



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112103763 A

(43) 申请公布日 2020.12.18

(21) 申请号 202011099418.4

(22) 申请日 2020.10.14

(71) 申请人 深圳技术大学

地址 518000 广东省深圳市坪山区兰田路
3002号

(72) 发明人 阮双琛 吕启涛 欧阳德钦 吴旭
陈业旺 阳其国 徐方华 刘敏秋

(74) 专利代理机构 深圳尚业知识产权代理事务
所(普通合伙) 44503

代理人 王利彬

(51) Int. Cl.

H01S 3/11 (2006.01)

H01S 3/10 (2006.01)

H01S 3/13 (2006.01)

H01S 3/067 (2006.01)

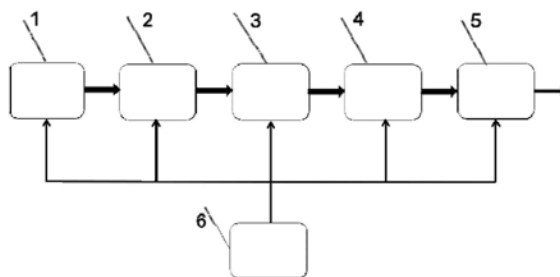
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种脉冲激光器

(57) 摘要

本发明公开了一种脉冲激光器,包括:皮秒种子源模块、选频模块、至少一个的光纤放大模块及固体放大模块;皮秒种子源模块用于提供皮秒或亚皮秒脉宽的种子激光;选频模块设置在所述皮秒种子源模块输出种子激光的一侧;所述光纤放大模块设置在所述选频模块输出激光的一侧;所述固体放大激光模块设置在所述光纤放大模块输出激光的一侧;通过使用皮秒种子源模块作为激光的种子源,结合选频模块,能够实现激光脉冲重复频率的控制,再使用光纤放大模块及固体放大模块,实现功率的放大,从而使得在激光功率进行放大的过程中,可以放大到百瓦量级或数百瓦量级,因此拓展了激光器的应用范围。



1. 一种脉冲激光器,其特征在于,包括:

皮秒种子源模块、选频模块、至少一个的光纤放大模块及固体放大模块;

所述皮秒种子源模块用于提供皮秒或亚皮秒脉宽的种子激光;

所述选频模块设置在所述皮秒种子源模块输出种子激光的一侧,用于调控所述皮秒种子源模块的输出种子激光的脉冲频率;

所述光纤放大模块设置在所述选频模块输出激光的一侧,用于对脉冲频率进行调控了的种子激光进行功率预放大;

所述固体放大模块设置在所述光纤放大模块输出激光的一侧,用于对功率预放大的种子激光进行功率放大,以将经过固体放大模块的种子激光的功率放大至百瓦量级或数百瓦量级,所述数百瓦量级为种子激光大于百瓦小于千瓦的任意一个功率。

2. 根据权利要求1所述的脉冲激光器,其特征在于,

所述固体放大模块包括:

端面泵浦固体激光模块及侧面泵浦固体激光模块;

所述端面泵浦固体激光模块用于将光纤放大模块输出激光的功率放大至百瓦量级;

所述侧面泵浦固体激光模块用于将所述端面泵浦固体激光模块输出激光的功率放大至数百瓦量级;

所述端面泵浦固体激光模块包括:

依次设置的第一泵浦源、泵浦光耦合系统、双色镜、激光增益介质及空间光隔离器;

所述第一泵浦源用于生成泵浦光,所述泵浦光用于对将经过了光纤放大模块的种子激光作为信号光进行放大;

所述泵浦光耦合系统设置在所述第一泵浦源输出泵浦光的一侧,用于将泵浦光耦合至所述激光增益介质;

所述双色镜的性质为对泵浦光高透,对信号光高反,设置在所述泵浦光耦合系统输出泵浦光的一侧,用于将所述信号光反射入激光增益介质;

所述激光增益介质设置在所述双色镜反射出信号光的方向,且设置在所述双色镜透过泵浦光的方向,用于对融合了泵浦光的信号光进行功率放大至百瓦量级;

所述光空间隔离器用于阻止增益介质输出的信号光的返回。

3. 根据权利要求2所述的脉冲激光器,其特征在于,

所述侧面泵浦固体激光模块包括:

