(19)国家知识产权局

(12)实用新型专利

(10)授权公告号 CN 218242548 U
(45)授权公告日 2023.01.06

(21)申请号 202222454107.6

(22)申请日 2022.09.16

(73)专利权人 山东省科学院激光研究所
地址 272071 山东省济宁市高新区海川路46号山东省科学院激光研究所综合楼

(72)发明人 刘民哲 赵坤 翟瑞占 贾中青 王丽莎 刘梦霖

(74)专利代理机构 北京弘权知识产权代理有限公司 11363
专利代理师 许伟群 孙亚芹

(51)Int.Cl.
H01S 3/10(2006.01)
H01S 3/109(2006.01)

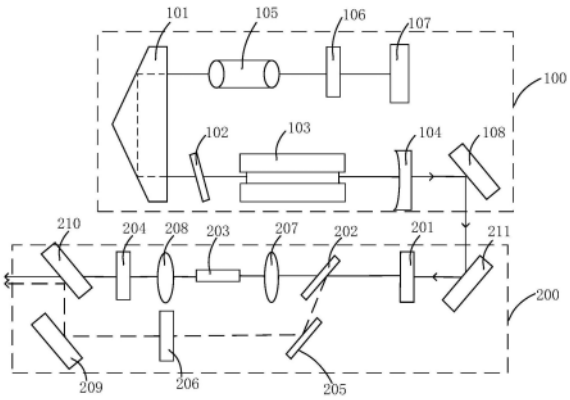
权利要求书2页 说明书9页 附图4页

(54)实用新型名称

大能量双波长激光器

(57)摘要

本申请提供的一种大能量双波长激光器，包括：激光振荡模块和激光倍频偏振切换模块，激光振荡模块包括角锥棱镜，角锥棱镜的输出端依次设置偏振器、第一激光模块和高斯镜，角锥棱镜的输入端依次设置电光调Q开关、1/4波片和反射镜，激光振荡模块内产生的纳秒脉冲激光透射高斯镜，第一激光模块为半导体棒状激光晶体侧面泵浦；激光倍频偏振切换模块包括第一半波片和第一偏振片，第一半波片设置在第一偏振片的输入光路上，第一偏振片的透射光路上依次设置倍频晶体和第三半波片，第一偏振片的反射光路上设置第二偏振片，第二偏振片的反射光路上设置第二半波片。更加适用于激光测距、激光光电对抗、大气探测等领域对激光器的更高要求。



CN 218242548 U

1.一种大能量双波长激光器,其特征在于,包括:激光振荡模块和激光倍频偏振切换模块,所述激光振荡模块和所述激光倍频偏振切换模块光连接,所述激光振荡模块用于产生波长为1064nm的纳秒脉冲激光,所述激光倍频偏振切换模块用于输出双波长偏振态可切换的激光;其中:

所述激光振荡模块包括角锥棱镜,所述角锥棱镜的输出端依次设置偏振器、第一激光模块和高斯镜,所述角锥棱镜的输入端依次设置电光调Q开关、1/4波片和反射镜,所述激光振荡模块内产生的纳秒脉冲激光透射所述高斯镜,所述第一激光模块为半导体棒状激光晶体侧面泵浦;

所述激光倍频偏振切换模块包括第一半波片和第一偏振片,所述第一半波片设置在所述第一偏振片的输入光路上,所述第一偏振片的透射光路上依次设置倍频晶体和第三半波片,所述第一偏振片的反射光路上设置第二偏振片,所述第二偏振片的反射光路上设置第二半波片。

2.根据权利要求1所述的大能量双波长激光器,其特征在于,还包括激光放大模块,所述激光放大模块设置在所述激光振荡模块到所述激光倍频偏振切换模块的传输光路上,用于所述激光振荡模块输出纳秒脉冲激光的能量放大;

所述激光放大模块包括依次设置第一隔离器、第一扩束镜、第二激光模块、第二隔离器、第二扩束镜、第三激光模块、旋光器和第四激光模块;所述第二激光模块、第三激光模块和第四激光模块为板条侧面泵浦。

3.根据权利要求2所述的大能量双波长激光器,其特征在于,所述激光振荡模块还包括第一45°反射镜,所述激光放大模块还包括第二45°反射镜、第三45°反射镜、第四45°反射镜和第五45°反射镜,所述激光倍频偏振切换模块包括第六45°反射镜;

所述第二45°反射镜设置在所述第一45°反射镜的反射光路以及所述第一隔离器的入射光路上;所述第三45°反射镜和所述第四45°反射镜设置在所述第二激光模块和所述第二隔离器之间,且所述第三45°反射镜设置在所述第二激光模块的输出光路上,所述第四45°反射镜设置在所述第三45°反射镜的反射光路以及所述第二隔离器的入射光路上;所述第五45°反射镜设置在所述第四激光模块的输出光路上,所述第六45°反射镜设置在所述第五45°反射镜的反射光路上,且所述第六45°反射镜设置在第一半波片的输入光路上。

4.根据权利要求1所述的大能量双波长激光器,其特征在于,所述激光倍频偏振切换模块还包括第七45°反射镜和二向色镜,所述第七45°反射镜设置在所述第二半波片的输出光路上,所述二向色镜设置在所述第三半波片的输出光路上且位于所述第七45°反射镜的反射光路上。

5.根据权利要求1所述的大能量双波长激光器,其特征在于,所述激光倍频偏振切换模块还包括聚焦透镜和准直透镜,所述聚焦透镜设置在所述第一偏振片和所述倍频晶体之间,所述准直透镜设置在所述倍频晶体和所述第三半波片之间。

6.根据权利要求2所述的大能量双波长激光器,其特征在于,所述第二激光模块包括58个巴条,每个巴条功率为120W,单模块峰值功率为7000W,泵浦脉宽为270μs,板条晶体尺寸为155mm×40mm×6.5mm,两端未掺杂部分长度分别为10mm。

7.根据权利要求2所述的大能量双波长激光器,其特征在于,所述第三激光模块和所述第四激光模块均包括83个巴条,每个巴条功率为120W,单模块峰值功率为10000W,泵浦脉宽

为270μs，板条晶体尺寸为180mm×50mm×8.5mm，两端未掺杂部分长度分别为15mm。

8.根据权利要求1所述的大能量双波长激光器，其特征在于，所述电光调Q开关波长300～1100nm，电压消光比>2000:1，1/4电压3.3kV，损伤阈值>500MW/cm^2；所述1/4波片的镀膜中心波长1064nm，损伤阈值>20J/cm^2。

9.根据权利要求1所述的大能量双波长激光器，其特征在于，所述第一激光模块包括半导体泵浦和激光晶体，所述半导体泵浦波长为809.6nm，光谱宽度为1.4～2nm，单模块峰值功率为5000W，泵浦脉宽为300μs；所述激光晶体为Nd:YAG圆柱棒状晶体，长度75～85mm，端面直径5～7mm，镀膜透过率>99％，损伤阈值>5GW/cm^2。

