



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102414940 B

(45) 授权公告日 2015. 11. 25

(21) 申请号 201080018735. 7

(22) 申请日 2010. 04. 28

(30) 优先权数据

102009020768. 6 2009. 04. 30 DE

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2011. 10. 28

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2010/055755 2010. 04. 28

(87) PCT国际申请的公布数据

W02010/145878 DE 2010. 12. 23

(73) 专利权人 德国航空航天中心

地址 德国科隆

(72) 发明人 阿道夫·吉森 延斯·门德

格哈德·斯平德勒 约亨·施派泽

(74) 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限公司 11219

代理人 关兆辉 谢丽娜

(51) Int. Cl.

H01S 3/06(2006. 01)

H01S 3/07(2006. 01)

H01S 3/08(2006. 01)

H01S 3/081(2006. 01)

H01S 3/083(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1794523 A, 2006. 06. 28, 说明书第 1 页第 4-6 行, 第 12-21 行, 第 4 页第 11 行到第 7 页第 3 行, 第 10 页倒数第 2 行到第 11 页第 19 行, 附图 4-5.

EP 2031712 A2, 2009. 03. 04, 全文.

US 2009/0059974 A1, 2009. 03. 05, 全文.

Andreas Voss et al., Intra-cavity beam shaping for high power thin-disk lasers. 《Proceedings of the international society for optical engineering(SPIE)》. 2007, 第 6346 卷 63461U-1-63461U-12.

审查员 何理

权利要求书 7 页 说明书 12 页 附图 20 页

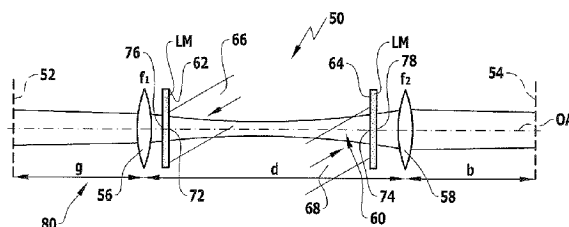
(54) 发明名称

激光放大器系统

(57) 摘要

为了以可简化谐振腔构造的方式改善激光放大器系统 (10), 其中激光放大器系统包括谐振腔 (12), 其具有光学谐振腔元件 (24, 34) 和至少一个激光活化介质 (LM), 光学谐振腔元件确定了沿着光轴传播的谐振腔辐射场的路线, 本发明提出谐振腔设计为分开的谐振腔, 并具有从第一虚拟分离面 (22, 52) 延伸的第一谐振腔部分和从第二虚拟分离面 (32, 54) 延伸的第二谐振腔部分, 谐振腔部分的尺度被光学地设计为在每一虚拟分离面中, 谐振腔辐射场具有对应于相同谐振腔模式的辐射场状态, 光学独立于谐振腔的放大单元 (14, 50) 设置在第一和所述第二虚拟分离面之间, 该放大单元包括至少一个激光活化介质, 并以相对于谐振腔模式的中立方式耦合对应于相同谐振腔模式的辐射场状态。在一个实施例中, 放大单

元 (50) 形成 1:1 望远镜。



1. 激光放大器系统, 包括:

谐振腔 (12), 其具有光学谐振腔元件 (24, 34), 所述光学谐振腔元件确定了沿着光轴 (0A) 传播的谐振腔辐射场 (26, 36) 的路线, 其特征在于, 所述谐振腔 (12) 被设计为分开的谐振腔 (12), 并具有从第一虚拟分离面 (22) 延伸的第一谐振腔部分 (20) 和从第二虚拟分离面 (32) 延伸的第二谐振腔部分 (30), 所述谐振腔部分 (20, 30) 的尺度被光学地设计为使得在每一虚拟分离面 (22, 32) 中, 所述谐振腔辐射场 (26, 36) 具有对应于相同谐振腔模式的辐射场状态, 光学独立于所述谐振腔 (12) 的放大单元 (14) 设置在所述第一和所述第二虚拟分离面 (22, 32) 之间, 所述放大单元包括至少一个激光活化介质 (LM), 并以相对于所述谐振腔模式的准中立方式耦合对应于相同谐振腔模式的所述辐射场状态, 所述放大单元 (14) 包括具有所述至少一个激光活化介质 (LM) 的至少一个放大器模块 (50), 所述至少一个放大器模块 (50) 以相对于所述谐振腔模式的光学准中立方式工作, 以及所述至少一个放大器模块 (50) 以光学准中立方式耦合到所述虚拟分离面 (22, 32)。

