

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H01S 3/06

H01S 3/08 H01S 5/00

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 00128674.9

[43] 公开日 2001 年 10 月 10 日

[11] 公开号 CN 1316809A

[22] 申请日 2000.9.20 [21] 申请号 00128674.9

[30] 优先权

[32] 2000.4.5 [33] JP [31] 107973/2000

[71] 申请人 株式会社日立制作所

地址 日本东京

[72] 发明人 户丸辰也 荷沃杰·皮泰克

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所

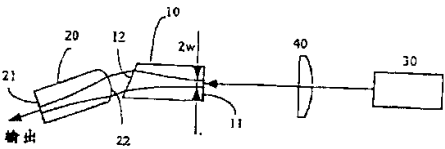
代理人 王永刚

权利要求书 4 页 说明书 9 页 附图页数 7 页

[54] 发明名称 固态激光器和光发射机

[57] 摘要

在波分复用光传送中作为发射机的光源使用超短脉冲固态激光器,用分波器分割宽的光谱分配到各通道中,可以大幅度消减光源的数量。虽然作为发射机在超短脉冲固态激光器的重复速率中要求 2.4GHz、10GHz 等的高重复,但如图 1 所示只用两个部件构成谐振器 就可以实现高重复。各通道因为从分波器中被动地被生成,所以不需要高精度的波长管理。光源小型,其数量变少。作为整体可以使装置小型化,还降低了成本。



ISSN 1008-4274



权 利 要 求 书

1、 一种固态激光器，具有激发光源、聚集从该激发光源输出的激发光的透镜系统、接受被聚集的激发光的输入而激光振荡的激光谐振器，其特征在于：该谐振器由增益介质以及色散对波长的依赖性与该增益介质相反的固体材料组成，与该增益介质以及该固体材料的相互面对的面相反一侧的两面被涂敷成具有反射性，该增益介质和该固体材料的相互面对的面至少一方被研磨成曲面，通过上述被聚集的激发光激发该增益介质，在上述谐振器内形成激光振荡。

2、 如权利要求 1 所述的固态激光器，上述增益介质由 Cr:YAG 晶体，Ti:AL₂O₃ 晶体，Cr:LiSrAlF₆ 晶体，Cr:Mg₂SiO₄ 晶体，Yb:YAG 晶体，Yb:Ca₄GdO(BO₃)₃ 晶体，Yb:玻璃或者 Nd:玻璃的某个组成。

3、 如权利要求 1 所述的固态激光器，其特征在于：如果把在上述谐振器模在光轴上强度为 $1/e^2$ 的位置处的直径定义为射线直径，则在上述增益介质中的最小射线直径在 0.1mm 以下。

4、 如权利要求 1 所述的固态激光器，其特征在于：上述激发光源是半导体激光器，气体激光器或者固态激光器之一。

5、 如权利要求 1 所述的固态激光器，其特征在于：色散对波长的依赖性和上述增益介质相反的上述固体材料是合成石英，玻璃，MgF₂，或者 CaF₂ 之一。

6、 如权利要求 1 所述的固态激光器，其特征在于：在上述增益介质和上述固体材料的相互面对的两个面中，未曲面研磨的面被研磨成相对振荡光成布儒斯特 (Brewster) 角。

7、 如权利要求 1 所述的固态激光器，其特征在于：在上述增益介质和上述固体材料的相互面对的两个面中，未曲面研磨的面被研磨成相对振荡光的传播方向成直角，并且被涂敷成不具备反射性。

8、 如权利要求 1 所述的固态激光器，其特征在于：上述增益介质和上述固体材料的相互面对的两个面中未被曲面研磨的面，被研磨成使得从该增益介质或者该固体材料的外侧入射到该面的振荡光的入



射角在 0 度以上 90 度以下，并被涂敷成不具备反射性。

9、如权利要求 1 所述的固态激光器，其特征在于：上述谐振器的输出光是从上述增益介质以及上述固体材料的相互不面对的面上的透过光，或者在上述增益介质和上述固体材料的相互相对的两个面中的未被曲面研磨的面上的反射光之一或者双方。

10、如权利要求 1 所述的固态激光器，其特征在于：从上述增益介质或者上述固体材料的外侧入射到在该增益介质或者该固体材料中的被曲面研磨的面的振荡光的入射角是 0 度以上 90 度以下。

11、一种固态激光器，具有激发光源、聚集从该激发光源输出的激发光的透镜系统、接受被聚集的激发光的输入而激光振荡的激光谐振器，其特征在于：该谐振器由增益介质以及色散对波长的依赖性和该增益介质相反的线性调频脉冲镜组成，该增益介质的与该线性调频脉冲镜不面对的面被涂敷成具备反射性，该增益介质的与该镜相对的面被研磨成曲面，通过上述被聚集的激发光激发该增益介质，在上述谐振器内形成激光振荡。

12、如权利要求 11 所述的固态激光器，其特征在于：上述线性调频脉冲镜由电介质或者半导体的多层膜组成。

13、如权利要求 11 所述的固态激光器，其特征在于：上述线性调频脉冲镜具有伴随色散的多层膜反射涂层和可饱和吸收层的叠层构造。

14、如权利要求 11 所述的固态激光器，其特征在于：上述增益介质由 Cr:YAG 晶体，Ti:AL₂O₃ 晶体，Cr:LiSrAlF₆ 晶体，Cr:Mg₂SiO₄ 晶体，Yb:YAG 晶体，Yb:Ca₄GdO(BO₃)₃ 晶体，Yb:玻璃或者 Nd:玻璃的某个组成。

15、如权利要求 11 所述的固态激光器，其特征在于：如果把上述谐振器模在光轴上强度为 $1/e^2$ 的位置处的直径定义为射线直径，则在上述增益介质中的最小射线直径在 0.1mm 以下。

16、如权利要求 11 所述的固态激光器，其特征在于：上述激发光源是半导体激光器，气体激光器或者固态激光器之一。



17、如权利要求 11 所述的固态激光器，其特征在于：上述谐振器的输出光是从上述增益介质的与上述线性调频脉冲镜不相对的面上的透过光，或者从线性调频脉冲镜上的透过光之一或者双方。

18、如权利要求 11 所述的固态激光器，其特征在于：从上述增益介质的外侧入射到该增益介质被曲面研磨的面的振荡光的入射角是 0 度以上 90 度以下。

19、一种光发射机，其特征在于：包括克尔透镜模同步的固态激光器、把该固态激光器的输出光分波成各波长的分波器、在该被分波后的光上搭载信号的调制器，发送该调制后的光。