10.根据权利要求1所述的大能量双波长激光器，其特征在于，所述激光振荡模块还包括固定件，所述反射镜和所述高斯镜共同设置在所述固定件上。

大能量双波长激光器

技术领域

[0001] 本申请涉及激光器技术领域，尤其涉及一种大能量双波长激光器。

背景技术

[0002] 随着固体激光技术的发展，大能量固体激光器在越来越多的领域得到广泛应用，进而在激光测距、激光光电对抗、大气探测等领域对激光器的稳定性、可靠性以及环境适用性提出更高的要求，即对激光器的性能提升提出了更高的要求。

[0003] 为了适应激光测距、激光光电对抗、大气探测等领域对激光器性能的更高要求，目前提出了通过提升双波长激光输出的能量以及偏振可切换的技术思路。

实用新型内容

[0004] 本申请提供了一种大能量双波长激光器，以便适应于激光测距、激光光电对抗、大气探测等领域对激光器的更高要求。

[0005] 本申请提供的一种大能量双波长激光器，包括：激光振荡模块和激光倍频偏振切换模块，所述激光振荡模块和所述激光倍频偏振切换模块光连接，所述激光振荡模块用于产生波长为1064nm的纳秒脉冲激光，所述激光倍频偏振切换模块用于输出双波长偏振态可切换的激光；其中：

[0006] 所述激光振荡模块包括角锥棱镜，所述角锥棱镜的输出端依次设置偏振器、第一激光模块和高斯镜，所述角锥棱镜的输入端依次设置电光调Q开关、1/4波片和反射镜，所述激光振荡模块内产生的纳秒脉冲激光透射所述高斯镜，所述第一激光模块为半导体棒状激光晶体侧面泵浦；

[0007] 所述激光倍频偏振切换模块包括第一半波片和第一偏振片，所述第一半波片设置在所述第一偏振片的输入光路上，所述第一偏振片的透射光路上依次设置倍频晶体和第三半波片，所述第一偏振片的反射光路上设置第二偏振片，所述第二偏振片的反射光路上设置第二半波片。

[0008] 可选的，上述大能量双波长激光器中，还包括激光放大模块，所述激光放大模块设置在所述激光振荡模块到所述激光倍频偏振切换模块的传输光路上，用于所述激光振荡模块输出纳秒脉冲激光的能量放大；

[0009] 所述激光放大模块包括依次设置第一隔离器，第一扩束镜、第二激光模块、第二隔离器、第二扩束镜、第三激光模块、旋光器和第四激光模块；所述第二激光模块、第三激光模块和第四激光模块为板条侧面泵浦。

[0010] 可选的，上述大能量双波长激光器中，所述激光振荡模块还包括

[0011] 第一45°反射镜，所述激光放大模块还包括第二45°反射镜、第三45°反射镜、第四45°反射镜和第五45°反射镜，所述激光倍频偏振切换模块包括第六45°反射镜；

[0012] 所述第二45°反射镜设置在所述第一45°反射镜的反射光路以及所述第一隔离器的入射光路上；所述第三45°反射镜和所述第四45°反射镜设置在所述第二激光模块和所述

第二隔离器之间，且所述第三45°反射镜设置在所述第二激光模块的输出光路上，所述第四45°反射镜设置在所述第三45°反射镜的反射光路以及所述第二隔离器的入射光路上；所述第五45°反射镜设置在所述第四激光模块的输出光路上，所述第六45°反射镜设置在所述第五45°反射镜的反射光路上，且所述第六45°反射镜设置在第一半波片的输入光路上。

[0013] 可选的，上述大能量双波长激光器中，所述激光倍频偏振切换模块还包括第七45°反射镜和二向色镜，所述第七45°反射镜设置在所述第二半波片的输出光路上，所述二向色镜设置在所述第三半波片的输出光路上且位于所述第七45°反射镜的反射光路上。

[0014] 可选的，上述大能量双波长激光器中，所述激光倍频偏振切换模块还包括聚焦透镜和准直透镜，所述聚焦透镜设置在所述第一偏振片和所述倍频晶体之间，所述准直透镜设置在所述倍频晶体和所述第三半波片之间。

[0015] 可选的，上述大能量双波长激光器中，所述第二激光模块包括58个巴条，每个巴条功率为120W，单模块峰值功率为7000W，泵浦脉宽为270μs，板条晶体尺寸为155mm×40mm×6.5mm，两端未掺杂部分长度分别为10mm，中间部分Nd^{3+}的掺杂浓度为0.5％。

[0016] 可选的，上述大能量双波长激光器中，所述第三激光模块和所述第四激光模块均包括83个巴条，每个巴条功率为120W，单模块峰值功率为10000W，泵浦脉宽为270μs，板条晶体尺寸为180mm×50mm×8.5mm，两端未掺杂部分长度分别为15mm，中间部分Nd^{3+}的掺杂浓度为0.7％。

[0017] 可选的，上述大能量双波长激光器中，所述电光调Q开关波长300～1100nm，电压消光比>2000:1，1/4电压3.3kV，损伤阈值>500MW/cm^2；所述1/4波片的镀膜中心波长1064nm，损伤阈值>20J/cm^2。

[0018] 可选的，上述大能量双波长激光器中，所述第一激光模块包括半导体泵浦和激光晶体，所述半导体泵浦波长为809.6nm，光谱宽度为1.4～2nm，单模块峰值功率为5000W，泵浦脉宽为300μs；所述激光晶体为Nd:YAG圆柱棒状晶体，Nd^{3+}的掺杂浓度为0.5％，长度75～85mm，端面直径5～7mm，镀膜透过率>99％，损伤阈值>5GW/cm^2。

[0019] 可选的，上述大能量双波长激光器中，所述激光振荡模块还包括固定件，所述反射镜和所述高斯镜共同设置在所述固定件上。

[0020] 本申请提供的大能量双波长激光器，通过激光振荡模块和激光倍频偏振切换模块结合实现激光器输出偏振态可切换的双波长激光。在激光振荡模块中使用角锥棱镜进行纳秒脉冲激光折转构成U型折叠腔结构，既能有助于控制激光振荡模块的尺寸，便于使用，又能提升激光器的效率。且激光振荡模块中结合使用高斯镜有利于对有源介质的宽填充和在硬边孔上的弱衍射，有助于提升激光振荡模块输出激光近场和远场的光束质量。在激光倍频偏振切换模块中倍频晶体结合使用第一半波片、第二半波片和第三半波片实现纳秒脉冲激光的倍频以及偏振态切换。因此本申请提供的大能量双波长激光器，更加适用于激光测距、激光光电对抗、大气探测等领域对激光器的更高要求。

附图说明

[0021] 为了更清楚地说明本申请实施例的技术方案，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申请的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，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。

