



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110068552 B

(45) 授权公告日 2021.09.17

(21) 申请号 201910398056.X

(22) 申请日 2019.05.14

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110068552 A

(43) 申请公布日 2019.07.30

(73) 专利权人 哈尔滨工业大学
地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西
大直街92号

(72) 发明人 姚宝权 密淑一 刘高佑 戴通宇
段小明

(74) 专利代理机构 哈尔滨市松花江专利商标事
务所 23109
代理人 岳泉清

(51) Int. Cl.
G01N 21/45 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 108539568 A, 2018.09.14

CN 107436293 A, 2017.12.05

CN 107910736 A, 2018.04.13

CN 108429125 A, 2018.08.21

CN 105119137 A, 2015.12.02

CN 107228828 A, 2017.10.03

CN 103620894 A, 2014.03.05

CN 107643266 A, 2018.01.30

US 2012051375 A1, 2012.03.01

孙晓亮. 脉冲LD抽运Tm:LuAG声光调Q激光器的研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库 信息科技辑》. 2016, 全文.

D.W.Fischer. Direct measurement of ZnGeP2 birefringence from 0.66 to 12.2 μm using polarized light interference.《J. Appl. Phys.》. 1995, 全文.

审查员 龚子涵

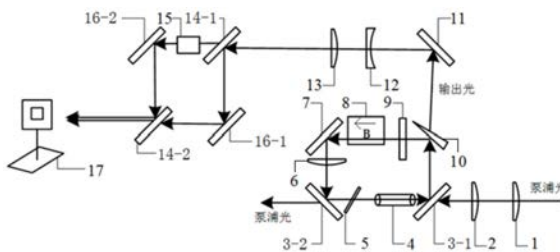
权利要求书2页 说明书9页 附图1页

(54) 发明名称

基于2.02 μm单纵模激光器的分振幅型干涉仪

(57) 摘要

基于2.02 μm单纵模激光器的分振幅型干涉仪, 它涉及一种分振幅型干涉仪, 属于光学领域, 解决现有对632.8nm透过率低, 但对2.02 μm透过率高的晶体难以测量折射率均匀性的问题。基于2.02 μm单纵模激光器的分振幅型干涉仪: 第一平凸透镜的平面与第二平凸透镜的凸面相对, 构成一号耦合系统; 平凹透镜的平面与第四平凸透镜的凸面相对, 构成二号耦合系统; 第一二色镜、第二二色镜、Tm:LuAG晶体、F-P标准具、第三平凸透镜、第一反射镜、法拉第旋光器、二分之一波片及楔形输出镜构成2.02 μm单纵模激光器; 第一分光镜、第二分光镜、第三反射镜、第四反射镜及激光光束分析仪与待测晶体构成分振幅型干涉光路。



CN 110068552 B

1. 基于 $2.02\mu\text{m}$ 单纵模激光器的分振幅型干涉仪,其特征在于基于 $2.02\mu\text{m}$ 单纵模激光器的分振幅型干涉仪包括第一平凸透镜(1)、第二平凸透镜(2)、第一二色镜(3-1)、第二二色镜(3-2)、 Tm:LuAG 晶体(4)、F-P标准具(5)、第三平凸透镜(6)、第一反射镜(7)、法拉第旋光器(8)、二分之一波片(9)、楔形输出镜(10)、第二反射镜(11)、平凹透镜(12)、第四平凸透镜(13)、第一分光镜(14-1)、第二分光镜(14-2)、第三反射镜(16-1)、第四反射镜(16-2)及激光光束分析仪(17);

所述的第一平凸透镜(1)的平面与第二平凸透镜(2)的凸面相对,构成一号耦合系统;

所述的平凹透镜(12)的平面与第四平凸透镜(13)的凸面相对,构成二号耦合系统;

所述的第一二色镜(3-1)、第二二色镜(3-2)、 Tm:LuAG 晶体(4)、F-P标准具(5)、第三平凸透镜(6)、第一反射镜(7)、法拉第旋光器(8)、二分之一波片(9)及楔形输出镜(10)构成 $2.02\mu\text{m}$ 单纵模激光器;

所述的第一分光镜(14-1)、第二分光镜(14-2)、第三反射镜(16-1)、第四反射镜(16-2)及激光光束分析仪(17)与待测晶体(15)构成分振幅型干涉光路;

一束波长为 788nm 的泵浦光垂直入射至一号耦合系统,经耦合后以 45° 入射至第一二色镜(3-1),第一二色镜(3-1)透过的波长为 788nm 的泵浦光垂直入射至 Tm:LuAG 晶体(4)中, Tm:LuAG 晶体(4)在波长为 788nm 的泵浦光抽运下产生顺时针方向传播的振荡光和逆时针方向传播的振荡光,然后波长为 788nm 的泵浦光以 45° 入射至F-P标准具(5),透过F-P标准具(5)的波长为 788nm 的泵浦光经第二二色镜(3-2)后透射出去;

顺时针方向传播的振荡光以 45° 入射至F-P标准具(5),透过F-P标准具(5)的顺时针方向传播的振荡光以 45° 入射至第二二色镜(3-2)上,顺时针方向传播的振荡光经第二二色镜(3-2)反射后垂直入射至第三平凸透镜(6)的凸面,透过第三平凸透镜(6)的顺时针方向传播的振荡光以 45° 入射至第一反射镜(7),并由第一反射镜(7)反射至法拉第旋光器(8),顺时针方向传播的振荡光经法拉第旋光器(8)和二分之一波片(9)后,入射至楔形输出镜(10)并部分透射出去,腔内得到顺时针方向传播的垂直偏振的振荡光;

顺时针方向传播的垂直偏振的振荡光以 45° 入射至F-P标准具(5),透过F-P标准具(5)的顺时针方向传播的垂直偏振的振荡光以 45° 入射至第二二色镜(3-2)上,顺时针方向传播的垂直偏振的振荡光经第二二色镜(3-2)反射后垂直入射至第三平凸透镜(6)的凸面,透过第三平凸透镜(6)的顺时针方向传播的垂直偏振的振荡光以 45° 入射至第一反射镜(7),并由第一反射镜(7)反射后继续顺时针方向传播,经法拉第旋光器(8)和二分之一波片(9)后偏振态由垂直偏振变为水平偏振,顺时针方向传播的水平偏振的振荡光入射至楔形输出镜(10)后部分透射出去,剩余部分无法形成持续振荡输出;

