



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104882772 B

(45)授权公告日 2018.01.09

(21)申请号 201510299838.X

H01S 3/067(2006.01)

(22)申请日 2015.06.04

H01S 3/108(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104882772 A

(56)对比文件

(43)申请公布日 2015.09.02

US 2007/0133626 A1, 2007.06.14,

(73)专利权人 电子科技大学

US 2010/0265971 A1, 2010.10.21,

地址 611731 四川省成都市高新区西源
大道2006号

CN 102709796 A, 2012.10.03,

(72)发明人 李剑峰 王乐乐 罗鸿禹 李卓
刘永

CN 103606808 A, 2014.02.26,

(74)专利代理机构 成都华风专利事务所(普通
合伙) 51223

CN 104009376 A, 2014.08.27,

代理人 徐丰

Hongyu Luo et al..Numerical Modeling
and Optimization of Mid-Infrared Fluoride
Glass Raman Fiber Lasers Pumped by Tm³⁺-
Doped Fiber Laser.《IEEE Photonics
Journal》.2012, 第5卷(第2期), 2700211-
2700211.

(51)Int.Cl.

审查员 周宇畅

H01S 3/0941(2006.01)

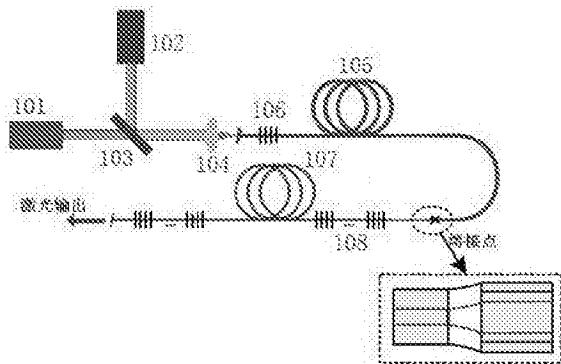
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54)发明名称

一种双波长泵浦中红外拉曼光纤激光器

(57)摘要

本发明涉及中红外激光技术领域，解决了现有技术中在获得波长范围在3~5.42 μm区间的激光存在困难的技术问题，通过提供一种双波长泵浦中红外拉曼光纤激光器，包括：半导体激光泵浦源、掺铥光纤激光泵浦源、二色镜、耦合透镜、双包层掺Er³⁺ZBLAN光纤、氟化物光纤光栅、硫化物光纤、3对硫化物光纤光栅，双包层掺Er³⁺ZBLAN光纤的一端内设置氟化物光纤光栅，另一端与所述硫化物光纤熔接，在氟化物光纤光栅FBG₀与硫化物光纤的熔接点之间形成第一谐振腔，硫化物光纤中设置的3对硫化物光纤光栅构成第二谐振腔，由两种不同波长的激光经过二色镜，耦合透镜耦合进双包层掺Er³⁺ZBLAN光纤，获得2.7~2.9 μm和3.2~3.9 μm波长的泵浦光，然后进入硫化物光纤，在第二谐振腔中振荡，从而获得波长范围在3~5.42 μm区间的激光。



B

CN 104882772

CN

1. 一种双波长泵浦中红外拉曼光纤激光器，其特征在于，包括：半导体激光泵浦源、掺铥光纤激光泵浦源、二色镜、耦合透镜、双包层掺 Er^{3+} ZBLAN光纤、氟化物光纤光栅、硫化物光纤、3对硫化物光纤光栅，所述双包层掺 Er^{3+} ZBLAN光纤的一端内设置氟化物光纤光栅，另一端与所述硫化物光纤熔接，在所述氟化物光纤光栅与硫化物光纤的熔接点之间形成第一谐振腔，硫化物光纤中设置的3对硫化物光纤光栅构成第二谐振腔；