[0022] 图1为根据本申请一些实施例提供的一种大能量双波长激光器的结构示意图；

[0023] 图2为根据本申请一些实施例提供的一种角锥棱镜的结构示意图；

[0024] 图3为根据本申请一些实施例提供的另一种大能量双波长激光器的结构示意图；

[0025] 图4为根据本申请一些实施例提供的一种第二激光模块的结构示意图；

[0026] 图5为根据本申请一些实施例提供的一种大能量双波长激光器的最大输出能量及稳定性测试图；

[0027] 图6(a)为根据本申请一些实施例提供的一种激光波长曲线图一；

[0028] 图6(b)为根据本申请一些实施例提供的一种激光波长曲线图二；

[0029] 图7为根据本申请一些实施例提供的一种大能量双波长激光器的输出激光脉冲宽度图。

[0030] 其中：

[0031] 100-激光振荡模块,101-角锥棱镜,102-偏振器,103-第一激光模块,104-高斯镜,105-电光调Q开关,106-1/4波片,107-反射镜,108-第一45°反射镜,200-倍频偏振切换模块,201-第一半波片,202-第一偏振片,203-倍频晶体,204-第三半波片,205-第二偏振片,206-第二半波片,207-聚焦透镜,208-准直透镜,209-反射镜,210-二向色镜,211-第六45°反射镜,300-激光放大模块,301-第一隔离器,302-第一扩束镜,303-第二激光模块,3031-第一热沉结构,3032-单侧面半导体泵浦阵列,3033-板条晶体,3034-第二热沉结构;304-第二隔离器,305-第二扩束镜,306-第三激光模块,307-旋光器,308-第四激光模块,309-第三45°反射镜,310-第四45°反射镜,311-第二45°反射镜,312-第五45°反射镜。

具体实施方式

[0032] 为了使本技术领域的人员更好地理解本公开中的技术方案,下面将结合本公开实施例中的附图,对本公开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公开一部分实施例,而不是全部实施例。基于本公开中的实施例,本领域普通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,都应当属于本公开保护的范围。

[0033] 图1为根据一些实施例提供的一种大能量双波长激光器的结构示意图。如图1所示,本申请实施例提供的大能量双波长激光器包括激光振荡模块100和激光倍频偏振切换模块200;激光振荡模块100用于产生1064nm的纳秒脉冲激光,激光倍频偏振切换模块200用于激光倍频和偏振态切换,以输出双波长偏振态可切换的激光;激光振荡模块100光连接激光倍频偏振切换模块200,激光振荡模块100产生的1064nm纳秒脉冲激光传输至激光倍频偏振切换模块200。在一些实施例中,激光振荡模块100产生的1064nm纳秒脉冲激光经能量放大后再传输至激光倍频偏振切换模块200。

[0034] 如图1所示,在一些实施例中,激光振荡模块100包括角锥棱镜101,角锥棱镜101用于实现激光振荡模块100的腔折叠,实现激光振荡模块100的平凹折叠腔设计,一方面能够替代两片及以上反射镜,减小激光器的体积,更加有利于实际应用;另一方面基于角锥棱镜的结构优势,提升激光器的光束质量和效率。

[0035] 图2为根据一些实施例提供的一种角锥棱镜的结构示意图。如图2所示,角锥棱镜

101的一端设置有三个互相垂直的反射面、另一端设置一个入射面，激光振荡模块100内激光自角锥棱镜101的入射面进入角锥棱镜101内，在角锥棱镜101的三个反射面上进行三次全反射，进而出射光总是平行于入射光但与入射光传输方向相反，光束在棱镜上的出射位置与入射位置总是相对于棱镜的光轴对称，即使激光入射角度不是零度，仍将被180°反射，对入射角的不敏感特性，能够大大提升激光振荡模块100结构的机械稳定性。

[0036] 在本申请一些实施例中，角锥棱镜101包括输入端和输出端，输入端和输出端穿过入射面，由于光路的可逆性，角锥棱镜101的输入端不限于用于向角锥棱镜101输入光、输出端不限于用于从角锥棱镜101向外输出光，即角锥棱镜101的输入端既能输入激光又能输出激光、角锥棱镜101的输出端既能输出激光又能输入激光。

[0037] 在本申请一些实施例中，角锥棱镜101的参数根据实际光路需求设计；示例地，外径d与高度h比例约为1.3，如外径d为150mm，高度h为115mm；三个相互垂直平面的角度公差<2′；波前畸变<λ/10@1064nm。

[0038] 在本申请一些实施例中，角锥棱镜101的输出端依次设置偏振器102、第一激光模块103和高斯镜104。第一激光模块103用于激光振荡模块100产生纳秒脉冲激光提供泵浦源和增益介质；偏振器102用于调整传输光路中激光的偏振态，保证激光振荡模块100输出的纳秒脉冲激光偏振态为线偏振；高斯镜104用于输出波长为1064nm的纳秒脉冲激光。

[0039] 在本申请一些实施例中，角锥棱镜101的输入端依次设置电光调Q开关105、1/4波片106和反射镜107。1/4波片106设置于电光调Q开关105和反射镜107之间，电光调Q开关105和1/4波片106共同实现激光器的加压式激光输出调节。反射镜107用作激光振荡模块的腔镜，镀膜中心波长为1064nm，反射率>99.9％。示例地，反射镜107采用平面反射镜。

[0040] 在一些实施例中，第一激光模块103为半导体棒状激光晶体侧面泵浦，便于使第一激光模块103具有较高的光束质量，有利于使激光振荡模块产生的纳秒脉冲激光具有较小的发散角，可以延长激光测距的范围等以适用于各领域对激光器更广的应用。示例地，第一激光模块103包括半导体泵浦和激光晶体，半导体泵浦波长为809.6nm，光谱宽度为1.4～2nm，单模块峰值功率为5000W，泵浦脉宽为300μs；激光晶体为Nd:YAG圆柱棒状晶体，Nd^{3+}的掺杂浓度为0.5％，长度75～85mm，端面直径5～7mm，镀膜透过率>99％，损伤阈值>5GW/cm^2@1064nm。

[0041] 高斯镜104用作激光振荡模块100的激光腔镜，与传统方案采用的凹面反射镜相比，由于斯镜104是根据超高斯函数提供的圆对称反射率分布，在中心具有最高的反射率值，尤其对于非稳定平凹激光谐振腔来讲，非常有利于对有源介质的宽填充和在硬边孔上的弱衍射，因此更有助于更好的近场和远场光束质量。在一些实施例中，高斯镜104的镀膜中心波长为1064nm，基材材料为熔融石英，直径>4mm，激光损伤阈值>10J/cm^2@1064nm，反射率65％～85％，曲率半径-800～-1300mm。

[0042] 电光调Q开关105的电光调Q方式通常分为退压式和加压式两种，相比之下，加压式工作方式有利于电光晶体(硅酸镓镧、偏硼酸钡、磷酸二氢钾、铌酸锂)的使用寿命。具体实施方式为：通过调节第二延时控制高压在电光晶体上的持续时间，瞬间退掉λ/4电压，腔内阈值迅速提高，恢复到关断状态，通过调节λ/4电压的持续时间，对激光脉冲后延进行“斩断”，调节输出激光脉冲宽度。对于1/4波片，镀膜中心波长1064nm，损伤阈值>20J/cm^2；电光调Q开关，波长300～1100nm，电压消光比>2000:1，1/4电压3.3kV，损伤阈值>500MW/cm^2@

