



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114142328 A

(43) 申请公布日 2022. 03. 04

(21) 申请号 202011238976.4

H01S 3/0941 (2006.01)

(22) 申请日 2020.11.09

(66) 本国优先权数据

202010917738.X 2020.09.03 CN

(71) 申请人 中国科学院福建物质结构研究所

地址 350002 福建省福州市鼓楼区杨桥西路155号

(72) 发明人 黄海洲 林文雄 胡华文 黄见洪

李锦辉 翁文 戴殊韬

(74) 专利代理机构 北京元周律知识产权代理有

限公司 11540

代理人 史冬梅 校丽丽

(51) Int. Cl.

H01S 3/07 (2006.01)

H01S 3/16 (2006.01)

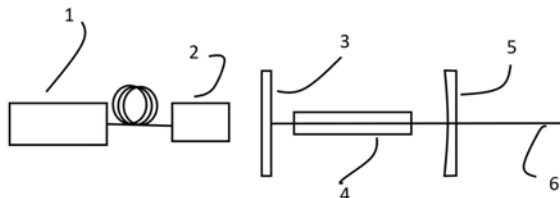
权利要求书2页 说明书8页 附图4页

(54) 发明名称

一种高光束质量Ho激光器

(57) 摘要

本发明公开了一种高光束质量Ho激光器,包括:泵浦源、谐振腔和设置于谐振腔内的增益介质;增益介质包括至少一个掺杂铥离子的第一介质和至少一个掺杂钬离子的第二介质;第一介质和/或第二介质的基质晶体为负热光系数晶体;第一介质,用于在泵浦源出射的泵浦光的泵浦下产生铥激光;第二介质,用于在铥激光的泵浦下产生钬激光,钬激光从谐振腔出射。本申请的高光束质量Ho激光器,通过使用负热光系数晶体,能显著降低高功率LD泵浦下的高热透镜效应,能直接产生高功率、高光束质量的线偏振Ho激光,并且本申请的激光器结构简单。



1. 一种高光束质量Ho激光器,其特征在于,包括:泵浦源、谐振腔和设置于所述谐振腔内的增益介质;

所述增益介质包括至少一个掺杂铥离子的第一介质和至少一个掺杂铽离子的第二介质;所述第一介质和/或所述第二介质的基质晶体为负热光系数晶体;

所述第一介质,用于在所述泵浦源出射的泵浦光的泵浦下产生铥激光;

所述第二介质,用于在所述铥激光的泵浦下产生铽激光,所述铽激光从所述谐振腔出射。

2. 根据权利要求1所述的高光束质量Ho激光器,其特征在于,所述负热光系数晶体为氟化物晶体;

优选地,所述第一介质为Tm:YLiF₄、Tm:LuLiF₄、Tm:GdLiF₄、Tm:CaF₂和Tm:MgF₂中的一种;

优选地,所述第一介质中铥离子的掺杂浓度为2a.t.%~7a.t.%;

优选地,所述第二介质为Ho:YLiF₄、Ho:LuLiF₄、Ho:GdLiF₄、Ho:CaF₂和Ho:MgF₂中的一种;

优选地,所述第二介质中铽离子的掺杂浓度为0.2at.%~1.5at.%。

3. 根据权利要求1所述的高光束质量Ho激光器,其特征在于,所述第一介质的数量为两个,所述第二介质的数量为一个;

所述第二介质设置于两个所述第一介质之间。

4. 根据权利要求3所述的高光束质量Ho激光器,其特征在于,所述谐振腔包括第一前腔镜和第一耦合输出镜;

所述第一前腔镜的进光面平行于所述第一耦合输出镜的出光面;

优选地,所述第一耦合输出镜上设置有膜层,所述膜层对铥激光的反射率大于或等于99%且对铽激光透过率大于或等于99%。

5. 根据权利要求3所述的高光束质量Ho激光器,其特征在于,所述泵浦源包括出光口相对设置的第一泵浦源和第二泵浦源;

所述第一泵浦源出射的泵浦光最先经过一个所述第一介质;

所述第二泵浦源出射的泵浦光最先经过另一个所述第一介质;

优选地,所述第一泵浦源和第二泵浦源均包括激光器和设置在所述激光器出射的泵浦光路径上的整形模块;

所述整形模块,用于将所述激光器出射的泵浦光整形为与所述谐振腔内铥激光模式匹配的圆形泵浦光斑。

6. 根据权利要求5所述的高光束质量Ho激光器,其特征在于,所述谐振腔包括第二前腔镜、第二耦合输出镜和二向色镜;

所述第二前腔镜的进光面垂直于所述第二耦合输出镜的出光面;

所述第二向色镜设置于所述第二前腔镜和所述第二耦合输出镜之间并与所述第二前腔镜和所述第二耦合输出镜均呈45度夹角;

所述增益介质设置于所述第二前腔镜和所述第二向色镜之间;

所述第一泵浦源出射的泵浦光经由所述第二前腔镜进入所述谐振腔;

所述第二泵浦源出射的泵浦光经由所述第二向色镜进入所述谐振腔;

优选地,所述第二耦合输出镜上设置有膜层,所述膜层对铥激光的反射率大于或等于99%且对铽激光透过率大于或等于99%。

7. 根据权利要求1-6任一项所述的高光束质量Ho激光器,其特征在于,所述增益介质还包括至少一个无掺杂的第三介质;

所述第三介质与所述第一介质连接,分散所述第一介质在泵浦光的泵浦下产生的热量。

8. 根据权利要求1所述的高光束质量Ho激光器,其特征在于,还包括热管理部;

所述热管理部包括:热沉主体和多个水嘴;

所述增益介质沿所述热沉主体的横向夹设于所述热沉主体中;

所述水嘴分设于所述热沉主体上并与所述热沉主体内的微通路连通,冷却液通过所述水嘴进入所述微通路内流动。

9. 根据权利要求1所述的高光束质量Ho激光器,其特征在于,所述泵浦源发出的泵浦光的波长为760~820nm。

10. 根据权利要求7所述的高光束质量Ho激光器,其特征在于,所述第一介质和所述第二介质键合连接;