20、如权利要求 19 所述的光发射机，其特征在于：上述固态激光器具有：激发光源、聚集从该激发光源输出的激发光的透镜系统、由增益介质以及色散对波长的依赖性和该增益介质相反的固体材料组成的激光谐振器，与该增益介质以及该固体材料的相互面对的面相反一侧的两面被涂敷成具备反射性，该增益介质和该固体材料的相互面对的面的至少一方被研磨成曲面，通过上述被聚集的激发光的输入激发该增益介质，在上述谐振器内形成激光振荡。

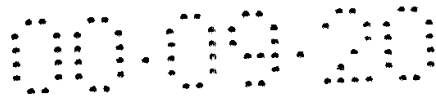
21、如权利要求 19 所述的光发射机，其特征在于：上述固态激光器具有：激发光源、聚集从该激发光源输出的激发光的透镜系统、由增益介质以及色散特性对波长的依赖性和该增益介质相反的线性调频脉冲镜组成的谐振器，该增益介质的与该线性调频脉冲镜不面对的面被涂敷成具备反射性，该增益介质的与该镜面对的面被研磨成曲面，通过上述被聚集的激发光的输入激发该增益介质，在上述谐振器内形成激光振荡。

22、一种光发射机，其特征在于：包括克尔透镜模同步的固态激光器、把该固态激光器的输出脉冲列的重复速率放大整数倍的时分复用器、把该时分复用器的输出光分波成各波长的分波器、在该被分波后的光上搭载信号的调制器，发送该调制后的光。

23、如权利要求 22 所述的光发射机，其特征在于：上述固态激光器具有：激发光源、聚集从该激发光源输出的激发光的透镜系统、由

增益介质以及色散对波长的依赖性和该增益介质相反的固体材料组成的激光谐振器，与该增益介质以及该固体材料的相互面对的面相反一侧的两面被涂敷成具备反射性，该增益介质和该固体材料的相互面对的面至少一面被研磨成曲面，通过上述被聚集的激发光的输入激发该增益介质，在上述谐振器内形成激光振荡。

24、如权利要求 22 所述的光发射机，其特征在于：上述固态激光器具有：激发光源、聚集从该激发光源输出的激发光的透镜系统、由增益介质以及色散特性对波长的依赖性和该增益介质相反的线性调频脉冲镜组成的谐振器，与该增益介质和线性调频脉冲镜不相对的面被涂敷成具备反射性，该增益介质的和该镜相对的面被研磨成曲面，通过上述被聚集的激发光的输入激发该增益介质，在上述谐振器内形成激光振荡。



说明书

固态激光器和光发射机

本发明涉及小型固态激光器和使用固态激光器的光发射机。

伴随光传送容量的急剧扩大，在波分复用光传送中光的复用数急剧增加。确保波长复用数的方法现在是通过按照所有的复用数排列半导体激光器实现（例如，鸟羽弘，0 plus E, vol.21, No.8, pp.965-974）。但是，如果今后复用数继续增加，则从成本的观点、装置大小的观点、波长精密控制的必要性的观点等考虑，需要替代装置。

在波分复用光传送中的课题有，减少光源数，降低成本和装置的小型化，还有易于波长的控制。

为了解答此课题在本发明中使用脉冲宽度在 1ps 以下的超短脉冲固态激光器作为光发射机的光源。超短脉冲固态激光器因为具有宽的光谱，所以可以从 1 台激光器中取出在波分复用光传送中所需要的许多波长成分。各通道的波长成分因为可以从超短脉冲固态激光器的输出中通过被动元件取出，所以波长控制变得容易。其结果带来成本减小和装置的小型化，为了把超短脉冲固态激光器作为波分复用光传送的多波长光源使用，需要用和光传送速率一致的速率输出脉冲列。在干线系统中的光传送中通常以 2.4GHz 或者 10GHz 的速率传送，而一般的超短脉冲固态激光器以 100MHz 的重复速率输出脉冲列。超短脉冲激光器也得到了改进，最近可以实现 1.2GHz 的重复速率，但还需要更高的重复速率。针对此必要性在本发明中制成了只由增益介质，和具有和其相反的波长依赖性的固体材料或者线性调频脉冲镜这二者构成的谐振器，以此谋求小型化，实现高重复化。当使固态激光器超短脉冲动作时，需要把谐振器内的色散值设定为适当的值，以及把在增益介质中的谐振模的最小射线直径设定为适当的值，而且可以通过与色散值有关地调整固体材料的种类和长度或者调整线性调频脉冲镜的线性调频脉冲量进行设定，可以通过与最小射线直径有关地调整对



增益介质或者固体材料实施的曲面研磨的曲率进行设定。

参照附图，结合本发明优选实施例的详细描述，本发明的这些和其他的目的、特征和优点将会更加明显。

图 1 是展示涉及本发明的实施例 1 的固态激光器的构成例之一的图。

图 2 是展示涉及本发明的实施例 1 的固态激光器的构成例之一的图。

图 3 是展示涉及本发明的实施例 1 的固态激光器的构成例之一的图。

图 4 是放大图 1、2、3 的谐振器部分，表示振荡光的光轴的图。

图 5 是展示涉及本发明的实施例 2 的固态激光器的构成例之一的图。

图 6 是展示涉及本发明的实施例 2 的固态激光器的构成例之一的图。

图 7 是展示涉及本发明的实施例 2 的固态激光器的构成例之一的图。

图 8 是展示涉及本发明的实施例 3 的固态激光器的构成例之一的图。

图 9 是展示涉及本发明的实施例 3 的固态激光器的构成例之一的图。

图 10 是展示涉及本发明的实施例 4 的固态激光器的构成例之一的图。

图 11 是展示涉及本发明的实施例 4 的固态激光器的构成例之一的图。

图 12 是展示涉及本发明的实施例 5 的固态激光器的构成例之一的图。

图 13 是展示涉及本发明的实施例 5 的固态激光器的构成例之一的图。

图 14 是展示涉及本发明的实施例 5 的固态激光器的构成例之一的图。

图。

图 15 是展示涉及本发明的实施例 5 的固态激光器的构成例之一的图。

图 16 是展示本发明的实施例 5 中的时分复用器 550 的构成例之一的图。

图 17 是展示本发明的实施例 5 中的时分复用器 550 的构成例之一的图。

图 18 是展示本发明的实施例 5 中的时分复用器 550 的构成例之一的图。

(实施例 1)

