



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119836596 A

(43) 申请公布日 2025. 04. 15

(21) 申请号 202280099698.X

(51) Int.Cl.

(22) 申请日 2022.10.25

G02F 1/37 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2025.03.03

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2022/039779 2022.10.25

(87) PCT国际申请的公布数据

W02024/089777 JA 2024.05.02

(71) 申请人 极光先进雷射株式会社

地址 日本栃木县

(72) 发明人 小山内贵幸

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司

11127

专利代理师 于英慧

权利要求书3页 说明书12页 附图9页

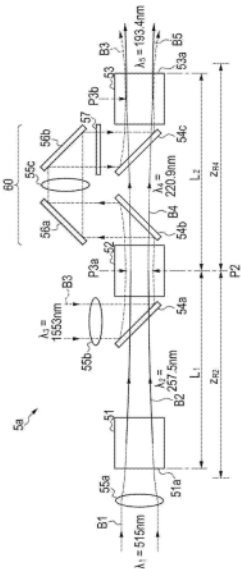
(54) 发明名称

波长转换系统、固体激光系统以及电子器件的制造方法

(57) 摘要

本公开的一个方面的波长转换系统具有：第一非线性光学晶体 (51)，其供具有第一波长的第一光 (B1) 入射，并输出作为第一光的2倍波的具有第二波长的第二光 (B2)；第二非线性光学晶体 (52)，其供第二光 (B2) 和具有第三波长的第三光 (B3) 入射，并输出第四光 (B4) 和第三光 (B3)，该第四光具有第四波长，是第二光和第三光的和频光；第三非线性光学晶体 (53)，其供第三光 (B3) 和第四光 (B4) 入射，并输出作为第三光和第四光的和频光的具有第五波长的第五光 (B5)；以及会聚光学系统 (55a)，其使第一光 (B1) 入射到第一非线性光学晶体 (51)，使得第二光 (B2) 的束腰位置配置在第二非线性光学晶体 (52) 内。第一非线性光学晶体 (51) 配置于从第二光的束腰位置 (P2) 起第二光的瑞利长度 (z_{R2}) 以内的范围，第三非线性光学晶体 (53) 配置于从第二光的束腰位置 (P2) 起第四光的瑞利长度 (z_{R4}) 以内的范

围。



1. 一种波长转换系统,其具备:

第一非线性光学晶体,其供具有第一波长的第一光入射,并输出作为所述第一光的2倍波的具有第二波长的第二光;

第二非线性光学晶体,其供所述第二光和具有第三波长的第三光入射,并输出第四光和所述第三光,该第四光具有第四波长,是所述第二光和所述第三光的和频光;

第三非线性光学晶体,其供所述第三光和所述第四光入射,并输出作为所述第三光和所述第四光的和频光的具有第五波长的第五光;以及

会聚光学系统,其使所述第一光入射到第一非线性光学晶体,使得所述第二光的束腰位置配置在所述第二非线性光学晶体内,

所述第一非线性光学晶体配置于从所述第二光的束腰位置起所述第二光的瑞利长度以内的范围,

所述第三非线性光学晶体配置于从所述第二光的束腰位置起所述第四光的瑞利长度以内的范围。

2. 根据权利要求1所述的波长转换系统,其中,

在将所述会聚光学系统的数值孔径设为 NA_1 、将所述第二波长设为 λ_2 、将从所述第二光的束腰位置到所述第一非线性光学晶体的供所述第一光入射的面的距离设为 L_1 的情况下,满足下式(1)

$$NA_1 \leq \sqrt{\frac{2\lambda_2}{\pi L_1}} \quad \dots (1)$$

3. 根据权利要求1所述的波长转换系统,其中,

所述第一非线性光学晶体、所述第二非线性光学晶体和所述第三非线性光学晶体具有类型-1的相位匹配条件,

入射到所述第二非线性光学晶体的所述第二光和所述第三光为线偏振光且偏振方向平行,

所述波长转换系统具有偏振方向变更光学系统,该偏振方向变更光学系统使入射到所述第三非线性光学晶体的所述第三光的偏振方向旋转 90° 。

4. 根据权利要求3所述的波长转换系统,其中,

所述偏振方向变更光学系统包含使所述第三光的偏振方向旋转 90° 的 $1/2$ 波长板。

5. 根据权利要求3所述的波长转换系统,其中,

所述偏振方向变更光学系统包含使所述第三光的偏振方向旋转 90° 的潜望镜光学系统。

6. 根据权利要求1所述的波长转换系统,其中,

所述第一非线性光学晶体和所述第三非线性光学晶体分别具有类型-1的相位匹配条件,

所述第二非线性光学晶体具有类型-2的相位匹配条件,

入射到所述第二非线性光学晶体的所述第二光和所述第三光为线偏振光且偏振方向相互垂直。

7. 根据权利要求1所述的波长转换系统,其中,

所述第一非线性光学晶体、所述第二非线性光学晶体和所述第三非线性光学晶体为CLBO晶体。

8. 根据权利要求1所述的波长转换系统, 其中,

所述第三波长比所述第一波长长, 所述第一波长比所述第二波长长, 所述第二波长比所述第四波长长, 所述第四波长比所述第五波长长。

9. 一种固体激光系统, 其具备:

波长转换系统;

信号激光系统, 其输出信号激光;

放大系统, 其基于泵浦激光对所述信号激光进行脉冲放大, 并将脉冲放大后的所述信号激光作为第三光输出至所述波长转换系统; 以及

泵浦激光装置, 其生成所述泵浦激光和第一光, 将所述泵浦激光输出至所述放大系统, 并将所述第一光输出至所述波长转换系统,

所述波长转换系统具备:

第一非线性光学晶体, 其供具有第一波长的所述第一光入射, 并输出作为所述第一光的2倍波的具有第二波长的第二光;

第二非线性光学晶体, 其供所述第二光和具有第三波长的所述第三光入射, 并输出第四光和所述第三光, 该第四光具有第四波长, 是所述第二光和所述第三光的和频光;

第三非线性光学晶体, 其供所述第三光和所述第四光入射, 并输出作为所述第三光和所述第四光的和频光的具有第五波长的第五光; 以及

会聚光学系统, 其使所述第一光入射到第一非线性光学晶体, 使得所述第二光的束腰位置配置在所述第二非线性光学晶体内,

所述第一非线性光学晶体配置于从所述第二光的束腰位置起所述第二光的瑞利长度以内的范围,

所述第三非线性光学晶体配置于从所述第二光的束腰位置起所述第四光的瑞利长度以内的范围。

10. 一种电子器件的制造方法, 其包括如下工序:

通过包括波长转换系统的固体激光系统生成激光,

将所述激光输出到曝光装置,

在所述曝光装置内对感光基板曝光所述激光, 以制造电子器件,

所述波长转换系统具备:

第一非线性光学晶体, 其供具有第一波长的第一光入射, 并输出作为所述第一光的2倍波的具有第二波长的第二光;

第二非线性光学晶体, 其供所述第二光和具有第三波长的第三光入射, 并输出第四光和所述第三光, 该第四光具有第四波长, 是所述第二光和所述第三光的和频光;

第三非线性光学晶体, 其供所述第三光和所述第四光入射, 并输出作为所述第三光和所述第四光的和频光的具有第五波长的第五光; 以及

会聚光学系统, 其使所述第一光入射到第一非线性光学晶体, 使得所述第二光的束腰位置配置在所述第二非线性光学晶体内,

所述第一非线性光学晶体配置于从所述第二光的束腰位置起所述第二光的瑞利长度

以内的范围，

所述第三非线性光学晶体配置于从所述第二光的束腰位置起所述第四光的瑞利长度以内的范围。

波长转换系统、固体激光系统以及电子器件的制造方法

技术领域

[0001] 本公开涉及波长转换系统、固体激光系统以及电子器件的制造方法。

背景技术

[0002] 近年来,在半导体曝光装置中,随着半导体集成电路的微细化及高集成化,要求分辨率的提高。因此,从曝光用光源发射的光的短波长化正在推进。例如,作为曝光用的气体激光装置,使用输出波长约248nm的激光的KrF准分子激光装置、以及输出波长约193.4nm的激光的ArF准分子激光装置。

[0003] KrF准分子激光装置及ArF准分子激光装置的自然振荡光的谱线宽度宽,为350~400pm。因此,若由使KrF以及ArF激光那样的紫外线透过的材料构成投影透镜,则有时产生色差。其结果,分辨率可能降低。因此,需要将从气体激光装置输出的激光的谱线宽度窄带化至色差能够忽略的程度。因此,在气体激光装置的激光谐振器内,为了使谱线宽度窄带化,有时具备包含窄带化元件(标准具、光栅等)的窄带化模块(Line Narrowing Module)。将像这样谱线宽度被窄带化的气体激光装置称为窄带化气体激光装置。