优选地,所述第一介质还与所述第三介质键合连接。

一种高光束质量Ho激光器

技术领域

[0001] 本申请涉及一种高光束质量Ho激光器,属于固体激光技术领域。

背景技术

[0002] 固态钬(Ho)激光器常用实现方式包括:砷化镓铝激光半导体(LD)(波长范围750nm~810nm)泵浦铥(Tm)离子敏化的Tm、Ho共掺激光器;1.9 μ m激光泵浦单掺杂Ho激光器;铥激光器腔内共振泵浦Ho激光器的Tm/Ho激光器。

[0003] 相对于其他实现方式,Tm/Ho激光器基于腔内同带泵浦原理,能够在800nm常规LD泵浦下从单块激光增益介质上实现高效率的室温Ho激光输出,具有结构紧凑、可小型化、低成本和高LD到Ho激光转换效率等综合优势,有望取代目前主流的同带泵浦Ho激光器。

[0004] 然而,现有技术中的Tm/Ho激光器,由于存在高热透镜效应,制约了Tm/Ho激光器的输出功率并导致激光光束质量随输出功率增加急剧恶化,制约了该激光器在非线性频率变换、材料加工、激光雷达等诸多Ho激光器应用领域上的实用性。

发明内容

[0005] 本申请的目的在于,提供一种高光束质量Ho激光器,以解决现有技术中的Tm/Ho激光器存在的高热透镜效应。

[0006] 本发明的高光束质量Ho激光器,包括:泵浦源、谐振腔和设置于所述谐振腔内的增益介质;

[0007] 所述增益介质包括至少一个掺杂铥离子的第一介质和至少一个掺杂钬离子的第二介质;所述第一介质和/或所述第二介质的基质晶体为负热光系数晶体;

[0008] 所述第一介质,用于在所述泵浦源出射的泵浦光的泵浦下产生铥激光;

[0009] 所述第二介质,用于在所述铥激光的泵浦下产生钬激光,所述钬激光从所述谐振腔出射。

[0010] 优选地,所述负热光系数晶体为氟化物晶体;

[0011] 优选地,所述第一介质为Tm:YLiF₄、Tm:LuLiF₄、Tm:GdLiF₄、Tm:CaF₂和Tm:MgF₂中的一种;

[0012] 优选地,所述第一介质中铥离子的掺杂浓度为2a.t.%~7a.t.%;

[0013] 优选地,所述第二介质为Ho:YLiF₄、Ho:LuLiF₄、Ho:GdLiF₄、Ho:CaF₂和Ho:MgF₂中的一种;

[0014] 优选地,所述第二介质中钬离子的掺杂浓度为0.2at.%~1.5at.%。

[0015] 优选地,所述第一介质的数量为两个,所述第二介质的数量为一个;

[0016] 所述第二介质设置于两个所述第一介质之间。

[0017] 优选地,所述谐振腔包括第一前腔镜和第一耦合输出镜;

[0018] 所述第一前腔镜的进光面平行于所述第一耦合输出镜的出光面;

[0019] 优选地,所述第一耦合输出镜上设置有膜层,所述膜层对铥激光的反射率大于或

等于99%且对钬激光透过率大于或等于99%。

[0020] 优选地,所述泵浦源包括出光口相对设置的第一泵浦源和第二泵浦源;

[0021] 所述第一泵浦源出射的泵浦光最先经过一个所述第一介质;

[0022] 所述第二泵浦源出射的泵浦光最先经过另一个所述第一介质;

[0023] 优选地,所述第一泵浦源和第二泵浦源均包括激光器和设置在所述激光器出射的泵浦光路径上的整形模块;

[0024] 所述整形模块,用于将所述激光器出射的泵浦光整形为与所述谐振腔内钬激光模式匹配的圆形泵浦光斑。

[0025] 优选地,所述谐振腔包括第二前腔镜、第二耦合输出镜和二向色镜;

[0026] 所述第二前腔镜的进光面垂直于所述第二耦合输出镜的出光面;

[0027] 所述第二向色镜设置于所述第二前腔镜和所述第二耦合输出镜之间并与所述第二前腔镜和所述第二耦合输出镜均呈45度夹角;

[0028] 所述增益介质设置于所述第二前腔镜和所述第二向色镜之间;

[0029] 所述第一泵浦源出射的泵浦光经由所述第二前腔镜进入所述谐振腔;

[0030] 所述第二泵浦源出射的泵浦光经由所述第二向色镜进入所述谐振腔;

[0031] 优选地,所述第二耦合输出镜上设置有膜层,所述膜层对钬激光的反射率大于或等于99%且对钬激光透过率大于或等于99%。

[0032] 优选地,所述增益介质还包括至少一个无掺杂的第三介质;

[0033] 所述第三介质与所述第一介质连接,分散所述第一介质在泵浦光的泵浦下产生的热量。

[0034] 优选地,还包括热管理部;

[0035] 所述热管理部包括:热沉主体和多个水嘴;

[0036] 所述增益介质沿所述热沉主体的横向夹设于所述热沉主体中;

[0037] 所述水嘴分设于所述热沉主体上并与所述热沉主体内的微通路连通,冷却液通过所述水嘴进入所述微通路内流动。

[0038] 优选地,所述泵浦源发出的泵浦光的波长为760~820nm。

[0039] 优选地,所述第一介质和所述第二介质键合连接;

[0040] 优选地,所述第一介质还与所述第三介质键合连接。

[0041] 优选地,增益介质的通光面为增益介质与泵浦光传输方向垂直的任一截面。

[0042] 本发明的高光束质量Ho激光器相较于现有技术,具有如下有益效果:

[0043] 本发明的高光束质量Ho激光器,包括泵浦源、谐振腔和设置于谐振腔内的掺杂钬、钬的增益介质,增益介质至少包括:一个掺杂钬离子的第一介质和一个掺杂钬离子的第二介质,第一介质和/或第二介质的基质晶体为负热光系数晶体,优选为氟化物晶体。泵浦光从增益介质掺Tm的第一介质的端面入射到其内部,第一介质充分吸收泵浦光后形成钬离子的粒子数反转,并在谐振腔镜的作用下产生被禁锢在谐振腔内,能同带泵浦掺钬的第二介质的钬激光。在钬激光的同带泵浦下,掺Ho的第二介质形成Ho激光的振荡输出。本申请所提供的激光器,相对于现有基于YAG晶体的Tm/Ho增益介质,利用氟化物的负热光系数,能显著降低高功率LD泵浦下的高热透镜效应,能直接产生高功率、高光束质量的线偏振2.1 μ m波段Ho激光。在实现更高Ho激光输出功率的同时,避免激光光束质量随泵浦功率的增加而严重

恶化,在常规高功率半导体激光器的泵浦下即可实现近衍射极限的高功率(>11W)室温Ho激光输出;解决了现有Tm/Ho激光器因低输出功率(6W)和低光束质量(M2为1.8)问题而存在的实用性差的问题。

[0044] 本申请所提供的激光器,相对于主流的基于同带泵浦的高功率Ho激光器,其实现方式更为便捷,无需液氮冷却即可实现高功率的近衍射极限激光输出,故成本更低、结构更为简化;其解决了现有1.9 μ mLD的高成本,泵浦波长不匹配以及泵浦能量泄露浪费等问题。

[0045] 本申请的高光束质量Ho激光器,限定了负热光系数晶体为氟化物晶体,能显著降低高功率LD泵浦下的高热透镜效应,能直接产生高功率、高光束质量的线偏振Ho激光。进一步地,本申请还限定了第一介质和第二介质所使用的具体的氟化物类型、第一介质中铥离子的掺杂浓度和第二介质中钬粒子的掺杂浓度,使用上述限定范围内的增益介质的激光器,其产生的Ho激光功率最高、光束质量最佳。

[0046] 本申请中的增益介质可以包括两个第一介质和一个第二介质,并且第二介质设置于两个第一介质之间。采用该种形式的增益介质,其可以使用一个泵浦源泵浦也可以使用两个泵浦源分别泵浦两个第一介质。该种结构的增益介质,由于使用了两个第一介质,其产生的铥激光更多,能够高效泵浦第二介质,得到功率较高、光束质量较佳的钬激光。

[0047] 当使用一个泵浦源泵浦两个第一介质和一个第二介质结构的增益介质时,本申请所使用的谐振腔为直线型腔体,即第一前腔镜的进光面平行于第一耦合输出镜的出光面。该腔制作工艺简单,成本较低,同时能够实现谐振功能。进一步地,本申请限定第一耦合输出镜上设置有膜层,膜层对铥激光的反射率大于或等于99%且对钬激光透过率大于或等于99%,以此保证钬激光的出射及将铥激光禁锢于谐振腔内。

[0048] 当增益介质包括两个第一介质和一个第二介质时,优选使用两个泵浦源分别泵浦两个第一介质,以能够产生更多的铥激光。为了进一步提高出射的Ho激光的功率,本申请还限定泵浦源包括激光器和设置在激光器出射的泵浦光路径上的整形模块,整形模块用于将激光器出射的泵浦光整形为与谐振腔内铥激光模式匹配的圆形泵浦光斑。

[0049] 为使激光器结构紧凑,当使用两个泵浦源时,本申请在谐振腔中还使用了二向色镜,以折叠光路。进一步地,本申请还限定第二耦合输出镜上设置有膜层,膜层对铥激光的反射率大于或等于99%且对钬激光透过率大于或等于99%,以此保证钬激光的出射及将铥激光禁锢于谐振腔内。

[0050] 为避免第一介质温度过高,本申请的增益介质中还包括了与第一介质连接的第三介质,用以分散第一介质在泵浦光的泵浦下产生的热量。

[0051] 为进一步降低增益介质的温度,本申请的激光器还设置了热管理部,使用冷却液带走增益介质的热量。

[0052] 本申请中限定泵浦源发出的泵浦光的波长为760~820nm,该波长的泵浦光可充分泵浦增益介质,从而产生高功率、高光束质量的线偏振Ho激光。

[0053] 为进一步减小本申请Ho激光器的尺寸,本申请还限定第一介质和第二介质键合连接;第一介质还与第三介质键合连接。

附图说明

[0054] 图1为本申请实施例1中高光束质量Ho激光器的整体结构示意图;

- [0055] 图2是本发明实施例1中高光束质量Ho激光器的增益介质的结构示意图；
- [0056] 图3(a)是本发明实施例1中高光束质量Ho激光器的增益介质在 π 偏振方向时，第一介质的发射光谱和第二介质的吸收光谱；
- [0057] 图3(b)是本发明实施例1中高光束质量Ho激光器的增益介质在 σ 偏振方向时，第一介质的发射光谱和第二介质的吸收光谱；
- [0058] 图4是本发明实施例1中高光束质量Ho激光器，不同LD入射功率所对应的钛激光输出功率变化曲线的实验效果图；
- [0059] 图5是本发明实施例1中高光束质量Ho激光器，激光输出功率在11W附近的激光输出光谱效果图；
- [0060] 图6是本发明实施例1中高光束质量Ho激光器，激光输出功率在11W附近的光束质量测量数据；
- [0061] 图7是本发明实施例1中高光束质量Ho激光器，激光输出功率在最高11.3W附近的稳定性；
- [0062] 图8是本发明实施例2中高光束质量Ho激光器的整体结构示意图；
- [0063] 图9是本发明实施例2中高光束质量Ho激光器中增益介质的结构示意图。
- [0064] 部件和附图标记列表：
- [0065] 1、激光器；2、整形模块；3、第一前腔镜；4、增益介质；40、第三介质；41、第一介质；42、第二介质；5、第一耦合输出镜；6、Ho激光；7、二向色镜；8、第二前腔镜；9、第二耦合输出镜。

具体实施方式

[0066] 下面结合实施例详述本发明，但本发明并不局限于这些实施例。

[0067] 本发明的高光束质量Ho激光器，包括：泵浦源、谐振腔和设置于谐振腔内的增益介质；增益介质包括至少一个掺杂铥离子的第一介质和至少一个掺杂钬离子的第二介质；第一介质和/或第二介质的基质晶体为负热光系数晶体；其中第一介质，用于在泵浦源出射的泵浦光的泵浦下产生铥激光；第二介质，用于在铥激光的泵浦下产生钬激光，钬激光从谐振腔出射。