2. 根据权利要求 1 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述至少一个放大器模块 (50) 的每一个在第一虚拟模块端面 (52) 和第二虚拟模块端面 (54) 之间延伸, 并且其尺度被光学地设计为使得在所述激光放大器系统以预定功率范围内的至少平均功率运行期间, 其在至少一个中心区域 (Z) 中以保持强度分布形状的方式将表示一个模块端面 (52) 中放大器模块辐射场 (60) 的辐射场状态的强度分布变换至另一模块端面 (54), 并且第一个模块端面 (52) 耦合至第一分离面 (22), 而第二个模块端面 (54) 耦合至第二分离面 (32)。

3. 根据权利要求 2 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 至少在所述至少一个中心区域 (Z) 处, 在模块端面 (52, 54) 的由于成像而分别彼此关联的位置中, 归一化至其最大值的强度分布 (IP) 的强度值彼此偏离最大达所述最大值的 20%, 其中所述强度值表示单个辐射场状态值。

4. 根据权利要求 2 或 3 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述至少一个放大器模块 (50) 本质上以保持强度分布形状的方式将一个虚拟模块端面 (52, 54) 中的、归一化至其最大值的强度分布 (IP) 变换至另一虚拟模块端面 (54, 52)。

5. 根据权利要求 2 或 3 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述至少一个放大器模块 (50) 至少在所述至少一个中心区域 (Z) 中本质上以保持相位分布形状的方式将表示辐射场状态的相位分布 (PP) 从一个模块端面 (52, 54) 变换至另一模块端面 (54, 52)。

6. 根据权利要求 5 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 模块端面 (52, 54) 的由于成像而分别彼此关联的位置中的相位分布 (PP) 的相位值的差在每一点处小于 4 拉德。

7. 根据权利要求 2 或 3 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述至少一个中心区域 (Z) 对应于包含了放大器模块辐射场 (60) 总功率的 80% 的所述放大器模块辐射场 (60) 的最小截面积。

8. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述放大单元 (14) 包括一个放大器模块 (50), 所述模块中, 所述模块端面中的第一个 (52) 与第一分离面 (22) 重合, 而所述模块端面中的第二个 (54) 与第二分离面 (32) 重合。

9. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述放大单元 (14) 包括若干放大器模块 (50)。

10. 根据权利要求 9 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 形成整体的若干放大器模

块 (50) 一个接一个地设置在所述分离面 (22, 32) 之间, 并且在连续的放大器模块 (50) 的情况下, 第二模块端面 (54) 以光学准中立方式耦合至随后的下一第一模块端面 (52), 并且在放大器模块 (50) 整体中, 第一个放大器模块 (50a) 的第一模块端面 (52) 光学耦合至一个分离面 (22), 最后一个放大器模块 (50n) 的第二模块端面 (54n) 光学耦合至另一分离面 (32)。

11. 根据权利要求 10 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 在连续的放大器模块 (50) 的情况下, 第二模块端面 (54) 与随后的下一第一模块端面 (52) 重合, 并且在放大器模块 (50) 整体中, 第一个放大器模块 (50a) 的第一模块端面 (52) 以光学准中立方式耦合至一个分离面 (22), 最后一个放大器模块 (50n) 的模块端面 (54n) 以光学准中立方式耦合至另一分离面 (32)。

12. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述放大器模块 (50) 表示光学系统 (80), 其 ABCD 矩阵具有以下值

$$0.97 < |A| < 1.03$$

$$-0.2 \text{ 米} < B < 0.2 \text{ 米}$$

$$-0.2^1 / \text{米} < C < 0.2^1 / \text{米}$$

$$0.97 < |D| < 1.03。$$

13. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述激光活化介质 (LM) 设置在至少一个固态体 (62, 64, 56', 58') 中。

14. 根据权利要求 13 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述至少一个固态体 (62, 64, 56', 58') 相对于光轴 (0A) 横向延伸。

15. 根据权利要求 13 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述至少一个固态体 (62, 64, 56', 58') 沿每一方向相对于光轴 (0A) 的横向延伸大于沿光轴 (0A) 方向的延伸。

16. 根据权利要求 13 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述至少一个固态体 (62, 64) 具有片状设计。

17. 根据权利要求 13 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述至少一个固态体 (56', 58') 具有聚焦或散焦设计。

18. 根据权利要求 13 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述至少一个固态体 (62, 64, 56', 58') 设置在所述至少一个放大器模块 (50) 中所述模块端面 (52, 54) 之间。

19. 根据权利要求 13 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述至少一个固态体 (62, 64, 56', 58') 设置在所述放大器模块 (50) 所形成的放大器模块辐射场 (60) 的、其放大器模块辐射场截面 (76, 78) 小于泵浦光斑 (72, 74) 的区域中。

20. 根据权利要求 13 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述至少一个固态体 (62, 64) 设置为与所述至少一个放大器模块 (50) 的光学成像元件 (56, 58) 不相关。

21. 根据权利要求 13 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述至少一个固态体 (62, 64, 56', 58') 设置在所述放大器模块 (50) 的成像平面 (82, 84, 85) 中。

22. 根据权利要求 21 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述至少一个放大器模块 (50) 的所述成像平面 (82, 84, 85) 设置在两个适配分支 (86, 88) 之间。

23. 根据权利要求 22 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 若干成像平面 (82, 84, 85) 设置在所述适配分支 (86, 88) 之间。

24. 根据权利要求 23 所述的激光放大器系统,其特征在于,中间成像分支(90)设置在两个成像平面(82, 84, 85)之间。

25. 根据权利要求 24 所述的激光放大器系统,其特征在于,所述中间成像分支(90)为光学准中立的。

26. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的激光放大器系统,其特征在于,改变光程长度的相位校正元件(92)设置在所述至少一个放大器模块(50)的一个成像平面(84)中。

27. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的激光放大器系统,其特征在于,所述谐振腔为稳定谐振腔(12)。

28. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的激光放大器系统,其特征在于,所述谐振腔为不稳定谐振腔(12")。

29. 根据权利要求 28 所述的激光放大器系统,其特征在于,所述虚拟分离面(22, 32)位于所述不稳定谐振腔(12")的使得波前沿相反方向穿过其达总直径的至少 70%的区域中。

30. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的激光放大器系统,其特征在于,所述谐振腔(12)为环形谐振腔。

31. 激光放大器系统,包括谐振腔(12),所述谐振腔(12)具有光学谐振腔元件(24, 34),所述光学谐振腔元件确定了沿着光轴(OA)传播的谐振腔辐射场(26, 36)的路线,其特征在于,所述谐振腔(12)被设计为分开的谐振腔(12),并具有从第一虚拟分离面(22)延伸的第一谐振腔部分(20)和从第二虚拟分离面(32)延伸的第二谐振腔部分(30),至少一个放大器模块(50)设置在所述第一和所述第二虚拟分离面(22, 32)之间,所述放大器模块包括至少一个激光活化介质(LM),所述至少一个放大器模块(50)设置在所述分离面(22, 32)之间,使得所述至少一个放大器模块(50)的第一模块端面(52)以光学准中立方式耦合至第一分离面(22),所述至少一个放大器模块(50)的第二模块端面(54)以光学准中立方式耦合至第二分离面(32),在所述激光放大器系统以预定功率范围内的至少平均功率运行期间,所述至少一个放大器模块(50)在所述模块端面(52, 54)之间形成放大器模块辐射场(60),所述辐射场至少在中心区域(Z)中以光学准中立方式将所述模块端面(52, 54)中的辐射场状态彼此耦合。

