



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112713488 B

(45) 授权公告日 2022. 05. 03

(21) 申请号 201911024539.X

H01S 3/17 (2006.01)

(22) 申请日 2019.10.25

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 101404378 A, 2009.04.08

申请公布号 CN 112713488 A

CN 1466251 A, 2004.01.07

(43) 申请公布日 2021.04.27

CN 102603194 A, 2012.07.25

(73) 专利权人 香港理工大学深圳研究院

CN 101854021 A, 2010.10.06

地址 518057 广东省深圳市南山区高新园

US 2019177212 A1, 2019.06.13

南区粤兴一道18号香港理工大学产学

EP 1986294 A3, 2009.04.15

研大楼205室

陈晓波. Tm(0.1)Yb(5): FOF纳米相氟氧化  
物玻璃 陶瓷的紫外和可见上转换发光.《中国科  
学》.2008,第38卷(第7期),

(72) 发明人 王婷 余兆丰

Hang Lin. Ultraviolet upconversion

(74) 专利代理机构 深圳中一专利商标事务所

luminescence of Gd<sup>3+</sup> and Eu<sup>3+</sup> in nano-  
structured glass ceramics.《Materials

44237

Research Bulletin》.2011,

代理人 曹小翠

审查员 林玉华

(51) Int. Cl.

H01S 3/08 (2006.01)

H01S 3/16 (2006.01)

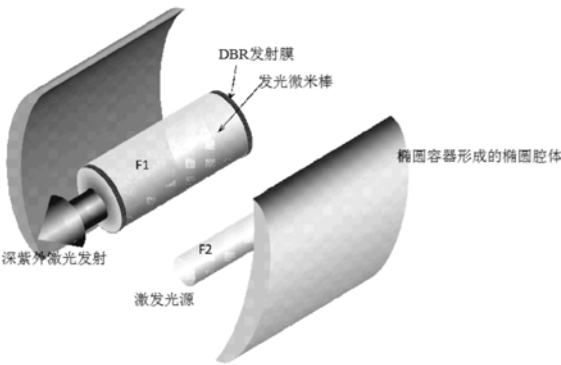
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

深紫外微腔激光器

(57) 摘要

本发明属于激光器技术领域,具体涉及一种深紫外微腔激光器。所述深紫外微腔激光器包括:椭圆腔体,以及位于所述椭圆腔体内的发光微米棒和激发光源;所述发光微米棒由上转换发光材料M-N<sup>3+</sup>组成;其中,M为晶体材料和/或微晶玻璃,N<sup>3+</sup>为实现上转换发光的稀土离子;所述发光微米棒沿发光方向的两端设置有分布式布拉格反射膜;所述激发光源激发所述发光微米棒深紫外发光,所述椭圆腔体的内表面设置有全反射所述激发光源的反射膜。该深紫外微腔激光器可以大大提高上转换激发效率,具有很好的化学稳定性,而且吸收效率高,能够充分吸收激发泵浦光源的能力,同时具有结构简单、成本低的特点。



1. 一种深紫外微腔激光器, 其特征在于, 所述深紫外微腔激光器包括: 椭圆腔体, 以及位于所述椭圆腔体内的发光微米棒和激发光源; 所述椭圆腔体内有两个焦点位置, 所述发光微米棒位于一个焦点位置, 所述激发光源位于另一个焦点位置;

所述发光微米棒由上转换发光材料 $M-N^{3+}$ 组成; 其中,  $M$ 为晶体材料和/或微晶玻璃,  $N^{3+}$ 为实现上转换发光的稀土离子; 所述发光微米棒沿发光方向的两端设置有分布式布拉格反射膜;

所述激发光源激发所述发光微米棒200-320nm的深紫外发光, 所述椭圆腔体的内表面设置有全反射所述激发光源的反射膜。

2. 如权利要求1所述的深紫外微腔激光器, 其特征在于, 所述椭圆腔体的横截面的椭圆标准方程为 $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ ; 其中,  $2\text{cm} < a < 10\text{cm}$ ,  $2\text{cm} < b < 10\text{cm}$ ,  $a > b$ 。