在图 1 中示出了本实施例的构成。谐振器由增益介质 10 和与之色散波长依赖性相反的固体材料 20 这二者构成。增益介质 10 和固体材料 20 的相互不相对的面 11 以及 21 对于振荡光的波长，被涂敷到具有反射率为 99.9% 的程度，构成谐振器的端面镜。在作为增益介质 10 使用了 Cr:YAG 晶体的情况下，振荡光在 $1.5\mu\text{m}$ 附近，作为与之搭配的固体材料 20 的适宜材料，有代表性的是在其波长区域中表示负色散特性的合成石英。除了合成石英外，也可以使用各种玻璃材料。一般把作为增益介质 10 使用如 Cr:YAG 晶体那样的固体材料的情况下的激光器称为固态激光器，尤其是在增益介质是 Cr:YAG 晶体的情况下称为 Cr:YAG 激光器。作为增益介质除了 Cr:YAG 晶体之外，可以利用 Ti:Al₂O₃ 晶体、Cr:LiSrAlF₆ 晶体、Cr:Mg₂SiO₄ 晶体、Yb:YAG 晶体、Yb:Ca₄GdO(BO₃)₃ 晶体、Yb:玻璃、Nd:玻璃等可以克尔透镜模同步的所有固态激光器的增益介质。和增益介质 10 成一对的固体材料 20 的种类必须相对各个增益介质考虑色散特性来加以选择。

为了得到稳定的谐振器一般需要在谐振器内的要素上配置透镜或者凹面镜以聚集振荡光的射线。在本实施例中通过把固体材料 20 面对增益介质 10 的面 22 研磨成曲面使其具有透镜的功能得到稳定谐振器。如果把射线的直径确定为在射线的中心强度为 $1/e^2$ 的情况下的直径，则设计面 22 的曲率使得在增益介质内的面 11 上的射线直径 $2w$ 在

0.1mm 以下。在 Cr:YAG 激光器的情况下，典型地确定为 $2w$ 为 $70\mu\text{m}$ 。曲面 22 涂敷对于振荡波长为透射率 99.9% 的抗反射涂层 (Antireflection Coating: AR 涂层)。增益介质 10 是长度为 18mm 的 Cr:YAG 晶体，在固体材料 20 是合成石英的情况下，合成石英的长度从 10mm 到 20mm 比较合适，在面 11 和面 12 的间隔从 0mm 到 10mm 时，面 22 的曲率半径从 2mm 到 4mm 较为合适。

增益介质 10 和固体材料 20 相对的面 12 进行平面研磨，而且研磨角度有 3 种选择。第一种是相对振荡光研磨成布儒斯特 (Brewster) 角 (参照图 4。如果假设增益介质的折射率为 n_{gain} ，则 $\tan \theta_{\text{gain}} = n_{\text{gain}}$)，这种情况下相对图 1 纸面内的偏振光 (p 偏振光) 反射率理论上为 0，在面 12 上的损失几乎可以为 0。第二种是把面 12 研磨成对于振荡光的传播方向垂直 ($\theta_{\text{gain}} = 0$)，这种情况下为了抑制在面 12 上的反射，相对振荡光进行无反射涂敷。第 3 种是相对上述的垂直研磨偏离几度 ($\theta_{\text{gain}} \neq 0$)，可以抑制垂直研磨引起的多重反射的效果。另外因为在垂直研磨时转动不对称所以可以使振荡光的偏振波稳定。这种情况下因为也在面 12 上产生反射所以实施无反射涂敷。在第一和第三种情况下由于面 12 上的折射而失去旋转对称性，所以在子午面 (切向面) 内和球缺面 (弧矢面) 内谐振器在稳定条件上产生差异。在此切向面表示图 1 的纸面，弧矢面表示与之垂直的面。为了补偿该差，需要产生象散使振荡光不垂直入射到固体材料 20 的曲面 22 上。相对该垂直方向的偏离角度 (图 4 的 θ_{FS})，在使用长度 18mm 的 Cr:YAG 晶体，面 22 的曲率是 3mm， θ_{gain} 是布儒斯特 (Brewster) 角的情况下， $\theta_{\text{FS}} > 20$ 度，在 θ_{gain} 是 18 度的情况下， θ_{FS} 变为 10 度。

激发上述的激光谐振器是通过把来自激发光源 30 的激发光导入增益介质 10 实现。该激发光通过聚光透镜 40 把焦点聚集在增益介质 10 的面 11 上。激发光源 30 和面 11 之间距离的确定和聚光透镜 40 焦点距离的确定，在进行超短脉冲振荡的情况下特别重要。这种情况下设计成在面 11 上的激发光的射线直径比谐振器模的射线直径还小。设置成面 11 的涂敷对振荡光产生高反射 (例如 99.9%)，但对于激发光变

为无反射（希望反射率零，但在实际中有 5%左右的反射）。激发光源可以使用半导体激光器、固态激光器、气体激光器等。在增益介质 10 是 Cr:YAG 晶体的情况下，激发光的波长最好在 $1.05\mu\text{m}$ 附近，作为激发光源除了半导体激光器之外，Nd:YAG、Nd:YVO₄、Nd:玻璃、Nd:YLF 激光器等比较适合。

从谐振器取出光输出的方法有 3 种。第一种方法如图 1 所示是从面 21 取出的方法。这种情况下，面 21 的涂层是使一部分透过的反射涂层。最佳的透射率因所使用的增益介质的不同而不同，在百分之几以下。Cr:YAG 激光器的情况下使用 0.5%的透射率。

第二种方法如图 2 所示从面 11 取出输出，这种情况下，面 21 的涂层是对于振荡光使一部分透过的反射涂层。最佳的透射率因所使用的增益介质的不同而不同，在百分之几以下。在 Cr:YAG 激光器的情况下，使用 0.5%的透射率。面 21 进行高反射涂敷。从面 11 取出的输出光因为和激发光通过同一光路，所以需要分色镜 50 从激发光的光路中分离出。分色镜是使激发光透过反射输出光的镜面。从面 11 输出的输出光在面 11 上变为最小射线直径，输出后的射线直径逐渐扩大。因而，把分色镜 50 作成凹面镜有利于使输出光成为平行光。这种情况下，分色镜 50 对于激发光起到了凹面镜作用，考虑到这一点需要选择聚光透镜 40。凹面镜 50 因为相对激发光的光轴不垂直所以产生象散。该象散，如特愿平 12-34305 所揭示的那样，通过使聚光透镜 40 以凹面镜 50 的倾斜方向或者与其相反的方向倾斜就可以补偿。

第三种方法如图 3 所示，当通过研磨面 12 仅使其稍微偏离布儒斯特（Brewster）角的情况下，或者研磨面 12 使其相对垂直方向具有一定角度，在抗反射涂敷中稍微具有反射成分的情况下，把面 12 作为输出耦合器。这种情况下，面 11 和面 12 对于振荡光进行高反射涂敷。