由所述半导体激光泵浦源和掺铥光纤激光泵浦源产生两个不同波长，且相互垂直的连续泵浦光经过二色镜合成平行的泵浦光，所述平行的泵浦光通过耦合透镜耦合进所述双包层掺 Er^{3+} ZBLAN光纤内包层中，在第一谐振腔中振荡后，由半导体激光泵浦源泵浦产生的泵浦光对应粒子跃迁形成 $2.7\sim2.9\mu\text{m}$ 的激光辐射，由半导体激光泵浦源和掺铥光纤激光泵浦源共同泵浦产生的泵浦光对应粒子跃迁形成 $3.2\sim3.9\mu\text{m}$ 的激光辐射，由辐射产生的 $2.7\sim2.9\mu\text{m}$ 波长的激光和 $3.2\sim3.9\mu\text{m}$ 波长的激光进入3对硫化物光纤光栅，在第二谐振腔中振荡，在 FBG_1 和 FBG_2 构成的谐振腔中输出的一阶拉曼波长为 $2.9\sim3.1\mu\text{m}$ 以及 $3.47\sim4.3\mu\text{m}$ ，在 FBG_3 和 FBG_4 构成的谐振腔中输出的二阶拉曼波长为 $3.1\sim3.37\mu\text{m}$ 以及 $3.78\sim4.8\mu\text{m}$ ，在 FBG_5 和 FBG_6 构成的谐振腔最终输出的三阶拉曼波长为 $3.35\sim3.66\mu\text{m}$ 以及 $4.16\sim5.42\mu\text{m}$ ，进而能够输出 $3\sim5.42\mu\text{m}$ 波长的激光。

2. 根据权利要求1所述的双波长泵浦中红外拉曼光纤激光器，其特征在于，所述半导体激光泵浦源采用 976nm 波长的泵浦光，所述掺铥光纤激光泵浦源采用 $2\mu\text{m}$ 波长的泵浦光。

一种双波长泵浦中红外拉曼光纤激光器

技术领域

[0001] 本发明涉及中红外激光技术领域,尤其涉及一种双波长泵浦中红外拉曼光纤激光器。

背景技术

[0002] 波长位于 $3\sim6\mu\text{m}$ 区域大气窗口的中红外激光光源具有广泛地应用。如高功率的中红外激光光源可应用于国防中的激光对抗,主要针对红外激光对红外焦平面阵列探测器的饱和干扰及破坏性致盲,可有效抵制日趋严重的红外制导预警机的威胁, $3\sim6\mu\text{m}$ 中红外激光对抗武器是集告警、跟踪、瞄准和干扰、压制、致盲功能于一体的新型防御武器系统,能够有效干扰红外凝视成像制导导弹;其次, $3\sim6\mu\text{m}$ 中红外激光不仅可以探测大范围的气体种类,还可用于对地球大气中对流层和平流层组成成分的探测以及环境中有机污染的高灵敏度检测等;再次,多数重要的碳氢气体及其他有毒气体分子在该波段的吸收也有较强的吸收特性,因此其在微量气体检测领域也具有巨大的应用价值,如油田开采、毒品稽查、天然气管道泄漏检测、煤矿中甲烷气体探测等;还有,由于大部分常见聚合物在波长大于 $3\mu\text{m}$ 的中红外波段具有强烈的吸收带,因此中红外激光还可应用于聚合物加工;另外,工作波长在近 $3\mu\text{m}$ 的激光能够被水分子强烈吸收,利用它可以进行医学上面的激光微治疗以及精确的切割和软组织切除手术。