3. 如权利要求2所述的深紫外微腔激光器, 其特征在于, 所述椭圆腔体的焦点位置 $F_1$ 的坐标为 $(-\sqrt{a^2 - b^2}, 0)$ , 焦点位置 $F_2$ 的坐标为 $(\sqrt{a^2 - b^2}, 0)$ ; 所述发光微米棒位于所述焦点位置 $F_1$ , 所述激发光源位于所述焦点位置 $F_2$ 。

4. 如权利要求1所述的深紫外微腔激光器, 其特征在于, 所述分布式布拉格反射膜对200-320nm的深紫外波段具有85-95%的反射率。

5. 如权利要求1所述的深紫外微腔激光器, 其特征在于, 所述激发光源的激发波长为980nm, 所述椭圆腔体的内表面设置的反射膜为全反射980nm的光。

6. 如权利要求1所述的深紫外微腔激光器, 其特征在于, 所述激发光源为脉冲激光器光源或者连续激光器光源。

7. 如权利要求1所述的深紫外微腔激光器, 其特征在于, 所述发光微米棒的直径为100-200 $\mu\text{m}$ , 所述发光微米棒的长度为1000-2000 $\mu\text{m}$ 。

8. 如权利要求1-7任一项所述的深紫外微腔激光器, 其特征在于, 所述上转换发光材料 $M-N^{3+}$ 中, 晶体材料选自 $\text{LaF}_3$ 和YAG中的至少一种; 和/或,

微晶玻璃选自 $45\text{SiO}_2 - 15\text{Al}_2\text{O}_3 - 12\text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{Ba}_2\text{LaF}_7 - 40\text{SiO}_2 - 8\text{AlF}_3 - 4\text{TiO}_2 - 20\text{BaF}_2 - 40\text{SiO}_2 - 13\text{Al}_2\text{O}_3 - 10\text{Na}_2\text{CO}_3 - 20\text{BaF}_2 - \text{InF}_3 - 25\text{ZnF}_2 - 25\text{SrF}_2 - 15\text{BaF}_2 - 5\text{NaF} - 1\text{GaF}_3$ 和 $40\text{SiO}_2 - 20\text{Al}_2\text{O}_3 - 20 - x\text{Na}_2\text{O} - 5\text{MgO} - 10\text{NaYF}_4$ 中的至少一种; 和/或,

所述稀土离子选自 $\text{Yb}^{3+}$ 、 $\text{Tm}^{3+}$ 和 $\text{Gd}^{3+}$ 中的至少两种, 且包括 $\text{Yb}^{3+}$ 和 $\text{Tm}^{3+}$ 。

9. 如权利要求1-7任一项所述的深紫外微腔激光器, 其特征在于, 所述椭圆腔体的内表面设置的全反射所述激发光源的反射膜为铝膜。

10. 如权利要求1-7任一项所述的深紫外微腔激光器, 其特征在于, 所述发光微米棒和所述激发光源沿发光方向平行。

## 深紫外微腔激光器

### 技术领域

[0001] 本发明属于激光器技术领域,具体涉及一种深紫外微腔激光器。

### 背景技术

[0002] 近年来,低成本微型深紫外激光器(<320nm)发射波长可调的高能深紫外激光具备杀死细菌、病毒及真菌的功能。因此,微型深紫外激光器在空气、水(即实现低成本饮用水消毒器和空调系统)及食物(即食品保鲜)净化等方面具有广泛的应用前景。通过对深紫外激光光源的选择,可使其聚焦斑点尺寸降低到几十纳米的范围,这不仅有利于提高光学数据存储精密度,还有助于实现非接触光刻系统(即促进开发下一代超高密度集成电路)。迄今为止,AlGaIn基半导体激光器作为实现微型深紫外激光器的核心技术,其成熟的制备技术被国外企业长期垄断,严重限制了深紫外激光器件在我国的应用。

[0003] 目前,通过稀土离子(镧系)掺杂纳米颗粒可以实现将低能量近红外光子转换为高能量深紫外光,而激光器由于其极低的上转换吸收效率以及热稳定性差的缺陷,难以实现深紫外发光尤其是小于310nm的激发发射。

[0004] 因此,现有技术有待改进。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种深紫外微腔激光器,旨在解决现有深紫外激光器的上转换吸收效率低,热稳定性差,难以实现小于310nm的深紫外激发发射的技术问题。

