(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104577682 B
(45)授权公告日 2019.11.05

(21)申请号 201410550953.5

(22)申请日 2014.10.16

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104577682 A

(43)申请公布日 2015.04.29

(30)优先权数据
14/056,581 2013.10.17 US

(73)专利权人 波音公司
地址 美国伊利诺斯州

(72)发明人 迈克尔·C·凯茨
马修·H·贝克曼
马修·D·尼克松

(74)专利代理机构 北京康信知识产权代理有限责任公司 11240
代理人 余刚 吴孟秋

(51)Int.Cl.
H01S 3/08(2006.01)
H01S 3/081(2006.01)

(56)对比文件
CN 102460860 A,2012.05.16,
US 2002/0172253 A1,2002.11.21,
US 2007/0116081 A1,2007.05.24,
US 2012/0155503 A1,2012.06.21,
US 2010/0027572 A1,2010.02.04,
US 2009/0268775 A1,2009.10.29,

审查员 薛正燕

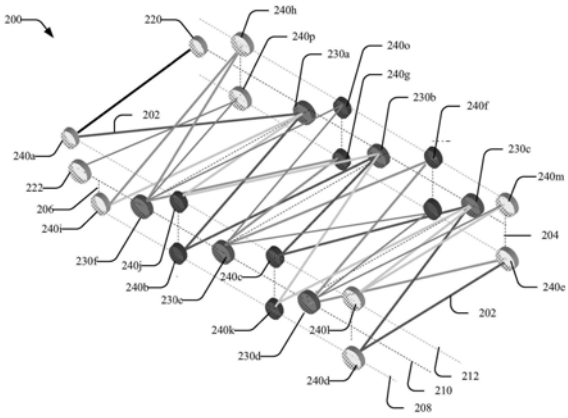
权利要求书2页 说明书9页 附图7页

(54)发明名称

非稳成像谐振腔

(57)摘要

本发明涉及非稳成像谐振腔。在一个方面中,功率放大器包括设置在第一垂直平面中的多个第一激光盘以及设置在与第一垂直平面相对的第二垂直平面中的多个第二激光盘,其中,多个激光盘被设置在中央水平面中,并且多个第一反射镜被设置在第一垂直平面中的以及多个第二反射镜被设置在第二垂直平面中的,其中,第一组反射镜被设置在下水平面中并且第二组反射镜被设置在上水平面中,其中,沿着光轴相邻的相应激光盘和反射镜被定位以在其间设置1:1成像系统。可描述其它方面。



CN 104577682 B

1.一种非稳成像谐振腔(200),包括:

反馈镜(220)和主镜(222),提供沿着所述反馈镜与所述主镜之间的光轴(202)传播的激光信号的非稳谐振腔振荡;

多个第一激光盘(230a-c),设置在第一垂直平面(204)中;以及多个第二激光盘(230d-f),设置在与所述第一垂直平面(204)相对的第二垂直平面(206)中,其中,所有多个第一激光盘和多个第二激光盘(230a-f)都被设置在中央水平面(210)中;以及

多个第一反射镜(240e-h),设置在所述第一垂直平面(204)中;以及多个第二反射镜(240a-d),设置在所述第二垂直平面(206)中,其中,所述多个第一反射镜(240e-h)和所述多个第二反射镜(240a-d)中的第一组反射镜(240b、240d、240e、240g)被设置在下水平面(208)中并且所述多个第一反射镜(240e-h)和所述多个第二反射镜(240a-d)中的第二组反射镜(240a、240c、240f、240h)被设置在上水平面(212)中;

其中,在所述光轴中邻近的相应激光盘和反射镜被定位以在所述激光盘与所述反射镜之间设置1:1成像系统,

其中,

所述第一垂直平面(204)被设置在所述多个第二激光盘(230d-f)和所述多个第二反射镜(240a-d)的像面中;并且

所述第二垂直平面(206)被设置在所述多个第一激光盘(230a-c)和所述多个第一反射镜(240e-h)的像面中。

2.根据权利要求1所述的非稳成像谐振腔(200),其中,

所述反馈镜(220)被设置在所述第一垂直平面(204)中;

所述主镜(222)被设置在所述第二垂直平面(206)中;以及

所述反馈镜和所述主镜被设置在所述中央水平面(210)中。

3.根据权利要求1所述的非稳成像谐振腔(200),其中,

所述多个第一激光盘(230a-c)包括具有第一曲率半径和第一焦距的凹球面;

所述多个第二激光盘(230d-f)包括具有等于所述第一曲率半径和所述第一焦距的第二曲率半径和第二焦距的凹球面;

所述多个第一反射镜(240e-h)包括具有等于所述第一曲率半径和所述第一焦距的第三曲率半径和第三焦距的凹球面;以及

所述多个第二反射镜(240a-d)包括具有等于所述第一曲率半径和所述第一焦距的第四曲率半径和第四焦距的凹球面。

4.根据权利要求3所述的非稳成像谐振腔(200),其中,邻近的激光盘(230)和反射镜(240)沿着所述光轴(202)分离与所述第一曲率半径相对应的距离。

5.根据权利要求1所述的非稳成像谐振腔(200),其中,

从所述上水平面(212)中的反射镜(240a、240c、240f、240h)反射至激光盘(230)上的激光信号由所述激光盘反射至所述下水平面(208)中的反射镜(240b、240d、240e、240g);以及

从所述下水平面(208)中的反射镜(240b、240d、240e、240g)反射至激光盘上的激光信号由所述激光盘反射至所述上水平面(212)中的反射镜(240a、240c、240f、240h)。

6.根据权利要求1至5中任一项所述的非稳成像谐振腔(200),其中,经由所述反馈镜(220)输入至所述谐振腔的激光信号在所述激光信号的一部分经由所述反馈镜离开所述谐

振腔之前撞击每个激光盘(230a-f)四次。

7.根据权利要求1所述的非稳成像谐振腔(200),其中,激光信号在所述光轴(202)中的邻近的激光盘(230a-f)之间被反转。

8.根据权利要求1所述的非稳成像谐振腔(200),其中,

所述反馈镜(220)、所述主镜(222)和相应的激光盘(230)和反射镜(240)被定位以设置负支成像谐振腔。

9.根据权利要求1所述的非稳成像谐振腔(200),其中,

其中,所述反馈镜(220)、所述主镜(222)和相应的激光盘(230)和反射镜(240)被定位以设置正支成像谐振腔。

非稳成像谐振腔

技术领域

[0001] 本文中描述的主题涉及激光谐振腔系统，且更具体地涉及非稳成像谐振腔(unstable imaging resonator)。

背景技术

[0002] 固态激光盘具有沿着其背面安装至散热器的有源薄盘增益介质。背面对于激光和泵浦波长具有高度反射性并且前表面对于激光和泵浦波长具有高度透射性。在盘的前表面或“正面”进入盘，传播至背面的外部激光束被背面反射回至其离开盘的前表面。当在盘中传播时，激光束从盘提取能量。

[0003] 失去的能量由泵浦激光束还原，其还在盘的前表面进入盘，传播至背面的泵浦激光束被反射和传播至其离开盘的前表面。当通过盘进行传播时，泵浦光束将能量存放至盘并且激励介质。示例有源介质的是以可以是直径为10至2000毫米(mm)和厚度为200微米(0.20mm)的环形盘格式设置的Yb:YAG(掺镱钇铝石榴石)。泵浦光源通常由提供大于激光波长处的整体增益的二极管激光阵列设置，以使具有起到有源反射镜(active mirror)作用的激光盘。泵浦光束被以避免干扰激光束的入射角度呈现于正面。

[0004] 可以通过增加由泵浦光源传递的功率和/或将多个激光盘结合至激光盘谐振腔来增加激光盘输出光束功率。稳定的激光盘谐振腔被用于将多个盘的单个输出激光功率组合成用于例如在金属加工应用的多千瓦激光输出光束。由稳定的激光盘谐振腔产生的高功率输出光束是多模式的，并且通常是衍射极限的五十倍。虽然这适合于工业应用，诸如激光焊接，但不适于需要更加精确和紧密集中的输出激光束的应用。因此，期望提供产生高能量、可被用于更加精确的激光束应用的近衍射极限激光束的多个激光盘谐振腔。