[0003] 在各种产生中红外激光的方法中,相对于光参量振荡器、光参量放大器以及量子级联激光器而言,光纤激光器具有亮度高、峰值功率高、可调谐、激光阈值低、输出光束质量好、转换效率高、以及高“表面积/体积”比、柔韧性与灵活性好、易于集成等显著优点,因此发展高效率地中红外光纤激光器有着重要的科学意义和应用价值。而传统的中红外光纤激光器,其采用单一波长的泵浦光泵浦掺杂稀土离子氟化物光纤,然而稀土离子能级中对应于 $3\sim5\mu\text{m}$ 区域的中红外激光跃迁的能级往往是激光下能级寿命高于上能级寿命,难以实现粒子数反转,从而使得其对应波长的激光跃迁自终止,难以实现波长大于 $3\mu\text{m}$ 的激光输出,目前室温下最长也只能产生 $3.005\mu\text{m}$ 波长的激光。同时,掺杂稀土离子的激光源在中红外区域具有许多不利因素,如激发态吸收、能量转移上转换等跃迁过程,增大了激光的泵浦阈值功率,使得激光器效率低、输出功率小,大大地限制了中红外光纤激光器的实际应用。

[0004] 拉曼光纤激光器是基于光纤中的受激拉曼散射(SRS)效应的非线性光纤激光器,它利用已有波长较短的泵浦光作用于拉曼光纤,从而产生更长波长的拉曼激光输出。硫化物光纤作为另一种常见中红外光纤,被广泛用于中红外激光领域,其典型的声子能量为 $300\sim450\text{cm}^{-1}$,略低于氟化物光纤,因此可支持更长波长的传输,相对于氟化物光纤,硫化物光纤具有更高的拉曼增益系数,因此可将其用于产生中红外拉曼激光。级联拉曼光纤激光是获得长波长激光的一种有效方法,但是目前中红外级联拉曼光纤激光器的研究成果还较少,且其输出波长还主要集中在 $2\mu\text{m}$ 波段,而目前已实现的中红外拉曼光纤激光器中其最长输出波长为 $3.34\mu\text{m}$,功率也只有 0.6W 。

[0005] 因此,现有技术中在获得波长范围在 $3\sim5.42\mu\text{m}$ 区间的激光存在困难。

发明内容

[0006] 本发明实施例通过提供一种双波长泵浦中红外拉曼光纤激光器,解决了现有技术中在获得波长范围在3~5.42μm区间的激光存在困难的技术问题。

[0007] 为了解决上述技术问题,本发明实施例提供一种双波长泵浦中红外拉曼光纤激光器,包括:半导体激光泵浦源、掺铥光纤激光泵浦源、二色镜、耦合透镜、双包层掺Er³⁺ZBLAN光纤、氟化物光纤光栅FBG₀、硫化物光纤、3对硫化物光纤光栅,所述双包层掺Er³⁺ZBLAN光纤的一端内设置氟化物光纤光栅FBG₀,另一端与所述硫化物光纤熔接,在所述氟化物光纤光栅FBG₀与3对硫化物光纤光栅的熔接点之间形成第一谐振腔,3对硫化物光纤光栅中设置的硫化物光纤光栅对构成第二谐振腔;

[0008] 由所述半导体激光泵浦源和掺铥光纤激光泵浦源产生两个不同波长,且相互垂直的连续泵浦光经过二色镜进行合成平行的泵浦光,所述平行的泵浦光通过耦合透镜耦合进所述双包层掺Er³⁺ZBLAN光纤内包层中,在第一谐振腔中振荡后,由半导体激光泵浦源泵浦产生的泵浦光对应粒子跃迁形成2.7~2.9μm的激光辐射,由半导体激光泵浦源和掺铥光纤激光泵浦源共同泵浦产生的泵浦光对应粒子跃迁形成3.2~3.9μm的激光辐射;由辐射产生的2.7~2.9μm波长的激光和3.2~3.9μm波长的激光进入3对硫化物光纤光栅,在第二谐振腔中振荡,在FBG₁和FBG₂构成的谐振腔中输出的一阶拉曼波长为2.9~3.1μm以及3.47~4.3μm,在FBG₃和FBG₄构成的谐振腔中输出的二阶拉曼波长为3.1~3.37μm以及3.78~4.8μm,在FBG₅和FBG₆构成的谐振腔最终输出的三阶拉曼波长为3.35~3.66μm以及4.16~5.42μm,进而能够输出3~5.42μm波长的激光。

