



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114108072 A

(43) 申请公布日 2022.03.01

(21) 申请号 202010885994.5

(22) 申请日 2020.08.28

(71) 申请人 中国科学院上海光学精密机械研究所

地址 201800 上海市嘉定区清河路390号

(72) 发明人 杭寅 张宇航 李善明 房倩楠  
朱影 陶斯亮

(74) 专利代理机构 上海恒慧知识产权代理事务所(特殊普通合伙) 31317

代理人 张宁展

(51) Int. Cl.

G30B 15/04 (2006.01)

G30B 29/22 (2006.01)

H01S 3/16 (2006.01)

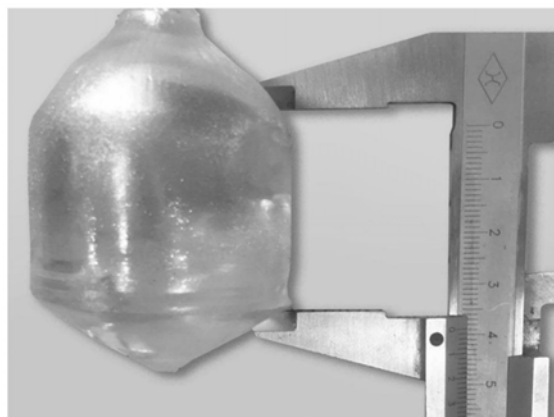
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

稀土离子掺杂的GdScO<sub>3</sub>激光晶体制备及其应用

(57) 摘要

本发明公开了一种可作为红外波段固体激光器的增益介质的稀土离子掺杂的GdScO<sub>3</sub>倍半氧化物激光晶体,涉及激光晶体增益材料技术领域。该晶体可通过熔体法生长出优质单晶,且具有较低的声子能量(452cm<sup>-1</sup>)和较宽的荧光光谱(~100nm),掺入Yb<sup>3+</sup>、Tm<sup>3+</sup>、Ho<sup>3+</sup>等稀土激活离子后有望实现1 μm和2 μm波段高功率、可调谐连续激光及超短脉冲激光输出。本发明提供的晶体生长方法可生长出高质量的单晶,所制作的全固态红外波段激光器具有波长可调谐、脉宽超短等特点,在激光精密加工、激光医疗,军事,遥感等方面具有广泛的应用。



1. 一种稀土离子掺杂的GdScO<sub>3</sub>激光晶体,其特征在于:该晶体的化学式为:A<sub>x</sub>B<sub>y</sub>Gd<sub>1-x-y</sub>ScO<sub>3</sub>,当y=0,0.001≤x≤0.2,A为Yb、Ho或Tm;当0.001≤y≤0.2,0.001≤x≤0.2时,A为Tm,B为Ho。

2. 权利要求1所述的该种离子掺杂的GdScO<sub>3</sub>激光晶体的生长方法,其特征在于,该生长方法主要包括下列步骤:

S1、将纯度为4N的A<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>作为原料,配料时[A<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]+[B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]+[Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]和[Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]摩尔比为1:1,其中A<sup>3+</sup>和B<sup>3+</sup>离子的掺入量均为0.1~20at.%,原料经研混均匀后压块,在马弗炉高温烧结获得陶瓷饼料;

S2、将上述陶瓷饼料装入铌坩锅中,用高纯氮气或者惰性气体完全置换单晶炉内的空气,采用中频感应加热,使用GdScO<sub>3</sub>晶体作为籽晶;晶体炉升温至2050~2150℃,晶体提拉速度为0.5~3mm/h,转速为3~15r/min;按照引晶、缩颈、放肩、等径、收尾的程序生长该种稀土离子掺杂的GdScO<sub>3</sub>倍半氧化物激光晶体;

