



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104159697 B

(45)授权公告日 2017.02.15

(21)申请号 201280031868.7

(22)申请日 2012.07.05

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104159697 A

(43)申请公布日 2014.11.19

(30)优先权数据

61/504,563 2011.07.05 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2013.12.26

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2012/045534 2012.07.05

(87)PCT国际申请的公布数据

WO2013/006691 EN 2013.01.10

(73)专利权人 伊雷克托科学工业股份有限公司

地址 美国俄勒冈州

(72)发明人 J·考丁格雷 D·马尔采夫

(74)专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100

代理人 邢德杰

(51)Int.Cl.

B23K 26/00(2014.01)

B23K 26/38(2014.01)

G02F 1/11(2006.01)

G02F 1/33(2006.01)

(56)对比文件

WO 8700300 A1,1987.01.15,

US 6295157 B1,2001.09.25,

US 6295157 B1,2001.09.25,

US 2009095722 A1,2009.04.16,

WO 2010138897 A2,2010.12.02,

CN 102006964 A,2011.04.06,

审查员 刘亚勤

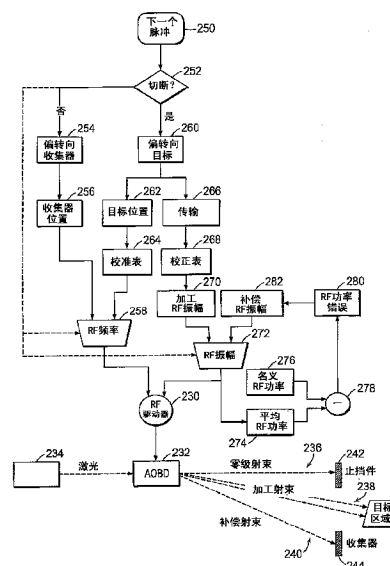
权利要求书3页 说明书18页 附图22页

(54)发明名称

在使用过程中为声光射束偏转器和声光调制器提供温度稳定性的系统和方法

(57)摘要

本发明提供一种使用热稳定的声光射束偏转器进行激光加工的方法。该方法包括步骤：生成与激光脉冲序列对应的RF脉冲序列，所述激光脉冲序列具有激光脉冲重复率，所述RF脉冲包括用于使激光脉冲序列偏转向各自的传输方向和非传输方向的在传输RF频率下的传输RF脉冲和在非传输RF频率下的非传输RF脉冲，每个RF脉冲包括RF频率、RF振幅和持续时间；控制每个RF脉冲使得RF脉冲序列提供调制的RF驱动信号，该调制的RF驱动信号被调制以在声光偏转器上提供平衡的热负荷；向声光偏转器施加调制的RF驱动信号；以及使用调制的RF驱动信号利用声光偏转器使至少一个激光脉冲偏转，以便使用预定的脉冲能量照射选定的目标位置。



1. 一种使用热稳定的声光射束偏转器进行激光加工的方法,所述方法包括步骤:

生成与激光脉冲序列对应的RF脉冲序列,所述激光脉冲序列具有激光脉冲重复率,RF脉冲包括用于使所述激光脉冲序列偏转向各自的传输方向和非传输方向的在传输RF频率下的传输RF脉冲和在非传输RF频率下的非传输RF脉冲,每个RF脉冲包括RF频率、RF振幅和持续时间;

控制每个RF脉冲使得所述RF脉冲序列提供调制的RF驱动信号,所述调制的RF驱动信号被调制以在声光射束偏转器上提供平衡的热负荷,其中,每个RF脉冲的振幅和持续时间被控制;

向声光射束偏转器施加调制的RF驱动信号;以及

使用调制的RF驱动信号利用声光射束偏转器使至少一个激光脉冲偏转,以使用预定的脉冲能量照射选定的目标位置。

2. 如权利要求1所述的方法,其中每个RF脉冲的持续时间包括激光重复率下的至少50%的工作循环。

3. 如权利要求1所述的方法,其中激光脉冲的重复率大于100KHz。

4. 如权利要求1所述的方法,其中每个传输RF脉冲的持续时间是对应于包括100%工作循环的有效激光脉冲传输的最短持续时间,借此使激光脉冲重复率最大化。

5. 如权利要求1所述的方法,其中所述激光脉冲重复率为300KHz。

6. 如权利要求1所述的方法,其中控制每个RF脉冲的持续时间的步骤包括在激光重复率下使产生的RF脉冲各自的工作循环在50%至100%的范围内生成RF脉冲,以及控制非传输RF脉冲的持续时间以便向声光射束偏转器提供平衡的热负荷。

7. 如权利要求1所述的方法,其中调制的驱动信号提供恒定的平均RF功率以便使声光射束偏转器热稳定。

8. 如权利要求1所述的方法,其中控制每个RF脉冲还包括在相应的激光脉冲触发之前定时连续的RF脉冲的生成,以计算在声光射束偏转器中的传播延迟,以及包括调制RF脉冲振幅以便在偏转器中同时传播多振幅调制的声音脉冲。

9. 如权利要求8所述的方法,其中调制RF脉冲振幅提供了至少2个具有不同RF脉冲能量的非传输RF脉冲,以使所述声光射束偏转器热稳定。

10. 如权利要求8所述的方法,其中调制RF振幅提供了至少2个具有不同RF脉冲能量的传输RF脉冲。

11. 如权利要求1所述的方法,其中所述方法还包括下列步骤:存储RF功率参考值,预测施加给声光射束偏转器的平均RF功率,将预测值与参考值相比较,以及基于比较结果确定至少一个相应的非传输RF脉冲的RF脉冲能量。

12. 如权利要求1所述的方法,其中所述方法还包括步骤:存储校正表值,该校正表值用于表示偏转器RF频率的传输范围上的偏转器光传输与偏转RF频率之间的关系,其中控制每个RF脉冲的步骤包括基于偏转频率和相应的存储的校正表值调制传输RF脉冲的振幅。

13. 如权利要求1所述的方法,其中所述方法还包括操作激光加工系统,从而相对于偏转的激光束移动基底,以及在预定的激光脉冲能量公差内向基底上的选定的目标位置传输补偿的激光脉冲能量。

14. 如权利要求1所述的方法,其中所述方法还包括当计算出的声光射束偏转器的RF功

率超过预定的容错时停止激光加工。

15. 一种向声光射束偏转器提供热稳定性的方法, 所述方法包括步骤:

向声光射束偏转器提供传输RF脉冲以便声光射束偏转器指引加工激光脉冲沿着终止于目标基底的光路; 以及

向声光射束偏转器提供非传输RF脉冲以便声光射束偏转器指引非加工激光脉冲沿着光路, 所述光路终止于没有到达目标基底的位置, 其中每个非传输RF脉冲具有被选择向声光射束偏转器提供热稳定性的脉冲特性, 其中, 所述脉冲特性包括非传输脉冲的振幅。

16. 如权利要求15所述的方法, 其中所述脉冲特性包括非传输RF脉冲的频率。

17. 如权利要求15所述的方法, 其中所述脉冲特性包括非传输RF脉冲的脉冲宽度。

18. 如权利要求15所述的方法, 其中所述方法还包括监控声光射束偏转器中的RF功率以便提供非传输RF脉冲的脉冲特性的步骤。

19. 如权利要求15所述的方法, 其中所述方法还包括监控声光射束偏转器上的热负荷以便提供非传输RF脉冲的脉冲特性的步骤。

20. 如权利要求15所述的方法, 其中所述方法还包括监控声光射束偏转器的温度以便提供非传输RF脉冲的脉冲特性的步骤。

21. 一种热稳定的高速激光加工系统, 所述系统根据权利要求1或15所述的方法进行操作, 用于按照激光加工顺序将激光脉冲偏转向激光加工区域内的选定目标, 所述系统包括:

控制器, 用于执行一系列激光加工指令以及用于使系统部件热稳定, 所述指令包括在激光加工区域内与激光脉冲位置相关的已传递的激光脉冲能量的指令和已传递的激光脉冲位置的指令, 所述控制器响应于所述激光加工指令产生一个或多个偏转器控制信号以便使至少一个系统部件热稳定; 以及

至少一个RF信号发生器, 所述RF信号发生器被配置成用于接收偏转器控制信号和产生相应的RF驱动信号, 每个RF驱动信号包括一系列传输RF脉冲和非传输RF脉冲, 每个传输RF脉冲的特征在于具有与激光加工区域内所选定的目标坐标相对应的预定传输频率以及具有各自的预定热负荷, 每个非传输RF脉冲的特征在于具有各自的非传输频率和各自的补偿热负荷, 借此每个RF驱动信号在至少一个声光调制器中提供了传输RF脉冲和补偿的非传输RF脉冲的稳定的热负荷;

其中所述至少一个声光调制器被配置成接收相应的RF驱动信号以及按照激光加工顺序偏转激光脉冲, 从而利用预定的激光脉冲能量照射预定的目标坐标。

22. 如权利要求21的系统, 其中传输RF脉冲或非传输RF脉冲中的每一个的特征还在于具有响应于偏转器控制信号的RF振幅。

23. 如权利要求21的系统, 其中所述控制器还包括用于预先确定传输RF脉冲或非传输RF脉冲中的每一个的热负荷估计值的装置。

24. 如权利要求21的系统, 其中所述控制器还包括基于所选定的目标坐标和相关联的预定RF振幅校正系数, 将指令的脉冲能量转化成相应的校正过的RF振幅的装置。

25. 如权利要求21的系统, 其中所述控制器还包括基于经过计算的RF功率与预定值的比较生成热平衡的偏转器控制信号的装置。

26. 如权利要求21的系统, 其中RF信号发生器还包括RF功率放大器。

27. 如权利要求21的系统, 其中所述系统还包括RF电缆和用于将RF功率从RF功率放大

器传递给声光调制器的阻抗匹配部件。

28.如权利要求21的系统,其中所述声光调制器具有一温度,所述温度是稳定的经提高的温度。

29.如权利要求21的系统,其中所述稳定的热负荷包括恒定的RF功率。

30.如权利要求21的系统,其中所述控制器包括用于改变热负荷的RF脉冲宽度调制装置。

31.如权利要求21的系统,其中所述控制器包括用于改变热负荷的RF脉冲振幅调制装置。

32.如权利要求21的系统,其中所述控制器包括经配置的FPGA。

在使用过程中为声光射束偏转器和声光调制器提供温度稳定性的系统和方法

[0001] 优先权

[0002] 本申请要求2011年7月5日提交的美国临时专利申请S/N61/504563的优先权,这里通过参考引入其全部内容。

背景技术

[0003] 本发明通常涉及声光射束偏转器(AOBD)和声光调制器(AOM)装置,特别是涉及这些装置的控制系统。

[0004] 在激光处理系统的领域中,声光射束偏转器装置和声光调制器装置是众所周知的,它们对高速射束定位是很有用的。美国专利申请公开No.2008/0164240公开了用于多脉冲激光加工的系统和方法,其包括由已调幅的射频(RF)驱动信号驱动的AOM装置,以提供撞击间隔和非撞击间隔来分别地传送或阻碍激光脉冲。美国专利申请公开No.2009/0095722披露了存储器修复领域在存储设备中用于激光加工(切割)链的系统和方法,其中一个或多个AOBD被构造成用以偏转待处理的激光束。

[0005] 然而,声光射束装置会对温度敏感。随着被冷却,以恒速施加的RF能量可以使装置温度保持恒定,但在特定的激光加工应用中用于偏转光束的RF能是断续的。

[0006] 美国专利No.5712722和No.5742425披露了利用调制器接收多个RF载波信号,并向AOM产生恒定的RF能量信号。这些专利披露了通过选择补偿功率水平,AOM内的空间热能分布可以基本保持恒定。

[0007] 美国专利No.6295157披露了采用两个不同的RF信号同时驱动一个AOM。调整每个RF信号的功率水平以用于模式写入,还披露了两个RF信号的负载功率的总和基本保持恒定。

[0008] 美国专利No.6765709披露了利用电热带提供热补偿以用于在光调制器系统的散装材料中传递热效应。然而,所披露的电热带向散装材料引入所期望的热能以维持恒定的热条件。

[0009] 美国专利No.7616669披露了通过以恒定的重复率向AOM提供RF脉冲来控制AOM的热负荷。然而,所述RF脉冲包括被定时成与激光输出一致的RF脉冲和与激光输出不一致的非一致脉冲。所公开的非一致脉冲将被延迟(例如0.5微秒)以便在激光输出脉冲之后立即发生。还披露了非一致脉冲具有与那些一致的脉冲相同或不同的RF功率值和RF持续时间。

[0010] 因此,需要改进维持AOM和AOBD装置的温度恒定或基本恒定的热负荷方法和系统。

发明内容

[0011] 按照一个实施例,本发明提供了一种利用热稳定的声光射束偏转器进行激光加工的方法。该方法包括步骤:对应于具有激光脉冲重复频率的一系列激光脉冲,产生一系列RF脉冲,该RF脉冲包括在传输RF频率的传输RF脉冲和在非传输RF频率的非传输RF脉冲,以使所述系列的激光脉冲分别在传输方向和非传输方向偏转,每个RF脉冲包括RF频率、RF振

幅和持续时间;控制每个RF脉冲从而所述系列的RF脉冲提供经调制的RF驱动信号,该经调制的RF驱动信号被调制用来在声光偏转器上提供平衡的热负载;向声光偏转器施加经调制的RF驱动信号;以及利用经调制的RF驱动信号借助声光偏转器偏转至少一个激光脉冲,以便利用预定的脉冲能量照射选定的目标位置。

[0012] 按照另一实施例,本发明提供了一种在声光射束偏转器中提供热稳定性的方法,包括步骤:向声光射束偏转器提供传输RF脉冲,以便声光射束偏转器沿着终止于目标基底的光学路径引导加工中的激光脉冲;以及向声光射束偏转器提供非传输RF脉冲,以便声光射束偏转器沿着光学路径引导非加工中的激光脉冲,其中所述光学路径在没有到达目标基底时即终止,每个非传输RF脉冲具有一脉冲特性,选定该脉冲特性以提供声光射束偏转器的热稳定性。

[0013] 按照进一步的实施例,本发明提供了一种热稳定性的高速激光加工系统,用于在激光加工区域按照激光加工顺序将激光脉冲偏转向选定的目标。该系统包括:控制器,用于执行一系列激光加工指令以及用于使系统元件热稳定,所述指令包括在激光加工区域与激光脉冲位置相关的已传递的激光脉冲能量指令和已传递的激光脉冲位置指令,所述控制器响应于所述激光加工指令产生一个或多个偏转器控制信号以使至少一个系统元件热稳定;以及至少一个RF信号发生器,该RF信号发生器被构造成接收偏转器控制信号以及产生各自的RF驱动信号,每个RF驱动信号包括一系列传输和非传输脉冲,每个传输RF脉冲的特征在于具有在激光加工区域对应于选定目标坐标的预定传输频率,以及各自的预定热负载,每个非传输RF脉冲其特征分别在于分别具有各自的非传输频率和各自的补偿热负载,借此每个RF驱动信号在至少一个声光调制器中提供传输RF脉冲的稳定的热负载和补偿非传输RF脉冲;其中至少一个声光调制器被构造成接收各自的RF驱动信号,以及按照激光加工顺序偏转激光脉冲,从而照射与预定激光脉冲能量一致的预定目标。

附图说明

[0014] 参照附图下面的说明将被进一步地理解,其中:

[0015] 图1示出了激光加工系统的示意图,其中采用了本发明的热控制系统和方法;

[0016] 图2是激光脉冲应用于接线(links)的一排接线的一部分的平面图;

[0017] 图3是按照本发明特定实施例的激光加工系统的系统元件的示意图;

[0018] 图4是按照本发明特定实施例的激光加工系统控制结构的示意图;

[0019] 图5是按照本发明特定实施例的激光加工系统的元件的示意图;

[0020] 图6是按照本发明特定实施例的声光射束偏转器工作的示意图;

[0021] 图7A是按照本发明特定实施例的在工件上加工区域大小的示意图;

[0022] 图7B是图7A所示加工区域中二维偏转的示意图;

[0023] 图7C是按照本发明特定实施例的可变的领域大小特性的示意图;

[0024] 图8A-8C是按照本发明特定实施例的输入信号和对系统中的输入信号的RF和声音响应示意图;

[0025] 图9A和9B是按照本发明特定实施例的AOBD效率的图示;

[0026] 图10是按照本发明特定实施例的预测的加工方法的计时;

[0027] 图11是按照本发明特定实施例的系统的预测加工方法的流程图;

- [0028] 图12A和12B是按照本发明特定实施例的AOBD中脉冲传播的示意图；
- [0029] 图13是按照本发明特定实施例的AOBD中脉冲叠加过程的示意图；
- [0030] 图14是没有采用RF能量稳定化的系统中RF能量的图表；
- [0031] 图15是按照本发明特定实施例的采用传输和非传输脉冲的RF能量的图表；
- [0032] 图16是按照本发明特定实施例的采用能够稳定化的系统中RF能量的图表；
- [0033] 图17是按照本发明特定实施例的AOBD中动态脉冲叠加过程的示意图；
- [0034] 图18是按照本发明特定实施例的系统中脉冲加工的流程圖；
- [0035] 图19是按照本发明特定实施例的系统中RF振幅处理的流程图；
- [0036] 图20-22是按照本发明特定实施例的RF加工系统的示意图；
- [0037] 图23是按照本发明特定实施例的AOBD能量稳定控制系统的示意图，其中该系统采用多信道数字输入布置；
- [0038] 图24A和24B是按照本发明特定实施例的加工区域形状的示意图；
- [0039] 图25是按照本发明特定实施例的偏转射束轴的示意图；
- [0040] 图26是按照本发明特定实施例的多脉冲激光加工系统的示意图；
- [0041] 图27是按照本发明特定实施例的在接线处理过程中被构造成修正相对运动的激光加工系统的示意图。

[0042] 所示出的附图仅用作说明的目的。

[0043] 详细说明

[0044] 在用于选定脉冲(例如接线处理)的激光加工系统中可以采用按照本发明的多个实施例的声光射束偏转器装置和声光调制器装置。例如，图1示出了激光加工系统，其中来自于脉冲激光器10(例如光量开关激光器)的激光脉冲的重复序列根据一系列脉冲群或一系列成形脉冲以预定的重复率提供脉冲。在控制计算机或逻辑装置14的控制下，通过移动平台12将具有特定间隔 d 的一组接线20(如图2所示)置于以预定速度 V 相对于加工头的运动中。通过能量控制和能量脉冲选择系统16有选择地阻挡脉冲。

[0045] 通常，调制器在一单独的RF频率或一小范围的RF频率内高效工作，而偏转器则在一较大范围的频率内最优效率地工作；然而两种类型的声光装置都偏转和调制。为方便起见，术语偏转器和AOBD用在较大偏转范围为优选的情形，而下面论述的一般的方面将应用于可由AOM或AOBD提供的射束偏转和调制。本发明的实施例可用在激光加工领域的广泛的范围中，包括但不限于下列文献公开的激光加工系统：美国专利申请公开No. 2008/0164240、No. 2009/0095722、No. 2011/0297851和No. 2011/0210105，以及美国临时专利申请No. 61/352316和No. 61/446943，这里通过参照将它们的全部内容并入本文。