32. 根据权利要求 31 所述的激光放大器系统,其特征在于,形成整体的若干放大器模块(50)一个接一个地设置在所述分离面(22, 32)之间,并且在连续的放大器模块(50)的情况下,第二模块端面(54)以光学准中立方式耦合至随后的下一第一模块端面(52),并且在放大器模块(50)整体中,第一个放大器模块(50a)的第一模块端面(52)以光学准中立方式耦合至一个分离面(22),而最后的放大器模块(50n)的第二模块端面(54)以光学准中立方式耦合至另一分离面(32)。

33. 根据权利要求 31 至 32 中任一项所述的激光放大器系统,其特征在于,所述放大器模块(50)表示光学系统(80),其 ABCD 矩阵具有以下值

$$0.97 < |A| < 1.03$$

$$-0.2 \text{ 米} < B < 0.2 \text{ 米}$$

$$-0.2^1 / \text{米} < C < 0.2^1 / \text{米}$$

$$0.97 < |D| < 1.03。$$

34. 根据权利要求 31 至 32 中任一项所述的激光放大器系统,其特征在于,所述激光活

化介质 (LM) 设置在至少一个固态体 (62, 64, 56', 58') 中。

35. 根据权利要求 34 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述至少一个固态体 (62, 64, 56', 58') 相对于光轴 (0A) 横向延伸。

36. 根据权利要求 34 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述至少一个固态体 (62, 64, 56', 58') 沿每一方向相对于光轴 (0A) 的横向延伸大于沿光轴 (0A) 方向的延伸。

37. 根据权利要求 34 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述至少一个固态体 (62, 64) 具有片状设计。

38. 根据权利要求 34 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述至少一个固态体 (56', 58') 具有聚焦或散焦设计。

39. 根据权利要求 34 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述至少一个固态体 (62, 64, 56', 58') 设置在所述至少一个放大器模块 (50) 中所述模块端面 (52, 54) 之间。

40. 根据权利要求 34 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述至少一个固态体 (62, 64, 56', 58') 设置在所述放大器模块辐射场 (60) 的、其放大器模块辐射场截面 (76, 78) 小于泵浦光斑 (72, 74) 的区域中。

41. 根据权利要求 34 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述至少一个固态体 (62, 64) 设置为与所述至少一个放大器模块 (50) 的光学成像元件 (56, 58) 不相关。

42. 根据权利要求 34 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述至少一个固态体 (62, 64, 56', 58') 设置在所述放大器模块 (50) 的成像平面 (82, 84, 85) 中。

43. 根据权利要求 42 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述至少一个放大器模块 (50) 的所述成像平面 (82, 84, 85) 设置在两个适配分支 (86, 88) 之间。

44. 根据权利要求 43 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 若干成像平面 (82, 84, 85) 设置在所述适配分支 (86, 88) 之间。

45. 根据权利要求 44 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 中间成像分支 (90) 设置在两个成像平面 (82, 84, 85) 之间。

46. 根据权利要求 45 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述中间成像分支 (90) 为光学准中立的。

47. 根据权利要求 31 至 32 中任一项所述的激光放大器系统, 其特征在于, 改变光程长度的相位校正元件 (92) 设置在所述至少一个放大器模块 (50) 的一个成像平面 (84) 中。

48. 根据权利要求 31 至 32 中任一项所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述谐振腔为稳定谐振腔 (12)。

