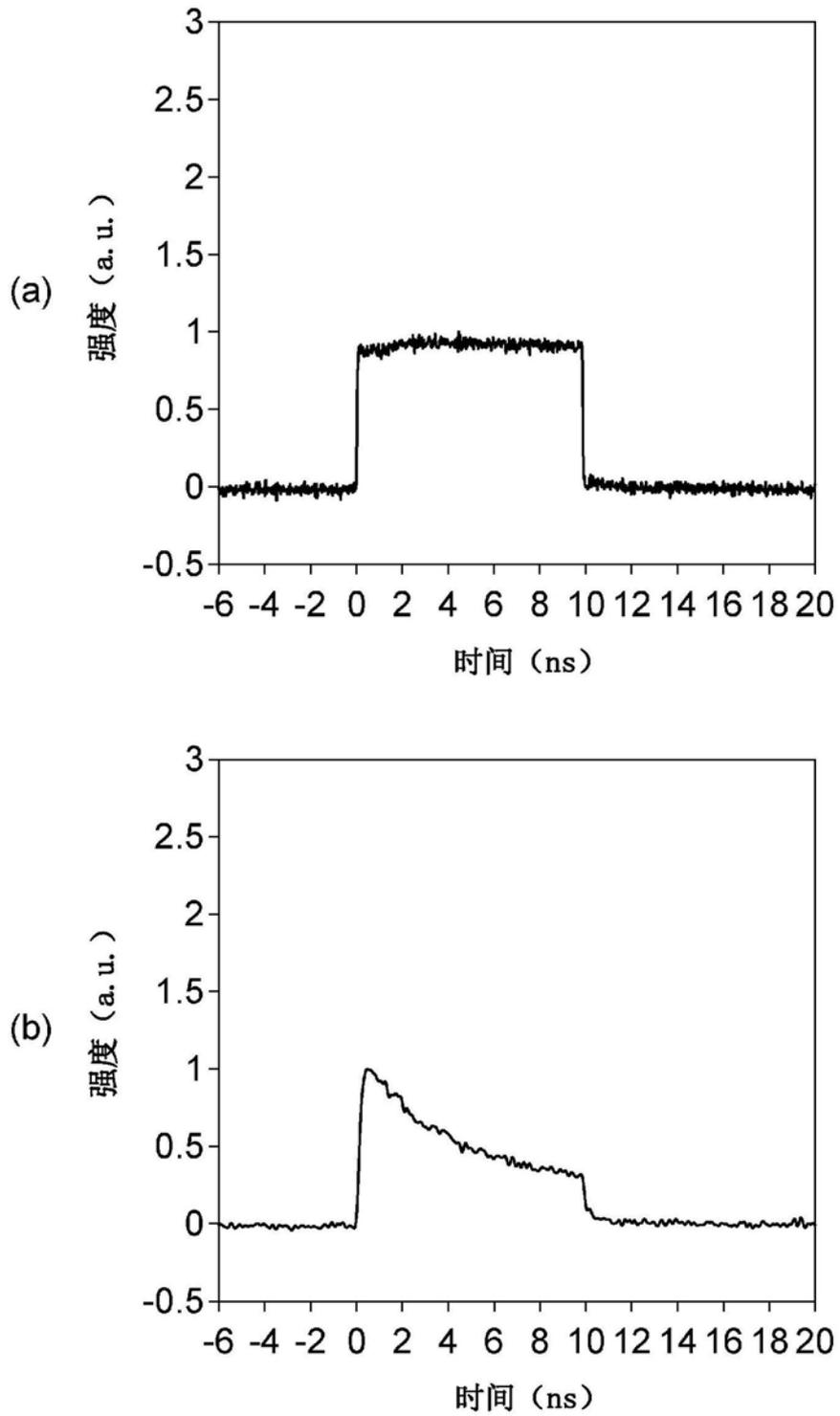


图7