逆时针方向传播的振荡光以 45° 入射至第一二色镜(3-1),经第一二色镜(3-1)反射的逆时针方向传播的振荡光入射至楔形输出镜(10)后部分透射出去,腔内得到逆时针方向传播的垂直偏振的振荡光;

逆时针方向传播的垂直偏振的振荡光以 45° 入射至第一二色镜(3-1),经第一二色镜(3-1)反射的逆时针方向传播的垂直偏振的振荡光入射至楔形输出镜(10),经楔形输出镜(10)反射的逆时针方向传播的垂直偏振的振荡光经过二分之一波片(9)和法拉第旋光器(8),成为逆时针方向传播的单纵模振荡光,逆时针方向传播的单纵模振荡光以 45° 入射至第一反射镜(7)上,由第一反射镜(7)反射至第三平凸透镜(6)的平面,透过第三平凸透镜

(6)的逆时针方向传播的单纵模振荡光以 45° 入射至第二二色镜(3-2)上,并由第二二色镜(3-2)反射至F-P标准具(5),透过F-P标准具(5)的逆时针方向传播的单纵模振荡光继续经过Tm:LuAG晶体(4)、第一二色镜(3-1)及楔形输出镜(10),最后形成增益从楔形输出镜(10)透射出去成为 $2.02\mu\text{m}$ 的单纵模激光;

$2.02\mu\text{m}$ 的单纵模激光以 45° 入射至第二反射镜(11),经第二反射镜(11)反射的 $2.02\mu\text{m}$ 的单纵模激光入射至二号耦合系统进行激光扩束,得到扩束后的单纵模激光;

扩束后的单纵模激光以 45° 入射至第一分光镜(14-1),经第一分光镜(14-1)分成透射的单纵模激光和反射的单纵模激光;

透射的单纵模激光垂直入射至待测晶体(15),然后以 45° 入射至第四反射镜(16-2),并由第四反射镜(16-2)反射至第二分光镜(14-2),再由第二分光镜(14-2)反射至激光光束分析仪(17)中,反射的单纵模激光入射至第三反射镜(16-1),并由第三反射镜(16-1)反射至第二分光镜(14-2),透过第二分光镜(14-2)后入射至激光光束分析仪(17)中,且入射至激光光束分析仪(17)中的两束光形成干涉条纹;

所述的第一平凸透镜(1)及第二平凸透镜(2)的通光面均镀有 788nm 高透膜,焦距为 $10\text{mm}\sim 1000\text{mm}$,直径为 $10\text{mm}\sim 100\text{mm}$;所述的第三平凸透镜(6)通光面镀有 $2.02\mu\text{m}$ 增透膜,焦距为 $10\text{mm}\sim 1000\text{mm}$;

所述的第一二色镜(3-1)及第二二色镜(3-2)一面镀有 788nm 增透膜,另一面镀有 788nm 增透膜和 $2.02\mu\text{m}$ 增反膜;

所述的F-P标准具(5)对 $2.02\mu\text{m}$ 振荡光的透过率为 90% ,厚度为 $0.05\text{mm}\sim 0.5\text{mm}$;

所述的Tm:LuAG晶体(4)为圆柱状,端面直径为 3mm ,长度为 16mm ,两端端面均同时镀有 788nm 增透膜和 $2.02\mu\text{m}$ 增透膜,且所述的Tm:LuAG晶体(4)中 Tm^{3+} 离子掺杂的原子百分数为 2% ;

所述的第一反射镜(7)、第二反射镜(11)、第三反射镜(16-1)及第四反射镜(16-2)一面均镀有 $2.02\mu\text{m}$ 增反膜;

所述的法拉第旋光器(8)适用波长为 $2.02\mu\text{m}$;所述的二分之一波片(9)适用波长为 2023nm ;

所述的楔形输出镜(10)一面同时镀有对垂直偏振的 $2.02\mu\text{m}$ 振荡光透过率为 3% 的膜和对水平偏振的 $2.02\mu\text{m}$ 振荡光透过率为 20% 的膜,另一面镀有 $2.02\mu\text{m}$ 增透膜;

所述的平凹透镜(12)及第四平凸透镜(13)通光面均镀有 $2.02\mu\text{m}$ 增透膜;所述的平凹透镜(12)焦距为 $-50\text{mm}\sim -2000\text{mm}$;所述的第四平凸透镜(13)焦距为 $10\text{mm}\sim 1000\text{mm}$;

所述的第一分光镜(14-1)及第二分光镜(14-2)一面均镀有对垂直偏振的 $2.02\mu\text{m}$ 振荡光反射率为 80% 的部分反射膜,另一面均镀有对垂直偏振的 $2.02\mu\text{m}$ 振荡光增透膜。

基于2.02 μm 单纵模激光器的分振幅型干涉仪

技术领域

[0001] 本发明涉及一种分振幅型干涉仪,属于光学领域。

背景技术

[0002] 3 μm ~5 μm 波段和8 μm ~10 μm 波段的中长波红外激光可应用于遥感、光电对抗、光谱学、材料加工与医学等领域,特别是在红外探测和红外热成像等军事领域中,该波段的激光被广泛利用。获得中长波波段激光最有效的手段是通过光学参量振荡器(OPO)对2 μm 波段激光进行频率下转换。

[0003] 硒化镉(CdSe)晶体和磷锗锌(ZnGeP₂)晶体是产生3~5 μm 波段和8~10 μm 波段常用的非线性晶体,晶体的质量将直接影响输出激光的功率和光束质量,其中,晶体折射率均匀性是衡量晶体生长好坏的重要指标。干涉仪是测量光学材料折射率均匀性常用的仪器,目前,常用的商品化干涉仪采用的光源大多为632.8nm的He-Ne激光器,但是CdSe晶体和ZnGeP₂晶体的透射窗口分别为0.75~20 μm 和0.74~12 μm ,波长为632.8nm的激光将不能透过晶体形成干涉,所以市面上的商品化干涉仪对632.8nm透过率低的晶体难以测量折射率均匀性,例如硒化镉(CdSe)晶体和磷锗锌(ZnGeP₂)晶体,但实际测得CdSe晶体和ZnGeP₂晶体对2.02 μm 激光的透过率分别可以达到80%和90%以上。