（实施例 2）

在实施例 1 中，通过把增益介质 10 研磨成平面，把固体材料 20 的一个面 22 研磨成曲面形成具有透镜功能的谐振器的稳定区域。相反，平面研磨固体材料 120，曲面研磨增益介质 110 的一个面 112 也



可以形成稳定的谐振器。展示它们的是图 5、6、7。和图 1、2、3 一样根据输出光的取出方法不同展示了 3 个图。固体材料 120 的面 122 的研磨角度和实施例 1 一样，有布儒斯特（Brewster）角度，垂直研磨，偏离垂直方向角度的研磨。增益介质 110 的曲面 112 的曲率半径，在 Cr:YAG 激光器的情况下，例如如果设增益晶体长 18mm，作为固体材料 120 的合成石英 13mm，重复速率 2.4GHz，则只要取半径 6mm 即可。该曲率半径比实施例 1 约大 2 倍。如此确定曲率半径使得在增益晶体 110 的面 111 上的射线直径为最佳。在实施例 2 中因为采用曲面的透镜位置与实施例 1 相比接近面 111，所以不需要比实施例 1 焦点距离短的透镜，能够增大面 111 的曲率半径。这种情况下，具有球面象差减小、曲面研磨容易等的效果。

除此之外，涂敷的方法、谐振器内象散的修正方法、分色镜 150 的样式、聚光透镜 140 的样式等和实施例 1 的情况一样。

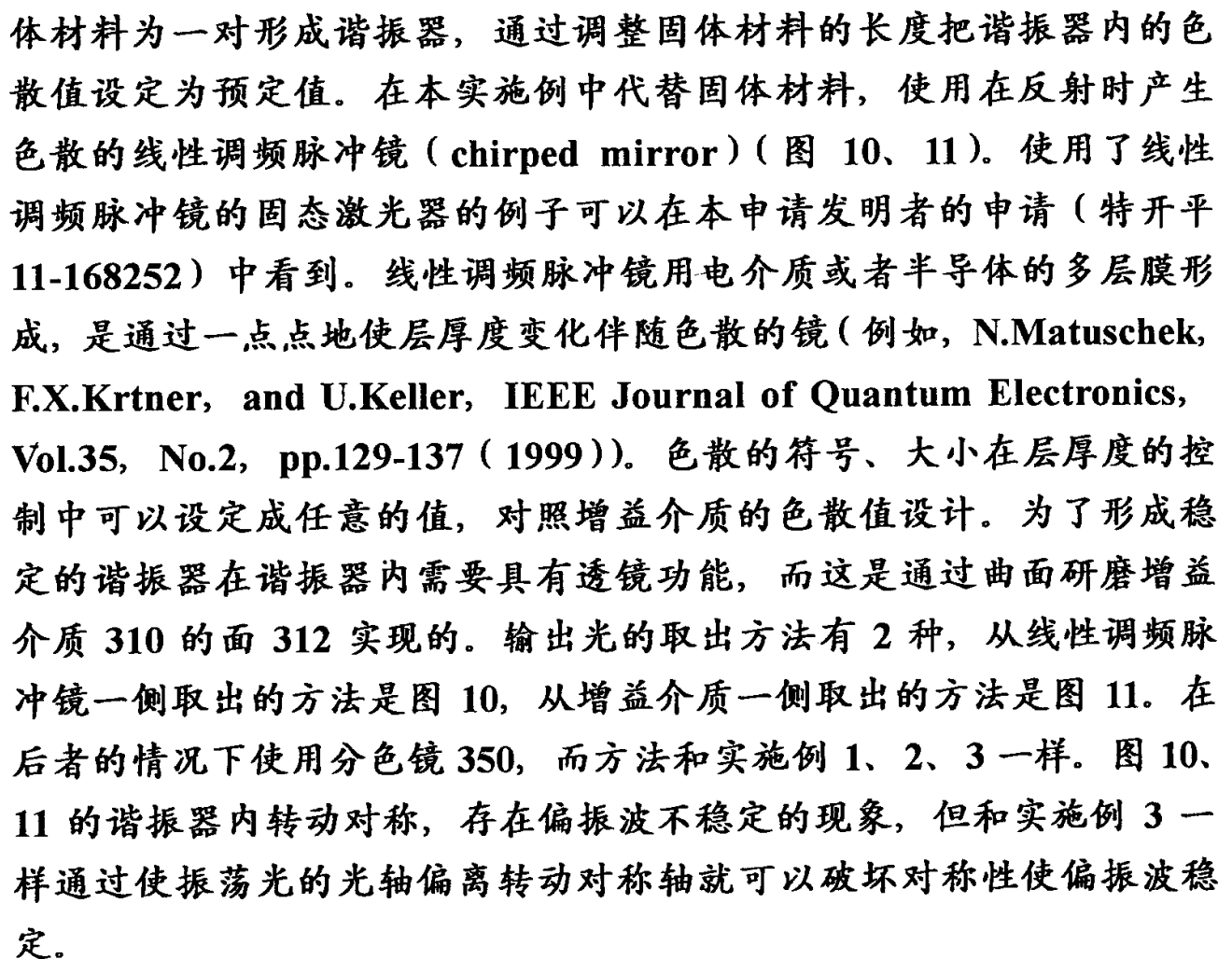
（实施例 3）

在实施例 1、2 中通过曲面研磨增益介质或者固体材料的相互相对的面之一，形成具有透镜功能的谐振器的稳定区域。在本实施例中如图 8、9 所示曲面研磨增益介质 210 以及固体材料 220 两者的相互相对的面 212、222 形成稳定的谐振器。通过在谐振器内设置 2 个曲面部分就可以减轻球面像差。输出光的取出方法有 2 种，从固体材料 220 的面 221 取出的情况下是图 8，从增益介质 210 的面 211 取出的情况下是图 9。各面的涂敷方法和实施例 1、2 相同。图 9 的情况和实施例 1、2 一样用分色镜 250 使输出光反射。当在分色镜 250 中使用凹面镜的情况下，为了补偿激发光象散使聚光透镜 240 倾斜。

在图 8、9 中，都在谐振器内转动变为对称。在转动对称的情况下存在振荡光的偏振波不稳定的现象，但和实施例 1、2 一样如果使振荡光的光轴偏离谐振器的转动中心轴就可以失去转动对称性，使偏振波稳定。