依次设置的信号光耦合镜、侧面泵浦激光晶体、半导体激光器阵列、耦合输出镜;

设置在所述端面泵浦固体激光模块光空间隔离器输出信号光一侧的信号光耦合镜,用于将所述光空间隔离器输出的信号光耦合入所述侧面泵浦激光晶体;

设置在所述信号光耦合镜输出信号光一侧的侧面泵浦激光晶体;

设置在所述侧面泵浦激光晶体上的泵浦半导体激光器阵列所述侧面泵浦激光晶体及所述泵浦半导体激光器阵列用于将信号光进行放大至数百瓦量级;

设置在所述侧面泵浦激光晶体输出信号光一侧的耦合输出镜,用于将经过所述侧面泵浦激光晶体放大的信号光进行输出。

4. 根据权利要求3所述的脉冲激光器,其特征在于,

所述端面泵浦固体激光模块有一个或一个以上进行级联;

所述侧面泵浦固体激光模块有一个或一个以上进行级联。

5. 根据权利要求3所述的脉冲激光器,其特征在在于,
所述激光增益介质为稀土掺杂钒酸钇或者钇铝石榴石晶体;
所述侧面泵浦激光晶体为稀土掺杂钇铝石榴石晶体。

6. 根据权利要求1所述的脉冲激光器,其特征在在于,
所述皮秒种子源模块为使用了锁模技术或增益开关技术的皮秒种子激光器,且输出种子激光的频率可调谐或为固定值。

7. 根据权利要求1所述的脉冲激光器,其特征在在于,
所述光纤放大模块包括:

设置在所述选频模块一侧的第二泵浦源,用于输出泵浦光;

在所述第二泵浦源一侧依次设置的泵浦合束器、掺杂光纤及光纤隔离器。

所述泵浦合束器用于将泵浦源输出的泵浦光和种子源输出的信号光合束到所述掺杂光纤内;

所述掺杂光纤作为激光增益介质,在泵浦源的作用下将信号光进行放大输出;

所述光纤隔离器用于放置所述经掺杂光纤放大后的信号光返回。

8. 根据权利要求1所述的脉冲激光器,其特征在在于,
所述脉冲激光器还包括:

控制模块,分别与所述皮秒种子源模块、选频模块、光纤放大模块及固体放大模块连接,并控制所述皮秒种子源模块、选频模块、光纤放大模块及固体放大模块实现相应功能。

9. 根据权利要求1所述的脉冲激光器,其特征在在于,
所述控制模块包括:

稳压器,用于稳定所述皮秒种子源模块、选频模块、光纤放大模块及固体放大模块的电压;

中控制单元,用于控制所述皮秒种子源模块、选频模块、光纤放大模块及固体放大模块输出激光;

供电单元,用于为所述皮秒种子源模块、选频模块、光纤放大模块及固体放大模块提供电源;

激光调节单元,用于调节所述皮秒种子源模块、选频模块、光纤放大模块及固体放大模块输出的激光;

热管理单元,用于监测所述皮秒种子源模块、选频模块、光纤放大模块及固体放大模块的温度及输出功率;

监测反馈单元,用于将所述热管理单元检测的温度及输出功率反馈至可视化单元,以供工作人员查看。

10. 根据权利要求1所述的脉冲激光器,其特征在在于,

所述选频模块为声光调制器,对输入的种子激光重复频率进行调节,实现种子激光重复频率的可调谐输出。

一种脉冲激光器

技术领域

[0001] 本发明涉及激光器技术领域,尤其涉及一种脉冲激光器。

背景技术

[0002] 激光被誉为“最快的刀、最亮的光和最准的尺”,已经在社会生活的各个领域发挥着重要作用。随着工业技术的发展,对加工精度的要求也在不断提高,因而对激光的脉冲质量和能量强度提出的要求也越来越高。

[0003] 而不同的应用场景需要不同优势的激光,例如在一些场景下,就需要超快激光,现有的高功率超快激光,应用的是半导体泵浦固体激光技术,具体应用为板条激光器、碟片激光器等,均能够输出千瓦量级亚皮秒的脉冲激光输出。

