

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102088160 B

(45) 授权公告日 2012.06.27

(21) 申请号 201010610702.3

H01S 3/16(2006.01)

(22) 申请日 2010.12.17

H01S 3/042(2006.01)

(66) 本国优先权数据

201010154917.9 2010.04.20 CN

(56) 对比文件

201010283889.0 2010.09.15 CN

CN 201910571 U, 2011.07.27, 权利要求

1-4.

CN 1205123 A, 1999.01.13, 全文.

(73) 专利权人 中国科学院理化技术研究所

审查员 杨婷

地址 100190 北京市海淀区中关村北一条 2
号

(72) 发明人 许祖彦 胡章贵 杨峰 岳银超
王佳诺 彭钦军

(74) 专利代理机构 北京法思腾知识产权代理有
限公司 11318

代理人 杨小蓉 高宇

(51) Int. Cl.

H01S 3/109(2006.01)

H01S 3/137(2006.01)

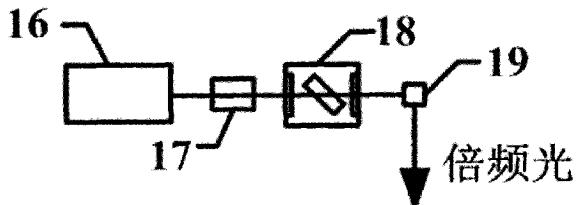
权利要求书 1 页 说明书 7 页 附图 4 页

(54) 发明名称

一种带有倍频装置的倍频激光器

(57) 摘要

本发明提供一种带有倍频装置的倍频激光器，包括基频激光器、光束整形聚焦部件和倍频装置；基频激光器输出光后方顺序设置光束整形聚焦部件、倍频装置和分光器件；倍频装置由非相位匹配方向切割非线性光学晶体、匹配液体、盛装匹配液的腔体和液体温控循环装置组成；匹配液体用来耦合基频激光进入非线性晶体实现倍频相位匹配，并沿晶体通光面以层流态恒温流动冷却晶体；腔体用来盛装匹配液，固定晶体及实现晶体精确角度调谐；温控循环装置用以控制匹配液温度及循环流动匹配液；利用该倍频装置，制备出具有腔外倍频和腔内倍频结构的高效率、高平均功率、高光束质量倍频激光器。



1. 一种带有倍频装置的倍频激光器,包括:基频激光器和光束整形聚焦部件;其特征在于,还包括一倍频装置;所述光束整形聚焦部件和倍频装置依次顺序设置在所述的基频激光器光输出端的后方;所述的光束整形聚焦部件及所述倍频装置用以实现腔外倍频;

所述的倍频装置包括一非线性光学晶体,匹配液体、一盛装匹配液体的腔体和用以控制所述匹配液体的温度及循环流动的温控循环装置;

所述的非线性光学晶体固定于所述腔体中心并可绕腔体垂向中心轴旋转,并浸泡于所述匹配液体中;所述的非线性光学晶体为单轴晶体,未按激光倍频相位匹配方向切割,不潮解,其光轴方向具有层状结构,且光轴垂直于晶体生长解理面;所述的生长解理面经光学抛光后作为激光通光面,所述通光面垂直于水平面;通光面为长方形,长方形的长边平行于所述晶体的最佳倍频方向,并呈水平状态;

所述腔体侧壁上对称地设置与所述非线性光学晶体通光面中心等高的入射光学窗口及出射光学窗口;

所述腔体侧壁上还对称地设置匹配液体进口和匹配液体出口;

所述的温控循环装置装于连通所述匹配液体进口和匹配液体出口的连接管道上,以控制所述匹配液体的温度在5到35度之间,并使所述匹配液体沿着所述非线性光学晶体的通光面呈层流形式的流动态;

基频激光水平入射通过入射光学窗口进入匹配液体,在非线性光学晶体的通光面经匹配液体耦合进入非线性光学晶体,旋转非线性光学晶体以实现倍频相位匹配;产生的倍频激光,未转换的基频激光通过匹配液体从出射光学窗口耦合射出;再由分光器件分离得到倍频激光;

所述的非线性光学晶体为KBBF晶体或BABF晶体;

所述的匹配液体为去离子水。

2. 按权利要求1所述的带有倍频装置的倍频激光器,其特征在于:所述的基频激光器是全固态Nd:YAG激光器、Nd:YVO₄激光器,全固态连续、纳秒、皮秒、飞秒钛宝石激光器或者它们的二倍频激光器。

3. 按权利要求1所述的带有倍频装置的倍频激光器,其特征在于:所述的温控循环装置为可控温的水冷机或可控温水泵。

一种带有倍频装置的倍频激光器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种激光器,特别涉及一种带有倍频装置的倍频激光器。

