



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105006734 A

(43) 申请公布日 2015. 10. 28

(21) 申请号 201510486331. 5

H01S 3/081(2006. 01)

(22) 申请日 2013. 03. 29

(62) 分案原申请数据

201310109999. 9 2013. 03. 29

(71) 申请人 中山大学

地址 510275 广东省广州市新港西路 135 号
中山大学爪哇堂 104 室

(72) 发明人 王彪 郭靖 何广源 焦中兴

(74) 专利代理机构 广州新诺专利商标事务所有
限公司 44100

代理人 吴静芝

(51) Int. Cl.

H01S 3/10(2006. 01)

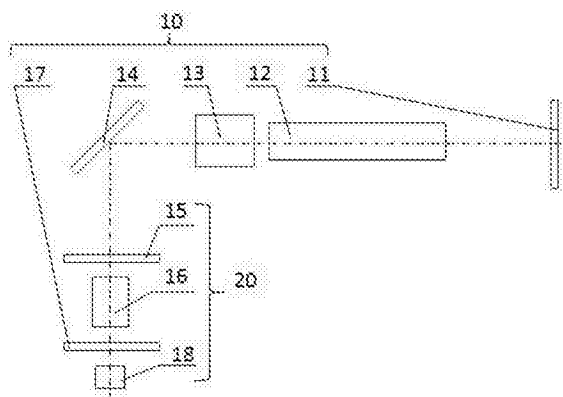
权利要求书1页 说明书8页 附图5页

(54) 发明名称

一种基于体光栅构成半内腔式光学参量振荡器的 $2\mu\text{m}$ 激光器

(57) 摘要

一种基于体光栅构成半内腔式光学参量振荡器的 $2\mu\text{m}$ 激光器, 依序包括第一平面镜、激光晶体、声光 Q 开关、第二平面镜、非线性晶体、第三平面镜和体光栅, 其中, 该第一平面镜、激光晶体、声光 Q 开关、和第三平面镜构成 $1\mu\text{m}$ 激光器; 该第二平面镜、非线性晶体和体光栅构成光学参量振荡器; 该激光晶体主节面处具有大光束半径; 该第一平面镜对 $1\mu\text{m}$ 激光具有高反射率; 该第二平面镜对 $2\mu\text{m}$ 激光具有高反射率且对 $1\mu\text{m}$ 激光具有高透射率; 该第三平面镜对 $1\mu\text{m}$ 激光具有高反射率且对 $2\mu\text{m}$ 激光具有高透射率; 该非线性晶体设置在 $1\mu\text{m}$ 激光束共焦参数最大的位置; 该体光栅部分透射及部分反射 $2\mu\text{m}$ 激光。本发明的 $2\mu\text{m}$ 激光器可输出高光束质量、较大功率及窄线宽的 $2\mu\text{m}$ 激光, 其结构简单, 成本低廉。



1. 一种基于体光栅构成半内腔式光学参量振荡器的 $2\mu\text{m}$ 激光器, 其特征在于: 依序包括设置在同一光轴上的第一平面镜、凹透镜、凸透镜、声光 Q 开关、激光晶体、第二平面镜、非线性晶体、第三平面镜和体光栅, 其中, 该第一平面镜、凹透镜、凸透镜、声光 Q 开关、激光晶体、和第三平面镜构成 $1\mu\text{m}$ 激光器; 该第二平面镜、非线性晶体和体光栅构成光学参量振荡器, 该第二平面镜和非线性晶体依序设置在该 $1\mu\text{m}$ 激光器的激光晶体和第三平面镜之间, 该第三平面镜设置在非线性晶体和体光栅之间, 从而使该体光栅设置在 $1\mu\text{m}$ 激光器的腔外, 以形成半内腔式的光学参量振荡器的 $2\mu\text{m}$ 激光器的结构; 该激光晶体主节面处具有大光束半径; 该第一平面镜对 $1\mu\text{m}$ 激光具有高反射率; 该第二平面镜对 $2\mu\text{m}$ 激光具有高反射率且对 $1\mu\text{m}$ 激光具有高透射率; 该第三平面镜对 $1\mu\text{m}$ 激光具有高反射率且对 $2\mu\text{m}$ 激光具有高透射率; 该非线性晶体设置在 $1\mu\text{m}$ 激光束共焦参数最大的位置; 该体光栅部分透射及部分反射 $2\mu\text{m}$ 激光。

2. 根据权利要求 1 所述的 $2\mu\text{m}$ 激光器, 其特征在于: 该激光晶体的主节面的模半径值为 1.0mm , 该激光晶体激光棒的热透镜焦距为 300mm , 该第一平面镜到凹透镜的距离为 40mm , 该凹透镜到凸透镜的距离为 20mm , 该凸透镜到激光晶体的距离为 140mm , 该激光晶体到第三平面镜的距离为 160mm 。

3. 根据权利要求 2 所述的 $2\mu\text{m}$ 激光器, 其特征在于: 该体光栅与该第二平面镜的距离为 105mm 。

4. 根据权利要求 3 所述的 $2\mu\text{m}$ 激光器, 其特征在于: 该体光栅对 $2\mu\text{m}$ 激光的反射率为 70% , 具有 30% 的输出。

5. 根据权利要求 1 ~ 4 中任一权利要求所述的 $2\mu\text{m}$ 激光器, 其特征在于: 该激光晶体为 Nd:YAG 激光棒。

6. 根据权利要求 5 所述的 $2\mu\text{m}$ 激光器, 其特征在于: 该非线性晶体为周期极化铌酸锂。

一种基于体光栅构成半内腔式光学参量振荡器的 2 μm 激光器

[0001] 本发明专利申请是申请号为 201310109999.9、申请日为 2013 年 3 月 29 日的中国发明专利申请的分案申请。原申请的发明名称为《一种基于体光栅构成半内腔式光学参量振荡器的 2 μm 激光器》。

技术领域

[0002] 本发明属于激光技术领域,尤其是涉及一种基于体光栅构成半内腔式光学参量振荡器的 2 μm 激光器。

背景技术

[0003] 2 μm 激光源在军事上有重要的应用价值,且它是泵浦磷铈锌光学参量振荡器(OPO, Optical Parametric Oscillator)产生中红外激光(3-5 μm 激光)的理想光源。进一步,在医疗、遥感和材料科学等领域,2 μm 激光源也都有巨大的潜力。因此,2 μm 激光源一直是国内外研究的热点。

[0004] 目前,产生 2 μm 激光的方法主要有三种:1) 使用掺 Tm 或掺 Ho 的固体激光器产生 2 μm 激光;2) 使用掺 Tm 光纤激光器产生 2 μm 激光;3) 使用掺铈的 1 μm 固体激光器,泵浦 KTP OPO 或 PPLN OPO 等,将 1 μm 激光转换成 2 μm 激光。对于前两种激光器直接产生 2 μm 激光的技术尚未十分成熟,其设备昂贵,成本较高。而第三种利用 1 μm 固体激光器泵浦 OPO 产生 2 μm 激光的结构简单,技术成熟,成本较低廉,且能够产生较高的功率输出,因此其应用较为广泛。