S3、晶体生长结束后,以速率10~60℃/h缓慢降至室温。将生长出的晶体在空气中退火,退火温度为1200~1500℃,保温时间10~30小时。

3. 权利要求1所述的稀土离子掺杂的GdScO<sub>3</sub>激光晶体在1μm和2μm波段获得连续、可调谐和超短脉冲激光输出。

## 稀土离子掺杂的GdScO<sub>3</sub>激光晶体制备及其应用

### 技术领域

[0001] 本发明涉及激光晶体增益材料技术领域,具体涉及一种稀土离子掺杂的GdScO<sub>3</sub>激光晶体制备与应用。

### 背景技术

[0002] 目前,红外波段激光在光通信、超快光子学、光电对抗、医疗、科研等领域有广泛的应用前景,用于该波段的稀土离子掺杂的激光晶体基质商用材料主要以钇铝石榴石(YAG)和氟化物为主。然而,YAG 晶体存在吸收带宽窄,最大声子能量大,热导率受掺杂的影响大等基质本征缺陷,对实现红外波段激光输出不利。而氟化物晶体虽然最大声子能量低,但其化学稳定性和机械强度较差,实际应用较为困难。这使得以上述材料为增益介质的激光器存在效率低,泵浦阈值高,泵浦波长选择性差,难以实现高功率等问题。以氧化镱为代表的倍半氧化物晶体因具有低声子能量、高热导率、高损伤阈值、高量子效率等优势,是优质激光晶体的理想选择之一。然而,氧化镱氧化钪等晶体生长熔点可达2400℃,晶体生长条件要求苛刻,设备要求极高。

[0003] 同为倍半氧化物的GdScO<sub>3</sub>晶体,属于正交晶系,声子能量较低,约452cm<sup>-1</sup>,其熔点约2150℃,更易通过熔体法生长。在掺入 Yb<sup>3+</sup>,Tm<sup>3+</sup>,Ho<sup>3+</sup>离子的GdScO<sub>3</sub>晶体中,掺杂离子取代Gd<sup>3+</sup>格位,处在八个Sc与O原子构成的八面体中心,该种掺稀土离子的激光晶体存在较强的电偶极子发光跃迁,可实现高效的红外波段激光输出。

[0004] 就激活离子而言,Yb<sup>3+</sup>由于电子能级结构简单相较于Nd<sup>3+</sup>离子不存在激发态吸收,上转换效应等,在1μm波段备受关注。掺Yb<sup>3+</sup>的激光晶体的吸收发射谱更宽,更容易实现超短脉冲激光和可调谐激光输出。其离子半径小,容易实现高浓度掺杂,荧光寿命长,有利于激光脉宽压窄,且其量子亏损较小,仅为11%,较Nd<sup>3+</sup>的30~40%更利于实现更大斜效率的激光输出。

[0005] 利用半导体激光或者光纤激光泵浦掺Tm<sup>3+</sup>,Ho<sup>3+</sup>激活离子的激光晶体,是直接获得2μm波段激光最有效的途径。2μm波段激光与许多气态污染物的特征吸收光谱对应,可以被水分子或其他生物组织强烈吸收,在医疗、大气监测、分子光谱和激光雷达等领域具有重要应用。由于大部分非线性光学晶体在该波段吸收较小,该波段激光可作为3-10μm波段中远红外激光抽运源,广泛应用于激光定向红外干扰、激光制导等军事领域。

[0006] 因此研究面向红外波段全固体激光器的稀土离子掺杂的GdScO<sub>3</sub>倍半氧化物激光晶体对发展红外波段的激光输出具有重要意义。目前,国内外未见有掺Yb<sup>3+</sup>,Tm<sup>3+</sup>,Ho<sup>3+</sup>的GdScO<sub>3</sub>激光晶体的相关报道。

### 发明内容

[0007] 本发明针对现有技术的不足,提供一种稀土离子掺杂的GdScO<sub>3</sub>倍半氧化物激光晶体生长方法与应用,为全固态红外激光器提供一种新型的氧化物工作物质,该晶体在激光精密加工、医疗、军事及科研等领域有着重要的应用前景。

[0008] 本发明的技术解决方案如下：

[0009] 一种稀土离子掺杂的GdScO<sub>3</sub>激光晶体，该晶体的化学式为： $A_xB_yGd_{1-x-y}ScO_3$ ，当 $y=0$ 时，A为Yb、Ho或Tm， $0.001 \leq x \leq 0.2$ ；当  $0.001 \leq y \leq 0.2$ 时，A为Tm，B为Ho， $0.001 \leq x \leq 0.2$ 。

[0010] 上述稀土离子掺杂的GdScO<sub>3</sub>倍半氧化物激光晶体的生长方法，包括下列步骤：

[0011] S1、将纯度为4N的A<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>作为原料，配料时  $[A_2O_3] + [B_2O_3] + [Gd_2O_3]$  和  $[Sc_2O_3]$  摩尔比为1:1，其中A<sup>3+</sup>和B<sup>3+</sup>离子的掺入量均为0.1~20at.%，原料经研混均匀后压块，在马弗炉高温烧结获得陶瓷饼料；