[0009] 进一步地,所述半导体激光泵浦源采用976nm波长的泵浦光,所述掺铥光纤激光泵浦源采用2μm波长的泵浦光。

[0010] 进一步地,所述第二谐振腔以2.7~2.9μm波长的激光和3.2~3.9μm波长的激光作为泵浦光时,经3对硫化物光纤光栅,通过3次拉曼频移,输出3~5.42μm波长的激光。

[0011] 采用本发明中的一个或者多个技术方案,具有如下有益效果:

[0012] 1、由于采用双波长泵浦中红外拉曼光纤激光器,设置有半导体激光泵浦源,掺铥光纤激光泵浦源共同发射泵浦光经过二色镜合成平行的泵浦光,该平行的泵浦光通过耦合透镜耦合进双包层掺Er³⁺ZBLAN光纤内包层中,在第一谐振腔中振荡后,由半导体激光泵浦源泵浦产生的泵浦光对应粒子跃迁形成2.7~2.9μm的激光辐射,由半导体激光泵浦源和掺铥光纤激光泵浦源共同泵浦产生的泵浦光对应粒子跃迁形成3.2~3.9μm的激光辐射;由辐射产生的2.7~2.9μm波长的激光和3.2~3.9μm波长的激光进入硫化物光纤,在第二谐振腔中振荡,在FBG₁HE FBG₂构成的谐振腔中输出的一阶拉曼波长为2.9~3.1μm以及3.47~4.3μm,在FBG₃HE FBG₄构成的谐振腔中输出的二阶拉曼波长为3.1~3.37μm以及3.78~4.8μm,在FBG₅HE FBG₆构成的谐振腔最终输出的三阶拉曼波长为3.35~3.66μm以及4.16~5.42μm,进而能够输出3~5.42μm波长的激光,解决了现有技术中在获得波长范围在3~5.42μm区间的激光存在困难的技术问题,进而实现了能够有效获得波长范围在3~5.42μm区间的激光的技术效果。

[0013] 2、通过采用两种不同波长的激光同时泵浦掺杂稀土离子光纤,有效地克服了斯托克斯效应的限制,有利于高效率地实现高功率中红外激光输出。

[0014] 3、该双波长泵浦中红外拉曼光纤激光器的可移植性和可集成度高,有利于实际应用。

附图说明

[0015] 图1为本发明实施例中双波长泵浦中红外拉曼光纤激光器的结构示意图;

[0016] 图2为本发明实施例中双包层掺 Er^{3+} ZBLAN光纤中 Er^{3+} 的部分能级图;

[0017] 图3为本发明实施例中As-Se硫化物光纤的拉曼频移谱图。

[0018] 其中,101半导体激光泵浦源,102掺铥光纤激光泵浦源,103二色镜,104耦合透镜,105双包层掺 Er^{3+} ZBLAN光纤,106氟化物光纤光栅,107硫化物光纤,108 3对硫化物光纤光栅,9能级 $^4\text{I}_{15/2}$,10能级 $^4\text{I}_{13/2}$,11能级 $^4\text{I}_{11/2}$,12能级 $^4\text{I}_{9/2}$,13能级 $^4\text{F}_{9/2}$,14能级 $^4\text{S}_{3/2}$,15 976nm泵浦光,16 2μm泵浦光,17 2.7~2.9μm的辐射光,18 3.2~3.9μm的辐射光,19泵浦光,20一阶拉曼,21二阶拉曼,22三阶拉曼。