[0068] 本发明的高光束质量Ho激光器，包括泵浦源、谐振腔和设置于谐振腔内的掺杂铥、钬的增益介质，增益介质至少包括：一个掺杂铥离子的第一介质和一个掺杂钬离子的第二介质，第一介质和/或第二介质的基质晶体为负热光系数晶体，优选为氟化物晶体。泵浦光从增益介质掺Tm的第一介质的端面入射到其内部，第一介质充分吸收泵浦光后形成铥离子的粒子数反转，并在谐振腔镜的作用下产生被禁锢在谐振腔内，能同带泵浦掺钬的第二介质的铥激光。在铥激光的同带泵浦下，掺Ho的第二介质形成Ho激光的振荡输出。本申请所提供的激光器，相对于现有基于YAG晶体的Tm/Ho增益介质，利用氟化物的负热光系数，能显著降低高功率LD泵浦下的高热透镜效应，能直接产生高功率、高光束质量的线偏振 $2.1\mu\text{m}$ 波段Ho激光。在实现更高Ho激光输出功率的同时，避免激光光束质量随泵浦功率的增加而严重恶化，在常规高功率半导体激光器的泵浦下即可实现近衍射极限的高功率(>11W)室温Ho激光输出；解决了现有Tm/Ho激光器因低输出功率(6W)和低光束质量(M2为1.8)问题而存在的实用性差的问题。

[0069] 本申请的第一介质和/或第二介质的基质晶体为负热光系数晶体,该负热光系数晶体可为氟化物晶体,氟化物晶体的热光系数在 $-5 \times 10^{-6} \sim -2 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ 之间,相对于氧化物晶体的正热光系数(例如YAG和YAP晶体的热光系数均大于 $7 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$),其具有更低的热透镜效应。其原因在于:

[0070] 激光增益介质热透镜焦距根据第一公式确定,第一公式为:

$$[0071] \quad f_{thermal} = \frac{2\pi k \omega_p^2}{\eta_h P_{in} [1 - \exp(-\alpha l)] [\partial n / \partial T + n(1+\nu)\alpha_T]}$$

[0072] 其中,k为晶体热导率, η_h 为量子亏损, $\partial n / \partial T$ 为热光系数, α_T 为热膨胀系数, ν 为泊松比, P_{in} 为LD入射功率, ω_p 为LD泵浦光斑, α 为增益介质的泵浦吸收系数,l为增益介质长度。因此,氟化物晶体负的热光系数,能够显著减小公式右端的分子项,在同一泵浦功率下获得更长的热透镜焦距,实现热透镜效应的显著缓解。这有利于避免激光器过早地进入非稳定区,实现更高的Ho激光输出功率和激光光束质量。

[0073] 上述第一介质可以为Tm:YLiF₄、Tm:LuLiF₄、Tm:GdLiF₄、Tm:CaF₂和Tm:MgF₂中的一种;其可选的铥离子的掺杂浓度为2a.t.%~7a.t.%;

[0074] 上述第二介质可以为Ho:YLiF₄、Ho:LuLiF₄、Ho:GdLiF₄、Ho:CaF₂和Ho:MgF₂中的一种;其可选的钬离子的掺杂浓度为0.2at.%~1.5at.%。

[0075] 本申请限定了第一介质和第二介质所使用的具体的氟化物类型、第一介质中铥离子的掺杂浓度和第二介质中钬粒子的掺杂浓度,使用上述限定范围内的增益介质的激光器,其产生的Ho激光功率最高、光束质量最佳。

[0076] 本申请的增益介质可以包括两个第一介质和一个第二介质,第二介质设置于两个第一介质之间。采用该种形式的增益介质,其可以使用一个泵浦源泵浦也可以使用两个泵浦源分别泵浦两个第一介质。该种结构的增益介质,由于使用了两个第一介质,其产生的铥激光更多,能够高效泵浦第二介质,得到功率较高、光束质量较佳的钬激光。

[0077] 当使用一个泵浦源泵浦两个第一介质和一个第二介质结构的增益介质时,本申请所使用的谐振腔为直线型腔体,即谐振腔包括第一前腔镜和第一耦合输出镜,第一前腔镜的进光面平行于第一耦合输出镜的出光面。该腔制作工艺简单,成本较低,同时能够实现谐振功能。进一步地,本申请限定第一耦合输出镜上设置有膜层,膜层对铥激光的反射率大于或等于99%且对钬激光透过率大于或等于99%,以此保证钬激光的出射及将铥激光禁锢于谐振腔内。

[0078] 当增益介质包括两个第一介质和一个第二介质时,优选使用两个泵浦源分别泵浦两个第一介质,以能够产生更多的铥激光。具体地,泵浦源包括出光口相对设置的第一泵浦源和第二泵浦源;第一泵浦源出射的泵浦光最先经过第一介质A;第二泵浦源出射的泵浦光最先经过第一介质B;为了进一步提高出射的Ho激光的功率,本申请限定第一泵浦源和第二泵浦源均包括激光器和设置在激光器出射的泵浦光路径上的整形模块;整形模块,用于将激光器出射的泵浦光整形为与谐振腔内铥激光模式匹配的圆形泵浦光斑。其中的激光器可以为光纤耦合的高功率半导体激光器,也可以为由LD巴条集成的高功率LD叠阵;该整形光学系统可以为各类现有光学器件,根据整形要求组合后得到。

[0079] 为使激光器结构紧凑,当使用两个泵浦源时,本申请在谐振腔中还使用了二向色镜,以折叠光路。具体地,谐振腔包括第二前腔镜、第二耦合输出镜和二向色镜;第二前腔镜