[0004] 现有技术文献

[0005] 专利文献

[0006] 专利文献1:美国专利第11226536号说明书

[0007] 专利文献2:日本特开2007-140564号公报

发明内容

[0008] 本公开的一个方面的波长转换系统具备:第一非线性光学晶体,其供具有第一波长的第一光入射,并输出作为第一光的2倍波的具有第二波长的第二光;第二非线性光学晶体,其供第二光和具有第三波长的第三光入射,并输出第四光和第三光,该第四光具有第四波长,是第二光和第三光的和频光;第三非线性光学晶体,其供第三光和第四光入射,并输出作为第三光和第四光的和频光的具有第五波长的第五光;以及会聚光学系统,其使第一光入射到第一非线性光学晶体,使得第二光的束腰位置配置在第二非线性光学晶体内,第一非线性光学晶体配置于从第二光的束腰位置起第二光的瑞利长度以内的范围,第三非线性光学晶体配置于从第二光的束腰位置起第四光的瑞利长度以内的范围。

[0009] 本公开的一个方面的固体激光系统具备:波长转换系统;信号激光系统,其输出信号激光;放大系统,其基于泵浦激光对信号激光进行脉冲放大,并将脉冲放大后的信号激光作为第三光输出至波长转换系统;以及泵浦激光装置,其生成泵浦激光和第一光,将泵浦激光输出至放大系统,并将第一光输出至波长转换系统,波长转换系统具备:第一非线性光学晶体,其供具有第一波长的第一光入射,并输出作为第一光的2倍波的具有第二波长的第二光;第二非线性光学晶体,其供第二光和具有第三波长的第三光入射,并输出第四光和第三光,该第四光具有第四波长,是第二光和第三光的和频光;第三非线性光学晶体,其供第三光和第四光入射,并输出作为第三光和第四光的和频光的具有第五波长的第五光;以及会

聚光学系统,其使第一光入射到第一非线性光学晶体,使得第二光的束腰位置配置在第二非线性光学晶体内,第一非线性光学晶体配置于从第二光的束腰位置起第二光的瑞利长度以内的范围,第三非线性光学晶体配置于从第二光的束腰位置起第四光的瑞利长度以内的范围。

[0010] 本公开的一个方面的电子器件的制造方法包括如下工序:通过包括波长转换系统的固体激光系统生成激光,将激光输出到曝光装置,在曝光装置内对感光基板曝光激光,以制造电子器件,波长转换系统具备:第一非线性光学晶体,其供具有第一波长的第一光入射,并输出作为第一光的2倍波的具有第二波长的第二光;第二非线性光学晶体,其供第二光和具有第三波长的第三光入射,并输出第四光和第三光,该第四光具有第四波长,是第二光和第三光的和频光;第三非线性光学晶体,其供第三光和第四光入射,并输出作为第三光和第四光的和频光的具有第五波长的第五光;以及会聚光学系统,其使第一光入射到第一非线性光学晶体,使得第二光的束腰位置配置在第二非线性光学晶体内,第一非线性光学晶体配置于从第二光的束腰位置起第二光的瑞利长度以内的范围,第三非线性光学晶体配置于从第二光的束腰位置起第四光的瑞利长度以内的范围。

附图说明

[0011] 以下,仅作为例子,参照附图对本公开的几个实施方式进行说明。

[0012] 图1是概略地示出比较例的固体激光系统的结构的图。

[0013] 图2是概略地示出比较例的波长转换系统的结构的图。

[0014] 图3是概略地示出在内部配置有非线性光学晶体的单元的图。

[0015] 图4是概略地示出第一实施方式的波长转换系统的结构的图。

[0016] 图5是示出瑞利长度与束腰半径的关系的图。

[0017] 图6是概略地示出第二实施方式的波长转换系统的结构的图。

[0018] 图7是概略地示出潜望镜光学系统的结构的图。

[0019] 图8是概略地示出第四实施方式的波长转换系统的结构的图。

[0020] 图9是概略地示出曝光装置的结构例的图。

具体实施方式

[0021] <内容>

[0022] 1.比较例

[0023] 1.1固体激光系统

[0024] 1.1.1结构

[0025] 1.1.2动作

[0026] 1.2波长转换系统

[0027] 1.2.1结构及作用

[0028] 1.3课题

[0029] 2.第一实施方式

[0030] 2.1结构及作用

[0031] 2.2瑞利长度与数值孔径的关系

[0032] 2.3效果

[0033] 3.第二实施方式

[0034] 3.1结构及作用

[0035] 3.2效果

[0036] 4.第三实施方式

[0037] 4.1结构及作用

[0038] 4.2效果

[0039] 5.第四实施方式

[0040] 5.1结构及作用

[0041] 5.2效果

[0042] 6.电子器件的制造方法

[0043] 以下,参照附图对本公开的实施方案进行详细说明。以下说明的实施方案表示本公开的几个例子,并不限定本公开的内容。另外,在实施方案中说明的结构以及动作作为本公开的结构以及动作未必全部是必须的。此外,对相同的构成要素标注相同的参照符号,并省略重复的说明。

[0044] 1.比较例

[0045] 首先,对本公开的比较例进行说明。本公开的比较例是申请人认识到仅由申请人知道的方式,不是申请人自己认可的公知例。

[0046] 1.1固体激光系统

[0047] 1.1.1结构

[0048] 图1概略地示出比较例的固体激光系统10的结构。固体激光系统10包括信号激光装置2、放大系统3、泵浦激光装置4、波长转换系统5和固体激光控制部6。固体激光系统10输出波长约193.4nm的脉冲激光。

[0049] 信号激光装置2包括半导体激光器21和固体放大器22。半导体激光器21以单纵模方式进行CW(Continuous Wave:连续波)振荡,输出波长约1553nm的CW激光。固体放大器22是包括半导体光放大器的放大器,对从半导体激光器21输出的CW激光进行放大。由固体放大器22放大的波长约1553nm的CW激光作为信号激光S入射到放大系统3。

[0050] 泵浦激光装置4包括半导体激光器41、固体放大器42、LBO(LiB_3O_5)晶体43和分色镜(DM:Dichroic Mirror)44。半导体激光器41以单纵模方式进行CW振荡,输出波长约1030nm的CW激光。固体放大器42是包含半导体光放大器和掺杂了Yb的YAG晶体的放大器,对从半导体激光器41输出的CW激光进行脉冲放大。

[0051] LBO晶体43是非线性光学晶体,对通过固体放大器42进行脉冲放大而生成的波长约1030nm的脉冲激光进行波长转换,生成作为2倍波的波长约515nm的脉冲激光。

[0052] DM44配置在LBO晶体43的下游侧,使未被LBO晶体43波长转换的波长约1030nm的脉冲激光高反射,使从LBO晶体43入射的波长约515nm的脉冲激光高透过。由DM44高反射后的脉冲激光从泵浦激光装置4输出并作为泵浦激光P入射到放大系统3。高透过DM44后的脉冲激光从泵浦激光装置4输出而作为第一脉冲激光PL1入射至波长转换系统5。

[0053] 放大系统3包括光学参数放大器(OPA:Optical Parametric Amplifier)。OPA例如是包含周期性极化反转铌酸锂晶体(PPLN:Periodically Poled Lithium Niobate)、周期

性极化反转磷酸氧钛钾晶体 (PPKTP: Periodically Poled KTP) 等的放大器。OPA 基于从泵浦激光装置4入射的泵浦激光P, 对从信号激光装置2入射的信号激光S进行脉冲放大。脉冲放大后的信号激光S从放大系统3输出并作为第二脉冲激光PL2入射到波长转换系统5。

[0054] 波长转换系统5包括第一CLB0 ($\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$) 晶体51、第二CLB0晶体52、第三CLB0晶体53和DM54a。第一CLB0晶体51是非线性光学晶体, 对从泵浦激光装置4入射的第一脉冲激光PL1进行波长转换, 生成并输出作为第一脉冲激光PL1的2倍波的波长约257.5nm的紫外脉冲激光。

[0055] DM54a配置在第一CLB0晶体51的下游侧, 使从放大系统3入射的第二脉冲激光PL2高反射, 使从第一CLB0晶体51入射的紫外线脉冲激光高透过。另外, DM54a配置为, 使高反射后的第二脉冲激光PL2和高透过后的紫外脉冲激光同轴地入射到第二CLB0晶体52。

[0056] 第二CLB0晶体52和第三CLB0晶体53串联配置, 通过产生两次和频, 生成并输出波长约193.4nm的脉冲激光PL。

[0057] 固体激光控制部6由处理器构成, 与信号激光装置2、泵浦激光装置4和波长转换系统5连接。固体激光控制部6与设置于固体激光系统10的外部的激光控制部12连接。

[0058] 1.1.2动作

[0059] 接着, 对比较例的固体激光系统10的动作进行说明。固体激光控制部6通过控制泵浦激光装置4的半导体激光器41的电流值来使其进行CW振荡, 输出波长约1030nm的CW激光。另外, 固体激光控制部6通过固体放大器42对从半导体激光器41输出的CW激光进行脉冲放大。