背景技术

[0002] 使用非线性光学晶体将常用激光波长倍频可以大大扩展激光的波长范围,且由于倍频系统简单、可靠,目前已经发展为一种实用的技术。获得高功率、高光束质量的倍频激光输出已成为研究热点之一,具有重要的应用价值。如:高功率绿光激光器在医学、通讯、遥感等方面都有重要的应用,利用非线性光学晶体将 Nd:YAG 激光倍频,是获得这种激光源的主要途径。目前主要使用的非线性光学倍频晶体有 LBO、KTP、BBO…等。但当产生高功率倍频激光时,需要对上述非线性光学晶体进行有效的冷却,加之这些非线性光学晶体有潮解性,所以限制了高功率倍频激光的产生。2002 年,胡章贵等生长出了一种新型的负单轴非线性光学晶体 BaAlBO₃F₂(以下简称 BABF),见文献 1 :Z. G. Hu, M. Yoshimura, K. Muramatsu, Y. Mori and T. Sasaki, "A new nonlinear optical crystal BaAlBO₃F₂(BABF)," Jpn. J. Appl. Phys., 41, 1131–1133 (2002)。该 BABF 晶体具有较大非线性光学系数、不潮解、机械性能好、易于生长等优点。BABF 晶体在获得高功率倍频光输出方面极具潜力,如文献 2 :Yong Zhou, Yinshao Yue, et al, "Nonlinear optical properties of BaAlBO₃F₂ crystal," Optical Express, 17, (2009), 20034–20038 所介绍。生长出来的 BABF 晶体结构如图 1 所示,其光轴垂直于生长解理面,光轴方向具有层状结构,使用相位匹配方向切割的 BABF 晶体,基频光光斑及倍频光光斑受到层状结构的影响,得到的倍频光光斑呈条纹状,光束质量差,如图 2 所示,难以应用。鉴于其层状结构特性,因此不能按相位匹配方向切割晶体用于谐波产生。

[0003] 高功率深紫外激光(尤其 200nm 以下)在光刻、科学研究、材料加工等诸多领域具有重大应用价值。KBBF 晶体直接倍频是目前唯一可有效产生实用化与精密化深紫外激光的手段。KBBF 晶体为负单轴晶体,不潮解,但其具有严重的层状结构特性,不能按相位匹配方向切割直接使用于深紫外谐波产生。生长出来的 KBBF 晶体结构同 BABF 晶体结构相同,如图 1 所示。虽然 KBBF-PCT(棱镜耦合)技术成功实现了深紫外谐波产生,但是在产生高功率深紫外倍频激光时,KBBF-PCT 器件由于其特殊结构,导致热效应严重,严重限制了高功率深紫外倍频激光的产生。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于:

[0005] 克服具有层状结构的非线性光学晶体不能按相位匹配方向切割使用于谐波产生的缺陷,并且解决高功率泵浦情形下,晶体热效应严重的问题;为了获得高光束质量、高平均功率倍频激光,从而提出一种采用非相位匹配切割的非线性光学晶体,并利用晶体不潮解的特点,将其浸泡在恒温流动的匹配液体中制成倍频装置,基频激光在匹配液中从晶体生长解理面入射实现相位匹配,倍频激光同样从晶体生长解理面出射,以实现高光束质量激光输出的倍频激光器。该倍频激光器避开了非线性光学晶体层状面对光束的影响(利

用此方法得到的 BABF 晶体倍频光光斑如图 3 所示,不再为条纹状,光斑质量得到了极大改善,可以满足应用需求);通过温控循环装置使得匹配液恒温流动冷却非线性光学晶体,晶体热效应降到了最低,实现高平均功率、高稳定性倍频激光输出。

[0006] 本发明的目的是这样实现的:

[0007] 本发明提供一种带有倍频装置的倍频激光器,包括基频激光器、光束整形聚焦部件,其特征在于,还包括一倍频装置;其中,所述的倍频装置由非线性光学晶体、匹配液体、浸泡非线性光学晶体的腔体及温控循环装置组成;在所述的基频激光器输出光后方顺序设置光束整形聚焦部件及倍频装置实现腔外倍频;亦可将倍频装置设置于基频激光器谐振腔内实现腔内倍频;

[0008] 其中,所述的非线性光学晶体固定于所述腔体中心并可绕腔体垂向中心轴旋转,并浸泡于所述匹配液体中;所述的非线性光学晶体为单轴晶体,未按激光倍频相位匹配方向切割,不潮解,其光轴方向具有层状结构,且光轴垂直于晶体生长解理面;所述的生长解理面经光学抛光后作为激光通光面,所述通光面垂直于水平面;通光面为长方形,长方形的长边平行于所述晶体的最佳倍频方向,并呈水平状态;

[0009] 所述腔体侧壁上对称地设置与所述非线性光学晶体通光面中心等高的入射光学窗口及出射光学窗口;

[0010] 所述腔体侧壁上还对称地设置匹配液体进口和匹配液体出口;

[0011] 所述的温控循环装置装于连通所述匹配液体进口和匹配液体出口的连接管道上,以控制所述匹配液体的温度在 0 到 35 度之间,并使所述匹配液体沿着所述非线性光学晶体的通光面呈层流形式的流动态;