的进光面垂直于第二耦合输出镜的出光面；二向色镜设置于第二前腔镜和第二耦合输出镜之间并与第二前腔镜和第二耦合输出镜均呈45度夹角；增益介质设置于第二前腔镜和二向色镜之间；第一泵浦源出射的泵浦光经由第二前腔镜进入谐振腔；第二泵浦源出射的泵浦光经由二向色镜进入谐振腔；进一步地，本申请还限定第二耦合输出镜上设置有膜层，膜层对铥激光的反射率大于或等于99%且对铽激光透过率大于或等于99%，以此保证铽激光的出射及将铥激光禁锢于谐振腔内。

[0080] 为避免第一介质温度过高，本申请的增益介质中还包括至少一个无掺杂的第三介质；第三介质与第一介质连接，分散第一介质在泵浦光的泵浦下产生的热量。使用第三介质的增益介质其结构可以为：第一介质的两相对端面分别复合有第二介质和第三介质，激光的传输依次经由第三介质、第一介质和第二介质。

[0081] 为进一步降低增益介质的温度，本申请的激光器还设置了热管理部；热管理部包括：热沉主体和多个水嘴；增益介质沿热沉主体的横向夹设于热沉主体中；水嘴分设于热沉主体上并与热沉主体内的微通路连通，冷却液通过水嘴进入微通路内流动。

[0082] 本申请中限定泵浦源发出的泵浦光的波长为760~820nm，可选地，泵浦光的波长为800nm，该波长的泵浦光可充分泵浦增益介质，从而产生高功率、高光束质量的线偏振Ho激光。本申请所用泵浦源出射激光波段由掺铥部分的吸收特性决定，本领域技术人员可根据所用增益介质的材料而定，例如，针对Tm:YLF和Tm:LuLiF晶体，泵浦源的输出波长可以为792nm，也可以为781nm或808nm等远离第一介质的波段，以进行侧瓣泵浦等。

[0083] 为进一步减小本申请Ho激光器的尺寸，本申请还限定第一介质和第二介质键合连接；第一介质还与第三介质键合连接。

[0084] 下面将以具体地实施例详述本申请的激光器。

[0085] 实施例1

[0086] 图1为本实施例的高光束质量Ho激光器的整体结构示意图。

[0087] 如图1所示，本发明的高光束质量Ho激光器，包括：激光器1、整形模块2、由第一前腔镜3和第一耦合输出镜5组成的谐振腔及设置于谐振腔内的增益介质4组成；本实施例中的增益介质4的结构示意图见图2，包括第一介质41和第二介质42，两者可以键合连接，也可以不连接，本实施例为键合连接。第一介质41和第二介质42的基质晶体均为负热光系数晶体；当然也可以其中一个介质的基质晶体为负热光系数。其中第一介质41用于在激光器1出射的泵浦光的泵浦下产生铥激光；第二介质42用于在铥激光的泵浦下产生铽激光，铽激光从谐振腔出射。本实施例中，使用的激光器1为高功率光纤耦合LD，针对YLF晶体使用的泵浦波长为792nm，第一介质为Tm:YLiF₄，铥离子的掺杂浓度为4a.t.%，第二介质为Ho:YLiF₄，铽离子掺杂浓度为1at.%。

[0088] 泵浦光由激光器1发出，经整形模块2，从增益介质4中的第一介质41入射到增益介质内部。泵浦光被第一介质41均匀吸收，形成铥(Tm)离子的粒子数反转，并在第一前腔镜3和第一耦合输出镜5的作用下产生被禁锢在谐振腔内的铥激光。铥激光在增益介质4内部多次往返，对第二介质42进行均匀泵浦，形成线偏振Ho激光6输出。

[0089] 实验过程中，第一介质41偏振发射截面与第二介质42偏振吸收截面的光谱交叠十分关键。如图3(a)所示，在 π 偏振方向，第一介质41偏向于输出1887nm激光，与第二介质42在同一偏振方向的偏振吸收谱交叠较差，低的偏振吸收会导致Ho激光输出效率低，甚至无法

输出;相反,在 σ 偏振方向,如图3(b),第一介质41偏向于输出1907nm激光,能更好地匹配该偏振方向上第二介质42的吸收截面,进而能够实现高效率的Ho激光输出。通过改变谐振腔内Tm激光的损耗,改变第一耦合输出镜5对Tm激光的透过率曲线(1880nm~2000nm的反射率在70~99.5%之间),能够将腔内Tm激光的偏振方向控制在 σ 偏振,进而输出1907nm附近的腔内Tm激光,实现大于11W的2.1 μ m Ho激光输出。本实施例的Ho激光的输出功率见图4,从图4可以得出,Ho激光输出功率的拟合斜效率 η_s 为33.2%,充分说明本申请的Ho激光的输出功率较大,该功率接近已报道YAG基Tm/Ho键合激光器输出功率的2倍。Ho激光的中心波长见图5,中心波长在2063.2nm。同时,测量出最高功率处的光束质量,水平方向的M2因子 M_x^2 和垂直方向的M2因子分别为1.06和1.25,为近衍射极限输出,如图6所示。进一步,测量高功率下氟化物基Tm/Ho键合激光器的功率稳定性,如图7所示,其平均值为11.36W,标准差为52.53mW,功率抖动小于0.5%。

[0090] 本实施例与现有Tm/Ho复合增益介质的本质区别是采用具有负热光系数的氟化物晶体,显著缓解了增益介质在LD泵浦功率下的热透镜效应,在提高Ho激光器输出功率的同时,显著改善了Ho激光器的光束质量,使该类型激光更具实用性;另一方面,由于所采用的氟化物晶体具有自然双折射特性,进而能够直接实现Ho激光的线偏振输出。

[0091] 本实施例所采用的热管理部包括:热沉主体(图中未示出),增益介质4沿热沉主体的横向插设于热沉主体中,增益介质4的具体尺寸为长宽高3mm*3mm*15mm。热沉主体的内部根据需要设计有可流通冷却液的微通道。微通道与外部水嘴连通,外部水嘴与控温水箱连通。水箱中的水流入热沉主体中对增益介质4进行温控。根据需要,将控温水箱中冷却水温度控制在5~30 $^{\circ}$ C范围内,具体数值可根据需要选择。

[0092] 本实施例中,为减小增益介质4与热沉主体之间的热阻,在增益介质4与热沉主体相接触的四个相对表面上设置热传导层,该层由导热性良好的金属构成,比如铟或金。