（实施例 4）

在实施例 1、2、3 中以增益介质和具有与之相反波长依赖性的固



可饱和吸收层因为具有在光强度高时透射率高，在光强度低时透射率小的性质，所以在脉冲部分存在光的部分中透射率高，在不存在光的地方透射率下降，有增强脉冲振荡的作用。可饱和吸收层也可以用半导体制作(例如, U.Keller, K.J.Weingarten, F.X.Kartner, D.Kopf, B.Braun, I.D.Jung, R.Fluck, C.Honninger, N.Matuschek, and J.A.der Au, IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Vol.2, No.3, pp.435-453 (1996)), 如果在线性调频脉冲镜 360 的线性调频脉冲镜涂层上叠层可饱和吸收层, 即, 如果把线性调频脉冲镜的构造设置为伴随有色散的多层膜反射涂层和可饱和吸收层的叠层构造, 则可以制作稳定的超短脉冲固态激光器。

7

超短脉冲固态激光器具有宽的光谱，如果以每一波长切出则可以作为波分复用光传送用的多波长光源使用。以方框图具体展示它的是图 12。光传送因为通常使用 $1.5\mu\text{m}$ 的波长，所以适用于该传送的固态激光器是 Cr:YAG 激光器。固态激光器 510 的输出，被导入由衍射光栅和波导型衍射光栅（例如，A, Kaneko, T.Goh, H. Yamada, T.Tanaka, and I.Ogawa,IEEE.Journal of Selected Topics in Quantum Electronics,Vol.5,No.5,pp.1227-1236（1999））组成的分波器 520 分离为各自波长。被分离的各自波长成分被导入各自的调制器 530 中搭载信号。被调制的各波长成分由用衍射光栅和波导型光栅组成的合波器 540 合波后传送。组合以上的各部分形成光发射机 500。

在图 12 中是由合波器 540 把各波长成分汇集为一束传送到一个地方，但因网络管理的需要也有按照波长传送到不同地址的情况。这种情况下如图 13 所示不设置合波器，按照各个波长输出即可。在干线系统的光传送中通常使用 2.4GHz 或者 10GHz 的位速率。如果使用实施例 1-4 中的超短脉冲固态激光器也可以实现那样的位速率，但当谐振器长度使用从 10cm 到数 m 的其他固态激光器的情况下，位速率变小。这种情况下如图 14、15 所示把固态激光器 510 的输出，输入到具有整数倍放大脉冲重复速率功能的时分复用器 550 中使位速率增大。从时分复用器 550 输出后和图 12、13 一样。

时分复用器 550 的构成有许多种，有代表性的展示在图 16-18 中。图 16 是使用了延迟线的方法，它把输入光分配在 2 个光路 551 和 552 中，其后合波。光路 551 和 552 因为光路长度不同所以合波后位速率变为 2 倍。一对光路 553 和 554、一对光路 555 和 556 也具有同样的作用，图 15 的时分复用器 550 总体使位速率变为 8 倍。

图 17 是使用了线性调频脉冲光纤衍射光栅 557 的时分复用器 550 的例子。向时分复用器 550 输入的输入光通过光循环器被导入线性调频脉冲光纤衍射光栅 557。在线性调频脉冲光纤衍射光栅 557 中和线性调频脉冲光纤一样伴随色散被反射。其后再次返回光循环器从时分复用器输出。在线性调频脉冲光纤衍射光栅 557 中设定的色散量色散

的结果使脉冲宽度扩展，相邻的脉冲重合的程度加大。如果把色散量设定在适当的值则脉冲之间的干涉的结果，使脉冲变换为位速率增大的脉冲列。有关色散量的设定的方法记载在文献（J.Azaa and M.A.Muriel, Optics Letters, Vol.24, No.23, pp.1672-1674 (1999)）上。

虽然在图 17 中使用了线性调频脉冲光纤衍射光栅 557 赋予脉冲列色散，但不一定要使用线性调频脉冲光纤衍射光栅 557，只要能赋予规定的色散量任何色散介质 558 都可以。这种情况展示在图 18 中。

可以通过对增益介质或者固体材料实施曲面研磨实现透镜的功能，可以实现小型高重复速率的超短脉冲固态激光器。另外，通过把固态激光器用于波分复用光传送的发射机的光源，就可以大幅度减少在发射机中的光源的数量。