[0004] 但是,现有的应用了半导体泵浦固体激光技术的激光器,虽然实现了千瓦量级皮秒或亚皮秒的脉冲激光输出,但板条状和碟片状的增益介质导致光束质量较差,使得应用受到了很大的限制。相比之下,棒状激光增益介质更有利于实现高光束质量的超快激光输出。目前已有报告采用侧面泵浦Nd:YAG棒实现一千瓦调Q脉冲输出。但在百瓦级皮秒脉冲输出方面,尚未见报道。

发明内容

[0005] 本发明的主要目的在于提供一种脉冲激光器,旨在解决现有技术中的激光器不能实现高功率高光束质量的皮秒及亚皮秒脉冲激光输出,使得激光器的应用范围受到了限制的技术问题。

[0006] 为实现上述目的,本发明提供一种脉冲激光器,包括:皮秒种子源模块、选频模块、至少一个的光纤放大模块及固体放大模块;所述皮秒种子源模块用于提供皮秒或亚皮秒脉宽的种子激光;所述选频模块设置在所述皮秒种子源模块输出种子激光的一侧,用于调控所述皮秒种子源模块的输出种子激光的脉冲频率;所述光纤放大模块设置在所述选频模块输出激光的一侧,用于对脉冲频率进行调控了的种子激光进行功率预放大;所述固体放大模块设置在所述光纤放大模块输出激光的一侧,用于对功率预放大的种子激光进行功率放大,以将经过固体放大激光模块的种子激光的功率放大至百瓦量级或数百瓦量级。

[0007] 进一步地,所述固体放大模块包括:端面泵浦固体激光模块及侧面泵浦固体激光模块;所述端面泵浦固体激光模块用于将光纤放大模块输出激光的功率放大至百瓦量级;所述侧面泵浦固体激光模块用于将所述端面泵浦固体激光模块输出激光的功率放大至数百瓦量级;所述端面泵浦固体激光模块包括:依次设置的第一泵浦源、泵浦光耦合系统、双色镜、激光增益介质及空间光隔离器;所述第一泵浦源设置在所述光纤放大模块输出激光的一侧,用于提供泵浦光,所述泵浦光用于对将经过了选频模块的种子激光提供泵浦进行放大;所述泵浦光耦合系统设置在所述第一泵浦源输出泵浦光的一侧,用于将泵浦光耦合至所述激光增益介质;所述双色镜的性质为对泵浦光高透,对信号光高反,设置在所述泵浦光耦合系统输出泵浦光的一侧,用于将所述信号光反射入激光增益介质;所述激光增益介

质设置在所述双色镜反射出信号光的方向,且设置在所述双色镜透过泵浦光的方向,用于对融合了泵浦光的信号光进行功率放大至百瓦量级;所述光空间隔离器用于阻止增益介质输出的信号光的返回。

[0008] 进一步地,所述侧面泵浦固体激光模块包括:依次设置的信号光耦合镜、侧面泵浦激光晶体、半导体激光器阵列、耦合输出镜;设置在所述光空间隔离器输出信号光一侧的信号光耦合镜,用于将所述光空间隔离器输出的信号光耦合入所述侧面泵浦激光晶体;设置在所述信号光耦合镜输出信号光一侧的侧面泵浦激光晶体;设置在所述侧面泵浦激光晶体上的泵浦半导体激光器阵列所述侧面泵浦激光晶体及所述泵浦半导体激光器阵列用于将信号光进行放大至数百瓦量级;设置在所述侧面泵浦激光晶体输出信号光一侧的耦合输出镜,用于将经过所述侧面泵浦激光晶体的信号光进行输出。

[0009] 进一步地,所述端面泵浦固体激光模块有一个或一个以上进行级联;所述侧面泵浦固体激光模块有一个或一个以上进行级联。

[0010] 进一步地,所述激光增益介质为稀土掺杂钷酸钷或者钷铝石榴石晶体;所述侧面泵浦激光晶体为稀土掺杂钷铝石榴石晶体。

[0011] 进一步地,所述皮秒种子源模块为使用了锁模技术或增益开关技术的皮秒种子激光器,且输出种子激光的频率可调谐或为固定值。

[0012] 进一步地,所述光纤放大模块包括:设置在所述选频模块一侧的第二泵浦源,用于输出泵浦光;在所述第二泵浦源一侧依次设置的泵浦合束器、掺杂光纤及光纤隔离器。所述泵浦合束器用于将泵浦源输出的泵浦光以及种子提供的信号光合束到所述掺杂光纤内;所述掺杂光纤用于增益介质,在泵浦光的作用下,将信号进行预放大;所述光纤隔离器用于放置预放大的信号光返回。。