发明内容

[0004] 本发明目的是为了解决现有对632.8nm透过率低,但对2.02 μm 透过率高的晶体难以测量折射率均匀性的问题,提供了基于2.02 μm 单纵模激光器的分振幅型干涉仪。

[0005] 基于2.02 μm 单纵模激光器的分振幅型干涉仪包括第一平凸透镜、第二平凸透镜、第一二色镜、第二二色镜、Tm:LuAG晶体、F-P标准具、第三平凸透镜、第一反射镜、法拉第旋光器、二分之一波片、楔形输出镜、第二反射镜、平凹透镜、第四平凸透镜、第一分光镜、第二分光镜、第三反射镜、第四反射镜及激光光束分析仪;

[0006] 所述的第一平凸透镜的平面与第二平凸透镜的凸面相对,构成一号耦合系统;

[0007] 所述的平凹透镜的平面与第四平凸透镜的凸面相对,构成二号耦合系统;

[0008] 所述的第一二色镜、第二二色镜、Tm:LuAG晶体、F-P标准具、第三平凸透镜、第一反射镜、法拉第旋光器、二分之一波片及楔形输出镜构成2.02 μm 单纵模激光器;

[0009] 所述的第一分光镜、第二分光镜、第三反射镜、第四反射镜及激光光束分析仪与待测晶体构成分振幅型干涉光路;

[0010] 一束波长为788nm的泵浦光垂直入射至一号耦合系统,经耦合后以45°入射至第一二色镜,第一二色镜透过的波长为788nm的泵浦光垂直入射至Tm:LuAG晶体中,Tm:LuAG晶体在波长为788nm的泵浦光抽运下产生顺时针方向传播的振荡光和逆时针方向传播的振荡光,然后波长为788nm的泵浦光以45°入射至F-P标准具,透过F-P标准具的波长为788nm的泵浦光经第二二色镜后透射出去;

[0011] 顺时针方向传播的振荡光以45°入射至F-P标准具,透过F-P标准具的顺时针方向

传播的振荡光以 45° 入射至第二二色镜上,顺时针方向传播的振荡光经第二二色镜反射后垂直入射至第三平凸透镜的凸面,透过第三平凸透镜的顺时针方向传播的振荡光以 45° 入射至第一反射镜,并由第一反射镜反射至法拉第旋光器,顺时针方向传播的振荡光经法拉第旋光器和二分之一波片后,入射至楔形输出镜并部分透射出去,腔内得到顺时针方向传播的垂直偏振的振荡光;

[0012] 顺时针方向传播的垂直偏振的振荡光以 45° 入射至F-P标准具,透过F-P标准具的顺时针方向传播的垂直偏振的振荡光以 45° 入射至第二二色镜上,顺时针方向传播的垂直偏振的振荡光经第二二色镜反射后垂直入射至第三平凸透镜的凸面,透过第三平凸透镜的顺时针方向传播的垂直偏振的振荡光以 45° 入射至第一反射镜,并由第一反射镜反射后继续顺时针方向传播,经法拉第旋光器和二分之一波片后偏振态由垂直偏振变为水平偏振,顺时针方向传播的水平偏振的振荡光入射至楔形输出镜后部分透射出去,剩余部分无法形成持续振荡输出;

[0013] 逆时针方向传播的振荡光以 45° 入射至第一二色镜,经第一二色镜反射的逆时针方向传播的振荡光入射至楔形输出镜后部分透射出去,腔内得到逆时针方向传播的垂直偏振的振荡光;

[0014] 逆时针方向传播的垂直偏振的振荡光以 45° 入射至第一二色镜,经第一二色镜反射的逆时针方向传播的垂直偏振的振荡光入射至楔形输出镜,经楔形输出镜反射的逆时针方向传播的垂直偏振的振荡光经过二分之一波片和法拉第旋光器,成为逆时针方向传播的单纵模振荡光,逆时针方向传播的单纵模振荡光以 45° 入射至第一反射镜上,由第一反射镜反射至第三平凸透镜的平面,透过第三平凸透镜的逆时针方向传播的单纵模振荡光以 45° 入射至第二二色镜上,并由第二二色镜反射至F-P标准具,透过F-P标准具的逆时针方向传播的单纵模振荡光继续经过Tm:LuAG晶体、第一二色镜及楔形输出镜,最后形成增益从楔形输出镜透射出去成为 $2.02\mu\text{m}$ 的单纵模激光;

[0015] $2.02\mu\text{m}$ 的单纵模激光以 45° 入射至第二反射镜,经第二反射镜反射的 $2.02\mu\text{m}$ 的单纵模激光入射至二号耦合系统进行激光扩束,得到扩束后的单纵模激光;

[0016] 扩束后的单纵模激光以 45° 入射至第一分光镜,经第一分光镜分成透射的单纵模激光和反射的单纵模激光;

[0017] 透射的单纵模激光垂直入射至待测晶体,然后以 45° 入射至第四反射镜,并由第四反射镜反射至第二分光镜,再由第二分光镜反射至激光光束分析仪中,反射的单纵模激光入射至第三反射镜,并由第三反射镜反射至第二分光镜,透过第二分光镜后入射至激光光束分析仪中,且入射至激光光束分析仪中的两束光形成干涉条纹。

[0018] 本发明的优点:本发明提供了以 $2.02\mu\text{m}$ 单纵模激光器作为干涉光源的分振幅型干涉仪的设计方案,可以用来测量对 $2.02\mu\text{m}$ 波段具有高透过率的光学晶体的折射率均匀性,特别是某些对 $2.02\mu\text{m}$ 波段透过率高但是对 632nm 波段透过率较低的晶体,例如CdSe晶体和 ZnGeP_2 晶体,无法利用输出波长为 632.8nm 的He-Ne激光器作为光源的干涉仪实现测量,但是使用本发明的干涉仪可以测量其折射率均匀性。