发明内容

[0005] 在一个方面中，非稳成像谐振腔包括反馈镜(feedback mirror)和主镜 (primary mirror)，两者提供沿着反馈镜与主镜之间的光轴传播的激光信号的非稳的谐振腔振荡；多个第一激光盘，设置在第一垂直平面；以及多个第二激光盘，设置在与第一垂直平面相对的第二垂直平面中，其中，多个激光盘被设置在中央水平面中；以及多个第一反射镜，设置在第一垂直平面中；以及多个第二反射镜，设置在第二垂直平面中，其中，第一组反射镜被设置在下水平面中并且第二组反射镜被设置在上水平面中。其中，在光轴中相邻的相应激光盘和反射镜被定位以在其间设置1:1成像系统。

[0006] 在另一方面中，功率放大器包括：多个第一激光盘，设置在第一垂直平面；以及多个第二激光盘，设置在与第一垂直平面相对的第二垂直平面中，其中，多个激光盘被设置在中央水平面中，以及多个第一反射镜，设置在第一垂直平面中；以及多个第二反射镜，设置在第二垂直平面中，其中，第一组反射镜被设置在下水平面中并且第二组反射镜被设置在上水平面中，其中，沿着光轴邻近的相应激光盘和反射镜被定位以在其间设置1:1 成像系统。

[0007] 参照以下说明和附图可以看出本文中论述的特征、功能及优点可以在本文中描述的各种示例中独立地或者可以结合其它示例实现的更多细节。

附图说明

[0008] 参考附图描述具体实施方式。

[0009] 图1是根据示例的1:1成像系统的示意框图。

[0010] 图2是根据示例的普通谐振腔的示意图。

[0011] 图3是根据示例的成像系统和谐振腔的简化示图的示意图。

[0012] 图4是在图3中示出的构造的重新布置的示意图。

[0013] 图5是根据示例的非稳谐振腔的第一类型的示意图。

[0014] 图6是根据示例的非稳谐振腔的第二类型的示意图。

[0015] 图7至图8是根据示例的谐振腔的操作原则的示意图。

[0016] 图9至图11是根据示例的谐振腔的示意图。

[0017] 图12是根据示例的功率放大器的示意图。

具体实施方式

[0018] 在以下描述中，阐述了许多具体细节以便提供多个实施方式的全面的理解。然而，本领域的普通技术人员将理解，可以无需具体细节实践多个实施方式。在其他实例中，为了不使具体实施方式模糊，没有详细示出或描述已知的方法、程序、组件以及电路。

[0019] 本发明提供了用于从N个激光盘的阵列创建单个多千瓦的、单横模、近衍射极限输出激光束的方法和装置。为了以单横模的方式提供多千瓦输出功率光束，需要使用其中从反馈镜的边缘提供的激光输出的非稳谐振腔。单模稳定谐振腔不能与较大直径(例如，1cm)的高功率盘一起使用，因为对于实际的稳定谐振腔的基本模式直径仅为1或2mm的直径。

[0020] 为了提供近衍射极限、单横模激光，激光盘被设置为与非稳谐振腔中的反射镜相关联，以此方式使得每个激光盘和反射镜组合起到1:1成像系统的作用。这还提供了输出至邻接的激光盘上的每个激光盘的完全成像。这提供了单横模谐振腔并且提供了有效的盘功率提取。为了实现这个，布置激光盘与反射镜，使得每个球面镜表面均被定位在相应的激光盘和反射镜像面中，相应的激光盘和反射镜像面对于它们沿着光轴的放置的范围的选择的图像距离而交替隔开。如以下进一步详细地描述，每个激光盘反射镜组合提供了1:1的成像系统。

[0021] 为了教导在光学谐振腔内放置成像系统所涉及的原理，首先参考图1 至10。图1示出了具有相同的正透镜L1与L2的1:1成像系统20。透镜均具有焦距f并且如被放置在光轴22上，它们具有共同的焦点F2。1:1成像系统20利用统一的放大倍率对所有物体进行成像，因此物体平面F1中的具有复振幅u(x,y)的电磁场24a、24b被系统20简单中继至具有复振幅u(-x,-y)的像面F3。中继本质上为零光学距离传播和180度旋转。1:1成像系统20的物理长度是4f，但是其光学长度是零。

[0022] 图2示出任意的双镜谐振腔26，该双镜谐振腔26被示出具有间隔L 的凹端镜(concave end mirror)M1和M2。如图3中所示，谐振腔26可以被放置于成像系统20的光轴22上。在图4中，反射镜M1然后向左移动4f的距离至重新定位的图像位置27，其向光学谐振腔

26提供有嵌入内部的1:1成像系统20，以形成成像光学谐振腔28。该成像光学谐振腔28 与谐振腔26(图2)在裸腔性能(bare cavity performance)方面基本上相同，然而在硬件上不同。即，如作为裸腔特征值的大小，在反射镜M1和 M2上的裸腔场(bare cavity field)对于谐振腔26和成像谐振腔28实质上相同。1:1成像系统20的插入没有改变谐振腔的输出激光束的本质特征。如果谐振腔26(图2)被设计用于期望的谐振腔性能，例如，良好的横模辨别力，成像谐振腔28将拥有这些相同的期望的特性。为了获得该性能，必须肯定透镜L1与L2在内腔光束以传播的方式通过1:1成像系统时没有显著的孔径(aperture)。

[0023] 因此，用于在任何谐振腔内插入1:1成像系统的过程是在谐振腔的光轴上选择点。将所有的谐振腔光学元件移至该点的左边，并将它们向左移动4f的距离，然后将具有物理长度4f的1:1成像系统插入到所提供的空闲空间中。形成的成像谐振腔将拥有原始谐振腔的所有的裸腔性能属性。该过程可以通过空出等于N个4f的空间被延伸为创建具有N个层叠的1:1 成像系统的成像谐振腔系统，并且形成的新的谐振腔将拥有原始的父谐振腔的裸腔性能属性。

[0024] 在图5和图6中示意地示出可以与本发明一起使用的两种类型的非稳谐振腔。图5是具有球面凸入的反馈镜(FB)32和球面凹入的主镜(PRI) 34的正支(positive branch)非稳谐振腔30。由反馈镜32反射的光36看起来是来自焦点F。光36在来自主镜34的反射上进行校准以产生围绕反馈镜32的校准的环形输出激光束38。反馈镜和主镜32、34共享共同的焦点F使得谐振腔30是共焦的非稳谐振腔。

[0025] 反馈镜32的直径是2a并且主镜的直径是2Ma或更大，其中M>1并且是谐振腔放大倍率。主镜34的焦距是f。这是反馈镜32的等于f/M的焦距的M倍。反射镜32和34之间的距离是L＝f(M-1)/M。

[0026] 图6是具有球面凹入的反馈镜(FB)32和球面凹入的主镜(PRI)44 的负支(negative branch)非稳谐振腔40。由反馈镜32反射的光36被聚焦在焦点F上并且在从主镜44的反射上校准以产生围绕反馈镜32的校准的环形输出激光束48。反馈镜和主镜32、44共享公共的焦点F使得谐振腔40是共焦的非稳谐振腔。主镜44具有焦距f并且反馈镜32具有焦距 f/M，其中，M>1是非稳谐振腔的放大倍率。反射镜被分离L＝f(M+1)/M 的距离。

[0027] 在图7和图8中示出了具有图5的1:1成像系统20嵌入它们中的谐振腔30和40。仅为了说明的目的并且没有推测的限制，图7和图8的成像谐振腔被示出带有具有公共焦点F1的反馈镜和透镜L1以及具有公共焦点F3的主镜和透镜L2。此外，为了方便，主镜的焦距是f并且反馈镜的焦距是f/M。这使得在L1、L2和主镜上的内腔光束大小全部具有2Ma(其中，M再次是放大倍率并且a是反馈镜的直径)直径；这对于反馈通过 (feedback pass)和输出通过(output pass)来说是成立的。如果图6和图 7的谐振腔拥有良好的横模辨别力并且产生近衍射极限输出光束，那么，然后图7和图8的成像谐振腔将做同样的事。