[0060] LB0晶体43将通过由固体放大器42进行脉冲放大而生成的波长约1030nm的脉冲激光转换为波长约515nm的脉冲激光。波长约515nm的脉冲激光高透过DM44, 作为第一脉冲激光PL1入射到波长转换系统5。另外, 未被LB0晶体43波长转换的波长约1030nm的脉冲激光被DM44高反射, 作为泵浦激光P入射到放大系统3。

[0061] 固体激光控制部6通过控制信号激光装置2的半导体激光器21的电流值来使其进行CW振荡, 输出波长约1553nm的CW激光。另外, 固体激光控制部6通过固体放大器22将从半导体激光器21输出的CW激光放大。由此, 波长约1553nm的CW激光从信号激光装置2输出, 并作为信号激光S入射到放大系统3。

[0062] 放大系统3基于泵浦激光P对信号激光S进行脉冲放大。脉冲放大后的信号激光S作为第二脉冲激光PL2入射到波长转换系统5。

[0063] 在波长转换系统5中, 第一脉冲激光PL1被第一CLB0晶体51转换为波长约257.5nm的紫外脉冲激光。波长约257.5nm的紫外脉冲激光高透过DM54a而入射到第二CLB0晶体52。第二脉冲激光PL2被DM54a高反射而入射至第二CLB0晶体52。第二CLB0晶体52生成并输出作为第二脉冲激光PL2与波长约257.5nm的紫外脉冲激光的和频光的波长约220.9nm的紫外脉冲激光。另外, 第二CLB0晶体52输出未被波长转换的第二脉冲激光PL2。

[0064] 从第二CLB0晶体52输出的第二脉冲激光PL2和波长约220.9nm的紫外脉冲激光同轴地入射到第三CLB0晶体53。第三CLB0晶体53生成并输出作为第二脉冲激光PL2与波长约220.9nm的紫外脉冲激光的和频光的波长约193.4nm的脉冲激光PL。脉冲激光PL从固体激光系统10输出。

[0065] 也可以通过未图示的准分子放大器对从固体激光系统10输出的脉冲激光PL进行

放大。

[0066] 1.2波长转换系统

[0067] 1.2.1结构及作用

[0068] 接着,使用图2更详细地说明比较例的波长转换系统5的结构和作用。图2示出比较例的波长转换系统5的结构。波长转换系统5除了包括上述的第一CLB0晶体51~第三CLB0晶体53和DM54a之外,还包括DM54b、54c、透镜55a~55c、高反射镜56a、56b和1/2波长板57。

[0069] 第一CLB0晶体51~第三CLB0晶体53是具有类型-1的相位匹配条件的非线性光学晶体。即,第一CLB0晶体51~第三CLB0晶体53构成为光学轴与入射的激光的光路轴所成的角度成为满足类型-1的相位匹配条件的相位匹配角。

[0070] 透镜55a配置在入射到波长转换系统5的第一光B1的光路上且第一CLB0晶体51的上游侧。第一光B1是上述的第一脉冲激光PL1。第一光B1所具有的第一波长 λ_1 约为515nm。透镜55a使第一光B1会聚成第一光B1的束腰位置P1处于第一CLB0晶体51内。

[0071] 第一CLB0晶体51以晶体中心成为束腰位置P1的方式配置。第一CLB0晶体51将具有第一波长 λ_1 的第一光B1转换为作为第一光B1的2倍波的具有第二波长 λ_2 的第二光B2并输出。第二波长 λ_2 约为257.5nm。第二光B2是上述的波长约257.5nm的紫外脉冲激光。第一CLB0晶体51是本公开的技术的“第一非线性光学晶体”的一例。

[0072] 第二光B2的束腰位置与第一光B1的束腰位置P1相同。即,从第一CLB0晶体51输出的第二光B2成为从束腰位置P1扩散的扩散光。

[0073] 透镜55b配置在入射到波长转换系统5的第三光B3的光路上且DM54a的上游侧。第三光B3是上述的第二脉冲激光PL2。第三光B3所具有的第三波长 λ_3 约为1553nm。透镜55b经由DM54a使第三光B3会聚成第三光B3的束腰位置P3a处于第二CLB0晶体52内。

[0074] DM54a涂覆有使第二光B2高透过且使第三光B3高反射的膜。从透镜55b入射到DM54a并被DM54a高反射后的第三光B3在第二CLB0晶体52内会聚。

[0075] 第二CLB0晶体52以晶体中心成为束腰位置P3a的方式配置。第二CLB0晶体52生成并输出第四光B4,该第四光B4是高透过DM54a后的第二光B2与被DM54a高反射后的第三光B3的和频光。第四光B4所具有的第四波长 λ_4 约为220.9nm。另外,第二CLB0晶体52输出未被波长转换的第三光B3。第二CLB0晶体52是本公开的技术的“第二非线性光学晶体”的一例。

[0076] 入射到第二CLB0晶体52的第二光B2和第三光B3都是线偏振光。由于第二CLB0晶体52具有类型-1的相位匹配条件,因此需要使入射到第二CLB0晶体52的第二光B2的偏振方向和第三光B3的偏振方向平行。入射到第二CLB0晶体52的第二光B2的偏振方向与第三光B3的偏振方向平行时,从第二CLB0晶体52输出的第三光B3的偏振方向与第四光B4的偏振方向垂直。

[0077] 第三CLB0晶体53具有类型-1的相位匹配条件,因此需要使入射到第三CLB0晶体53的第三光B3的偏振方向与第四光B4的偏振方向平行。由于从第二CLB0晶体52输出的第三光B3的偏振方向与第四光B4的偏振方向垂直,因此需要使第三光B3和第四光B4中的任一方的偏振方向旋转90°。

[0078] DM54b、54c、透镜55c、高反射镜56a、56b和1/2波长板57构成偏振方向变更光学系统60。偏振方向变更光学系统60配置在第二CLB0晶体52与第三CLB0晶体53之间。在本比较例中,偏振方向变更光学系统60通过使第三光B3的偏振方向旋转90°,使第三光B3的偏振方

向与第四光B4的偏振方向平行。

[0079] DM54b、54c分别涂覆有使第四光B4高透过且使第三光B3高反射的膜。DM54b配置在第二CLB0晶体52的下游侧,是使从第二CLB0晶体52输出的第三光B3和第四光B4的光路分开的光路分开元件。DM54c配置在第三CLB0晶体53的上游侧,是使由DM54b分开光路后的第三光B3和第四光B4的光路汇合的光路汇合元件。

[0080] DM54b使从第二CLB0晶体52输出的第四光B4高透过。高透过DM54b后的第四光B4高透过DM54c而入射到第三CLB0晶体53。DM54b使从第二CLB0晶体52输出的第三光B3高反射。

[0081] 高反射镜56a配置在被DM54b高反射后的第三光B3的光路上,使第三光B3高反射。透镜55c配置在高反射镜56a的下游侧,经由高反射镜56a和DM54c将第三光B3会聚成,被高反射镜56a高反射后的第三光B3的束腰位置P3b处于第三CLB0晶体53内。

[0082] 高反射镜56b配置在透镜55c的下游侧,使第三光B3高反射。1/2波长板57配置在高反射镜56b的下游侧,使被高反射镜56b高反射后的第三光B3的偏振方向旋转90°。

[0083] DM54c配置在1/2波长板57的下游侧,使偏振方向旋转90°后的第三光B3高反射而入射到第三CLB0晶体53。其结果,入射到第三CLB0晶体53的第三光B3的偏振方向与第四光B4的偏振方向平行。

[0084] 第三CLB0晶体53以晶体中心成为束腰位置P3b的方式配置。第三CLB0晶体53生成并输出作为第三光B3与第四光B4的和频光的第五光B5。第五光B5是上述的脉冲激光PL。第五光B5所具有的第五波长 λ_5 约为193.4nm。第三CLB0晶体53是本公开的技术的“第三非线性光学晶体”的一例。另外,第一波长 $\lambda_1 \sim$ 第五波长 λ_5 具有 $\lambda_3 > \lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_4 > \lambda_5$ 的关系。

[0085] 第二CLB0晶体52配置在能够将作为入射紫外光的第二光B2视为平行光的范围内。第三CLB0晶体53配置在能够将作为入射紫外光的第四光B4视为平行光的范围内。由于第二光B2及第四光B4是从束腰位置P1扩散的扩散光,因此第二CLB0晶体52及第三CLB0晶体53在束腰位置P1的下游侧配置于瑞利长度 z_{R1} 以内的范围。瑞利长度表示能够将脉冲激光视为平行光的距离。