[0012] 基频激光水平入射通过入射光学窗口进入匹配液体,在非线性光学晶体的通光面经匹配液体耦合进入非线性光学晶体,旋转非线性光学晶体以实现倍频相位匹配;产生的倍频激光,未转换的基频激光通过匹配液体从出射光学窗口耦合射出。

[0013] 在上述的技术方案中,所述的基频激光器为全固态 Nd:YAG、Nd:YVO₄ 激光器,全固态连续、纳秒、皮秒、飞秒钛宝石激光器或者它们的二倍频激光器。

[0014] 在上述的技术方案中,所述的非线性光学晶体为 KBBF 晶体、BABF 晶体、RBBF 晶体、SBOO 晶体、CBBF 晶体或 NBBF 晶体。

[0015] 在上述的技术方案中,所述的匹配液体为具有良好光学性能且折射率接近非线性光学晶体折射率的液体,包括水,优选去离子水;还包括 CCl₄、CS₂、甲醇、乙醇、丙醇、苯、三氯甲烷、乙醚、甘油、松节油、橄榄油或高折射率透光液体。

[0016] 在上述的技术方案中,所述的温控循环装置为可控温的水冷机或可控温水泵。

[0017] 在上述的技术方案中,所述的腔内倍频包括一由激光腔镜和输出耦合镜组成的谐振腔,在所述的谐振腔内顺序设置泵浦源与激光增益介质部件、光调制器件和倍频装置。

[0018] 本发明具有如下的优点:

[0019] 本发明的带有倍频装置的倍频激光器,基于液体耦合实现激光倍频,解决了层状结构的非线性光学晶体不能按相位匹配方向切割使用于谐波产生的问题,并可以产生高稳定性,高平均功率倍频激光输出。

[0020] 匹配液体的作用在于:

[0021] 1. 匹配液体可以大大扩展所使用非线性光学晶体倍频的相位匹配范围。当基频激

光从空气中直接耦合进晶体，对于 BABF 晶体，当基频激光波长小于 930nm 时由于全反射，基频光便无法耦合进 BABF 晶体而实现 I 类相位匹配，通过选用具有合适折射率的液体作为匹配液，可以大大扩展 BABF 晶体的 I 类相位匹配的基频光波长范围，如对于水 - 晶体耦合，可将 BABF 晶体 I 类相位匹配的基频光波长扩展至 670nm；对于 KBBF 晶体，水耦合可以将 KBBF 晶体 I 类相位匹配的基频光截止波长从 470nm 扩展至 ~330nm。

[0022] 2. 匹配液体恒温循环冷却非线性光学晶体，或者流动冷却晶体，使得晶体一直维持在最佳温度条件下；特别是在高功率泵浦激光情形下，晶体可以得到充分、有效的冷却。从而产生高效、高平均功率、高稳定性倍频激光输出。

[0023] 通过本发明，可以实现基于某些优秀非线性光学晶体的腔外倍频和腔内倍频结构的高稳定性、高平均功率、高光束质量倍频激光器。

附图说明

- [0024] 图 1 为本发明所使用的倍频装置中非线性光学晶体 (BABF) 结构示意图；
- [0025] 图 2 为使用相位匹配方向切割的 BABF 晶体得到的倍频光 532nm 光斑；
- [0026] 图 3 为基于本发明得到的 BABF 晶体中倍频光 532nm 光斑；
- [0027] 图 4a 为本发明使用的倍频装置中浸泡非线性光学晶体的腔体结构示意图；
- [0028] 图 4b 为图 4a 的浸泡非线性光学晶体的腔体立体示意图；
- [0029] 图 4c 为本发明所使用的倍频装置中浸泡非线性光学晶体的腔体中容器上盖和角度调节机构的关系示意图；
- [0030] 图 5 为本发明使用的倍频装置组成示意图；
- [0031] 图 6 为本发明实施例的一种腔外倍频的带有倍频装置的倍频激光器结构的示意图；
- [0032] 图 7 为本发明的另一个实施例中腔内倍频的带有倍频装置的倍频激光器结构的示意图；

具体实施方式

- [0033] 下面结合实施例和附图对本发明做详细地说明
- [0034] 实施例 1
- [0035] 参考图 6，制作一本发明的带有倍频装置的腔外倍频结构的倍频激光器。
- [0036] 首先参考图 5，本实施例使用的倍频装置由一块非线性光学晶体 13，匹配液体 5、浸泡非线性光学晶体的腔体及液体循环控温系统 15 组成；其中，非线性光学晶体 13 为解理面抛光的块状 KBBF 晶体，解理面为通光面，尺寸 $25 \times 10\text{mm}^2$ ，长边平行于 KBBF 最佳倍频方向；光轴垂直于解理面，晶体沿光轴方向厚度为 3mm；匹配液体 5 为高纯去离子水；液体循环和控温系统 15 为控温范围 5–35°C，控温精度 0.1°C 的高精度水冷机。
- [0037] 本实施例的浸泡非线性光学晶体的腔体（参考图 4a、图 4b 和图 4c）由一带有上盖 2 的圆筒容器 1、一固定非线性光学晶体用的不锈钢固定架 6、一用于调节非线性光学晶体角度的调节部件组成；在圆筒容器 1 内充入非线性光学晶体的匹配液 5，非线性光学晶体 13 安装在固定架 6 上并浸泡在匹配液 5 中。上盖 2 由一块不锈钢板做成上下表面带有凸起（如轴承形）的圆形板，从上盖 2 上表面凸出部分的顶部至上盖 2 下表面的凸起向下打