[0028] 参考图7，其是非稳的、正支成像谐振腔(PBIR)50。透镜L1、L2 和球面凹入的主镜44都具有焦距f并且被分离2f的距离。球面凸起的反馈镜54具有焦距f/M，并且位于距L1的距离为L处。再一次，L＝f(M-1)/M，其中，M>1是谐振腔50的放大倍率。当校准的输出光束被反馈镜FB反射时，反射的光成为看起来是来自F1的发散光束56a、56b。

[0029] 我们现在将利用由虚线示出的反射光束和实线示出的返回或前进光束来跟随该光束一圈。当光束56a、56b到达L1时，然后其为校准的58a、 58b并且透镜L2将光束聚焦在F3

处，使得当其到达主镜44时为发散的 60a、60b。主镜反射其作为校准的光束62a、62b，然后由透镜L2将其聚焦在F2处，并且当入射在透镜L1上时其为发散的64a、64b，然后透镜 L1将其校准为输出光束66a、66b。当校准的光束到达反馈镜54时，其完成了整个往返行程。在往返行程中，光束两次(在F3和F2)穿过焦点，并且偶数个内腔焦点的使谐振腔50表现出非稳的、正支成像谐振腔 (PBIR)的特征。PBIR将始终具有偶数个内腔焦点。

[0030] 图8是具有球面凹入的反馈镜72和球面凹入的主镜74的负支成像谐振腔(NBIR) 70。如上所述，透镜L1、L2以及主镜74都具有焦距f并且分离2f。反馈镜72具有焦距f/M，并且位于与L1相距L。再一次地， L＝f(M+1)/M，其中，M>1是非稳谐振腔的放大倍率。当校准的光束冲击在反馈镜72上时，其被反射。当其穿过F1处的焦点时，其成为会聚光束 76a、76b，并且当入射在透镜L1上时，其为发散的78a、78b。

[0031] 我们现在将跟随该光束行进一圈。当光束78a、78b到达L1时，然后光束78a、78b为校准的80a、80b并且通过透镜L2将其聚焦在F3处，使得当其到达主镜74时为发散的82a、82b。这完成了反馈通过，并且主镜将光束反射作为校准的光束84a、84b。透镜L2将光束聚焦在F2处，因此当入射在透镜L1时，其为发散的86a、86b，然后，将其校准为输出光束88a、88b。当校准的光束到达FB时，其完成输出通过以及整个往返行程。在往返行程中，光束三次(在F1、F3以及F2)经过焦点，并且奇数个内腔焦点使谐振腔70表现为非稳的、负支成像谐振腔(NBIR)的特征。NBIR将始终具有奇数个内腔焦点。

[0032] 上文针对图1至图10的描述示出了涉及将1:1成像系统嵌入非稳谐振腔中以提供NBIR和PBIR(都可应用于本发明)类型的非稳谐振腔这两者的原理。以下是取代用于图1至图4和图7至图8的成像系统透镜 L1和L2中的一个或者两个的激光盘的1:1成像系统的详细描述。虽然就非稳NBIR而言提供了该教导，应理解，非稳PBIR可同等地应用，并且可以针对PBIR做出可比较的实施方式。

[0033] 现在参考图9，其示出了具有作为端镜的球面凹入的反馈镜92和球面凹入的主镜94的非稳NBIR 90。在谐振腔光轴96的相对端的谐振腔空腔中设置端镜。在端镜92、94之间嵌入由沿着光轴按顺序布置的凹镜D1 (98)和R1(100)组成的1:1成像系统。镜D1和R1形成1:1成像系统并且代替参照图11和图12描述的早先的成像系统的透镜L1和L2。如图9中所示，这些反射镜中的两个具有焦距f并且分离2f的距离。在该实施方式中，主镜94还具有焦距f并且反馈镜92具有焦距f/M，其中，M>1 是谐振腔的放大倍率，因此，非稳成像谐振腔是共焦点的。

[0034] 在该实施方式中，凹镜D1(98)是激光盘并且R1是中继镜。诸如从德国迪琴根的王牌(TRUMPF)股份有限公司可获得的掺杂薄激光盘的 Yb:YAG的激光盘起到具有光增益的球面凹镜，即“有源反射镜”的作用。这些激光盘通常厚度小于0.22mm，盘直径通常是一厘米。盘凹入的前表面可以拥有两米的典型曲率半径(ROC)，并且它们通过来自以(未妨碍主Yb:YAG激光束)入射的角度入射在盘前表面的二极管激光堆叠的泵浦光来从前面泵浦。盘的相对侧或背面被安装至散热器。

[0035] 反射镜R1(100)和盘D1(98)的直径大于2Ma，并且两者具有相同的曲率半径。盘D1上的泵浦直径约为2Ma。如果焦距f＝1/2ROC，那么间距是ROC并且NBIR 90是共焦点的。R1镜和D1盘沿着光轴按顺序以彼此倾斜的关系进行布置，全部作为NBIR 90的元件。倾斜的角度被选择为具有与泵浦光的激光盘不同的D1的表面的入射的角度，并且另外如光学元件的顺

序布置允许的一样接近正交，以使激光束散光最小化并且提供通过1:1成像系统的激光的全部成像。

[0036] 我们再次在NBIR 90的往返行程中跟随激光束，其中，以虚线示出从反馈镜92反射的返回光并且以实线示出前进路径光。从反馈镜92反射的光102a、102b会聚至焦点F1并且当入射在D1时为分散的。D1在入射在R1时校准光束104a、104b，其将光束聚焦在F3处，其中随着入射在主镜94时使106a、106b发散。主镜校准对光束108a、108b进行校准并且将其呈现至R1，其在焦点F2处聚焦并且在D1上使110a、110b发散。然后，D1将光校准作为输出光束112。往返行程光束按顺序聚焦在F1、F3以及F2处，奇数的内腔焦点使谐振腔表现为负支成像谐振腔的特征。

[0037] 如上所述，1:1成像系统可同样地嵌入PBIR构造，虽然NBIR构造提供较小对齐敏感性的额外好处。同样的，在图9的实施方式和以下的每个实施方式中，激光盘和反射镜的位置可以互换，并且还可以利用激光盘替换反射镜自身，使得1:1成像系统的光学元件可以是激光盘。

[0038] 图10是具有嵌入在谐振腔内的两个层叠的1:1成像系统的NBIR 114。这包括相互间隔2f的距离的、都具有焦距f的D1(116)和R1(118)和 D2(120)和R2(122)。成像系统以倾斜的方式沿着NBIR光轴124按顺序布置在反馈镜126与主镜128之间。主镜128具有焦距f并且反馈镜具有焦距f/M，其中，M>1是非稳谐振腔的放大倍率，并且NBIR 114是共焦点的。

[0039] 为了避免说明的复杂性，NBIR 114的这六个元件的光束传播以单线 (谐振腔的光轴)示出。如所理解的是，NBIR输出光束130被校准，并且从反馈镜反射的光是聚焦在F1处的会聚光束。然后，反射的光在其相反(反馈)的路径上聚焦在F3和F5处，并且在其前进(输出)路径上在 F4和F2聚焦，总共五个焦点。

[0040] 如可以从图9至图10的实施方式看出，输出激光束的本质特征独立于层叠和嵌入谐振腔的1:1成像系统的数量。因此，本发明允许缩放允许合并根据需要的多个激光盘以满足诸如输出功率的功能性需求，其服从大小和重量的物理限制。

[0041] 在这种缩放中，所的有盘在彼此上成像，并且所有的中继镜在彼此之上成像。选择焦距为f和间隔为2f以提供在反馈通过和输出通过这两者上的所有的激光盘上具有相同直径的内腔谐振腔光束。对于来自激光盘的有效的功率提取来说，这是所期望的。

