



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111213087 A

(43)申请公布日 2020.05.29

(21)申请号 201880067284.2

(22)申请日 2018.09.18

(30)优先权数据

62/561,428 2017.09.21 US

15/809,572 2017.11.10 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2020.04.15

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2018/051401 2018.09.18

(87)PCT国际申请的公布数据

W02019/060255 EN 2019.03.28

(71)申请人 启艺光学两合公司

地址 德国哥廷根

(72)发明人 弗兰克·米勒

(74)专利代理机构 北京派特恩知识产权代理有限公司 11270

代理人 尚玲 陈万青

(51)Int.Cl.

G02F 1/39(2006.01)

权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

基于多模谐振OP0技术的具有多纵向模式连续波输出的光源

(57)摘要

一种提供多纵向谐振波的光源,特别地,通过利用光学参量振荡器(OP0)来产生宽带发射光谱。通过配置该系统将OP0泵浦到远高于振荡阈值,提供具有短相干长度的、宏观功率的可调谐光。通过附加的纵向模式加扰可以进一步缩短相干性。

1. 一种光源,包括:  
泵浦源,其被配置为产生泵浦光束;以及  
光学参量振荡器(OPO),所述OPO包括包含晶体的光学腔,所述晶体被配置为接收来自所述泵浦源的光并产生第一输出光束和第二输出光束,所述OPO具有OPO振荡阈值水平,  
其中,所述泵浦源被配置为以足够高于所述OPO振荡阈值的功率产生泵浦光束,使得所述OPO产生宽带和/或多模发射。
2. 根据权利要求1所述的光源,其中,所述泵浦源被配置为以超过所述OPO振荡阈值约3倍的功率产生泵浦光束。
3. 根据权利要求1所述的光源,其中,所述泵浦源被配置为以超过所述OPO振荡阈值约5倍的功率产生泵浦光束。
4. 根据权利要求1所述的光源,还包括设置在谐振OPO波上的纵向模式加扰机制。
5. 根据权利要求4所述的光源,其中,所述纵向模式加扰机制是机械加扰机制。
6. 根据权利要求5所述的光源,其中,所述纵向模式加扰机制选自以下中的一个或多个:抖动的光学谐振器长度、腔内标准具、折射光栅和非线性晶体,其中,所述纵向模式加扰机制被配置为调制所述OPO的相位匹配条件和/或波长相关增益或损耗。
7. 根据权利要求4所述的光源,其中,所述纵向模式加扰机制选自以下中的一个或多个:腔内电光相位调制器、腔内电光标准具或非线性晶体,其中,所述纵向模式加扰机制被配置为电光学调制所述OPO的非线性相位匹配条件和/或波长相关增益或损耗。
8. 根据权利要求1所述的光源,还包括光学谐振器内的第二非线性晶体,其中,所述第二晶体配置为用于附加的SHG过程、SFG过程或OPO过程。
9. 根据权利要求8所述的光源,其中,所述第二晶体被配置为使所述光源能够达到具有宽带的附加的波长范围和/或具有大于300GHz的带宽的多模发射。
10. 根据权利要求8所述的光源,其中,第二泵浦源被配置为泵浦所述第二非线性晶体。
11. 一种利用光学参量振荡器(OPO)产生宽带和/或多模式发射光源的方法,包括:  
提供泵浦源,所述泵浦源被配置为产生泵浦光束;  
提供光学参量振荡器(OPO),所述OPO包括光学腔,所述光学腔包含被配置为接收来自泵浦源的光并产生第一输出光束和第二输出光束的晶体,所述OPO具有OPO振荡阈值水平;  
以及  
用所述泵浦源产生泵浦光束,所述泵浦光束具有为所述OPO振荡阈值的至少约3倍的功率。
12. 根据权利要求11所述的方法,其中,所述OPO产生宽带和/或多模发射,以及其中,所述方法还包括谐振OPO波上的纵向模式加扰。
13. 根据权利要求12所述的方法,其中,所述纵向模式加扰是机械地完成的。
14. 根据权利要求12所述的方法,其中,所述纵向模式加扰通过抖动所述OPO的光学谐振器长度、提供OPO腔内标准具、提供折射光栅或提供非线性晶体来执行,其中,所述纵向模式加扰机制调制所述OPO的相位匹配条件和/或波长相关增益或损耗。
15. 根据权利要求12所述的方法,其中,所述纵向模式加扰通过使用腔内电光相位调制器、腔内电光标准具或非线性晶体来执行,其中,所述纵向模式加扰电光学地调制所述OPO的相位匹配条件和/或波长相关增益或损耗。