[0005] 光学参量振荡器(OPO)技术是一种能够产生宽带连续可调谐激光的技术,其利用非线性晶体的二阶非线性效应,在非线性晶体内传播的泵浦光与两个参量光发生三波耦合相互作用,从而实现光能量从高频泵浦光转换成两个低频参量光,其非常适合用于产生红外及中、远红外波段的激光。

[0006] 利用光学参量振荡器产生 2 μm 激光的激光器的结构可以采用外腔式或内腔式。外腔式结构是指光学参量振荡器设置在 1 μm 激光器的外部,内腔式结构是指光学参量振荡器设置在 1 μm 激光器的内部。相对于外腔式,基于内腔式光学参量振荡器的激光器能够充分利用 1 μm 激光器谐振腔内的高功率密度;并且,1 μm 激光在谐振腔内来回振荡,多次通过光学参量振荡器内的非线性晶体,增加了非线性相互作用的有效长度,从而进一步提高光学参量振荡器从 1 μm 到 2 μm 的转换效率。因此,使用 1 μm 激光器泵浦内腔式光学参量振荡器是目前产生 2 μm 激光的最有效的方法。

[0007] 另外,光束质量因子是激光光束质量的评估和控制理论基础。其定义为

$$[0008] \quad M^2 = \frac{R \times \theta}{R_0 \times \theta_0}$$

[0009] 其中:R 为实际光束的束腰半径,R₀为基模高斯光束的束腰半径,θ 为实际光束的

远场发散角, θ_0 为基模高斯光束的远场发散角。光束质量因子为 1 时, 具有最好的光束质量。

[0010] 请参阅图 1, 其是现有技术的一种基于内腔式光学参量振荡器的 $2\mu\text{m}$ 激光器的结构示意图。该 $2\mu\text{m}$ 激光器依序包括设置在同一光路上的第一平面镜 1、声光 Q 开关 2、激光晶体 3、第二平面镜 4、非线性晶体 5 和第三平面镜 6。该激光晶体 3 具体为 Nd:YALO 激光棒。该激光晶体 3 产生的激光在第一平面镜 1 和第三平面镜 6 之间来回振荡, 期间光束不断地被激光晶体 3 放大, 从而产生 $1\mu\text{m}$ 激光。 $1\mu\text{m}$ 激光在透过非线性晶体 5 的期间, 当 $1\mu\text{m}$ 功率足够高的时候, 由于非线性效应, 有部分能量转换到 $2\mu\text{m}$ 。 $2\mu\text{m}$ 激光在第二平面镜 4 和第三平面镜 6 之间振荡, 且在非线性晶体 5 中不断放大, $2\mu\text{m}$ 激光从第三平面镜 6 中透射输出。为了获得大功率的 $2\mu\text{m}$ 激光, 其采用了紧凑的设计, 即第一平面镜 1 与第三平面镜 6 之间的距离为 22.5cm。但是, 该基于内腔式光学参量振荡器的 $2\mu\text{m}$ 激光器产生的光束质量并不理想。请参阅图 2, 其是该基于内腔式光学参量振荡器的 $2\mu\text{m}$ 激光器的光束质量测量图。由图可看出, 其 $1\mu\text{m}$ 的光束质量为 16.15 和 20.02, $2\mu\text{m}$ 的光束质量为 8.54 和 16.2, 均与光束质量理想值 1 相差甚远。事实上, 目前内腔式光学参量振荡器产生大功率 $2\mu\text{m}$ 激光的光束质量与理想情况还有较大差距, 仍未能完全满足目前应用的需要。

[0011] 进一步, 为了利用最大非线性系数, 克服走离效应, 提高转换效率, 得到高功率输出, 一般采用周期性极化铌酸锂 (PPLN)、周期性极化磷酸氟钛钾 (PPKTP) 和周期性极化钽酸锂 (PPLT) 作为周期性极化晶体。但是, 基于 PPLN、PPKTP 和 PPLT 等周期性极化晶体的普通光学参量振荡器输出的 $2\mu\text{m}$ 激光的线宽都非常宽, 一般超过 60nm, 超出了磷锆锌光学参量振荡器的小于 7nm 的接收线宽。因此, 为了提高中红外激光的转换效率, 需要进一步对 $2\mu\text{m}$ 激光源进行线宽窄化。

发明内容

[0012] 本发明的目的在于克服现有技术中的缺点与不足, 提供一种大功率高光束质量且线宽窄的 $2\mu\text{m}$ 激光器。

[0013] 本发明是通过以下技术方案实现的: 一种基于体光栅构成半内腔式光学参量振荡器的 $2\mu\text{m}$ 激光器, 包括第一平面镜、激光晶体、声光 Q 开关、第二平面镜、非线性晶体、第三平面镜和体光栅, 其中, 该第一平面镜、激光晶体、声光 Q 开关、和第三平面镜构成 $1\mu\text{m}$ 激光器; 该第二平面镜、非线性晶体和体光栅构成光学参量振荡器, 该第二平面镜和非线性晶体依序设置在该 $1\mu\text{m}$ 激光器的声光 Q 开关和第三平面镜之间, 该第三平面镜设置在非线性晶体和体光栅之间, 从而使该体光栅设置在 $1\mu\text{m}$ 激光器的腔外, 以形成半内腔式的光学参量振荡器的 $2\mu\text{m}$ 激光器的结构; 该激光晶体主节面处具有大光束半径; 该第一平面镜对 $1\mu\text{m}$ 激光具有高反射率; 该第二平面镜对 $2\mu\text{m}$ 激光具有高反射率且对 $1\mu\text{m}$ 激光具有高透射率; 该第三平面镜对 $1\mu\text{m}$ 激光具有高反射率且对 $2\mu\text{m}$ 激光具有高透射率; 该非线性晶体设置在 $1\mu\text{m}$ 激光束共焦参数最大的位置; 该体光栅部分透射及部分反射 $2\mu\text{m}$ 激光。

[0014] 进一步, 该 $1\mu\text{m}$ 激光器还包括偏振片, 该第一平面镜、激光晶体和声光 Q 开关设置在第一光轴上, 该第二平面镜、非线性晶体、第三平面镜和体光栅设置在第二光轴上, 该第一光轴和第二光轴垂直, 该偏振片为 45° 偏振片, 其分别与第一光轴和第二光轴成 45° 角。

[0015] 当该激光晶体的主节面的模半径值为 0.7mm, 该激光晶体激光棒的热透镜焦距为

300mm 时,该第一镜片到激光晶体的距离为 350mm,该第三镜片到激光晶体的距离为 720mm。

[0016] 当该激光晶体的主节面的模半径值为 1.0mm,该激光晶体激光棒的热透镜焦距为 300mm 时,该第一镜片到激光晶体的距离为 330mm,该第三镜片到激光晶体的距离为 1480mm。

[0017] 该体光栅对 2 μm 激光的反射率为 70%,具有 30%的输出。以及,该体光栅与该第二平面镜的距离为 105mm

[0018] 或,进一步,该 1 μm 激光器还包括凹透镜和凸透镜,该第一平面镜、凹透镜、凸透镜、声光 Q 开关、激光晶体、第二平面镜、非线性晶体、第三平面镜和体光栅依序设置在同一光轴上。