具体实施方式

[0019] 本发明实施例通过提供一种双波长泵浦中红外拉曼光纤激光器,解决了现有技术中在获得波长范围在3~5.42μm区间的激光存在困难的技术问题。

[0020] 为了解决上述在获得波长范围在3~5.42μm区间的激光存在困难的技术问题,下面将结合说明书附图以及具体的实施方式对本发明的技术方案进行详细的说明。

[0021] 本发明实施例提供一种双波长泵浦中红外拉曼光纤激光器,如图1所示,包括:半导体激光泵浦源101、掺铥光纤激光泵浦源102、二色镜103、耦合透镜104、双包层掺 Er^{3+} ZBLAN光纤105、氟化物光纤光栅106、硫化物光纤107、3对硫化物光纤光栅108,所述双包层掺 Er^{3+} ZBLAN光纤105的一端内设置氟化物光纤光栅106,另一端与所述硫化物光纤107熔接,在所述氟化物光纤光栅106与硫化物光纤107的熔接点之间形成第一谐振腔,硫化物光纤107中设置的3对硫化物光纤光栅108构成第二谐振腔。

[0022] 在具体的实施方式中,半导体激光泵浦源101采用976nm波长的泵浦光,掺铥光纤激光泵浦源102采用2μm波长的泵浦光,首先,这两种波长的泵浦光经过二色镜102时合成一束平行泵浦光,具体地,976nm波长的泵浦光全透射出二色镜102,2μm波长的泵浦光全反射出二色镜102,接着,平行泵浦光经过耦合透镜103耦合进双包层掺 Er^{3+} ZBLAN光纤105的内包层中,在第一谐振腔中振荡,在半导体激光泵浦源101泵浦开始时,976nm波长的泵浦光使得 Er^{3+} 离子进行能级跃迁,位于能级 $^4\text{I}_{15/2}$ 9上的粒子通过基态吸收被抽运到能级 $^4\text{I}_{11/2}$ 11上,形成粒子数反转在能级 $^4\text{I}_{11/2}$ 11和能级 $^4\text{I}_{13/2}$ 10之间形成2.7~2.9μm的激光辐射,在泵浦功率增大达到泵浦功率阈值之前,能级 $^4\text{I}_{11/2}$ 11上得到的粒子在2μm全光纤掺铥激光泵浦源102的泵浦下,再一次被抽运到能级 $^4\text{S}_{3/2}$ 14上,以此形成粒子数反转,从而在能级 $^4\text{F}_{9/2}$ 13和能级 $^4\text{I}_{9/2}$ 12之间形成3.2~3.9μm的激光辐射。在上述辐射产生的两种范围波长的激光经过该双包层掺 Er^{3+} ZBLAN光纤105后进入硫化物光纤107,在泵浦功率增加到一阶拉曼激光阈值时,在第二谐振腔中振荡,FBG₁和FBG₂构成的谐振腔中产生一阶拉曼激光;在随着泵浦功率继续增大,当一阶拉曼激光达到二阶拉曼激光阈值时,便会在FBG₃和FBG₄构成的谐振腔内产生二阶拉曼激光。以此类推,最终在FBG_{2n-1}和FBG_{2n}构成的谐振腔中产生第n阶拉曼激光,最终由FBG_{2n}耦合输出。

[0023] 在上述的实施过程中,如图2所示,双包层掺 Er^{3+} ZBLAN光纤105中 Er^{3+} 的部分能级图,当单独采用波长为976nm的泵浦光时,采用的双包层掺 Er^{3+} ZBLAN光纤105对应能级为 $^4\text{I}_{15/2}\ 9, ^4\text{I}_{11/2}\ 11$,产生的脉冲激光波长为 $2.7\sim 2.9\mu\text{m}$,对应于 $^4\text{I}_{11/2}\rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ 能级跃迁;当采用波长为976nm和 $2\mu\text{m}$ 的泵浦光时,对应的能级为 $^4\text{I}_{15/2}\ 9, ^4\text{I}_{11/2}\ 11, ^4\text{S}_{3/2}\ 14$,产生的脉冲激光波长为 $3.2\sim 3.9\mu\text{m}$,对应于 $^4\text{F}_{9/2}\rightarrow ^4\text{I}_{9/2}$ 能级跃迁。当采用As-Se硫化物光纤107作为增益介质时,以 $2.7\sim 2.9\mu\text{m}$ 和 $3.2\sim 3.9\mu\text{m}$ 波长作为泵浦光时,在第二谐振腔中振荡,即3对硫化物光纤光栅108构成的谐振腔内振荡,通过至多3次拉曼频移,激光就覆盖 $3\sim 5.42\mu\text{m}$ 整个波长范围,如图3所示,As-Se硫化物光纤的拉曼频移谱图。