[0013] 进一步地,所述脉冲激光器还包括:控制模块,分别与所述皮秒种子源模块、选频模块、光纤放大模块及固体放大模块连接,并控制所述皮秒种子源模块、选频模块、光纤放大模块及固体放大模块实现相应功能。

[0014] 进一步地,所述控制模块包括:稳压器,用于稳定所述皮秒种子源模块、选频模块、光纤放大模块及固体放大模块的电压;中控单元,用于控制所述皮秒种子源模块、选频模块、光纤放大模块及固体放大模块输出激光;供电单元,用于为所述皮秒种子源模块、选频模块、光纤放大模块及固体放大模块提供电源;激光调节单元,用于调节所述皮秒种子源模块、选频模块、光纤放大模块及固体放大模块输出的激光;热管理单元,用于监测所述皮秒种子源模块、选频模块、光纤放大模块及固体放大模块的温度及输出功率;监测反馈单元,用于将所述热管理单元检测的温度及输出功率反馈至可视化单元,以供工作人员查看。

[0015] 进一步地,所述选频模块为声光调制器,对输入的种子激光重复频率进行调节,实现种子激光重复频率的可调谐输出。

[0016] 本发明提供一种脉冲激光器,有益效果在于:通过使用皮秒种子源模块作为激光的种子源,结合选频模块,能够实现激光脉冲重复频率的控制,再使用光纤放大模块及固体放大模块,实现了功率的放大,从而使得在激光功率进行放大的过程中,可以放大到百瓦量级或数百瓦量级,因此拓展了激光器的应用范围。

附图说明

[0017] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0018] 图1为本发明实施例脉冲激光器的结构示意图;

[0019] 图2为本发明实施例脉冲激光器的光纤放大模块的结构示意图;

[0020] 图3为本发明实施例脉冲激光器的端面泵浦固体激光模块的结构示意图;

[0021] 图4为本发明实施例脉冲激光器的侧面泵浦固体激光模块的结构示意图;

[0022] 图5为本发明实施例脉冲激光器的控制模块的结构示意图。

具体实施方式

[0023] 为使得本发明的发明目的、特征、优点能够更加的明显和易懂,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而非全部实施例。基于本发明中的实施例,本领域技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0024] 请参阅图1,为一种脉冲激光器,包括:皮秒种子源模块1、选频模块2、至少一个的光纤放大模块3及固体放大模块(固体放大模块包括端面泵浦固体激光模块4及侧面泵浦固体激光模块5);皮秒种子源模块1用于提供皮秒或亚皮秒脉宽的种子激光;选频模块2设置在皮秒种子源模块1输出种子激光的一侧,用于调控皮秒种子源模块1的输出种子激光的脉冲频率;光纤放大模块3设置在选频模块2输出激光的一侧,用于对脉冲频率进行调控了的种子激光进行功率预放大;固体放大模块设置在光纤放大模块3输出激光的一侧,用于对功率预放大的种子激光进行功率放大,以将经过固体放大模块的种子激光的功率放大至百瓦量级或数百瓦量级。

[0025] 在脉冲激光器的运行过程中,皮秒种子源模块1先产生种子激光,随后经过选频模块2对种子激光的频率进行调控,随后光纤放大模块3及固体放大模块对经过了选频模块2的种子激光进行放大,最终由固体放大模块输出百瓦级或数百瓦级的激光。

[0026] 在本实施例中,通过使用皮秒种子源模块1作为激光的种子源,结合选频模块2,能够实现激光脉冲重复频率的控制,再使用光纤放大模块3及固体放大模块,实现了功率的放大,从而使得在激光功率进行放大的过程中,可以放大到百瓦量级或数百瓦量级,因此拓展了激光器的应用范围。

[0027] 另外,通过对各个组件进行模块化设计,可根据实际需求,只需添加不同数量的光纤放大模块3或固体放大模块即可对激光功率进行不同程度的放大,因此极大地增强了本实施例提供的脉冲激光器输出激光的功率的灵活性。