1064nm,10ns。

[0043] 在本申请实施例中,激光振荡模块100用于产生波长为1064nm的纳秒脉冲激光,进而在激光振荡模块100产生纳秒脉冲激光的过程中,激光在激光振荡模块100的谐振腔内振荡,最终由高斯镜104输出,激光振荡模块100能够实现的能量输出>120mJ@1064nm,15.5ns。

[0044] 在本申请一些实施例中,激光振荡模块100还包括固定件,高斯镜104和反射镜107共同设置在固定件上,用于协同调整高斯镜104和反射镜107的位置,有效降低外界温、湿度计振动对高斯镜104和反射镜107的位置产生扰动,便于进一步提升激光振荡模块100光路的稳定性。示例地,固定件具有较小的热膨胀系数。

[0045] 激光倍频偏振切换模块200包括第一半波片201和第一偏振片202,第一半波片201设置在第一偏振片202的输入光路上,第一偏振片202的透射光路上依次倍频晶体203和第三半波片204,第一偏振片202的反射光路上依次设置第二偏振片205和第二半波片206,第二半波片206设置在第二偏振片205的反射光路上。

[0046] 纳秒脉冲激光传输至激光倍频偏振切换模块200,经第一半波片201旋转后传输至第一偏振片202,该激光按照偏振态被第一偏振片202分为两束,P偏振光透射第一偏振片202并在第一偏振片202的透射光路上传输,S偏振光被第一偏振片202反射并在第一偏振片202的反射光路上传输。第一偏振片202透射光路上的激光传输至倍频晶体203,经倍频晶体203产生532nm的倍频激光。第一偏振片202反射光路上的激光经第二偏振片205反射,与第一偏振片202透射光路上的激光平行,使输出的双波长激光能够同向传输,便于使用。

[0047] 在本申请实施例中,第一半波片201的镀膜中心波长为1064nm,用于旋转改变激光在P和S两个线偏振方向上的能量比,以实现最终输出1064nm和532nm波长下的能量可调;第三半波片204的镀膜中心波长为532nm,用于通过旋转改变偏振态,实现S和P两个偏振态的自由切换;第二半波片206的镀膜中心波长为1064nm,用于通过旋转改变偏振态,实现S和P两个偏振态的自由切换。示例地,第一半波片201、第三半波片204和第二半波片206采用消色差零级波片,优点是具有极高的损伤阈值,同时在波长范围内受环境影响不敏感,提升激光系统工程稳定性,材质均为氟化镁晶体,相位延迟精度需<λ/120,波前畸变<λ/8,损伤阈值>2GW/cm^2,10J/cm^2,20ns。

[0048] 第一偏振片202和第二偏振片205协作用于将激光中的P偏振光和S偏振光分开。示例地,第一偏振片202和第二偏振片205,偏振消光比>25dB,损伤阈值>20J/cm^2。

[0049] 在本申请一些实施例中,倍频晶体203采用KTP晶体,KTP晶体与透射第一偏振片202的光轴成45°角,KTP晶体的端面镀膜透过率>99.8%@532nm,以便于获得最佳的倍频效率以及避免二次谐波输出波动。

[0050] 在本申请一些实施例中,激光倍频偏振切换模块200还包括聚焦透镜207和准直透镜208;聚焦透镜207设置在第一偏振片202和倍频晶体203之间,用于将透射第一偏振片202的激光聚焦传输至倍频晶体203;准直透镜208设置在倍频晶体203和第三半波片204之间,用于将倍频晶体203倍频输出的激光准直传输至第三半波片204。聚焦透镜207和准直透镜208能够有效调整倍频激光传输光路上的光斑大小。聚焦透镜207和准直透镜208的参数具体根据倍频晶体和实际需求设计,聚焦透镜207的透过率>99.9%@1064nm,损伤阈值>15J/cm^2,准直透镜208的透过率>99.9%@532,损伤阈值>15J/cm^2。

[0051] 在本申请一些实施例中,激光倍频偏振切换模块200还包括第七45°反射镜209和

二向色镜210，第七45°反射镜209设置在第二半波片206的输出光路上，二向色镜210设置在第七45°反射镜209的反射光路上且位于第三半波片204的输出光路上，二向色镜210用于透射第三半波片204输出的激光以及反射第七45°反射镜209反射的激光。二向色镜210用于激光倍频偏振切换模块200的最终输出镜，以实现波长1064nm激光和532nm激光同光路输出。示例地，二向色镜210镀膜参数为反射率>99.5@1064nm，同时透过率>99％@532nm。第七45°反射镜209的反射率>99.9％@1064nm，以及损伤阈值>20J/cm^2。

[0052] 本申请实施例提供的大能量双波长激光器，可实现单波长下S偏振或P偏振激光的输出，有助于满足不同的应用需求。

[0053] 在本申请一些实施例中，激光振荡模块100产生的1064nm纳秒脉冲激光经激光放大模块能量放大后再传输至激光倍频偏振切换模块200。图3为根据一些实施例提供的另一种大能量双波长激光器的结构示意图。如图3所示，本申请实施例提供的大能量双波长激光器中还包括激光放大模块300，激光放大模块300设置在激光振荡模块100到激光倍频偏振切换模块200的传输光路上，用于激光振荡模块100产生的1064nm纳秒脉冲激光的能量放大，以进一步保证大能量双波长激光器能够具有大能量的激光输出。

[0054] 示例地，如图3所示，在本申请一些实施例提供的激光放大模块300中，包括依次设置的第一隔离器301、第一扩束镜302、第二激光模块303、第二隔离器304、第二扩束镜305、第三激光模块306、旋光器307和第四激光模块308。但本申请实施例中，激光放大模块300不局限于图3中所示的结构。

[0055] 在本申请实施例中，激光振荡模块100产生的1064nm纳秒脉冲激光，传输至激光放大模块300，依次经过第一隔离器301、第一扩束镜302、第二激光模块303、第二隔离器304、第二扩束镜305、第三激光模块306、旋光器307和第四激光模块308，最后实现激光能量的放大。

[0056] 第一隔离器301用于阻隔第一隔离器301后端光路中自发辐射等产生的返回光反射回其前段的光路中，对第一隔离器301前端光路中的器件产生损害，以便于提升大能量双波长激光器的使用寿命。示例地，第一隔离器301的中心波长镀膜为1064nm，通光孔径10～20mm，损伤阈值>10J/cm^2@1064nm，透过率>94％，峰值隔离度>35dB。

[0057] 第一扩束镜302用于将通过了第一隔离器301的激光进行扩束准直。通过第一扩束镜302扩束准直的激光光斑具有更大的模体积，能够使激光光斑直径与第二激光模块303的尺寸相匹配。示例地，第一扩束镜302的镜片镀膜对于1064nm激光损伤阈值>20J/cm^2，扩束倍率1.2～1.5倍，扩束后光斑直径4.2～5.3mm，使传输在激光放大模块300的激光高耦合率的耦合进入第二激光模块303。