16. 根据权利要求11所述的方法, 还包括提供光学谐振器内的第二非线性晶体, 其中, 所述第二晶体被配置为执行附加的SHG过程、SFG过程或OPO过程。

17. 根据权利要求16所述的方法, 其中, 所述第二晶体被配置为使所述光源能够达到具有宽带的附加的波长范围和/或具有大于300GHz的带宽的多模发射。

18. 根据权利要求16所述的方法, 还包括提供第二泵浦源并且使用所述第二泵浦源泵浦所述第二非线性晶体。

## 基于多模谐振OPO技术的具有多纵向模式连续波输出的光源

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求享有2017年9月21日提交题为“LIGHT SOURCE WITH MULTI-LONGITUDINAL MODE CONTINUOUS WAVE OUTPUT BASED ON MULTI-MODE RESONANT OPO TECHNOLOGY”的美国专利申请序列号62/561,428和2017年11月10日提交的题为“LIGHT SOURCE WITH MULTI-LONGITUDINAL MODE CONTINUOUS WAVE OUTPUT BASED ON MULTI-MODE RESONANT OPO TECHNOLOGY”的美国专利申请序列号15/809,572的权益,它们的全部内容通过引用合并于此。

### 技术领域

[0003] 本发明总体上涉及一种提供多纵向模式谐振波的光源,并且更具体地,涉及一种利用光学参量振荡器(optical parametric oscillator,OPO)来产生宽带发射光谱的光源。

### 背景技术

[0004] OPO是发出具有可与激光媲美的性能的辐射的光源。OPO是将短波长泵浦光子分成两个较长波长光子(即信号光子和闲置光子)的非线性设备。信号光子和闲置光子的波长不是彼此独立的,而是可以进行波长调谐。

[0005] 如图1所示,OPO通过二阶非线性光学相互作用将频率为 $\omega_p$ 的输入激光波(“泵浦”)转换为两个较低频率( $\omega_s, \omega_i$ )的输出波。输出波的频率之和等于输入波频率: $\omega_s + \omega_i = \omega_p$ 。由于历史原因,具有较高频率 $\omega_s$ 的输出波称为信号,具有较低频率 $\omega_i$ 的输出波称为闲置。因为OPO不将全部输入能量转换为信号和闲置,所以残留的泵浦波也会被输出。

[0006] OPO需要光学谐振器,但是与激光器相比,OPO是基于非线性晶体中的直接频率转换,而不是受激发射。OPO表现出输入光源(泵浦)的功率阈值,低于该阈值时,信号和空闲频带中的输出功率可忽略不计。

[0007] OPO包括光学谐振器(腔)和非线性光学晶体。光学腔是镜子布置成的,其形成用于光波的谐振器。限制在腔中的光被多次反射,从而导致多次穿过非线性晶体。光学腔用于使信号波和闲置波中的至少一个谐振。在非线性光学晶体中,泵浦光束、信号光束和闲置光束重叠。

[0008] 尽管常规激光器产生受限的固定波长,但是OPO可能是理想的,因为由能量和动量守恒(通过相位匹配)确定的信号和闲置波长可以在宽范围内变化。因此,可以达到可能难以从激光中获得的波长,例如在中红外光谱区域、远红外光谱区域或太赫兹光谱区域中。此外,OPO允许通过例如改变相位匹配条件来实现宽波长可调性。这使OPO成为有用的工具,例如,用于激光光谱学。

[0009] 此外,虽然可以使用现有的光源,例如光谱过滤的等离子体源和超连续谱白光激光器,但这些光源的光子(能量)效率很低(通常每纳米(nm)几毫瓦(mW)输出功率)。另一方面,OPO/非线性光学(non-linear optics,NLO)技术显然可以提供更高的能效,并且具有更