[0019] 当该激光晶体的主节面的模半径值为 1.0mm,该激光晶体激光棒的热透镜焦距为 300mm 时,该第一平面镜到凹透镜的距离为 40mm,该凹透镜到凸透镜的距离为 20mm,该凸透镜到激光晶体的距离为 140mm,该激光晶体到第三平面镜的距离为 160mm,该体光栅与该第二平面镜的距离为 105mm。

[0020] 相对于现有技术,本发明的基于内腔式光学参量振荡器的 2 μm 激光器可输出高光束质量及较大功率的 2 μm 激光,其结构简单,成本低廉。

[0021] 为了能更清晰的理解本发明,以下将结合附图说明阐述本发明的具体实施方式。

附图说明

[0022] 图 1 是现有技术的一种基于内腔式光学参量振荡器的 2 μm 激光器的结构示意图。

[0023] 图 2 是图 1 所示的激光器的光束质量测量图。

[0024] 图 3 是本发明的基于体光栅及内腔式光学参量振荡器的 2 μm 激光器的实施例 1 的结构示意图。

[0025] 图 4 是图 3 所示 2 μm 激光器中的 1 μm 激光器的模半径分布图。

[0026] 图 5 是 3 所示 2 μm 激光器输出的 2 μm 激光光束质量测量图。

[0027] 图 6 是 3 所示 2 μm 激光器输出的 2 μm 激光功率测量图。

[0028] 图 7 是图 3 所示 2 μm 激光器输出的 2 μm 激光的频谱图。

[0029] 图 8 是本发明的基于内腔式光学参量振荡器的 2 μm 激光器的实施例 2 的结构示意图。

[0030] 图 9 是图 7 所示 2 μm 激光器中的 1 μm 激光器的模半径分布图。

[0031] 图 10 是图 8 所示的 2 μm 激光器输出的 2 μm 激光的频谱图。

具体实施方式

[0032] 发明人经过研究发现,为了获得大功率高光束质量的 2 μm 激光输出,需通过以下方式设置 2 μm 激光器:首先要保证 1 μm 泵浦激光器采用大基模体积设计,即,1 μm 激光在激光棒主节面处的光束半径尽可能设计得较大,这样,才能使 1 μm 的光束质量达到较高的水平;其次,是要使光学参量振荡器放置在 1 μm 激光束共焦参数最大的位置,即光学参量振荡器的非线性晶体设置在 1 μm 激光束共焦参数最大的位置,以降低相位失配的量,从而提高 1 μm 至 2 μm 转换效率,且保持较好的光束质量。

[0033] 进一步,为了窄化基于 PPLN、PPKTP 和 PPLT 等周期性极化晶体的普通光学参量振

荡器输出的 $2\mu\text{m}$ 激光的线宽,以提高中红外激光的转换效率,需要进一步对上述 $2\mu\text{m}$ 激光源进行线宽窄化,在本发明中采用体光栅来窄化线宽,以避免引入额外的损耗,在保证转换效率的同时窄化线宽。

[0034] 以下,通过具体实施例进行详细说明。

[0035] 实施例 1:

[0036] 请参阅图 3,其是本发明的实施例 1 的基于体光栅构成半内腔式光学参量振荡器的 $2\mu\text{m}$ 激光器的结构示意图。本发明的 $2\mu\text{m}$ 激光器依序包括第一平面镜 11、激光晶体 12、声光 Q 开关 13、偏振片 14、第二平面镜 15、非线性晶体 16、第三平面镜 17 和体光栅 18。其中,该第一平面镜 11、激光晶体 12、声光 Q 开关 13、偏振片 14 和第三平面镜 17 构成 $1\mu\text{m}$ 激光器 10;该第二平面镜 15、非线性晶体 16 和体光栅 18 构成光学参量振荡器 20。该光学参量振荡器 20 的部分元件第二平面镜 15 和非线性晶体 16 设置在该 $1\mu\text{m}$ 激光器 10 的内腔内,该光学参量振荡器 20 的元件体光栅 18 设置在 $1\mu\text{m}$ 激光器 10 的腔外,从而形成半内腔式的光学参量振荡器的 $2\mu\text{m}$ 激光器的结构。该第一平面镜 11、激光晶体 12 和声光 Q 开关 13 设置在第一光轴上,该第二平面镜 15、非线性晶体 16 和第三平面镜 17 和体光栅 18 设置在第二光轴上,该第一光轴和第二光轴垂直。该偏振片 14 为 45 度偏振片,因此,该偏振片 14 分别与第一光轴和第二光轴成 45 度角。

[0037] 该第一平面镜 11 为 $1\mu\text{m}$ 高反镜,即对 $1\mu\text{m}$ 的激光具有高反射率的反射镜。

[0038] 该激光晶体 12 为 Nd:YAG 激光棒,其放置于一个激光模块的内部。该激光模块为激光二极管泵浦模块,其包括泵浦、冷却系统等副配装置。在本实施例中,该 Nd:YAG 激光棒直径为 4mm,长度为 110mm,在电流为 24A 时有最大泵浦功率 500W。

[0039] 该声光 Q 开关 13 以固定的频率周期性地开和关,用以使激光器产生脉冲输出。

[0040] 该偏振片 14 为 $1\mu\text{m}$ 偏振片,其入射角度设置为 45 度,对 $1\mu\text{m}$ 的激光进行起偏,使 $1\mu\text{m}$ 激光线偏振输出。

[0041] 该第二平面镜 15 对 $1\mu\text{m}$ 激光具有高透射率,对 $2\mu\text{m}$ 激光具有高反射率。

[0042] 该非线性晶体 16 为非线性晶体,在本实施例中,为周期极化铌酸锂 (PPLN)。

[0043] 该第三平面镜 17 对 $1\mu\text{m}$ 激光具有高反射率,对 $2\mu\text{m}$ 激光具有高透射率。

[0044] 该体光栅 18 为反射式体光栅,通过紫外线照射后进行热加工,在光敏玻璃中经过折射率调制后制作完成。在本实例中,该体光栅 18 作为 $2\mu\text{m}$ 激光器的输出腔镜,利用其对波长的选择作用来实现光谱的线宽窄化。在本实施例中,该体光栅 18 的厚度为 3.54mm,反射中心波长为 $2.129\mu\text{m}$,反射率为 70%,具有 30% 的输出,反射带宽小于 0.6nm。

[0045] 以下详细说明本发明的 $2\mu\text{m}$ 激光器的工作原理:

[0046] 首先,当该 $1\mu\text{m}$ 激光器 10 开启时,激光晶体 12 (在本实施例中为 Nd:YAG 激光棒) 在激光二极管的泵浦下,激光晶体 12 的工作物质从低能态被激发到高能态,产生粒子数反转。此时,该声光 Q 开关 13 为关闭状态。该声光 Q 开关 13 以固定的频率周期性地开和关。当该声光 Q 开关 13 突然打开后,从噪声里面产生的微弱光在该激光晶体 12 的放大下增强,并在第一平面镜 11 和第三平面镜 17 之间来回振荡,期间光束不断地被激光晶体 12 放大,从而产生 $1\mu\text{m}$ 激光。 $1\mu\text{m}$ 激光在透过非线性晶体 16 的期间,由于光学参量振荡器是在 $1\mu\text{m}$ 激光器的内部,在非线性晶体 16 处的 $1\mu\text{m}$ 激光的功率非常大,当 $1\mu\text{m}$ 功率足够高的时候,由于非线性效应,有部分能量转换到 $2\mu\text{m}$ 。 $2\mu\text{m}$ 激光在第二平面镜 15 和体光栅 18 之间振