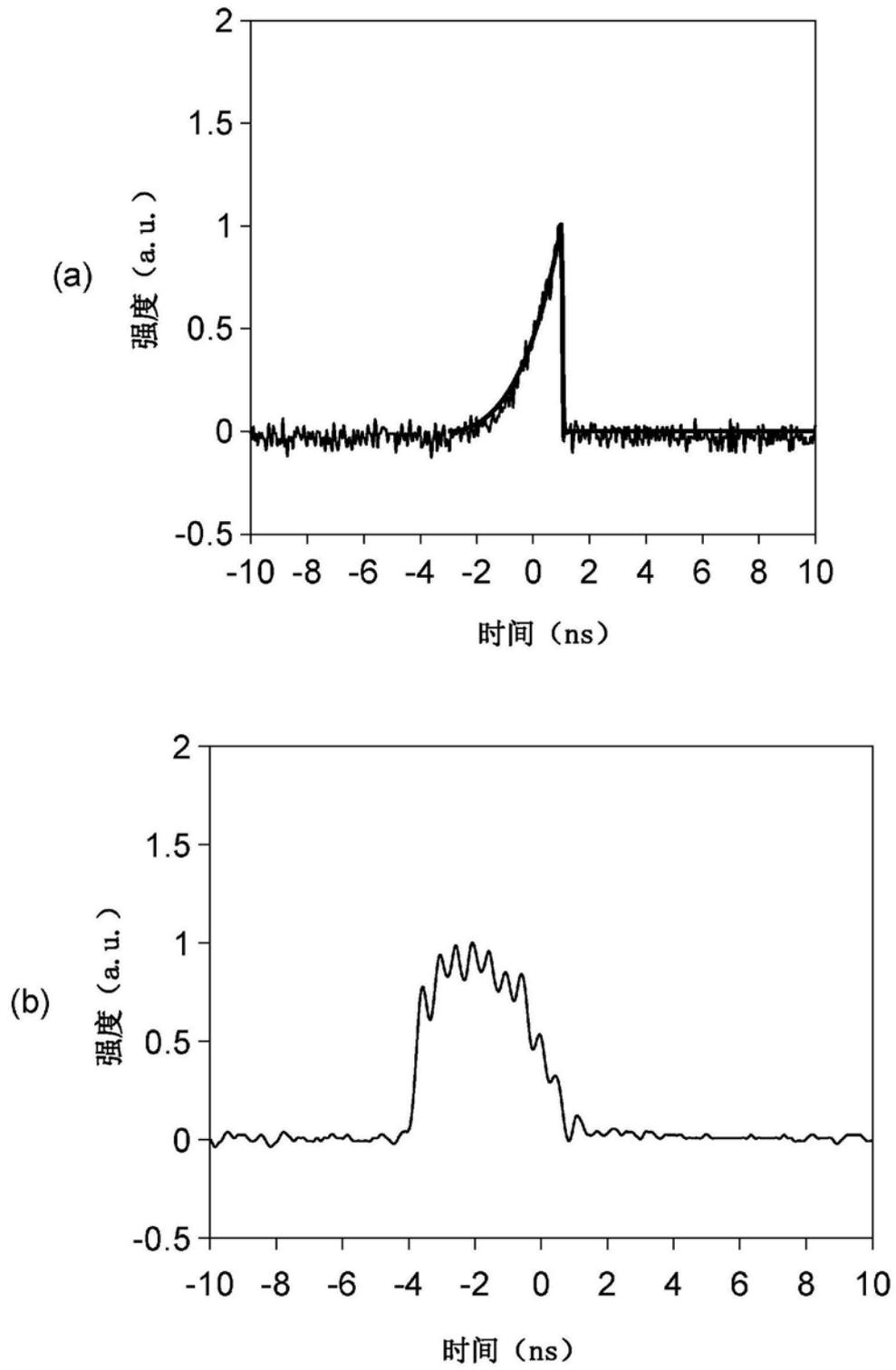


图8