多的大于50mW的窄带输出功率。因此,尽管超连续谱和等离子源产生的频谱很广(对于许多要求更窄带宽的应用而言),但其中有一部分被切除了,而OPO能够产生可调谐的相对窄带输出(因此不会因滤除而浪费功率)。因此,工业上需要解决上述缺点中的一个或多个。

## 发明内容

[0010] 本发明实施例提供了基于OPO技术的连续波(continuous wave,cw)光源,以及潜在的进一步NLO过程。特别地,虽然典型的CW OPO具有单纵向模式谐振波,但本发明被配置为提供高功率可调谐波长宽带发射(短相干)。根据本发明的实施例,将OPO泵浦到远高于阈值从而能够实现谐振波的多模操作,并可能还会产生拉曼线。特别地,本发明提供了一种多纵向模式(大于3种模式)谐振OPO,其具有潜在可控的模式内容以及可选的纵向模式加扰。产生的高谐振波功率使得能够进一步有效地进行腔内NLO混合(例如,二次谐波产生(second harmonic generation,SHG)),以产生多模和/或在比谐振波短的波长处加宽。

[0011] 根据一个方面,本发明提供一种光源,该光源包括泵浦光源和OPO,该泵浦光源被配置为产生泵浦光束,该OPO具有光学腔,该光学腔包含被配置为接收来自泵浦源的光并产生第一输出光束和第二输出光束的晶体,该OPO具有OPO振荡阈值水平。特别地,泵浦源被配置为以足够高于OPO振荡阈值的功率产生所述泵浦光束,从而所述OPO产生宽带和/或多模发射

[0012] 根据该方面的实施例可以包括以下特征的一个或多个。泵浦源可以被配置为以超过OPO振荡阈值大约3倍的功率产生泵浦光束。泵浦源可以被配置为以超过OPO振荡阈值大约5倍的功率产生泵浦光束。光源还可以包括设置在谐振OPO波上的纵向模式加扰机制。纵向模式加扰机制可以是机械加扰机制。纵向模式加扰机制可以选自抖动光学谐振器长度、腔内标准具、折射光栅和非线性晶体中的一个或多个,其中,纵向模式加扰机制配置为调制OPO的相位匹配条件和/或波长相关增益或损耗。纵向模式加扰机制可以选自腔内电光相位调制器,腔内电光标准具或非线性晶体中的一个或多个,并且纵向模式加扰机制可以被配置为电光调制OPO的非线性相位匹配条件和/或波长相关增益或损耗。光源还可以包括光学谐振器内的第二非线性晶体,其中,第二晶体被配置为用于附加的SHG、SFG或OPO过程。第二晶体可以被配置为使光源能够达到具有宽带的附加的波长范围和/或具有大于300GHz的带宽的多模发射。可以配置第二泵浦源来泵浦第二非线性晶体。

[0013] 根据另一方面,本发明提供一种利用OPO产生宽带和/或多模式发射光源的方法,包括:提供配置为产生泵浦光束的泵浦源;提供包括光学腔的OPO,光学腔包含被配置为接收来自泵浦源的光并产生第一输出光束和第二输出光束的晶体,OPO具有OPO振荡阈值水平;以及用泵浦源产生泵浦光束,泵浦光束具有OPO振荡阈值的至少约3倍的功率。

[0014] 根据该方面的实施例可以包括以下特征的一个或多个。OPO产生宽带和/或多模发射,以及该方法还包括谐振OPO波上的纵向模式加扰。纵向模式加扰可以机械地完成。纵向模式加扰可以通过抖动OPO的光学谐振器长度、提供OPO腔内标准具、提供折射光栅或提供非线性晶体来执行,其中,纵向模式加扰机制调制OPO的相位匹配条件和/或波长相关增益或损耗。纵向模式加扰可以通过使用腔内电光相位调制器、腔内电光标准具或非线性晶体来执行,其中,纵向模式加扰电光学地调制OPO的相位匹配条件和/或波长相关增益或损耗。该方法还可以包括提供光学谐振器内的第二非线性晶体,其中第二晶体被配置为执行附加

的SHG、SFG或OPO过程。第二晶体可以被配置为使光源能够达到具有宽带的附加的波长范围和/或具有带宽大于300GHz的多模发射。该方法还可以包括提供第二泵浦源,以及通过第二泵浦源泵浦第二非线性晶体。