荡,且在非线性晶体 16 中不断放大,部分 $2\mu\text{m}$ 激光从体光栅 18 中透射输出。进一步,根据布拉格条件,体光栅 18 对于不同的入射光波,只有唯一的波长能够在不同光栅平面的反射光相干加强形成衍射级,才能从体光栅中按特定的方向衍射出来。而其余波长的光不满足布拉格条件,只能够透射过体光栅。 $2\mu\text{m}$ 激光在透射出体光栅 18 时,利用体光栅 18 对波长的选择作用,只有很窄线宽的 $2\mu\text{m}$ 激光形成了振荡,进而得到了窄线宽的 $2\mu\text{m}$ 激光输出。

[0047] 为了使本发明的 $2\mu\text{m}$ 激光器输出的 $2\mu\text{m}$ 激光的光束质量提高且保持较大功率,需对本发明 $2\mu\text{m}$ 激光器的结构参数做进一步的设置:

[0048] 首先,为获得功率较高的 $1\mu\text{m}$ 激光,激光器的工作电流设定在激光晶体 12 所在的激光模块允许的较大值 21A 。此时,测量得到激光晶体 12 激光棒的热透镜焦距为 $f = 300\text{mm}$ 。

[0049] 而为了获得高光束质量,首先应保证 $1\mu\text{m}$ 泵浦激光有接近基模 (TM_{00} 模) 的光束质量,即光束质量因子 $M^2 \approx 1$,因此,泵浦激光器采用大基模体积设计。即, $1\mu\text{m}$ 激光在激光棒主节面的模半径尽可能设计得较大,由于激光棒热效应的限制,激光棒主节面的模半径的最小值一般可以取 $0.7\text{mm} - 1.0\text{mm}$ 或接近激光棒半径的值,这样既充分利用了激光棒的有效增益,又能以激光棒的孔径作为光阑,限制高阶模振荡,从而让泵浦激光器在近基模状态下运转。在本实施例中,激光器为平平腔结构,激光棒主节面上的光束半径 w_{rod} 为

$$[0050] \quad w_{\text{rod}}^2 = \frac{\lambda}{\pi} \frac{|2xL_1L_2 + L_1 + L_2|}{[(1 - g_1g_2)g_1g_2]^{1/2}}。$$

[0051] 其中,

$$[0052] \quad g_1 = 1 - \frac{L_2}{f}$$

$$[0053] \quad g_2 = 1 - \frac{L_1}{f}$$

$$[0054] \quad x = \frac{1}{f} - \frac{1}{L_1} - \frac{1}{L_2}$$

[0055] 假设 $L_1 > L_2$, 在 L_1 和 L_2 确定的情况下, w_{rod} 值随热透镜焦距 f 变化而变化, w_{rod} 有最小值 w_0

$$[0056] \quad w_0^2 = \frac{2\lambda}{\pi} L_1,$$

[0057] 此最小值对应的热透镜焦距记为 f_0 。因此,在 $f = f_0$ 的位置, w_{rod} 对 f 的导数为零。说明此状态下,光束的模半径变化缓慢,激光器比较稳定。通常选择此处为激光器的稳定工作点。只要分别给出稳定工作点处的热透镜焦距 f_0 和最小光束半径 w_0 就可以通过上述公式计算出谐振腔的结构。

[0058] 令 $f_0 = 300\text{mm}$, $w_0 = 0.7\text{mm}$, 利用上述两式子可以计算出镜片到激光棒主节面的距离 L_1 和 L_2 分别为 720mm 和 350mm 。

[0059] 令 $f_0 = 300\text{mm}$, $w_0 = 1.0\text{mm}$, 利用上述两式子可以计算出镜片到激光棒主节面的距离 L_1 和 L_2 分别为 1480mm 和 330mm 。

[0060] 请参阅图 4, 其是本发明 $2\mu\text{m}$ 激光器中的 $1\mu\text{m}$ 激光器 10 的模半径分布图。谐振腔结构在热透镜焦距 $f = 300\text{mm}$ 时, 光束半径在靠近第三平面镜 17 位置比在第一平面镜 11 位置大, 则靠近第三平面镜 17 位置一侧的高斯光束的共焦参数较大, 光束比较平缓, 这样可以避免由于光束半径变化剧烈而引起 OPO 的相位失配并降低其转换效率和输出激光的光束质量。因此, 光学参量振荡器 20 应放置于靠近第三平面镜 17 位置的一端。即当激光棒主节面的模半径的最小值为 0.7mm 时, 该激光晶体 12 到第一平面镜 1 沿光轴的距离为 350mm , 该激光晶体 12 到第三平面镜 17 沿光轴的距离为 720mm ; 当激光棒主节面的模半径的最小值为 1.0mm 时, 该激光晶体 12 到第一平面镜 1 沿光轴的距离为 330mm , 该激光晶体 12 到第三平面镜 17 沿光轴的距离为 1480mm 。

[0061] 另外, 该声光 Q 开关的重复频率为 10kHz 量级, 脉冲宽度为 $10\text{ns} \sim 1000\text{ns}$ 量级, 输出功率为 10W 量级。

[0062] 请参阅图 5, 其是本发明 $2\mu\text{m}$ 激光器输出的 $2\mu\text{m}$ 激光光束质量测量图。由图可看到, 该 $2\mu\text{m}$ 激光在竖直方向和水平方向的光束质量分别为 2.0 和 2.3, 较现有技术的光束质量有了很大的提高。

[0063] 进一步, 请参阅图 6, 其是本发明 $2\mu\text{m}$ 激光器输出的 $2\mu\text{m}$ 激光功率测量图。由图可以看到, 在泵浦电流为 21.8A 时, $2\mu\text{m}$ 激光输出功率为 8W 。

[0064] 为了使该 $2\mu\text{m}$ 输出的线宽较窄, 在本实施例中, 将该体光栅 18 设置在距第二平面镜 105mm 处, 使该光学参量振荡器 20 的腔长增加到 105mm 可以得到更好的光束质量。请参阅图 7, 其是本发明 $2\mu\text{m}$ 激光器输出的 $2\mu\text{m}$ 激光的频谱图。由图可以看到, 在体光栅 18 输出的两个参量光的线宽均小于 1nm , 其中, 信号光的线宽为 0.34nm , 闲频光的线宽为 0.61nm , 信号光和闲频光的峰值距离为 1.2nm 。该信号光和闲频光的总线宽为 1.7nm 。且未发现四波混频现象。

[0065] 实施例 2:

[0066] 请参阅图 8, 其是本发明的实施例 2 的基于内腔式光学参量振荡器的 $2\mu\text{m}$ 激光器的结构示意图。本实施例的 $2\mu\text{m}$ 激光器依序包括设置在同一光轴上的第一平面镜 21、凹透镜 22、凸透镜 23、声光 Q 开关 24、激光晶体 25、第二平面镜 26、非线性晶体 27、第三平面镜 28 和体光栅 29。其中, 该第一平面镜 21、凹透镜 22、凸透镜 23、声光 Q 开关 24、激光晶体 25 和第三平面镜 28 构成 $1\mu\text{m}$ 激光器 100; 该第二平面镜 26、非线性晶体 27 和体光栅 29 构成光学参量振荡器 200; 即该光学参量振荡器 200 的部分元件第二平面镜 26 和非线性晶体 27 设置在该激光器 100 的内腔内, 该光学参量振荡器 200 的元件体光栅 29 设置在激光器 100 的腔外, 从而形成半内腔式的光学参量振荡器的 $2\mu\text{m}$ 激光器的结构。

[0067] 该第一平面镜 21 为 $1\mu\text{m}$ 高反镜, 即对 $1\mu\text{m}$ 的激光具有高反射率的反射镜。

[0068] 该凹透镜 22 为镀有 $1\mu\text{m}$ 增透膜的聚焦透镜, 对 $1\mu\text{m}$ 的激光具有高的透过率, 起聚焦作用。该凸透镜 23 为镀有 $1\mu\text{m}$ 增透膜的凹透镜, 对 $1\mu\text{m}$ 的激光具有高的透过率。该凹透镜 22 与凸透镜 23 组成望远镜系统, 对谐振腔内光束起调控的作用。

[0069] 该声光 Q 开关 24 以固定的频率周期性地开和关, 用以使激光器产生脉冲输出。

[0070] 该激光晶体 25 为 Nd:YAG 激光棒, 其放置于一个激光模块的内部。该激光模块为

激光二极管泵浦模块,其包括泵浦、冷却系统等副配装置。在本实施例中,该 Nd:YAG 激光棒直径为 4mm,长度为 110mm,在电流为 24A 时有最大泵浦功率 500W。

[0071] 该第二平面镜 26 对 $1\mu\text{m}$ 激光具有高透射率,对 $2\mu\text{m}$ 激光具有高反射率。

[0072] 该非线性晶体 27 为光学非线性晶体,在本实施例中,为周期极化铌酸锂 (PPLN)。

[0073] 该第三平面镜 28 对 $1\mu\text{m}$ 激光具有高反射率,对 $2\mu\text{m}$ 激光具有高透射率。

[0074] 该体光栅 29 为反射式体光栅,通过紫外线照射后进行热加工,在光敏玻璃中经过折射率调制后制作完成。该体光栅 29 作为 $2\mu\text{m}$ 激光器的输出腔镜,利用其对波长的选择作用来实现光谱的线宽窄化。在本实施例中,该体光栅 29 的厚度为 3.54mm,反射中心波长为 $2.129\mu\text{m}$,反射率为 70%,具有 30% 的输出,反射带宽小于 0.6nm。

[0075] 为了使本发明的 $2\mu\text{m}$ 激光器输出的 $2\mu\text{m}$ 激光的光束质量提高,需对本发明 $2\mu\text{m}$ 激光器的结构参数做进一步的设置:

[0076] 设激光器的工作点处,激光晶体 25 激光棒的热透镜焦距为 $f = 300\text{mm}$ 。为保证 $1\mu\text{m}$ 泵浦激光有接近基模 (TM_{00} 模) 的光束质量,泵浦激光器采用大基模体积设计。凹透镜 22 的焦距为 200mm,凸透镜 23 的焦距为 300mm。令 w_{rod} 的最小半径 $w_0 = 0.9\text{mm}$,利用谐振腔设计软件进行优化调整,获得如图 8 的结构。第一平面镜 21 到凹透镜 22 的距离为 40mm,凹透镜 22 到凸透镜 23 的距离为 20mm,凸透镜 23 到激光晶体 25 的距离为 140mm,激光晶体 25 到第三平面镜 28 的距离为 160mm。

[0077] 从图 8 的光束半径分布可以看出,激光束在第三平面镜 28 一侧光束半径变化很平缓,光束半径比较大。把 $2\mu\text{m}$ 光学参量振荡器 200 放置于该位置,在泵浦功率足够大的时候,将可以获得大功率高光束质量的 $2\mu\text{m}$ 激光。

[0078] 为了使该 $2\mu\text{m}$ 激光输出的线宽较窄,在本实施例中,将该体光栅 29 设置在距第二平面镜 105mm,使该光学参量振荡器 200 的腔长增加到 105mm 可以得到更好的光束质量。请参阅图 9,其是本发明 $2\mu\text{m}$ 激光器输出的 $2\mu\text{m}$ 激光的频谱图。由图可以看到,在体光栅 29 输出的两个参量光的线宽均小于 1nm,其中,信号光的线宽为 0.5nm,闲频光的线宽为 0.7nm,信号光和闲频光的峰值距离为 1.2nm。该信号光和闲频光的总线宽为 3nm。且未发现四波混频现象。

[0079] 此外,本发明的基于内腔式光学参量振荡器的 $2\mu\text{m}$ 激光器还有多种变形结构,主要是 $1\mu\text{m}$ 激光器可以有多种变形结构,如 $1\mu\text{m}$ 激光器由设置在同一光路上的第一平面镜、激光晶体、声光 Q 开关和第三平面镜组成,该激光晶体具体为 Nd:YALO 激光棒。由于该激光晶体为各向异性晶体,对光束的偏振态有选择作用,因此使用该激光晶体的激光器可以直接输出线偏振激光而不需用起偏片,从而可省去偏振片。

[0080] 相对于现有技术,本发明的 $2\mu\text{m}$ 激光器可输出高光束质量及较大功率的 $2\mu\text{m}$ 激光,其结构简单,成本低廉。进一步,本发明的半内腔式 OPO 的 $2\mu\text{m}$ 激光器,其光学参量振荡器采用体光栅做输出镜并将体光栅设置在腔外,实现了线宽窄化的同时也保护了体光栅不被泵浦光腔内功率打坏,同时利用了内腔式泵浦结构的高效率,并且得到了更好的光束质量,这种窄线宽高效率光束质量的 $2\mu\text{m}$ 激光源十分有利于泵浦磷铈锌晶体光学参量振荡器产生 $3 \sim 5\mu\text{m}$ 的中红外,可以得到更高的转换效率。

[0081] 本发明并不局限于上述实施方式,如果对本发明的各种改动或变形不脱离本发明的精神和范围,倘若这些改动和变形属于本发明的权利要求和等同技术范围之内,则本发