[0019] $2.02\mu\text{m}$ 单纵模激光器采用法拉第旋光器、二分之一波片以及对线偏振态具有不同透过率的楔形输出镜结合的方法实现单向传输,可以实现高稳定性、抗干扰能力强的 $2.02\mu\text{m}$ 单频激光输出;第三平凸透镜可以平衡腔内热效应,使输出功率和模式更加稳定;F-P标准

具可以使输出波长在 $2.02\mu\text{m}$ 附近可调谐,选择待测晶体透过率最高的波长进行输出;干涉仪的光路采用分振幅的结构,可以获得清晰的干涉条纹,同时与迈克尔逊干涉仪相比,本发明在光通量的利用率上要更高,因为在迈克尔逊干涉仪中有一半光通量将返回光源方向;利用单纵模激光作为光源,输出激光的波长稳定,干涉条纹间距不会因波长的改变而改变,从而可以获得清晰稳定的干涉条纹;二号耦合系统的参数可以改变,从而可以获得合适的光斑大小(可以覆盖晶体入射端面),实现大尺寸晶体的折射率均匀性的测量;可以调整干涉光路第一分光镜与第四反射镜的距离,从而测量长度较长的晶体;采用《中华人民共和国机械行业标准》中的《光学晶体光学均匀性测量方法JB/T9495.7—1999》提供的计算方法,折射率均匀性的测量精度可以达到 1×10^{-6} 。

[0020] 本发明利用单向环形腔结构获得 $2.02\mu\text{m}$ 单频激光输出,波长为 2022nm ,最高输出功率为 500mW ,通过二号耦合系统将光斑半径调整为 4mm ,测量了晶体尺度为 $6\text{mm}\times 6\text{mm}\times 25\text{mm}$ 的 ZnGeP_2 晶体和晶体尺度为 $6\text{mm}\times 8\text{mm}\times 30\text{mm}$ 的 CdSe 晶体,经过计算得到其折射率均匀性分别为 5.7×10^{-5} 和 8.4×10^{-6} 。

附图说明

[0021] 图1是本发明所述的基于 $2.02\mu\text{m}$ 单纵模激光器的分振幅型干涉仪的结构示意图。

具体实施方式

[0022] 具体实施方式一:下面结合图1说明本实施方式,本实施方式基于 $2.02\mu\text{m}$ 单纵模激光器的分振幅型干涉仪包括第一平凸透镜1、第二平凸透镜2、第一二色镜3-1、第二二色镜3-2、 $\text{Tm}:\text{LuAG}$ 晶体4、F-P标准具5、第三平凸透镜6、第一反射镜7、法拉第旋光器8、二分之一波片9、楔形输出镜10、第二反射镜11、平凹透镜12、第四平凸透镜13、第一分光镜14-1、第二分光镜14-2、第三反射镜16-1、第四反射镜16-2及激光光束分析仪17;

[0023] 所述的第一平凸透镜1的平面与第二平凸透镜2的凸面相对,构成一号耦合系统;

[0024] 所述的平凹透镜12的平面与第四平凸透镜13的凸面相对,构成二号耦合系统;

[0025] 所述的第一二色镜3-1、第二二色镜3-2、 $\text{Tm}:\text{LuAG}$ 晶体4、F-P标准具5、第三平凸透镜6、第一反射镜7、法拉第旋光器8、二分之一波片9及楔形输出镜10构成 $2.02\mu\text{m}$ 单纵模激光器;

[0026] 所述的第一分光镜14-1、第二分光镜14-2、第三反射镜16-1、第四反射镜16-2及激光光束分析仪17与待测晶体15构成分振幅型干涉光路;

[0027] 一束波长为 788nm 的泵浦光垂直入射至一号耦合系统,经耦合后以 45° 入射至第一二色镜3-1,第一二色镜3-1透过的波长为 788nm 的泵浦光垂直入射至 $\text{Tm}:\text{LuAG}$ 晶体4中, $\text{Tm}:\text{LuAG}$ 晶体4在波长为 788nm 的泵浦光抽运下产生顺时针方向传播的振荡光和逆时针方向传播的振荡光,然后波长为 788nm 的泵浦光以 45° 入射至F-P标准具5,透过F-P标准具5的波长为 788nm 的泵浦光经第二二色镜3-2后透射出去;

[0028] 顺时针方向传播的振荡光以 45° 入射至F-P标准具5,透过F-P标准具5的顺时针方向传播的振荡光以 45° 入射至第二二色镜3-2上,顺时针方向传播的振荡光经第二二色镜3-2反射后垂直入射至第三平凸透镜6的凸面,透过第三平凸透镜6的顺时针方向传播的振荡光以 45° 入射至第一反射镜7,并由第一反射镜7反射至法拉第旋光器8,顺时针方向传播的

振荡光经法拉第旋光器8和二分之一波片9后,入射至楔形输出镜10并部分透射出去,腔内得到顺时针方向传播的垂直偏振的振荡光;

[0029] 顺时针方向传播的垂直偏振的振荡光以 45° 入射至F-P标准具5,透过F-P标准具5的顺时针方向传播的垂直偏振的振荡光以 45° 入射至第二二色镜3-2上,顺时针方向传播的垂直偏振的振荡光经第二二色镜3-2反射后垂直入射至第三平凸透镜6的凸面,透过第三平凸透镜6的顺时针方向传播的垂直偏振的振荡光以 45° 入射至第一反射镜7,并由第一反射镜7反射后继续顺时针方向传播,经法拉第旋光器8和二分之一波片9后偏振态由垂直偏振变为水平偏振,顺时针方向传播的水平偏振的振荡光入射至楔形输出镜10后部分透射出去,剩余部分无法形成持续振荡输出;

[0030] 逆时针方向传播的振荡光以 45° 入射至第一二色镜3-1,经第一二色镜3-1反射的逆时针方向传播的振荡光入射至楔形输出镜10后部分透射出去,腔内得到逆时针方向传播的垂直偏振的振荡光;