49. 根据权利要求 31 至 32 中任一项所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述谐振腔为不稳定谐振腔 (12'')。

50. 根据权利要求 49 所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述虚拟分离面 (22, 32) 位于所述不稳定谐振腔 (12'') 的使得波前沿相反方向穿过其达总直径的至少 70% 的区域中。

51. 根据权利要求 31 至 32 中任一项所述的激光放大器系统, 其特征在于, 所述谐振腔 (12) 为环形谐振腔。

52. 一种组建激光放大器系统的方法, 所述激光放大器系统包括谐振腔 (12), 其具有光学谐振腔元件 (24, 34), 所述光学谐振腔元件确定了沿着光轴 (0A) 传播的谐振腔辐射场 (26, 36) 的路线, 其特征在于, 所述谐振腔 (12) 被设计为分开的谐振腔 (12), 并具有从第一

虚拟分离面 (22) 延伸的第一谐振腔部分 (20) 和从第二虚拟分离面 (32) 延伸的第二谐振腔部分 (30), 所述谐振腔部分 (20, 30) 的尺度被光学地设计为在每一虚拟分离面 (22, 32) 中, 所述谐振腔辐射场 (26, 36) 具有对应于相同谐振腔模式的辐射场状态, 光学独立于所述谐振腔 (12) 的放大单元 (14) 设置在所述第一和所述第二虚拟分离面 (22, 32) 之间, 所述放大单元包括至少一个激光活化介质 (LM), 并以相对于所述谐振腔模式的准中立方式耦合对应于相同谐振腔模式的所述辐射场状态, 所述放大单元 (14) 包括具有所述至少一个激光活化介质 (LM) 的至少一个放大器模块 (50), 所述至少一个放大器模块 (50) 以相对于所述谐振腔模式的光学准中立方式工作, 以及所述至少一个放大器模块 (50) 以光学准中立方式耦合到所述虚拟分离面 (22, 32)。

53. 根据权利要求 52 所述的方法, 其特征在于, 所述至少一个放大器模块 (50) 的每一个在第一虚拟模块端面 (52) 和第二虚拟模块端面 (54) 之间延伸, 并且其尺度被光学地设计为使得: 在所述激光放大器系统以预定功率范围内的至少平均功率运行期间, 其在至少一个中心区域 (Z) 中以保持强度分布形状的方式将表示一个模块端面 (52) 中放大器模块辐射场 (60) 的辐射场状态的强度分布变换至另一模块端面 (54), 并且所述模块端面中的第一个 (52) 耦合至第一分离面 (22), 而所述模块端面中的第二个 (54) 耦合至第二分离面 (32)。

54. 根据权利要求 53 所述的方法, 其特征在于, 至少在所述至少一个中心区域 (Z) 中, 在模块端面 (52, 54) 的由于成像而分别彼此关联的位置中, 归一化至其最大值的强度分布 (IP) 的强度值彼此偏离最大达所述最大值的 20%, 其中所述强度值表示单个辐射场状态值。

55. 根据权利要求 53 或 54 所述的方法, 其特征在于, 所述至少一个放大器模块 (50) 本质上以保持强度分布形状的方式将一个虚拟模块端面 (52, 54) 中的归一化至其最大值的强度分布 (IP) 变换至另一虚拟模块端面 (54, 52)。

56. 根据权利要求 53 至 54 中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述至少一个放大器模块 (50) 至少在所述至少一个中心区域 (Z) 中本质上以保持相位分布形状的方式将表示辐射场状态的相位分布 (PP) 从一个模块端面 (52, 54) 变换至另一模块端面 (54, 52)。

57. 根据权利要求 56 所述的方法, 其特征在于, 模块端面 (52, 54) 的由于成像而分别彼此关联的位置中的相位分布 (PP) 的相位值的差在每一点处小于 4 拉德。