明也意图包含这些改动和变形。

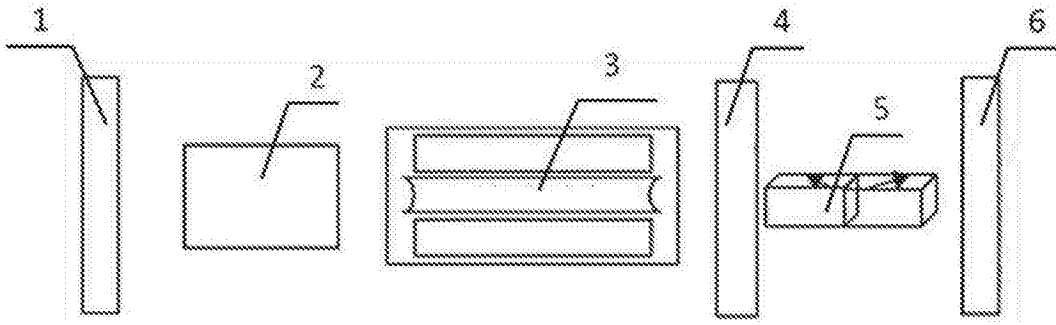


图 1

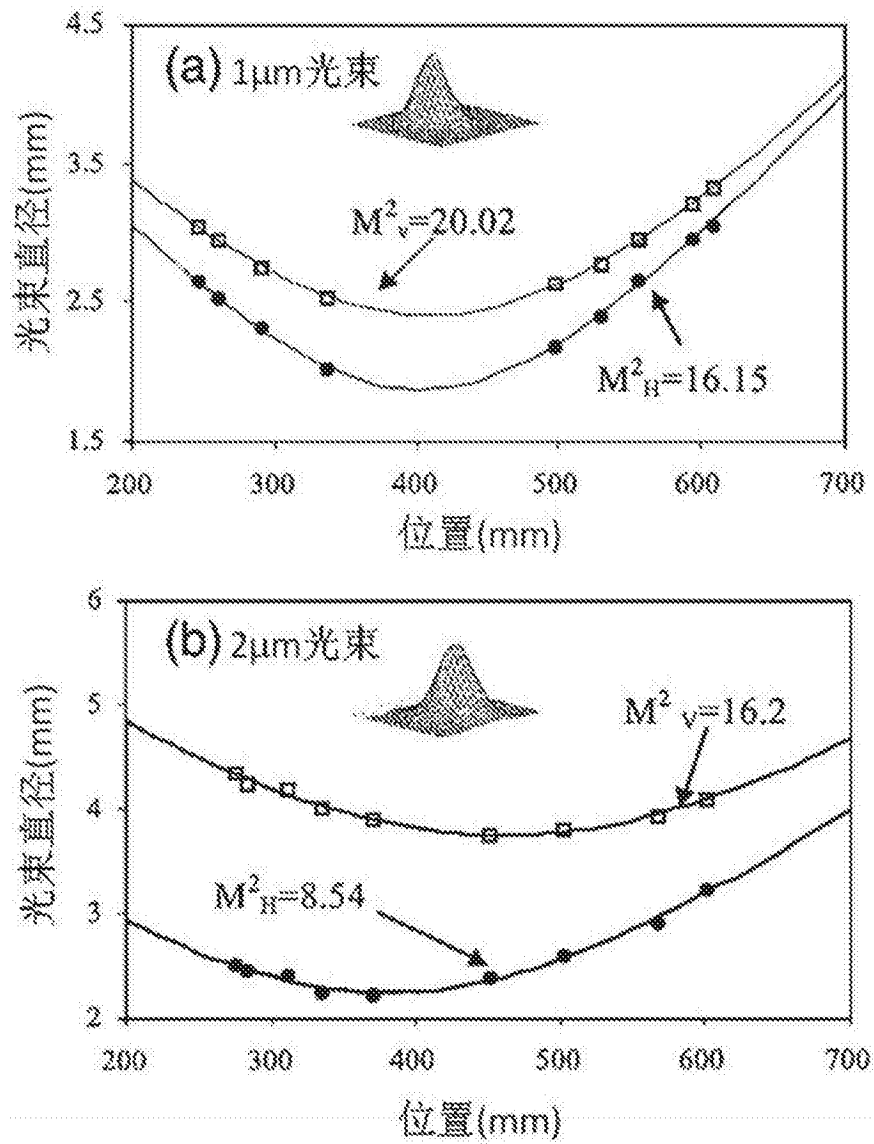


图 2

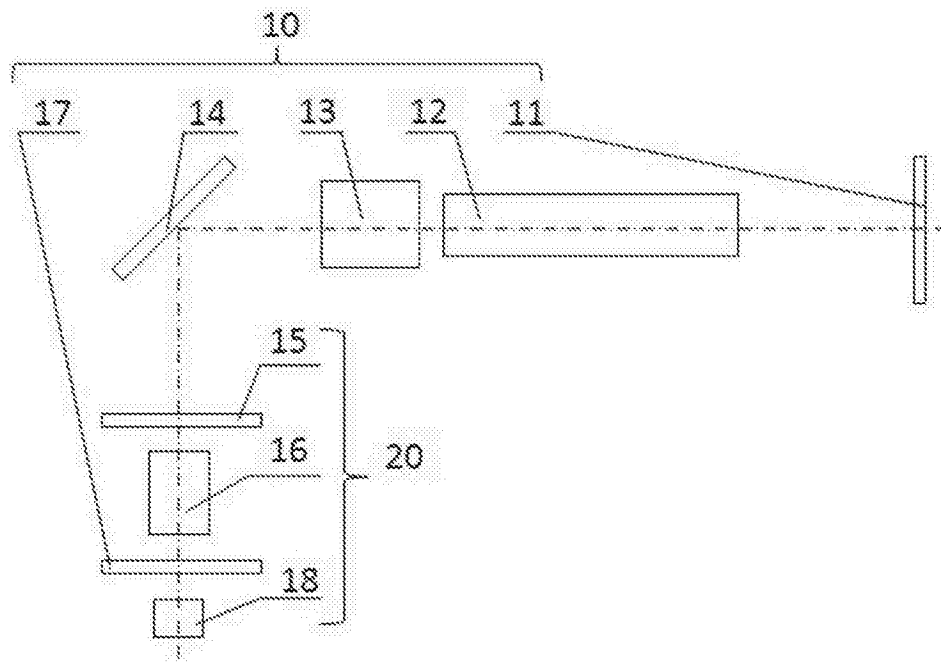


图 3