[0015] 本照明系统有益地提供了可在包括显微镜和生物技术在内的各种应用中使用的产生光。

[0016] 通过研究以下附图和详细描述,本发明的其他系统、方法和特征对于本领域普通技术人员将是显而易见或将变得显而易见。旨在将所有这样的附加系统、方法和特征都包括在本说明书中,在本发明的范围内并且由所附权利要求书保护。

### 附图说明

[0017] 包含的附图提供了对本发明的进一步理解,并结合在本说明书中并构成本说明书的一部分。附图示出了本发明的实施例,并且与说明书一起用于解释本发明的原理。附图中的组件不必按比例绘制,而是将重点放在清楚地说明本发明的原理上。在附图中,每个类似的组件由类似的附图标记表示。为了清楚起见,可能不会在每个附图中标记每个组件。在附图中:

[0018] 图1是现有技术OPO的一般示意图。

[0019] 图2是根据本发明的第一实施例的由高功率泵浦源泵浦的OPO的示意图。

[0020] 图3是根据本发明第二实施例的由高功率泵浦源泵浦的OPO的示意图。

[0021] 图4是根据本发明的第三实施例的由高功率泵浦源泵浦的OPO的示意图。

### 具体实施方式

[0022] 以下定义对于解释应用于本文所公开的实施例的特征的术语是有用的,并且仅意在定义本公开内的元素。不旨在限制或不应由此得出权利要求书所使用的术语。所附权利要求书中使用的术语应仅受其在适用领域内的惯常含义的限制。

[0023] 通常将具有超过1个纵向模式的光源称为“多纵向模式”。然而,如在本公开内使用的,“多纵向模式”指纵向模式的数目大于3。在本上下文中,模式数目为2或者3可以被称为“少单模式”。

[0024] 如本公开内容中所使用的,无论是否由多个纵向模式、一条或多条加宽线、或任意频谱分布形成,并且无论在纵向模式加扰之前还是之后,“宽带”是指大于300GHz的带宽。

[0025] 如本公开内容中所使用的,“纵向模式加扰”是指用于连续地或经由跳频对模式进行快速频率调谐的方法。在本上下文中,提及模式的“快速”频率调谐意味着比针对应用及时解决的速度更快。模式的快速频率调谐的一个示例是大于100Hz的重复率(然而,这仅是示例,并且应当理解,在本发明中提及的模式的快速频率调谐不仅仅限于大于100Hz的值)。

[0026] 如本公开内所使用的,OPO通常是指连续波OPO(cw-OPO),而不是脉冲式OPO。通常,“连续波”或“cw”是指产生连续输出光束的激光器,有时称为“自由运行”,与具有脉冲输出光束的q开关、增益开关或锁模激光器不同。

[0027] 如本公开中所使用的,“镜子”是指具有至少一个反射表面的光学元件。反射表面可以反射从一个方向接收的光,但是透射从另一方向接收的光。反射表面可以反射一些波长并且透射其他波长。此外,反射表面可以部分透射和部分反射一些波长。

[0028] 现在将详细参考本发明的实施例,其示例在附图中示出。在附图和说明书中,尽可能使用相同的附图标记指代相同或相似的部件。

[0029] 总体上,本发明的实施例包括用于产生宽带激光辐射,尤其是通过使用多纵向谐振模式OP0产生宽带激光辐射的设备和方法。这与现有OP0相反,现有OP0被具体配置为在单个或基本单个模式下谐振。本实施例通过将OP0泵浦到远高于振荡阈值来实现期望的宽带激光辐射。通常已知这种宽带线宽或多模光源具有短的相关长度。