58. 根据权利要求 53 至 54 中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述至少一个中心区域 (Z) 对应于包含了放大器模块辐射场 (60) 总功率的 80% 的所述放大器模块辐射场 (60) 的最小截面积。

59. 根据权利要求 52 至 54 中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述放大单元 (14) 包括一个放大器模块 (50), 所述模块中, 所述模块端面中的第一个 (52) 与第一分离面 (22) 重合, 而所述模块端面中的第二个 (54) 与第二分离面 (32) 重合。

60. 根据权利要求 52 至 54 中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述放大单元 (14) 包括若干放大器模块 (50)。

61. 根据权利要求 60 所述的方法, 其特征在于, 形成整体的若干放大器模块 (50) 一个接一个地设置在所述分离面 (22, 32) 之间, 并且在连续的放大器模块 (50) 的情况下, 第二模块端面 (54) 以光学准中立方式耦合至随后的下一第一模块端面 (52), 并且在放大器

模块 (50) 整体中, 第一个放大器模块 (50a) 的第一模块端面 (52) 光学耦合至一个分离面 (22), 而最后的放大器模块 (50n) 的第二模块端面 (54n) 光学耦合至另一分离面 (32)。

62. 根据权利要求 61 所述的方法, 其特征在于, 在连续的放大器模块 (50) 的情况下, 第二模块端面 (54) 与随后的下一第一模块端面 (52) 重合, 并且在放大器模块 (50) 整体中, 第一个放大器模块 (50a) 的第一模块端面 (52) 以光学准中立方式耦合至一个分离面 (22), 而最后的放大器模块 (50n) 的模块端面 (54n) 以光学准中立方式耦合至另一分离面 (32)。

63. 根据权利要求 52 至 54 中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述放大器模块 (50) 表示光学系统 (80), 其 ABCD 矩阵具有以下值

$$0.97 < |A| < 1.03$$

$$-0.2 \text{ 米} < B < 0.2 \text{ 米}$$

$$-0.2^1 / \text{米} < C < 0.2^1 / \text{米}$$

$$0.97 < |D| < 1.03。$$

64. 根据权利要求 52 至 54 中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述激光活化介质 (LM) 设置在至少一个固态体 (62, 64, 56', 58') 中。

65. 根据权利要求 64 所述的方法, 其特征在于, 所述至少一个固态体 (62, 64, 56', 58') 设置在所述放大器模块 (50) 中所述模块端面 (52, 54) 之间。

66. 根据权利要求 64 所述的方法, 其特征在于, 所述至少一个固态体 (62, 64, 56', 58') 设置在所述放大器模块 (50) 所形成的放大器模块辐射场 (60) 的、其放大器模块辐射场截面 (76, 78) 小于泵浦光斑 (72, 74) 的区域中。

67. 根据权利要求 64 所述的方法, 其特征在于, 所述至少一个固态体 (62, 64) 设置为与所述至少一个放大器模块 (50) 的光学成像元件 (56, 58) 不相关。

68. 根据权利要求 64 所述的方法, 其特征在于, 所述至少一个固态体 (62, 64, 56', 58') 设置在所述至少一个放大器模块 (50) 的成像平面 (82, 84, 85) 中。

69. 根据权利要求 68 所述的方法, 其特征在于, 所述至少一个放大器模块 (50) 的所述成像平面 (82, 84, 85) 设置在两个适配分支 (86, 88) 之间。

70. 根据权利要求 69 所述的方法, 其特征在于, 若干成像平面 (82, 84, 85) 设置在所述适配分支 (86, 88) 之间。

71. 根据权利要求 70 所述的方法, 其特征在于, 中间成像分支 (90) 设置在两个成像平面 (82, 84, 85) 之间。

72. 根据权利要求 71 所述的方法, 其特征在于, 所述中间成像分支 (90) 被选择为光学准中立的。

73. 根据权利要求 52 至 54 中任一项所述的方法, 其特征在于, 改变光程长度的相位校正元件 (92) 设置在所述至少一个放大器模块 (50) 的一个成像平面 (84) 中。