[0058] 第二隔离器304用于阻隔第二隔离器304后端光路中自发辐射等产生的返回光反射回其前段的光路中，以防止返回光对第二隔离器304前端光路中的器件产生损害，以便于提升大能量双波长激光器的使用寿命。示例地，第二隔离器304的中心波长镀膜为1064nm，通光孔径10～20mm，损伤阈值>10J/cm^2@1064nm，透过率>94％，峰值隔离度>35dB。

[0059] 第二扩束镜305用于将通过了第二隔离器304的激光进行扩束准直。通过第二扩束镜305扩束准直的激光光斑具有更大的模体积，能够使激光光斑直径与第三激光模块306的尺寸相匹配。示例地，第二扩束镜305的镜片镀膜对于1064nm激光损伤阈值>20J/cm^2，扩束倍率1.5～2倍，扩束后光斑直径5.3～7mm，使传输在激光放大模块300的激光高耦合率的耦

合进入第三激光模块306。

[0060] 旋光器307用于旋转线偏振光的偏振方向，提高激光放大能量，其中心波长为1064nm，旋转角为90°，透过率>99.5%。

[0061] 在本申请实施例中，第二激光模块303、第三激光模块306和第四激光模块308是实现激光振荡模块100产生的1064nm纳秒脉冲激光放大的核心部件。示例地，第二激光模块303、第三激光模块306和第四激光模块308为板条侧面泵浦，既能有助于保证光束质量优势，又能兼备热效应低、转换效率高、体积小、寿命长等优点。

[0062] 图4为根据一些实施例提供的一种第二激光模块的结构示意图。如图4所示，第二激光模块303包括第一热沉结构3031、单侧面半导体泵浦阵列3032、板条晶体3033和第二热沉结构3034。单侧面半导体泵浦阵列3032的外侧紧贴第一热沉结构3031，泵浦光中心波长为809.2nm，沿着实线箭头方向由顶部入射到板条晶体3033。板条晶体3033采用键合晶体结构，两端为非掺杂的YAG，中间结构掺杂Nd^{3+}，端面切角为45°，激光在板条内部为“之”字形，能够有效减少热效应，提高能量放大效率和控制光束质量。第二热沉结构3034与板条晶体3033紧密接触，通过高效率的水冷散热方式，对晶体实施精确温控，以防止光束质量受热效应影响而迅速恶化。第三激光模块306和第四激光模块308的结构可参见第二激光模块303的结构。

[0063] 在本申请一些实施例中，第二激光模块303包括58个巴条，每个巴条功率为120W，单模块峰值功率为7000W，泵浦脉宽为270μs，板条晶体尺寸为155mm×40mm×6.5mm，两端未掺杂部分长度分别为10mm，中间部分Nd^{3+}的掺杂浓度为0.5%，前置激光经过第二激光模块303能量可放大至270mJ，对应提取效率约为7.9%。第三激光模块306和第四激光模块308均包括采用83个巴条，每个巴条功率为120W，单模块峰值功率为10000W，泵浦脉宽为270μs，板条晶体尺寸为180mm×50mm×8.5mm，两端未掺杂部分长度分别为15mm，中间部分Nd^{3+}的掺杂浓度为0.7%，可将激光能量进一步提升至700mJ，对应提取效率约为10.7%。

[0064] 在本申请一些实施例中，激光放大模块300还包括第三45°反射镜309和第四45°反射镜310，第三45°反射镜309和第四45°反射镜310设置在第二激光模块303和第二隔离器304之间，第三45°反射镜309设置在第二激光模块303的输出光路上，第四45°反射镜310设置在第三45°反射镜309的反射光路上，第二隔离器304设置在第四45°反射镜310的反射光路上。第三45°反射镜309和第四45°反射镜310配合实现激光放大模块300中激光折返，以构成U形光路结构，减少激光放大模块300的尺寸，进而减少大能量双波长激光器的体积。示例地，第三45°反射镜309和第四45°反射镜310的镀膜反射率>99.9%@1064nm，损伤阈值>20J/cm^2。

[0065] 在本申请一些实施例中，激光振荡模块100还包括第一45°反射镜108，激光放大模块300还包括第二45°反射镜311，第一45°反射镜108设置在高斯镜104的输出光路上，第二45°反射镜311设置在第一45°反射镜108的反射光路上且第二45°反射镜311位于第一隔离器301的输入光路上，进而经第二45°反射镜311反射的激光传输至第一隔离器301。第一45°反射镜108和第二45°反射镜311实现激光振荡模块100产生激光到激光放大模块300传输时的光路折返，有助于控制大能量双波长激光器的尺寸大小。示例地，第一45°反射镜108和第二45°反射镜311的反射率>99.9%@1064nm，以及损伤阈值>20J/cm^2。

[0066] 在本申请一些实施例中，激光放大模块300还包括第五45°反射镜312，激光倍频偏

振切换模块200还包括第六45°反射镜211，第五45°反射镜312设置在第四激光模块308的输出光路上，第六45°反射镜211设置在第五45°反射镜312的反射光路上且第六45°反射镜211设置在第一半波片201的输入光路上，进而经第六45°反射镜211反射的激光传输至第一半波片201。第五45°反射镜312和第六45°反射镜211实现激光放大模块300能量放大后激光到激光倍频偏振切换模块200传输时的光路折返，有助于进一步控制大能量双波长激光器的尺寸大小。示例地，第五45°反射镜312和第六45°反射镜211的反射率>99.9%@1064nm，以及损伤阈值>20J/cm^2。

[0067] 图5为根据本申请一些实施例提供的一种大能量双波长激光器的最大输出能量图。如图5所示，通过采用Ophir公司的能量计(PE25BF-C)测试本申请实施例大能量双波长激光器的激光输出能量，激光振荡器产生激光能量120.7mJ，经过激光放大器能量提升至723.5mJ，且最大输出能量下4小时内能量不稳定性<1.83%rms。

[0068] 通过设置激光衰减模块对能量进行衰减，然后采用YOKOGAWA(AQ6373B)光谱分析仪测试输出激光波长。图6(a)为根据本申请一些实施例提供的一种激光波长曲线图一，图6(b)为根据本申请一些实施例提供的一种激光波长曲线图二。如图6(a)所示和图6(b)所示，大能量双波长激光器产生的双波长激光的波长分别为1064.43nm和532.11nm，完全满足使用需求。

[0069] 图7为根据本申请一些实施例提供的一种大能量双波长激光器的输出激光脉冲宽度数据图。如图7所示，采用RIGOL(DS2302A)示波器和Thorlabs(DET10A/M)硅基探测器实测最大能量输出激光的脉冲宽度达到18.3ns。因此本申请实施例提供大能量双波长激光器，能够实现线偏振大能量激光输出。