[0093] 本实施例中,激光器1出射泵浦光经整形模块2进行整形,以实现将LD泵浦光整形为与谐振腔内Tm激光模式相匹配的圆形聚焦光斑,对第一介质进行泵浦,最终实现11.3W(参见图4)的2063.2nm(参见图5)Ho激光输出,光束质量接近衍射极限(图6),功率不稳定性低于0.5%(图7)。这一输出功率高出目前Tm/Ho键合激光器最高输出功率(5.96W)近2倍;更重要的,实现了所报道Tm/Ho键合激光器以及腔内泵浦Ho激光器所无法达到的近衍射极限激光输出,更能满足工业信息领域如中远红外激光输出或高分子材料加工等方面对激光光束质量的需求。

[0094] 实施例2

[0095] 本实施例使用两个高功率光纤耦合LD激光器1对键合增益介质的两端进行泵浦,其整体结构见图8。本发明的高光束质量Ho激光器,包括:激光器1、整形模块2、由第二前腔镜8和第二耦合输出镜9组成的谐振腔及设置于谐振腔内的增益介质4和二向色镜7;第二前腔镜8的进光面垂直于第二耦合输出镜9的出光面;二向色镜7设置于第二前腔镜8和第二耦合输出镜9之间并与第二前腔镜8和第二耦合输出镜9均呈45度夹角;增益介质4设置于第二前腔镜8和二向色镜7之间。二向色镜7将谐振腔内Tm激光和Ho激光的振荡方向进行折转,进而能够引入相同的两个光纤耦合泵浦模块即激光器1和整形模块2对增益介质4的两端进行泵浦。此时,为保证高功率泵浦下低的热畸变,维持更高输出功率下的近衍射极限Ho激光输出,采用如图9所示的五段键合晶体结构。该结构包括依次连接的第三介质40、第一介质41、

第二介质42、第一介质41和第三介质40,该结构在保证Tm/Ho键合增益介质的两端均得到均匀泵浦的同时,避免了端面畸变对光束质量的影响。

[0096] 本实施例可以实现更高的Ho激光输出功率。同时,由于增益介质两端的均能得到均匀泵浦,高输出功率下,Ho激光器的高光束质量能够得到维持。因此,能够在Tm/Ho键合激光器的紧凑结构上高效率地实现超过50W的高功率Ho激光输出。

[0097] 以上所述,仅是本申请的几个实施例,并非对本申请做任何形式的限制,虽然本申请以较佳实施例揭示如上,然而并非用以限制本申请,任何熟悉本专业的技术人员,在不脱离本申请技术方案的范围,利用上述揭示的技术内容做出些许的变动或修饰均等同于等效实施案例,均属于技术方案范围内。

