



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110086070 A

(43)申请公布日 2019.08.02

(21)申请号 201910415905.8

(22)申请日 2019.05.19

(71)申请人 北京工业大学

地址 100124 北京市朝阳区平乐园100号

(72)发明人 李强 张磊 雷旬 惠勇凌

姜梦华

(74)专利代理机构 北京思海天达知识产权代理有限公司 11203

代理人 沈波

(51)Int.Cl.

H01S 3/042(2006.01)

H01S 3/091(2006.01)

H01S 3/16(2006.01)

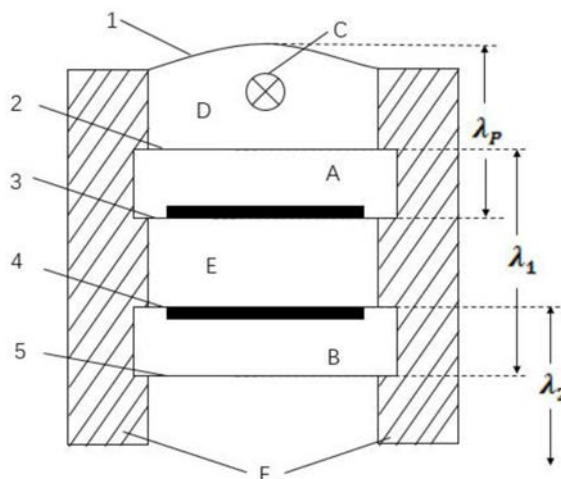
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种高泵浦吸收、高功率输出的新型薄片激光器结构

(57)摘要

一种高泵浦吸收、高功率输出的新型薄片激光器结构。本发明采用的技术方案为一种泵浦级联薄片激光器结构,包括两个陶瓷框架,一个泵浦源,两个通过键合或焊接有不同增益介质的薄片,以及直通冷却液。两个陶瓷框架竖直放置,两个薄片分别为薄片A和薄片B,薄片A和薄片B平行镶嵌在陶瓷框架中。连接面和薄片A上表面之间所构成的区域为区域D;薄片A下表面和薄片B上表面所构成的区域为区域E。本结构在采用腔内泵浦,提高泵浦吸收效率的同时,运用泵浦级联的方法,第二次泵浦光波长与输出波长更为接近,极大地降低了激光过程中的量子亏损,再一次缓解增介质中的热负载,有效进行热管理,提高激光器的效率,延长了激光器的使用寿命。



CN 110086070 A

1. 一种泵浦级联薄片激光器结构,其特征在於:包括两个陶瓷框架,一个泵浦源,两个通过键合或焊接有不同增益介质的薄片,以及直通冷却液;两个陶瓷框架竖直放置,两个薄片分别为薄片A和薄片B,薄片A和薄片B平行镶嵌在陶瓷框架中;

此结构共包括五个面,分别为连接面(1)、薄片A上表面(2)、薄片A下表面(3)、薄片B上表面(4)和薄片B下表面(5);连接面(1)和薄片A上表面(2)之间所构成的区域为区域D;薄片A下表面(3)和薄片B上表面(4)所构成的区域为区域E;

薄片A下表面(3)和陶瓷框架的连接面(1)设置有相同波长高反膜;薄片A上表面(2)和薄片B下表面(5)设置有相同波长高反膜;薄片B上表面(4)设置有另一波长高反膜,同时薄片B下表面(5)设置有这一波长的半透半反膜,用于作为输出镜;泵浦源C置于区域D的中心位置;薄片A和薄片B增益介质位置相向放置;冷却液贯通区域D和区域E,且冷却液的流速相同,在薄片B下方不设置冷却液,以保证整个薄片激光器最终输出激光的光束质量;此薄片激光器结构,在保证大面冷却的同时,对单块薄片采用泵浦级联、腔内泵浦的方式。

2. 根据权利要求1所述的一种泵浦级联薄片激光器结构,其特征在於:两个薄片能够用不同增益介质的热沉衬底替换。

3. 根据权利要求1所述的一种泵浦级联薄片激光器结构,其特征在於:在两个陶瓷框架上方用一个镀膜的连接面(1)进行相接,用于对泵浦光进行反射;在连接面下方为泵浦源C,为一级泵浦所用,一级泵浦所发出的泵浦光直接照射到薄片A上,或者通过连接面(1)反射,照射至薄片A,在区域D中直通冷却液进行冷却,保证大面散热和泵浦光发光光谱稳定性;在薄片A的下表面设置有与连接面(1)相同波长的高反膜,泵浦源B所发出的泵浦光,在由连接面(1)和薄片A下表面(3)形成的腔内进行振荡,来回反射的泵浦光多次被薄片A的增益介质吸收提高了泵浦均匀性。