[0086] 1.3课题

[0087] 接着,对比较例的波长转换系统5的课题进行说明。CLB0晶体等非线性光学晶体具有吸湿性,因此配置在如图3所示的单元70的内部。

[0088] 单元70构成为包括壳体71、入射窗72、出射窗73、晶体保持件74以及加热器75。入射窗72和出射窗73安装于壳体71。晶体保持件74设置于壳体71的内部,在通过入射窗72和出射窗73的脉冲激光的光路上保持非线性光学晶体。加热器75安装于晶体保持件74,与设置于单元70的外部的加热器用电源76连接。加热器75对非线性光学晶体进行加热。

[0089] 在壳体71连接有用于向壳体71内导入Ar气体等吹扫气体的气体导入管77a和用于从壳体71内排出吹扫气体的气体排出管77b。气体导入管77a与气体供给装置78a连接。气体排出管77b与气体排出装置78b连接。

[0090] 单元70在一边用吹扫气体进行吹扫一边通过加热器75将非线性光学晶体的温度维持在150℃左右的状态下使用。因此,在波长转换系统5中,为了配置第一CLB0晶体51~第三CLB0晶体53,必须考虑单元70的体积,而在非线性光学晶体的前后确保用于配置单元70的光路长度。

[0091] 为了确保用于配置单元70的光路长度,考虑使用中继透镜光学系统。然而,在使用

中继透镜光学系统的情况下,中继透镜光学系统必须传播作为紫外光的脉冲激光,因此透镜因紫外光而劣化。其结果,波长转换系统5的寿命变短。另外,由于透镜对紫外光的吸收而产生热透镜效应,因此射束直径及束腰位置发生变化。进而,由于在透镜产生表面反射,因此脉冲激光的输出降低。基于以上的理由,不优选使用中继透镜光学系统。

[0092] 从波长转换的高效率化的观点出发,优选将波长转换系统5所包含的多个非线性光学晶体配置于从入射的脉冲激光的束腰位置起瑞利长度以内的范围。在图2所示的例子中,如上所述,将第二CLB0晶体52和第三CLB0晶体53配置于从位于第一CLB0晶体51的晶体中心的束腰位置P1向下游侧瑞利长度 z_{R1} 以内的范围。

[0093] 但是,若还考虑单元70的体积,则难以将各非线性光学晶体配置于瑞利长度以内的范围。在图2所示的例子中,若考虑单元70的体积,则难以在从第一CLB0晶体51起瑞利长度 z_{R1} 以内的范围配置第二CLB0晶体52和第三CLB0晶体53。

[0094] 即,具有CLB0晶体等具有吸湿性的多个非线性光学晶体的波长转换系统5中,存在能够从波长转换的高效率化的观点出发而配置多个非线性光学晶体的光路长度短、设计自由度非常低的课题。

[0095] 2. 第一实施方式

[0096] 接着,对本公开的第一实施方式的固体激光系统10进行说明。第一实施方式的固体激光系统10仅波长转换系统的结构与比较例的固体激光系统10的结构不同。以下,对与比较例相同的构成要素标注相同的附图标记,并适当省略说明。

[0097] 2.1 结构及作用

[0098] 使用图4对第一实施方式的波长转换系统5a的结构和作用进行说明。图4示出第一实施方式的波长转换系统5a的结构。波长转换系统5a与比较例的波长转换系统5同样,包含第一CLB0晶体51~第三CLB0晶体53、DM54a~54c、透镜55a~55c、高反射镜56a、56b和1/2波长板57。

[0099] 在本实施方式中,透镜55a使第一光B1入射到第一CLB0晶体51,使得由第一CLB0晶体51生成的第二光B2的束腰位置P2配置在第二CLB0晶体52内。即,通过透镜55a使第一光B1会聚,从而第二光B2会聚在第二CLB0晶体52内。第二CLB0晶体52优选以晶体中心成为束腰位置P2的方式配置。透镜55a为本公开的技术的“会聚光学系统”的一例。会聚光学系统不限于1片透镜,也可以由包含2片以上的透镜、镜等的光学系统构成。

[0100] 在本实施方式中,由第二CLB0晶体52生成的第四光B4的束腰位置与第二光B2的束腰位置P2相同。即,从第二CLB0晶体52输出的第四光B4成为从束腰位置P2扩散的扩散光。

[0101] 在本实施方式中,将第一CLB0晶体51配置于第二CLB0晶体52的上游侧且从束腰位置P2起第二光B2的瑞利长度 z_{R2} 以内的范围。具体而言,以使第一CLB0晶体51的供光入射的面51a处于从束腰位置P2起第二光B2的瑞利长度 z_{R2} 以内的范围的方式,配置第一CLB0晶体51。

[0102] 另外,将第三CLB0晶体53配置于第二CLB0晶体52的下游侧且从束腰位置P2起第四光B4的瑞利长度 z_{R4} 以内的范围。具体而言,以第三CLB0晶体53的射出光的面53a处于从束腰位置P2起第四光B4的瑞利长度 z_{R4} 以内的范围的方式,配置第三CLB0晶体53。

[0103] 2.2 瑞利长度与数值孔径的关系

[0104] 接着,对瑞利长度与数值孔径的关系进行说明。图5示出作为准直光的激光入射到

透镜90时的瑞利长度 z_R 与束腰半径 ω 的关系。

[0105] 由透镜90会聚的激光的束腰在距透镜90为焦距 f 的位置产生。束腰半径 ω 是束腰位置处的激光的射束半径。更详细而言,束腰半径 ω 是放射强度为射束中心处的峰值放射强度的 $1/e^2$ 倍的位置的射束半径。

[0106] 瑞利长度 z_R 与束腰半径 ω 的关系由下式(1)表示。这里, λ 是入射到透镜90的平行光的波长。

$$[0107] \quad z_R = \frac{\pi \omega^2}{\lambda} \quad \cdots (1)$$

[0108] 数值孔径NA与束腰半径 ω 的关系由下式(2)表示。在此, n 是传播激光的介质的折射率。 θ 是射束发散角。

$$[0109] \quad NA = n \sin \theta = n \sin \frac{\lambda}{\pi \omega} \quad \cdots (2)$$

[0110] 在 $n=1$ 且 $|\theta| \ll 1$ 的情况下,上式(2)由下式(3)表示。

$$[0111] \quad NA \approx \frac{\lambda}{\pi \omega} \quad \cdots (3)$$

[0112] 另外,根据上式(1),束腰半径 ω 由下式(4)表示。

$$[0113] \quad \omega = \sqrt{\frac{\lambda z_R}{\pi}} \quad \cdots (4)$$

[0114] 如图4所示,将从第一CLB0晶体51的供光入射的面51a到束腰位置P2的距离设为 L_1 时,为了将供光入射的面51a设于从束腰位置P2起第二光B2的瑞利长度 z_{R2} 以内的范围,需要满足下式(5)。在此, ω_2 是第二光B2的束腰半径。

$$[0115] \quad L_1 \leq z_{R2} = \frac{\pi \omega_2^2}{\lambda_2} \quad \cdots (5)$$

[0116] 根据上式(5),第二光B2的束腰半径 ω_2 需要满足下式(6)。

$$[0117] \quad \omega_2 \geq \sqrt{\frac{\lambda_2 L_1}{\pi}} \quad \cdots (6)$$

[0118] 根据上式(3)以及上式(6),为了满足上式(5),第二光B2的数值孔径 NA_2 满足下式(7)即可。

$$[0119] \quad NA_2 = \frac{\lambda_2}{\pi \omega_2} \leq \sqrt{\frac{\lambda_2}{\pi L_1}} \quad \cdots (7)$$

[0120] 另外,如图4所示,将从第三CLB0晶体53的射出光的面53a到束腰位置P2的距离设为 L_2 时,为了将射出光的面53a设于从束腰位置P2起第四光B4的瑞利长度 z_{R4} 以内的范围,需要满足下式(8)。 ω_4 是第四光B4的束腰半径。

$$[0121] \quad L_2 \leq z_{R4} = \frac{\pi \omega_4^2}{\lambda_4} \quad \cdots (8)$$

[0122] 在此,假定 $\omega_4 = \omega_2$ 时,上式(8)由下式(9)表示。

$$[0123] \quad L_2 \leq z_{R4} = \frac{\pi \omega_4^2}{\lambda_4} = \frac{\pi \omega_2^2}{\lambda_4} \quad \dots (9)$$

[0124] 并且,假定第一光B1的束腰位置与第二光B2的束腰位置P2一致,且第一光B1的束腰半径 ω_1 满足下式(10)。

$$[0125] \quad \omega_1 = \sqrt{2} \omega_2 \quad \dots (10)$$

[0126] 在该情况下,第一光B1的数值孔径 NA_1 由下式(11)表示。

$$[0127] \quad NA_1 = \frac{\lambda_1}{\pi \omega_1} = \frac{2\lambda_2}{\pi \sqrt{2} \omega_2} = \sqrt{2} NA_2 \quad \dots (11)$$