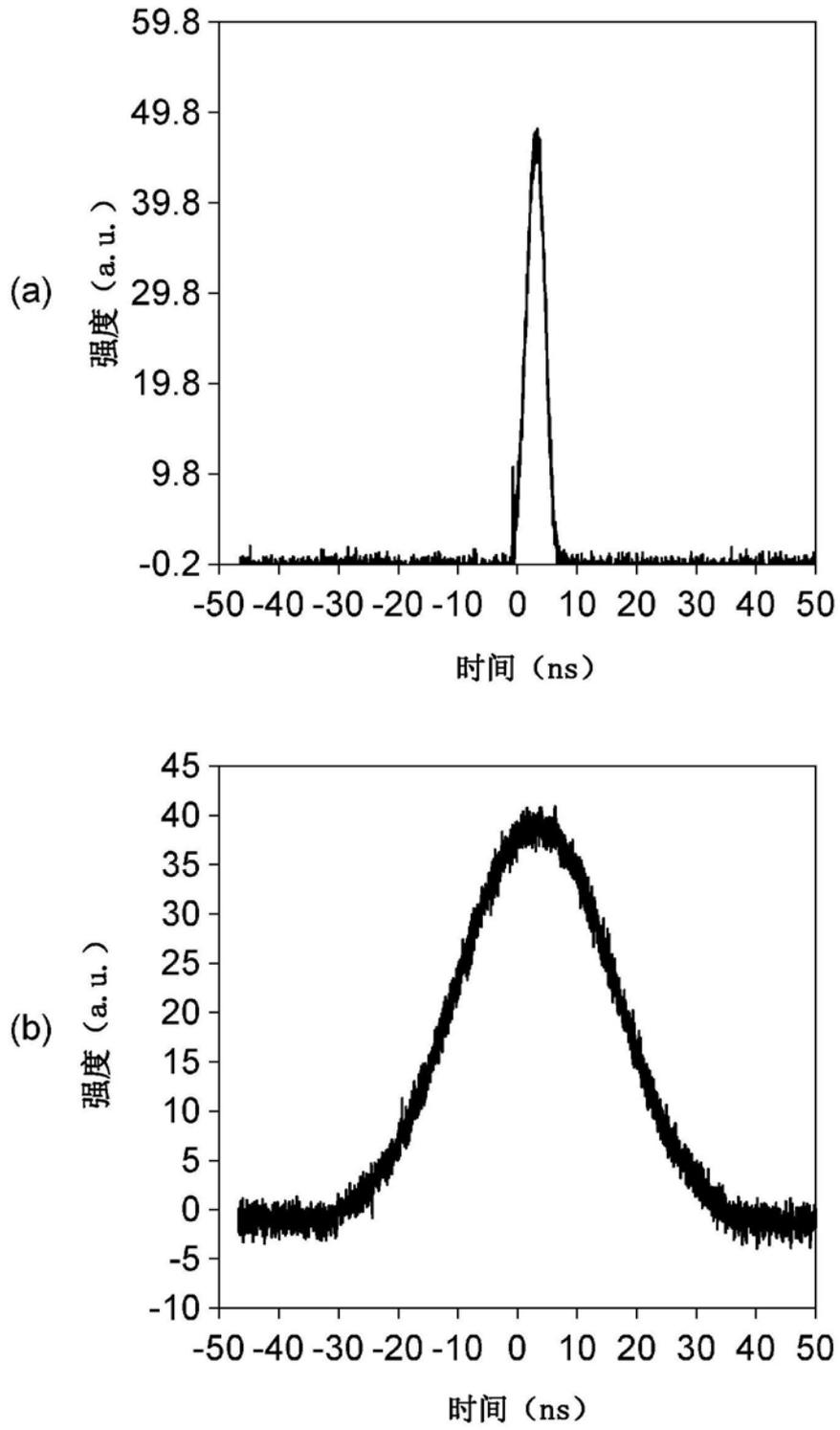


图9

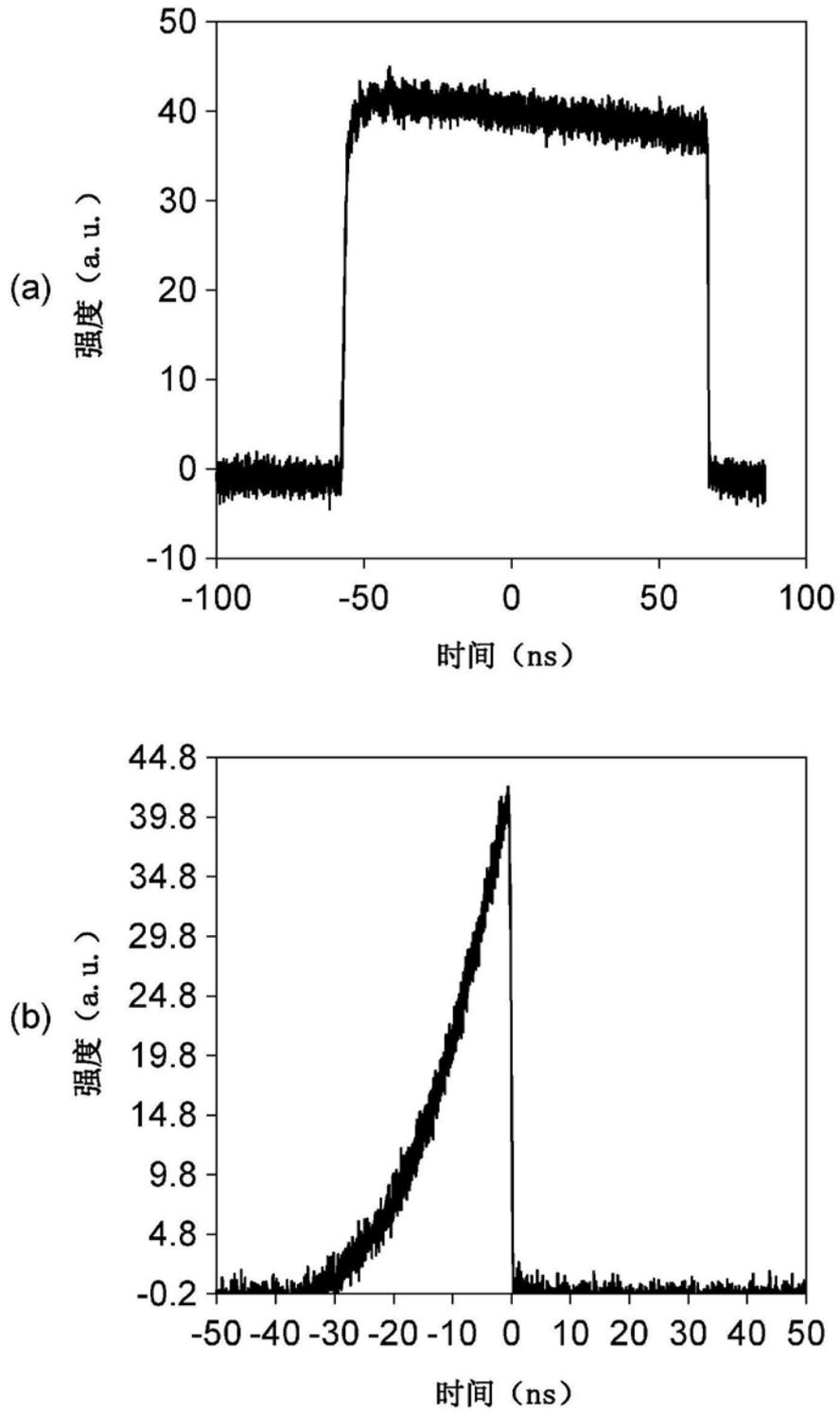