[0031] 逆时针方向传播的垂直偏振的振荡光以 45° 入射至第一二色镜3-1,经第一二色镜3-1反射的逆时针方向传播的垂直偏振的振荡光入射至楔形输出镜10,经楔形输出镜10反射的逆时针方向传播的垂直偏振的振荡光经过二分之一波片9和法拉第旋光器8,成为逆时针方向传播的单纵模振荡光,逆时针方向传播的单纵模振荡光以 45° 入射至第一反射镜7上,由第一反射镜7反射至第三平凸透镜6的平面,透过第三平凸透镜6的逆时针方向传播的单纵模振荡光以 45° 入射至第二二色镜3-2上,并由第二二色镜3-2反射至F-P标准具5,透过F-P标准具5的逆时针方向传播的单纵模振荡光继续经过Tm:LuAG晶体4、第一二色镜3-1及楔形输出镜10,最后形成增益从楔形输出镜10透射出去成为 $2.02\mu\text{m}$ 的单纵模激光;

[0032] $2.02\mu\text{m}$ 的单纵模激光以 45° 入射至第二反射镜11,经第二反射镜11反射的 $2.02\mu\text{m}$ 的单纵模激光入射至二号耦合系统进行激光扩束,得到扩束后的单纵模激光;

[0033] 扩束后的单纵模激光以 45° 入射至第一分光镜14-1,经第一分光镜14-1分成透射的单纵模激光和反射的单纵模激光;

[0034] 透射的单纵模激光垂直入射至待测晶体15,然后以 45° 入射至第四反射镜16-2,并由第四反射镜16-2反射至第二分光镜14-2,再由第二分光镜14-2反射至激光光束分析仪17中,反射的单纵模激光入射至第三反射镜16-1,并由第三反射镜16-1反射至第二分光镜14-2,透过第二分光镜14-2后入射至激光光束分析仪17中,且入射至激光光束分析仪17中的两束光形成干涉条纹。

[0035] 原理:Tm:LuAG晶体4在788nm泵浦光的抽运下产生顺时针方向和逆时针方向传播的振荡光;法拉第旋光器8(图1中B代表磁场方向)使光的偏振方向沿着磁场方向右旋 45° ,调节二分之一波片9的光轴使得其与入射光光场矢量夹角为 22.5° ,则通过二分之一波片9后光的偏振方向沿着光入射方向看会逆时针转动 45° 。法拉第旋光器8利用磁光材料的非互易性,即它可以将同一波长的正向入射光及反向入射光的偏振面都向同一个方向旋转同一个角度,而与光束传播方向无关,故此经过法拉第旋光器8的光路具有不可逆性;而经过二分之一波片9的光路具有可逆性。同时,楔形输出镜10对水平偏振光的透过率远高于垂直偏振光的透过率,水平偏振光因损耗大于增益而不能形成振荡,因而腔内只有垂直偏振光振荡,下面将对此过程进行详细描述:

[0036] 对于腔内沿着逆时针方向振荡的垂直偏振光,此时振荡光先经过二分之一波片9,

偏振方向沿着光入射方向看逆时针转动 45° ，经过法拉第旋光器8后，光偏振方向会右旋 45° ，即沿着入射光方向看顺时针转动 45° ，相对于入射二分之一波片9前未发生偏转，此时偏振光仍为垂直偏振，从而逆时针振荡的光路得以持续运转楔形输出镜10部分输出；

[0037] 对于腔内沿着顺时针方向振荡的垂直偏振光，振荡光先经过法拉第旋光器8，偏振方向沿着入射光方向看逆时针转过 45° ，因为二分之一波片9的可逆性，在经过二分之一波片9后，偏振方向沿着入射光方向看逆时针偏转 45° ，相对于入射法拉第旋光器8前偏转了 90° ，振荡光变为水平偏振光，由于楔形输出镜10对偏振方向的选择，使得水平偏振的振荡光损耗较大从而被抑制无法持续振荡，从而腔内实现单向振荡输出；

[0038] 逆时针方向振荡的光在经过二分之一波片9、法拉第旋光器8、第一反射镜7、第三平凸透镜6、第二二色镜3-2、F-P标准具5、 Tm:LuAG 晶体4和第一二色镜3-1，最终从楔形输出镜10输出，此时环形腔为单向出光，消除了空间烧孔效应，输出 $2.02\mu\text{m}$ 的单纵模激光；

[0039] $2.02\mu\text{m}$ 的单纵模激光经过第二反射镜11后入射到二号耦合系统进行激光扩束，平凹透镜12起到扩束的作用，第四平凸透镜13起到准直的作用，使光斑大小可以覆盖待测晶体的入射端面；

[0040] 扩束后的单纵模激光经过第一分光镜14-1，分成透射光和反射光两部分。未放入待测晶体15时，其中，透射光先以 45° 入射第四反射镜16-2，经第四反射镜16-2反射，接着 45° 入射到第二分光镜14-2，经过第二分光镜14-2反射，最终入射到激光光束分析仪17中；反射光 45° 入射第三反射镜16-1，经过第三反射镜16-1反射，接着以 45° 入射到第二分光镜14-2，经过第二分光镜14-2透射，最终入射到激光光束分析仪17中；调整第三反射镜16-1的水平方向的倾斜角度，使得经过第三反射镜16-1后的反射光不是 45° 入射第二分光镜14-2，与经过第四反射镜16-2后 45° 入射到第二分光镜14-2的光走过的距离不同，即两束光的光程差不再为零，等效形成了一个“空气楔”，从而产生平行的、等间距的直线干涉条纹，条纹的走向与空气楔的楔棱平行，因为调整的为水平方向的夹角，故此形成的干涉条纹的走向为垂直方向。

[0041] 当放入待测晶体15时，待测晶体15折射率与空气的折射率不同，会引起经过第一分光镜14-1后的透射光的光程发生变化，同时也会导致与经过第一分光镜14-1的反射光的光程发生变化，从而引起干涉条纹的变化，此时的干涉条纹将不再是平行等距垂直方向的直线了，根据干涉条纹的变化可以测出晶体折射率均匀性。