[0046] 例如，图3示例性示出的系统包括激光器30，其提供激光脉冲以用于加工。该脉冲由任选的AOM38选通，然后传播到第一AOBD装置42的图像平面40。如图所示，在AOBD42的零级射束中的脉冲能量传递至射束止挡件46，并且沿第一轴线偏转的脉冲传播到第二AOBD装置50的平面图像48。在AOBD装置50的零级射束中的脉冲能量传递至射束止挡件52，并且沿第二轴线(未示出)偏转的、被选定用于加工的脉冲向工件基底72传播。

[0047] 图3的系统提供了用于接线切断的基于多轴无惯性偏转器的激光加工系统，因此其除了其它元件之外还包括激光源、多轴无惯性偏转器及其相关的驱动器、光学继电器、光学射束扩展器、光学斑点成型器以及机械定位系统。特别地，激光器30通过第一中继透镜32

输出激光脉冲。激光脉冲可以在加工过程中产生。声光调制器38(AOM)可以在加工输出36处接收激光脉冲以用于选择性地阻挡一些输出脉冲。在至少一些实施例中,该AOM38是系统中的任选组件。第一射束偏转器42(AOBD1)可以沿着第一轴线偏转和/或分离所接收到的激光脉冲,下面将对此详细描述。光学继电器可包括中继透镜44和用于沿着系统的光学路径反射的反射镜。止挡件46阻止第一偏转器42的多余的能量传播到第二偏转器50(AOBD2),第二偏转器50可以沿着另一轴线偏转和/或分离激光束,下面将对此详细描述。

[0048] 第二止挡件52可以阻止来自于第二偏转器50的多余的能量沿着束路径行进。如图所示,射束可以行进通过光学继电器。光学继电器可以包括中继透镜54、用于射束旋转以确定偏转轴方向的可选的K反射镜56和中继透镜60,并且如图所示可形成中间图像平面58。中继透镜60可以形成预扩展透镜。液晶相位可变延迟器(LCVR)装置62控制脉冲的偏振。射束可以进入可变焦扩展器66的图像平面64,所述可变焦扩展器66用于在目标处设置激光的光斑尺寸,该光斑尺寸经由物镜(透镜系统)68聚焦。物镜68可以将射束聚焦在安装在机械定位系统74上的基底72上。

[0049] 本领域普通技术人员将认识到,为了在基底72上聚焦射束、减小像差或象散以及使光学系统更加紧凑,也可以采用其他的光学继电器和透镜。可以利用可调节的空气轴承70定位物镜,以便相对于基底72设置聚焦高度,所述基底72在机械定位系统74上移动,其所在的平面基本垂直于物镜的轴线,以便相对于加工中的目标定位激光光斑。尽管图3示出了单个系统的实施例,但也可以与热稳定的AOBD装置一起采用激光束发生、激光束传入/传出AOBD装置以及激光束传输系统的其他常规方面中的公知变型。

[0050] AOBD装置42和50是布拉格(Bragg)型单元,其通过改变从RF换能器施加给光学透明松散吸音材料的音频来产生可变的衍射光栅。例如,所述材料可以是玻璃或 TeO_2 ,并且包括附接于所述材料的压电换能器。该压电换能器产生频率范围在25-400MHz的声波。从具有不同性能特性的一系列模型中可以容易地找到适宜的商用装置。通常每个模型特征在于中心频率和频率带宽范围。吸音材料的声速和所施加的RF频率的乘积在吸引材料中提供了声音的波长。当RF频率变化时,声波的波长也改变,导致了衍射光栅周期和衍射角都是可变的。

[0051] 通过控制从RF驱动器施加给换能器的RF信号频率,在装置的带宽内的可控射束偏转角是可能的。在装置的操作的误差内,装置的带宽之外所施加的频率不会产生有效的偏转。图4示出了控制系统,其包括控制程序80,该控制程序80与系统控制器82通信以经由脉冲触发信号84将来自于激光系统30的脉冲触发。系统控制器82通过一个或多个信道控制第一RF驱动器86,且RF驱动器86通过第一RF信号88驱动AOBD装置42。系统控制器82还通过一个或多个另外的信道控制第二RF驱动器90,且RF驱动器90通过第二RF信号92驱动AOBD装置50。系统控制器82还与机械定位系统23通信,以控制机械定位系统74的X方向位置和Y方向位置,并接收来自于机械定位系统74的位置反馈信息。尽管图3和图4示出了多个AOBD装置,但是当采用单轴或多轴偏转时,也可以在单独的AOBD系统中实践不同的实施例。

[0052] 通常,AOBD传输随着RF频率而改变,即使对于固定的RF振幅。例如,相比于导致偏向最外波束角的频率,中场偏转频率具有相对较高的传输。这一效果能够由AOBD的变化衍射效率而产生,其中所述AOBD的衍射效率随着偏转角而改变;衍射效率在极限偏转角处下降。通过控制由RF驱动器施加给换能器的RF信号振幅,可以可控地调制AOBD的衍射效率以

及进而由AOBD传输用于加工的激光功率以维持所期望的偏转激光脉冲能量。

[0053] 为了使精确的激光输出能量的目标传输与所期望的水平一致,可通过以不同的频率控制RF振幅来实施补偿激光脉冲能量的调制以修正降低的效率。例如,可将RF振幅作为测得的光传输曲线的倒数来改变,以提供在加工区域上偏转激光能量的频率范围上的平和的传输响应。

[0054] 例如如图5所示,可以利用光学探测器沿着光学路径在不同的位置测量光传输。特别地,第一探测器100可以被定位成经由射束分离器102接收来自于激光器30的激光输出的一部分。第二探测器104可以被定位成经由射束分离器106接收来自于第一AOBD装置42的输出的一部分,以及第三探测器108可以被定位成经由射束分离器110接收来自于第二AOBD装置50的输出的一部分。传送探测器112还可以被用于与机械定位系统74连接。

[0055] 每个探测器检测激光脉冲能量和/或平均激光功率。在第二AOBD50之前,单独的探测器或当采用多个探测器时探测器的组合可以通过测量能量独立地校准第一AOBD42中的非线性传输。该系统可包括评估脉冲能量的差值或探测器对之间平均功率差的装置。探测器与前述第一AOBD42连接,第一探测器AOBD42和第二探测器AOBD50可以单独地校准激光功率偏差或其他上游因素。可以采用多个探测器确定从第二AOBD50和第一AOBD42离开的功率差。这样提供的装置用于评估和校准独立于第一AOBD42的第二AOBD50的非线性传输。

[0056] 至少AOBD装置的一部分带宽与偏转频率的传输范围一致,其中激光束被偏转至加工视场中位于基底的目标。在传输范围之外的其他频率或在处于交替的衍射级,射束可以偏转向射束止挡件、束流收集器、阻断器或其他非传输元件。传输范围之外的频率可包括装置带宽的一部分,并且可包括装置带宽之外的频率,例如比中心频率加上半带宽的总和还要高的高频。当装置被设计成在第一衍射级中工作时,交替的衍射级例如可以是第二和更高的等级。通常,射束在第一衍射级中偏转,剩余的零级射束能量则被射束传感器或束流收集器阻挡。

[0057] 例如,图6示出了AOBD装置120的示意图。当没有施加RF信号时,没有光束偏转,光束122沿着零级的方向124输出。当在传输频率范围(例如72.50MHz至107.5MHz)内向装置120施加RF信号时,射束122偏转相应的传输角度,例如偏转116.8毫弧度(如图中126所示)、偏转145毫弧度(如图中128所示),以及偏转173.2毫弧度(如图中130所示)。当RF信号是非传输信号时,例如以140MHz的频率,射束122偏转相应的非传输角度,例如图132所示的225.5毫弧度。例如图126、128和130所示的射束偏转可以用于加工目标,而零级方向的射束(如图中124所示)和如图中132所示的射束偏转则被阻挡。

[0058] 加工区域的大小如图7A中140所示,其特征在于宽度为 x ,长度为 y ,从而区域尺寸可以表示成关于 x 和 y 的函数。在图7B中142所示的加工区域中,射束可以是二维偏转,其中射束从第一位置144偏转至第二位置146。如图7C中148所示,当射束扩大、光斑尺寸减小时,偏转角减小并且加工区域的尺寸也减小。不管是否设置射束扩展器,能够在覆盖了加工区域的偏转器的范围内指定的聚焦光斑的数量将是恒定的。所以,在光斑尺寸和加工区域大小之间存在直接权衡,即小尺寸光斑覆盖小加工区域,大尺寸光斑覆盖大加工区域。连同加工透镜一起,能够采用按照美国专利No.7402774(这里通过参考并入其全文)的方法来设置加工区域大小和光斑尺寸的范围而不会降低光斑对加工区域的覆盖。

[0059] AOBD最佳化的一方面在于速度,按照施加给AO晶体的RF频率,能够以该速度在偏

转器中实现不同的定位指令。图8A-8C示出了所施加的指令信号的信号包络线形状(如图中160所示)、RF响应(如图中162所示)和声音响应(如图中164所示)。AO晶体的设计、换能器的几何形状和所产生的活动的声音窗口范围都将考虑许多因素,例如效率、偏转范围和相互调制。可以选择任何类型的适宜的晶体/换能器的几何形状,并将其用于AOBD装置。虽然可以采用其他类型的声光材料,特别是那些被研究用在声光射束偏转器中的材料,但优选地,采用TEO₂晶体。根据材料和结构的几何形状以及填充到声音窗口的射束的几何形状,每种类型的装置都将具有特征时间,即当声波穿过单元时启动偏转。最佳化可以包括按照指令的偏转角测量偏转效率与时间的关系曲线,在该偏转角度下确定达到期望效率所需要的最短的准备时间,以及基于达到期望效率所需要的时间,定时激光点火次序,以便在最短的准备时间点火激光脉冲,从而使激光加工顺序最优化。最佳化可以考虑初始条件的不同设置,例如在设置新的偏转角之前立即设置AOBD的偏转状态。同样的,可以分析AOBD的其他性能特性并使其最优化,以确保在最短的准备时间达到所期望的性能水平。

[0060] 在随机存取定位中AOBD最佳化的另一相关方面在于所施加的RF偏转信号的持续时间。利用最优化的准备时间,可以改变所施加的RF信号的持续时间,同时测量偏转效率或其他参数。这样,可以确定最短的RF偏转时期以用于任何特定的AOBD装置。所述最短的RF时期连同最短的准备时间一起可用于使激光加工顺序进一步最优化。

[0061] 用于通过调节RF输入功率等级连同加工区域来补偿AOBD效率(AOBD效率是离开AOBD的脉冲能量与进入该AOBD的脉冲能量的比值)的变化是众所周知的。能够利用理论模型来预测效率性能与角度之间的曲线关系,并产生修正值;然而每个AOBD能够具有变化的效率特性。因此,优选通过直接测量偏转的光强度来确定如图9A中166所示的表示绝对效率和如图9B中168所示的表示相对效率的效率特性。为了修正,能够根据所测量的效率与角度之间的曲线关系调整RF功率,以便在整个偏转范围内保持一致的光学输出。

[0062] 然而,AOBD效率与角度之间的曲线关系还取决于RF的功率水平,所以以静态的RF功率水平进行简单的功率测量可能不适合调节这种非线性效率特性。因此需要一种更加复杂的修正方案。通过调节RF的等级可以实现动态测量,以便在所选定的偏转角的范围内令测量值与效率目标值匹配,从而生成关于效率目标值的RF功率与偏转角之间的修正函数。或者,在偏转范围内进行关于名义效率目标值的迭代测量,即以初始RF修正函数开始,在随后的步骤中基于效率测量确定残留效率误差与角度之间的曲线关系,利用该残留误差值生成经过改进的RF修正函数。可以采用其他程序精确地校准效率与波束角之间的曲线关系,例如在所期望的偏转和效率范围内生成效率查找表。然而,优选的技术是使数据管理开销最少,例如确定特性曲线的设置,特别是当考虑到如下所述的2轴偏转的复杂性时。

[0063] 调整AOBD的RF功率能够用于控制光学衰减。然而,由于如图9A和图9B所示的用于不同衰减的效率曲线的变化,需要为了不同的效率目标值设置一组修正曲线,其中每个目标值对应于所期望的光学衰减。这些修正曲线可以根据所述直接测量来确定,它们可以根据特性数据组或表来被构造,或者可以通过从2个或更多个修正值中插入值来至少部分地生成。这些曲线组实际上表示在偏转角尺寸和衰减等级的整个范围内校准AOBD所需要的RF功率值的表面。

[0064] 图10示出了预测激光加工系统的时间图。如图10所示,激光时间线LT表示每隔3.5 μ s对激光点火。这一定时大致对应于300KHz的激光。激光脉冲通过由波形LTR表示的触发波

形来触发。激光触发可以发生在由箭头170表示的矩形波的下降沿处。在处理激光触发信号至点火激光脉冲时可能存在延迟。激光脉冲的发生如图10中172a-172f表示。如图所示,延迟可以表示为在矩形波触发脉冲170和在172a处激光脉冲点火之间的 $1.0\mu\text{s}$ 的延迟,但不限于此。图10示出了预测带有激光脉冲172e的接线切断的过程。同样如图10所示,计算所述脉冲的偏转参数,在激光脉冲172e之前的大约3个激光脉冲周期开始(174)偏转启动的过程。

[0065] 因此按照特定的实施例,参照图11采用预测加工的方法。参见前述通过参照引入的美国专利公开No. 2011/0210105,以及特别是参照图20和包含第0176、0177、0178和0179的说明书段落。

[0066] 射束传输的效率可被确定由 TR_x 和 TR_y 表示,以确定在选定的频率下施加给AOBD的适当的RF能量。可以采用查找表或公式来确定对应于接线切断所期望的偏差量和所期望的脉冲能量的RF的频率值和振幅。

[0067] 由附图标记176所示,预测加工顺序包括偏置位置($dX:dY$)与偏转区域的比较。由附图标记178所示,系统可以根据($dX:dY$)与偏转区域的比较确定是否执行接线切断脉冲(link blast)。如果在考虑到切断脉冲的情形下偏置位置位于用于接线的偏转区域之外,则系统可以确定激光脉冲不应当用于接线切断脉冲。例如,激光脉冲可以不向左偏转并且被阻挡,衰减或者偏转到没有接线加工发生的收集位置。如果位置位于偏转区域内,则可以继续开始用于激光脉冲172e的AOBD控制,由附图标记180表示。如图10所示,为了产生所需要的来自于电源的电RF输出,可以存在AOBD延迟(AOBD_DLY)。这一延迟可能部分地由用来计算电驱动信号的所期望的频率和振幅所需要的时间所产生,以及由用于驱动换能器的电源产生RF驱动信号。例如,这一延迟可以是大约 $2\mu\text{s}$ 的延迟。在这一延迟时间之后,在182产生AOBD声波。

[0068] AOBD声波可能需要预定的时间量进入AOBD偏转窗口。例如,该时间表示为开始进入AOBD偏转窗口的 $5\mu\text{s}$ 的传播时间。一旦声波完全出现在声波窗口,则在184处将接线与激光脉冲172e切断。

[0069] 在每个AOBD中,对于声波所产生的RF具有一特定的声波延迟时间,以便穿过声波晶体传播来填充射束偏转所采用的声波孔。所以,激光光斑偏离截取点,相应的RF频率和RF振幅必须根据激光脉冲来确定,其中所述激光脉冲可以是10微秒的等级。延迟取决于声音晶体材料特性(声速)和AOBD晶体的几何形状。当采用诸如大于100KHz的激光脉冲的高重复激光时,脉冲重复周期低于声音延迟时间。在本发明的一个实现方案中,通过在AO晶体中叠加RF脉冲能够调节快速连续脉冲传播。例如,在大约300KHz下,三个RF脉冲可以同时传播到AO晶体中,RF的产生可以是激光脉冲之前的几个脉冲。对于声波而言,需要进入AOBD窗口的时间量例如可以是 $5\mu\text{s}$ 的传播时间。一旦声波完全出现在声波窗口,则可以将接线与激光脉冲切断。

[0070] 因此,每个RF脉冲其特征在于具有开始时间和结束时间,即从脉冲开始时间到脉冲结束时间的脉冲周期持续时间。例如,图12A示出了AOBD装置190具有连接到装置一侧的换能器192。装置190还具有供射束穿过的声音窗口194。如图所示,声波196从RF换能器传播,其具有由RF开始时间和结束时间限定的空间宽度。如图12B所示,声波196行进通过装置190,并穿过位于窗口194中的激光路径。如图所示,声波填充窗口所需要的时间例如可以是大约 $5\mu\text{s}$ 至 $10\mu\text{s}$ 。

[0071] 由于所述装置的这一特定的传播延迟,声波可以叠加,从而多个声波可以同时传播穿过装置。例如如图13所示,多个声波200,202,204,206行进通过装置190。图示的声波204填充到窗口194,此时声波206已经行进通过窗口194。

[0072] 通常以对应于激光加工输出重复率(例如100KHz至300KHz)的重复率产生RF脉冲。每个RF脉冲都在对应的激光脉冲之前产生以补偿声波传播的延迟。这样,RF脉冲定时同步于激光加工输出重复率,从而声音窗口在传输激光脉冲或激光脉冲组时被填充。

[0073] RF功率在AOBD换能器中的应用以及声能在声媒介中的传播能够导致松散材料被加热。热量将提高松散材料的温度,并且在松散材料内产生热梯度。热量改变了所施加的RF的功率,并且导致偏转角(射束偏移)改变以及偏转射束的传播(效率偏移)改变。其他的能源也可以加热AOBD,例如激光能的高度光学吸收能够导致局部加热。超出操作误差之外的热量以及高峰功率的光学照射都可能带来额外不期望的影响,例如材料损坏、涂层损坏以及诸如灰色路径损坏之类的材料退化。

[0074] 在本发明的至少一个实施例中可以采用热稳定的声光装置,以减小射束指向的不稳定性或减小光学像差。热稳定的声光装置可以用于从连续的脉冲顺序中进行脉冲挑选或用于射束定位。所述稳定的声光装置由一个或多个换能器以一种或多种具有RF功率的频率驱动。第一级衍射射束偏转向激光加工路径在现有技术中是已知的。可以动态地改变RF的频率以便将偏转的激光光斑定位在精确的工件位置上。可以改变RF的振幅以改变声光装置的衍射效率以及调整射束的能量。在脉冲的处理过程中和在处理脉冲之间,声光调制单元接收RF功率和接近恒定的热负荷。RF频率与非加工脉冲一致地被中断,以允许单独的非加工脉冲进入到不同等级的射束中或进入到偏转的束流收集器中。因此,RF的工作周期通常较高,并且由于间歇地RF加载导致的热不稳定性降低。可以在激光脉冲之间调整RF功率以控制施加给声光单元的热负荷,例如以维持恒定的平均热负荷。