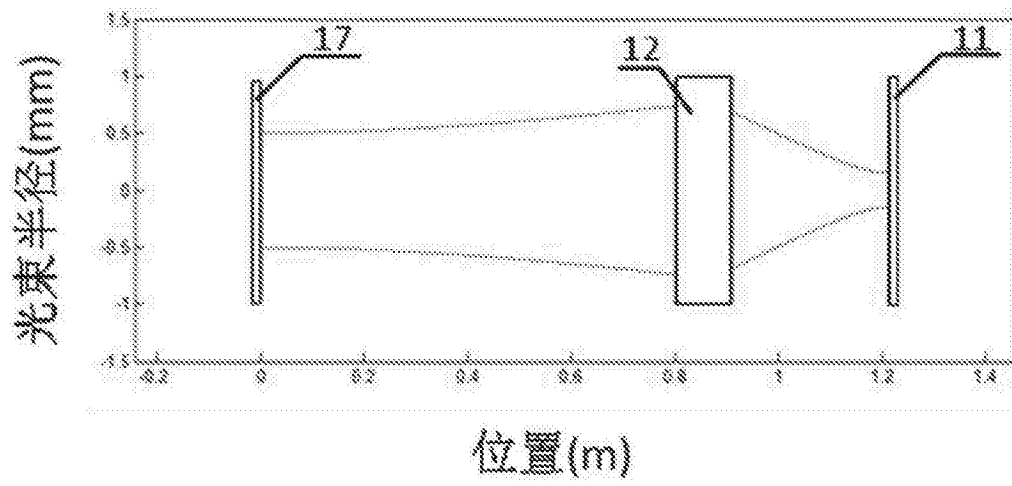


图 4

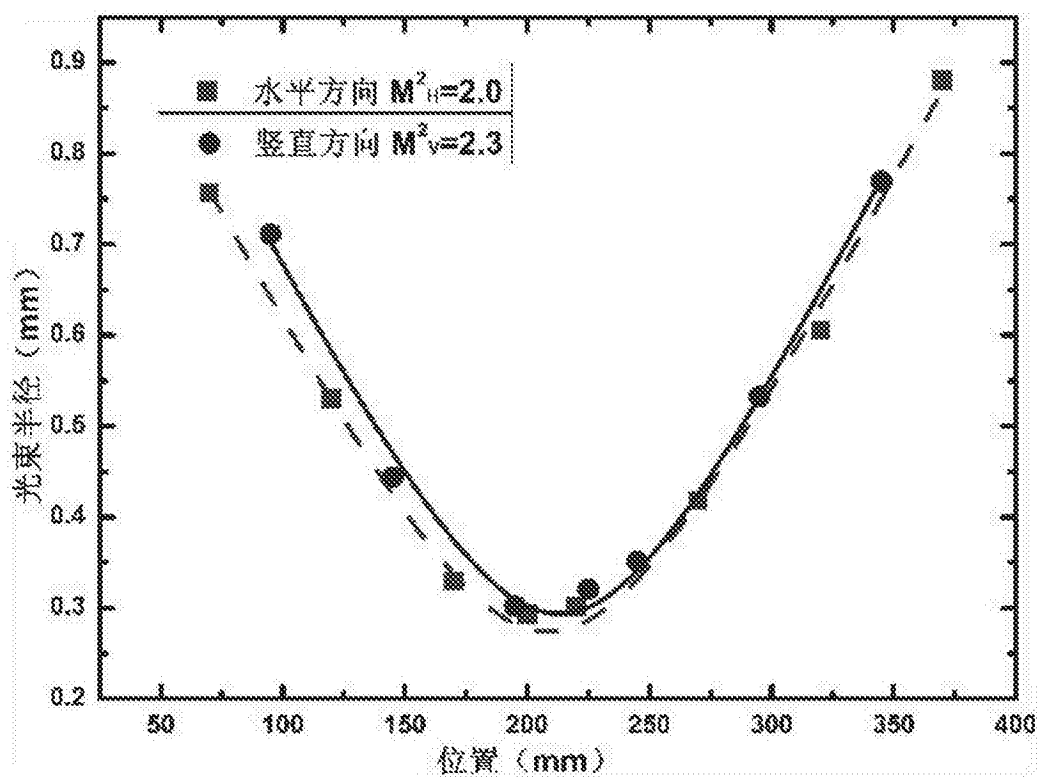


图 5

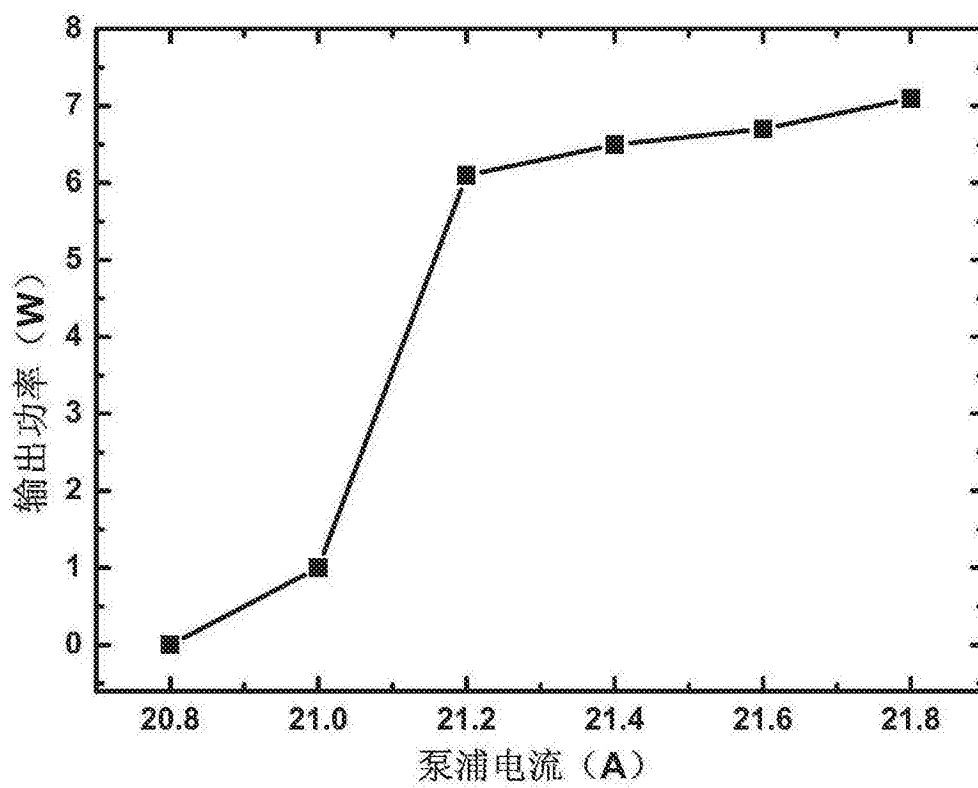


图 6

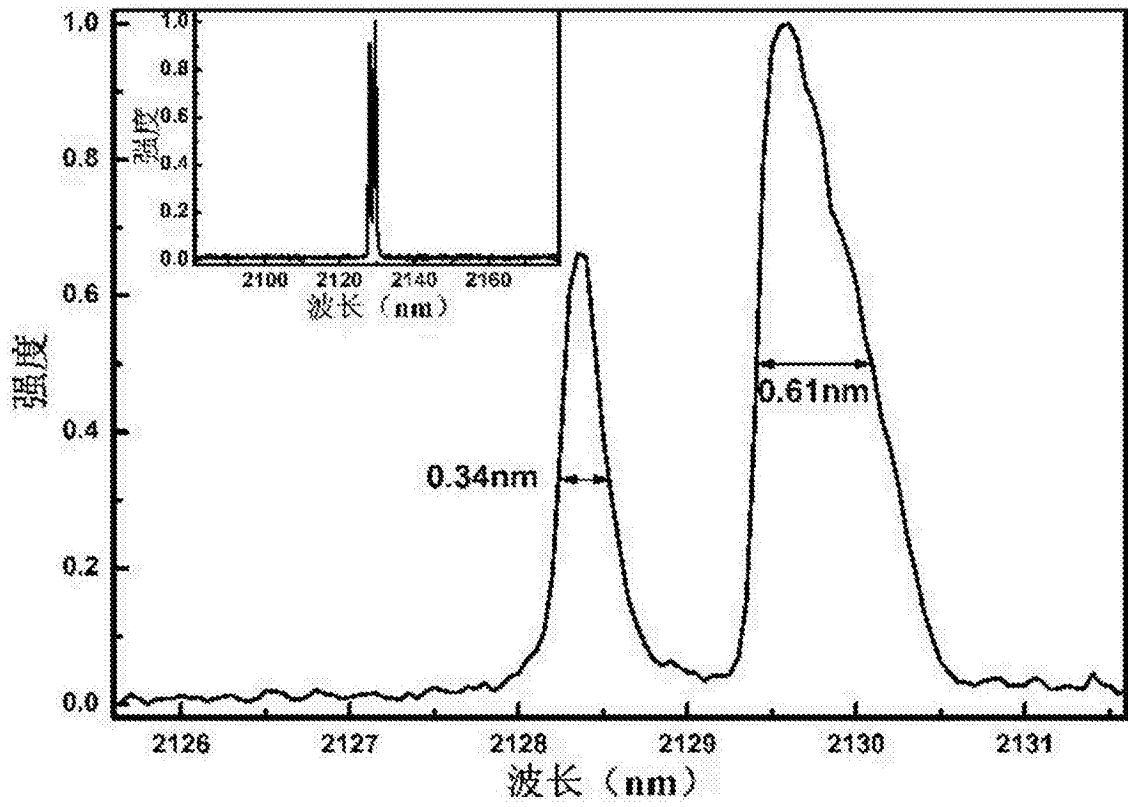