[0042] 在对于戴尔A霍姆斯(Dale A.Holmes)的美国专利第7,978,746号中可以发现背景技术示例，并且该背景技术示例被指定给美国伊利诺斯州、芝加哥的波音公司，其描述了构造为在谐振腔中的相邻的光学元件之间设置1:1成像系统的非稳激光谐振腔。

[0043] 在美国专利第7,978,746号中描述的示例谐振腔中，激光盘被沿着中轴定位在第一平面中并且反射镜被定位在与第一平面平行并相对的第二平面中。本文描述的谐振腔结构提供了与美国专利第7,978,746号中描述的那些可比较的光学器件，但是为了更加紧凑的结构，其使更大的功率放大倍率在谐振腔系统大小上产生物理限制。

[0044] 现在参考图11中描述的示例，非稳图像谐振腔200包括布置在两个相反平面中的光学元件，两个相反平面被描述为图11中的垂直平面：第一垂直平面204和第二垂直平面206。此外，在三个平行平面中设置谐振腔200的光学元件，三个平行平面在图11中被描述为水平的：下水平面 208、中央水平面210以及上水平面212。应理解，术语“水平的”和“垂直的”在本文仅用于清楚地描述，并不意味着参考外部方位系统的方位。谐振腔的具体方位可

以参考外部方位系统来改变水平和垂直平面的方位。

[0045] 谐振腔200包括提供激光信号的非稳谐振腔振荡的反馈镜220和主镜 222，该激光信号沿着光轴202在反馈镜210与主镜220之间传播。在第一垂直平面204上设置反馈镜220。在第二垂直平面206上设置主镜222。在中央水平面210上设置反馈镜220和主镜222这两者。

[0046] 谐振腔200包括多个激光盘230a至230f，在此由参考标号230整体指代。在第一垂直平面204中设置多个第一激光盘230(a-c)，并且在与第一垂直平面204相对的第二垂直平面206中设置多个第二激光盘230 (d-f)。此外，在中央水平面210上设置多个激光盘230a-f。如上所述，激光盘230可以体现为可从德国迪琴根的王牌股份有限公司获得的薄激光盘，其起到具有光增益的球面凹镜，即“有源反射镜”的作用。

[0047] 在第一垂直平面204中设置多个第一反射镜240e-h，并且在第二垂直平面206中设置多个第二反射镜240a-d。在下水平面208中设置第一组反射镜240b、240d、240e、240g，并且在上水平面212中设置第二组反射镜 240a、240c、240f、240h。

[0048] 如以下更详细地描述，在光轴中相邻的相应的激光盘230和反射镜 240被定位并形成为在其间设置1:1成像系统的尺寸。在图11中描述的示例中，在设置在第二垂直平面206中的多个第二激光盘230和多个第二反射镜240的像面中设置第一垂直平面204。同样地，在设置在第一垂直平面204中的多个第一激光盘230和多个第一反射镜240的像面中设置第二垂直平面。

[0049] 此外，激光盘230和反射镜240形成具有相同的曲率半径(ROC) 和焦距(f)以确保入射在它们表面上的电磁辐射被成像在相对的光学元件上。因此，设置在第一垂直平面204中的多个第一激光盘230a、230b、 230c包括具有第一曲率半径和第一焦距的凹球面。多个第二激光盘230d、 230e、230f还包括具有等于第一曲率半径和第一焦距的第二曲率半径和第二焦距的凹球面。

[0050] 设置在第一垂直平面204中的多个第一反射镜240e、240f、240g、240h 包括具有等于第一曲率半径和第一焦距的第三曲率半径和第三焦距的凹球面。设置在第二垂直平面206中的多个第二反射镜240a、240b、240c、 240d包括具有等于第一曲率半径和第一焦距的第四曲率半径和第四焦距的凹球面。相邻的激光盘230和反射镜240沿着光轴202分离对应于第一曲率半径的距离。

[0051] 已描述了谐振腔200的结构元件，现在注意力将转向谐振腔200的操作。在操作中，辐射光束经由位于中央水平面210的反馈镜220被输入至谐振腔200中。辐射光束从反馈镜220被反射至位于上水平面212的反射镜240a。光束从反射镜240a被反射至位于中央水平面210的激光盘230a。激光盘230a放大反射至位于下水平面208的反射镜240b的光束。光束从反射镜240b被反射至在其上被放大的激光盘230b上，并且反射在位于上水平面212中的反射镜240c上。光束从反射镜240c被反射在其中被放大并且被反射在位于下水平面208中的反射镜240d上的激光盘230c上。

[0052] 光束从反射镜240d被反射至同样位于下水平面208的另一个反射镜 240e。反射镜240e将光束反射至激光盘230d上，在激光盘230d上光束被放大并且被反射至位于上水平面212中的反射镜240f上。光束从反射镜240f反射至激光盘230e上，在激光盘230e上光束被放大并且被反射至位于下水平面208中的反射镜240g上。光束从反射镜240g被反射至激光盘230f上，在激光盘230f上光束被放大并且被反射至位于上水平面212 中的反射镜240h上。

[0053] 反射镜240h将光束反射至位于下水平面208的反射镜240i上。反射镜240h将光束反射至激光盘230a上，在激光盘230a上光束被放大并且被反射至位于上水平面212中的反射镜240j上。光束从反射镜240j被反射至激光盘230b上，在激光盘230b上光束被放大并且被反射至位于下水平面208中的反射镜240k上。反射镜240k将光束反射至激光盘230c上，在激光盘230c上光束被放大并且被反射至位于上水平面212中的反射镜 240l上。

[0054] 反射镜240l将光束反射至也位于上水平面212的反射镜240m上。反射镜240m将光束反射至激光盘230d上，在激光盘230d上光束被放大并且被反射至位于下水平面208中的反射镜240n上。反射镜240n将光束反射至激光盘230e上，在激光盘230e上光束被放大并且被反射至位于上水平面212中的反射镜240o上。反射镜240o将光束反射至激光盘230f 上，在激光盘230f上光束被放大并且被反射在位于下水平面208中的反射镜240p上。

[0055] 反射镜240p将光束反射至主镜222上，光束在主镜222上自身上被反射回以跟随通过谐振腔200的反向路径至反馈镜220，光束的一部分可以作为输出光束发散出谐振腔。

[0056] 因此，从反馈镜220输入至谐振腔200的光束在撞击(striking)主镜222之前沿着在谐振腔中往返移动四次的光路径行进，然后沿着反向光路径行进，在撞击反馈镜220之前在谐振腔中往返移动四次，其中，光束的一部分可以作为输出光束离开谐振腔。因此，经由反馈镜220输入至谐振腔200的激光信号在激光信号的一部分经由反馈镜240离开谐振腔之前撞击每个激光盘230两次。

[0057] 在谐振腔200的每个往返移动中，从激光盘230反射的激光信号被反射至在上水平面212与下水平面208之间交替的反射镜上。更具体地，从上水平面中的反射镜240反射在激光盘230上的激光信号被激光盘230反射至下水平面的反射镜，从下水平面的反射镜240反射在激光盘230上的激光信号被激光盘230反射至上水平面212的反射镜240。因为激光信号在光轴中的相邻的激光盘230之间被反转，跟随在上水平面212和下水平面208的反射镜之间交替的光路径通过取消几何畸变(例如，散光)而减小反射的扭曲。

[0058] 在反馈镜220的一些示例中，主镜222和相应的激光盘230以及反射镜240被定位以设置负支成像谐振腔，然而在反馈镜220的其他示例中，主镜222和相应的激光盘230以及反射镜240被定位以设置正支成像谐振腔。

[0059] 虽然在图11中描述的示例谐振腔200包括六个激光盘230，将认识到的是，谐振腔200可以包括更多或更少的激光盘230。可以由诸如给定的应用所需要的放大倍率的量和/或谐振腔200的大小上的物理限制的因素来确定激光盘230的具体数量。