[0075] 在一些传统的精确脉冲激光加工系统中,以相对较短的大约10微秒或更短的脉冲施加RF。这样就仅在激光被脉冲时在用于高衍射效率的声音窗口中形成声波,这使得RF的工作周期最短,由此限制了AOBD中的加热。对于给定设置的RF振幅等级来说,当激光的重复率增加时,会向AOBD施加更多的RF脉冲。结果,当RF脉冲包括在最大的RF脉冲重复率的整个AOBD工作周期时,热量将增加到最大值。

[0076] AOBD重复率的最大值限定了激光加工率的最大值,因此即使是给定的激光也能够以较高的重复率独立地工作。考虑到区域位置和加工脉冲能,最大的总热量将出现在最大的重复率和最高的RF功率时,例如在效率最低时的RF频率下产生最大的传播(例如在区域边缘)。

[0077] 连续迭代的加工顺序可以有效地提供对AOBD装置的规则且均匀的时间平均的加热,例如利用连续的光栅扫描。图14示出了在210处传播RF脉冲的示例性实施例。由于传播激光加工脉冲210的间歇的性质,在212处所示的RF功率的平均值是不稳定的。激光加工脉冲间歇地施加给通过AOBD调制控制的目标会导致间歇的热负荷。此外对于具有相应可变偏转角的加工目标的不规则设置,并且RF振幅(用于激光调制)将更加有助于不规则热负荷。这种不平衡的热负荷能够导致不稳定的AOBD装置的温度。如图所示,以间歇的时间施加不同的振幅,在RF脉冲的过程中平均负载增加然后衰减,其代表了AOBD温度的升高和降低。在其他影响中,相对于指定的能量值,已观察到不稳定的装置温度能够导致在传递的光能中

的不稳定性。

[0078] AOBBD装置的传统的冷却主要是被动地传导冷却。对于被设计成用于较高的光学功率或需要较高的RF功率的特定类型的装置而言,可以采用主动的液体冷却。例如锗设备可以是液体冷却的以防止热逃逸。然而,在许多显微加工的应用中,在操作误差范围内被动冷却足以维持AOBD装置。冷却要求和热稳定性能够受到局部热管理的影响,例如在诸如激光束路径封装盒之类的子系统封装中。例如在下一个等级,系统封装和系统热管理可以影响AOBD的操作,最终的房间或工厂周围的环境条件会影响操作设定点。

[0079] 对于带有狭窄的激光脉冲能加工窗口的特定激光加工领域而言,例如对于以激光为基础的存储器修复系统而言,传递的激光脉冲能可以是精确控制的。图15示出了图12所示的RF脉冲以及非传输脉冲214的间歇传播。因此按照本发明的一个实施例,非传输脉冲214用于激光脉冲,这些激光脉冲不旨在被用于激光加工。非传输脉冲214所具有的振幅和/或频率能够使AOBD或AOM装置沿着路径引导射束,其中该路径不同于激光加工的光路(例如向着射束止挡件)。如图16所示,该效果可以使声光装置中的RF功率稳定。特别地,图16示出了间歇脉冲210以及现在是稳定状态的平均RF功率(图中216所示)。

[0080] 图17再次用图表示出了如上所述的声光装置190和所附连的换能器192。换能器192由控制系统(通常在220处示出)驱动以便提供经过调制的RF驱动信号来传播一系列声波。特别地,第一声波222可具有第一频率和振幅,同时第二声波224可具有与第一频率和振幅不同的第二频率和振幅。第三声波226具有第三频率和振幅,以及第四声波228也可以具有不同的频率和振幅。通常,可以设置声波的振幅和/或频率,以便利用预定激光脉冲能量将激光脉冲传输给预定的目标位置,并且当不传输激光脉冲能时,可以动态地调整声波的振幅和/或频率从而在装置中提供非常稳定的平均声能,这样就提供了温度的稳定性。图示的声波224位于声音窗口194内,同时声波222已经通过了声音窗口194。

[0081] 图18示出了用于控制RF驱动器230工作的系统的流程图,其中RF驱动器230驱动AOBD装置322,AOBD装置322选择性地将来自于激光器234的脉冲沿着非传输零级路径(图中236所示)、一个或多个射束加工路径(通常在238处示出)或一个或多个非传输补偿路径(图中240所示)中的任意路径指引。非加工非传输路径将射束指引向图中所示的止挡件242/束流收集器244。控制系统稳定了声光装置的温度并维持了精确的能量传递。

[0082] 通常,按照本发明的特定实施例,采用技术使AOBD装置中热感应的能量漂移和射束漂移最小化,特别是当从稳定的、恒定的脉冲激光源中选择间歇激光脉冲用于加工时。这些技术利用了具有所施加的RF能量控制的平衡热负荷的不同形式。所述技术包括以基本恒定的比率施加RF脉冲以用恒定的平均功率均匀地装载声光单元,同时改变RF脉冲的参数以提供脉冲选择和热负荷平衡。为了实现与具有非传输频率的激光脉冲一致的偏转可以生成RF脉冲,所述非传输频率在偏转区域具有基本为零的效率,或者能够使射束偏转到偏转区域之外。在这些情况下,RF脉冲能有助于恒定的热负荷,但不会有助于声光传输。这允许通过脉冲的热稳定脉冲,同时允许用于激光加工的AO传输的独立控制。

[0083] 特别的,控制系统可具有如下功能。对于每个激光脉冲(图中250所示)而言,系统首先确定是否采用脉冲用于激光加工或倾倒(dump)至止挡件(图中252所示)。如果激光脉冲不用于激光加工(确定不切断),则脉冲将偏转向束流收集器(图中254所示)。相应的收集位置(图中256所示)的非传输RF频率作为输入被提供给RF频率多路复用器(图中258所示),

其中所述多路复用器与RF驱动器230联通。RF频率多路复用器基于确定不切断来选择非传输频率以用于输出。

[0084] 如果激光脉冲用于激光加工(确定切断,如图中252所示),那么激光脉冲将偏转向目标(图中260所示)。激光光斑(图中262所示)的命令的目标位置利用校准表(图中264所示)被转换成经过校准的传输RF频率,以便向与RF驱动器(图中230所示)联通的RF频率多路复用器(图中258所示)提供进一步的数据输入。RF频率多路复用器基于切断确定(yes(是))选择传输频率用于输出。通过参照修正表(图中268所示)修正命令的脉冲传输(图中266所示),以确定相应加工的RF振幅(图中270所示)。该传输处理的RF振幅作为输入被提供给RF振幅多路复用器(图中272所示),该RF振幅多路复用器也与RF驱动器(图中230所示)联通。RF振幅多路复用器基于切断确定(yes(是))选择传输RF振幅用于输出。还提供有反馈回路,其中RF振幅多路复用器(图中272所示)的输出还提供给程序以用于确定平均RF功率(图中274所示)。

[0085] 从平均RF功率(图中278所示)中减去名义上的RF功率(图中276所示)。它们的差作为RF功率误差信号(图中280所示)被提供给补偿RF振幅程序(图中282所示)。补偿RF振幅程序向RF振幅多路复用器(图中272所示)提供补偿RF振幅信号作为输入。RF振幅多路复用器基于不切断的确定选择非传输补偿振幅作为输出。例如,控制器可以是现场可编程门阵列(FPGA)电路或集成电路芯片。

[0086] 因此补偿RF脉冲能是基于预测的平均热负载,所述预测的平均热负载源于整个预定时间间隔中的一组命令的RF脉冲振幅,其中所述预定的时间间隔小于AO装置的热时间常数。基于测量可以确定每个偏转器中的平均RF功率,但优选的是基于数字处理的命令的脉冲能量以及相关联的每个AOBD的传输值进行精确的估计。至少在该激光加工领域,由于存储器修复需要精确的能量控制,因此为每个脉冲预测施加的RF功率可以是基于用于区域位置的修正表或用于改进精确度的其他参数,而不必实时测量。因此,所施加的平均RF功率可以根据命令的传播和RF修正值来预测,其中需要所述RF修正值以给定的名义传输和偏转角来实现所期望的传输。

[0087] 因此RF频率控制射束偏转角,RF振幅用于控制光传输。可以采用RF频率校准表使射束以一定的频率偏转,其中所述频率对应于工件的精确位置。可以采用RF振幅修正表来补偿传输中的变化,其中所述传输具有所施加的频率和传输水平以提供精确命令的脉冲能。这些修正补偿了公知的衍射效率随着偏转角的变化,特别是当AOBD用于能量控制时,修正补偿RF能量水平的非线性传输。

[0088] 随着修正的RF振幅覆盖了一系列RF频率,改变施加给装置的RF功率以实现不同RF频率的命令的脉冲能量。因此,在整个偏转区域RF热负载都改变了。例如,随着命令的恒定的脉冲能量覆盖了整个偏转区域,所施加的用以实现所期望传输的RF功率将与AO衍射效率(在一定的偏转角度下)相反地改变。对典型的偏转器而言,区域边沿的效率将会下降,所以当在区域边沿进行加工时,将会使用更多的RF功率以增加热负荷。随着传输修正成在偏转区域范围上是恒定的,通过使偏转区域内的传输最小来限制最大传输。通常,较宽的偏转区域对应于较低的传输和较高的热负荷。

[0089] 当利用热敏AOBD装置控制激光脉冲能量设定值时,将改变RF脉冲振幅以调整所传输的激光脉冲能量,使热负荷平衡模式更复杂。一些平衡可变RF振幅的选择包括当振幅降

低以便在传输RF脉冲中维持恒定的RF脉冲能量时,通过增加传输脉冲宽度来调整RF脉冲宽度。

[0090] 由于补偿RF脉冲是非传输的,因此可以使用较短的RF脉冲,其对于传输RF脉冲而言太短,这是因为相关联的非传输声波不需要完全填充声音窗口。在这种情况下,一部分非传输激光脉冲可以传播到零级中,另一部分可以通过非传输频率偏转。随着RF脉冲宽度的调整,补偿RF脉冲宽度被设置成与平均RF功率设定水平成比例以维持平均的RF功率。当估计的平均RF功率降到设定值以下时,RF脉冲宽度被改变并且使用了全脉冲宽度。相反,当平均RF功率落在设定值以上时,RF脉冲宽度被改变并且使用了零RF脉冲宽度。这样,实现了对平均RF功率的快速收敛。可选的,中间的RF脉冲宽度可以被用在名义RF脉冲宽度和全RF脉冲宽度之间,以及用在零和名义RF脉冲宽度之间。

[0091] 然而,为了高效地加工生产以及伴随的高的激光脉冲重复率,可以以近乎100%的工作周期向A0单元施加RF信号。由于在邻近的激光脉冲时延迟(或前进)的RF脉冲出现在声音窗口,因此这使得延迟的(即非冲击间隔)RF脉冲模式不切实际。类似的,由于缩短RF脉冲宽度将导致声音窗口的局部填充,因此用于RF传输频率的RF脉冲宽度的调整也是不切实际的。因此,在特定领域的高速率单通道加工系统中,这些热稳定技术不能提供足够的热平衡能力。

[0092] 传输RF脉冲和非传输RF脉冲的组合RF加载提供了稳定的补偿热负荷。非传输频率使一部分射束偏转向束流收集器,并且所述非传输频率优选高于偏转频率范围,从而使AOBD中超声波谐波的任何剩余效应最小化,例如超过最低传输频率的2倍。根据补偿RF脉冲功率和非传输频率下的衍射效率,没有偏转的激光脉冲将被零级射束阻挡件拦截。

[0093] 按照本发明的进一步的实施例,利用图19所示的反馈系统,参照热负载设定值,控制回路可以监控声光装置上的热负载。图19的系统向第一RF振幅多路复用器294(还接收反馈数据)和第二RF振幅多路复用器(图中306所示)施加处理中的RF振幅(图中292所示)作为输入,其中所述第二振幅多路复用器直接控制RF驱动器(图中308所示)。如果基于选择器信号(图中290所示)的脉冲是非目标加工脉冲,则第一RF振幅多路复用器294向组合器(图中296所示)提供输出,其中所述组合器还接收关于热负荷设置值(图中302所示)的负输入。伺服控制逻辑(例如成比例的和积分器)(图中298所示)调整非传输RF脉冲,并且在组合器300中组合输出,其中所述组合器300还接收关于热负荷设置值(图中302所示)的正输入。采用限制器(图中304所示)在特定范围内(例如零和AOBD操作极限之间)维持非传输RF功率,并且向两个RF振幅多路复用器(图中294和306所示)提供已调节的非传输RF脉冲振幅数据。RF振幅多路复用器306将非传输RF脉冲调整数据和传输RF脉冲数据组合,以提供用于RF驱动器308的控制信号。

[0094] 按照本发明的另一实施例,可以采用控制回路来保持传输RF脉冲和补偿非传输RF脉冲的组合在整个时间周期的稳定的预测平均热负荷,其中所述时间周期基本小于AOBD的热时间常数。图20示出了控制回路反馈系统,例如该系统向RF振幅多路复用器(图中314所示)提供正在处理的RF振幅数据(图中310所示)和补偿RF振幅数据(图中312所示)作为输入,其中所述RF振幅多路复用器还接收如上所述的切断信号(图中316所示)。RF振幅多路复用器的输出被提供给RF驱动器(图中318所示)和估计的热负荷程序(图中320所示),其中使用组合器(图中324所示)将它与热负荷设定值(图中322所示)相比较。组合器的输出被提供

给热负荷差错程序(图中326所示),该差错程序与比例、积分、导数(PID)控制器(图中328所示)联通以提供用于RF振幅多路复用器的补偿RF振幅数据(图中312所示)。

[0095] 所述稳定的预测平均热负荷提供了使AO装置的温度稳定的大致恒定的热负荷。该控制回路包括RF功率误差信号,可以根据用于平均RF功率的相对于预选目标值的估计的平均RF功率确定该误差信号。例如,通过对整个时间的误差积分,产生带有预测的能量、平均功率、振幅或持续时间的补偿RF脉冲,并且在加工基底的整个过程中维持目标RF功率。

[0096] 控制可以操作恒温器的设定值或者可以包括一个或多个成比例的、积分和不同的术语以提供改进了的稳定性。图21示出了按照本发明另一实施例的控制回路反馈系统,该系统向RF振幅多路复用器(图中334所示)提供正在处理的RF振幅数据(图中330所示)和补偿RF振幅数据(图中332所示)作为输入,所述RF振幅多路复用器还接收切断信号(图中336所示)以选择如上所述的输出。RF振幅多路复用器的输出被提供给RF驱动器(图中338所示),并且被提供给预定的温度分析程序(图中340所示),该温度分析程序利用组合器(图中344所示)将它与温度设定值(图中342所示)比较。组合器的输出被提供给温度误差程序(图中346所示),该温度误差程序与温度控制器(图中348所示)联通以便提供用于RF振幅多路复用器的补偿RF振幅数据(图中332所示)。控制可以操作许多比装置的热时间常数高的数量级。

[0097] 图22示出了按照本发明另一实施例的控制回路反馈系统,该系统向RF振幅多路复用器(图中354所示)提供正在处理的RF振幅数据(图中350所示)和补偿RF振幅数据(图中352所示)作为输入,该RF振幅多路复用器还接收切断信号(图中356所示)以选择如上所述的输出。RF振幅多路复用器的输出被提供给RF驱动器(图中358所示),并且被提供给平均RF功率分析程序(图中360所示),该程序利用第一组合器(图中364所示)将它与名义RF功率(图中362所示)比较。第一组合器的输出被提供给-RF功率误差程序(图中366所示),并且-RF功率误差程序将其输出提供给第二组合器(图中368所示),该第二组合器也接收名义RF功率,以便提供用于RF振幅多路复用器的补偿RF振幅数据(图中352所示)。

[0098] 期望的是比例和积分项能提供适宜的稳定性。利用数字电子学可以实现控制,除了热稳定性之外,数字电子学的使用可以提供RF振幅与角度之间、RF振幅与激光脉冲功率之间或激光束位置与频率之间的数字校准。

[0099] 此外,RF补偿脉冲能量可以是基于维持恒定的平均RF功率。随着大量的RF脉冲(例如超过10,000脉冲)出现在AOBD的热弛豫时间内,该方法根据脉冲的大样本计算提供了有效的平均值。利用AOBD的热模型可以确定补偿脉冲能量,以便将估计的温度维持在预定值。在这种情况下,平均负载可用于维持平均温度,高负载可用于升温,低负载可用于冷却。对典型的加工工作周期而言,平均热负载可以是大约200毫瓦。在TeO₂装置中RF功率的峰值可以高达4瓦,在石英、锆或其他吸音材料中可以达到10瓦或更高。

[0100] 图23示出了按照本发明实施例的系统的示例,其在AOBD功率稳定系统中采用多信道数字输入装置370。特别地,数字输入装置采用一对标准化的输入信号和两个多路复用器372,374以提供有效的二位四状态输入。特别地,将激光点火信道输入376提供给多路复用器372和逻辑OR(或)单元378,将另一激光点火信道输入380提供给多路复用器374和逻辑OR单元378。多路复用器372,374的输出被提供给组合器382,所述组合器382向RF振幅装置384提供组合的输出。RF振幅装置还接收补偿功率输入386和来自于逻辑OR装置378的控制信

号,并且提供输出功率信号388。

[0101] 因此图23所示的系统提供了两个输入信道,它们与激光点火周期输入信号多路复用。当在任一信道上都没有提供激光点火信号时,输入直接连接至用于功率稳定系统的输出。多信道输入可以包括具有适宜的输入布置的多于两个的信道(例如3个或更多),并且多信道输入能够被用作在任何实施例中的处理中的RF振幅输入,其中所述实施例提供了多路复用的处理中的RF振幅和补偿RF振幅。

[0102] 可选的用于激光脉冲能量调整的AOM的使用可以提高稳定的AOBD的工作温度。这是因为当通过AOM衰减激光脉冲能量时,偏转器的RF振幅没有减小。此外,如果AOM还提供能量修正以使整个加工区域的能量平缓,则偏转器的RF振幅将不会在高效偏转角度下减小。随着高RF功率施加于整个处理工作周期,AOBD装置的温度将升高。

[0103] 下面的表1示出了在中央、偏转角的中部和边沿调制的过程中这些AOBD的RF功率参数的示例性实施例中相关命令的激光脉冲能量,AOBD效率和光传输。

[0104]

	中央	中间	边沿	平均
命令值	16%	16%	16%	16%
效率	80%	50%	20%	50%
RF功率	20%	32%	80%	44%
传输	16%	16%	16%	16%

[0105] 所述命令的激光脉冲能量示为16%,效率从20%变化到80%。相应的RF振幅值被确定从而命令的能量除以效率等于RF振幅。这样,当施加确定的振幅时,传输值等于命令值,并且在该实施例中,所施加的平均RF功率是44%。

[0106] 下面的表2示出了当采用外部调制器将激光脉冲能量设置成命令值时在进一步的示例性实施例中同样的偏转。

[0107]

	中央	中间	边沿	平均
命令值	16%	16%	16%	16%

[0108]