虽然结合优选实施例详细描述了本发明，本领域普通技术人员能够理解可以对这些实施例作出各种更改而不会超出后附的权利要求书所确定的本发明的范围和精神。

说明书附图

图 1

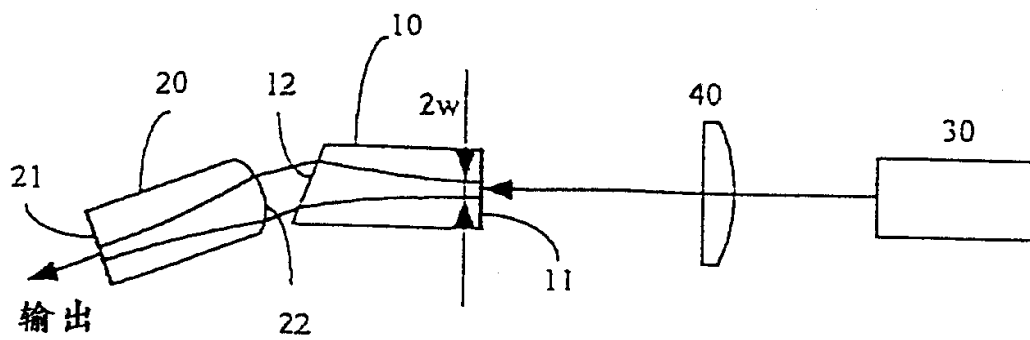


图 2

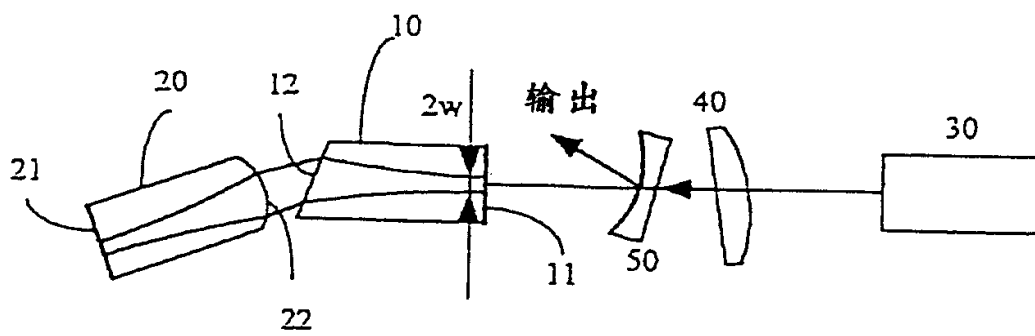


图 3

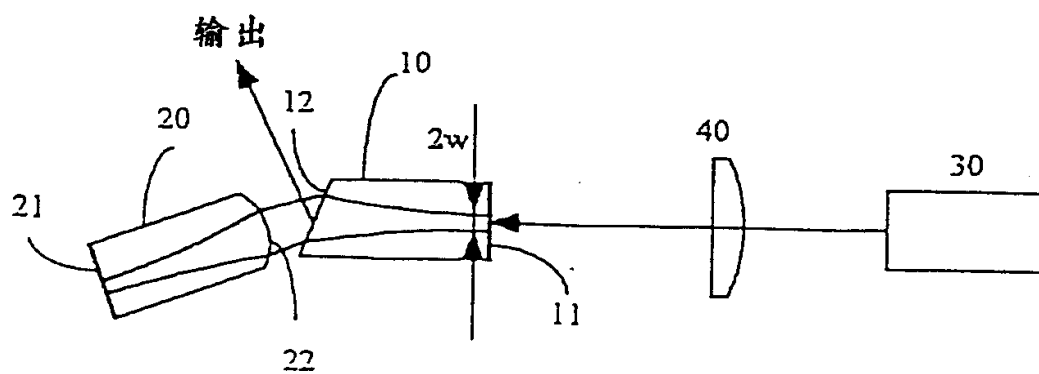


图 4

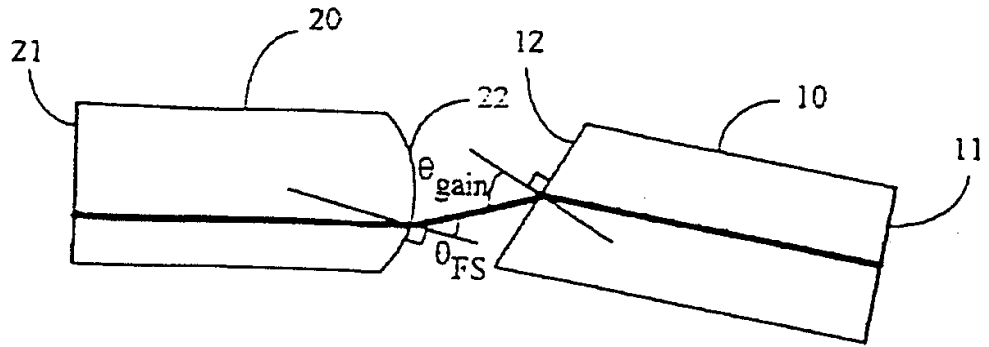


图 5

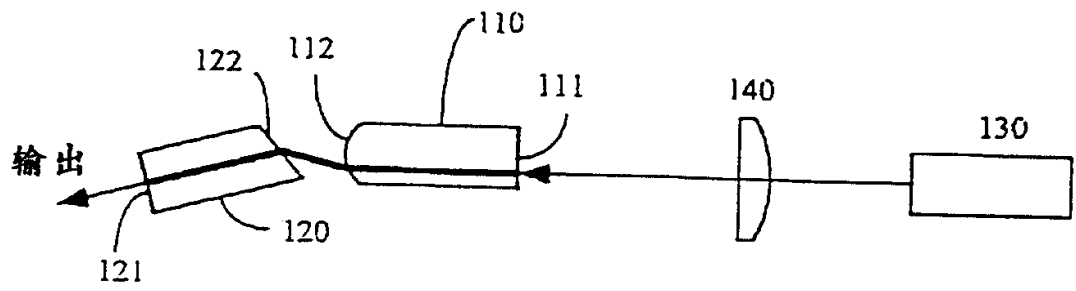