[0060] 通过省略反馈镜220和主镜222，谐振腔200可以被用作激光功率放大器。图12是根据示例的功率放大器300的示意图。参考图11，激光束可以沿着光轴202输入并且指向激光盘230a上。如参考图11所描述的，激光束以其在谐振腔200中来回移动的相同的方式通过功率放大器在光路径中来回移动。然而，因为主镜被移除，故光束从功率放大器300输出而非从主镜反射。

[0061] 说明书中对“一个实施方式”或“一些实施方式”的参考意味着描述为与实施方式联系的具体特征、结构或特性包括在至少一个实施中。说明书中的多个地方出现的短语“在一个实施方式中”可以或可以不全部指代相同的实施方式。

[0062] 此外，本公开内容包括根据下列条款的实施方式：

[0063] 条款1.一种非稳成像谐振腔，包括：

[0064] 反馈镜和主镜，提供沿着所述反馈镜和所述主镜之间的光轴传播的激光信号的非稳谐振腔振荡；

[0065] 多个第一激光盘，设置在第一垂直平面中；以及多个第二激光盘，设置在与所述第一垂直平面相对的第二垂直平面中，其中，所述多个激光盘被设置在中央水平面中；以及

[0066] 多个第一反射镜，设置在所述第一垂直平面中；以及多个第二反射镜，设置在所述第二垂直平面中，其中，第一组反射镜被设置在下水平面中并且和第二组反射镜被设置在上水平面中；

[0067] 其中，在光轴中相邻的相应的激光盘和反射镜被定位以在其间设置 1:1成像系统。

[0068] 条款2.根据条款1所述的非稳成像谐振腔，其中：

[0069] 所述第一垂直平面被设置在所述多个第二激光盘和所述多个第二反射镜的像面中；并且

[0070] 所述第二垂直平面被设置在所述多个第一激光盘和所述多个第一反射镜的像面中。

[0071] 条款3.根据条款1所述的非稳成像谐振腔，其中：

[0072] 所述反馈镜被设置在所述第一垂直平面中；

[0073] 所述主镜被设置在所述第二垂直平面中；以及

[0074] 所述反馈镜和所述主镜被设置在所述中央水平面中。

[0075] 条款4.根据条款1所述的非稳成像谐振腔，其中：

[0076] 所述多个第一激光盘包括具有第一曲率半径和第一焦距的凹球面；

[0077] 所述多个第二激光盘包括具有等于所述第一曲率半径和所述第一焦距的第二曲率半径和第二焦距的凹球面；

[0078] 所述多个第一反射镜包括具有等于所述第一曲率半径和所述第一焦距的第三曲率半径和第三焦距的凹球面；以及

[0079] 所述多个第二反射镜包括具有等于所述第一曲率半径和所述第一焦距7的第四曲率半径和第四焦距的凹球面。

[0080] 条款5.根据条款4所述的非稳成像谐振腔，其中，所述相邻的激光盘和反射镜被沿着所述光轴分离与所述第一曲率半径相对应的距离。

[0081] 条款6.根据条款1所述的非稳成像谐振腔，其中：

[0082] 从上水平面中的反射镜反射至激光盘上的激光信号被激光盘反射至下水平面中的反射镜；并且

[0083] 从下水平面中的反射镜反射至激光盘上的激光信号被激光盘反射至上水平面中的反射镜。

[0084] 条款7.根据条款1所述的非稳成像谐振腔，其中，经由所述反馈镜输入至所述谐振腔中的激光信号在所述激光信号的一部分经由所述反馈镜离开所述谐振腔之前撞击每个激光盘四次。

[0085] 条款8.根据条款1所述的非稳成像谐振腔，其中，激光信号在所述光轴中的相邻的激光盘之间被反转。

[0086] 条款9.根据条款1所述的非稳成像谐振腔，其中：

[0087] 所述反馈镜、所述主镜和相应的激光盘和反射镜被定位以设置负支成像谐振腔。

[0088] 条款10.根据条款1所述的非稳成像谐振腔，其中：

[0089] 其中，所述反馈镜、所述主镜和相应的激光盘和反射镜被定位以设置正支成像谐振腔。

[0090] 条款11.一种功率放大器，包括：

[0091] 多个第一激光盘，设置在第一垂直平面中；以及多个第二激光盘，设置在与所述第一垂直平面相对的第二垂直平面中，其中，所述多个激光盘被设置在中央水平面中；以及

[0092] 多个第一反射镜，设置在所述第一垂直平面中；以及多个第二反射镜，设置在所述第二垂直平面中，其中，第一组反射镜被设置在下水平面并且第二组反射镜被设置在上水平面中；

[0093] 其中，沿着光轴相邻的相应的激光盘和反射镜被定位以在其间设置 1:1成像系统。

[0094] 条款12.根据条款11所述的功率放大器，其中：

[0095] 所述第一垂直平面被设置在所述多个第二激光盘和所述多个第二反射镜的像面中；以及

[0096] 所述第二垂直平面被设置在所述多个第一激光盘和所述多个第一反射镜的像面中。

[0097] 条款13.根据条款11所述的功率放大器，其中，

[0098] 所述多个第一激光盘包括具有第一曲率半径和第一焦距的凹球面；

[0099] 所述多个第二激光盘包括具有等于所述第一曲率半径和所述第一焦距的第二曲率半径和第二焦距的凹球面；

[0100] 所述多个第一反射镜包括具有等于所述第一曲率半径和所述第一焦距的第三曲率半径和第三焦距的凹球面；以及

[0101] 所述多个第二反射镜包括具有等于所述第一曲率半径和所述第一焦距的第四曲率半径和第四焦距的凹球面。

[0102] 条款14.根据条款13所述的功率放大器，其中，所述相邻的激光盘和反射镜被沿着所述光轴分离与所述第一曲率半径相对应的距离。

[0103] 条款15.根据条款11所述的功率放大器，其中，

[0104] 从上水平面中的反射镜反射至激光盘上的激光信号通过激光盘反射至下水平面中的反射镜；并且

[0105] 从下水平面中的反射镜反射在激光盘上的激光信号通过激光盘反射至上水平面中的反射镜。

[0106] 条款16.根据条款11所述的功率放大器，其中，激光信号在所述光轴中的相邻的激光盘之间被反转。

[0107] 虽然已经针对结构特征和/或方法动作以语言的方式描述了实施方式，应当理解，所要求的主题可不局限于描述的具体特征或动作。相反，具体特征和动作以实施所要求的主题的形式作为样本被公开。