一通孔，位于上表面凸起部分的通孔的上部设有内螺纹，通孔底部直径比上部直径小，上盖 2 下表面的凸起的外径与圆筒容器的内径相等。并在下表面的凸起内所打通孔的底部内壁作出一圈凸台 25，凸台 25 直径为 12mm，以便将第二密封圈 27 放置在凸台 25 上。上盖 2 下表面的凸起插入圆筒容器上口内，并在上盖 2 下表面与圆筒容器上口之间设有第一密封圈 3，上盖 2 固定在圆筒容器上口，通过第一密封圈 3 实现水路密封。

[0038] 用于调节非线性光学晶体角度的调节部件由一活动支杆 4、一连接杆 7、一螺帽 23 和一螺旋微调器 8 组成；其中，活动支杆 4 为一根不锈钢杆，该活动支杆 4 的直径为 10mm，长度为 27mm，并在活动支杆 4 上做出一凸环 26。采用市场上购买的真空密封圈做第二密封圈 27 和第三密封圈 28。第二密封圈 27 放置在通孔中的凸台 25 上，一垫环 24、第三密封圈 28 顺序放置在第二密封圈 27 上；活动支杆 4 底端穿过上盖 2 的通孔，并穿过第三密封圈 28、垫环 24 和第二密封圈 27 插入圆筒容器 1 内，该活动支杆上的凸环 26 压装在第三密封圈 28 上。活动支杆 4 的直径与上盖 2 中的通孔相配合，一与活动支杆 4 上部相配合的螺帽 23 套入活动支杆 4，并且螺帽 23 的外螺纹和通孔上口的内螺纹螺合固定成一体，实现通孔的水路密封。活动支杆 4 顶端穿出上盖 2 的顶面，活动支杆 4 顶端与一连接杆 7 固定，螺旋微调器 8 的头垂直顶在连接杆 7 的末端侧壁上，并且与连接杆 7 的末端侧壁垂直固定，通过旋转螺旋微调器推动连接杆，连接杆带动活动支杆做圆周转动，达到微调非线性光学晶体的固定架在容器中的角度，以实现非线性光学晶体的角度相位匹配。

[0039] 所述的固定架为一带有用于夹紧非线性光学晶体的夹具的框架，或带有凹槽可通过软胶（703 或 704 硅胶）将非线性光学晶体粘接固定的框架，该固定架竖直固定在所述的活动支杆底端，非线性光学晶体安放在固定架上，且晶体光轴垂直于活动支杆，这是本专业技术人员可以实施的。

[0040] 在圆筒容器 1 相对的两个侧壁上，同轴线分别安装一个入射光窗口 9 和出射光窗口 10，入射光窗口 9 和出射光窗口 10 处于同一高度。并在该圆筒容器 1 的侧壁上分别开有供匹配液体进和出的进水口 11 和出水口 12，设置几个进水口 11 和出水口 12 可以根据实验需求，例如分别为 1、2、3 都可以。进水口 11 和出水口 12 中心轴线平行于圆筒容器 1 中的非线性光学晶体的解离面方向。该进水口 11 和出水口 12 分别通过管道 14 与外部的液体循环和控温系统 15 相连，液体流量大小及温度可调，使得匹配液以层流形式流过晶体表面并有效冷却非线性光学晶体；圆筒容器 1 内的匹配液通过连接于进水口、出水口的管道 14 流动或循环（见图 5），这些都是本专业技术人员可以实施的。本实施例制作的浸泡非线性光学晶体的腔体用来固定 KBBF 晶体，保证精确的相位匹配、并保证液体以层流形式沿着晶体通光面流动及将倍频激光耦合出。

[0041] 参考图 6，本实施例基频激光器 16 采用全固态飞秒钛宝石倍频激光器，其输出波长从 374nm 至 470nm 连续可调（去离子水的截止波长为 ~ 187nm，当基频光波长低于 374nm 已无意义）；对于 374nm~470nm 的基频波长，KBBF 晶体 I 类匹配倍频相位匹配角为 58.5°~43.6°，相应的基频激光在水中的入射角为 71.4°~50.0°，通过调节 KBBF 晶体在水中的角度就可实现精确的角度相位匹配。现以 387nm 激光作为基频激光来进行说明，其他波长基频光的倍频相位匹配可以通过调节晶体的角度实现。浸泡非线性光学晶体 13 的腔体的圆筒容器 1 内充满高纯去离子水；入射光窗口 9 为采用镀增透膜的 SiO₂ 窗口，出射光窗口 10 为采用未镀增透膜的深紫外 SiO₂ 窗口。387nm 基频激光由基频激光源 16 出射后首先