图 7

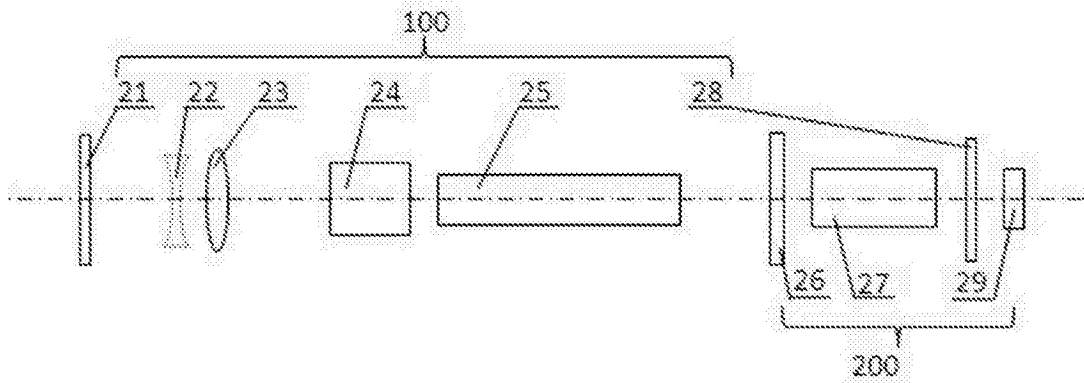


图 8

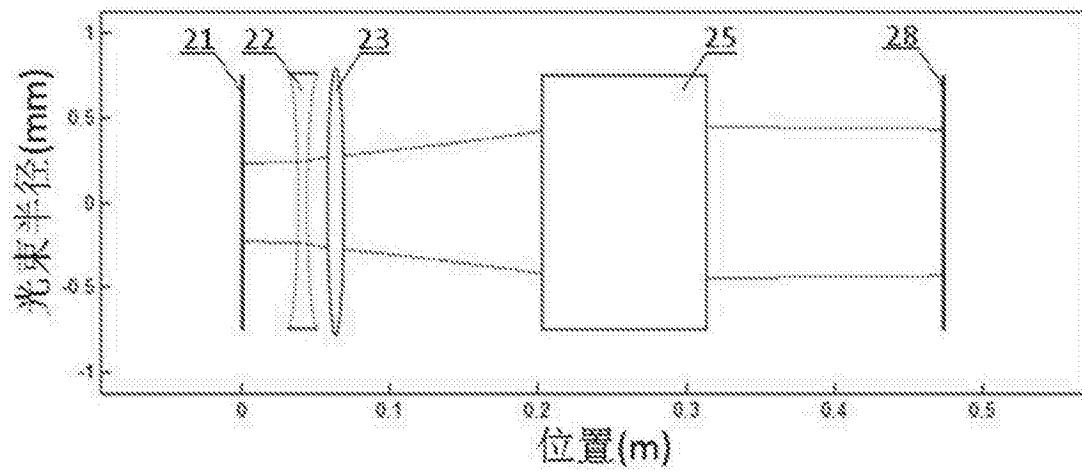


图 9

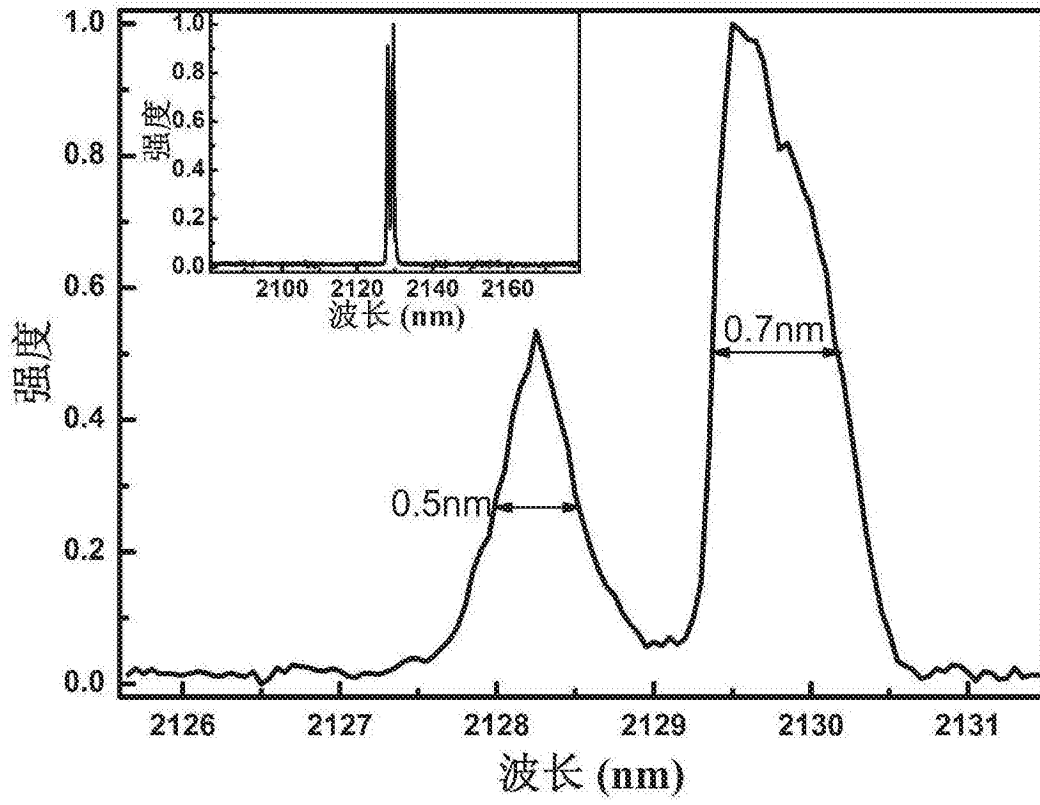


图 10