4. 根据权利要求1所述的一种泵浦级联薄片激光器结构,其特征在於:所述的薄片A和薄片B为增益介质不同的薄片,其中薄片A增益介质的发射光谱与薄片B增益介质的吸收光谱大致相同,这就使得薄片A产生的激光能够作为薄片B的第二级泵浦光;在薄片A上表面(2)和薄片B下表面(5),设置有与薄片A产生激光相同波长的高反膜;通过第一级泵浦产生的激光 λ_1 ,在由薄片A上表面(2)和薄片B下表面(5)形成的腔内进行振荡,同时来回反射多次被薄片B的增益介质吸收,在增益介质中储能;虽然薄片A增益介质发射光谱和薄片B增益介质吸收光谱不完全相同,但由于薄片A上表面(2)和薄片B下表面(5)形成的振荡腔将激光 λ_1 完全约束在腔内,完成第二次腔内泵浦,薄片B增益介质能够将激光 λ_1 完全吸收,且在激光输出方向泵浦均匀性良好;在薄片B上表面(4)设置有最终输出波长的高反膜,同时薄片B下表面(5)设置有这一波长的半透半反膜,用于作为输出镜;薄片B增益介质在被 λ_1 泵浦后,在薄片B上表面(4)和薄片B下表面(5)形成的腔内振荡,最终输出波长为 λ_2 激光。

5. 根据权利要求3所述的一种泵浦级联薄片激光器结构,其特征在於:采用腔内泵浦,提高泵浦吸收效率的同时,运用泵浦级联的方法,第二次泵浦光波长与输出波长更为接近,降低激光过程中的量子亏损,再一次缓解增益介质中的热负载,有效进行热管理,提高激光器的效率,延长激光器使用寿命。

一种高泵浦吸收、高功率输出的新型薄片激光器结构

技术领域

[0001] 本发明涉及一种高泵浦吸收,并且实现高功率输出的新型薄片激光器结构,本结构通过使用腔内泵浦、泵浦级联、大面冷却等方法,实现对泵浦光高效吸收,并且获得高功率激光输出,属于激光器制造领域。

背景技术

[0002] 高能固体激光在先进工业制造、高功率物理研究、军事国防等领域具有广泛的应用前景,因此,实现高效率吸收,高功率、高光束质量激光输出的技术是当前国内外固体激光研究领域的重点之一。

[0003] 所有高功率固体激光器存在一个亟需解决的关键问题,即热效应。国内外各研究机构针对固体激光器的热效应设计研究了棒状、薄片、板条、波导等不同结构的激光器。其中薄片激光器增益介质非常薄,通常只有几百微米,因此介质内由泵浦所带来的热量只在厚度方向产生,且沿着激光光轴方向,很容易被水冷装置带走,因此在厚度方向上温度梯度很小,热效应较小,能够保证很好的光束质量,同时兼顾高功率的激光输出。

[0004] 但是传统薄片激光器由于增益介质很薄,若采用端面泵浦和侧面泵浦,耦合难度非常大,因此大都采用大面泵浦的方法。由于薄片增益介质层厚度很小,在泵浦方向吸收长度很短,导致泵浦光无法被充分的吸收,必须对传统薄片激光器进行改进,方法主要分为多通泵浦^[1]和多薄片叠加^[2]两种。多通泵浦采用特殊反射结构,使泵浦光照射薄片,通过增加长光程吸收补偿单次吸收不足的问题,达到充分吸收的目的。但多次反射对泵浦光准直性要求很高,同时,多通泵浦设计增加了光学系统的复杂性,降低了激光器整体系统的稳定性。而多薄片叠加则通过将多个薄片进行平面或者空间堆叠的方法,用一束或者多束泵浦光进行泵浦,通过叠加增益介质长度来弥补单薄片吸收不足的劣势。泵浦光在经过多薄片被吸收的同时,需要多次透过冷却液,具有较大界面损耗,同时,激光需透过冷却液进行输出,虽能实现高功率输出,但无法保证高光束质量。