[0024] 尽管已描述了本发明的优选实施例,但本领域内的技术人员一旦得知了基本创造性概念,则可对这些实施例作出另外的变更和修改。所以,所附权利要求意欲解释为包括优选实施例以及落入本发明范围的所有变更和修改。

[0025] 显然,本领域的技术人员可以对本发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围。这样,倘若本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内,则本发明也意图包含这些改动和变型在内。

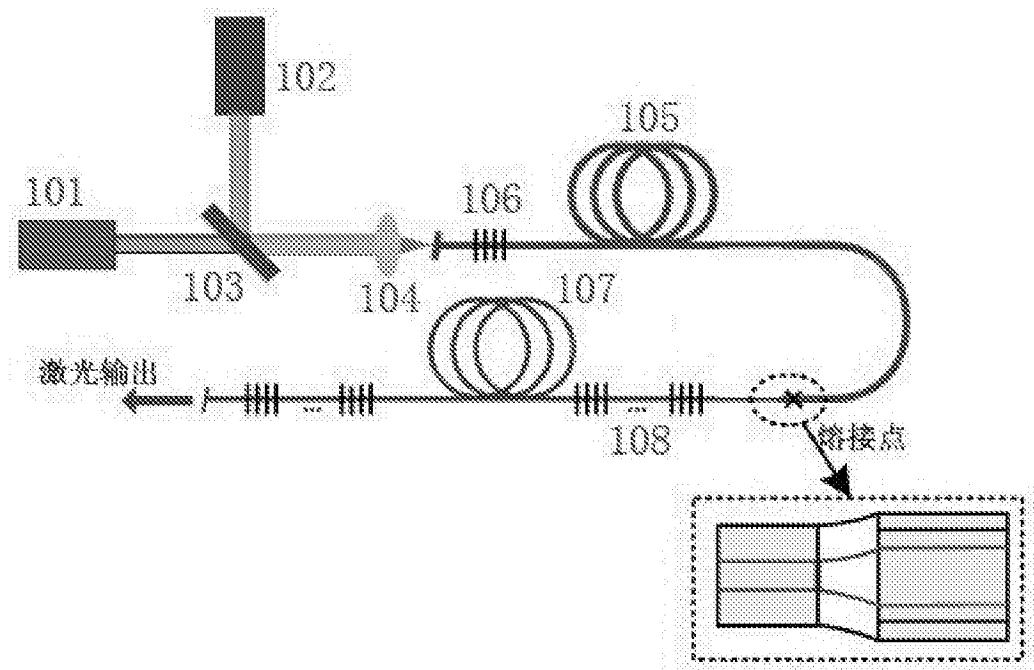
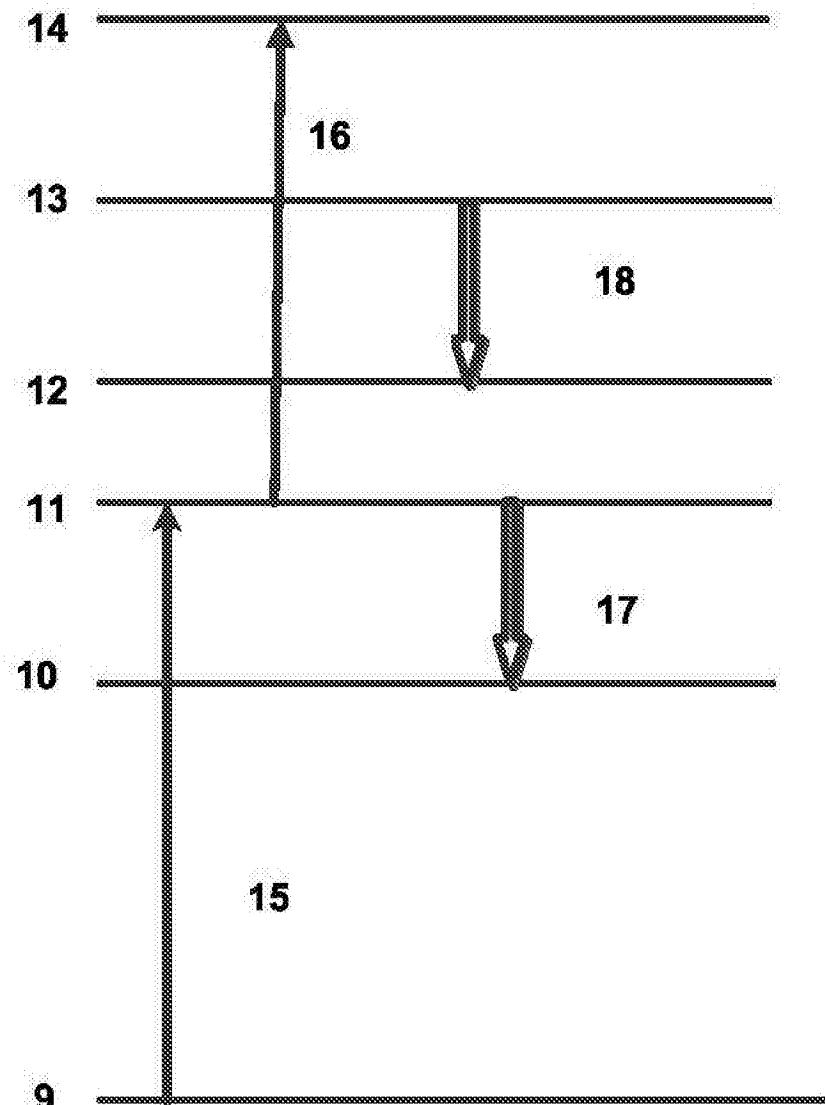