效率	80%	50%	20%	50%
RF功率	80%	80%	80%	80%
AOM	25%	40%	100%	55%
传输	16%	16%	16%	16%

[0109] 在这种情况下,AOBD的RF振幅设置成恒定的80%,以在区域边沿产生16%的传输。AOM从25%变化到100%,以在整个区域上产生命令的16%的传输。对比这些表中的所施加的RF的所得平均值,清楚地看到该实施例中采用AOM已经将AOBD的平均负载从44%提高到80%。因此,基于AOBD的激光脉冲能量调制允许较低的平均RF功率既适应整个偏转区域的平均装置传输,也适应在加工期间平均RF工作周期。为了方便上述的比较,表1和表2示出的参数被包含在内。与外部调制一起处理所使用的实际参数值可以改变。

[0110] 所估计的平均功率也可被监控用于故障状态,例如最大误差级别之外的水平。当检测到错误时,可以终止或延缓系统操作直到平均功率稳定并且在误差范围内,或者可以

修正加工轨迹以适应稳定的平均功率。在一个实施例中,限制器304(图19)检测到可容许振幅范围之外的RF振幅输入,例如小于零或大于预定的最大RF振幅,并提供有限的振幅输出直到所述输入在可容许的范围内。

[0111] 期望的是当从恒定的脉冲激光中选择加工脉冲时,所选择的工作激光脉冲的平均工作周期将基本低于100%,并且无论何时不需要加工激光脉冲或校正激光脉冲时,都能够施加补偿RF脉冲。可以理解的是AO单元的热时间常数大致为数秒,且激光操作在数百KHz,例如在300KHz,在一时间周期内能够以不同的激光脉冲能量需求完成许多不同的加工系统操作,其中所述时间周期小于AO装置的时间常数。

[0112] 因此,在激光加工工作周期未使用部分的过程中间歇传递的补偿RF能量能够有效在整个平均时间周期有效地提供热稳定,其中所述平均时间周期小于装置的时间常数。例如,以200毫米/秒的加工速度,能够在大约0.25秒内通过50毫米的距离。类似地,通常以极大降低激光脉冲能量出现的校正程序可以运行大约几十毫秒。不但在加工轨迹节段时期可以采用未使用的RF脉冲周期来平衡热负荷,也可以用在非加工轨迹节段和非校正轨迹节段(包括重要的加工费用)以平衡热负荷。随着加工工作周期增加,当不足的补偿RF脉冲被用于平衡热负荷时可能出现限制。

[0113] 平均RF功率的最优设定值和由此产生的AO温度的选择可以基于轨迹计划以及沿着该轨迹的预期传输设定值。可以基于其他加工特性确定不同的设定值,这些特性例如是致密加工应用、目标的偏态分布,不同的加工能量水平或类似的加工特性。例如,不同类型的存储装置可以采用不同的设定值,或者设定值可以被设置成对于给定的轨迹而言,使AO装置的温度最大化或最小化,或者可以选择设定值以使热稳定性最大化。通常,利用非传输RF频率,当通过恒定的高脉冲比率RF负载和额外的激光脉冲能量调制器(例如恒定的偏转AOM)对系统进行比较时可以采用较低的设定值以用于如上所述的脉冲能量修正。

[0114] 优选地,采用热稳定偏转器执行激光加工系统的校准。在单独预置平均功率(例如最大RF功率的50%)的情形下进行操作,能够显著改善效率与偏差角和输出脉冲能的修正。利用平均功率的稳定化,偏转温度不依赖于所传递的激光脉冲能量。已经观察到在用于不同激光脉冲能量的在不同(未补偿的)的平均RF功率下,AOBD中透明度与偏转角之间的关系曲线的差可以是大约10%,而当采用恒定的平均功率以便在整个激光脉冲能量范围中使偏转器温度稳定时,这些差减小到大约1%。在一些情况下,单个透明校正曲线在整个激光脉冲能量的范围内是足够的,简化了能量校正。在可变的偏转RF频率和RF振幅中都可以使用精确的修正。

[0115] 此外,有效AOBD热量管理的复杂性包括以不同的目标类型在2维目标区域进行多轴AOBD射束传输和操作。对于采用数个偏转器的2轴射束偏转而言,全部的传输是每个单独装置的传输的总和。此外,不同的2维效果可影响加工并且可能需要不同的能量设定值。例如,加工射束的偏振变化相对于待处理元件的定位可能需要不同的能量设定值。

[0116] 沿着不同的基底轴线的加工可显示出多个偏转器之间的不同传输分解。例如,在十字形区域(如图24A中390所示)或如图24B中392所示的罗经花形区域,其中避免了低传输区域拐角,狭窄的区域具有较高的传输,垂直设置的宽阔区域具有较低的传输,这就导致在整个传输区域产生了命令的脉冲能量。对十字形而言,可以采用沿着每个顺序柱状物的光栅或沿着每个柱状物的任意次序的光栅。通常,有利的是通过柱状物处理的柱状物位于狭

窄的区域内,然而如果多个柱状物与加工区域的形状相匹配,则可以在不按次序的柱状物序列中在不同的柱状物中处理接线。

[0117] 十字形区域可以提高切断精确度,这是因为射束仅仅在具有高偏转精确度的区域中偏转。由于射束不偏转向方形区域的拐角,因此可以提高切断的精确度。在十字形或罗经花形区域可以处理多排行序。对于罗经花形,较大的组合的x-y偏移可以用在中心附近,较小的组合的x-y偏移逐渐移向每个轴线的极值。

[0118] 在成形区域,随着加工方向的改变,高传输效率任务和低传输效率任务与相对于加工方向的狭窄区域的轴线和宽阔区域的轴线的定位是相反的。这可能导致相反的命令传输分解,同时在两个连续装置之间的保持整个射束传播的恒定。例如,当沿着平行于x轴的一行加工时,x轴偏转器可具有窄的高效偏转范围,y轴偏转器可具有宽的低效范围。当平行于y轴进行加工时,产生相反的作用,即x轴偏转器是宽的低效范围,y轴是窄的高效范围。因此,即使在单独的加工操作过程中,尽管保持了恒定的传输脉冲能量,但在单独的AOBD装置中命令的传输可能会改变,并且AOBD装置上的热负荷可能会显著改变。

[0119] 特定实施例的某些方面可以实践于单独路径光学系统中,在该光学系统中所有偏转的射束都入射在相同的光学部件组上。在单独路径系统中,偏转射束可以从光学路径的轴线偏移,沿着非共线射束轴传播,但是一般每个射束都是沿着相同的方向以同样的次序在光学路径轴线附近传播通过共同的光学元件。

[0120] 非共线的射束通常相对于激光加工透镜入射光瞳集中,从而定位在视场中的每个目标位置上的射束是焦阑的。如图25所示,在入射光瞳430处,每个偏转的射束将沿着一矢量方向传播,且该矢量方向具有相对于透镜光轴的方位角和仰角。于阵列处在透镜的焦平面处形成的激光光斑432、434(通常为衍射受限的激光束腰部)偏离于透镜光轴,该透镜光轴具有对应于方位角的方向和对应于透镜焦距乘以仰角的径向距离。射束定位系统可包括用于射束对准的各种调节器,其中所述射束对准是使射束与加工透镜436的入射光瞳的中心对准。

[0121] 尽管上述实施例是就单一的脉冲接线加工进行描述的,但本发明的系统还可以用在接线烧断(link blowing)的系统中,该系统向每个接线施加多个脉冲以用于切断接线。图26示出了向每个接线施加两个脉冲的串或序列440的系统。在该实施例中,控制器444用于使脉冲选择器442为接线加工选择脉冲组444,446而不是单独的脉冲。在一些实施例中,激光本身产生单独的脉冲串,其中在脉冲串中脉冲与脉冲的间隔远短于脉冲串之间的间隔。在这些实施例中,脉冲选择器442有选择地让脉冲串通过或阻挡脉冲串。其他已知的实施例采用多重激光或分解和重组的脉冲来制造各种施加给待加工接线的激光能量的强度曲线。因此,将理解的是本文涉及向待加工的目标结构施加脉冲的所有讨论包括施加一系列脉冲、脉冲组、组合脉冲或脉冲串,或者任何其他辐射强度曲线以用于执行完整的或局部的目标加工的功能。在许多实施例中,脉冲选择器442是声光调制装置,也可以是电光开关、快速操纵反射器或任何其他类型的具有足够速度和精确度的光学开关。

[0122] 关于高速偏转器的使用以及参照图27,可参见如前所述并入本文的美国专利申请公开No. 2009/0095722,特别是参见图19和包括第0130-0146段的相应段落。

[0123] 每个传输RF脉冲的最短持续时间由穿过AOBD声音窗口的声音通过时间确定。该RF脉冲持续时间对应于最短的激光脉冲重复周期和最高的激光脉冲重复率。为了减少激光脉

冲的重复率,可以减少RF的工作循环,同时保持最短的RF脉冲持续时间。可以将RF脉冲持续时间延长至激光脉冲的重复周期,将该延长的RF脉冲持续时间设置成脉冲间的时间间隔,从而提高了给定RF脉冲的脉冲功率。此外,该RF脉冲持续时间的延长还可以用于非传输RF脉冲以进一步稳定AOBD。在一些情况下,非传输时间位移(time-displaced)的RF脉冲也是可行的,然而当用于连续RF脉冲的RF的工作循环超过50%时,这是困难的。在某种程度上,通过增加非传输RF脉冲的RF振幅以及缩短非传输RF的持续时间,时间位移的RF脉冲可以使用少于工作循环的50%。

[0124] 例如当RF脉冲的持续时间是激光重复周期的2/3时,在工作循环的未工作的1/3中以100%的RF振幅施加额外的RF脉冲或RF脉冲延长,以及附加的RF脉冲能量将对应于整个正常的2/3周期的50%的RF振幅。减少的激光脉冲重复率可对应于减小的轨迹速度,并且处理减慢以提供热稳定化,例如当平均热负荷的均匀程度不足以在最大的激光PRF下实现稳定时。

[0125] 因此按照不同的实施例,本发明提供了一种利用热稳定的声光射束偏转器进行激光加工的方法。该方法包括步骤:生成与一系列激光脉冲对应的一系列RF脉冲,所述激光脉冲具有一激光脉冲重复率,所述RF脉冲包括用于使该系列激光脉冲偏转向各自的传输方向和非传输方向的在传输RF频率下的传输RF脉冲和在非传输脉冲频率下的非传输脉冲,每个RF脉冲包括RF频率、RF振幅和持续时间;控制每个RF脉冲使得该系列RF脉冲提供调制RF驱动信号,该RF驱动信号被调制以在声光偏转器上形成平衡的热负荷;向声光偏转器施加调制的RF驱动信号;以及利用使用调制的RF驱动信号的声光偏转器使至少一个激光脉冲偏转,以使用预定的脉冲能量照射选定的目标位置。

[0126] 在进一步的实施例中,控制每个RF脉冲的步骤还包括控制每个RF脉冲的振幅和持续时间。在进一步的实施例中,每个RF脉冲的持续时间包括激光重复率下的至少50%的工作循环。在进一步的实施例中,所述激光脉冲的重复率大约为100KHz。在进一步的实施例中,每个传输RF脉冲的持续时间是最短的持续时间,其对应于包括基本100%的工作循环的有效的激光脉冲传输,借此使激光脉冲重复率最大化。

[0127] 在进一步的实施例中,所述激光脉冲重复率大约为300KHz。在进一步的实施例中,控制每个RF脉冲的持续时间的步骤包括在激光重复率下使产生的RF脉冲各自的工作循环在50%至100%的范围内生成RF脉冲,以及控制非传输RF脉冲的持续时间以便向声光偏转器提供平衡的热负荷。在进一步的实施例中,调制的驱动信号提供基本恒定的平均RF功率以便使声光射束偏转器热稳定。

[0128] 在进一步的实施例中,控制步骤还包括在相应的激光脉冲触发之前定时连续的RF脉冲的生成,以计算在声光偏转器中的传播延迟,以及包括调制RF脉冲振幅以便在偏转器中同时传播多振幅调制的声音脉冲。在进一步的实施例中,调制RF脉冲振幅的步骤提供了至少2个具有不同RF脉冲能量的非传输RF脉冲,以使所述声光射束偏转器热稳定。在进一步的实施例中,调制RF振幅的步骤提供了至少2个具有不同RF脉冲能量的传输RF脉冲。

[0129] 在进一步的实施例中,该方法还包括步骤:存储RF功率参考值,预测施加给声光射束偏转器的平均RF功率,将预测值与参考值对比,以及基于比较结果确定至少一个相应非传输RF脉冲的RF脉冲能量。

[0130] 在进一步的实施例中,该方法还包括步骤:存储校正表值,该校正表值用于表示偏

转器RF频率的整个传输范围内偏转器的光传输与偏转RF频率之间的关系,其中控制步骤包括基于偏转频率和相应的存储的校正表值调制传输RF脉冲的振幅。

[0131] 在进一步的实施例中,该方法还包括操作激光加工系统,从而相对于偏转的激光束移动基底,以及在预定的激光脉冲能量公差内向基底上的选定的目标位置传输补偿的激光脉冲能量。在进一步的实施例中,该方法还包括当计算出的声光射束偏转器的RF功率超过预定的容错时停止激光加工。

[0132] 按照进一步的实施例,本发明提供了一种向声光射束偏转器提供热稳定性的方法。该方法包括步骤:向声光射束偏转器提供传输RF脉冲以便声光射束偏转器指引加工激光脉冲沿着终止于目标基底的光路;以及向声光射束偏转器提供非传输RF脉冲以便声光射束偏转器指引非加工激光脉冲沿着光路,所述光路终止于没有到达目标基底的位置,其中每个非传输RF脉冲具有的脉冲特性被选择向声光射束偏转器提供热稳定性。

[0133] 在进一步的实施例中,所述脉冲特性是非传输RF脉冲的振幅。在进一步的实施例中,所述脉冲特性是非传输RF脉冲的频率。在进一步的实施例中,所述脉冲特性是非传输RF脉冲的脉冲宽度。

[0134] 在进一步的实施例中,该方法还包括监控声光射束偏转器中的RF功率以便提供非传输RF脉冲的脉冲特性的步骤。在进一步的实施例中,该方法还包括监控声光射束偏转器上的热负荷以便提供非传输RF脉冲的脉冲特性的步骤。在进一步的实施例中,该方法还包括监控声光射束偏转器的温度以便提供非传输RF脉冲的脉冲特性的步骤。

[0135] 在进一步的实施例中,本发明提供了热稳定的高速激光加工系统,用于按照激光加工顺序在激光加工区域内将激光脉冲偏转向选定的目标。该系统包括:控制器,用于执行一系列激光加工指令以及用于使系统部件热稳定,所述指令包括在激光加工区域内与激光脉冲位置相关的已传递的激光脉冲能量的指令和已传递的激光脉冲位置的指令,所述控制器响应于所述激光加工指令产生一个或多个偏转器控制信号以便使至少一个系统部件热稳定;以及至少一个RF信号发生器,该信号发生器被配置用于接收偏转器控制信号和产生各自的RF驱动信号,每个RF驱动信号包括一系列传输脉冲和非传输脉冲,每个传输RF脉冲的特征在于具有与激光加工区域内的所选定的目标坐标相对应的预定传输频率以及具有各自的预定热负荷,每个非传输RF脉冲的特征在于具有各自的非传输频率和各自的补偿热负荷,借此每个RF驱动信号在至少一个声光调制器中提供了传输RF脉冲和补偿的非传输RF脉冲的稳定的热负荷;其中所述至少一个声光调制器被配置用于接收相应的RF驱动信号以及按照激光加工顺序偏转激光脉冲,从而利用预定的激光脉冲能量照射预定的目标坐标。

[0136] 在进一步的实施例中,每个RF脉冲的特征还在于具有响应于偏转器控制信号的RF振幅。在进一步的实施例中,所述控制器还包括用于预先确定每个RF脉冲的热负荷估计值的装置。在进一步的实施例中,所述控制器还包括基于所选定的目标坐标和相关联的预定RF振幅校正系数,将指令的脉冲能量转化成相应的校正过的RF振幅的装置。

[0137] 在进一步的实施例中,所述控制器还包括基于经过计算的RF功率与预定值的比较生成热平衡偏转器控制信号的装置。在进一步的实施例中,所述RF信号发生器还包括RF功率放大器。在进一步的实施例中,所述系统还包括RF电缆和用于将RF功率从RF功率放大器传递给声光偏转器的阻抗匹配部件。

[0138] 在进一步的实施例中,所述声光温度是稳定的经提高的温度。在进一步的实施例

中,所述稳定的热负荷包括基本恒定的RF功率。在进一步的实施例中,所述控制器包括用于改变热负荷的RF脉冲宽度调制装置。在进一步的实施例中,所述控制器包括用于改变热负荷的RF脉冲振幅调制装置。在进一步的实施例中,所述控制器包括经配置的FPGA。