[0005] 因此,如何提高单块薄片增益能力,同时兼顾光路简单、易调节,实现泵浦充分、均匀,减小热效应,降低单块增益成本,是薄片激光器高功率输出亟需解决的问题。

[0006] 与传统直接泵浦技术相比,级联泵浦具有可以在泵浦源发射波长与增益介质吸收谱不匹配的情况下,通过引入一种中间介质,实现两级泵浦,增大了泵浦源波长的使用范围;同时,级联泵浦还具有一个优势是可以降低增益介质中的热负载。第二次泵浦时的泵浦光与发射激光波长更为接近,降低了激光过程中的量子亏损,进而有效降低了热负载,更有效的进行热管理,提高使用寿命。尽管级联泵浦技术能够解决泵浦源和介质吸收谱不匹配以及热效应问题,但由于存在两次泵浦,每一次的泵浦吸收问题都会影响最终的功率输出。但是,腔内泵浦技术可以将泵浦光束束缚在腔内,使泵浦光在腔内来回反射,多次经过增益介质被充分吸收,在保证吸收的同时,也可以提高泵浦吸收的均匀性。

[0007] 针对于现有薄片激光器存在的不足和其大面高效散热的优点,结合泵浦级联和腔内泵浦技术的卓越优势,本文提出了一种新型结构的薄片激光器。

发明内容

[0008] 鉴于现有薄片激光器的不足,同时结合腔内泵浦和泵浦级联的方法,本发明的目的在于设计了一种新型结构的薄片激光器,弥补了当前薄片激光器无法解决单块小型化的实现高功率、高光束质量激光输出问题的空白,对单块薄片激光器实现大面冷却,泵浦光的高效吸收,高功率、高光束质量的激光输出。

[0009] 为实现上述目的,本发明采用的技术方案为一种泵浦级联薄片激光器结构,包括两个陶瓷框架,一个泵浦源,两个通过键合或焊接有不同增益介质的薄片,以及直通冷却液。两个陶瓷框架竖直放置,两个薄片分别为薄片A和薄片B,薄片A和薄片B平行镶嵌在陶瓷框架中。

[0010] 此结构共包括五个面,分别为连接面1、薄片A上表面2、薄片A下表面3、薄片B上表面4和薄片B下表面5。连接面1和薄片A上表面2之间所构成的区域为区域D;薄片A下表面3和薄片B上表面4所构成的区域为区域E。

[0011] 薄片A下表面3和陶瓷框架的连接面1设置有相同波长高反膜;薄片A上表面2和薄片B下表面5设置有相同波长高反膜;薄片B上表面4设置有另一波长高反膜,同时薄片B下表面5设置有这一波长的半透半反膜,用于作为输出镜。泵浦源C置于区域D的中心位置。薄片A和薄片B增益介质位置相向放置。冷却液贯通区域D和区域E,且冷却液的流速相同,在薄片B下方不设置冷却液,以保证整个薄片激光器最终输出激光的光束质量。此薄片激光器结构,在保证大面冷却的同时,对单块薄片采用泵浦级联、腔内泵浦的方式,实现低成本,泵浦光高效吸收,高功率、高光束质量激光输出。

[0012] 两个薄片能够用不同增益介质的热沉衬底替换。

[0013] 在两个陶瓷框架上方用一个镀膜的连接面1进行相接,用于对泵浦光进行反射。在连接面下方为泵浦源C,为一级泵浦所用,一级泵浦所发出的泵浦光直接照射到薄片A上,或者通过连接面1反射,照射至薄片A,在区域D中直通冷却液进行冷却,保证大面散热和泵浦光发光光谱稳定性。在薄片A的下表面设置有与连接面1相同波长的高反膜,泵浦源B所发出的泵浦光,在由连接面1和薄片A下表面3形成的腔内进行振荡,来回反射的泵浦光多次被薄片A的增益介质吸收,通过腔内泵浦的方法弥补了传统单片激光器吸收不足的缺点,并且提高了泵浦均匀性,还能够进行高功率泵浦。同时,高效地吸收可以减小对泵浦光线宽的限制,因此可以采用灯泵浦,极大地减小了成本。同时减小由于温漂造成的吸收不足的问题,适用于宽温度范围。