[0006] 为实现上述发明目的,本发明采用的技术方案如下:

[0007] 本发明提供一种深紫外微腔激光器,所述深紫外微腔激光器包括:椭圆腔体,以及位于所述椭圆腔体内的发光微米棒和激发光源;

[0008] 所述发光微米棒由上转换发光材料M-N<sup>3+</sup>组成;其中,M为晶体材料和/或微晶玻璃,N<sup>3+</sup>为实现上转换发光的稀土离子;所述发光微米棒沿发光方向的两端设置有分布式布拉格反射膜;

[0009] 所述激发光源激发所述发光微米棒深紫外发光,所述椭圆腔体的内表面设置有全反射所述激发光源的反射膜。

[0010] 在一个实施例中,所述椭圆腔体的横截面的椭圆标准方程为 $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ ;其中,2cm<a<10cm,2cm<b<10cm,a>b。

[0011] 在一个实施例中,所述椭圆腔体的焦点位置F1的坐标为 $(-\sqrt{a^2-b^2}, 0)$ ,焦点位置F2的坐标为 $(\sqrt{a^2-b^2}, 0)$ ;所述发光微米棒位于所述焦点位置F1,所述激发光源位于所述焦点位置F2。

[0012] 在一个实施例中,所述分布式布拉格反射膜对200-320nm的深紫外波段具有85-95%的反射率。

[0013] 在一个实施例中,所述激发光源的激发波长为980nm,所述椭圆腔体的内表面设置的反射膜为全反射980nm的光。

[0014] 在一个实施例中,所述激发光源为脉冲激光器光源或者连续激光器光源。

[0015] 在一个实施例中,所述发光微米棒的直径为100-200 $\mu\text{m}$ ,所述发光微米棒的长度为1000-2000 $\mu\text{m}$ 。

[0016] 在一个实施例中,所述上转换发光材料 $\text{M-N}^{3+}$ 中,晶体材料选自 $\text{LaF}_3$ 和YAG中的至少一种;和/或,

[0017] 微晶玻璃选自 $45\text{SiO}_2-15\text{Al}_2\text{O}_3-12\text{Na}_2\text{CO}_3-\text{Ba}_2\text{LaF}_7-40\text{SiO}_2-8\text{AlF}_3-4\text{TiO}_2-20\text{BaF}_2-40\text{SiO}_2-13\text{Al}_2\text{O}_3-10\text{Na}_2\text{CO}_3-20\text{BaF}_2-\text{InF}_3-25\text{ZnF}_2-25\text{SrF}_2-15\text{BaF}_2-5\text{NaF}-1\text{GaF}_3$ 和 $40\text{SiO}_2-20\text{Al}_2\text{O}_3-20-\text{xNa}_2\text{O}-5\text{MgO}-10\text{NaYF}_4$ 中的至少一种;和/或,

[0018] 所述稀土离子选自 $\text{Yb}^{3+}$ 、 $\text{Tm}^{3+}$ 和 $\text{Gd}^{3+}$ 中的至少两种,且包括 $\text{Yb}^{3+}$ 和 $\text{Tm}^{3+}$ 。

[0019] 在一个实施例中,所述椭圆腔体的内表面设置的全反射所述激发光源的反射膜为铝膜。

[0020] 在一个实施例中,所述发光微米棒和所述激发光源沿发光方向平行。

[0021] 本发明提供的深紫外微腔激光器是一种提高上转换激发过程的吸收率以及增加激发过程的反馈次数的高效率深紫外微腔激光器,该深紫外微腔激光器中,利用全反射的椭圆腔体,将激发光源在激发过程中散射的额外光子再次全部反射到发光微米棒中进行激发从而实现多次反馈,从而充分提高上转换激发过程的激发光源吸收率,而在发光微米棒的上转换发光材料中,晶体材料和/或微晶玻璃具有很好的热稳定性,稀土离子作为掺杂离子掺入其中能实现深紫外上转换发光,最终该深紫外微腔激光器中可实现200-320nm的深紫外发光。总之,该深紫外微腔激光器可以大大提高上转换激发效率,具有很好的化学稳定性,而且吸收效率高,能够充分吸收激发泵浦光源的能力,同时具有结构简单、成本低的特点。

## 附图说明

[0022] 图1为本发明实施例的深紫外微腔激光器的3D示意图;