[0012] S2、将上述陶瓷饼料装入坩埚中，用高纯氮气或者惰性气体完全置换单晶炉内的空气，采用中频感应加热，使用GdScO<sub>3</sub>晶体作为籽晶；晶体炉升温至2050~2150℃，晶体提拉速度为0.5~3mm/h，转速为3~15r/min；按照引晶、缩颈、放肩、等径、收尾的程序生长该种稀土离子掺杂的GdScO<sub>3</sub>倍半氧化物激光晶体；

[0013] S3、晶体生长结束后，以速率10~60℃/h缓慢降至室温。将生长出的晶体在空气中退火，退火温度为1200~1500℃，保温时间10~30 小时。

[0014] 所述的步骤S1具体过程如下：

[0015] 将纯度为4N的A<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>按照用料配比混合，然后在混料机中混合5个小时以上；

[0016] 在0.5~5GPa的压力下将原料压成圆柱状的料饼；

[0017] 将料饼放入马弗炉中，5~10个小时升温至1200~1600℃，在此温度烧结20~30小时，用10~15个小时降至室温，使混料充分发生固相反应，即可得到生长该种稀土离子掺杂的GdScO<sub>3</sub>晶体的陶瓷料饼。也可不经过烧结，将压好的料饼直接用于晶体生长。

[0018] 所述的稀土离子掺杂的GdScO<sub>3</sub>激光晶体在红外波段激光输出的应用：

[0019] A1、一种稀土离子掺杂的GdScO<sub>3</sub>倍半氧化物激光晶体实现红外波段激光的方法，其特征在于：包括泵浦源、聚焦系统、激光谐振腔和Yb<sub>x</sub>Gd<sub>1-x</sub>ScO<sub>3</sub>激光增益晶体（其中 $0.001 \leq x \leq 0.2$ ，优选的x值为 0.03）。所述泵浦源为发射波长970~980nm的激光二极管激光器，发出的泵浦光经聚焦系统准直聚焦后，通过输入腔镜注入到 Yb<sub>x</sub>Gd<sub>1-x</sub>ScO<sub>3</sub>晶体中，激光在输入和输出腔镜之间来回振荡，通过<sup>2</sup>F<sub>7/2</sub>→<sup>2</sup>F<sub>5/2</sub>能级间受激辐射跃迁在输出端输出1.0~1.1μm激光。在腔镜中加入调谐元件（棱镜等）可实现调谐激光输出，加入可饱和吸收体（石墨烯等）可实现超短脉冲激光输出。

[0020] A2、一种稀土离子掺杂的GdScO<sub>3</sub>倍半氧化物激光晶体实现2μm 波段激光的方法，其特征在于：包括泵浦源、聚焦系统、激光谐振腔和Tm<sub>x</sub>Gd<sub>1-x</sub>ScO<sub>3</sub>激光增益晶体（其中 $0.001 \leq x \leq 0.2$ ，优选的x值为 0.02）。所述泵浦源为输出激光波长为790nm的激光二极管激光器，发出的泵浦光经聚焦系统准直聚焦后，通过输入腔镜注入到 Tm<sub>x</sub>Gd<sub>1-x</sub>ScO<sub>3</sub>晶体中，激光在输入和输出腔镜之间来回振荡，通过<sup>3</sup>F<sub>4</sub>→<sup>3</sup>H<sub>6</sub>能级间受激辐射在输出端输出1.9~2.1μm激光。在腔镜中加入调谐元件（棱镜等）可实现调谐激光输出，加入可饱和吸收体（石墨烯等）可实现超短脉冲激光输出。

[0021] A3、一种稀土离子掺杂的GdScO<sub>3</sub>倍半氧化物激光晶体实现2μm 波段激光的方法，其特征在于：包括泵浦源、聚焦系统、激光谐振腔和Ho<sub>x</sub>Gd<sub>1-x</sub>ScO<sub>3</sub>激光增益晶体（其中 $0.001 \leq x \leq 0.2$ ，优选的x值为 0.02）。所述泵浦源为激光波长为1.9μm的光纤激光器，发出的泵浦光经聚焦系统准直聚焦后，通过输入腔镜注入到Ho<sub>x</sub>Gd<sub>1-x</sub>ScO<sub>3</sub>晶体中，激光在输入和输出腔镜

之间来回振荡,通过 ${}^5I_7 \rightarrow {}^5I_8$ 能级间受激辐射在输出端输出 $2.0-2.2\mu\text{m}$ 激光。在腔镜中加入调谐元件(棱镜等)可实现调谐激光输出,加入可饱和吸收体(石墨烯等)可实现超短脉冲激光输出。