[0128] 因此,在本实施方式中,针对距离 L_1 以满足上式(6)的方式设定第二光B2的束腰半径 ω_2 ,以满足上式(7)的方式设定第二光B2的数值孔径 NA_2 即可。并且,使第一光B1会聚的透镜55a只要第一光B1的束腰半径 ω_1 满足上式(10),且数值孔径 NA_1 为第二光B2的数值孔径 NA_2 的 $\sqrt{2}$ 倍即可。

[0129] 即,作为透镜55a,只要选定具有由下式(12)表示的数值孔径 NA_1 的透镜即可。

$$[0130] \quad NA_1 \leq \sqrt{\frac{2\lambda_2}{\pi L_1}} \quad \dots (12)$$

[0131] 2.3效果

[0132] 如上所述,在本实施方式的波长转换系统5a中,透镜55a使第一光B1入射到第一CLB0晶体51,使得由第一CLB0晶体51生成的第二光B2的束腰位置P2配置在第二CLB0晶体52内。因此,能够在从束腰位置P2起向上游侧第二光B2的瑞利长度 z_{R2} 以内的范围配置第一CLB0晶体51。另外,能够在从束腰位置P2起向下游侧第四光B4的瑞利长度 z_{R4} 以内的范围配置第三CLB0晶体53。通过将第一CLB0晶体51~第三CLB0晶体53全部配置在从束腰位置P2起由瑞利长度 z_{R2} 、 z_{R4} 规定的光路长度的范围内,波长转换效率提高。

[0133] 这样,根据本实施方式,能够从波长转换的高效率化的观点出发而配置多个非线性光学晶体的光路长度扩大,因此能够在不降低波长转换效率的情况下提高波长转换系统5a的设计自由度。其结果,能够不使用中继透镜光学系统而将多个非线性光学晶体分别配置在单元的内部。

[0134] 3.第二实施方式

[0135] 接着,对本公开的第二实施方式的固体激光系统10进行说明。第二实施方式的固体激光系统10仅波长转换系统的结构与第一实施方式的固体激光系统10的结构不同。以下,对与第一实施方式相同的构成要素标注相同的附图标记,并适当省略说明。

[0136] 3.1结构及作用

[0137] 使用图6对第二实施方式的波长转换系统5b的结构和作用进行说明。图6示出第二实施方式的波长转换系统5b的结构。波长转换系统5b包括第一CLB0晶体51~第三CLB0晶体53、DM54a~54e、透镜55a~55c、高反射镜56b、1/2波长板57和衰减器58a~58c。与第一实施方式同样,第一CLB0晶体51~第三CLB0晶体53分别是具有类型-1的相位匹配条件的非线性光学晶体。

[0138] 在第一实施方式中,第一CLB0晶体51~第三CLB0晶体53配置为直线状,但在本实施方式中,第一CLB0晶体51~第三CLB0晶体53配置为非直线状。另外,在本实施方式中,未

被第一CLB0晶体51~第三CLB0晶体53波长转换的光被衰减器58a~58c吸收。

[0139] 在本实施方式中,透镜55a也使第一光B1入射到第一CLB0晶体51,使得由第一CLB0晶体51生成的第二光B2的束腰位置P2配置在第二CLB0晶体52内。第一CLB0晶体51配置于从束腰位置P2起向上游侧第二光B2的瑞利长度 z_{R2} 以内的范围。另外,第三CLB0晶体53配置于从束腰位置P2起向下游侧第四光B4的瑞利长度 z_{R4} 以内的范围。在如本实施方式那样第二光B2以及第四光B4的光路弯曲的情况下,瑞利长度 z_{R2} 、 z_{R4} 由沿着弯曲的光路的光路长度规定。

[0140] 在本实施方式中,DM54a涂覆有使第二光B2高反射且使第一光B1和第三光B3高透过的膜。从透镜55a入射到第一CLB0晶体51并在第一CLB0晶体51生成的第二光B2被DM54a高反射,而会聚于第二CLB0晶体52内。从透镜55b入射到DM54a的第三光B3高透过DM54a而会聚于第二CLB0晶体52内。

[0141] 衰减器58a配置在未被第一CLB0晶体51波长转换而高透过DM54a后的第一光B1的光路上,吸收第一光B1。

[0142] 第二CLB0晶体52配置在被DM54a高反射后的第二光B2和高透过DM54a后的第三光B3的光路上。与第一实施方式同样,第二CLB0晶体52生成作为第二光B2与第三光B3的和频光的第四光B4。

[0143] 在本实施方式中,由DM54b~54d、透镜55c、高反射镜56b和1/2波长板57构成偏振方向变更光学系统60a。从第二CLB0晶体52输出的第四光B4和未被第二CLB0晶体52波长转换的第二光B2及第三光B3入射到偏振方向变更光学系统60a。

[0144] 与第一实施方式同样,DM54b是光路分支元件。在本实施方式中,DM54b配置在第二CLB0晶体52的下游侧,使第二光B2和第四光B4高反射,使第三光B3高透过。

[0145] DM54d配置在被DM54b高反射后的第二光B2和第四光B4的光路上,使第四光B4高反射,使第二光B2高透过。衰减器58b配置在高透过DM54d后的第二光B2的光路上,吸收第二光B2。

[0146] 透镜55c配置在高透过DM54b后的第三光B3的光路上,将第三光B3会聚于第三CLB0晶体53内。高反射镜56b配置在透镜55c的下游侧,使第三光B3高反射。1/2波长板57配置在高反射镜56b的下游侧,使被高反射镜56b高反射后的第三光B3的偏振方向旋转90°。

[0147] 与第一实施方式同样,DM54c是光路汇合元件。在本实施方式中,DM54c配置在1/2波长板57的下游侧,使偏振方向旋转90°后的第三光B3高透过并入射到第三CLB0晶体53。此外,DM54c配置在由DM54d高反射后的第四光B4的光路上,使第四光B4高反射并入射到第三CLB0晶体53。

[0148] 第三CLB0晶体53生成并输出作为第三光B3与第四光B4的和频光的第五光B5。DM54e配置在第三CLB0晶体53的下游侧,使第五光B5高反射,使第三光B3和第四光B4高透过。衰减器58c配置在高透过DM54e后的第三光B3和第四光B4的光路上,吸收第三光B3和第四光B4。

[0149] 此外,DM54a~54e各自的反射与透射的关系也可以与上述的关系相反。即,波长转换系统5b所包含的多个构成要素的配置能够进行各种变形。

[0150] 3.2效果

[0151] 本实施方式的波长转换系统5b与第一实施方式的波长转换系统5a同样,能够从波

长转换的高效率化的观点出发而配置多个非线性光学晶体的光路长度扩大。由此,设计自由度提高,因此能够高效地配置分色镜、衰减器等。

[0152] 4.第三实施方式

[0153] 接着,对本公开的第三实施方式的固体激光系统10进行说明。第三实施方式的固体激光系统10仅波长转换系统的结构与第一实施方式的固体激光系统10的结构不同。

[0154] 4.1结构及作用

[0155] 本实施方式的波长转换系统在第一实施方式的波长转换系统5a中,代替偏振方向变更光学系统60所包含的1/2波长板57而使用图7所示的潜望镜光学系统80。在图7中,附图标记D表示第三光B3的偏振方向。X方向、Y方向以及Z方向是相互垂直的方向。

[0156] 潜望镜光学系统80包括第一潜望镜81和第二潜望镜82。第一潜望镜81配置在第三光B3的光路上,通过使第三光B3高反射而使光路偏转90°。第二潜望镜82配置在被第一潜望镜81高反射后的第三光B3的光路上,通过使第三光B3高反射而使光路偏转90°。第二潜望镜82配置为,向与第三光B3向第一潜望镜81的入射方向垂直的方向反射第三光B3。

[0157] 第三光B3沿X方向行进而入射到第一潜望镜81,被第一潜望镜81沿Z方向高反射。此时,第三光B3的偏振方向D是Y方向。通过第一潜望镜81的高反射,变更第三光B3的光路,但不变更偏振方向D。被第一潜望镜81高反射后的第三光B3沿Z方向行进而入射到第二潜望镜82,被第二潜望镜82沿Y方向高反射。通过第二潜望镜82的高反射,偏振方向D旋转90°。

[0158] 这样,与1/2波长板57同样,潜望镜光学系统80能够使第三光B3的偏振方向旋转90°。另外,潜望镜光学系统80也可以使用3个以上的潜望镜构成。

[0159] 4.2效果

[0160] 1/2波长板57是透光元件,因此有可能因热负荷而对偏振方向产生影响。与此相对,由于潜望镜光学系统80由作为光反射元件的潜望镜构成,因此不易产生热负荷,能够抑制热负荷对偏振方向的影响。