图10

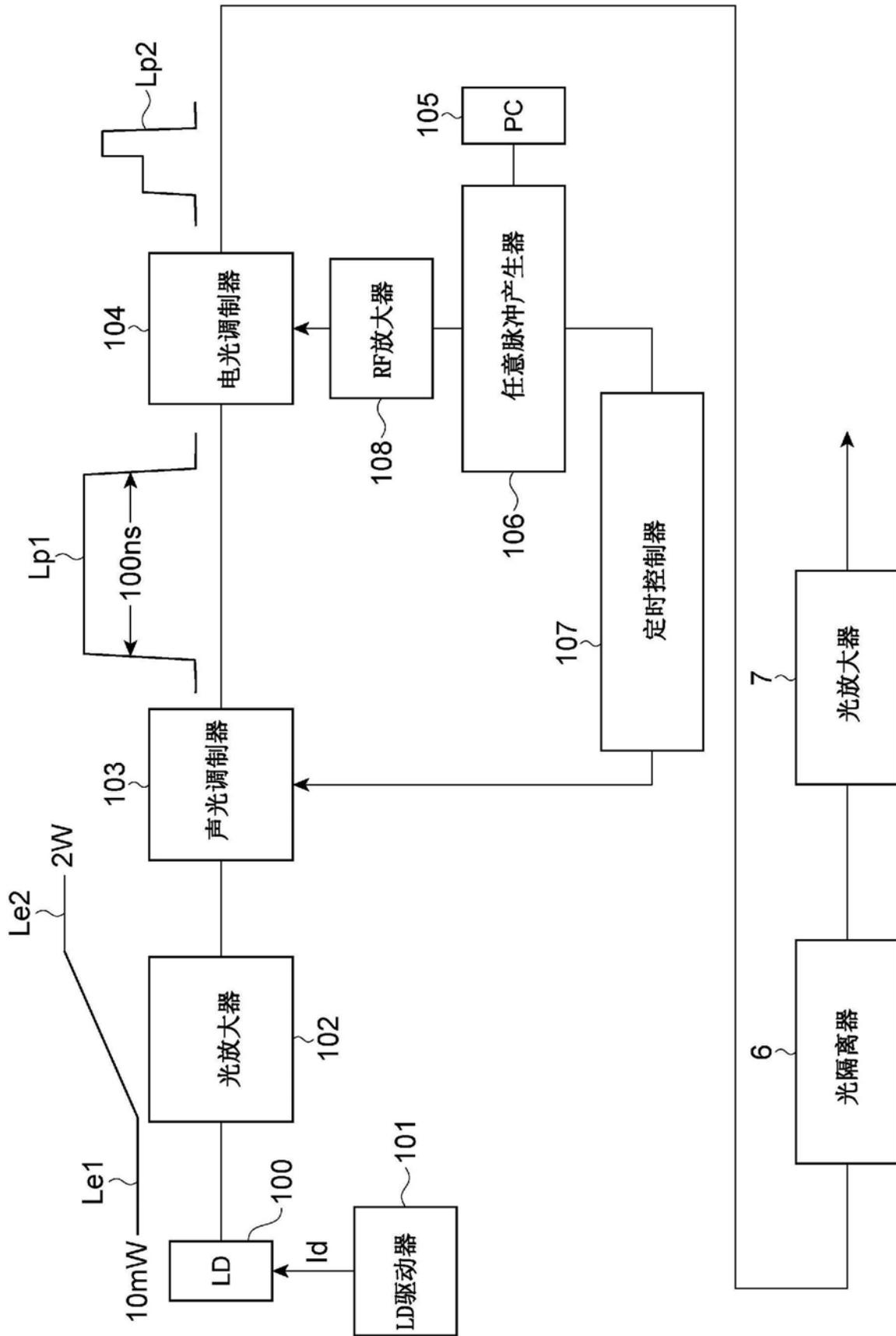