[0023] 图2为本发明实施例的深紫外微腔激光器的横截面示意图。

## 具体实施方式

[0024] 为了使本发明要解决的技术问题、技术方案及有益效果更加清楚明白,以下结合实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0025] 本发明实施例提供了一种深紫外微腔激光器,所述深紫外微腔激光器包括:椭圆腔体,以及位于所述椭圆腔体内的发光微米棒和激发光源;

[0026] 所述发光微米棒由上转换发光材料 $\text{M-N}^{3+}$ 组成;其中,M为晶体材料和/或微晶玻璃, $\text{N}^{3+}$ 为实现上转换发光的稀土离子;所述发光微米棒沿发光方向的两端设置有分布式布拉格反射膜;

[0027] 所述激发光源激发所述发光微米棒深紫外发光,所述椭圆腔体的内表面设置有全反射所述激发光源的反射膜。

[0028] 本发明实施例提供的深紫外微腔激光器是一种提高上转换激发过程的吸收率以及增加激发过程的反馈次数的高效率深紫外微腔激光器,该深紫外微腔激光器中,利用全反射的椭圆腔体,将激发光源在激发过程中散射的额外光子再次全部反射到发光微米棒中进行激发从而实现多次反馈,从而充分提高上转换激发过程的激发光源吸收率,而在发光微米棒的上转换发光材料中,晶体材料和/或微晶玻璃具有很好的热稳定性,稀土离子作为掺杂离子掺入其中能实现深紫外上转换发光,最终该深紫外微腔激光器中可实现200-320nm的深紫外发光。总之,该深紫外微腔激光器可以大大提高上转换激发效率,具有很好的化学稳定性,而且吸收效率高,能够充分吸收激发泵浦光源的能力,同时具有结构简单、成本低的特点。

[0029] 在一实施例中,如图1和图2所示,深紫外微腔激光器的椭圆腔体可以由具有椭圆内腔的椭圆容器(椭圆镜)形成,椭圆腔体全反射该激光器中的激发光源的激发光,从而实现多次激发反馈,发光微米棒和激发光源分别位于焦点位置F1和焦点位置F2。

[0030] 在一实施例中,所述椭圆腔体的横截面的椭圆标准方程为 $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ ,其中, $2\text{cm} < a < 10\text{cm}$ , $2\text{cm} < b < 10\text{cm}$ , $a > b$ 。所述椭圆腔体的焦点位置F1的坐标为 $(-\sqrt{a^2 - b^2}, 0)$ ,焦点位置F2的坐标为 $(\sqrt{a^2 - b^2}, 0)$ ,所述发光微米棒位于所述焦点位置F1,所述激发光源位于所述焦点位置F2。该椭圆腔体的内表面是全反射镜面,将激发光源放置在焦点位置F2时,该激发光源发射的光散射到椭圆腔体的全反射镜面后,根据全反射原理,其散射的光一定会反射到焦点的另一端即焦点位置F1,而该焦点位置F1正是发光微米棒的位置,这样更有利于收集散射的光,可以更有效地再次去激发发光微米棒的上转换发光材料M-N<sup>3+</sup>深紫外发光。

[0031] 在一实施例中,将980nm的激光光源放置椭圆腔体的焦点位置F2,可用于全反射980nm光源。

[0032] 在一实施例中,所述激发光源的激发波长为980nm,所述椭圆腔体的内表面设置的反射膜为全反射980nm的光,在980nm激发下,发光微米棒可以实现200-320nm的深紫外发光。具体地,可以在形成椭圆腔体的椭圆镜的腔体表面喷涂一层可以全反射980nm的反射膜,反射率为100%,用于实现980nm激光器在激发样品过程中的多次激发反馈,因此该椭圆腔体可以充分提高上转换激发过程的980nm光源吸收率。上述激发光源可以为脉冲激光器光源或者连续激光器光源。具体地,所述椭圆腔体的内表面设置的全反射所述激发光源的反射膜为铝膜。

[0033] 在一实施例中,所述分布式布拉格反射(Distributed Bragg Reflector,DBR)膜对200-320nm的深紫外波段具有85-95%的反射率,该DBR膜用于反射深紫外发光在发光微米棒中的反馈,从而降低实现激光的阈值。