图 6

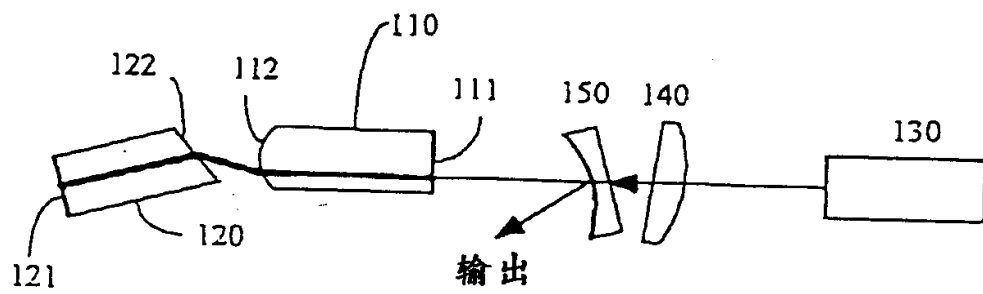


图 7

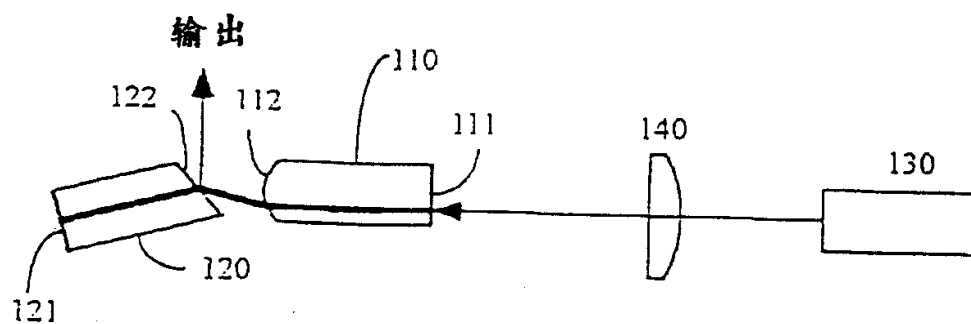


图 8

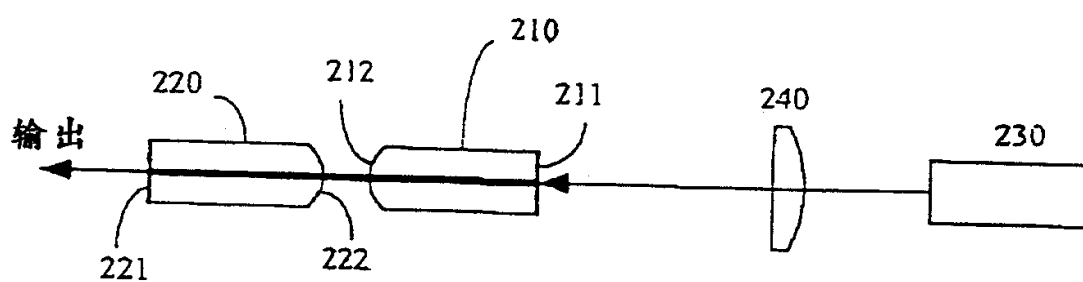


图 9

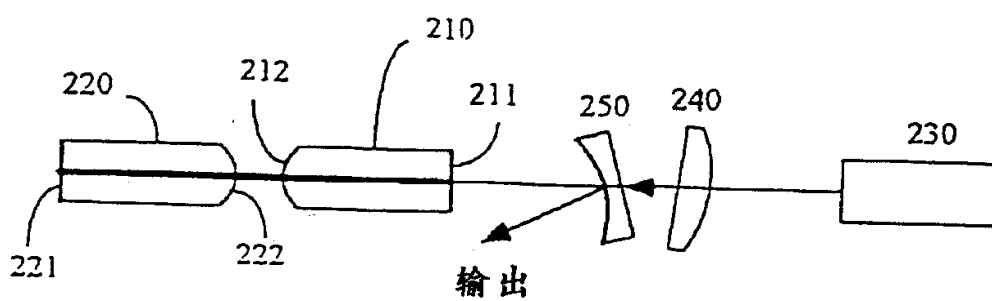


图 10

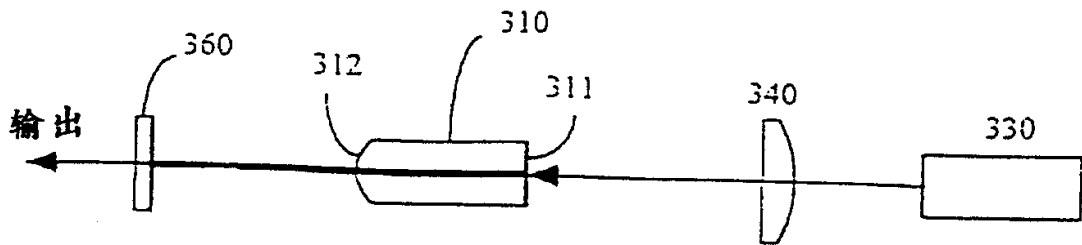


图 11

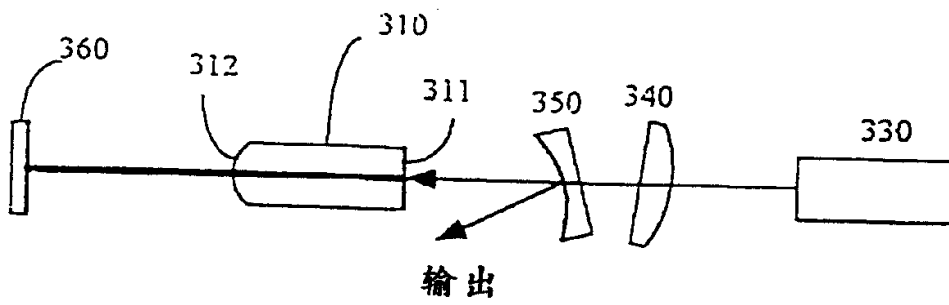