[0070] 大能量双波长激光器通常采用腔内多介质串接的方法虽然能够实现几百mJ单脉冲能量激光输出，但是其重复频率通常低于20Hz，另外由于采用谐振腔技术路线时，激光在谐振腔内往返振荡，多次经过具有畸变的激光介质，激光经往返多次后光束质量迅速恶化，较大的发散角严重影响激光测距的范围和精度。本申请将采用Nd:YAG侧面泵浦振荡器和两级侧面泵浦板条放大器的MOPA激光放大方法，能够兼具高光束质量和高能量输出的优势，最终解决目前50～100Hz重复频率下双波长激光能量进一步提升的难题，可实现1064nm和532nm双波长达到700mJ及以上能量输出。

[0071] 本实施例提供的大能量双波长激光器，还可以实现两种波长下不同偏振搭配的激光输出。以激光振荡模块100和激光放大器200输出的激光为P线偏振光为例进行说明。

[0072] 微调第一半波片，使激光由第一偏振片全部反射，再经由第二偏振片、第二半波片和第七45°全反镜，最终由二向色镜输出，测试1064nm单波长激光最大能量711.4mJ，能量略有降低主要来自于光学器件镀膜损耗，4小时内能量不稳定性<1.52%rms，通过调整第二半波片分别实现了S和P线偏振光输出，输出能量几乎一致；采用>30dB高偏振消光比的偏振分光棱镜分别对两种线偏振激光进行分光测试，偏振消光比均>22dB。说明本申请能够实现大能量1064nm激光输出，且能够对偏振态自由切换。

[0073] 微调第一半波片，将激光偏振态调成P线偏振光，经由第一偏振片透射，由于二向色镜对1064nm激光全反，因此最终实现532nm单一波长激光，最大能量391.3mJ，4小时内能量不稳定性<1.79%rms，同样通过调整第二半波片可以分别实现S和P线偏振光输出，采用>30dB高偏振消光比的偏振分光棱镜分别对两种线偏振激光进行分光测试，偏振消光比均>

21dB。说明本申请能够实现大能量532nm激光输出，且能够对偏振态自由切换。

[0074] 调节第一半波片，使两个偏振态下的能量比例接近1:1，即激光经过第一偏振片透射光和反射光能量相等，最终实现1064nm和532nm双波长激光，通过二向色镜分光测试，1064nm波长的最大能量350.3mJ，532nm波长的最大输出能量200mJ，4小时内能量不稳定性均<2.3%rms。分别通过调节第二半波片和第三半波片可以实现S和P线偏振态切换，测试偏振消光比均>20dB。说明本申请能够同时实现大能量1064nm和532nm双波长激光输出，且能够对各自偏振态进行切换。

[0075] 如此，本申请实施例提供的大能量双波长激光器，能够实现最大能量700mJ的激光输出，同时1064nm和532nm双波长下的能量比可调，偏振态能自由切换，非常有利于提升在激光测距等领域的实际应用效果，满足在激光测距等领域对激光器的更高要求。

[0076] 最后应说明的是：以上实施例仅用以说明本公开的技术方案，而非对其限制；尽管参照前述实施例对本公开进行了详细的说明，本领域的普通技术人员应当理解：其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改，或者对其中部分技术特征进行等同替换；而这些修改或者替换，并不使相应技术方案的本质脱离本公开各实施例技术方案的精神和范围。

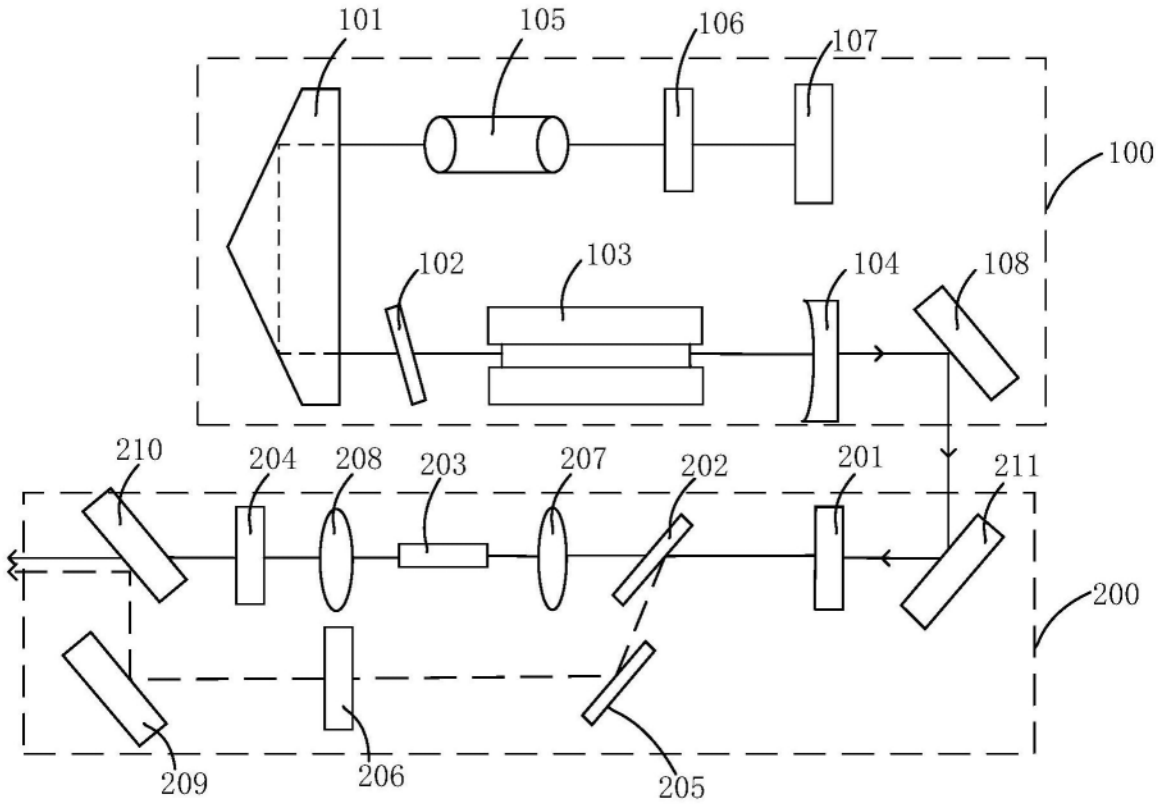

101
105
106
107
100
102
103
104
108
210
204
208
203
207
202
201
211
200
209
206
205