74. 一种用于组建激光放大器系统的方法, 所述激光放大器系统包括谐振腔 (12), 所述谐振腔 (12) 具有光学谐振腔元件 (24, 34), 所述光学谐振腔元件确定了沿着光轴 (0A) 传播的谐振腔辐射场 (26, 36) 的路线, 其特征在于, 所述谐振腔 (12) 被设计为分开的谐振腔 (12), 并具有从第一虚拟分离面 (22) 延伸的第一谐振腔部分 (20) 和从第二虚拟分离面 (32) 延伸的第二谐振腔部分 (30), 至少一个放大器模块 (50) 设置在所述第一和所述第二虚拟分离面 (22, 32) 之间, 所述放大器模块包括至少一个激光活化介质 (LM), 所述至少一

个放大器模块 (50) 设置在所述分离面 (22, 32) 之间, 使得所述至少一个放大器模块 (50) 的第一模块端面 (52) 以光学准中立方式耦合至第一分离面 (22), 而所述至少一个放大器模块 (50) 的第二模块端面 (54) 以光学准中立方式耦合至第二分离面 (32), 在所述激光放大器系统以预定功率范围内的至少平均功率运行期间, 所述至少一个放大器模块 (50) 在所述模块端面 (52, 54) 之间形成放大器模块辐射场 (60), 所述辐射场至少在中心区域 (Z) 中以光学准中立方式将所述模块端面 (52, 54) 中的辐射场状态彼此耦合。

75. 根据权利要求 74 所述的方法, 其特征在于, 形成整体的若干放大器模块 (50) 一个接一个地设置在所述分离面 (22, 32) 之间, 并且在连续的放大器模块 (50) 的情况下, 第二模块端面 (54) 以光学准中立方式耦合至随后的下一第一模块端面 (52), 并且在放大器模块 (50) 整体中, 第一个放大器模块 (50a) 的第一模块端面 (52) 以光学准中立方式耦合至一个分离面 (22), 最后的放大器模块 (50n) 的第二模块端面 (54) 以光学准中立方式耦合至另一分离面 (32)。

76. 根据权利要求 74 至 75 中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述放大器模块 (50) 表示光学系统 (80), 其 ABCD 矩阵具有以下值

$$0.97 < |A| < 1.03$$

$$-0.2 \text{ 米} < B < 0.2 \text{ 米}$$

$$-0.2^1 / \text{米} < C < 0.2^1 / \text{米}$$

$$0.97 < |D| < 1.03。$$

77. 根据权利要求 74 至 75 中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述激光活化介质 (LM) 设置在至少一个固态体 (62, 64, 56', 58') 中。

78. 根据权利要求 77 所述的方法, 其特征在于, 所述至少一个固态体 (62, 64, 56', 58') 设置在所述放大器模块 (50) 中所述模块端面 (52, 54) 之间。

79. 根据权利要求 77 所述的方法, 其特征在于, 所述至少一个固态体 (62, 64, 56', 58') 设置在所述放大器模块辐射场 (60) 的其放大器模块辐射场截面 (76, 78) 小于泵浦光斑 (72, 74) 的区域中。

80. 根据权利要求 77 所述的方法, 其特征在于, 所述至少一个固态体 (62, 64) 设置为与所述至少一个放大器模块 (50) 的光学成像元件 (56, 58) 不相关。

81. 根据权利要求 77 所述的方法, 其特征在于, 所述至少一个固态体 (62, 64, 56', 58') 设置在所述至少一个放大器模块 (50) 的成像平面 (82, 84, 85) 中。

82. 根据权利要求 81 所述的方法, 其特征在于, 所述至少一个放大器模块 (50) 的所述成像平面 (82, 84, 85) 设置在两个适配分支 (86, 88) 之间。