[0139] 本领域技术人员将认识到在不脱离本发明精神和范围的情形下可以对上述实施例进行多种修改和变化。

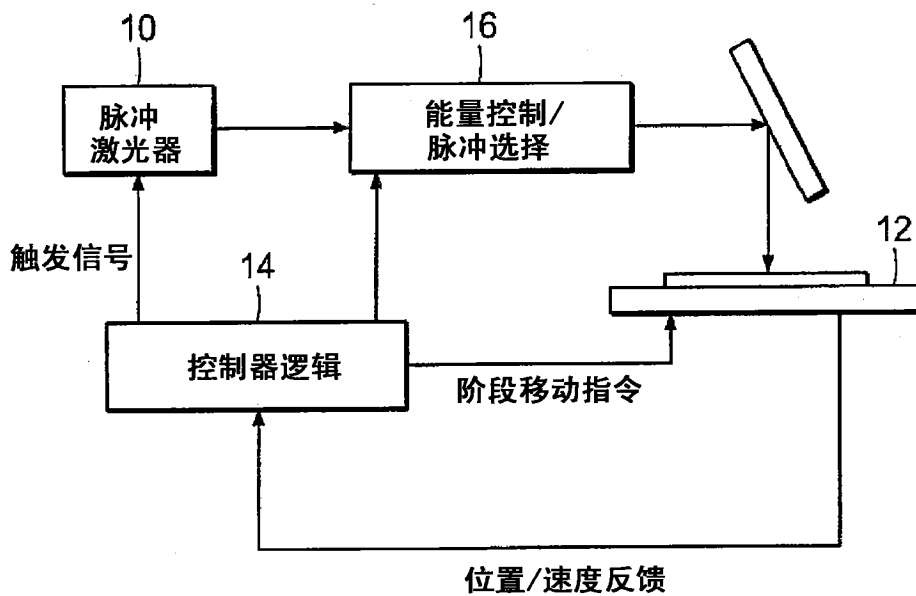


图1

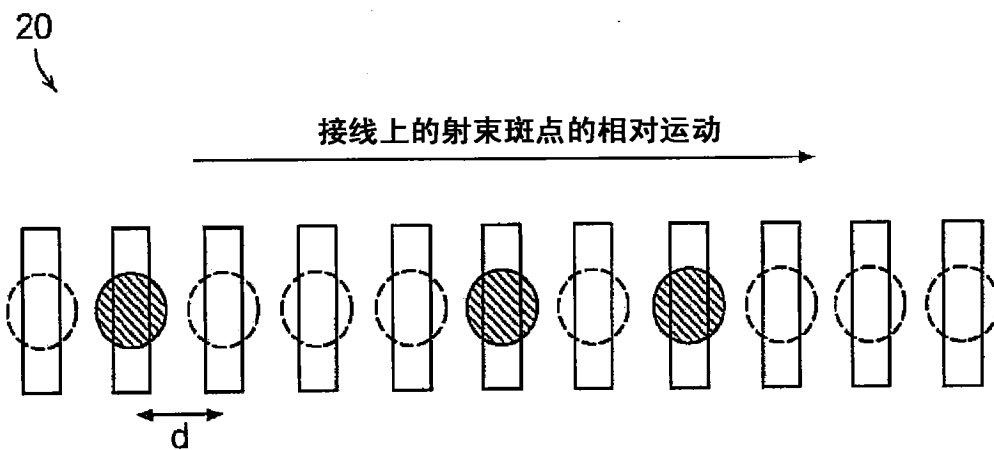


图2

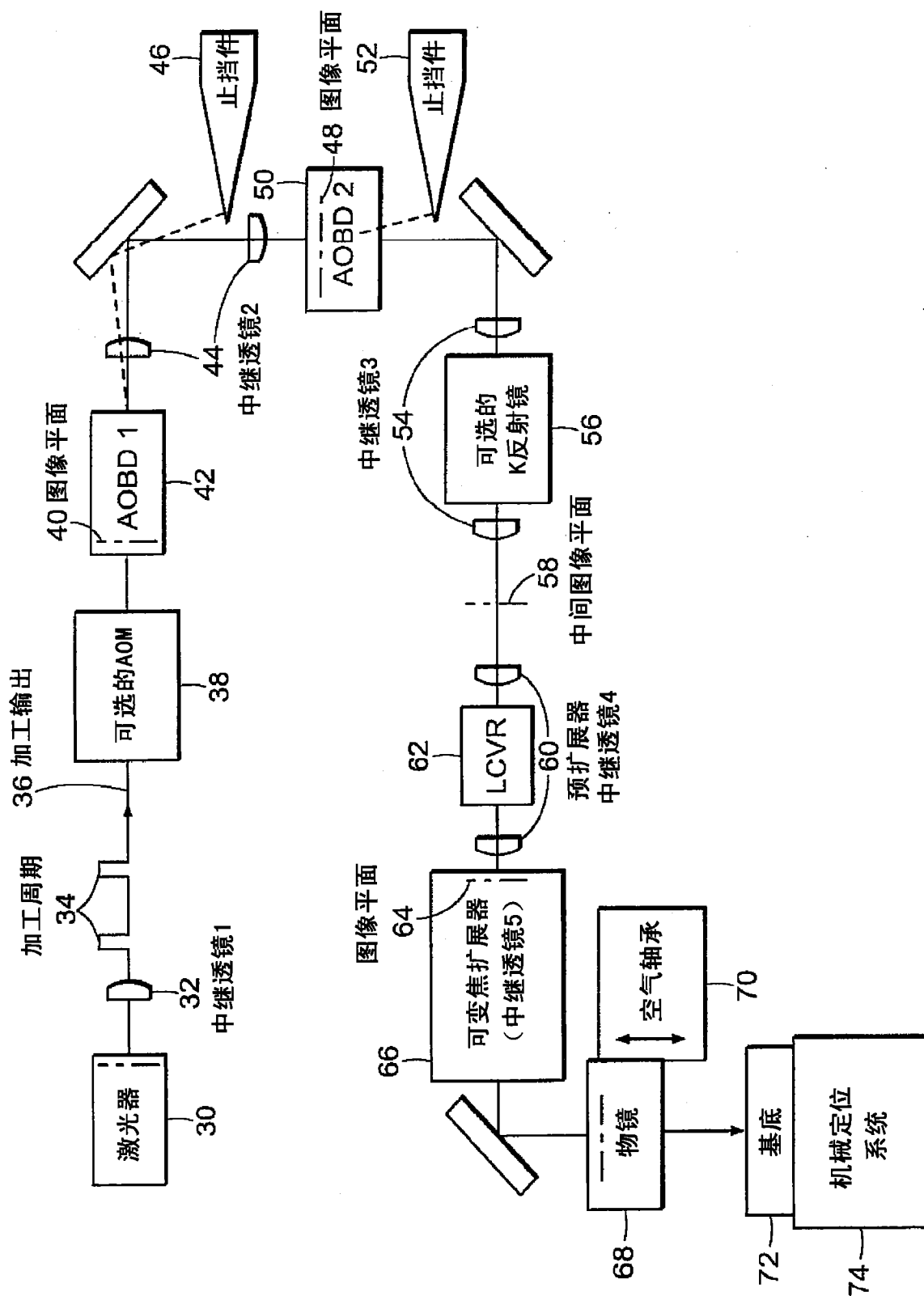


图3

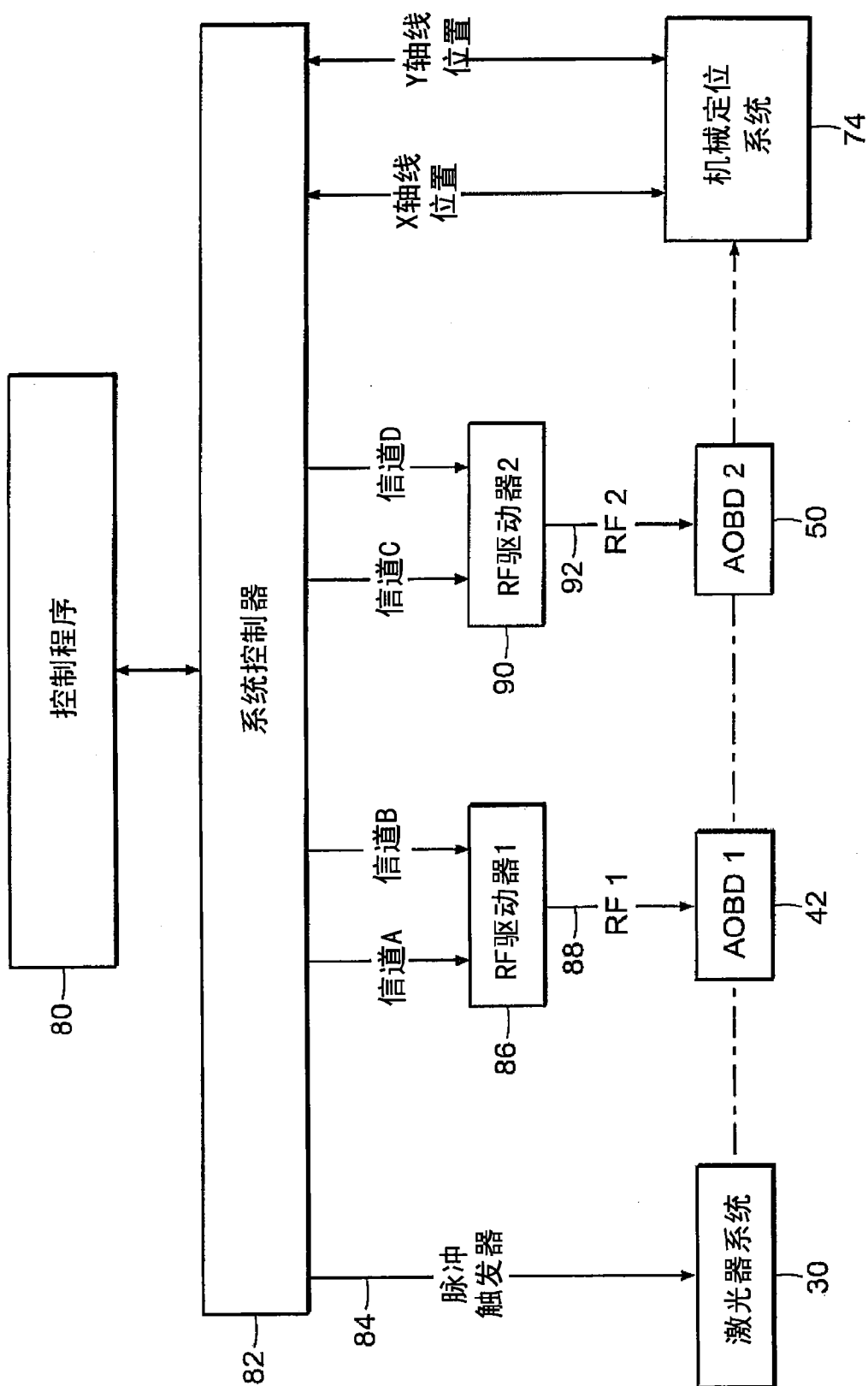


图4

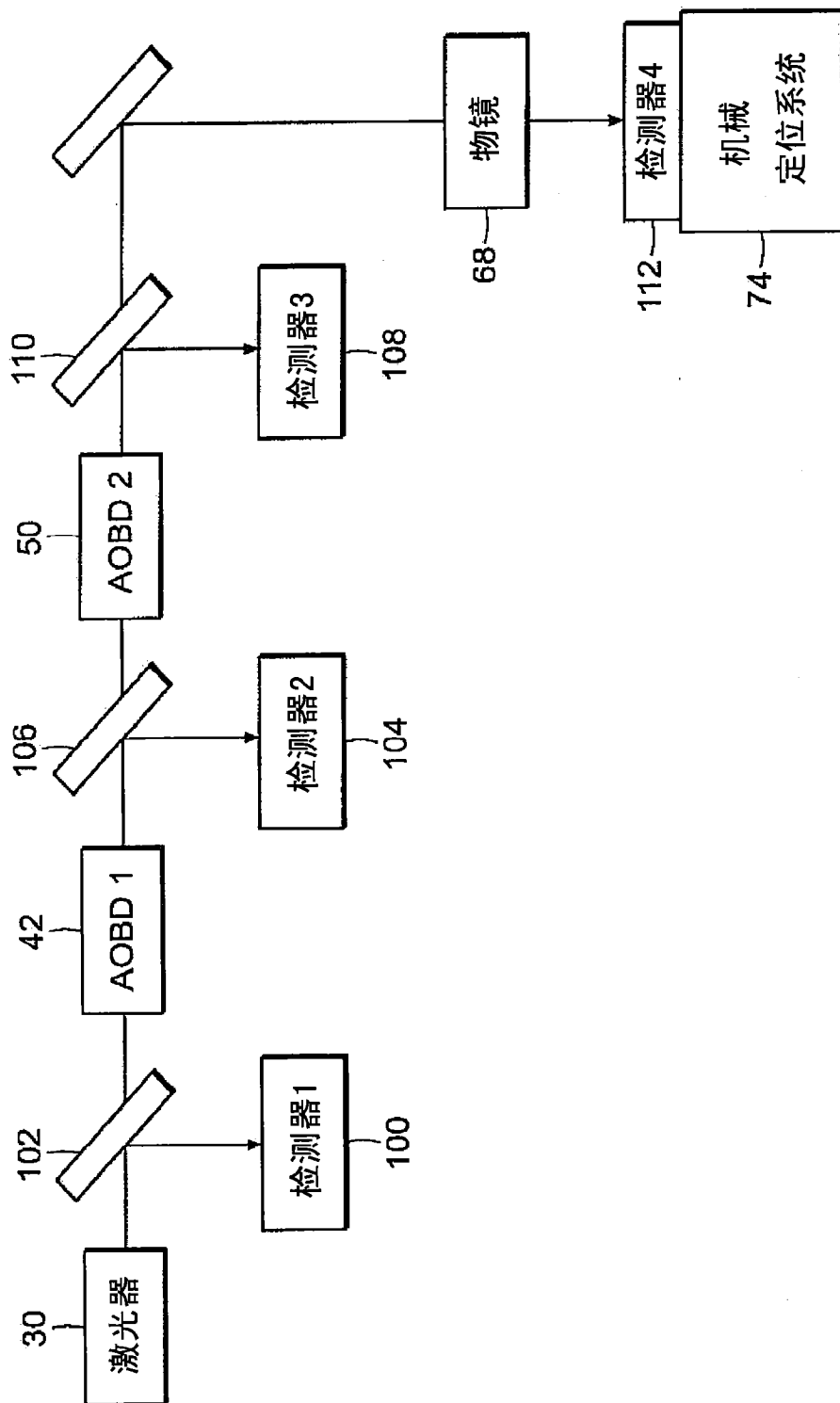


图5

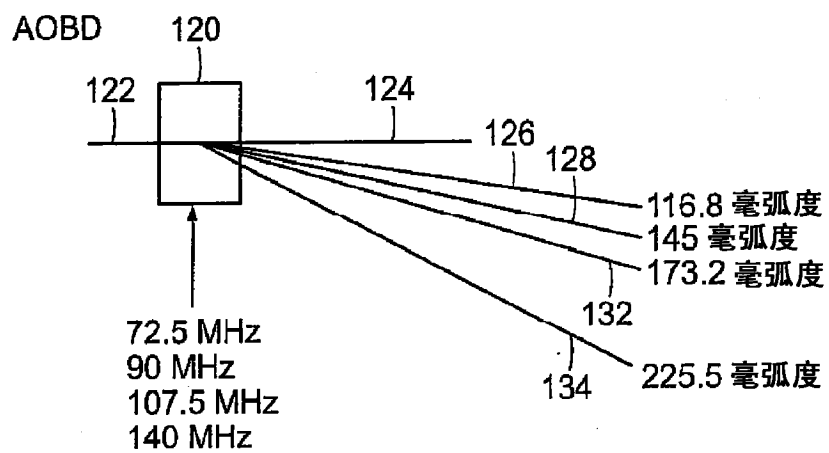


图6

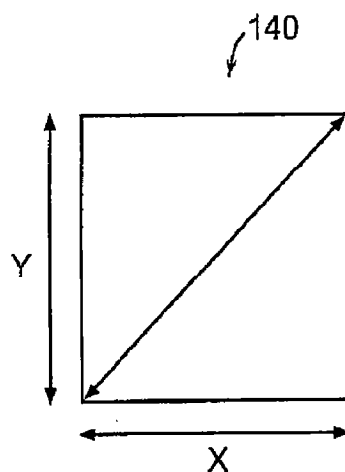


图7A

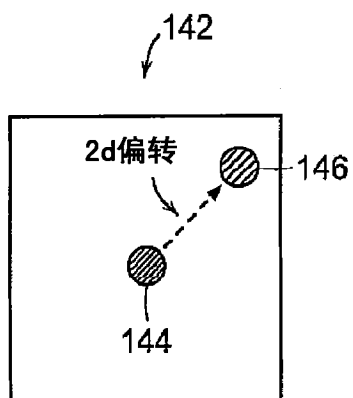


图7B

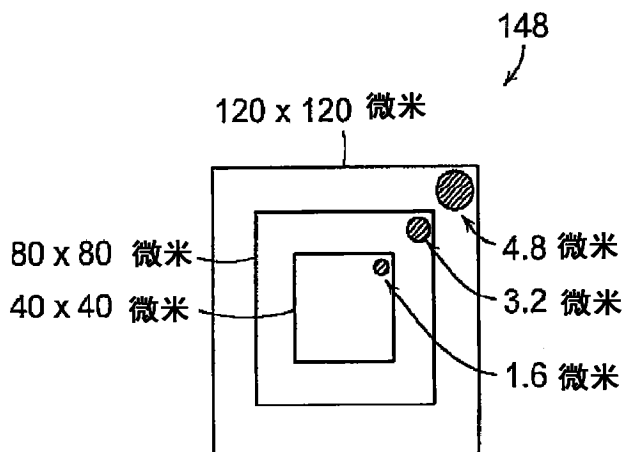
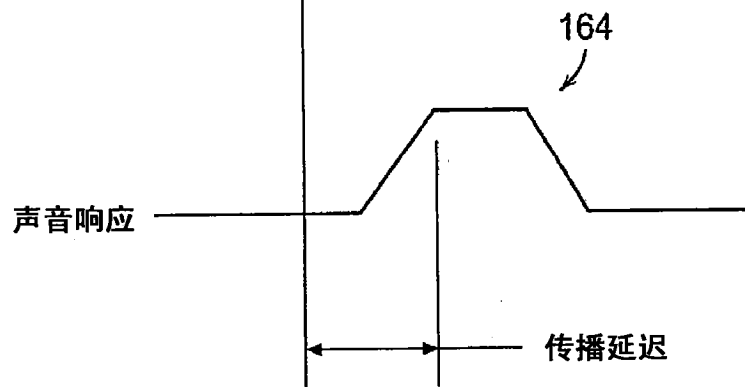
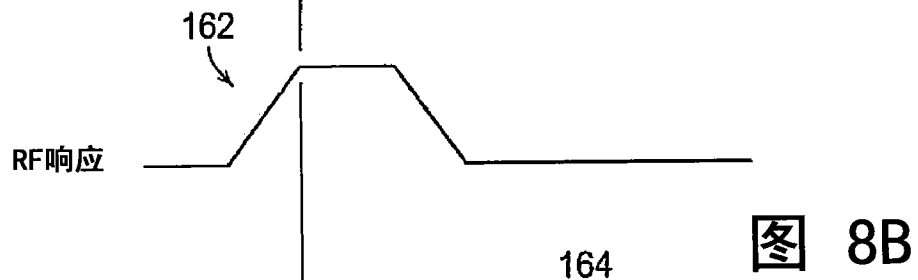
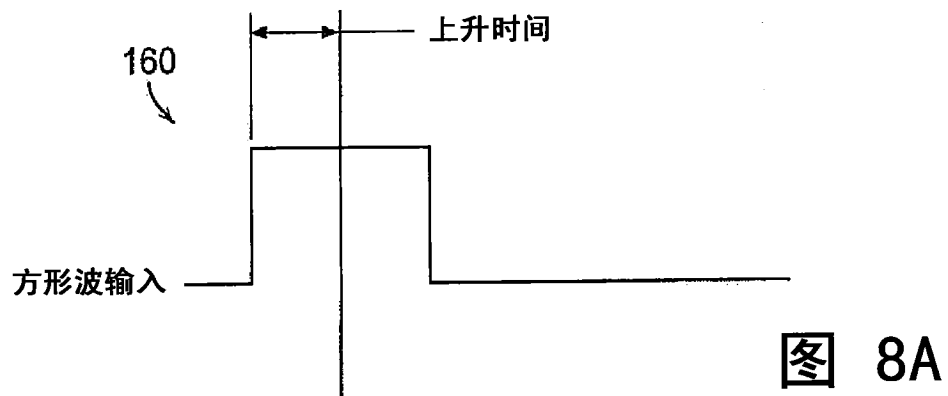
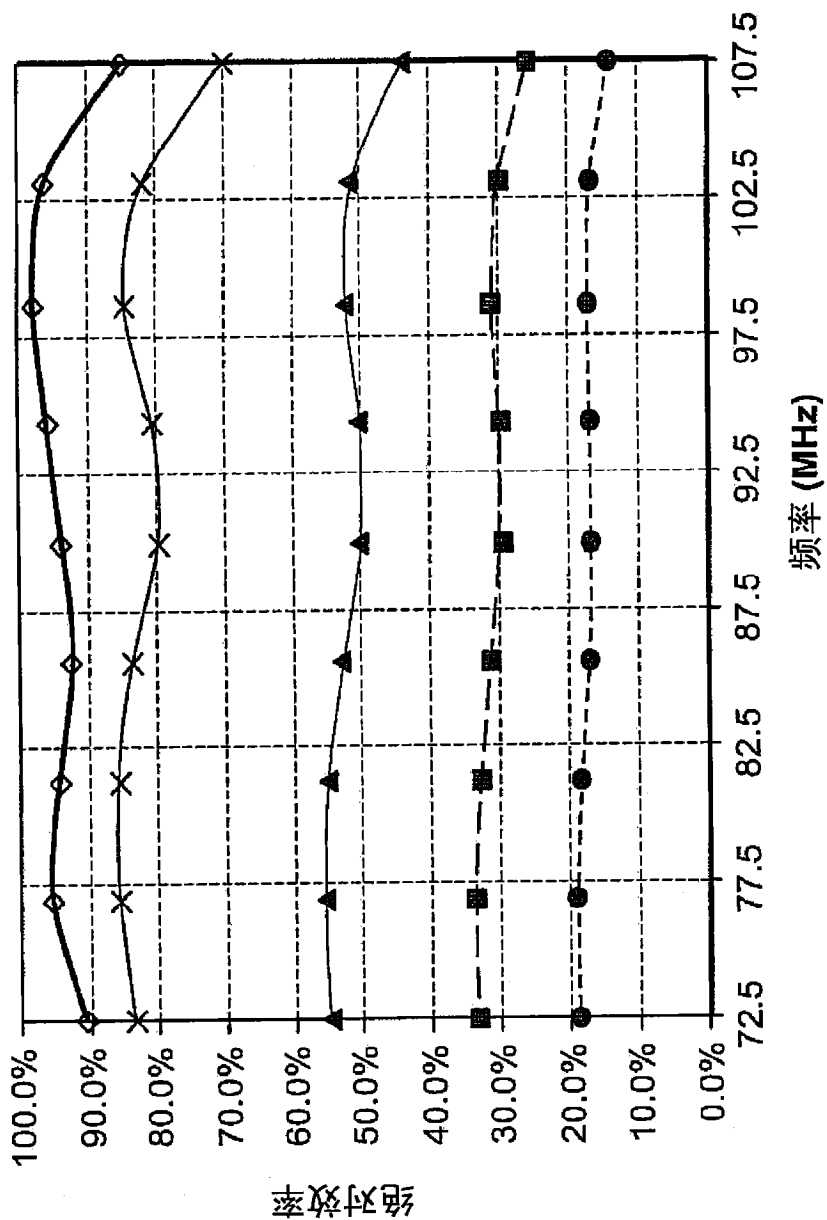