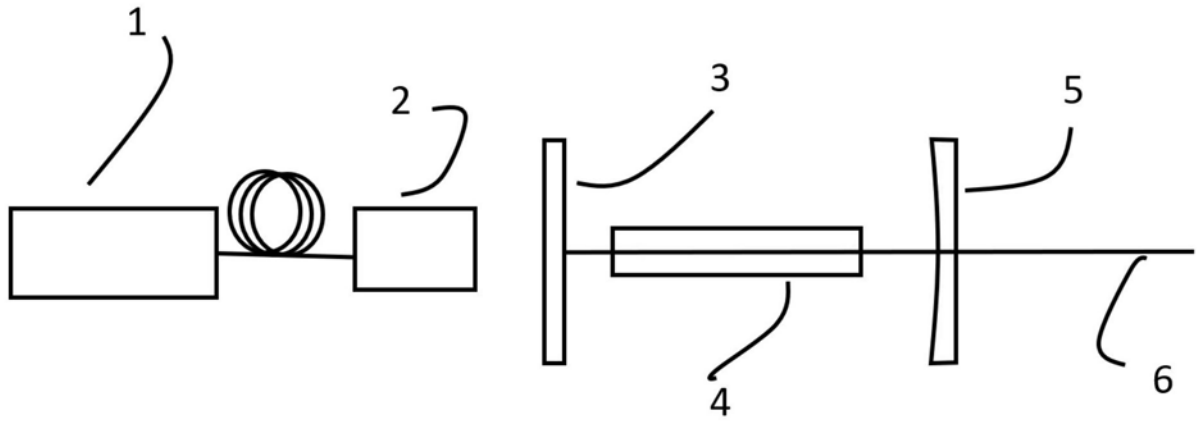


图1

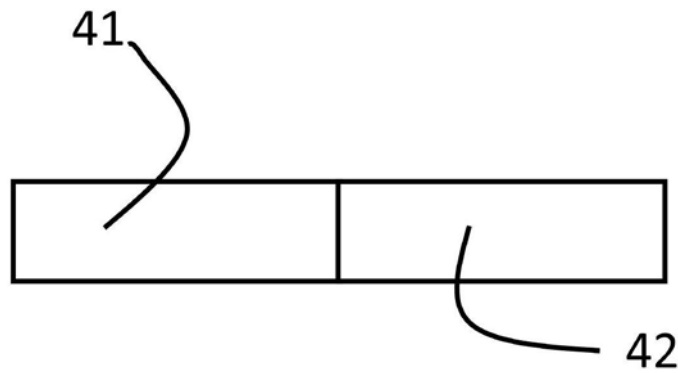


图2

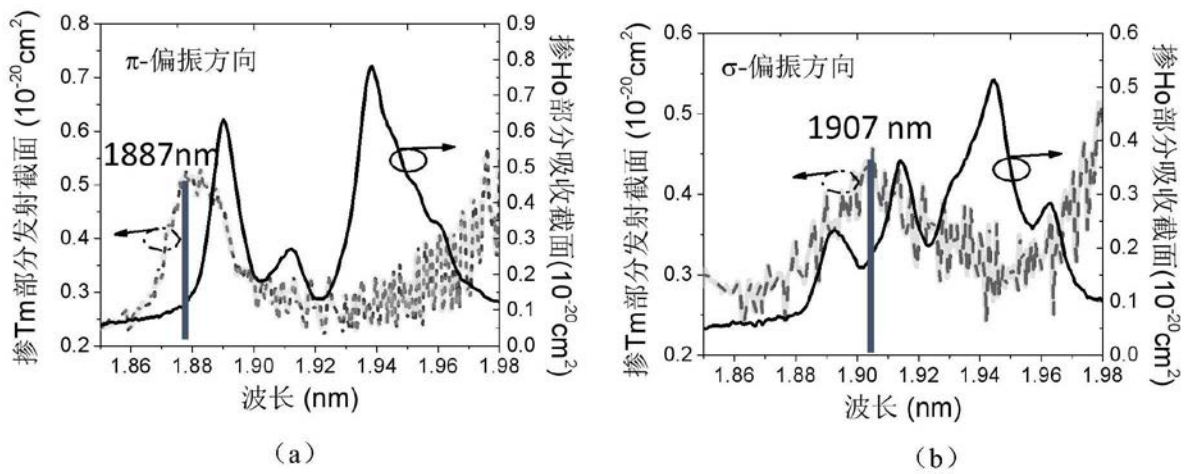


图3

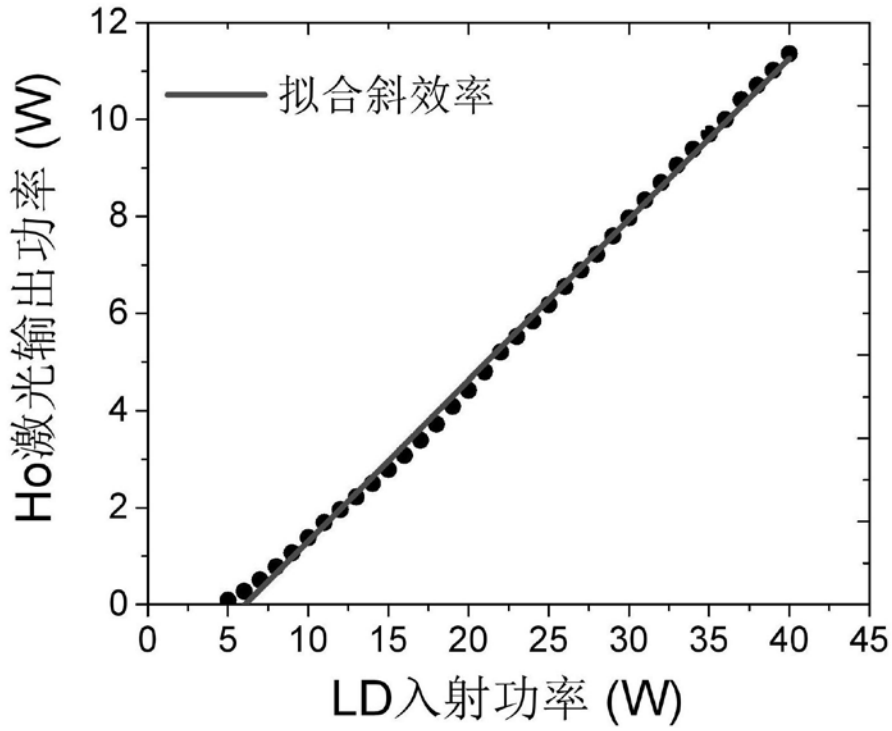


图4

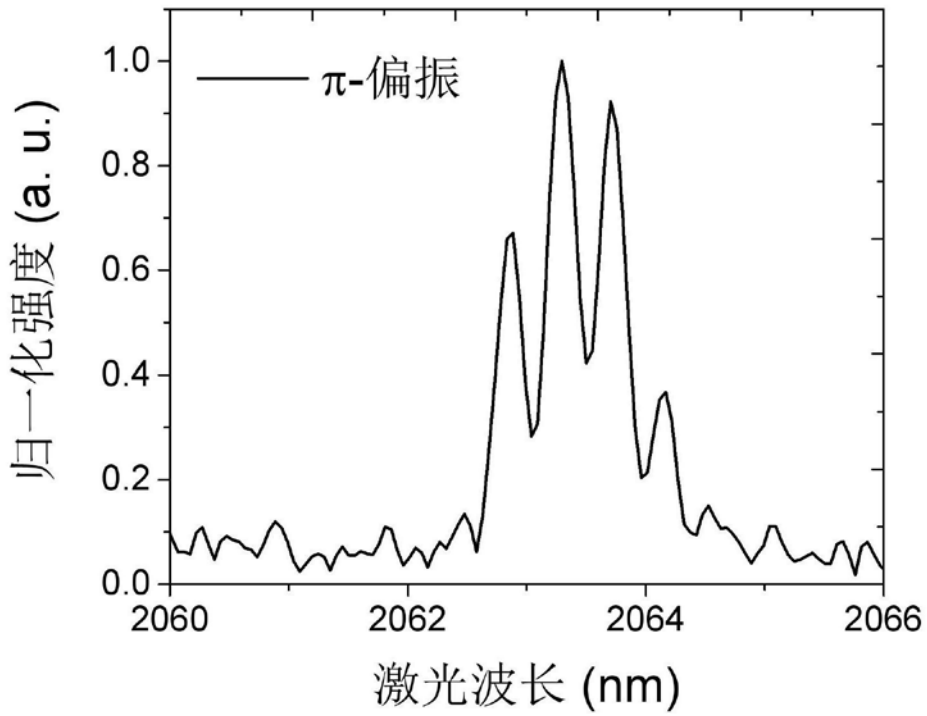