[0042] 调整第三反射镜16-1和第四反射镜16-2，使得两束入射到激光光束分析仪17中的两束光形成干涉条纹，干涉条纹由激光光束分析仪17保存并由相关软件处理；

[0043] 干涉条纹图片可直接采用测量干涉条纹距离，或采用Matlab软件处理包括：读取图像、图像裁剪、阈值分割、条纹细化和计算条纹。将得到的干涉图像保存为JPEG格式，利用软件读取图像，并将彩色图像进行灰度化，再利用裁剪命令裁剪条纹所在的区域，之后对条纹图像进行阈值分割，使条纹清晰可辨，利用条纹细化语句，将条纹细化成为条纹宽度占据一个像素格，测量干涉条纹距离，之后按照《中华人民共和国机械行业标准》中的《光学晶体光学均匀性测量方法JB/T9495.7—1999》提供的计算方法，计算出晶体折射率的均匀性。

[0044] 本具体实施方式的有益效果是：本具体实施方式提供了以 $2.02\mu\text{m}$ 单纵模激光器作为干涉光源的分振幅型干涉仪的设计方案，可以用来测量对 $2.02\mu\text{m}$ 波段具有高透过率的光学晶体的折射率均匀性，特别是某些对 $2.02\mu\text{m}$ 波段透过率高但是对 632nm 波段透过率较低

的晶体,例如CdSe晶体和ZnGeP₂晶体,无法利用输出波长为632.8nm的He-Ne激光器作为光源的干涉仪实现测量,但是使用本发明的干涉仪可以测量其折射率均匀性。

[0045] 2.02μm单纵模激光器采用法拉第旋光器8、二分之一波片9以及对线偏振态具有不同透过率的楔形输出镜10结合的方法实现单向传输,可以实现高稳定性、抗干扰能力强的2.02μm单频激光输出;第三平凸透镜6可以平衡腔内热效应,使输出功率和模式更加稳定;F-P标准具5可以使输出波长在2.02μm附近可调谐,选择待测晶体透过率最高的波长进行输出;干涉仪的光路采用分振幅的结构,可以获得清晰的干涉条纹,同时与迈克尔逊干涉仪相比,本具体实施方式在光通量的利用率上要更高,因为在迈克尔逊干涉仪中有一半光通量将返回光源方向;利用单纵模激光作为光源,输出激光的波长稳定,干涉条纹间距不会因波长的改变而改变,从而可以获得清晰稳定的干涉条纹;二号耦合系统的参数可以改变,从而可以获得合适的光斑大小(可以覆盖晶体入射端面),实现大尺寸晶体的折射率均匀性的测量;可以调整干涉光路第一分光镜14-1与第四反射镜16-2的距离,从而测量长度较长的晶体;采用《中华人民共和国机械行业标准》中的《光学晶体光学均匀性测量方法JB/T9495.7—1999》提供的计算方法,折射率均匀性的测量精度可以达到 1×10^{-6} 。

[0046] 本具体实施方式利用单向环形腔结构获得2.02μm单频激光输出,波长为2022nm,最高输出功率为500mW,通过二号耦合系统将光斑半径调整为4mm,测量了晶体尺度为6mm×6mm×25mm的ZnGeP₂晶体和晶体尺度为6mm×8mm×30mm的CdSe晶体,经过计算得到其折射率均匀性分别为 5.7×10^{-5} 和 8.4×10^{-6} 。

[0047] 具体实施方式二:本实施方式与具体实施方式一不同的是:所述的第一平凸透镜1及第二平凸透镜2的通光面均镀有788nm高透膜,焦距为10mm~1000mm,直径为10mm~100mm;所述的第三平凸透镜6通光面镀有2.02μm增透膜,焦距为10mm~1000mm。其它与具体实施方式一相同。

[0048] 具体实施方式三:本实施方式与具体实施方式一或二之一不同的是:所述的第一二色镜3-1及第二二色镜3-2一面镀有788nm增透膜,另一面镀有788nm增透膜和2.02μm增反膜。其它与具体实施方式一或二相同。

[0049] 具体实施方式四:本实施方式与具体实施方式一至三之一不同的是:所述的F-P标准具5对2.02μm振荡光的透过率为90%,厚度为0.05mm~0.5mm。其它与具体实施方式一至三相同。

[0050] 具体实施方式五:本实施方式与具体实施方式一至四之一不同的是:所述的Tm:LuAG晶体4为圆柱状,端面直径为3mm,长度为16mm,两端端面均同时镀有788nm增透膜和2.02μm增透膜,且所述的Tm:LuAG晶体4中Tm³⁺离子掺杂的原子百分数为2%。其它与具体实施方式一至四相同。

[0051] 具体实施方式六:本实施方式与具体实施方式一至五之一不同的是:所述的第一反射镜7、第二反射镜11、第三反射镜16-1及第四反射镜16-2一面均镀有2.02μm增反膜。其它与具体实施方式一至五相同。

[0052] 具体实施方式七:本实施方式与具体实施方式一至六之一不同的是:所述的法拉第旋光器8适用波长为2.02μm;所述的二分之一波片9适用波长为2023nm。其它与具体实施方式一至六相同。

[0053] 具体实施方式八:本实施方式与具体实施方式一至七之一不同的是:所述的楔形

输出镜10一面同时镀有对垂直偏振的 $2.02\mu\text{m}$ 振荡光透过率为3%的膜和对水平偏振的 $2.02\mu\text{m}$ 振荡光透过率为20%的膜,另一面镀有 $2.02\mu\text{m}$ 增透膜。其它与具体实施方式一至七相同。

[0054] 具体实施方式九:本实施方式与具体实施方式一至八之一不同的是:所述的平凹透镜12及第四平凸透镜13通光面均镀有 $2.02\mu\text{m}$ 增透膜;所述的平凹透镜12焦距为 $-50\text{mm}\sim-2000\text{mm}$;所述的第四平凸透镜13焦距为 $10\text{mm}\sim 1000\text{mm}$ 。其它与具体实施方式一至八相同。