[0022] A4、一种稀土离子掺杂的 $\text{GdScO}_3$ 倍半氧化物激光晶体实现 $2\mu\text{m}$ 波段激光的方法,其特征在于:包括泵浦源、聚焦系统、激光谐振腔和 $\text{Tm}_x\text{Ho}_y\text{Gd}_{1-x-y}\text{ScO}_3$ 激光增益晶体(其中 $0.001 \leq x \leq 0.2, 0.001 \leq y \leq 0.2$ ,优选的 $x$ 值为 $0.05$ ,优选的 $y$ 值为 $0.005$ )。所述激光波长为 $790\text{nm}$ 的激光二极管激光器,发出的泵浦光经聚焦系统准直聚焦后,通过输入腔镜注入到 $\text{Tm}_x\text{Ho}_y\text{Gd}_{1-x-y}\text{ScO}_3$ 晶体中,激光在输入和输出腔镜之间来回振荡,通过 $\text{Tm}^{3+}$ 的 ${}^3H_6 \rightarrow {}^3H_4$ 跃迁通道,将电子激发到 ${}^3H_4$ 激发态,由于 $\text{Tm}^{3+}$ 的 ${}^3F_4$ 能级与 $\text{Ho}^{3+}$ 的 ${}^5I_7$ 能级接近, $\text{Ho}^{3+}$ 可以通过共振过程获得 $\text{Tm}^{3+}$ 传递的能量,在 ${}^5I_7$ 上能级聚集,实现粒子数反转后,通过 ${}^5I_7 \rightarrow {}^5I_8$ 能级间的受激辐射跃迁在输出端输出 $2.0-2.2\mu\text{m}$ 激光。在腔镜中加入调谐元件(棱镜等)可实现调谐激光输出,加入可饱和吸收体(石墨烯等)可实现超短脉冲激光输出。

### 附图说明

- [0023] 图1为生长出的 $3\text{at}\% \text{Yb}^{3+}:\text{GdScO}_3$ 晶体。  
[0024] 图2为 $3\text{at}\% \text{Yb}^{3+}:\text{GdScO}_3$ 晶体的荧光光谱  
[0025] 图3为 $3\text{at}\% \text{Yb}^{3+}:\text{GdScO}_3$ 晶体的激光装置示意图  
[0026] 图4为生长出的 $2\text{at}\% \text{Tm}^{3+}:\text{GdScO}_3$ 晶体  
[0027] 图5为生长出的 $2\text{at}\% \text{Tm}^{3+}:\text{GdScO}_3$ 晶体的发射光谱  
[0028] 图6为生长出的 $0.5\text{at}\% \text{Ho}^{3+}, 5\text{at}\% \text{Tm}^{3+}:\text{GdScO}_3$ 晶体

### 具体实施方式

[0029] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

#### [0030] 实施例1

[0031]  $3\text{at}\% \text{Yb}^{3+}:\text{GdScO}_3$ 晶体生长及其在激光装置中的应用。选取商业购买的纯度为 $4N$ 的 $\text{Gd}_2\text{O}_3, \text{Sc}_2\text{O}_3$ 和 $\text{Yb}_2\text{O}_3$ 粉末,按照 $\text{Yb}_{0.03}\text{Gd}_{0.97}\text{ScO}_3$ 这一化学式配料,混合均匀,压片,烧结,得到多晶块料。采用提拉法晶体生长工艺,初步生长出掺 $\text{Yb}^{3+}$ 的 $\text{GdScO}_3$ 晶体,如附图1所示。将该晶体加工成 $3 \times 3 \times 1\text{mm}^3$ 的晶体样品,进行光谱性能测试。附图2为该晶体的荧光光谱,使用 $970\text{nm}$ 的激光二极管激发,该晶体的发射截面为 $0.56 \times 10^{-20}\text{cm}^2$ ,半峰宽为 $80\text{nm}$ 。可以看出,该晶体发射截面较小,发射光谱极宽,在超快激光方面有着重要的前景。

[0032] 一种稀土离子掺杂的 $\text{GdScO}_3$ 倍半氧化物激光晶体实现红外激光的方法,其激光实验的装置如附图3所示,由泵浦源1、激光聚焦系统2、输入镜3、晶体4和输出镜5沿光路顺序排列而成;其中,泵浦源1为 $970\text{nm}$ 波长的激光二极管;激光聚焦系统2为2个焦距为 $3\text{cm}$ 的聚焦镜;输入镜3为平平镜,且通光端面上镀以对 $900-980\text{nm}$ 高透过、对 $1000-1100\text{nm}$ 波段高反射的介质膜,晶体4是 $3\text{at}\% \text{Yb}^{3+}:\text{GdScO}_3$ 晶体,镱离子有效分凝系数为 $74\%$ ,通光长度为 $8\text{mm}$ ,通光面为 $3 \times 3\text{mm}^2$ 的正方形,输出镜5镀以对 $900-980\text{nm}$ 高反射、对 $1000-1100\text{nm}$ 部分透