[0028] 请参阅图1,在一个实施例中,固体放大模块包括:端面泵浦固体激光模块4及侧面泵浦固体激光模块5;端面泵浦固体激光模块4用于将光纤放大模块3输出激光的功率放大至百瓦量级;侧面泵浦固体激光模块5用于将端面泵浦固体激光模块4输出激光的功率放大至数百瓦量级。

[0029] 通过使用端面泵浦固体激光模块4及侧面泵浦固体激光模块5,能够在不同的量级

上对种子激光进行放大,从而根据实际需要使得脉冲激光器输出预定功率的激光。

[0030] 请参阅图3,在一个实施例中,端面泵浦固体激光模块4包括:依次设置的第一泵浦源41、泵浦光耦合系统42、双色镜43、激光增益介质44及空间光隔离器45;第一泵浦源41设置在光纤放大模块3输出激光的一侧,用于提供泵浦光,泵浦光用于对将经过了选频模块2的种子激光作为信号光进行放大;泵浦光耦合系统42设置在第一泵浦源41输出泵浦光的一侧,用于将泵浦光耦合至激光增益介质44;双色镜43的性质为对泵浦光高透,对信号光高反,设置在泵浦光耦合系统42输出泵浦光的一侧,用于将信号光反射入激光增益介质44;激光增益介质44设置在双色镜43反射出信号光的方向,且设置在色镜43透过泵浦光的方向,用于对融合了泵浦光的信号光进行功率放大至百瓦量级;光空间隔离器用于阻止增益介质输出的信号光的返回。

[0031] 种子激光经过光纤放大模块3后,进入端面固体激光模块内,在进入端面固体激光模块的过程中,种子激光作为信号光被双色镜43反射至激光增益介质44内,而在此过程中,第一泵浦源41产生泵浦光,随后泵浦光被泵浦光耦合系统42耦合至激光增益介质44内,在泵浦光被耦合至激光增益介质44内的过程中,泵浦光透过双色镜43进入增益介质内,在增益介质内泵浦光对信号光进行放大,从而从增益介质内输出百瓦量级的信号光。

[0032] 在该实施例中,还使用了空间光隔离器45,目的是为了防止从增益介质内输出的信号光被其他介质反射回来而对前面的系统造成影响。

[0033] 在该实施例中,泵浦光耦合系统42包括两个依次设置的凸透镜。

[0034] 请参阅图4,在一个实施例中,侧面泵浦固体激光模块5包括:依次设置的信号光耦合镜511、侧面泵浦激光晶体512、半导体激光器阵列513、耦合输出镜514;设置在光空间隔离器输出信号光一侧的信号光耦合镜511,用于将光空间隔离器输出的信号光耦合入侧面泵浦激光晶体512;设置在信号光耦合镜511输出信号光一侧的侧面泵浦激光晶体512;设置在侧面泵浦激光晶体512上的泵浦半导体激光器阵列513侧面泵浦激光晶体512及泵浦半导体激光器阵列513用于将信号光进行放大至数百瓦量级;设置在侧面泵浦激光晶体512输出信号光一侧的耦合输出镜514,用于将经过侧面泵浦激光晶体512的信号光进行输出。

[0035] 种子激光进入端面固体激光模块内,被输出为信号光后,信号光被信号光耦合透镜耦合入侧面泵浦激光晶体512,信号光在侧面泵浦激光晶体512内传输时,侧面泵浦激光晶体512及泵浦半导体激光阵列同时作用对信号光进行放大,信号光在经过放大后,被侧面泵浦激光晶体512输出,随后经过耦合输出镜514输出百瓦量级或数百瓦量级的激光。

[0036] 在一个实施例中,端面泵浦固体激光模块4有一个或一个以上进行级联;侧面泵浦固体激光模块5有一个或一个以上进行级联,在使用两个侧面泵浦固体激光模块5时,第一个侧面泵浦固体激光模块51通过电流调节热透镜的焦距,用于匹配第二个侧面泵浦固体激光模块52的模式,实现高光束质量输出。