[0014] 所述的薄片A和薄片B为增益介质不同的薄片,其中薄片A增益介质的发射光谱与薄片B增益介质的吸收光谱大致相同,这就使得薄片A产生的激光能够作为薄片B的第二级泵浦光。在薄片A上表面2和薄片B下表面5,设置有与薄片A产生激光相同波长的高反膜。通过第一级泵浦产生的激光 λ_1 ,在由薄片A上表面2和薄片B下表面5形成的腔内进行振荡,同时来回反射多次被薄片B的增益介质吸收,在增益介质中储能。虽然薄片A增益介质发射光谱和薄片B增益介质吸收光谱不完全相同,但由于薄片A上表面2和薄片B下表面5形成的振荡腔将激光 λ_1 完全约束在腔内,完成第二次腔内泵浦,薄片B增益介质能够将激光 λ_1 完全吸收,且在激光输出方向泵浦均匀性良好。在薄片B上表面4设置有最终输出波长的高反膜,同时薄片B下表面5设置有这一波长的半透半反膜,用于作为输出镜。薄片B增益介质在被 λ_1 泵浦后,在薄片B上表面4和薄片B下表面5形成的腔内振荡,最终输出波长为 λ_2 激光。高功率

吸收,均匀泵浦,使得激光 λ_2 光束质量好,同时可以获得高功率输出。

[0015] 本结构在采用腔内泵浦,提高泵浦吸收效率的同时,运用泵浦级联的方法,第二次泵浦光波长与输出波长更为接近,极大地降低了激光过程中的量子亏损,再一次缓解增益介质中的热负载,有效进行热管理,提高激光器的效率,延长了激光器的使用寿命。

[0016] 本发明的新型薄片激光器结构采用直通冷却液进行大面冷却,并且在输出面不经过冷却液冷却,保留传统薄片激光器大面冷却的特点,使得温度梯度和激光传输方向一致,带来的波前畸变大大减弱,从而获得优异的光束质量输出。

[0017] 本发明设计了全新薄片结构,实现了对传统薄片激光器不足的改进,具有以下特点:

[0018] 1、可采用灯泵,降低成本;

[0019] 2、增益介质可采用低掺杂晶体(Nd:YAG),提高了泵浦均匀性;

[0020] 3、泵浦吸收效率高;

[0021] 4、减小量子亏损,降低晶体热负荷;

[0022] 5、在冷却液工作温度范围内,适用于宽温度范围。

附图说明

[0023] 图1是泵浦级联薄片激光器结构及波长示意图。

[0024] 图2是Nd:YAG、Yb:YAG薄片激光器结构示意图。

[0025] 图3是Nd:YVO₄、Nd:YAG薄片激光器示意图。

[0026] 图4为室温下Ce:YAG,翠绿宝石的吸收谱;Ce:YAG,LED的发射谱。

具体实施方式

[0027] 为了使本技术领域的人员能更好的理解本发明中的技术方案,下面将结合本发明实施例中的结构图,对本发明结构进行清楚、完整地描述。

[0028] 如图1所示,本发明包括包括两个陶瓷框架,薄片A、B,泵浦源C,区域 D、E,设置有 λ_p 波长高反膜陶瓷的连接面1和薄片A下表面3,设置有 λ_1 波长高反膜的薄片A上表面2和薄片B下表面5,同时薄片B下表面5设置有 λ_2 波长半透半反膜,以及设置有 λ_2 波长高反膜的薄片B上表面4,在区域D、E中采用直通去离子水进行冷却。

[0029] 其中泵浦方式可以采用灯泵、LED泵浦、LD泵浦等;薄片A通常采用 Nd:YAG、Nd:YVO₄、Nd:glass、Nd:YLF、Er:YAG、Er:YLF、Er:YALO₃、Er:glass、Tm:YAG、Tm:YLF、Cr:GSGG、Gr:KZnF₃、翠绿宝石(Alexandrite)、Ce:YAG 等具有短波长输出、且相对较宽吸收谱线的材料作为一级增益介质;薄片B则可以采用Nd:YAG、Nd:YVO₄、Nd:glass、Nd:YLF、Tm:YAG、Tm:YLF、Er:YAG、Er:YLF、Er:YALO₃、Er:glass、Yb:YAG、Cr:GSGG、Gr:KZnF₃等固体激光器常见增益介质。以LED泵浦,Ce:YAG作为一级增益介质,翠绿宝石作为二级增益介质为例,其发射和吸收谱线如图4所示。由图可知,LED发射谱与Ce:YAG 吸收谱存在大部分交叠,并且Ce:YAG 发射谱和翠绿宝石吸收谱存在大部分交叠,而LED发射谱和翠绿宝石吸收谱之间不存在重叠部分,因此可以通过级联泵浦的方式,使用Ce:YAG作为中间介质,实现用LED泵浦,最终由翠绿宝石输出激光。