[0034] 在一实施例中,所述发光微米棒的直径为100-200 $\mu\text{m}$ ,所述发光微米棒的长度为1000-2000 $\mu\text{m}$ 。直径为100-200 $\mu\text{m}$ 的发光微米棒,可以将光子有效地限制在很小的区域范围之内,减少自发发光,从而更有效地促进激光发射;该发光微米棒采用F-P腔体来实现激光发射,利用光在微米棒的两端通过F-P谐振微腔腔体来回多次反馈,最后实现激光发射。如果长度再短,会使得激光阈值会增加,不利于激光发射,如果增加微米棒的长度,虽然阈值可能会降低,但是多模式激光会出现,不利于得到纯净的单模式激光发射;而采用长度为

1000-2000 $\mu\text{m}$ 的发光微米棒,激光阈值和纯净的单模式激光发射的综合效果最佳。

[0035] 在一实施例中,所述发光微米棒和所述激发光源沿发光方向平行。为实现高效率吸收激发光,如图1所示:将发光微米棒放置在一个微型的椭圆腔体焦点位置F1,在焦点位置F2处放置一个可以作为上转换的激发光源(采用980nm的脉冲激光器或者连续激光器激光器)。其中,在椭圆腔体的腔内表面喷涂一层可以全反射980nm的反射膜,用于防止980nm激光器在激发样品过程中散射多余的光能量从而实现多次激发反馈,因此该椭圆腔体可以充分提高上转换激发过程的980nm光源吸收率,能在200-320nm深紫外位置实现高效率上转换激光发射。

[0036] 在一实施例中,所述上转换发光材料 $\text{M-N}^{3+}$ 中,晶体材料选自 $\text{LaF}_3$ 和YAG中的至少一种;微晶玻璃选自 $45\text{SiO}_2-15\text{Al}_2\text{O}_3-12\text{Na}_2\text{CO}_3-\text{Ba}_2\text{LaF}_7-40\text{SiO}_2-8\text{AlF}_3-4\text{TiO}_2-20\text{BaF}_2-40\text{SiO}_2-13\text{Al}_2\text{O}_3-10\text{Na}_2\text{CO}_3-20\text{BaF}_2-\text{InF}_3-25\text{ZnF}_2-25\text{SrF}_2-15\text{BaF}_2-5\text{NaF}-1\text{GaF}_3$ 和 $40\text{SiO}_2-20\text{Al}_2\text{O}_3-20-\text{xNa}_2\text{O}-5\text{MgO}-10\text{NaYF}_4$ 等等中的至少一种,但不局限于上述微晶玻璃材料;所述稀土离子选自 $\text{Yb}^{3+}$ 、 $\text{Tm}^{3+}$ 和 $\text{Gd}^{3+}$ 中的至少两种,且包括 $\text{Yb}^{3+}$ 和 $\text{Tm}^{3+}$ ,即稀土离子可以是 $\text{Yb}^{3+}$ 和 $\text{Tm}^{3+}$ ,也可以是 $\text{Yb}^{3+}$ 、 $\text{Tm}^{3+}$ 和 $\text{Gd}^{3+}$ 。上述微晶玻璃和/或晶体材料具有很好的稳定性,而且镧系的稀土离子作为掺杂离子掺杂在微晶玻璃和/或晶体材料中,能很好地实现深紫外上转换发光。

[0037] 上述稀土离子中, $\text{Yb}^{3+}$ 离子能够吸收980nm激发光能量,并将能量传递给 $\text{Tm}^{3+}$ 离子,使 $\text{Tm}^{3+}$ 发生能级跃迁实现深紫外激光发射, $\text{Tm}^{3+}$ 和 $\text{Yb}^{3+}$ 稀土离子在微晶玻璃和/或晶体材料中能够实现深紫外的上转换发光。

[0038] 本发明先后进行过多次试验,现举一部分试验结果作为参考对发明进行进一步详细描述,下面结合具体实施例进行详细说明。

[0039] 实施例1

[0040] 一种增加上转换激发过程的深紫外微腔激光器,包括:椭圆腔体,以及位于所述椭圆腔体内的发光微米棒和激发光源;其中,

[0041] 椭圆腔体由制备的椭圆容器形成,椭圆容器内壁涂一层Al反射膜,用于全反射980nm光,该椭圆镜容器形成的椭圆腔体横截面的尺寸范围为, $a=5$ 厘米, $b=4$ 厘米;