通过光束整形聚焦部件 17 正入射进入射光窗口 9, 然后进入高纯去离子水中, 在水中大约以 66.5° 的入射角进入 KBBF 晶体, 进入 KBBF 晶体后同晶体光轴的夹角大约为 55.6° (此角度为 387nm I 类 KBBF 晶体倍频匹配角), 通过旋转外部的螺旋测微器 8 可以微调 KBBF 晶体角度, 以达到最佳相位匹配角, 从而产生高效率、高平均功率倍频 193nm 激光输出。水温由液体控温循环系统 15 精确控制在 20℃, 以保证对 KBBF 晶体在高功率泵浦情形下进行有效冷却, 水流量控制在 4L/min, 水沿着 KBBF 晶体通光面以层流方式流动。产生的 193nm 倍频光与未转换的 387nm 基频激光通过水及出射深紫外 SiO₂ 窗口 10 耦合出来, 最后通过置于所述基频激光器 16 输出光光路上, 位于倍频装置 18 之后的分光镜 (或者棱镜) 19 分离出 193nm 倍频激光。

[0042] 本实施例中, 采用水耦合, 不仅解决了 KBBF 晶体由于层状结构不能按相位匹配方向切割用于深紫外谐波产生的问题; 同时, KBBF 晶体完全浸泡在恒温流动的水中, 可以得到有效、充分的冷却, 相对于目前使用的 KBBF-PCT 器件, 晶体的热效应影响降到了最低, 从而可以获得高效率、高平均功率、高光束质量深紫外倍频激光 (187–230nm) 输出。特别是高平均功率、高光束质量全固态 193nm 激光的获得, 对大规模集成电路光刻具有重大的应用价值。

[0043] 实施例 2

[0044] 参考图 6, 制作一本发明的带有倍频装置的腔外倍频结构的倍频激光器, 所用倍频装置 18 同实施例 1 相同, 只是 KBBF 晶体尺寸改为 20×10×3.5mm³。

[0045] 本实施例中采用的基频激光器 16 为全固态高功率、高光束质量纳秒 532nm 绿光激光器;

[0046] 对于波长 532nm 的基频激光, KBBF 晶体 I 类倍频相位匹配角为 36.6°, 相应的基频激光在水中的入射角为 41.5°, 通过调节晶体在水中的角度就可实现。如图 6 所示, 基频激光器 16 发出的 532nm 基频激光首先通过光束整形聚焦部件 17 正入射进倍频装置 18 的入射 SiO₂ 窗口 9 及高纯去离子水, 在水中大约以 41.5° 的入射角进入 KBBF 晶体, 这样进入 KBBF 晶体后同晶体光轴的夹角大约为 36.6°, 再通过旋转外部的螺旋测微器 8 可以微调 KBBF 晶体角度, 以达到最佳相位匹配角, 从而产生高效率、高功率倍频 266nm 激光输出。水温由液体控温循环系统 15 精确控制在 20℃, 以保证对 KBBF 晶体在高功率泵浦情形下进行有效冷却, 水流量控制在 5L/min, 水沿着 KBBF 晶体通光面以层流方式流动。产生的 266nm 倍频光与未转换的 532nm 基频激光通过水及出射 SiO₂ 窗口 10 耦合出来, 最后通过分光镜 (棱镜) 19 分离出 266nm 倍频激光。

[0047] 在本实施例中, KBBF 晶体完全浸泡于水中, 相比于目前使用的 KBBF-PCT 器件, KBBF 晶体可以得到充分、有效的冷却, 从而能够获得高稳定性、高平均功率、高光束质量紫外 266nm 激光输出。

[0048] 实施例 3

[0049] 参考图 6, 制作一本发明的带有倍频装置的腔外倍频结构的倍频激光器。

[0050] 本实施例中所采用的倍频装置如图 4a、图 4b 和图 4c 所示, 除非线性光学晶体换为 BABF 晶体外, 其余均与实施例 1 相同。

[0051] 本实施例中采用的基频激光器 16 为调 Q 型百瓦级准连续全固态 Nd:YAG 激光器, 脉宽 50ns, 重复频率 10kHz。非线性光学晶体 13 为一块 BABF 晶体, 解理面光学抛光处理后

作为通光面,尺寸 $25\times 10\text{mm}^2$,长边平行于BABF最佳倍频方向;光轴垂直于解理面,晶体沿光轴方向厚度为5.99mm。按照图6,基频激光器16发射的1064nm激光通过光束整形聚焦系统17入射进倍频装置18,参考图4a、图4b和图4c,倍频装置18的入射光窗口9及出射光窗口10均采用未镀增透膜的SiO₂窗口,将晶体架子6调整到与水平方向成46.7度角的位置,这样水平方向正入射进入射光窗口9的1064nm基频光在高纯去离子水中将以43.3度的入射角射向BABF晶体13的通光面,从而使得耦合进BABF晶体的1064nm激光同BABF晶体光轴的夹角在34.2(倍频相位匹配角)度附近,通过旋转外部的螺旋测微器8可以微调BABF晶体角度,以达到最佳相位匹配,从而产生高效率、高功率532nm绿光输出。水温由液体控温循环系统15精确控制在20℃,以保证对BABF晶体在高功率泵浦情形下进行有效冷却,水流量控制在5L/min,水沿着BABF晶体通光面以层流方式流动。产生的532nm倍频激光及未转换的1064nm基频激光通过去离子水及出射光窗口10耦合出浸泡非线性光学晶体的腔体18,再经过分光镜或者棱镜19分离出532nm倍频激光。