[0030] 下面以Nd:YAG、Yb:YAG晶体和Nd:YAG、Nd:YVO₄晶体为例,如图2和图3所示,对本发

明作进一步说明。

[0031] 如图2所示,薄片A增益介质为低掺杂的Nd:YAG晶体,周围非掺杂区域为YAG晶体,薄片B增益介质为Yb:YAG晶体,周围非掺杂区域同样为YAG晶体。连接面1和面3设置有808nm高反膜,薄片A上表面2和薄片B下表面5设置有946nm高反膜,薄片B下表面5同时设置有1030nm半透半反膜,薄片B上表面4设置有1030nm高反膜。泵浦源为灯泵,区域D、E中直通冷却液。灯泵C发出的808nm激光直接照射到Nd:YAG晶体上,或者经连接面1反射,照射到Nd:YAG晶体上。由于面1和薄片A下表面3都设置有808nm高反膜,因此灯泵所发出的宽波长激光在此振荡腔来对多次振荡,实现腔内泵浦,低掺杂薄片Nd:YAG晶体将泵浦光充分吸收,完成一级泵浦。泵浦光使得Nd:YAG晶体能级实现粒子束反转,同时在区域D、E中直通冷却液,对整个薄片激光器进行低温冷却,因此Nd:YAG在相对低温环境下可以输出由 $^4F_{3/2}$ 的 R_1 子能级向 $^4I_{9/2}$ 的 Z_5 子能级跃迁所产生的946nm波长激光。并且在薄片A上表面2和薄片B下表面5设置有946nm波长高反膜,使得产生的946nm波长激光在两个面之间再次多次反射,被薄片B上的Yb:YAG晶体充分吸收,实现第二次腔内泵浦。根据 Yb^{3+} 离子吸收和发射谱可知,在940nm附近具有很高的吸收峰,辅以946nm泵浦光在薄片A上表面2和薄片B下表面5之间来回振荡,将泵浦光完全吸收,同时在薄片B上表面4设置有1030nm高反膜,薄片B下表面5设置有1030nm半透半反膜,在薄片B下表面5和薄片B上表面4之间来回振荡,最终输出1030nm激光。

[0032] 本发明以灯泵作为基础泵浦源来抽运Nd:YAG,在腔内泵浦使其充分吸收,通过高反膜波长设置,使其主要产生的946nm波长激光,然后将其作为二级泵浦源来泵浦Yb:YAG晶体,同样采用腔内泵浦的方式,可以实现薄片激光器中的泵浦级联,在保证充分吸收泵浦光的同时,减小了量子亏损,降低了热效应,实现了大面泵浦、大面冷却、大面出光的目标。

[0033] 如图3所示,包括2个陶瓷框架,薄片A、薄片B,垂直面发射阵列泵浦源C,区域D、E,陶瓷框架F,增透窗口G。薄片A增益介质为高掺杂的Er:glass,周围非掺杂区域为磷酸盐玻璃,薄片B增益介质为Er:YAG晶体,周围非掺杂区域同样为YAG晶体。增透窗口G设置有980nm增透膜,薄片A下表面3设置有980nm高反膜,薄片A上表面2和薄片B下表面5设置有1530nm高反膜,同时薄片B下表面5设置有2940nm半透半反膜,薄片B上表面4设置有2940nm高反膜。泵浦源为二极管面阵泵浦,由于薄片A的增益介质为Er:glass,该晶体的吸收谱宽、且可以实现高浓度掺杂,能够以很薄的厚度完成较完全吸收,因此本实施例一级泵浦不采用腔内泵浦,通过二极管面阵,直接大面泵浦。同样在区域D、E直通冷却液对整个薄片激光器结构进行大面冷却。Er:glass受激辐射主要产生1530nm波长激光,由于薄片A上表面2和薄片B下表面5设置有1530nm高反膜,因此只有1530nm波长激光在腔内振荡,对薄片B的Er:YAG晶体进行腔内泵浦,被多次反射,均匀吸收。在薄片B上表面4设置有2940nm高反膜,薄片B下表面5设置有2940nm半透半反膜,Er³⁺受激辐射,在薄片B上表面4和薄片B下表面5形成的腔内进行振荡,同带泵浦产生的2940nm激光最终通过大面输出。此实施例主要采用级联泵浦的方法,两次采用与输出波长更接近的泵浦光波长进行泵浦,极大地减小量子亏损,更加有效的减小了薄片激光器的热管理。