过的介质膜,透过率为1-10%,优选的透过率为5%的介质膜。在该装置腔镜中加入调谐元件(棱镜等)可实现调谐激光输出,加入可饱和吸收体(石墨烯等)可实现超短脉冲激光输出。

[0033] 本实施例中公开的新型稀土离子掺杂的GdScO<sub>3</sub>倍半氧化物激光晶体能够用于实现1.0-1.1微米波段连续、可调谐以及超短脉冲激光输出。

[0034] 实施例2

[0035] 2at%Tm<sup>3+</sup>:GdScO<sub>3</sub>晶体生长及其在激光装置中的应用。选取商业购买的纯度为4N的Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Tm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>粉末,按照Tm<sub>0.02</sub>Gd<sub>0.98</sub>ScO<sub>3</sub>这一化学式配料,混合均匀,压片,烧结,得到多晶块料。采用提拉法晶体生长工艺,初步生长出掺Tm<sup>3+</sup>的GdScO<sub>3</sub>晶体,如附图4所示。将该晶体加工成3×3×1mm<sup>3</sup>的晶体样品,进行光谱性能测试。附图5为该晶体的荧光光谱,使用790nm的激光二极管激发,可以看出,该晶体发射光谱极宽,在超快激光方面有着重要的前景。

[0036] 一种稀土离子掺杂的GdScO<sub>3</sub>倍半氧化物激光晶体实现红外激光的方法,其激光实验的装置与实施例1附图3所示激光装置相似,由泵浦源1、激光聚焦系统2、输入镜3、晶体4和输出镜5沿光路顺序排列而成;其中,泵浦源1为790nm波长的激光二极管;激光聚焦系统2为2个焦距为3cm的聚焦镜;输入镜3为平平镜,且通光端面上镀以对750-850nm高透过、对1900-2100nm波段高反射的介质膜,所述晶体4是2at%Tm<sup>3+</sup>:GdScO<sub>3</sub>晶体,通光长度为8mm,通光面为3\*3mm<sup>2</sup>的正方形,输出镜5镀以对750-850nm高反射、及对1900-2100nm部分透过的介质膜,透过率为1-10%,优选的透过率为5%的介质膜。在该装置腔镜中加入调谐元件(棱镜等)可实现调谐激光输出,加入可饱和吸收体(石墨烯等)可实现超短脉冲激光输出。

[0037] 本实施例中公开的新型稀土离子掺杂的GdScO<sub>3</sub>倍半氧化物激光晶体能够用于实现1.9-2.1微米波段连续、可调谐以及超短脉冲激光输出。

[0038] 实施例3

[0039] Ho<sup>3+</sup>:GdScO<sub>3</sub>晶体生长及其在激光装置中的应用。选取商业购买的纯度为4N的Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub>粉末,按照Ho<sub>0.02</sub>Gd<sub>0.98</sub>ScO<sub>3</sub>这一化学式配料,混合均匀,压片,烧结,得到多晶块料。采用提拉法晶体生长工艺,成功生长出掺Ho<sup>3+</sup>的GdScO<sub>3</sub>晶体。

[0040] 一种稀土离子掺杂的GdScO<sub>3</sub>倍半氧化物激光晶体实现红外激光的方法,其激光实验的装置与实施例1附图3所示激光装置相似,由泵浦源1、激光聚焦系统2、输入镜3、晶体4和输出镜5沿光路顺序排列而成;其中,泵浦源1为1940nm波长的光纤激光器;激光聚焦系统2为2个焦距为3cm的聚焦镜;输入镜3为平平镜,且通光端面上镀以对1900-1980nm高透过、对2000-2200nm波段高反射的介质膜,所述晶体4是2at%Ho<sup>3+</sup>:GdScO<sub>3</sub>晶体,通光长度为8mm,通光面为3\*3mm<sup>2</sup>的正方形,输出镜5镀以对1900-1980nm高反射、及对2000-2200nm部分透过的介质膜,透过率为1-10%,优选的透过率为5%的介质膜。在该装置腔镜中加入调谐元件(棱镜等)可实现调谐激光输出,加入可饱和吸收体(石墨烯等)可实现超短脉冲激光输出。