[0030] 现在参考附图中的各个附图,其中类似的附图标记表示类似的部分,在图2中示出了根据本发明的光源的一个实施例。如所示的,高功率泵浦源110泵浦OP0 150,这相应地会产生发射光谱。根据示例性实施例,高功率泵浦源110可以是普通的高功率激光器或放大的二极管或激光器的形式。本实施例的光源被配置为使得OP0 150的整个发射光谱在光谱上变宽并且是多模的。这可以通过迫使OP0在多模式下谐振和/或通过OP0150泵浦到远高于阈值以允许多模式OP0振荡来加宽模式而实现。这样,高功率泵浦源110可以是一种递送足够高的功率以允许谐振OP0波的多纵向模式操作的泵浦源。为了保持谐振OP0波为单纵向模式,常规OP0通常使用约为OP0振荡阈值的2.5倍的最大泵浦功率。根据本发明的实施例,为了产生多纵向模式谐振OP0波,泵浦功率优选地超过OP0振荡阈值的约3倍。根据优选实施例,泵浦功率超过OP0振荡阈值的约3.5倍,更优选地超过OP0振荡阈值的约4倍,更优选地超过OP0振荡阈值的约5倍,甚至更优选地超过OP0振荡阈值多于5倍。作为非限制性示例,假设示例性OP0振荡阈值约为2W,则在2瓦特至5瓦特之间递送的高功率泵浦源可以使谐振波保持为单纵向模式,而对于大于5瓦特的高功率泵浦水平,谐振波可以开始成为多纵向模式和/或被加宽。

[0031] 如图2所示,OP0 150包括光学谐振器152,该光学谐振器152针对配置用于OP0过程的NLO晶体154内部产生的波中的至少一个波谐振。为了增加模式的数量和间隔,实施例可以考虑加宽增益曲线。特别地,可以为NLO晶体154提供足够宽的相位匹配带宽(例如,通过使用足够短的NLO晶体来实现)以及可选的特殊形状的增益曲线(例如,通过使用铁电极化的啁啾OP0晶体或沿光束路径具有多光栅的铁电极化晶体来实现;可替代地或附加地,沿光束传播方向的温度梯度可能会施加到晶体上)。后一种选择甚至可以实现对发射光谱的详细形状的控制。例如,在具有啁啾极化的晶体中,极化周期可能沿光束传播略有变化,从而导致OP0的增益曲线变宽。使用沿光束路径具有多重光栅的晶体会产生与不同极化部分相关的增益曲线的叠加。例如,一个晶体可以包含几个平行的啁啾或多光栅区域,以进行更宽的波长调谐。在一些实施例中,可以使用啁啾扇出光栅,其极化周期长度沿着光束传播方向和垂直于光束传播方向逐渐变化。

[0032] 如果需要,可以提供用于加扰一个或多个谐振波的附加加扰装置158。例如,可以通过快速改变谐振器长度或对波长选择元件(例如标准具、衍射光栅等)进行快速抖动来实现这种加扰。例如,进一步构造OP0增益曲线的一种方法是使用厚的标准具。也可以考虑附加的纵向模式加扰(例如,快速抖动腔长度或有效的标准具厚度或衍射光栅或有效的铁电极化周期长度)。“腔长度”的快速抖动可以例如通过在压电元件上安装腔镜中至少之一来机械地完成,或者可以通过在谐振器内部插入电光相位调制器来完成。“有效标准具厚度”的快速抖动可以例如,通过在压电元件上安装空气间隔的标准具或者通过在抖动其自身角度的振镜上安装固体标准具来机械地完成;或者可以通过使用可能制成固态标准具的材料

的电光特性来完成。“衍射光栅”的快速抖动可以例如通过将其安装在抖动其自身角度的振镜上来机械地完成。“有效铁电极化周期长度”可以通过对具有多极化周期或扇出极化设计的晶体或沿平移方向具有温度梯度的极化晶体的快速平移来机械地抖动；或者可以通过利用非线性晶体的材料的电光特性来完成，对于两种类型的方法，都可以调制非线性相位匹配条件。对于具有电光性质的光学材料，可以通过施加电光场来快速改变折射率 $n$ 。然后，OP0150将光输出到可选的光谱滤光器160，该光谱滤光器160可以用于过滤光谱的一部分或改变光谱宽度(用于OP0输出)。

[0033] 图3示出了根据本发明的光源的另一实施例。本实施例类似于图2中所示的实施例，具有附加的NLO(非线性光学)晶体156以提供进一步的腔内非线性频率生成(例如，SFG=和频产生或SHG=二次谐波产生)过程，从而达到附加的波长范围。如结合图2所讨论的，高功率泵浦源110(例如，普通的高功率近红外(Near Infrared, NIR)激光器或放大的二极管或激光器)将OP0 250泵浦至远高于阈值以产生在光谱上变宽的发射光谱。