[0055] 具体实施方式十:本实施方式与具体实施方式一至九之一不同的是:所述的第一分光镜14-1及第二分光镜14-2一面均镀有对垂直偏振的 $2.02\mu\text{m}$ 振荡光反射率为80%的部分反射膜,另一面均镀有对垂直偏振的 $2.02\mu\text{m}$ 振荡光增透膜。其它与具体实施方式一至九相同。

[0056] 具体实施方式十一:本实施方式与具体实施方式一至十之一不同的是:所述的激光光束分析仪17为OPhir公司生产的型号为Pyrocam IV Beam Profiling Camera的激光光束分析仪。其它与具体实施方式一至十相同。

[0057] 采用以下实施例验证本发明的有益效果:

[0058] 实施例一:

[0059] 结合图1具体说明,基于 $2.02\mu\text{m}$ 单纵模激光器的分振幅型干涉仪包括第一平凸透镜1、第二平凸透镜2、第一二色镜3-1、第二二色镜3-2、 Tm:LuAG 晶体4、F-P标准具5、第三平凸透镜6、第一反射镜7、法拉第旋光器8、二分之一波片9、楔形输出镜10、第二反射镜11、平凹透镜12、第四平凸透镜13、第一分光镜14-1、第二分光镜14-2、第三反射镜16-1、第四反射镜16-2及激光光束分析仪17;

[0060] 所述的第一平凸透镜1的平面与第二平凸透镜2的凸面相对,构成一号耦合系统;

[0061] 所述的平凹透镜12的平面与第四平凸透镜13的凸面相对,构成二号耦合系统;

[0062] 所述的第一二色镜3-1、第二二色镜3-2、 Tm:LuAG 晶体4、F-P标准具5、第三平凸透镜6、第一反射镜7、法拉第旋光器8、二分之一波片9及楔形输出镜10构成 $2.02\mu\text{m}$ 单纵模激光器;

[0063] 所述的第一分光镜14-1、第二分光镜14-2、第三反射镜16-1、第四反射镜16-2及激光光束分析仪17与待测晶体15构成分振幅型干涉光路;

[0064] 一束波长为 788nm 的泵浦光垂直入射至一号耦合系统,经耦合后以 45° 入射至第一二色镜3-1,第一二色镜3-1透过的波长为 788nm 的泵浦光垂直入射至 Tm:LuAG 晶体4中, Tm:LuAG 晶体4在波长为 788nm 的泵浦光抽运下产生顺时针方向传播的振荡光和逆时针方向传播的振荡光,然后波长为 788nm 的泵浦光以 45° 入射至F-P标准具5,透过F-P标准具5的波长为 788nm 的泵浦光经第二二色镜3-2后透射出去;

[0065] 顺时针方向传播的振荡光以 45° 入射至F-P标准具5,透过F-P标准具5的顺时针方向传播的振荡光以 45° 入射至第二二色镜3-2上,顺时针方向传播的振荡光经第二二色镜3-2反射后垂直入射至第三平凸透镜6的凸面,透过第三平凸透镜6的顺时针方向传播的振荡光以 45° 入射至第一反射镜7,并由第一反射镜7反射至法拉第旋光器8,顺时针方向传播的振荡光经法拉第旋光器8和二分之一波片9后,入射至楔形输出镜10并部分透射出去,腔内得到顺时针方向传播的垂直偏振的振荡光;

[0066] 顺时针方向传播的垂直偏振的振荡光以 45° 入射至F-P标准具5,透过F-P标准具5的顺时针方向传播的垂直偏振的振荡光以 45° 入射至第二二色镜3-2上,顺时针方向传播的

垂直偏振的振荡光经第二二色镜3-2反射后垂直入射至第三平凸透镜6的凸面,透过第三平凸透镜6的顺时针方向传播的垂直偏振的振荡光以 45° 入射至第一反射镜7,并由第一反射镜7反射后继续顺时针方向传播,经法拉第旋光器8和二分之一波片9后偏振态由垂直偏振变为水平偏振,顺时针方向传播的水平偏振的振荡光入射至楔形输出镜10后部分透射出去,剩余部分无法形成持续振荡输出;

[0067] 逆时针方向传播的振荡光以 45° 入射至第一二色镜3-1,经第一二色镜3-1反射的逆时针方向传播的振荡光入射至楔形输出镜10后部分透射出去,腔内得到逆时针方向传播的垂直偏振的振荡光;

[0068] 逆时针方向传播的垂直偏振的振荡光以 45° 入射至第一二色镜3-1,经第一二色镜3-1反射的逆时针方向传播的垂直偏振的振荡光入射至楔形输出镜10,经楔形输出镜10反射的逆时针方向传播的垂直偏振的振荡光经过二分之一波片9和法拉第旋光器8,成为逆时针方向传播的单纵模振荡光,逆时针方向传播的单纵模振荡光以 45° 入射至第一反射镜7上,由第一反射镜7反射至第三平凸透镜6的平面,透过第三平凸透镜6的逆时针方向传播的单纵模振荡光以 45° 入射至第二二色镜3-2上,并由第二二色镜3-2反射至F-P标准具5,透过F-P标准具5的逆时针方向传播的单纵模振荡光继续经过Tm:LuAG晶体4、第一二色镜3-1及楔形输出镜10,最后形成增益从楔形输出镜10透射出去成为 $2.02\mu\text{m}$ 的单纵模激光;

[0069] $2.02\mu\text{m}$ 的单纵模激光以 45° 入射至第二反射镜11,经第二反射镜11反射的 $2.02\mu\text{m}$ 的单纵模激光入射至二号耦合系统进行激光扩束,得到扩束后的单纵模激光;

[0070] 扩束后的单纵模激光以 45° 入射至第一分光镜14-1,经第一分光镜14-1分成透射的单纵模激光和反射的单纵模激光;