图11

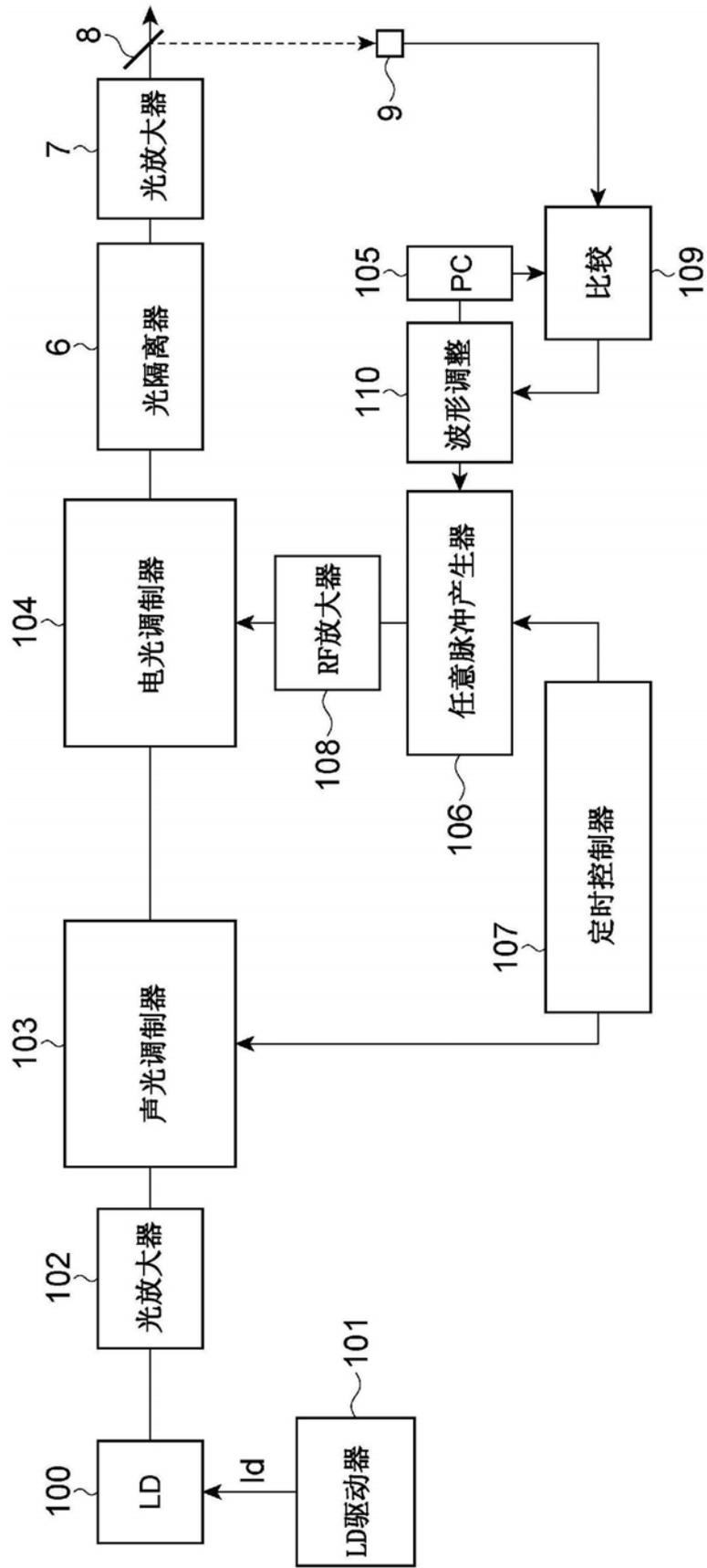


图12