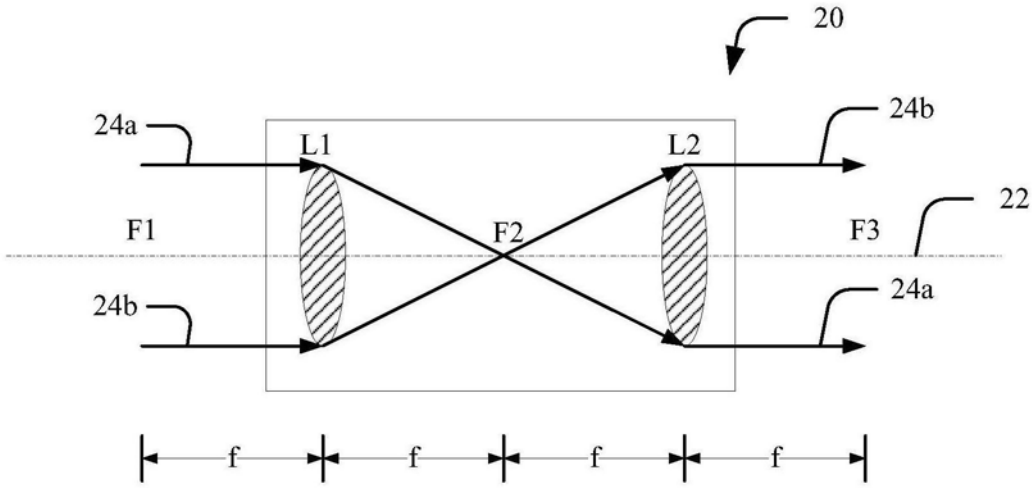

20
24a
L1
L2
24b
22
F1
F2
F3
24b
24a
f
f
f
f

图1

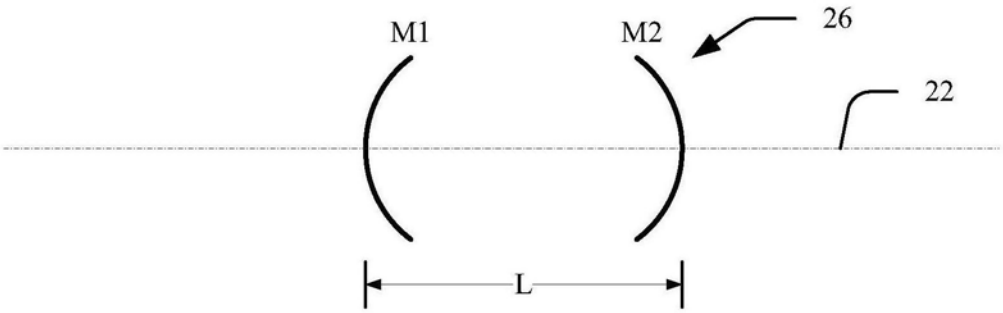

M1
M2
26
22
L

图2

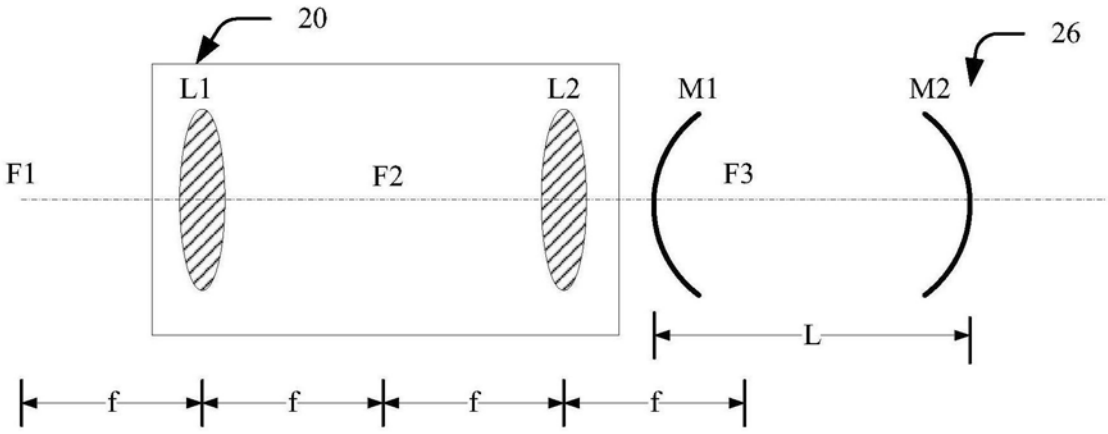

20
26
L1
L2
M1
M2
F1
F2
F3
L
f
f
f
f

图3

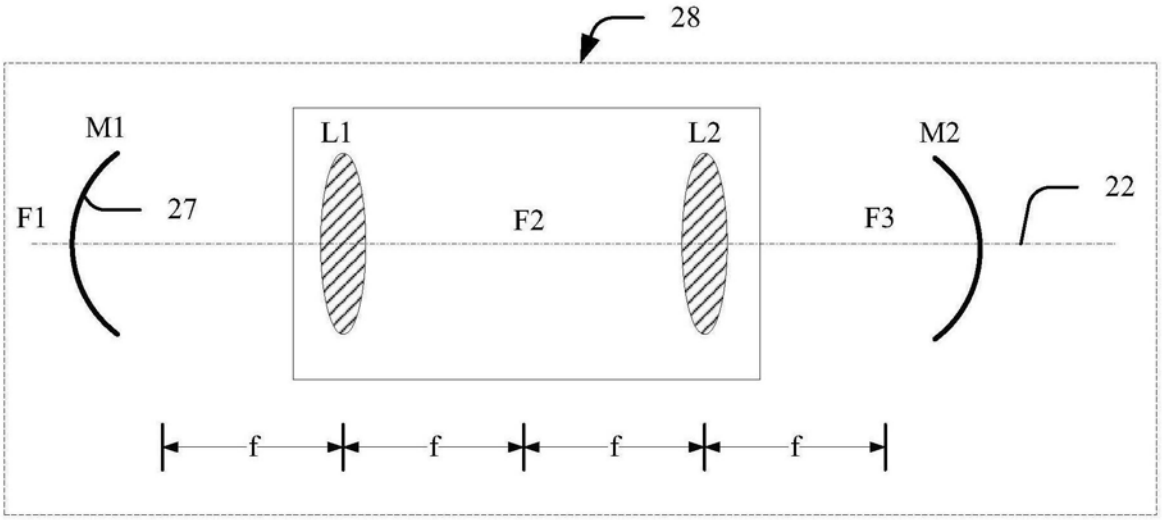


图4

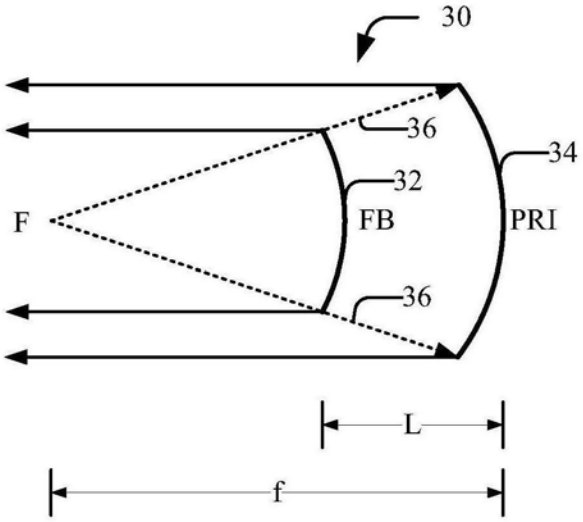


图5

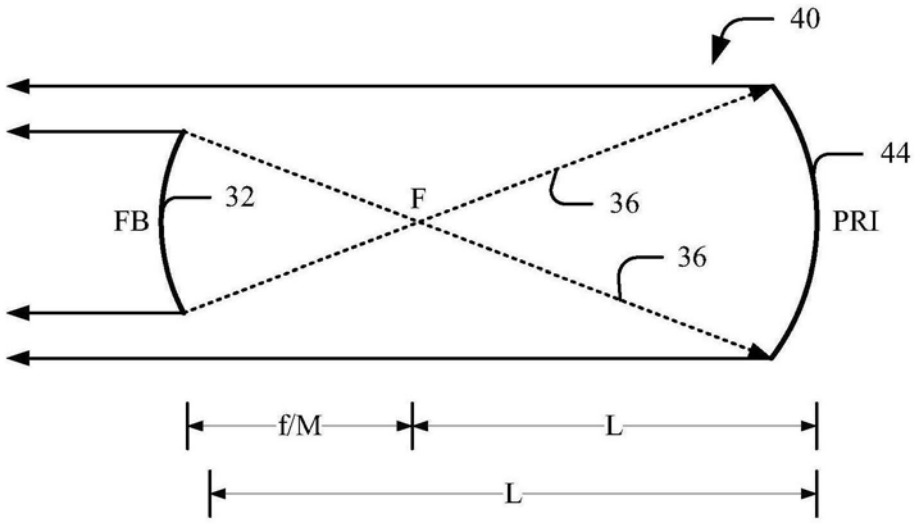

40
44
FB
32
F
36
PRI
36
f/M
L
L

图6