图1

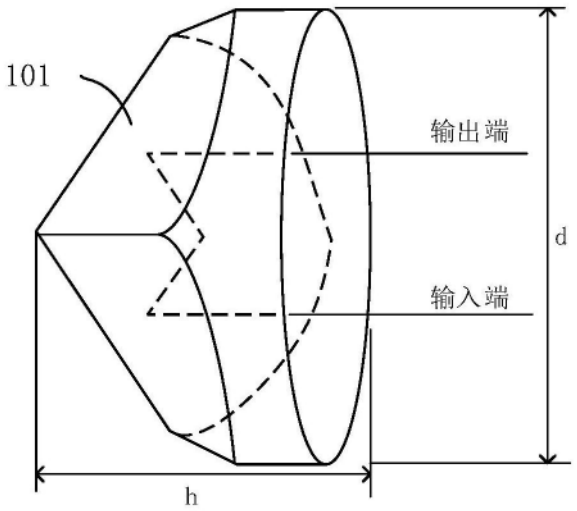

101
输出端
d
输入端
h

图2

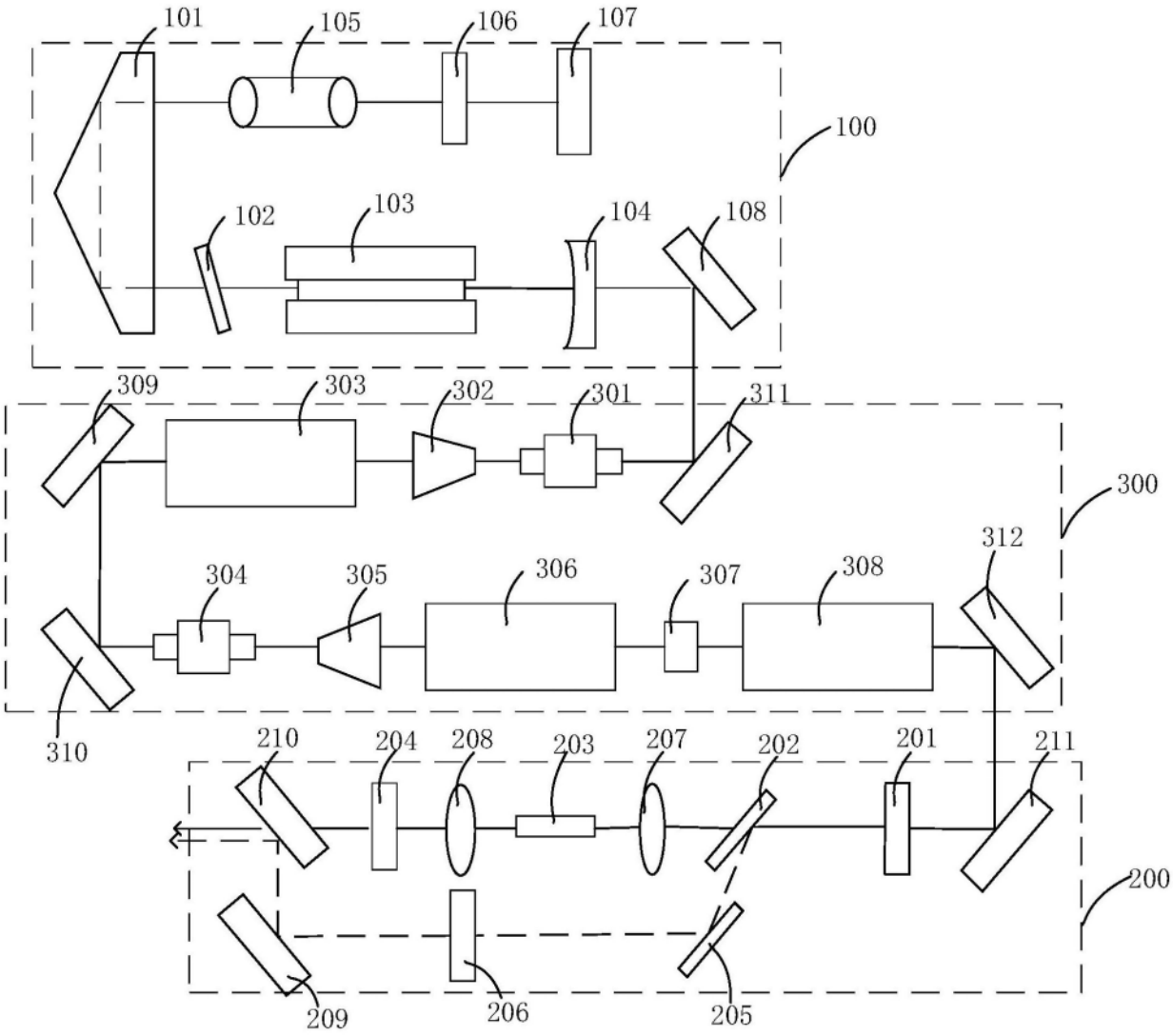

101
105
106
107
100
102
103
104
108
309
303
302
301
311
300
312
304
305
306
307
308
310
210
204
208
203
207
202
201
211
200
209
206
205