[0037] 通过使用不同数量的端面泵浦固体激光模块4进行级联,或使用不同数量的侧面泵浦固体激光模块5进行级联,可根据实际需求,添加不同数量的光纤放大模块3或固体放大模块即可对激光功率进行不同程度的放大,因此极大地增强了该实施例提供的脉冲激光器输出激光的功率的灵活性。

[0038] 例如,在一个实施例中,使用皮秒种子源模块1、选频模块2、一个光纤放大模块3、四个端面泵浦固体激光模块4进行级联及两个侧面泵浦固体激光模块5进行级联组成的脉

冲激光器,种子激光脉宽约8ps、中心波长1064nm、带宽0.2446nm,在选频模块2的作用下,种子激光的重复频率实现100kHz-4MHz可调,经过一级光纤放大模块3、四级端面泵浦模块以及两级侧面泵浦模块后,将皮秒脉冲的输出功率提升至了310W,在300kHz-4MHz频率范围内,平均功率均可大于200W;在300kHz时,峰值功率可达86MW、单脉冲能量达到700 μ J。

[0039] 在一个实施例中,激光增益介质44为稀土掺杂钷酸钷或者钷铝石榴石晶体;侧面泵浦激光晶体512为稀土掺杂钷铝石榴石晶体;在该实施例中,激光增益介质44为棒状固体增益介质;侧面泵浦激光晶体512为另一种较长的棒状激光增益介质44,使用较长的侧面泵浦激光晶体512,是为了提供一种较长的吸收路径,更有利于实现激光的大功率输出。

[0040] 在一个实施例中,皮秒种子源模块1为使用了锁模技术或增益开关技术的皮秒种子激光器,且输出种子激光的频率可调谐或为固定值。

[0041] 请参阅图2,在一个实施例中,光纤放大模块3包括:设置在选频模块2一侧的第二泵浦源31,用于提供泵浦光;在第二泵浦源31一侧依次设置的泵浦合束器32、掺杂光纤33及光纤隔离器34。泵浦合束器32用于将泵浦源输出的泵浦光及种子的信号光合束到掺杂光纤33内;掺杂光纤33作为增益介质,泵浦光的作用下,将种子光进行放大;光纤隔离器34用于阻止后面的放大系统的返回光。

[0042] 种子激光在经过选频模块2后,进入光纤放大模块3,在此过程中,种子激光进入掺杂光纤33内,同时,第二泵浦源31产生泵浦光经过泵浦合束器32被合成一束泵浦光进入掺杂光纤33内,,从而对种子激光进行预放大,降低后续放大过程中的自发辐射放大(ASE)效应。

[0043] 请参阅图1,在一个实施例中,脉冲激光器还包括:控制模块6,分别与皮秒种子源模块1、选频模块2、光纤放大模块3及固体放大模块连接,并控制皮秒种子源模块1、选频模块2、光纤放大模块3及固体放大模块实现相应功能。

[0044] 在该实施例中,通过使用控制模块6,能够控制各个模块实现相应功能,从而对该实施例提供的脉冲激光器进行一体化驱动控制,因此降低了脉冲激光器的使用难度,使得脉冲激光器更加易于操作。

[0045] 请参阅图5,在一个实施例中,控制模块6包括:稳压器61,用于稳定皮秒种子源模块1、选频模块2、光纤放大模块3及固体放大模块的电压;中控单元62,用于控制皮秒种子源模块1、选频模块2、光纤放大模块3及固体放大模块输出激光;供电单元63,用于为皮秒种子源模块1、选频模块2、光纤放大模块3及固体放大模块提供电源;激光调节单元64,用于调节皮秒种子源模块1、选频模块2、光纤放大模块3及固体放大模块输出的激光;热管理单元65,用于监测皮秒种子源模块1、选频模块2、光纤放大模块3及固体放大模块的温度及输出功率;监测反馈单元66,用于将热管理单元65检测的温度及输出功率反馈至可视化单元,以供工作人员查看。

[0046] 在一个实施例中,选频模块2为声光调制器,对输入的种子激光重复频率可调范围为100kHz-4MHz。

[0047] 在上述实施例中,对各个实施例的描述都各有侧重,某个实施例中未详述的部分,可以参见其它实施例的相关描述。

[0048] 以上为对本发明所提供的一种脉冲激光器的描述,对于本领域的技术人员,依据本发明实施例的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处,综上,本说明书内容