图 12

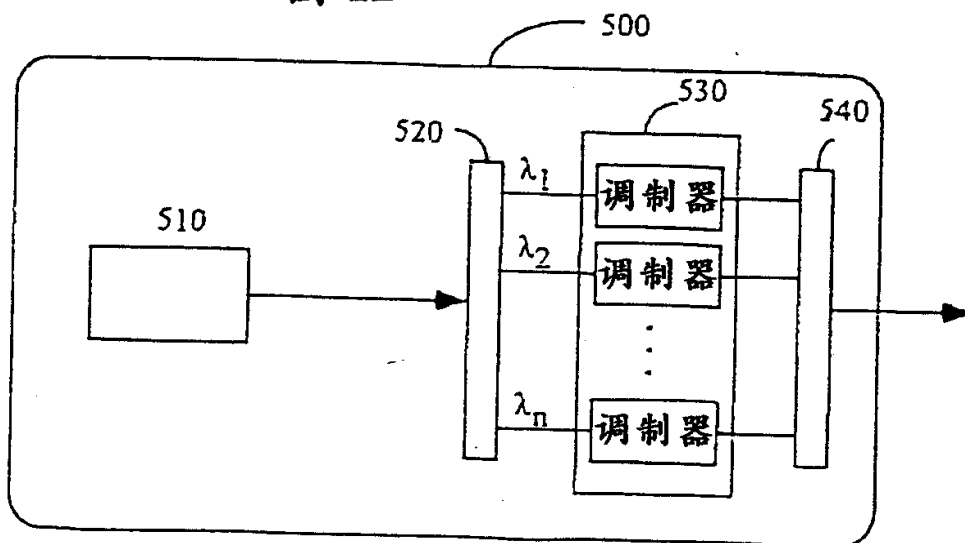


图 13

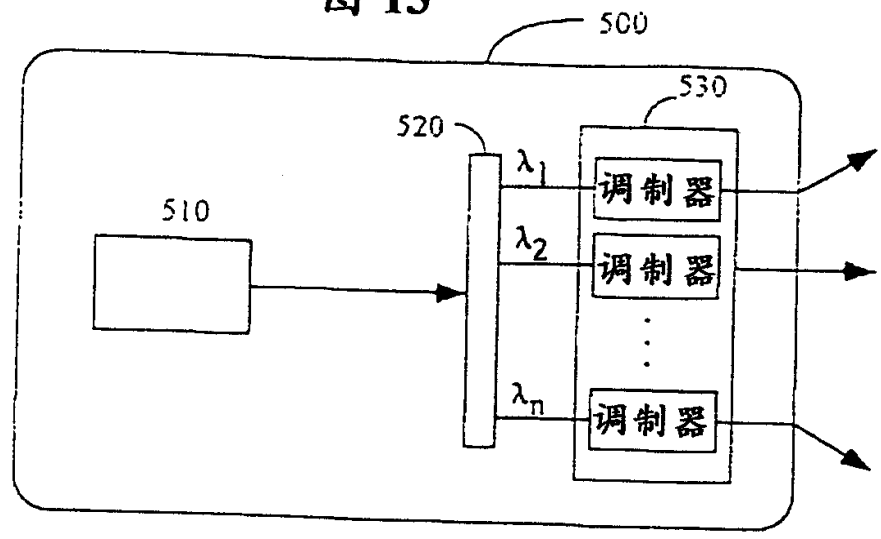


图 14

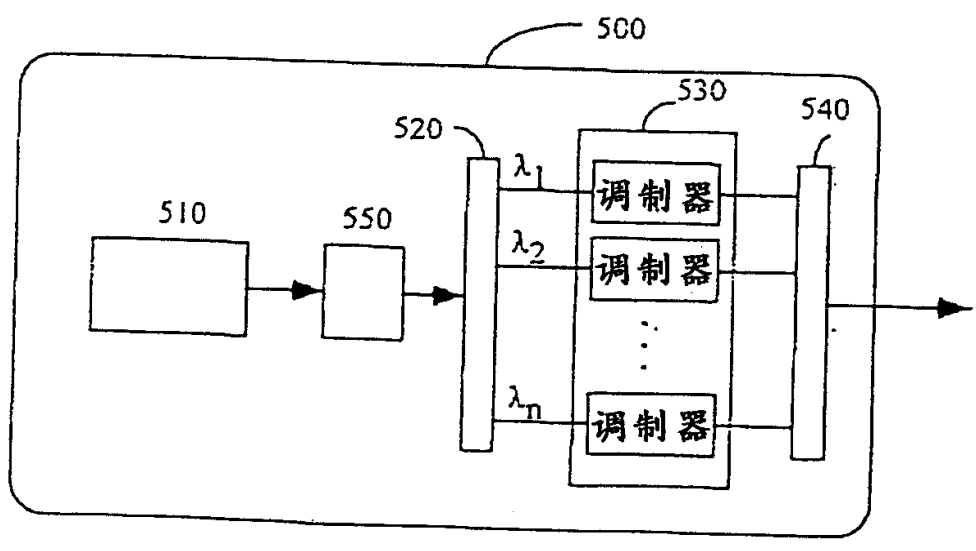


图 15

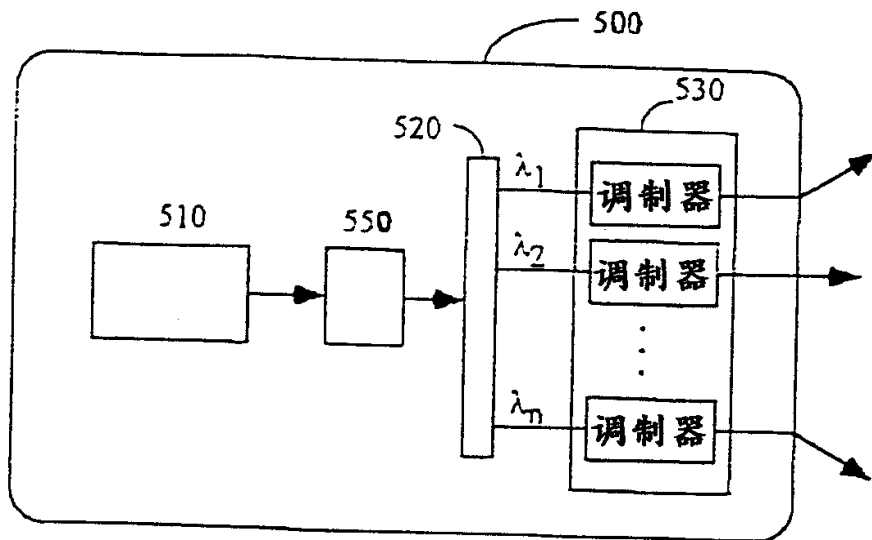


图 16

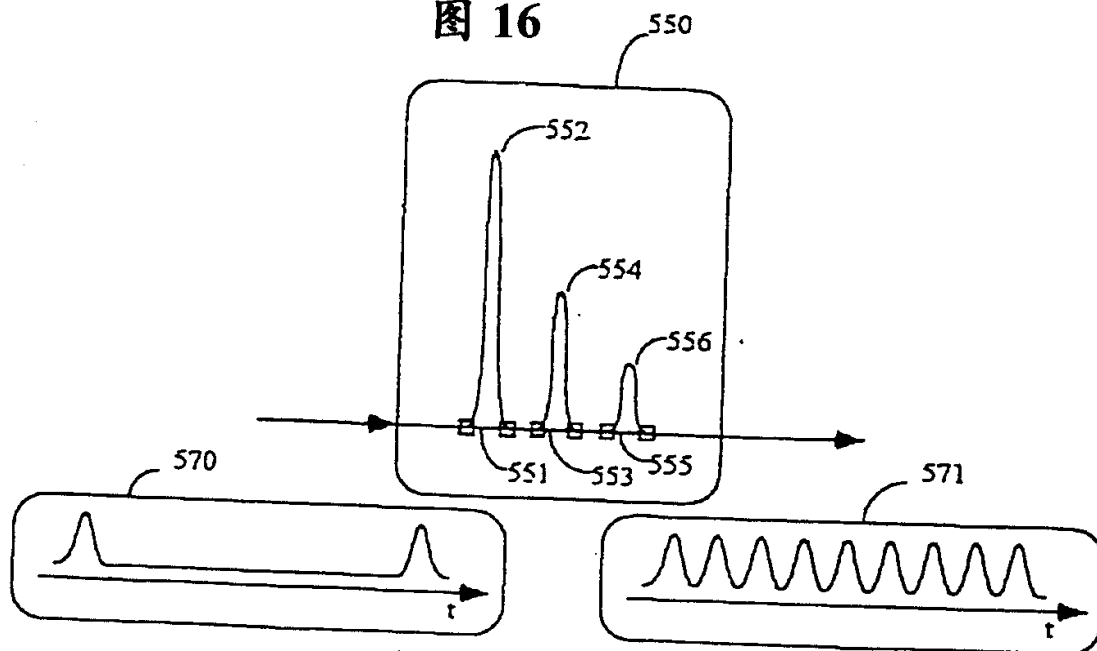


图 17

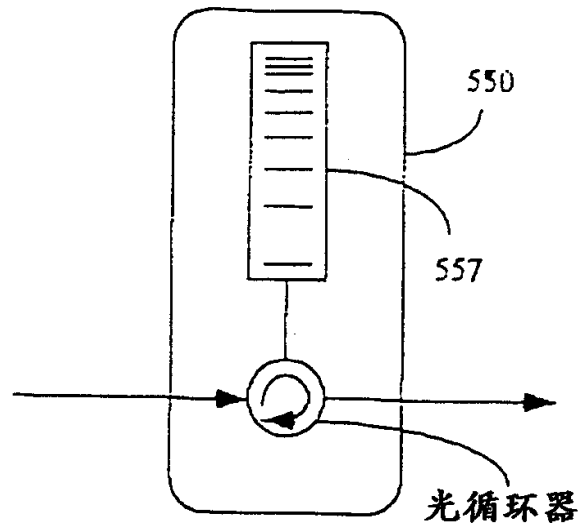


图 18