图3

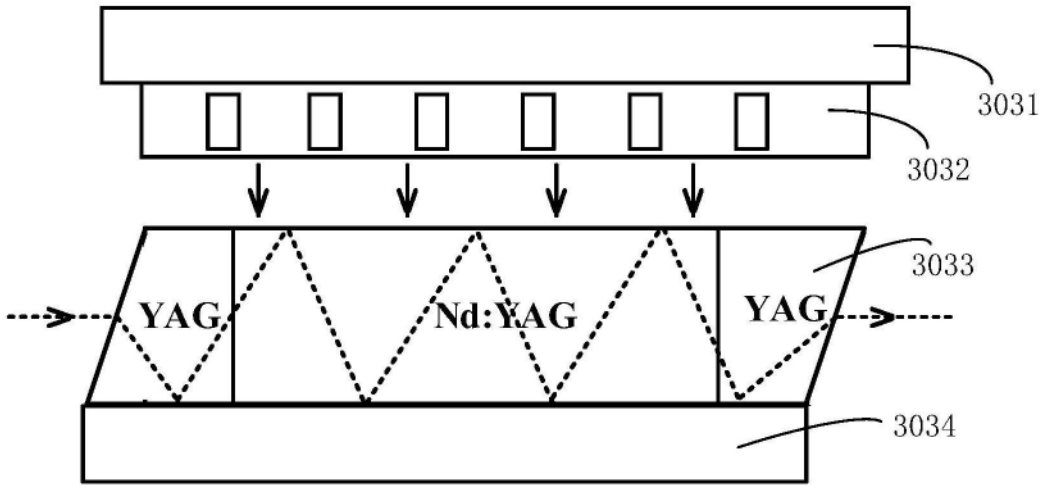

3031
3032
3033
YAG
Nd:YAG
YAG
3034

图4

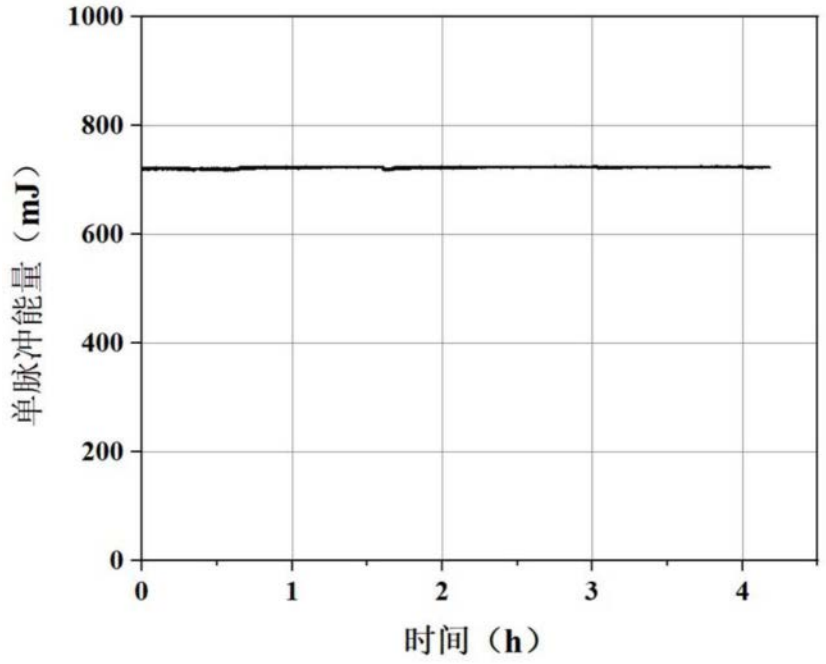

1000
800
600
400
200
0
单脉冲能量（mJ）
0
1
2
3
4
时间（h）

图5

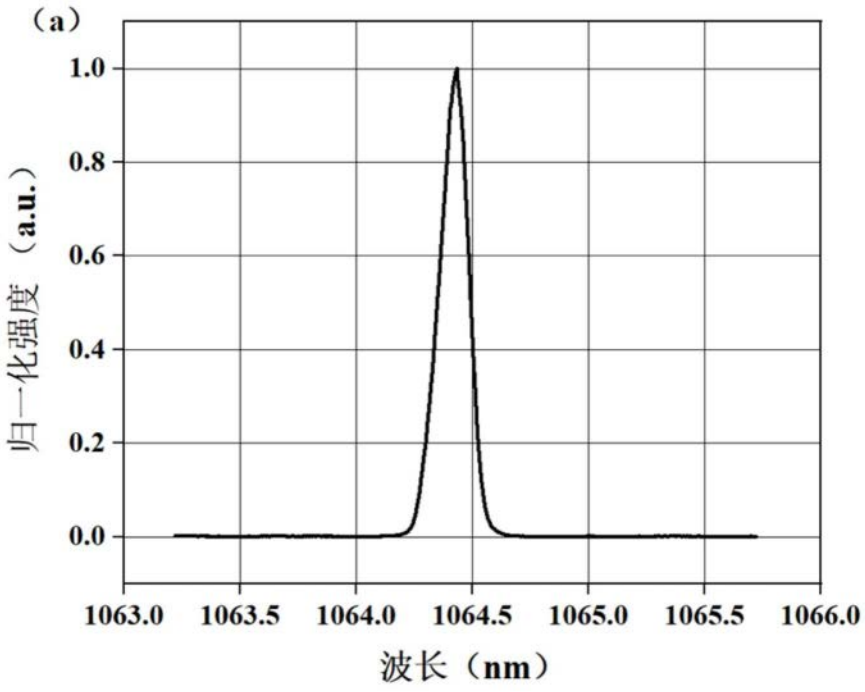

（a）
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
归一化强度（a.u.）
1063.0
1063.5
1064.0
1064.5
1065.0
1065.5
1066.0
波长（nm）

图6(a)

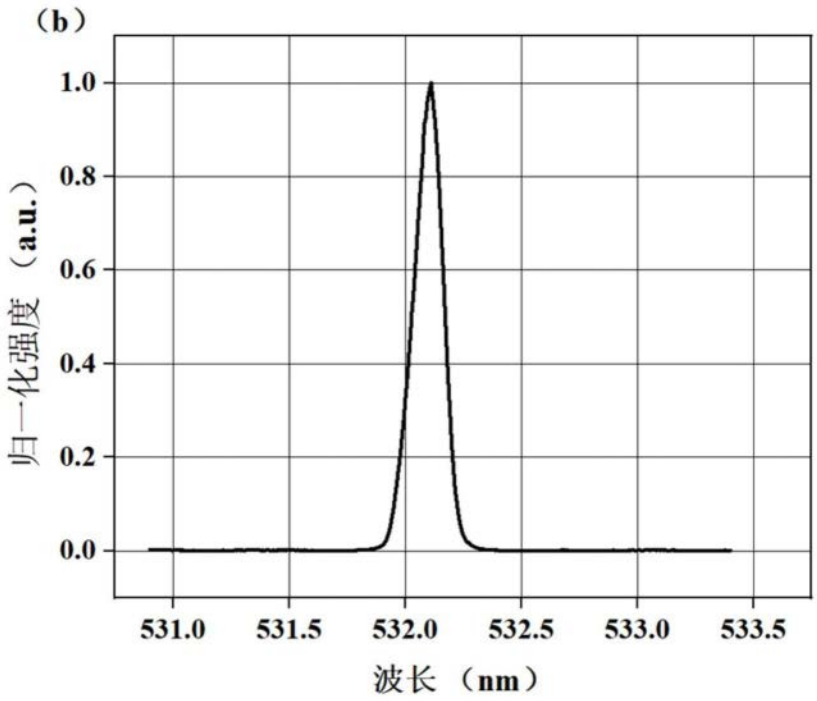

(b)
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
归一化强度（a.u.）
531.0
531.5
532.0
532.5
533.0
533.5
波长（nm）

图6(b)

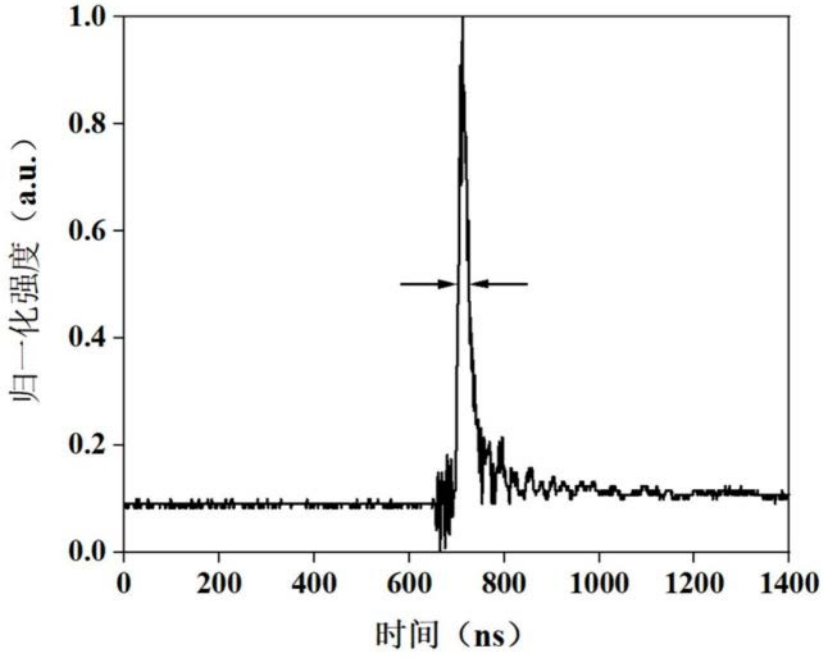

1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
归一化强度（a.u.）
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
时间（ns）

图7