[0052] 在本实施例中,BABF晶体在高功率泵浦下可以得到充分有效冷却,热效应影响降到了最低,有望获得几十瓦至上百瓦的高稳定绿光输出,且由于本发明避开了BABF层状结构对光斑的影响,倍频光输出光束质量得到极大改善,如图3所示。

[0053] 实施例4

[0054] 参考图7,制作一本发明的带有倍频装置的腔内倍频结构的倍频激光器,其中倍频装置18同实施例3中倍频装置相同。

[0055] 参考图7,此倍频激光器包括激光腔镜21、输出耦合镜21`、泵浦源及激光增益介质部件20、Q开关22(光调制器件)、倍频装置18,依次顺序设置。其中,泵浦源采用808nm半导体激光器阵列,激光增益介质为Nd:YAG激光晶体,泵浦源侧面泵浦激光晶体(也可采用端面泵浦结构);激光腔镜21同输出耦合镜21`构成谐振腔,激光腔镜21对1064nm及532nm双高反,输出耦合镜21`对1064nm高反,同时对532nm高透;Q开关22用来产生重复频率10kHz的ns脉冲输出;倍频装置18同实施例3中倍频装置相同。如图7所示,依次设置各元件,其中倍频装置中非线性光学晶体设置于谐振腔内1064nm激光的束腰位置(这些都是业内普通技术人员可以实施的),以提供高的峰值功率密度,构成腔内倍频结构激光器。

[0056] 基频1064nm激光在谐振腔内形成振荡,正入射进倍频装置18,进行频率转换,其中倍频装置18中非线性光学晶体为通光面抛光的 $20\times 10\times 12\text{mm}^3$ BABF晶体,入射光窗口9和出射光窗口10均采用对1064nm增透的SiO₂窗口,以降低腔内损耗;532nm激光产生同实施例3相同,产生的532nm激光最后经对532nm高透的输出耦合镜21`输出。

[0057] 本实施例中,BABF晶体可以得到充分有效冷却,热效应影响降到了最低,有望获得高效率、高功率倍频光输出,且由于本发明避开了BABF层状结构对光斑的影响,将获得高光束质量倍频光输出,同时由于采用了腔内倍频结构,倍频转换效率可以大大提高,实现一种高效、高功率、高光束质量532nm绿光激光器。

[0058] 实施例5

[0059] 参考图6,制作一本发明的带有倍频装置的倍频激光器,采用腔外倍频结构,其结构与实施例1结构相同。本实施例的倍频装置也与实施例1结构相同,只是非线性光学晶体13使用RBBF晶体、SBBO晶体、CBBF晶体或NBBF晶体,匹配液使用高折射率透光液体、

CC₁₄、CS₂、甲醇、乙醇、丙醇、苯、三氯甲烷、乙醚、甘油、松节油、橄榄油等。

[0060] 当然，本发明还可有其他多种实施例，在不背离本发明精神及其实质的情况下，熟悉本领域的技术人员当可根据本发明作出各种相应的改变和变型，但这些相应的改变和变形都应属于本发明所附的权利要求的保护范围。