[0034] 类似于结合图2描述的实施例，图3的OP0模块250包括光学谐振器152，该光学谐振器152对于在NLO晶体154内部产生的波中的至少一种波谐振。第二晶体156可以被配置为用于涉及谐振波的SHG过程和/或SFG过程。晶体154、156可以被提供有足够大的相位匹配带宽，并且可以可选地具有特殊形状的增益曲线(例如，通过使用啁啾铁电极化的OP0晶体或沿光束路径具有多重光栅的铁电极化晶体)。如果需要，可以提供用于加扰谐振波的附加加扰装置158。例如，可以通过快速改变谐振器长度或对波长选择元件进行快速抖动来实现这种加扰。例如，进一步构造OP0增益曲线的一种方法是使用厚的标准具。也可以考虑其他纵向模式加扰(例如，快速抖动腔长度或有效的标准具厚度或衍射光栅或有效的铁电极化周期长度)。“腔长度”的快速抖动可以例如通过将腔镜中的至少一个安装到压电元件上来机械地完成，或者可以通过在谐振器内部插入电光相位调制器来完成。“有效标准具厚度”的快速抖动可以例如通过在压电元件上安装空气间隔的标准具或者通过在抖动其自身角度的振镜上安装固体标准具来机械地完成；或者可以通过使用可能制成固态标准具的材料的电光特性来完成。“衍射光栅”的快速抖动可以例如通过将衍射光栅安装在抖动其自身角度的振镜上来机械地完成。“有效铁电极化周期长度”可以通过对具有多极化周期或扇出极化设计的晶体对沿平移方向具有温度梯度的极化晶体的快速平移来机械地抖动；或者可以通过利用可能制成非线性晶体的材料的电光特性来完成，对于两种类型的方法，都可以调制非线性相位匹配条件。对于具有电光性质的光学材料，可以通过施加电光场来快速改变折射率 $n$ 。然后，OP0 150将光输出到可选的光谱滤光器160，该光谱滤光器160可以用于过滤光谱的一部分或改变光谱宽度(用于OP0输出/SFG输出/SHG输出)。

[0035] 图4示出了根据本发明的光源的另一实施例。与图3相反，一个SFG过程可以涉及谐振OP0波和第二光源120。因为谐振OP0波是宽带的，因此该SFG输出也可以具有较小的相干长度。如结合图2和图3所讨论的，高功率泵浦源110将OP0 250泵浦至远高于阈值，从而产生宽带发射光谱。

[0036] 类似于结合图3描述的实施例，图4的OP0模块250包括光学谐振器152，该光学谐振器152与在NLO晶体154内部产生的至少一种波谐振。第二晶体156被配置为用于涉及谐振波的SHG过程和/或SFG过程。SFG过程可以涉及谐振波和第二光源120。晶体154、156可以被提供有足够大的相位匹配带宽，并且可以可选地具有特殊形状的增益曲线(例如，通过使用啁



啾OPO晶体或沿光束路径具有多重光栅的晶体)。如果需要,可以提供用于加扰一个或多个谐振波的附加加扰装置158。例如,可以通过快速改变谐振器长度或对波长选择元件进行快速抖动来实现这种加扰。例如,进一步构造OPO增益曲线的一种方法是使用厚的标准具。也可以考虑附加的纵向模式加扰(例如,快速抖动腔长度或有效的标准具厚度或衍射光栅或有效的铁电极化周期长度)。然后,OPO 150将光输出到可选的光谱滤光器160,该光谱滤光器160可用于过滤光谱的一部分或改变光谱宽度(用于OPO输出/SFG输出/SHG输出)。