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1;$$

[0042] 发光微米棒由上转换发光材料 $\text{M-N}^{3+}$ 组成;该上转换发光材料 $\text{M-N}^{3+}$ 是掺杂稀土元素的微晶玻璃材料: $45\text{SiO}_2-15\text{Al}_2\text{O}_3-12\text{Na}_2\text{CO}_3-\text{Ba}_2\text{LaF}_7:20\%\text{Yb}^{3+},0.5\%\text{Tm}^{3+}$ ;该发光微米棒的直径100微米,长度为2000微米,且发光微米棒的两端喷涂一层具有高反射深紫外发射290nm的DBR膜材料,其中DBR膜的反射率为90%;

[0043] 激发光源为980nm的纳米激光器,该激发光源激发上述发光微米棒深紫外发光;

[0044] 上述发光微米棒放置在椭圆腔体的焦点位置F1,坐标位于 $(-3,0)$ ;激发光源放置在椭圆腔体的焦点位置F2,坐标位于 $(3,0)$ 。

[0045] 本发明实施例的深紫外微腔激光器,实现高效290nm的上转换激光发射。

[0046] 实施例2

[0047] 一种增加上转换激发过程的深紫外微腔激光器,包括:椭圆腔体,以及位于所述椭圆腔体内的发光微米棒和激发光源;其中,

[0048] 椭圆腔体由制备的椭圆容器形成,椭圆容器内壁涂一层Al反射膜,用于全反射

980nm光,该椭圆镜容器形成的椭圆腔体横截面的尺寸范围为, $a=3$ 厘米, $b=2$ 厘米;

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1;$$

[0049] 发光微米棒由上转换发光材料 $M-N^{3+}$ 组成;该上转换发光材料 $M-N^{3+}$ 是掺杂稀土元素的微晶玻璃材料: $40SiO_2-20Al_2O_3-20-xNa_2O-5MgO-10NaYF_4:40\%Yb^{3+},1\%Tm^{3+},5\%Gd^{3+}$ ;该发光微米棒的直径150微米,长度为1500微米,且发光微米棒的两端喷涂一层具有高反射深紫外发射255nm的DBR膜材料,其中DBR膜的反射率为95%;

[0050] 激发光源为980nm的纳米激光器,该激发光源激发上述发光微米棒深紫外发光;

[0051] 上述发光微米棒放置在椭圆腔体的焦点位置F1,坐标位于 $(-2.236,0)$ ;激发光源放置在椭圆腔体的焦点位置F2,坐标位于 $(2.236,0)$ 。