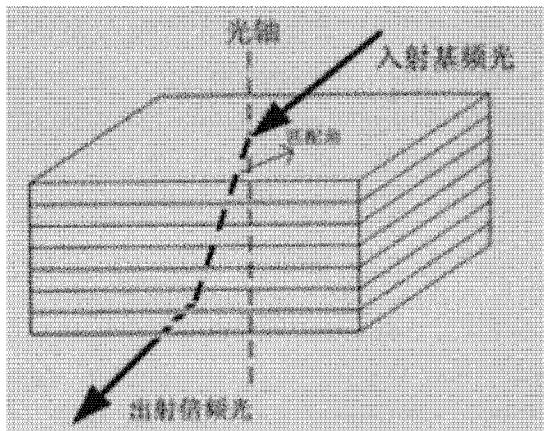


图 1

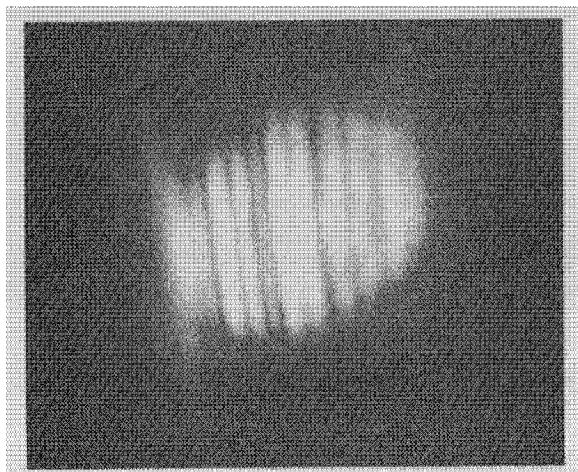


图 2

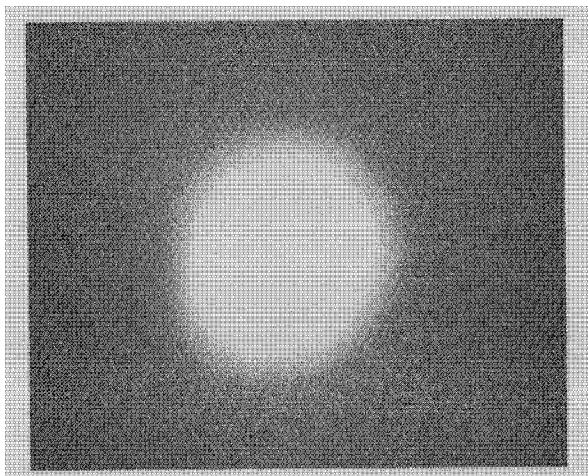


图 3

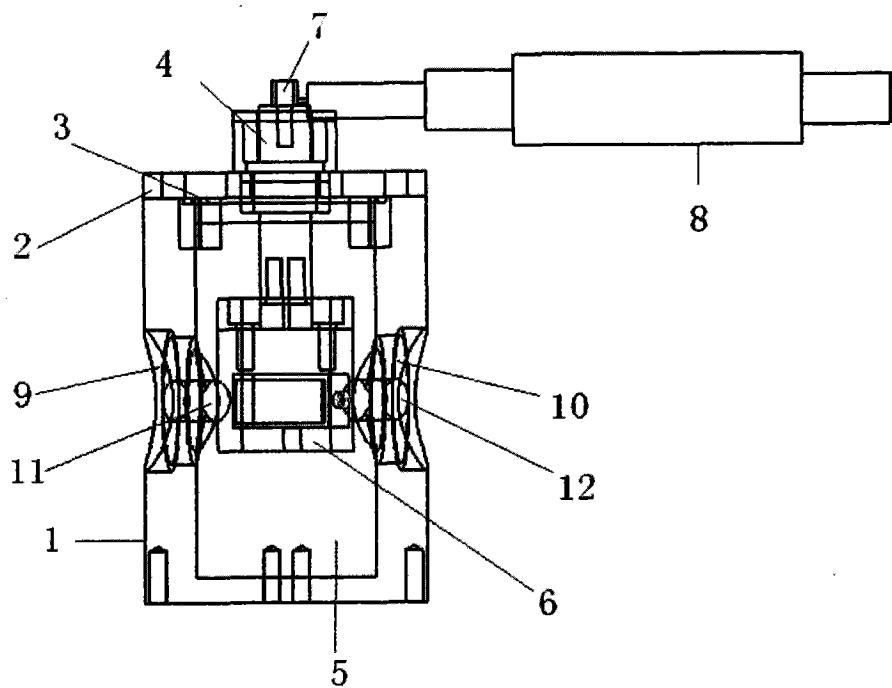


图 4a

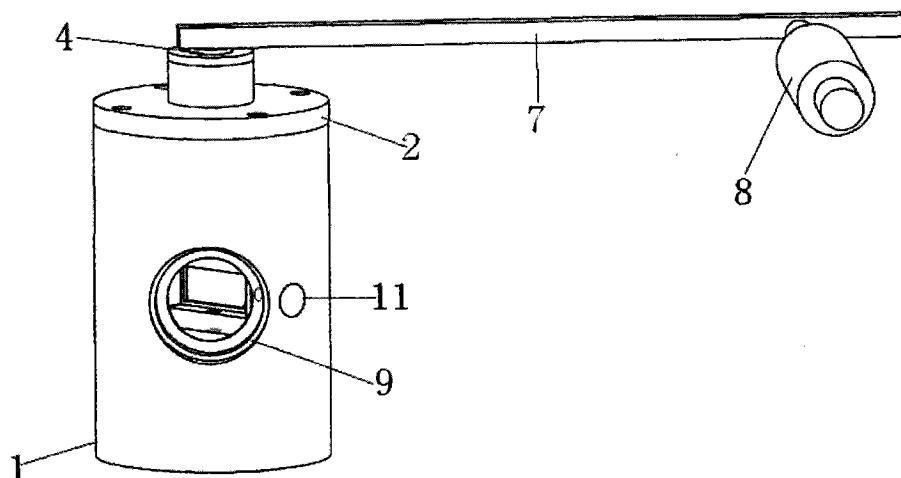