[0161] 另外,也可以代替第二实施方式的波长转换系统5b的偏振方向变更光学系统60a所包含的1/2波长板57而使用潜望镜光学系统80。

[0162] 5.第四实施方式

[0163] 接着,对本公开的第四实施方式的固体激光系统10进行说明。第四实施方式的固体激光系统10仅波长转换系统的结构与第二实施方式的固体激光系统10的结构不同。以下,对与第二实施方式相同的构成要素标注相同的附图标记,并适当省略说明。

[0164] 5.1结构及作用

[0165] 使用图8对第四实施方式的波长转换系统5c的结构和作用进行说明。图8示出第四实施方式的波长转换系统5c的结构。波长转换系统5c包括第一CLB0晶体51~第三CLB0晶体53、DM54a、54d、54e、透镜55a、55b、高反射镜56d和衰减器58a~58c。

[0166] 在本实施方式中,第一CLB0晶体51和第三CLB0晶体53分别是具有类型-1的相位匹配条件的非线性光学晶体。第二CLB0晶体52是具有类型-2的相位匹配条件的非线性光学晶体。第二CLB0晶体52构成为,光学轴与入射的激光的光路轴所成的角度成为满足类型-2的相位匹配条件的相位匹配角。

[0167] 在本实施方式中,由于第二CLB0晶体52具有类型-2的相位匹配条件,因此使入射到第二CLB0晶体52的第二光B2和第三光B3的偏振方向相互垂直。由此,从第二CLB0晶体52

输出的第三光B3和第四光B4的偏振方向平行,因此不需要如第二实施方式那样设置偏振方向变更光学系统60a。

[0168] 因此,在波长转换系统5c中未设置偏振方向变更光学系统60a。在第二CLB0晶体52的下游配置有使第二光B2高反射并使第三光B3和第四光B4高透过的DM54d。高透过DM54d后的第三光B3和第四光B4以偏振方向平行的状态入射到第三CLB0晶体53。衰减器58b配置在被DM54d高反射后的第二光B2的光路上,吸收第二光B2。

[0169] DM54e配置在第三CLB0晶体53的下游侧,使第五光B5高反射,使第三光B3和第四光B4高透过。高反射镜56d配置在被DM54e高反射后的第五光B5的光路上,使第五光B5高反射。

[0170] 在本实施方式中,由于未设置透镜55c,因此透镜55b构成为使第三光B3会聚于第二CLB0晶体52与第三CLB0晶体53之间。

[0171] 波长转换系统5c的其他结构与波长转换系统5b相同。此外,DM54a、54d、54e各自的反射与透射的关系也可以与上述的关系相反。即,波长转换系统5c所包含的多个构成要素的配置能够进行各种变形。另外,高反射镜56d不是必须的构成要素。

[0172] 5.2效果

[0173] 在本实施方式中,由于将第二CLB0晶体52设为具有类型-2的相位匹配条件的非线性光学晶体,因此不需要如第二实施方式那样设置1/2波长板57。由此,能够抑制热负荷对偏振方向的影响。

[0174] 6. 电子器件的制造方法

[0175] 图9概略地示出曝光装置100的结构例。曝光装置100包括照明光学系统104和投影光学系统106。照明光学系统104例如通过从固体激光系统10入射的脉冲激光PL,对配置在掩模版台RT上的未图示的掩模版的掩模版图案进行照明。投影光学系统106将透过掩模版的脉冲激光PL缩小投影而成像于配置在工件台WT上的未图示的工件。工件是涂覆有光致抗蚀剂的半导体晶片等感光基板。

[0176] 曝光装置100通过使掩模版台RT与工件台WT同步地平行移动,将反映了掩模版图案的脉冲激光PL曝光于工件。在通过上述曝光工序将掩模版图案转印到半导体晶片上之后,可以通过多个工序制造半导体器件。半导体器件是本公开中的“电子器件”的一例。

[0177] 上述的说明并非限制而仅是例示。因此,对于本领域技术人员而言显而易见的是,能够在不脱离所附的权利要求书的情况下对本公开的各实施方式施加变更。

[0178] 在本说明书和所附的权利要求书整体中使用的术语应被解释为“非限制性的”术语。例如,术语“包括”或“所包括”应被解释为“不限于被记载为包括的内容”。术语“具有”应被解释为“不限于被记载为具有的内容”。另外,在本说明书和所附的权利要求书中记载的短语“一个”应被解释为“至少一个”或“一个或多个”。此外,术语“A、B和C中的至少一个”应被解释为“A”、“B”、“C”、“A+B”、“A+C”、“B+C”或“A+B+C”,并且应被解释为还包括它们与除“A”、“B”和“C”以外的部分的组合。