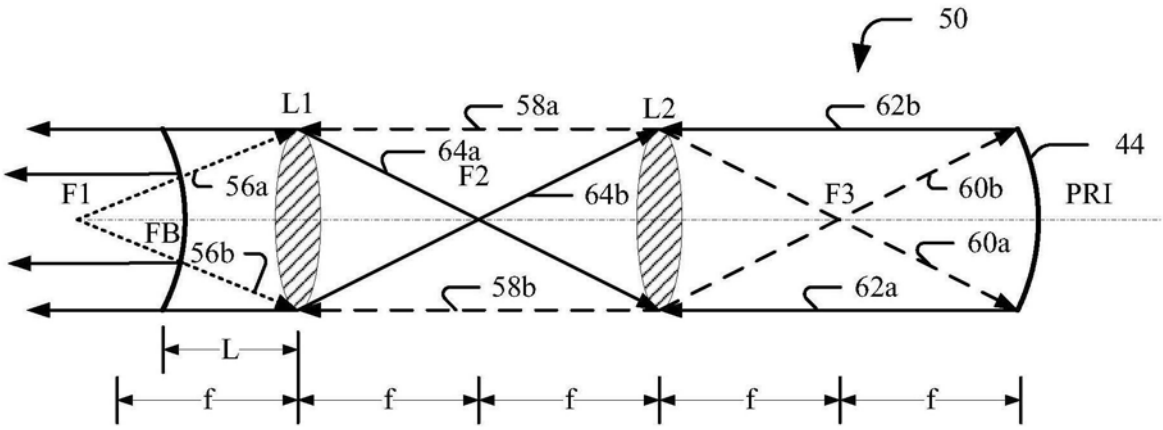

50
L1
58a
L2
62b
44
64a
F2
F1
56a
64b
F3
60b
PRI
FB
56b
60a
58b
62a
L
f
f
f
f
f

图7

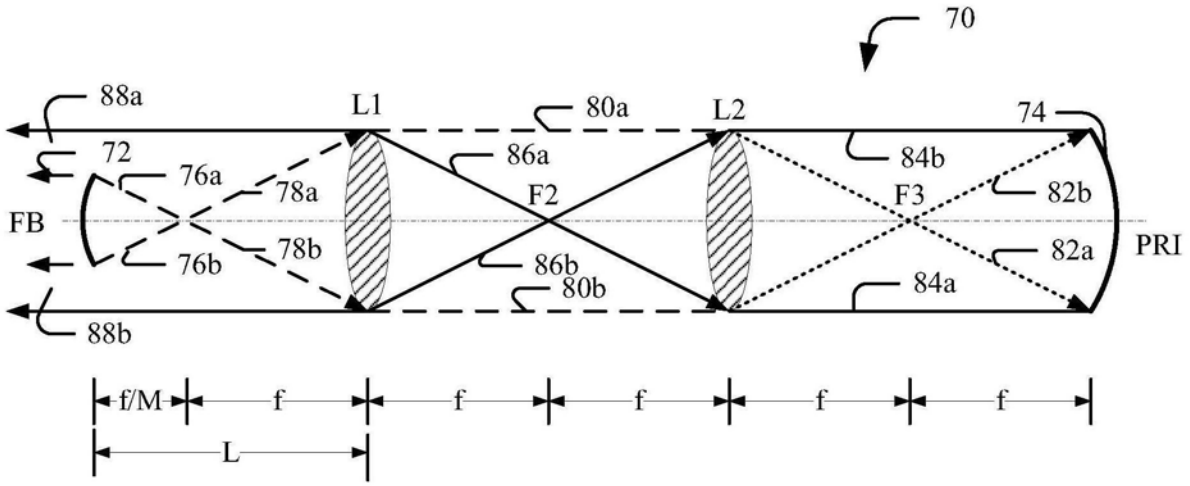

70
88a
L1
80a
L2
74
72
86a
84b
76a
78a
F2
F3
82b
FB
PRI
76b
78b
86b
82a
80b
84a
88b
f/M
f
f
f
f
f
f
L

图8

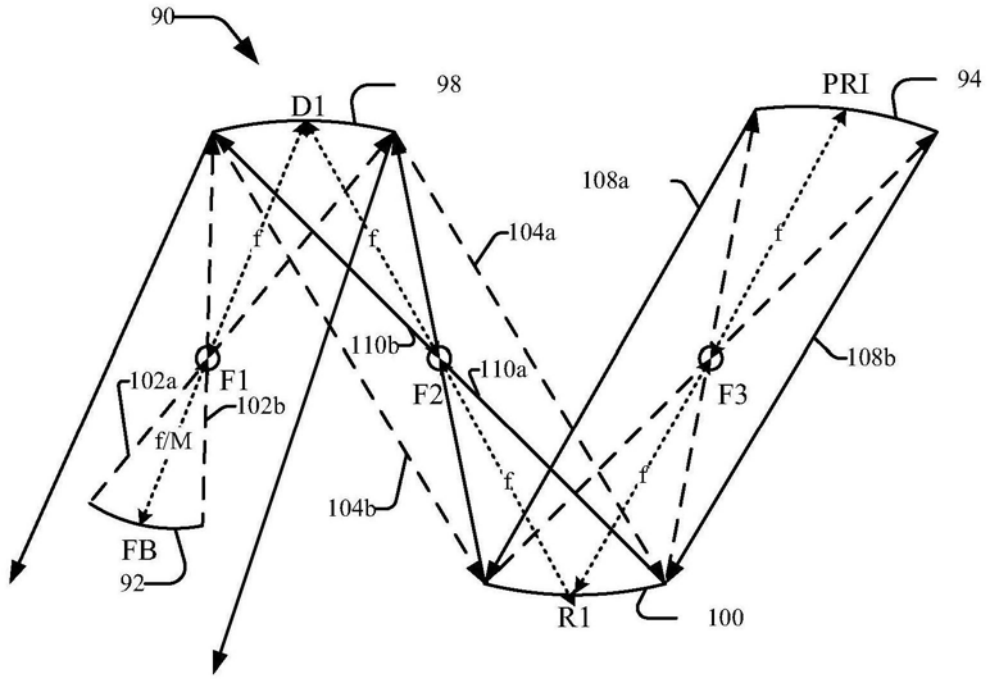

90
98
D1
PRI
94
108a
104a
f
f
f
110b
110a
108b
102a
F1
F2
F3
102b
f/M
f
f
104b
FB
92
R1
100