不应理解为对本发明的限制。

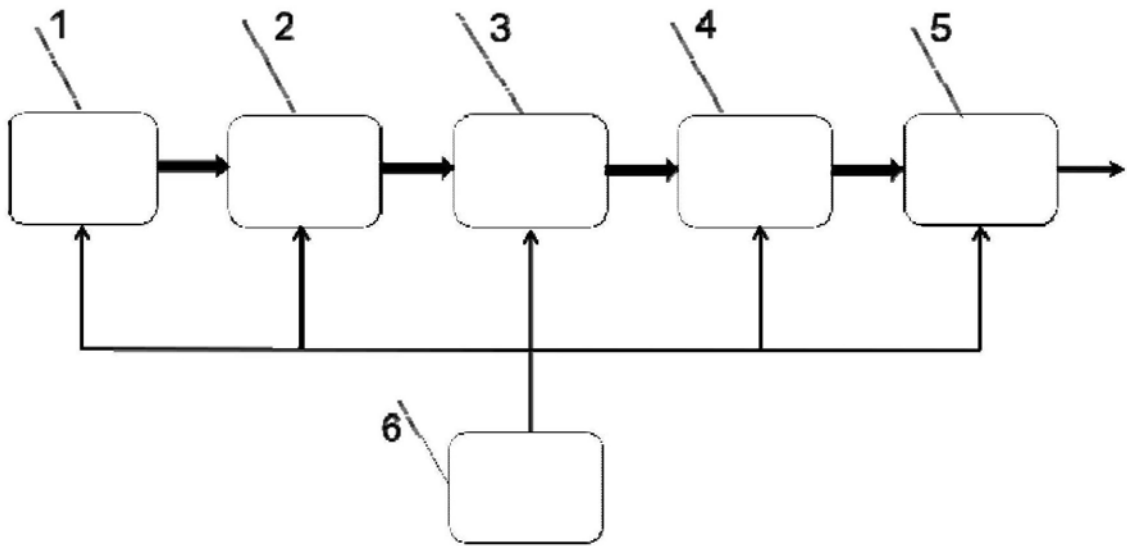


图1

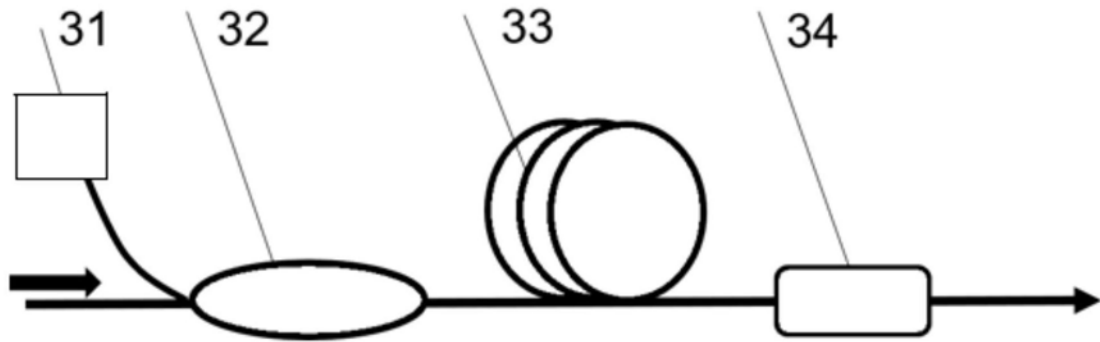


图2