[0041] 本实施例中公开的新型稀土离子掺杂的GdScO<sub>3</sub>倍半氧化物激光晶体能够用于实现2.0-2.2微米波段连续、可调谐以及超短脉冲激光输出。

[0042] 实施例4

[0043] Tm<sup>3+</sup>,Ho<sup>3+</sup>:GdScO<sub>3</sub>晶体生长及其在激光装置中的应用。选取商业购买的纯度为4N的Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,Tm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub>粉末,按照Tm<sub>0.05</sub>Ho<sub>0.005</sub>Gd<sub>0.92</sub>ScO<sub>3</sub>这一化学式配料,混合均匀,压

片,烧结,得到多晶块料。采用提拉法晶体生长工艺,成功生长出掺 $\text{Tm}^{3+}$ , $\text{Ho}^{3+}$ 的 $\text{GdScO}_3$ 晶体,如附图6所示。

[0044] 一种稀土离子掺杂的 $\text{GdScO}_3$ 倍半氧化物激光晶体实现红外激光的方法,其激光实验的装置与实施例1附图3所示激光装置相似,由泵浦源1、激光聚焦系统2、输入镜3、晶体4和输出镜5沿光路顺序排列而成;其中,泵浦源1为790nm波长的激光二极管;激光聚焦系统2为2个焦距为3cm的聚焦镜;输入镜3为平平镜,且通光端面上镀以对750-850nm高透过、对2000-2200nm波段高反射的介质膜,所述晶体4是2at% $\text{Tm}^{3+}$ : $\text{GdScO}_3$ 晶体,通光长度为8mm,通光面为 $3*3\text{mm}^2$ 的正方形,输出镜5镀以对750-850nm高反射、及对2000-2200nm部分透过的介质膜,透过率为1-10%,优选的透过率为5%的介质膜。在该装置腔镜中加入调谐元件(棱镜等)可实现调谐激光输出,加入可饱和吸收体(石墨烯等)可实现超短脉冲激光输出。

[0045] 本实施例中公开的新型稀土离子掺杂的 $\text{GdScO}_3$ 倍半氧化物激光晶体能够用于实现2.0-2.2微米波段连续、可调谐以及超短脉冲激光输出。

[0046] 上述实施例1-4为本发明较佳的实施方式,但本发明的实施方式并不受上述实施例的限制,其他的任何未背离本发明的精神实质与原理下所作的改变、修饰、替代、组合、简化,均应为等效的置换方式,都包含在本发明的保护范围之内。