图7C



166 ↗



RF功率

—◇— 1.50W —×— 0.80W —▲— 0.39W —■— 0.20W —●— 0.11W

图9A

168

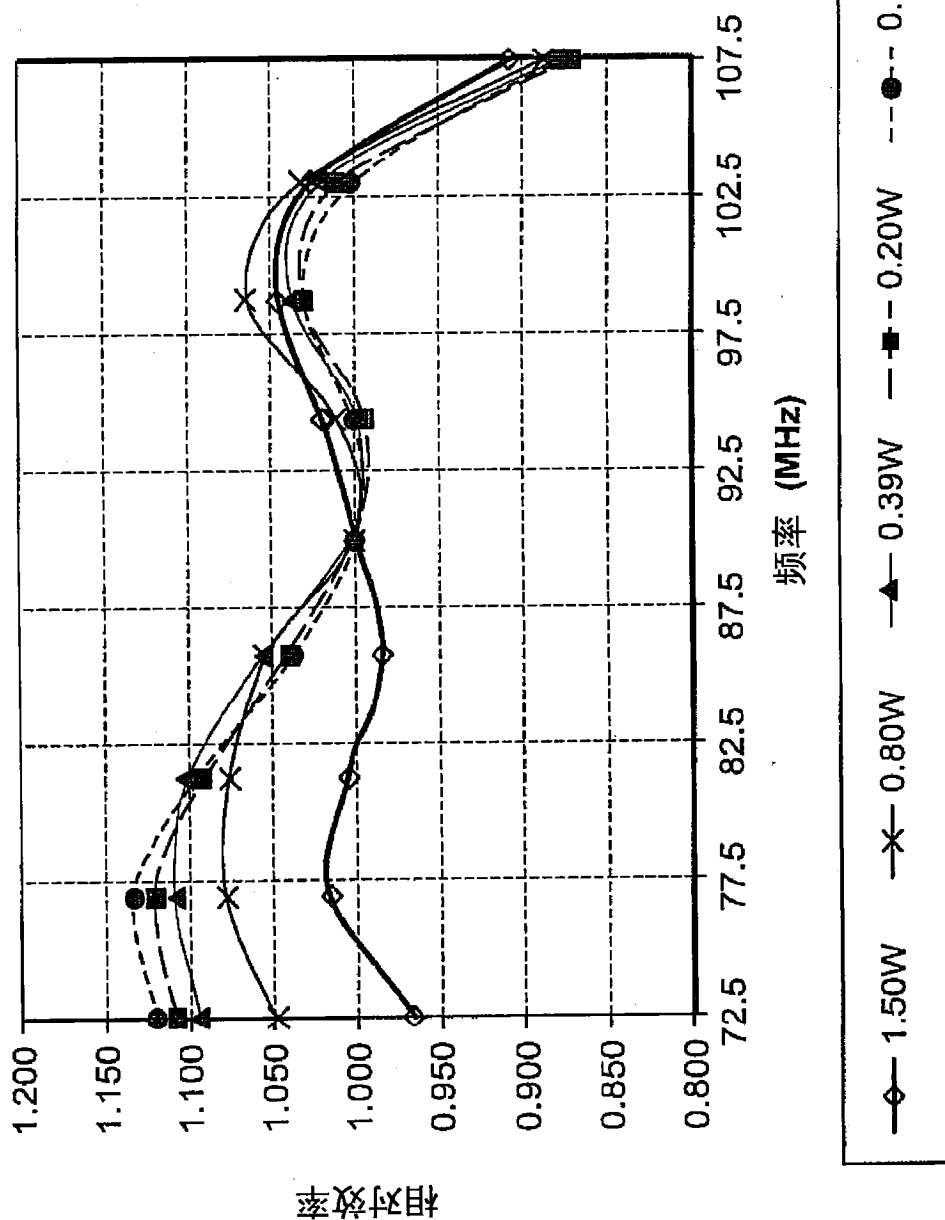


图9B

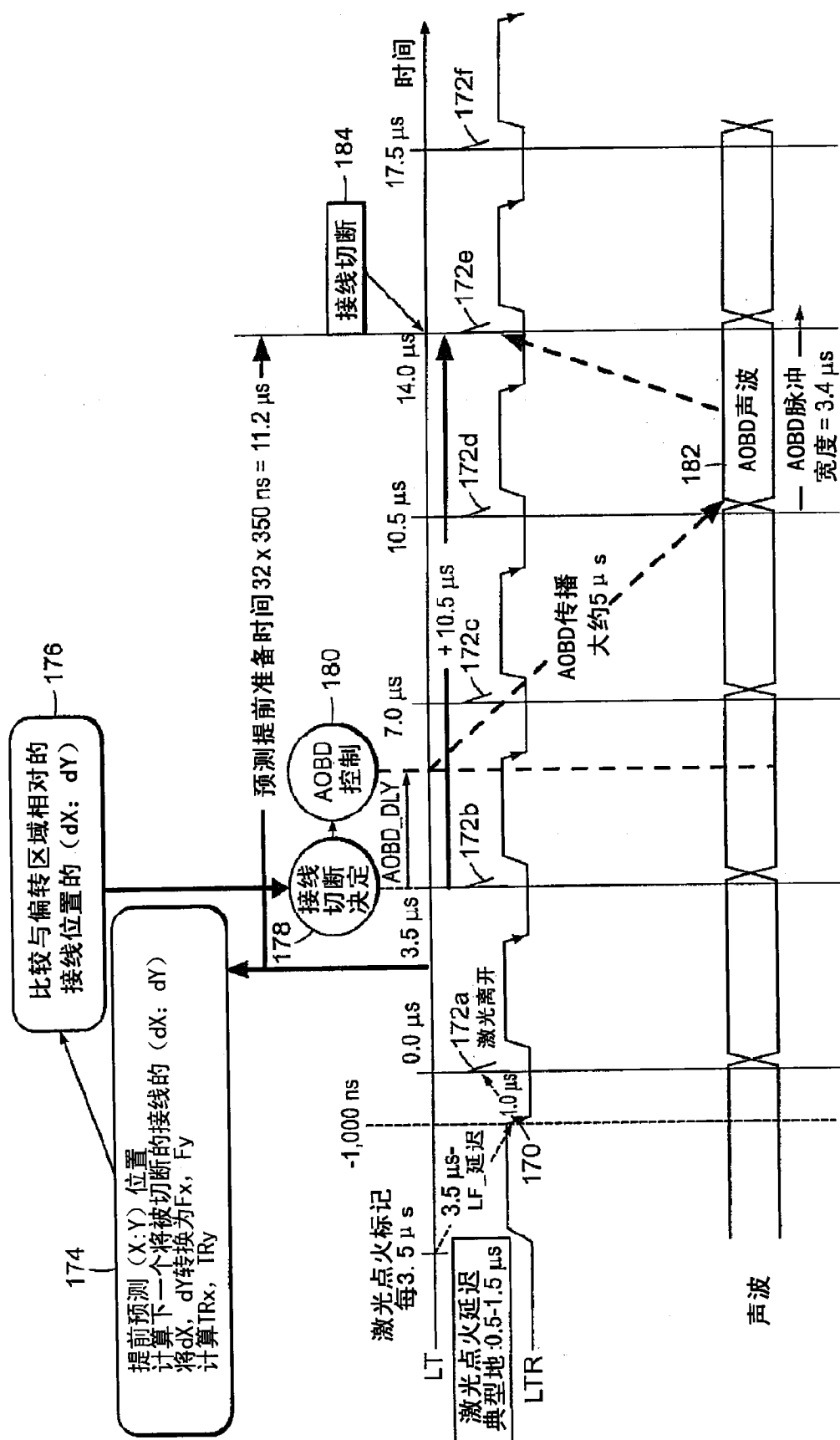


图10

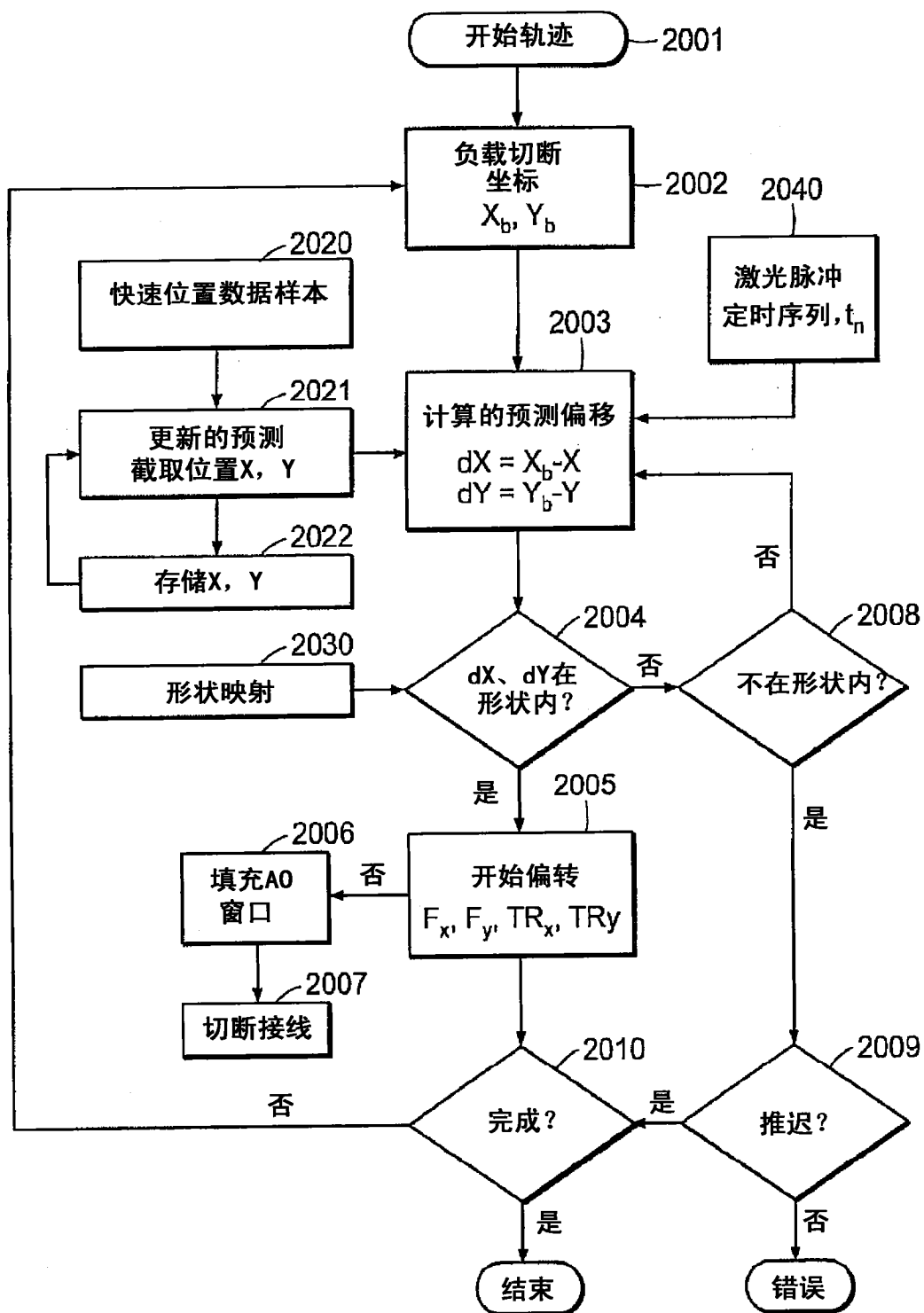


图11

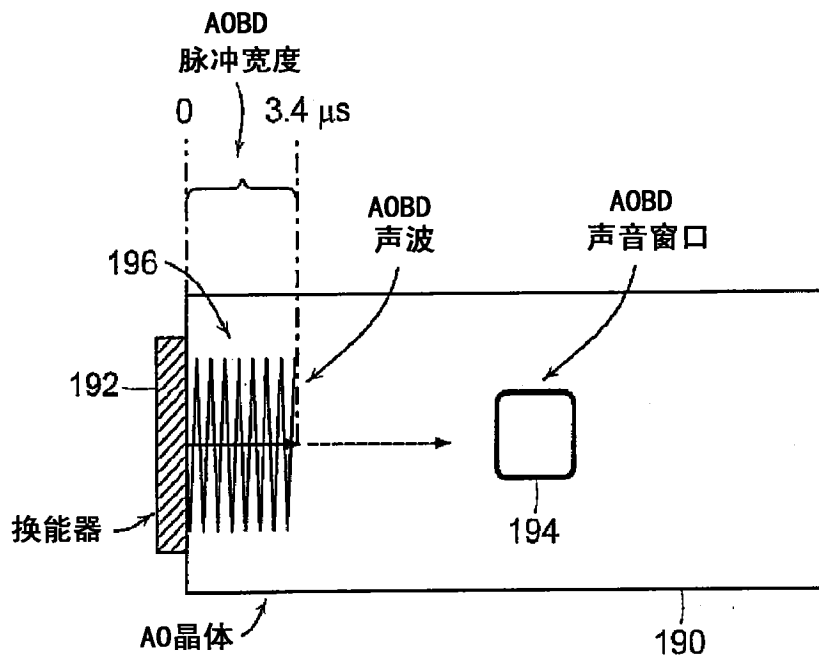


图12A

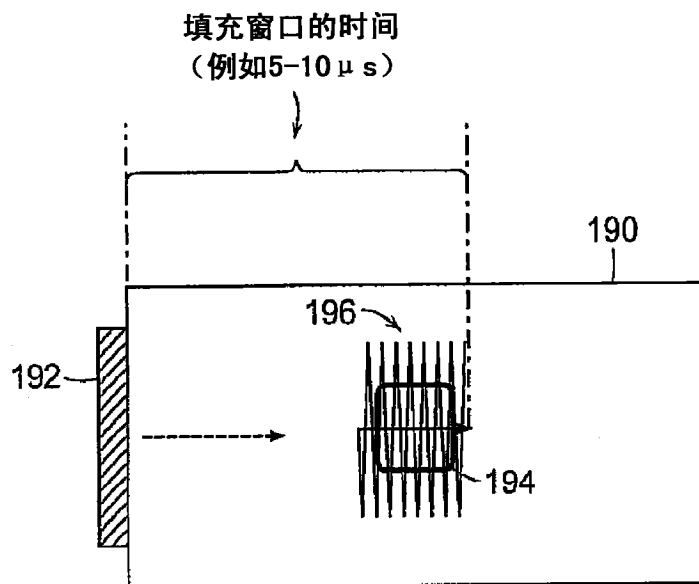


图12B

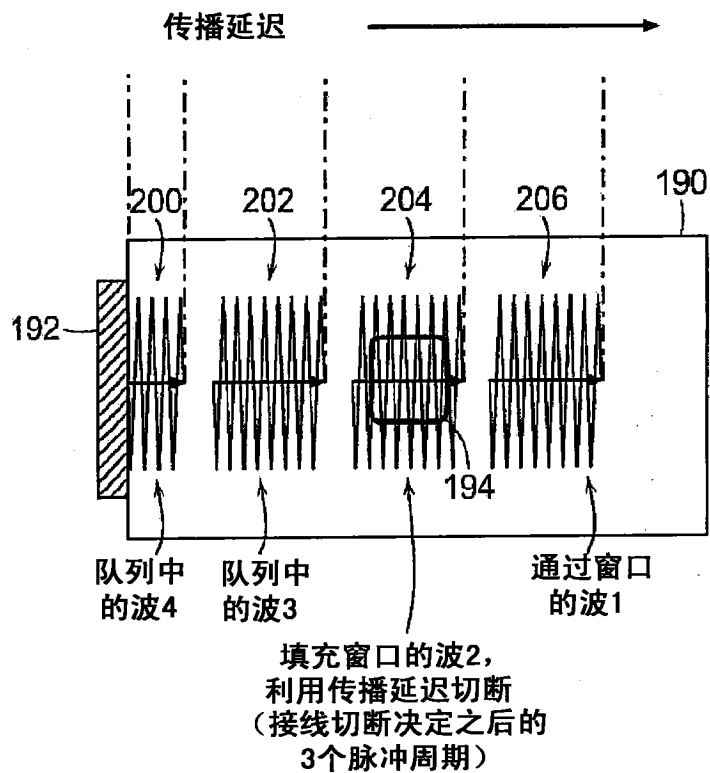