图5

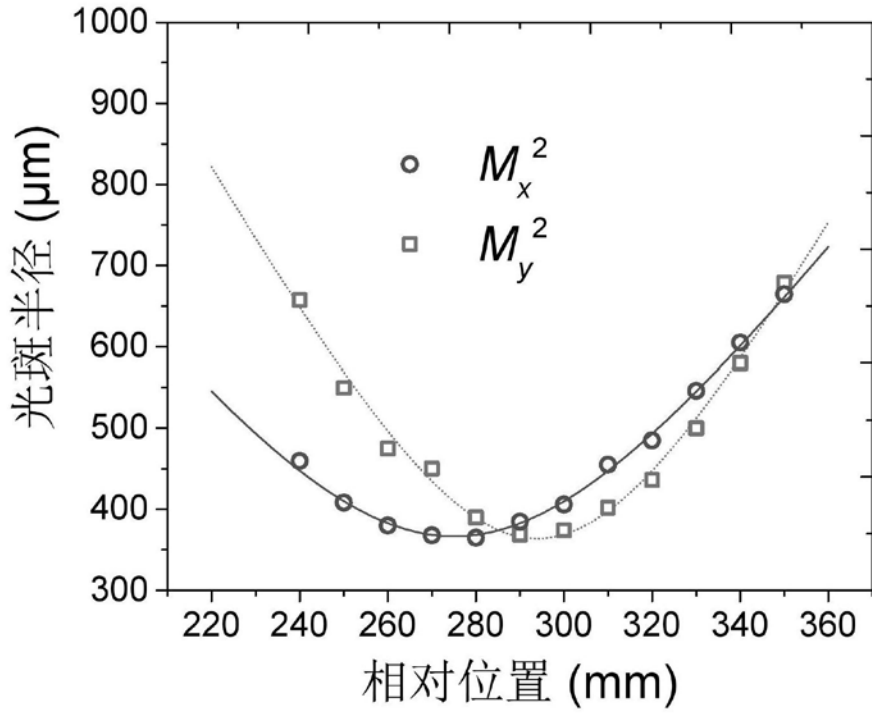


图6

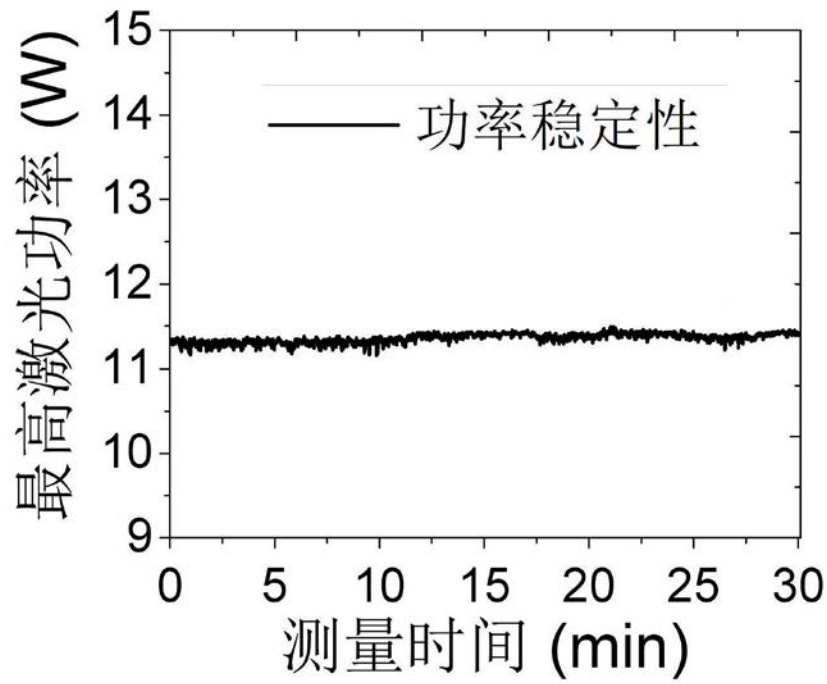


图7

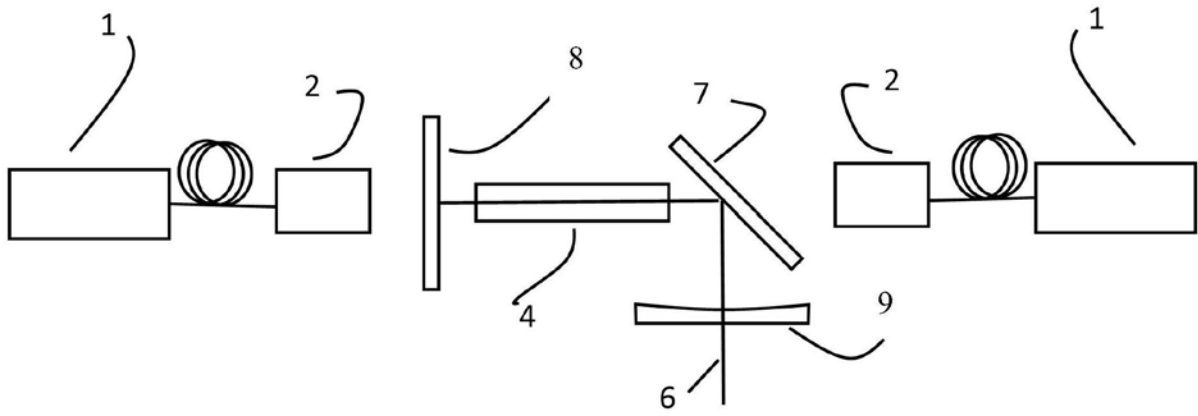


图8

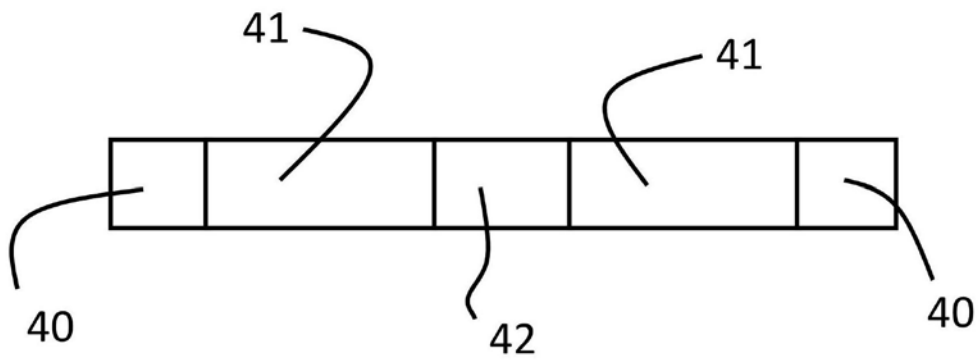


图9