图1



掺铒氟化物

图2

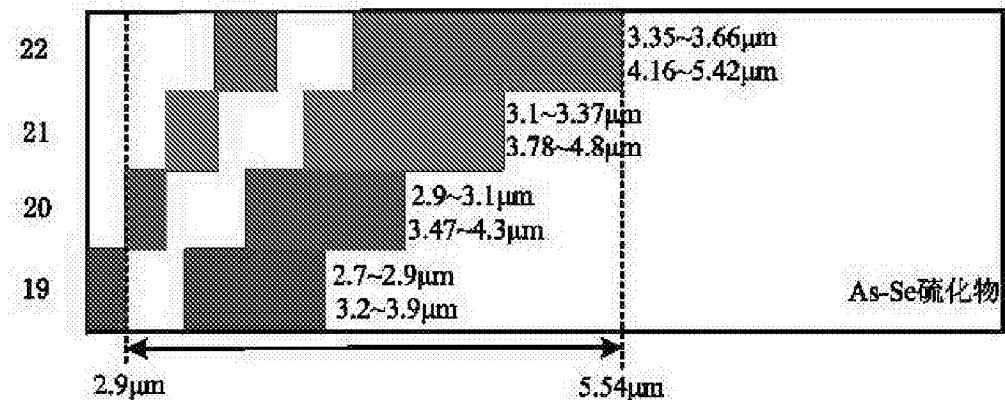


图3