[0037] 如此,本发明提供一种光源,该光源能够产生具有短相干长度的、宏观功率的可调谐光。特别地,利用具有高功率水平的泵浦源来以远高于OPO振荡阈值水平的功率泵浦OPO。作为结果,OPO产生两种新波,通常称为信号和闲置。OPO腔对于两种新波中的至少一种谐振。根据实施例,输入泵浦功率足够大,从而允许一个或多个谐振波为多纵向模式和/或线宽加宽。给OPO提供具有宽相位匹配带宽和加宽的增益曲线(例如,通过啁啾铁电极化,或者通过使用多极化晶体芯片获得多增益峰)的NLO晶体。该光源可以可选的包括其他元件,例如用于进一步进行增益成形的厚标准具。如果希望,可以通过纵向模式加扰进行附加的加宽(例如,通过腔体抖动或标准具抖动或衍射光栅抖动或晶体极化周期抖动)。附加的腔内NLO过程(例如,谐振波的SHG或带有谐振波的SFG)可以可选地导致不同波长的有效产生。如此,提供了在多模式(大于3个模式)下的cw-OPO谐振。根据本发明,由于腔内谐振波功率高,任何涉及谐振OPO波的产生都是非常有效的。例如,对于某些OPO,谐振OPO波的功率水平可以超过10W、超过100W、或者甚至超过1000W。有利地,本发明的光源能够有效地产生在VIS/IR波长范围内的辐射。这样的照明系统能够产生适合于包括显微镜和生物技术的应用的光。

[0038] 鉴于前述内容,意图是本发明涵盖本发明的修改和变型,只要它们落入所附权利要求及其等同物的范围内即可。

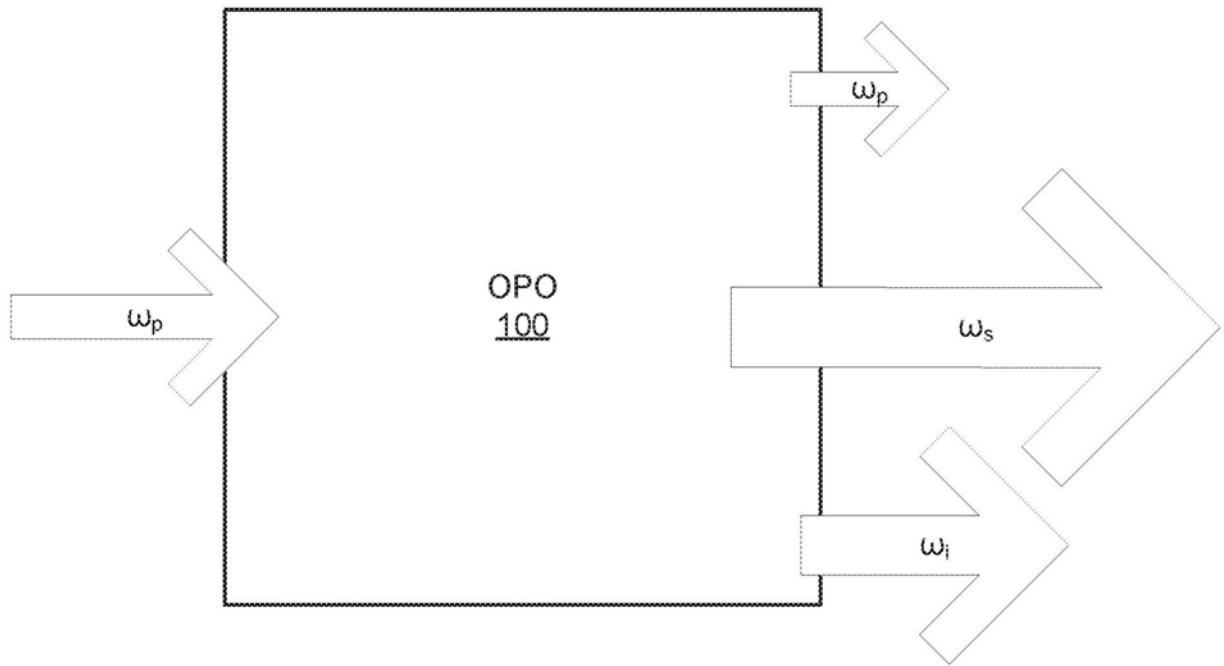


图1 (现有技术)