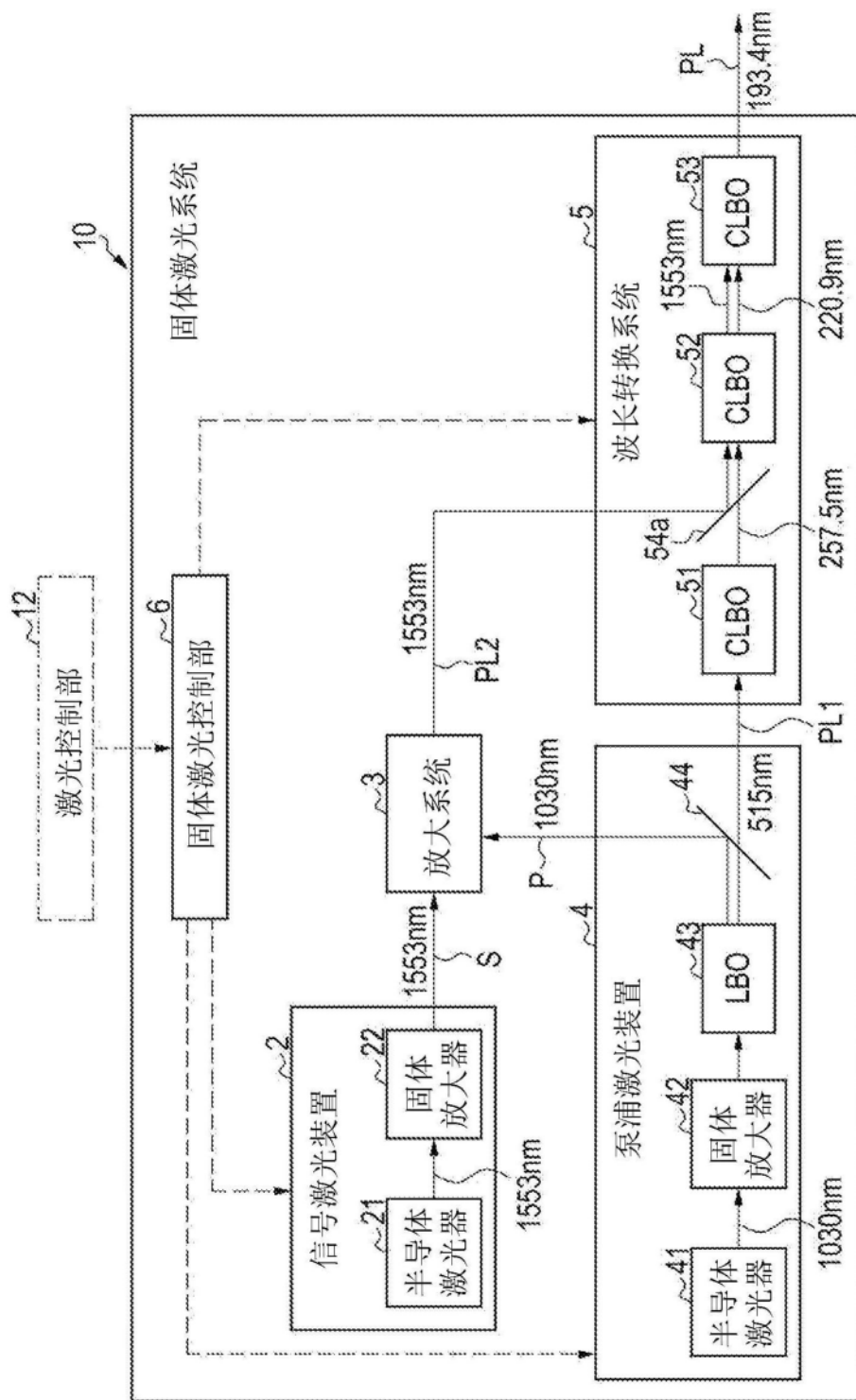


图1

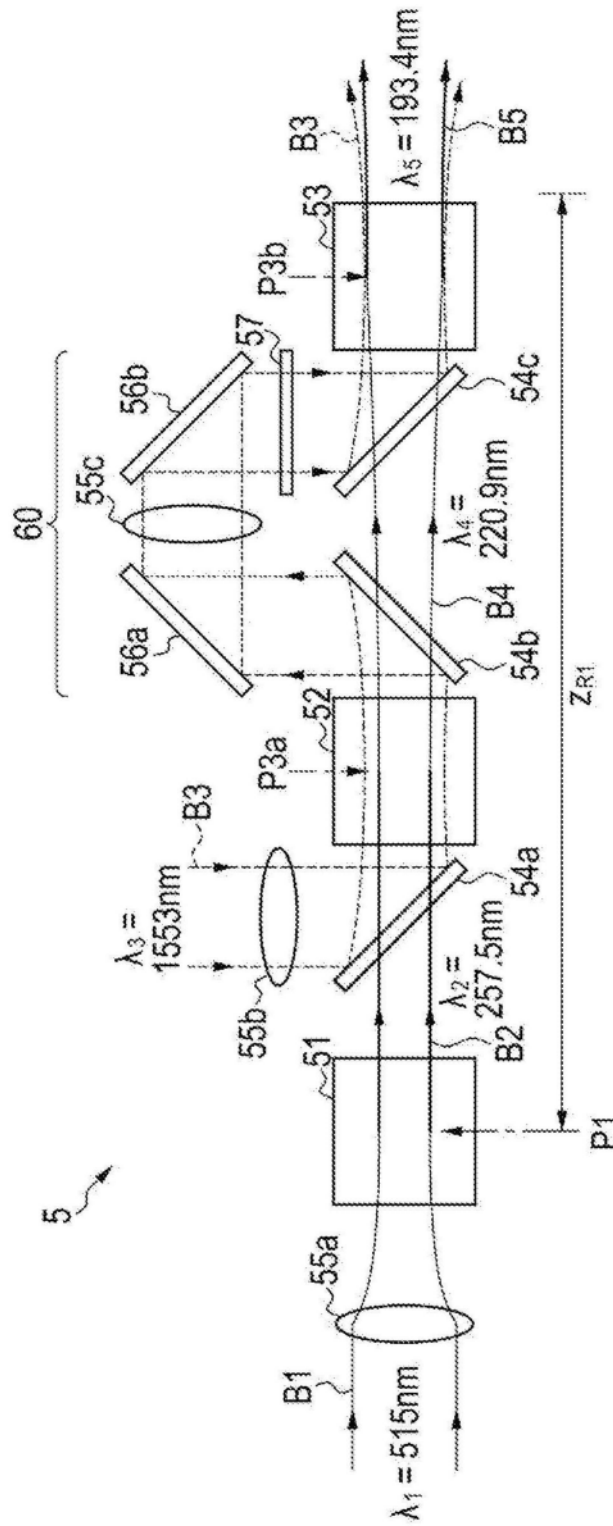


图2

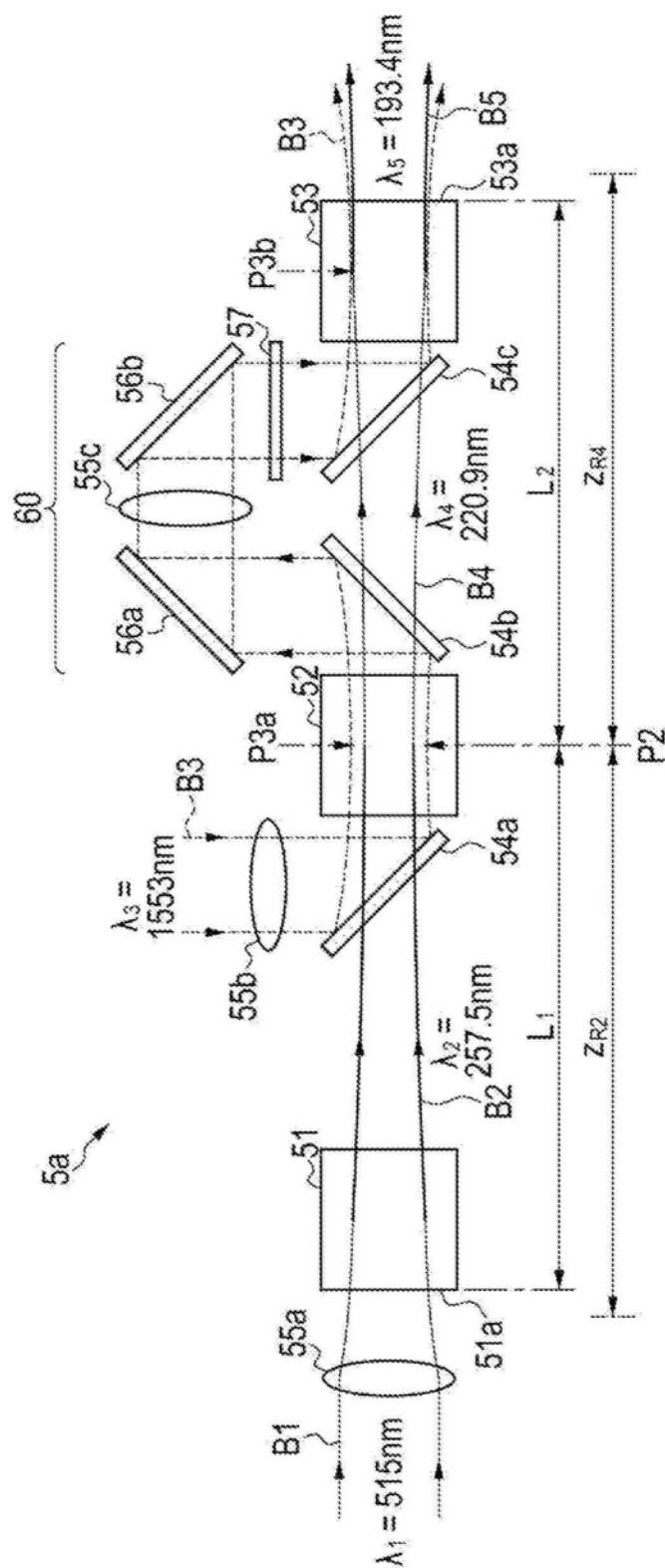


图4

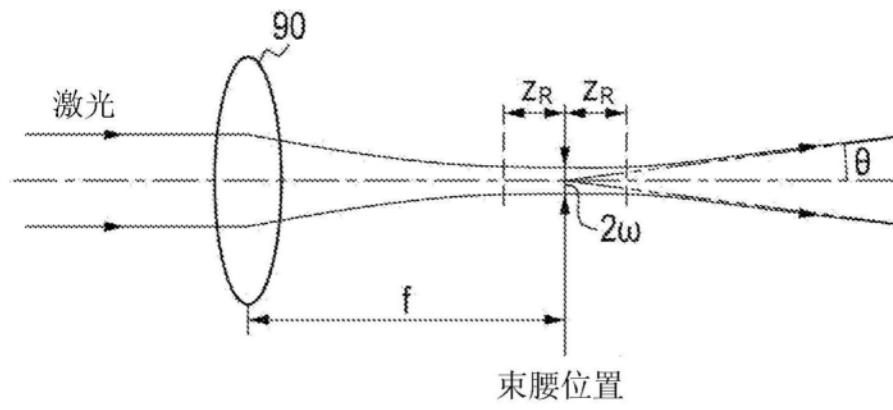


图5