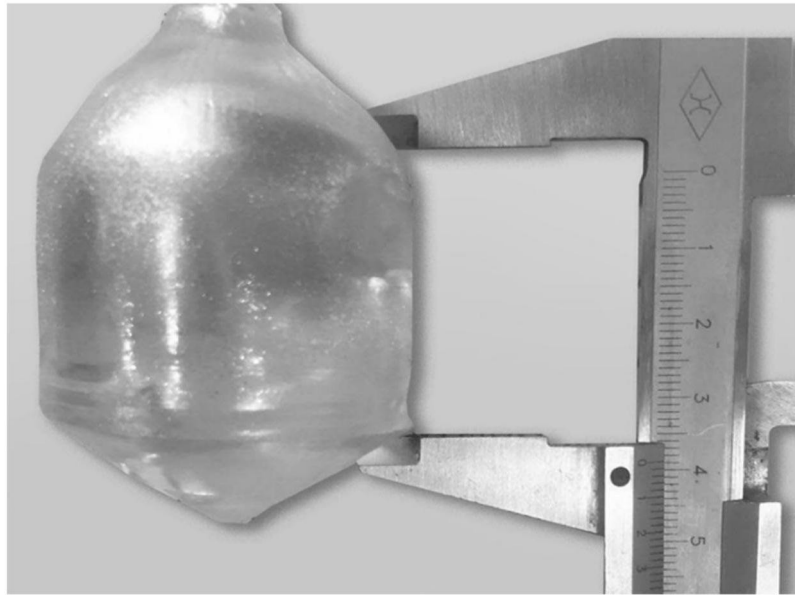


图1

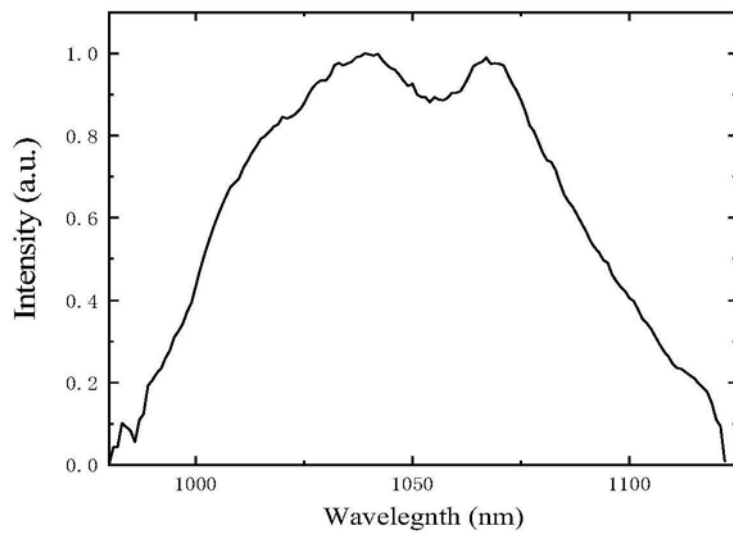


图2



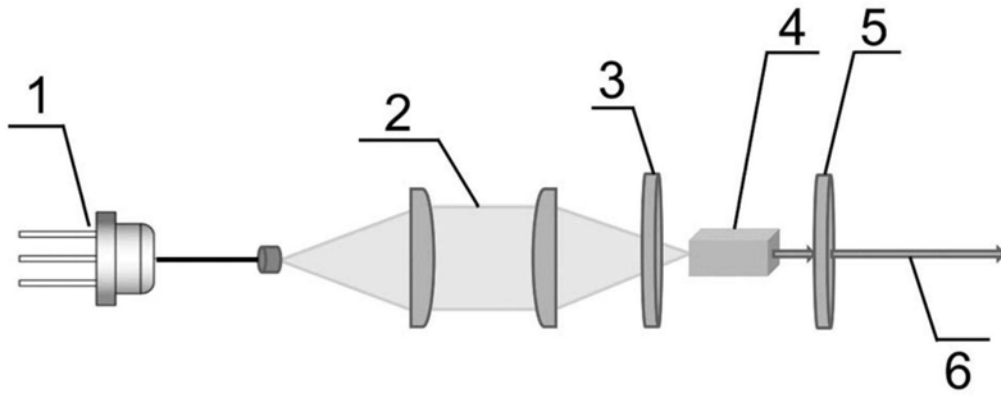