[0052] 本发明实施例的深紫外微腔激光器,实现高效255nm的上转换激光发射。

[0053] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

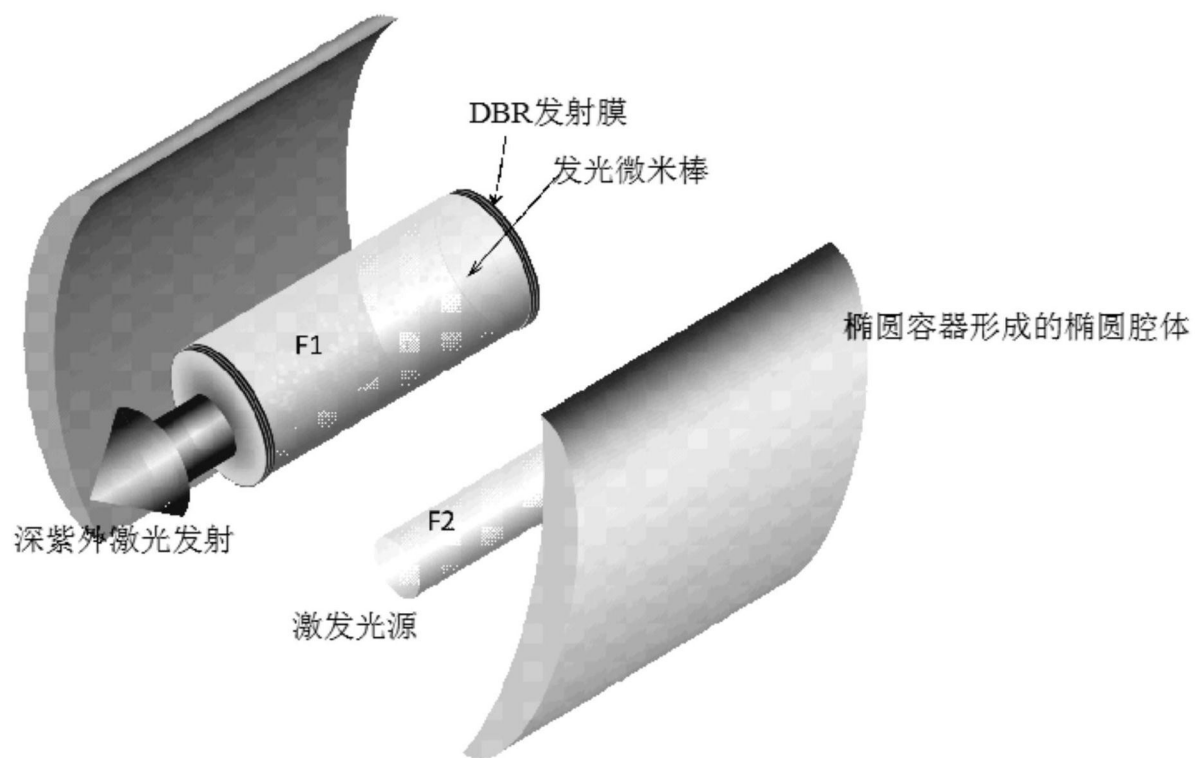


图1

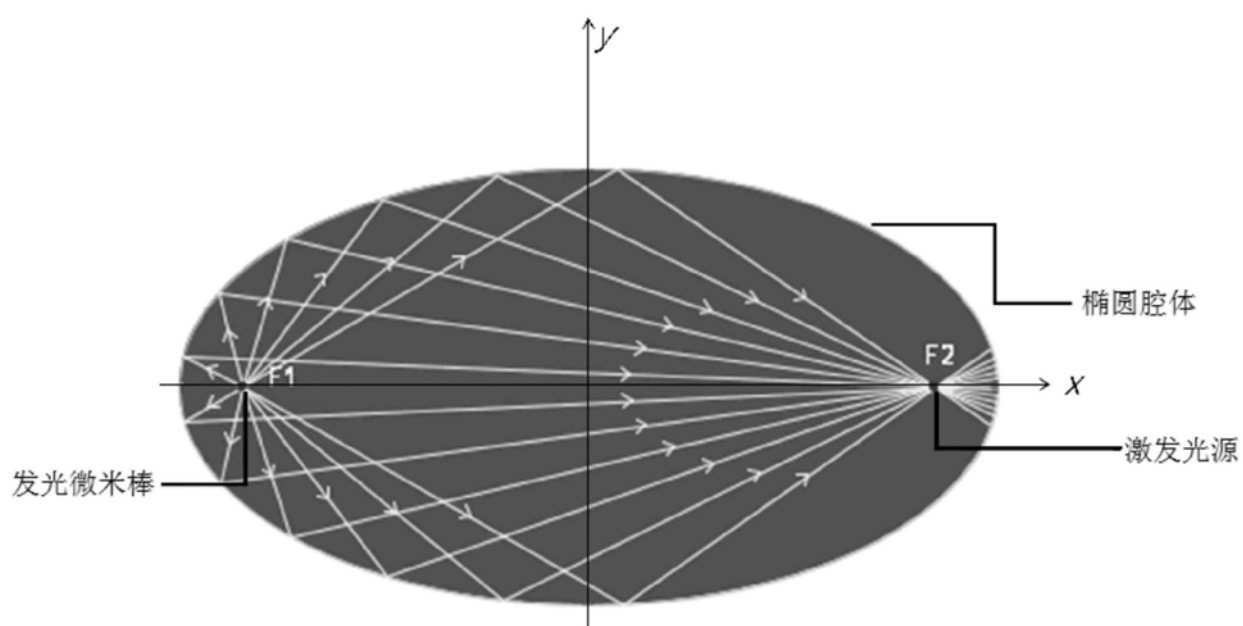


图2