[0071] 透射的单纵模激光垂直入射至待测晶体15,然后以 45° 入射至第四反射镜16-2,并由第四反射镜16-2反射至第二分光镜14-2,再由第二分光镜14-2反射至激光光束分析仪17中,反射的单纵模激光入射至第三反射镜16-1,并由第三反射镜16-1反射至第二分光镜14-2,透过第二分光镜14-2后入射至激光光束分析仪17中,且入射至激光光束分析仪17中的两束光形成干涉条纹。

[0072] 所述的第一平凸透镜1及第二平凸透镜2的通光面均镀有788nm高透膜,第一平凸透镜1焦距为15mm,直径为10mm;第二平凸透镜2焦距为65mm,直径为25mm;所述的第三平凸透镜6通光面镀有 $2.02\mu\text{m}$ 增透膜,焦距为100mm,直径为10mm。

[0073] 所述的第一二色镜3-1及第二二色镜3-2一面镀有788nm增透膜,另一面镀有788nm增透膜和 $2.02\mu\text{m}$ 增反膜。

[0074] 所述的F-P标准具5对 $2.02\mu\text{m}$ 振荡光的透过率为90%,厚度为0.1mm。

[0075] 所述的Tm:LuAG晶体4为圆柱状,端面直径为3mm,长度为16mm,两端端面均同时镀有788nm增透膜和 $2.02\mu\text{m}$ 增透膜,且所述的Tm:LuAG晶体4中 Tm^{3+} 离子掺杂的原子百分数为2%。

[0076] 所述的第一反射镜7、第二反射镜11、第三反射镜16-1及第四反射镜16-2一面均镀有 $2.02\mu\text{m}$ 增反膜。

[0077] 所述的法拉第旋光器8适用波长为 $2.02\mu\text{m}$;所述的二分之一波片9适用波长为2023nm。

[0078] 所述的楔形输出镜10一面同时镀有对垂直偏振的 $2.02\mu\text{m}$ 振荡光透过率为3%的膜

和对水平偏振的 $2.02\mu\text{m}$ 振荡光透过率为20%的膜,另一面镀有 $2.02\mu\text{m}$ 增透膜。

[0079] 所述的平凹透镜12及第四平凸透镜13通光面均镀有 $2.02\mu\text{m}$ 增透膜;所述的平凹透镜12焦距为-50mm,直径为10mm;所述的第四平凸透镜13焦距为200mm,直径为10mm。

[0080] 所述的第一分光镜14-1及第二分光镜14-2一面均镀有对垂直偏振的 $2.02\mu\text{m}$ 振荡光反射率为80%的部分反射膜,另一面均镀有对垂直偏振的 $2.02\mu\text{m}$ 振荡光增透膜。

[0081] 所述的激光光束分析仪17为OPhir公司生产的型号为Pyrocam IV Beam Profiling Camera的激光光束分析仪。

[0082] 干涉条纹由激光光束分析仪17保存并由相关软件处理;

[0083] Matlab软件处理包括:读取图像、图像裁剪、阈值分割、条纹细化和计算条纹。将得到的干涉图像保存为JPEG格式,利用软件读取出图像,并将彩色图像进行灰度化,再利用裁剪命令裁剪条纹所在的区域,之后对条纹图像进行阈值分割,使条纹清晰可辨,利用条纹细化语句,将条纹细化成为条纹宽度占据一个像素格,之后按照《中华人民共和国机械行业标准》中的《光学晶体光学均匀性测量方法JB/T9495.7—1999》提供的计算方法,计算出晶体折射率的均匀性。

[0084] 本实施例利用单向环形腔结构获得 $2.02\mu\text{m}$ 单频激光输出,波长为2022nm,最高输出功率为500mW,通过二号耦合系统中平凹透镜12的焦距为-50mm,第四平凸透镜13的焦距为200mm,且两透镜间距离为100mm,将光斑半径调整为4mm,测量晶体尺度为 $6\text{mm}\times 6\text{mm}\times 25\text{mm}$ 的 ZnGeP_2 晶体和晶体尺度为 $6\text{mm}\times 8\text{mm}\times 30\text{mm}$ 的CdSe晶体,经过计算得到其折射率均匀性分别为为 5.7×10^{-5} 和 8.4×10^{-6} 。

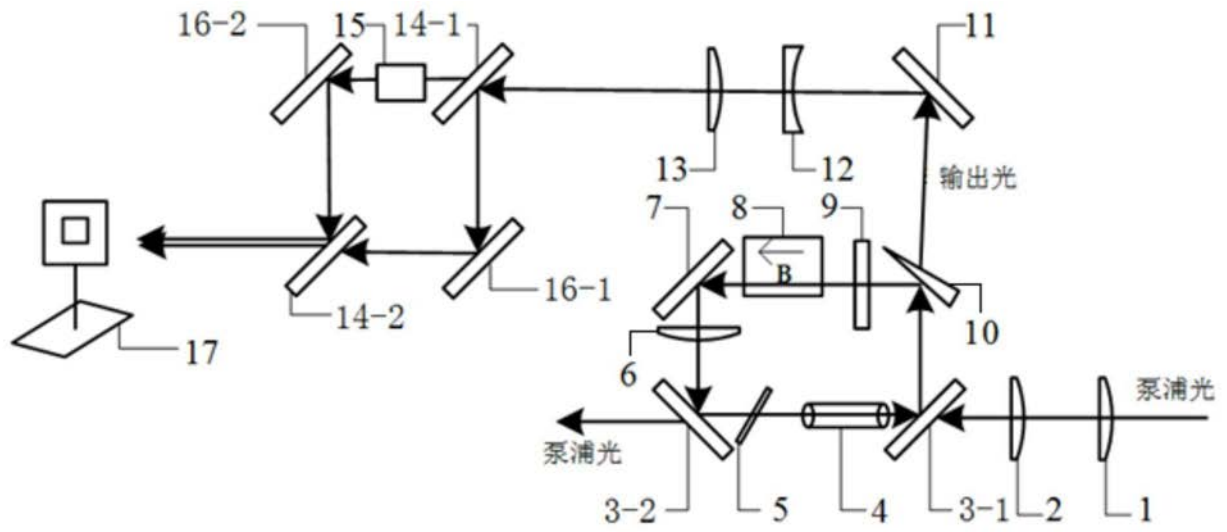


图1