图 4b

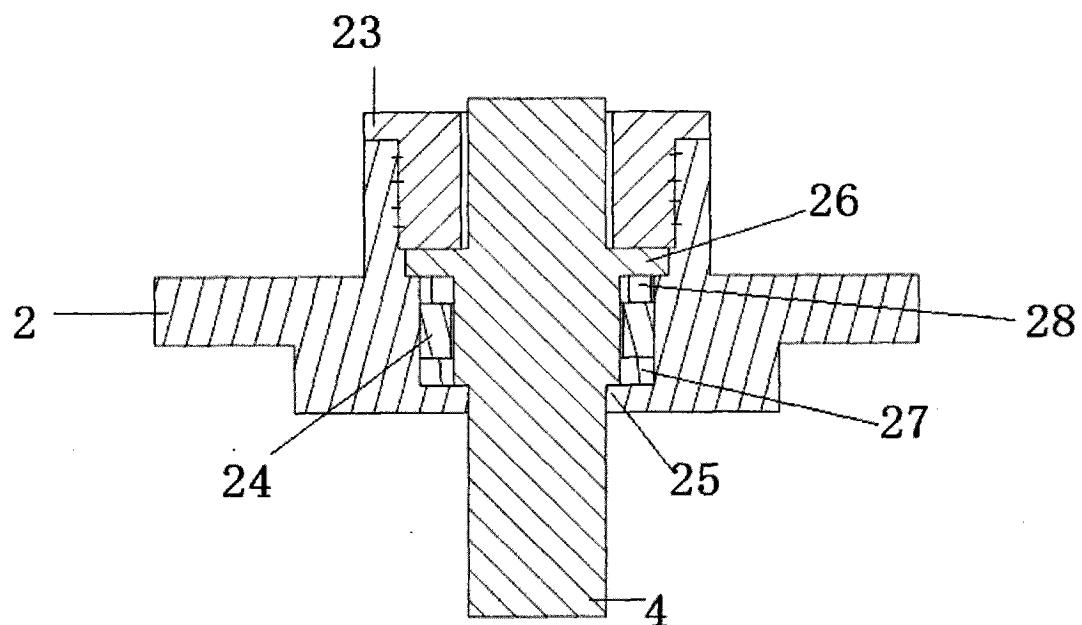


图 4c

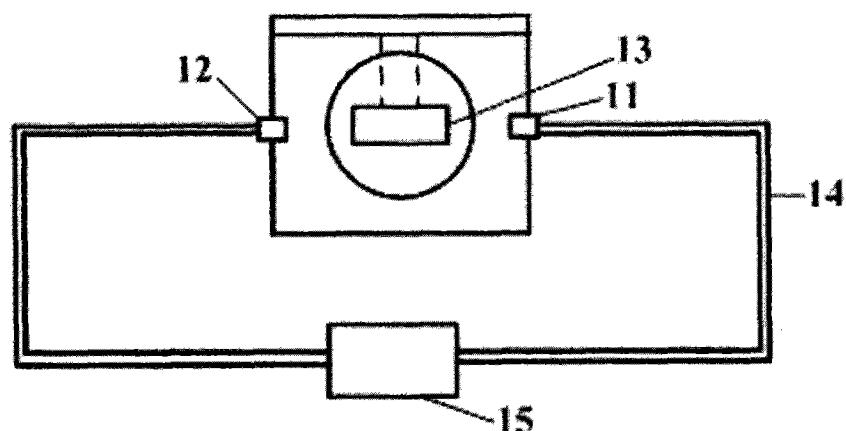


图 5

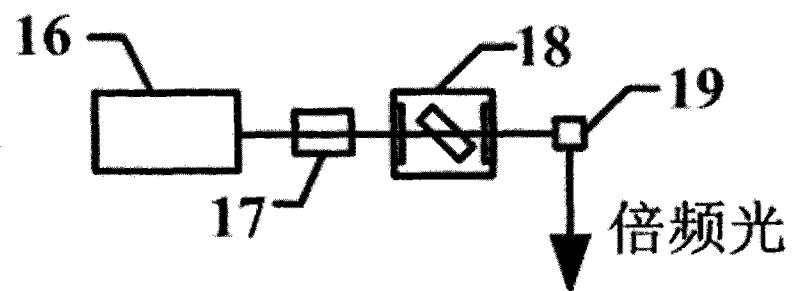


图 6

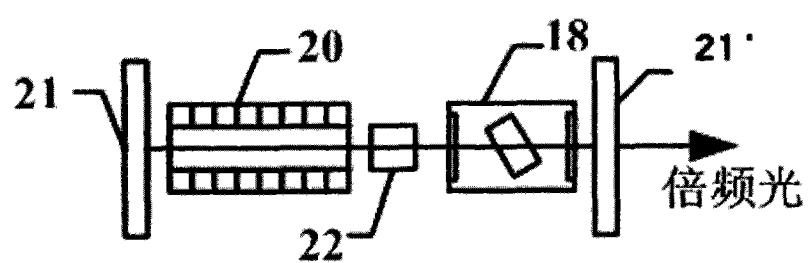


图 7