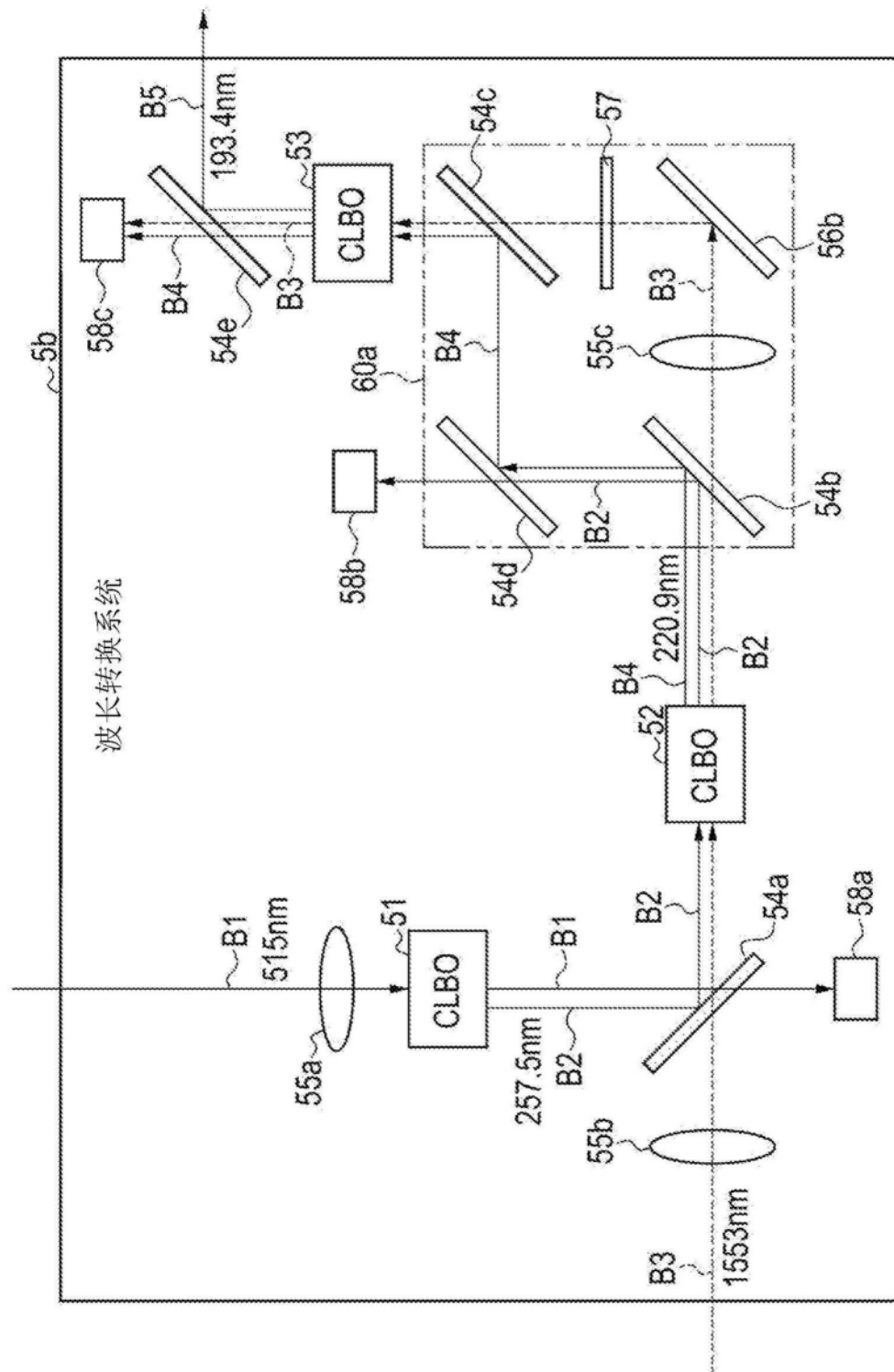


图6

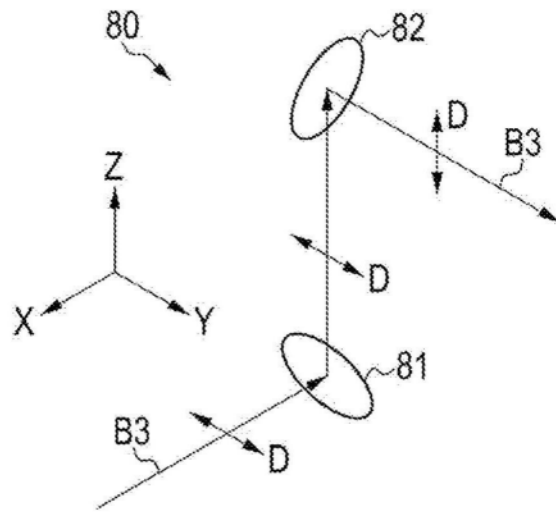


图7

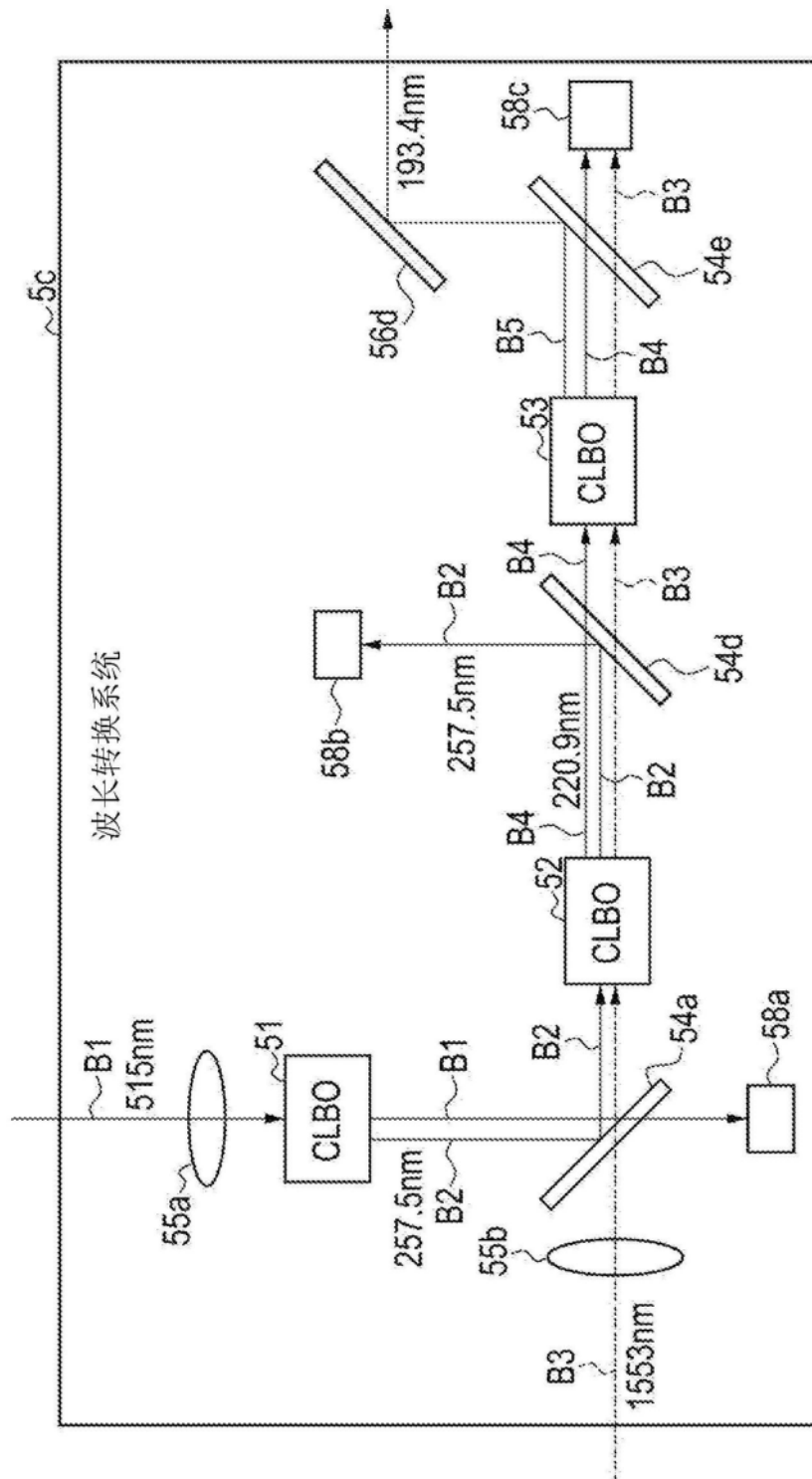


图8

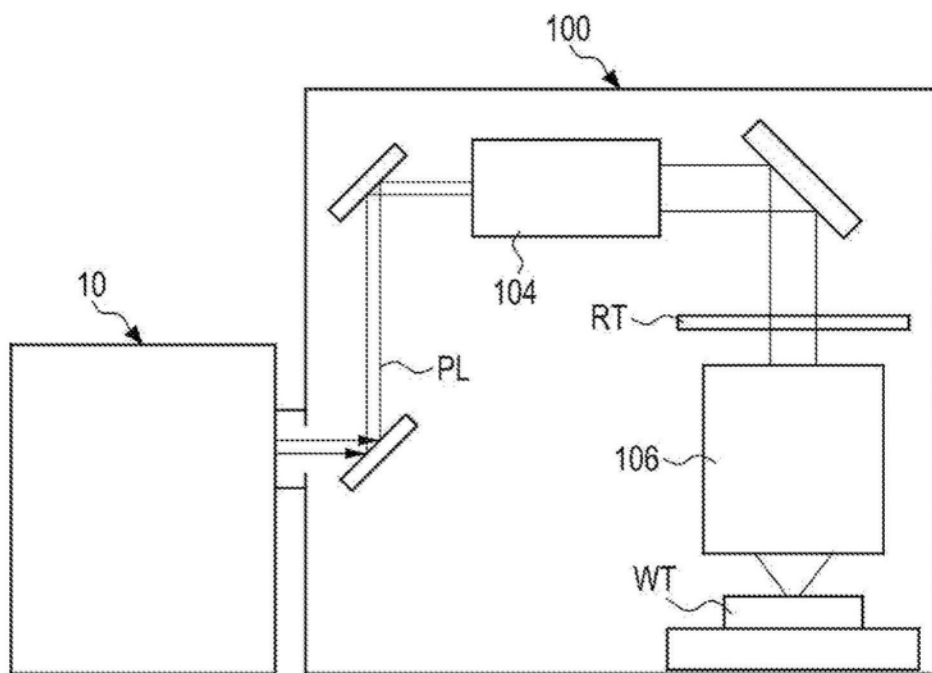


图9