图9

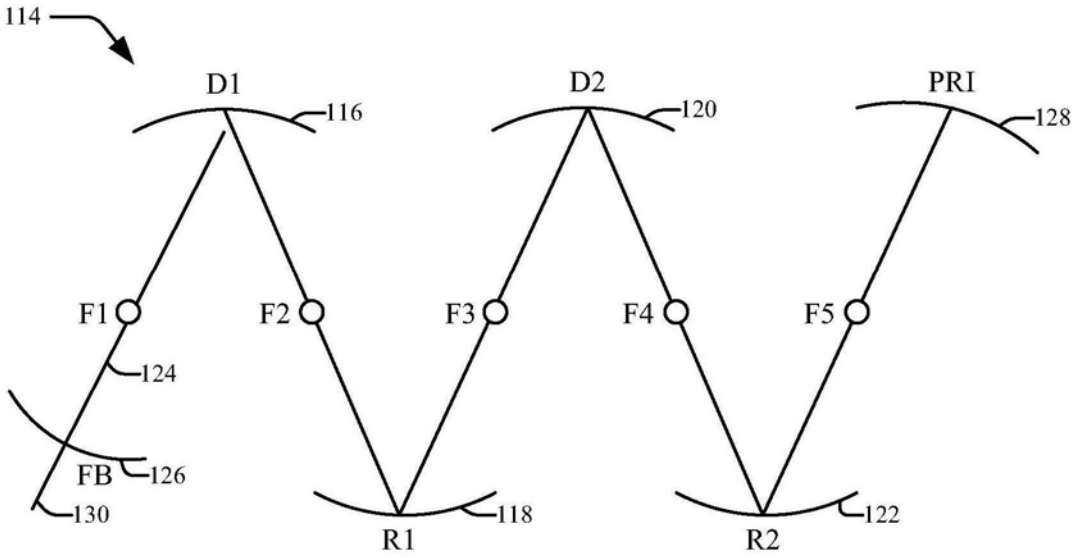

114
D1
116
D2
120
PRI
128
F1
F2
F3
F4
F5
124
FB
126
130
R1
118
R2
122

图10

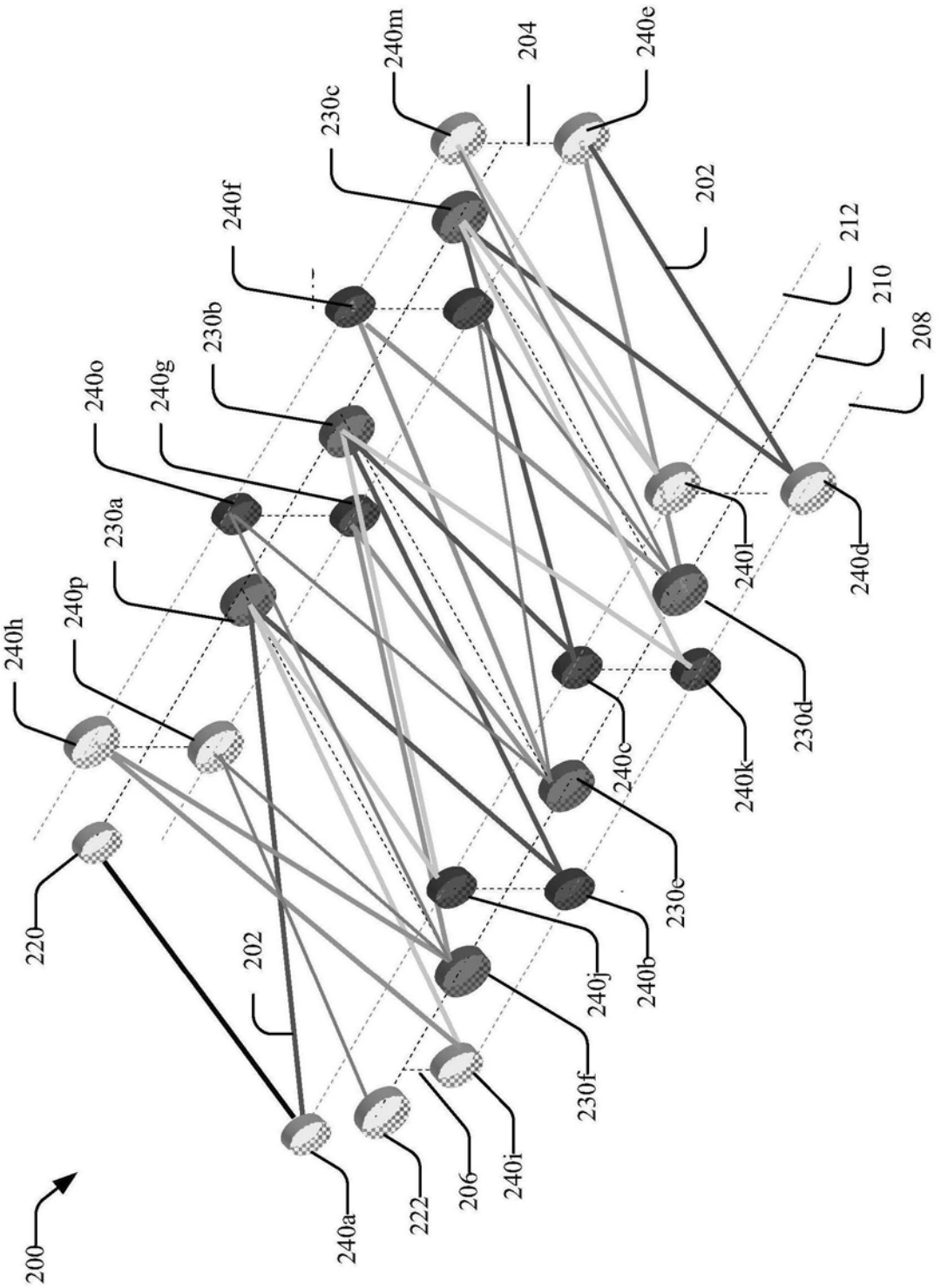

240m
204
240e
230c
202
240f
212
210
208
230b
240o
240g
230a
240p
240h
240l
240d
230d
240k
240c
230e
220
202
240j
240b
230f
240i
206
222
240a
200

图11

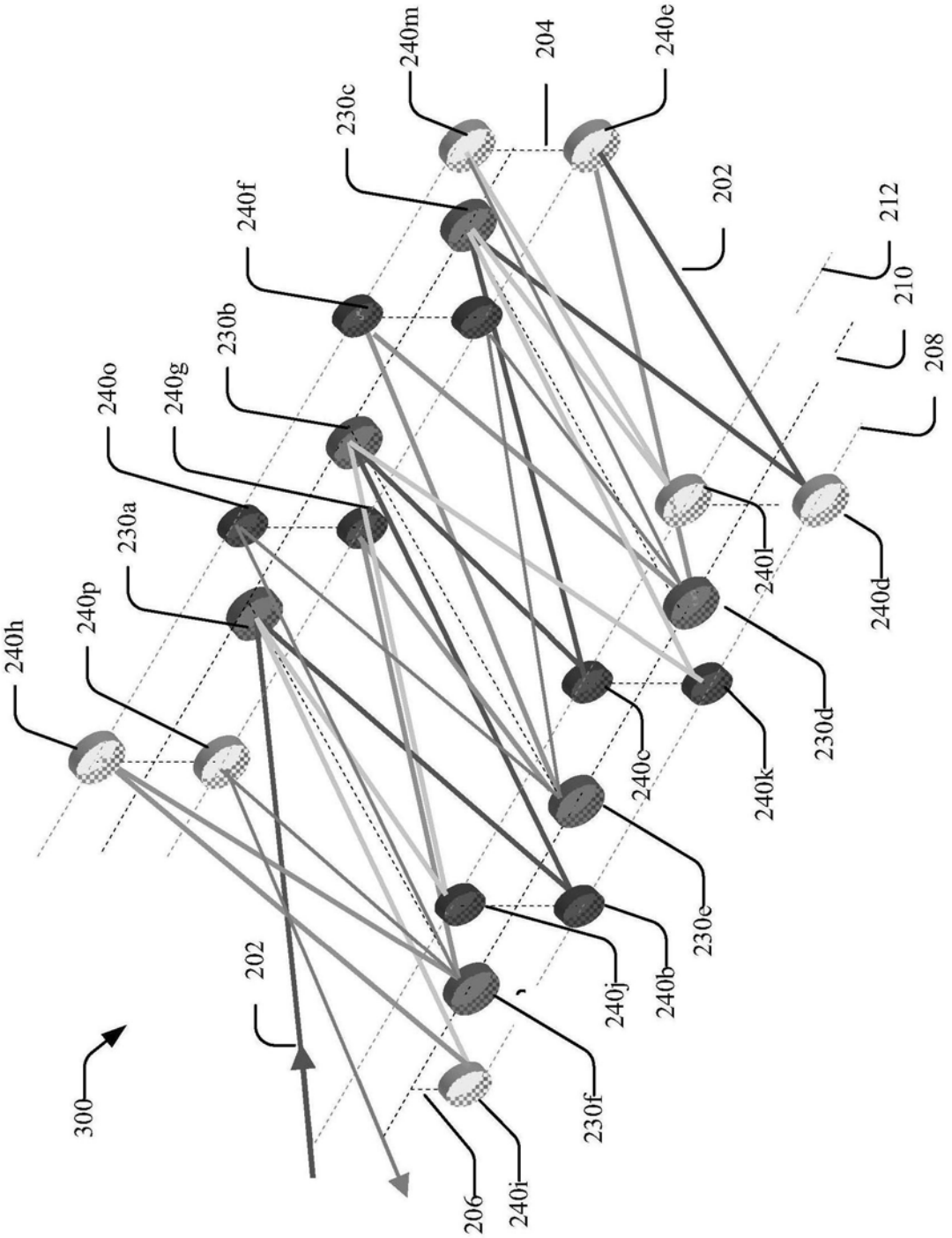

240m
204
240e
230c
240f
202
212
210
230b
208
240o
240g
230a
240p
240h
240l
240d
230d
240k
240c
230e
240j
240b
202
230f
300
206
240i

图12