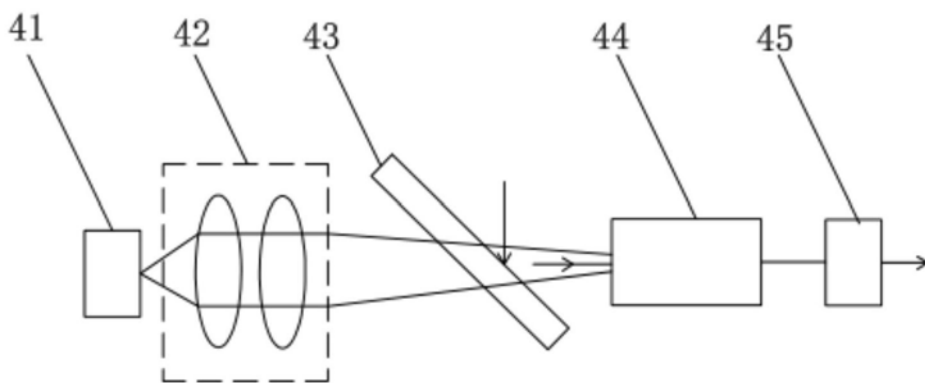


图3

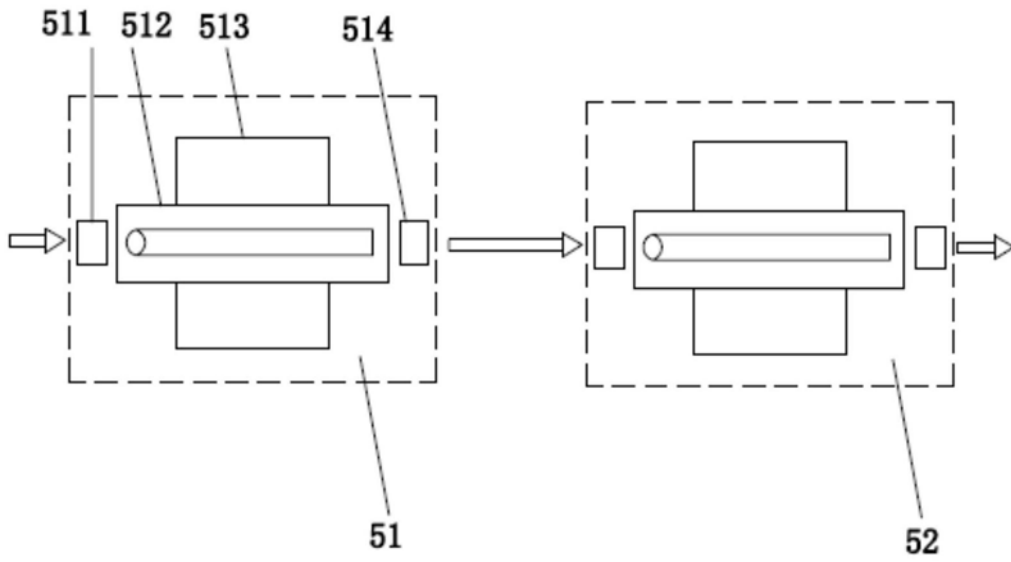


图4

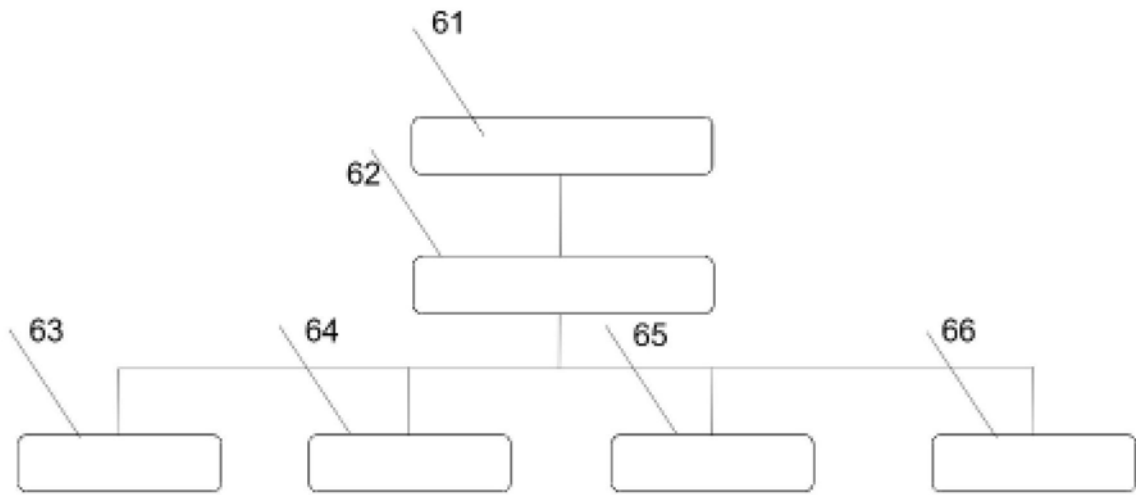


图5