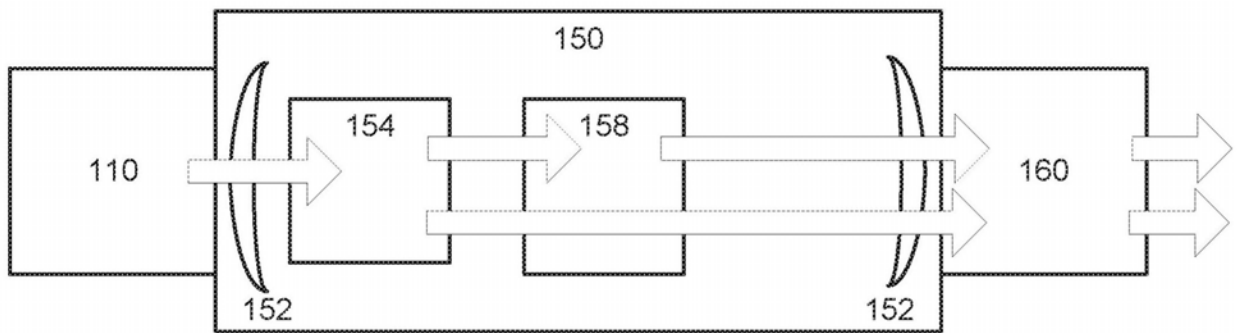


图2

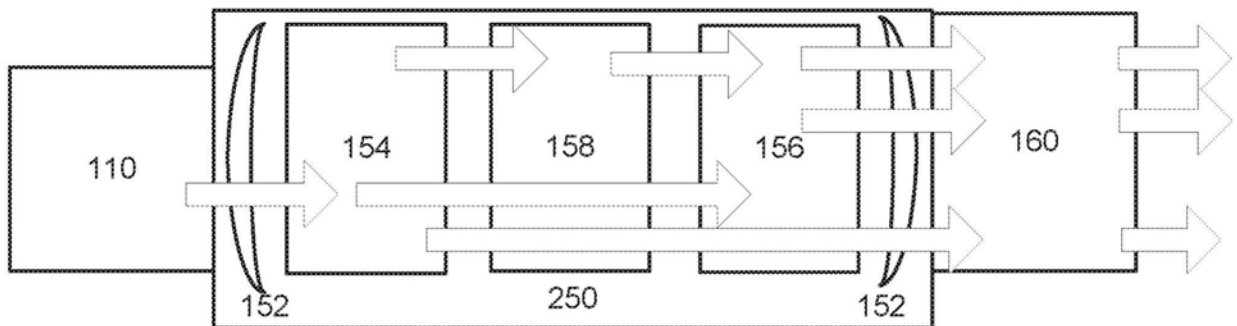


图3

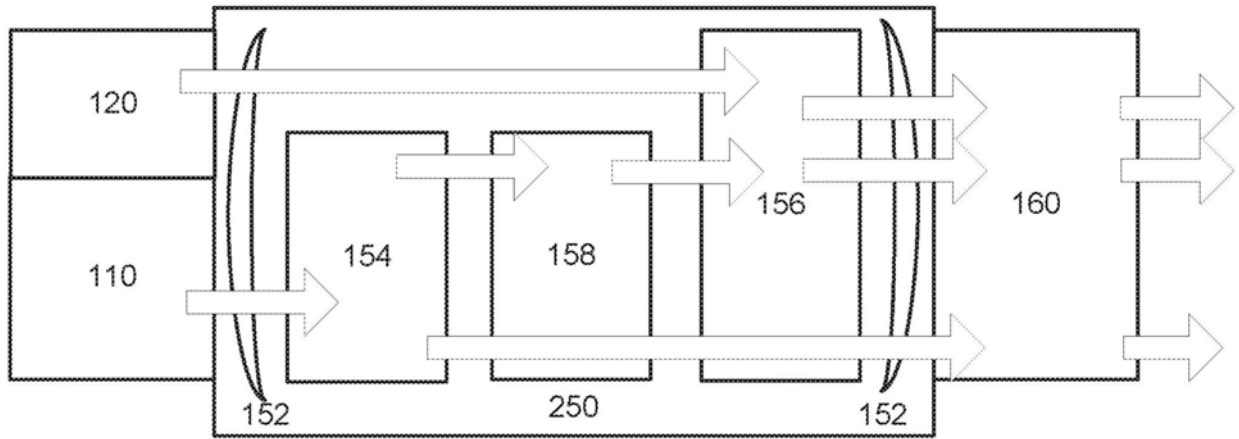


图4