图13

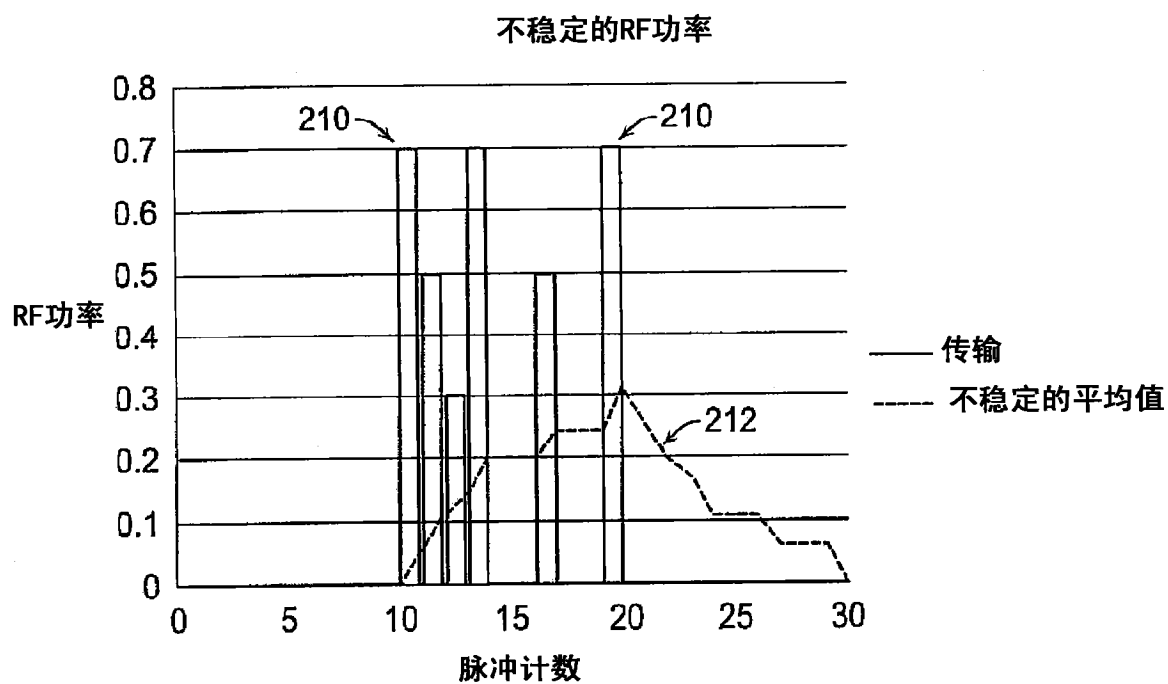


图14

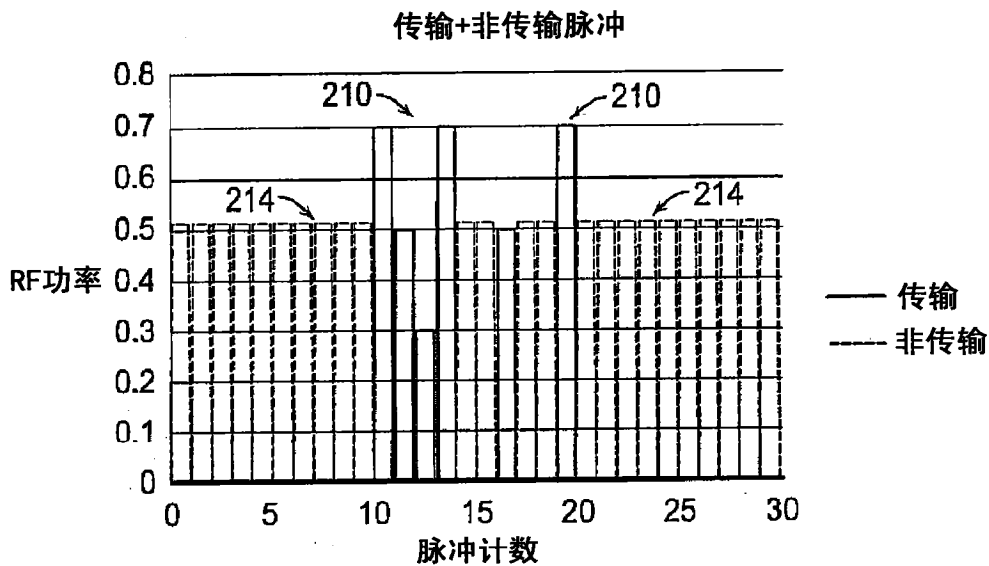


图15

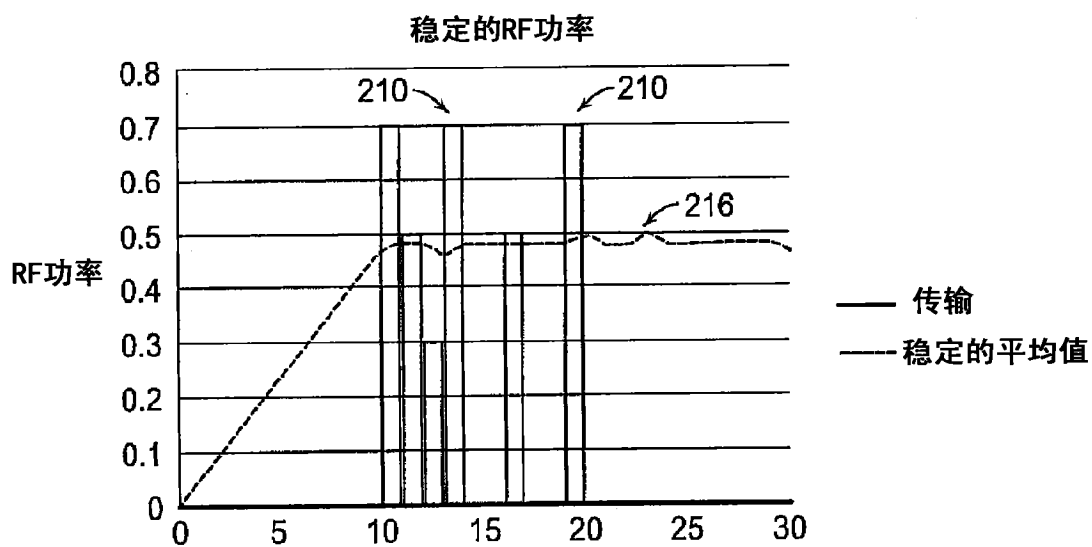


图16

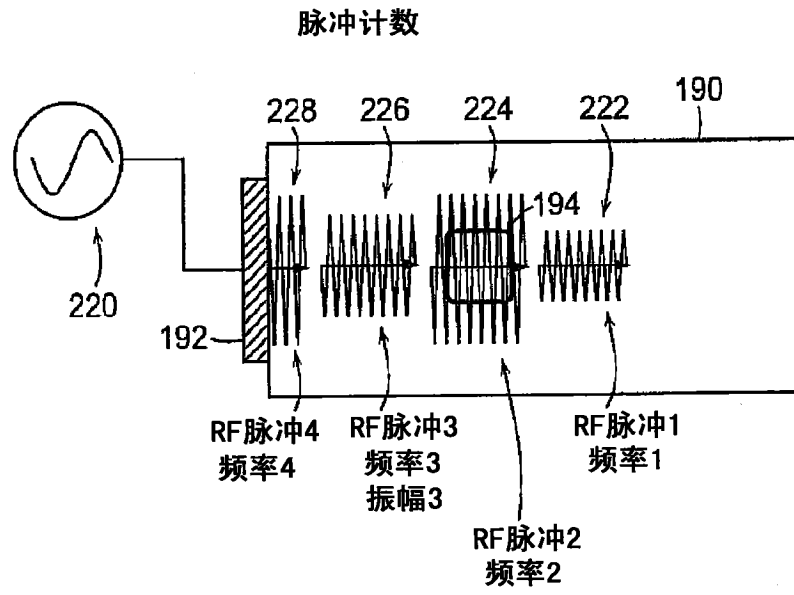


图17

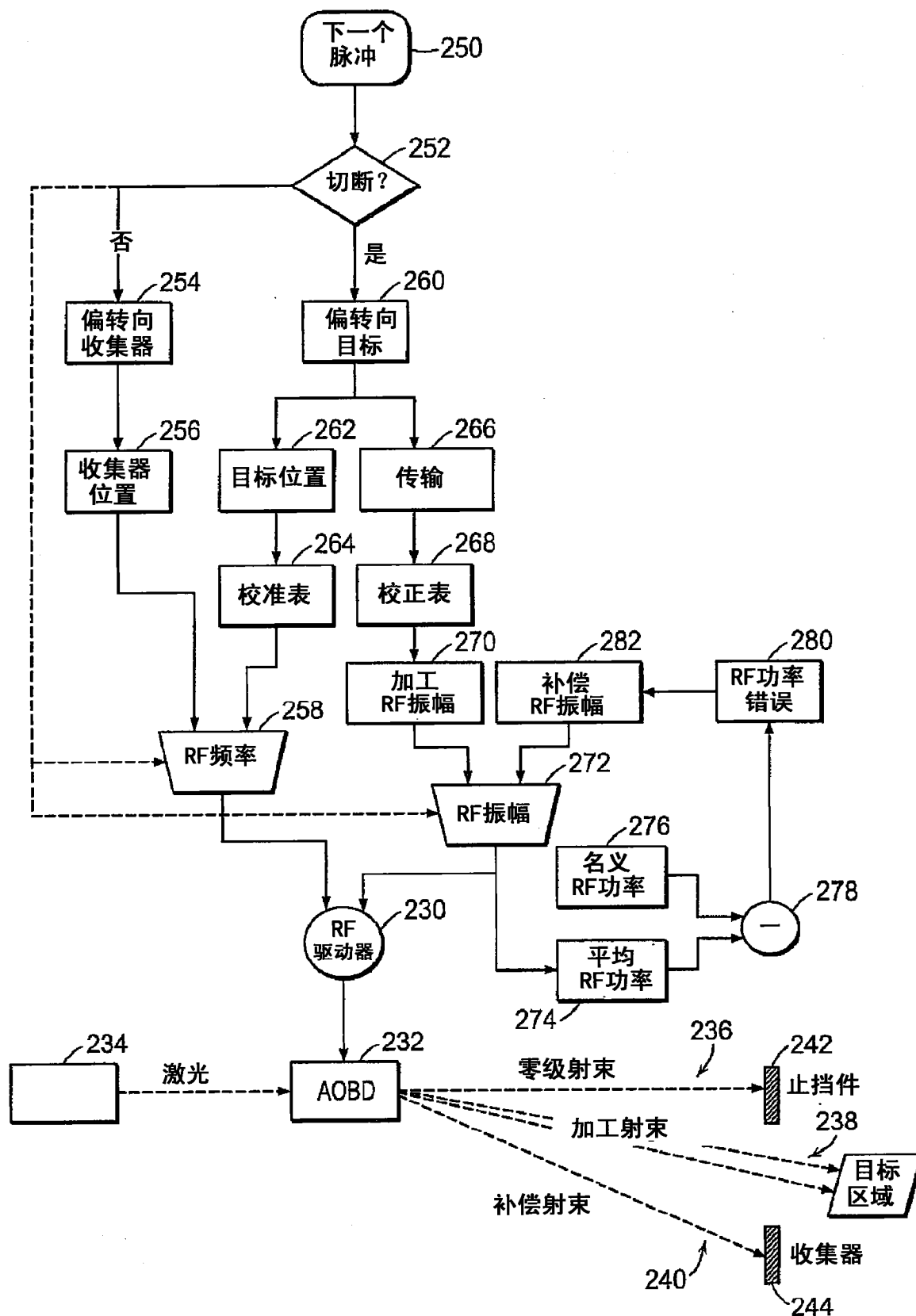


图18

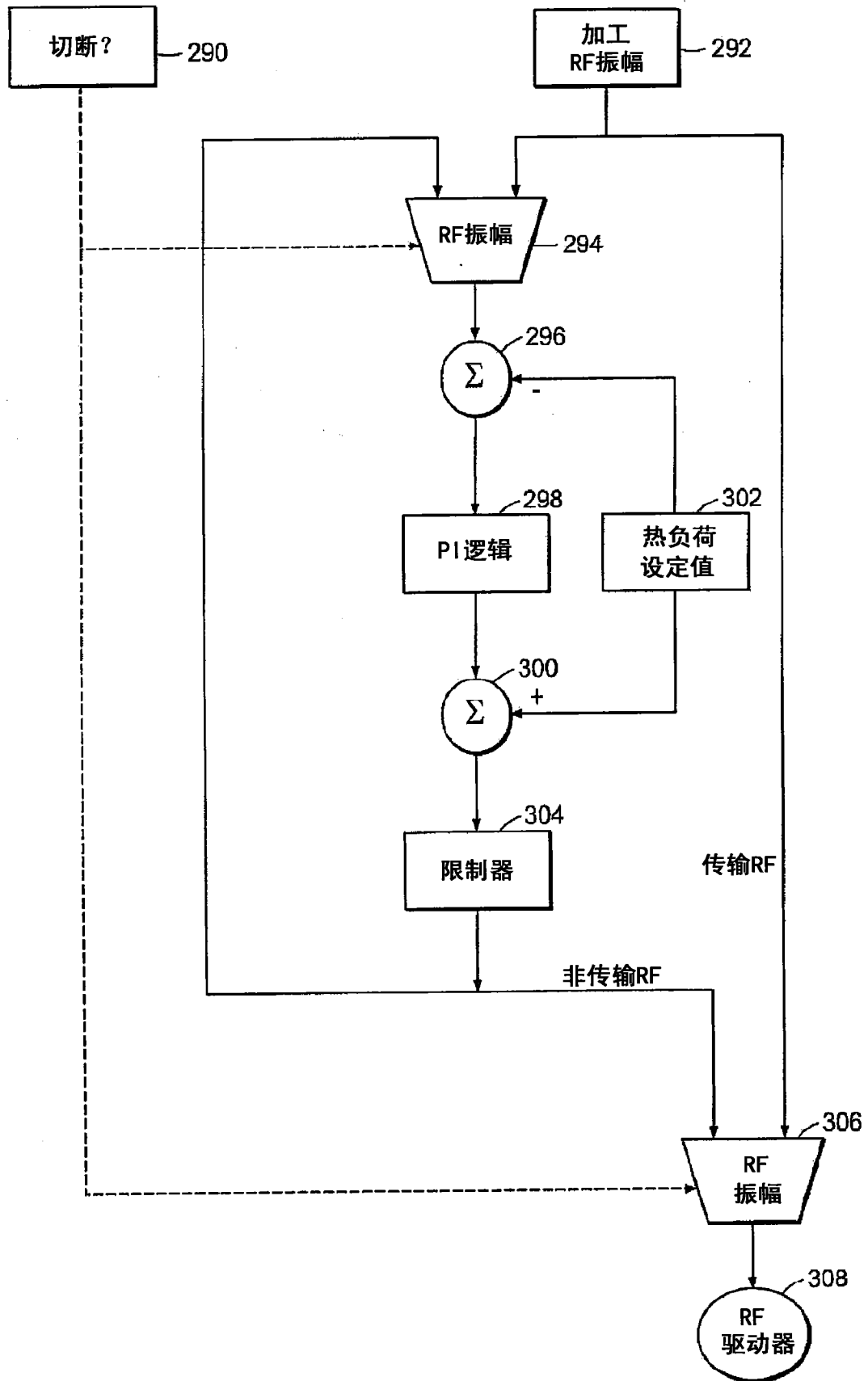


图19

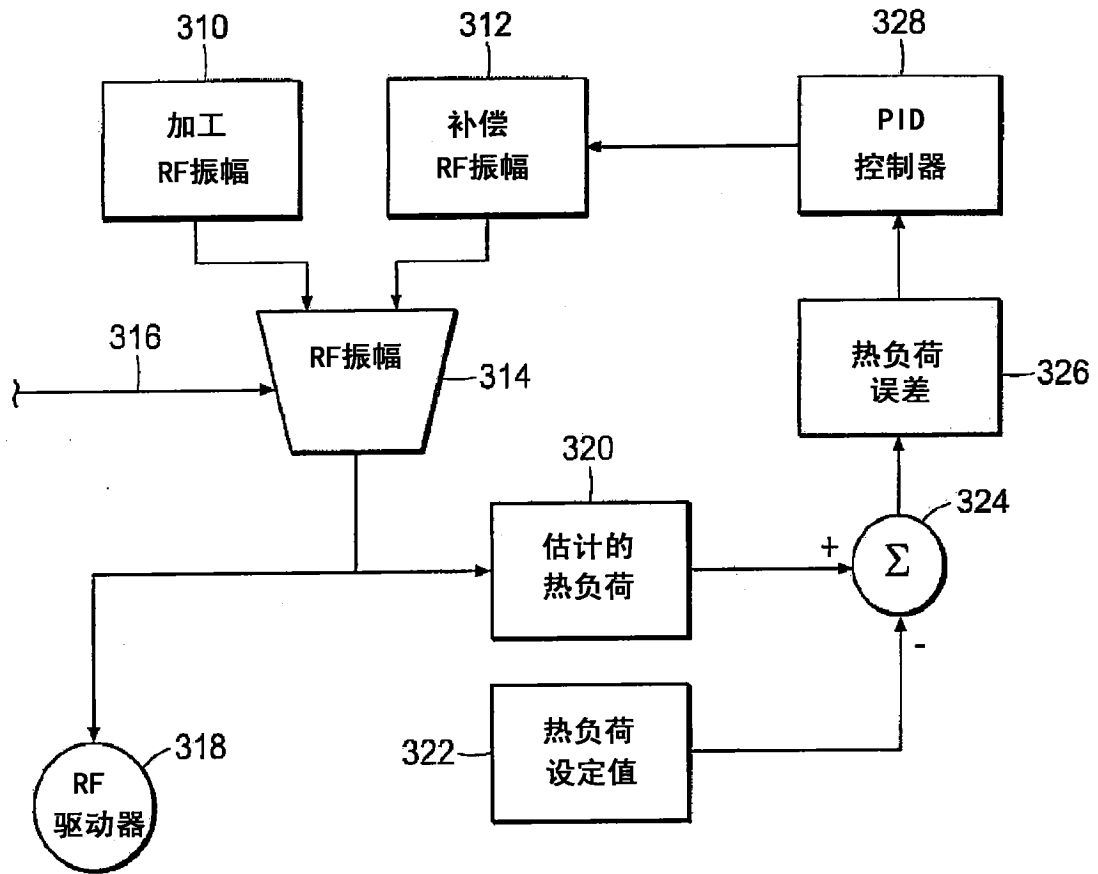