图3

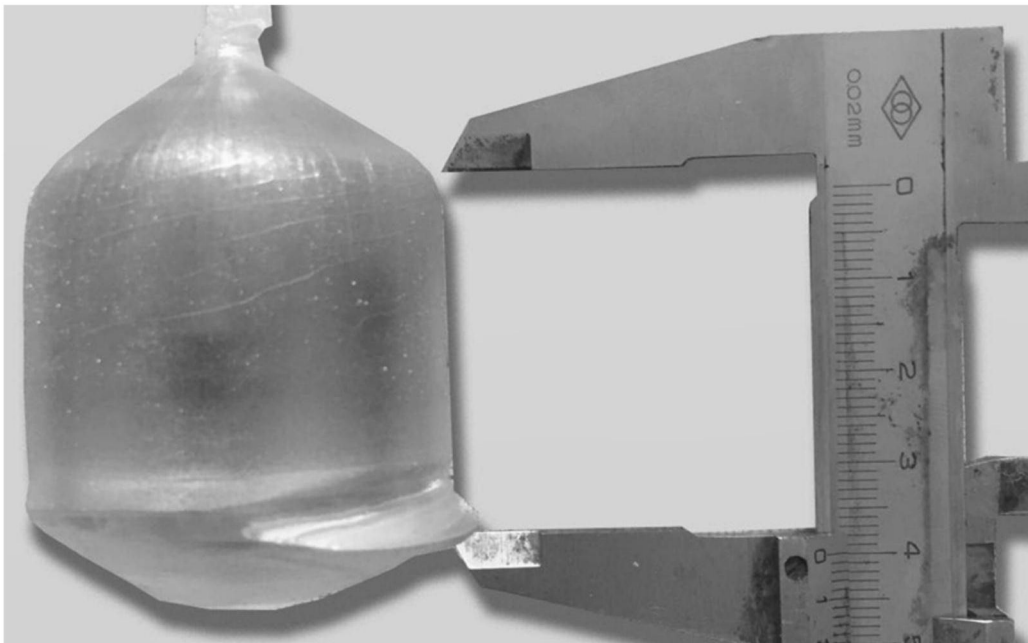


图4

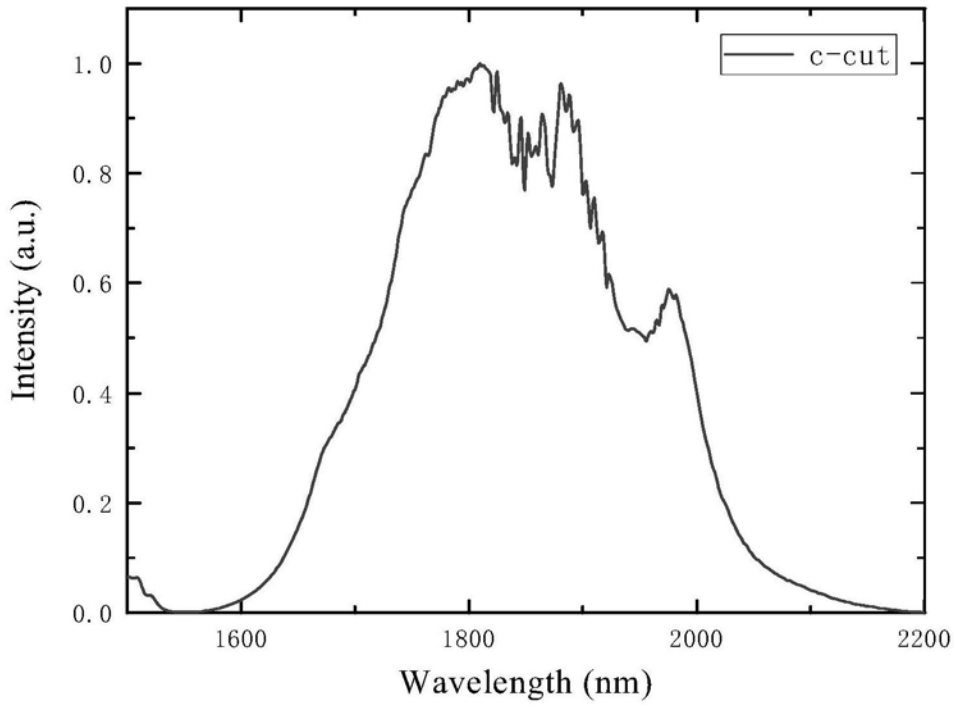


图5

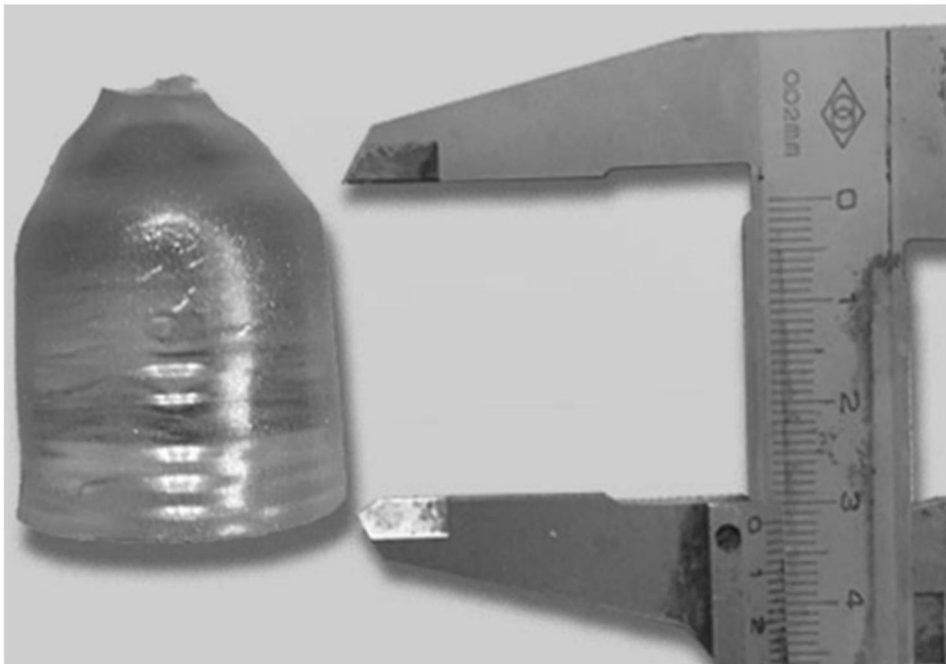


图6