[0034] 本实施例新型薄片激光器中,通过泵浦级联、腔内泵浦、大面冷却等方法,实现了对现有薄片激光器的不足的改善。腔内泵浦结构有利于获得高的吸收效率,同时选取合适掺杂介质有利于高的吸收均匀性;泵浦级联,有利于减小量子亏损,介质中的热负荷;薄增

益层紧贴冷却层,利于有效散热及获得好的光束质量;可选灯泵或LED泵浦,降低成本;同时可适用于宽温度范围。

[0035] 以上对本发明所提供的一种新型泵浦级联薄片激光器结构进行了详细介绍。本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法。应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以对本发明进行若干改进和修饰,这些改进和修饰也落入本发明权利要求保护范围内。

[0036] 参考文献:

[0037] [1]Blázquez-SánchezD,Weichelt B,Austerschulte A,et al.Improving the brightness of a multi-kilowatt single thin-disk laser by an aspherical phase front correction[J].Optics letters,2011,36(6):799-801.

[0038] [2]王柯,涂波,尚建力,安向超,易家玉,于益,廖原,吕文强,叶志斌,杜近宇,高青松,张凯.千瓦级浸入式直接液冷Nd:YAG多薄片激光谐振腔[J].中国激光,2017,44(08):15-23。

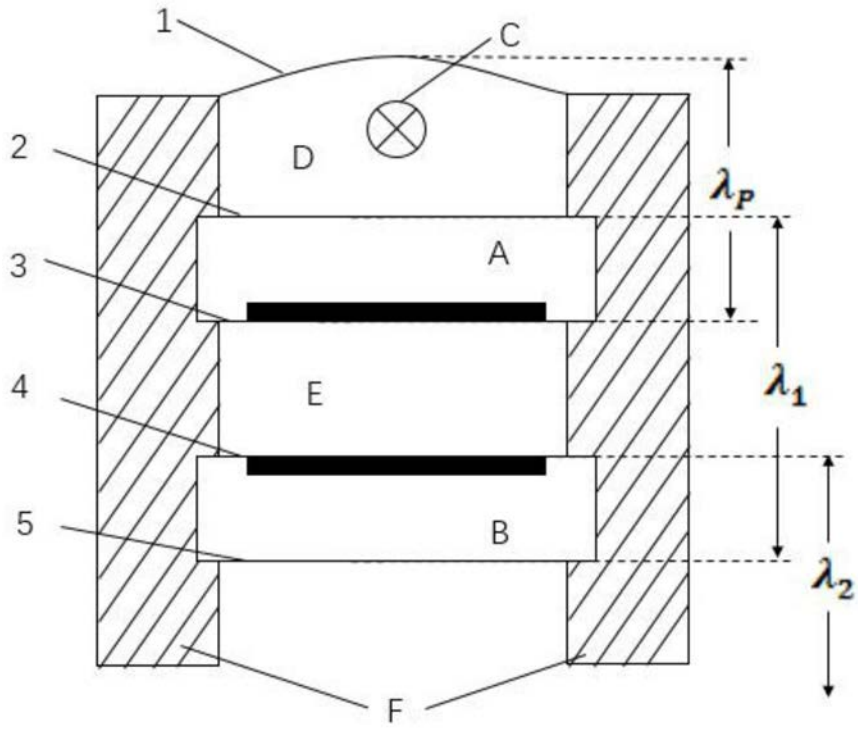


图1

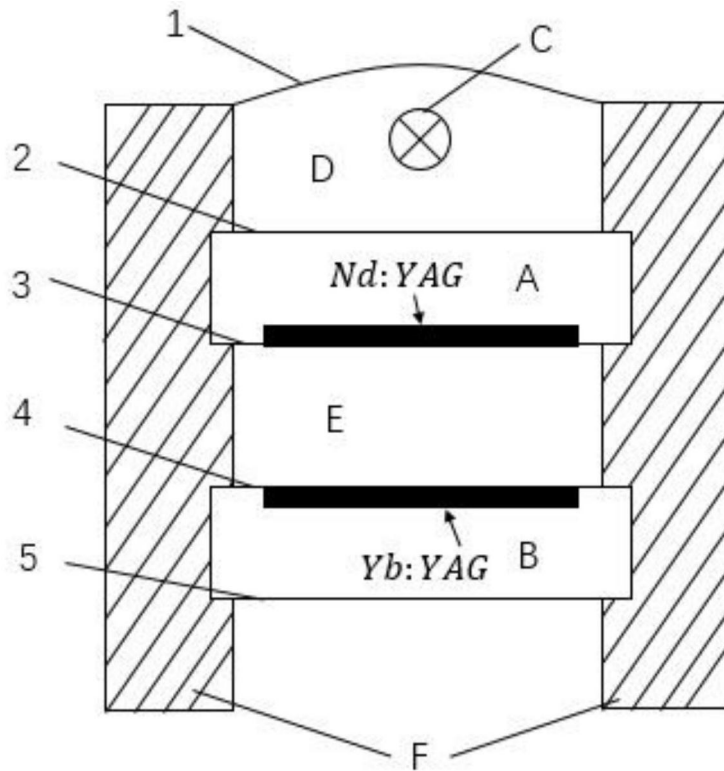


图2

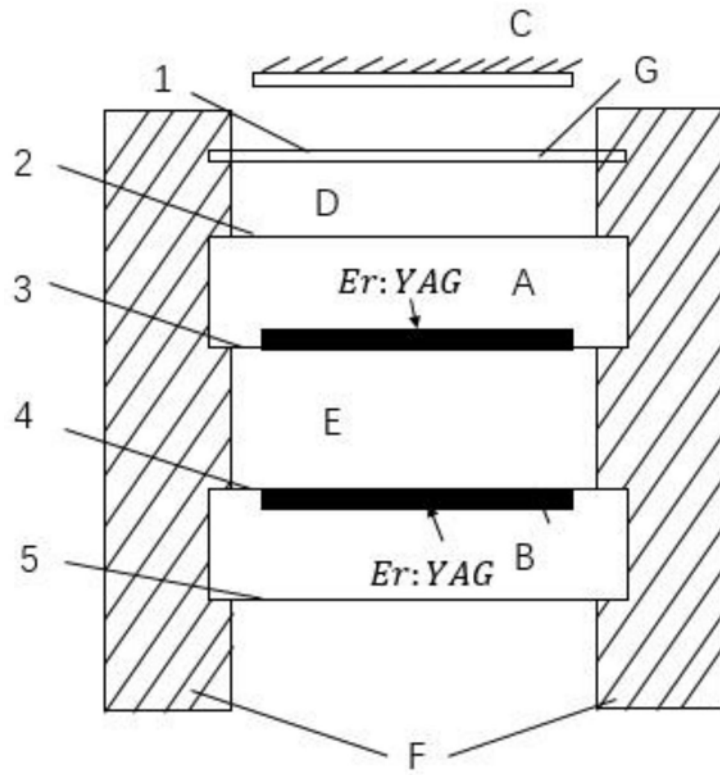


图3

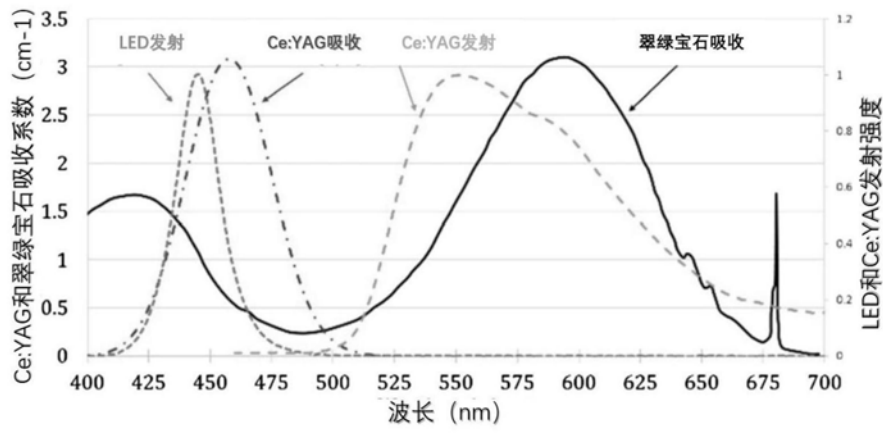


图4