图20

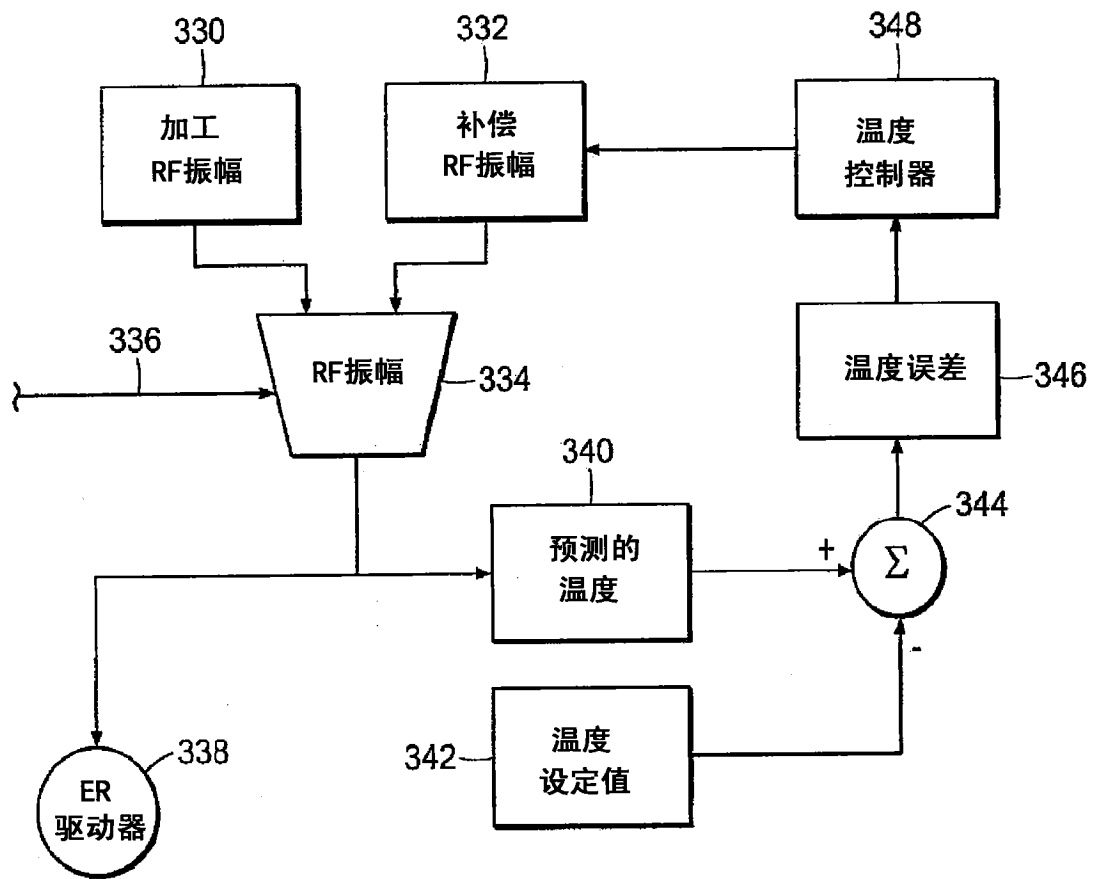


图21

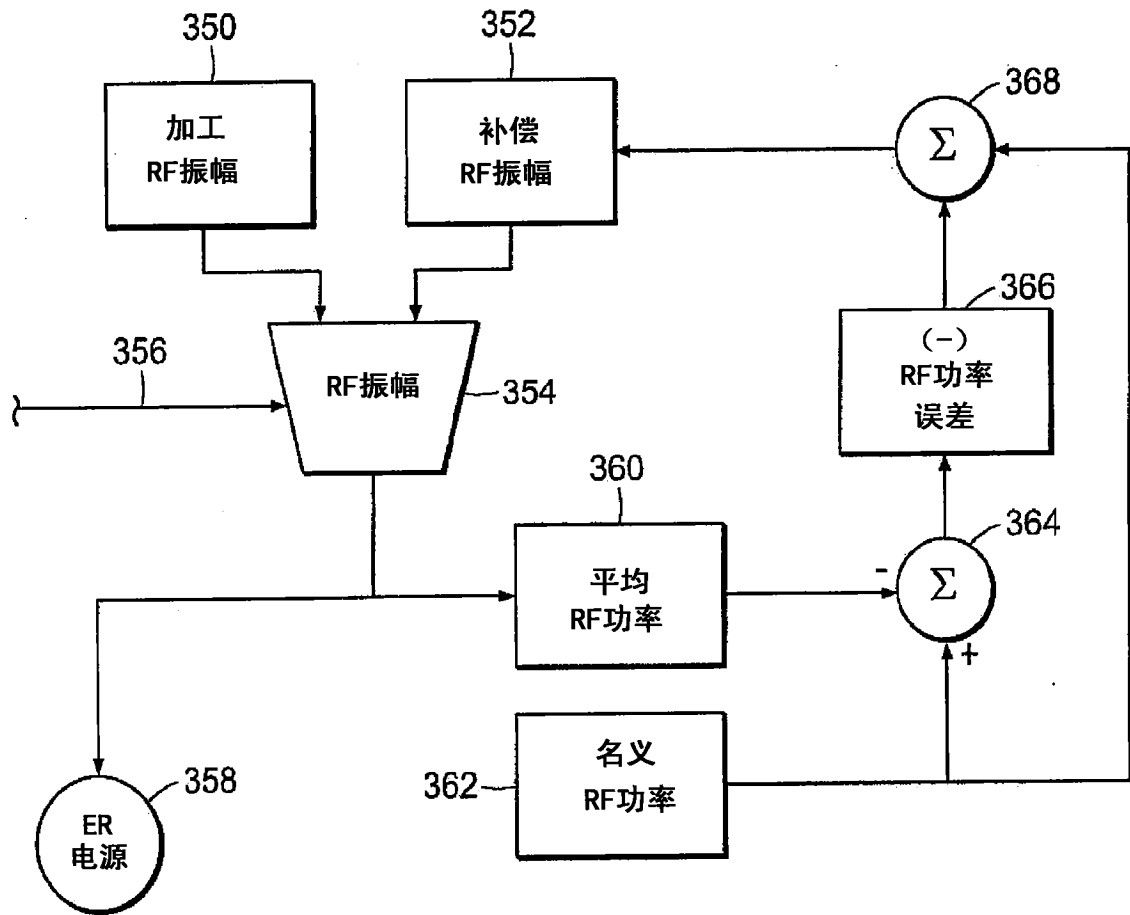


图22

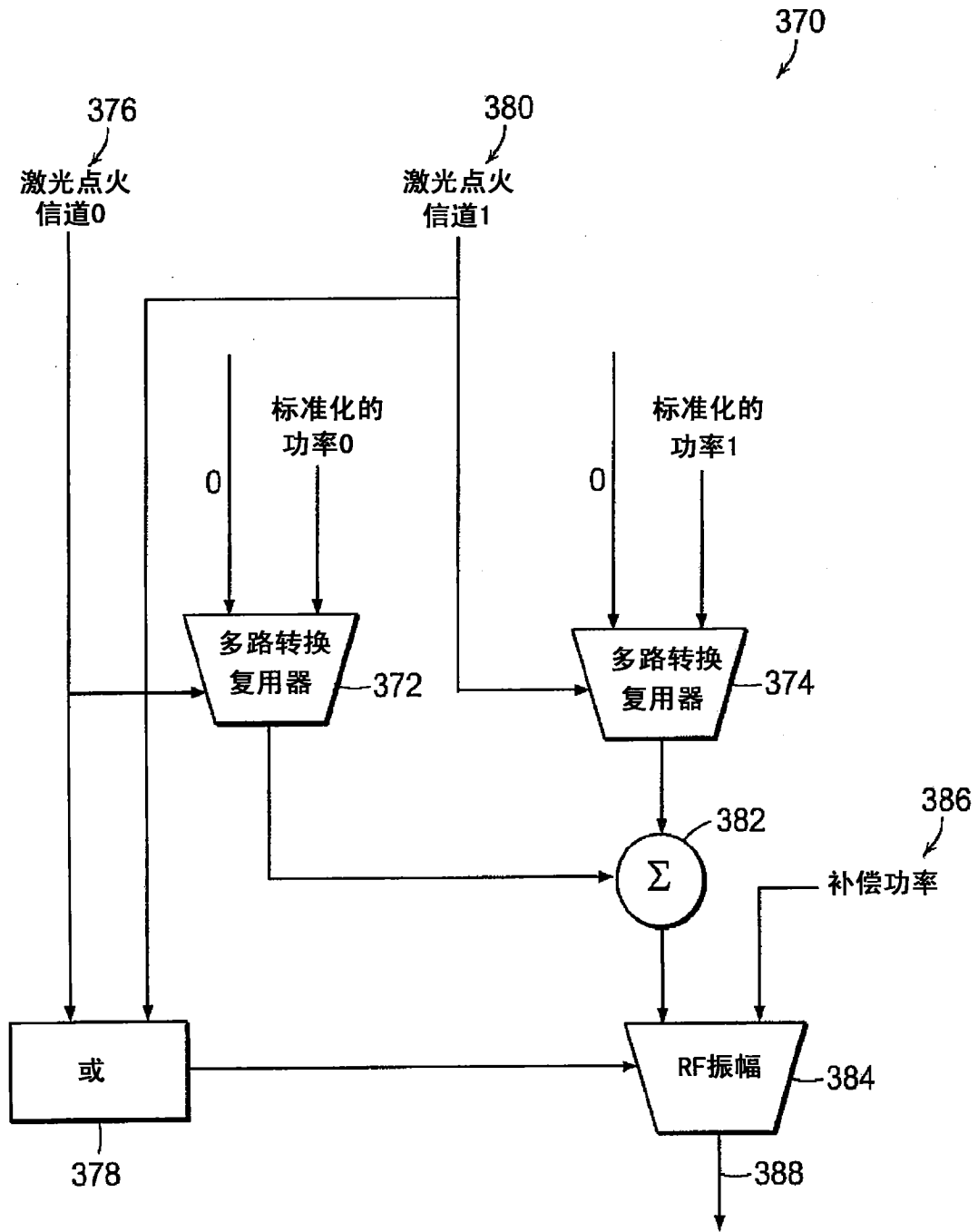


图23

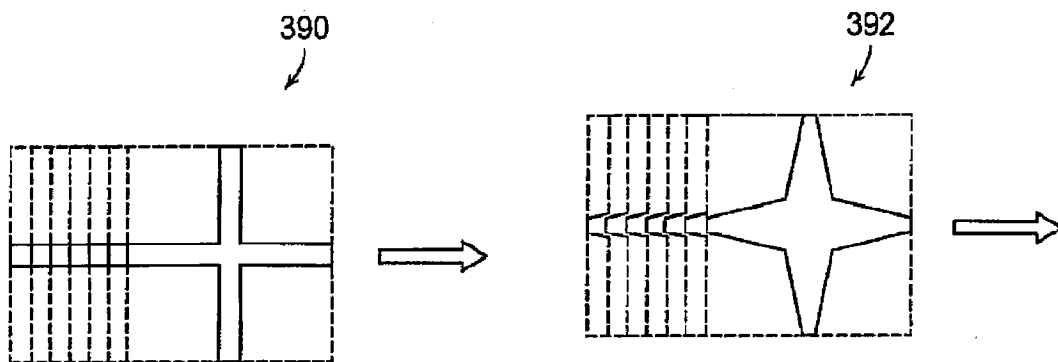


图24A

图24B

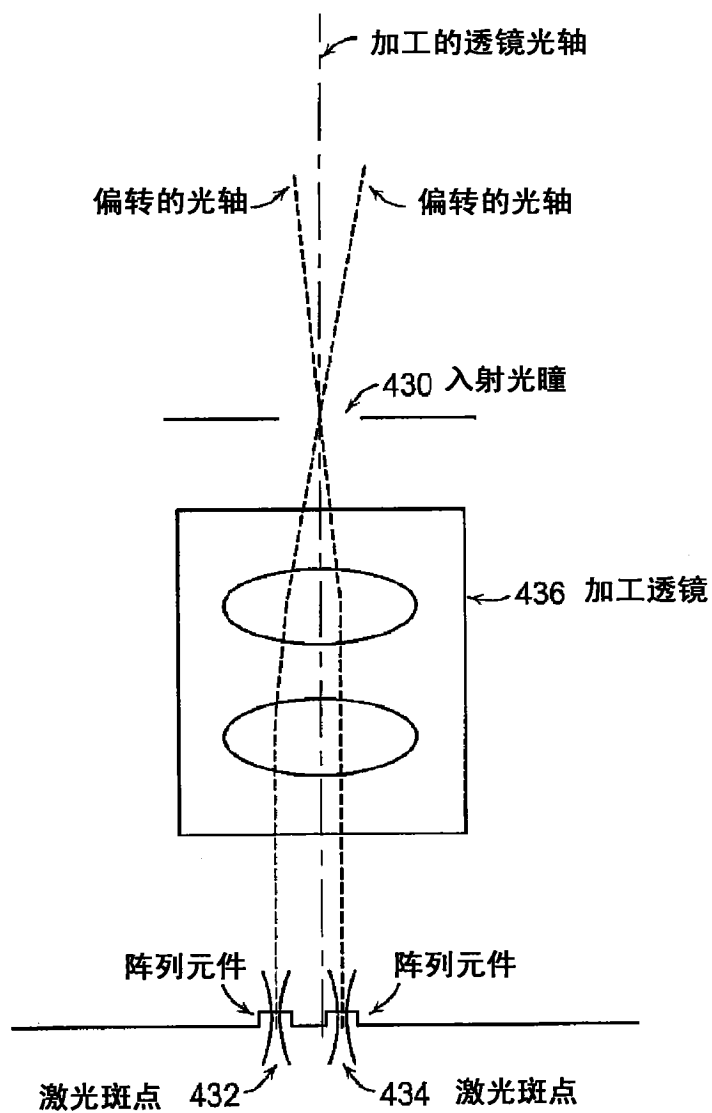


图25

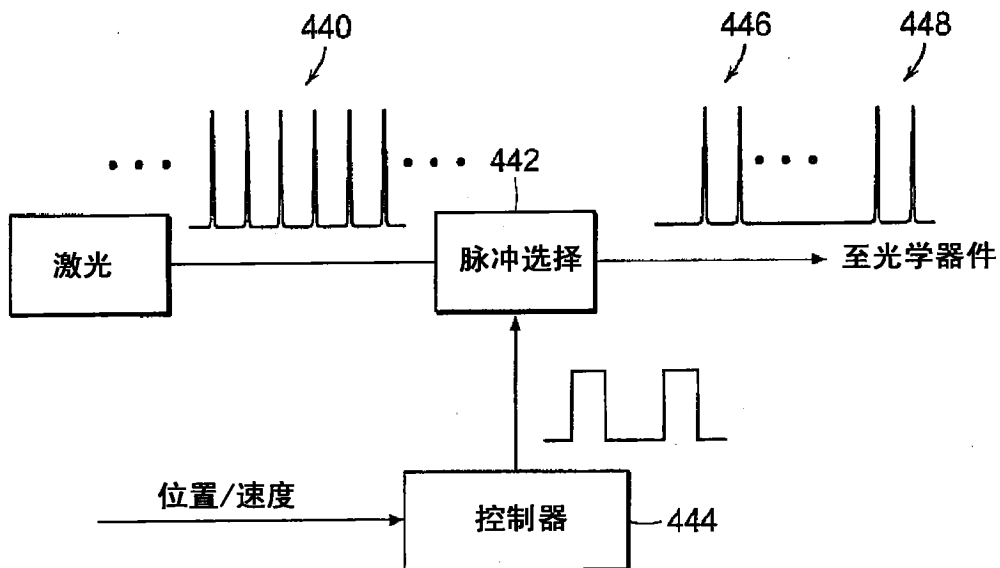


图26

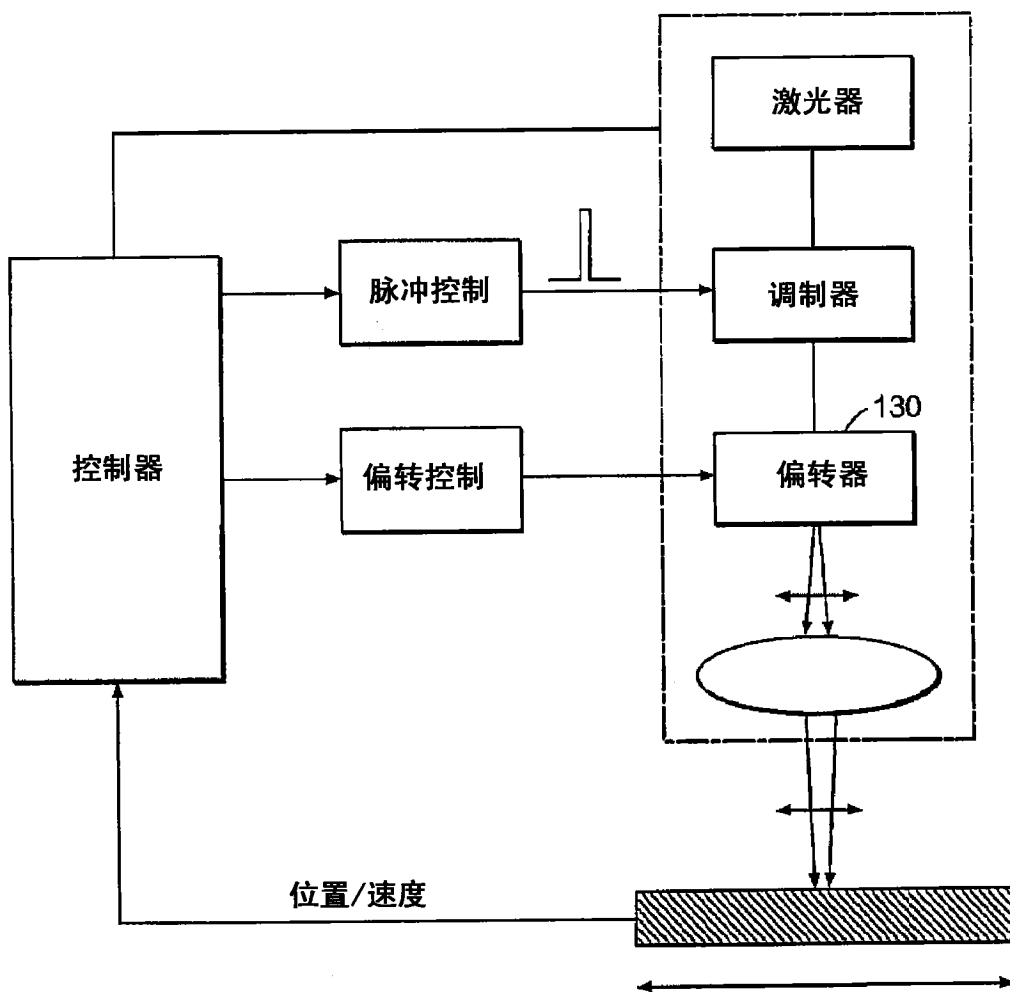


图27