83. 根据权利要求 82 所述的方法, 其特征在于, 若干成像平面 (82, 84, 85) 设置在所述适配分支 (86, 88) 之间。

84. 根据权利要求 83 所述的方法, 其特征在于, 中间成像分支 (90) 设置在两个成像平面 (82, 84, 85) 之间。

85. 根据权利要求 84 所述的方法, 其特征在于, 所述中间成像分支 (90) 被选择为光学准中立的。

86. 根据权利要求 74 至 75 中任一项所述的方法, 其特征在于, 改变光程长度的相位校正元件 (92) 设置在所述至少一个放大器模块 (50) 的一个成像平面 (84) 中。

## 激光放大器系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种激光放大器系统,其包括谐振腔和至少一种激光活化介质,所述谐振腔具有确定了沿着光轴传播的谐振腔辐射场的路线的光学谐振腔元件。

### 背景技术

[0002] 此类型的激光放大器系统是传统激光放大器系统,其中激光放大器系统的构造方面的问题在于,对于谐振腔的构造来说,必须考虑激光活化介质的光学行为,因此,获得的谐振腔辐射场始终依赖于激光活化介质的光学行为。

[0003] 具体地讲,当激光活化介质的光学行为变化时,获得的谐振腔辐射场也将变化,因此谐振腔的构造必须适应激光活化介质的变化的光学性质。

### 发明内容

[0004] 因此,本发明的目的在于改善开始所描述类型的激光放大器系统,使得能够简化谐振腔的构造。

[0005] 这一目的将根据本发明在开始所描述类型的激光放大器系统中实现,其中谐振腔被设计为分开的谐振腔(split resonator),并具有从第一虚拟分离面延伸的第一谐振腔部分和从第二虚拟分离面延伸的第二谐振腔部分,所述谐振腔部分的尺度被光学地设计为使得在虚拟分离面中的每一个中,所述谐振腔辐射场具有对应于相同谐振腔模式的辐射场状态,光学独立于所述谐振腔的放大单元设置在第一和所述第二虚拟分离面之间,该放大单元包括至少一个激光活化介质,并以相对于谐振腔模式的中立方式耦合对应于相同谐振腔模式的辐射场状态。

[0006] 可以看出,根据本发明的方案的优点在于放大单元光学独立于谐振腔,因此,谐振腔的尺度设计以及谐振腔模式的确定可独立于放大单元的光学性质。

[0007] 同时,可独立于谐振腔构造并操作放大单元,使得对于放大单元来说,可同样地独立于谐振腔来进行尺度设计。

[0008] 一个尤其有利的方案使得所述放大单元包括至少一个放大器模块,其中所述至少一个激光活化介质设置在所述放大器模块中。

[0009] 在这一方面,所述至少一个放大器模块可以最多变化的方式进行设计。其可被构造为其与放大单元的所有剩余光学元件一起以相对于谐振腔模式的中立方式工作。

[0010] 尤其有利的是,所述至少一个放大器模块以相对于谐振腔模式的光学中立方式作用,使得放大器模块形成单元,该单元可优选地以可扩展(scalable)方式布置在放大单元中,即,在放大单元中布置多次。

[0011] 为了使放大单元一起以相对于谐振腔模式的中立方式作用,优选的是,以相对于谐振腔模式的中立方式作用的至少一个放大器模块以光学中立方式耦合到虚拟分离面。

[0012] 一个尤其有利的方案使得每一放大器模块在第一虚拟模块端面和第二虚拟模块端面之间延伸,并且其尺度被光学地设计为在激光放大器系统以预定功率范围内的至少平

均功率运行期间,其在至少一个中心区域中以保持强度分布形状的方式将表示一个模块端面中放大器模块辐射场的辐射场状态的强度分布变换至另一模块端面,并且第一个模块端面耦合至第一分离面,第二个模块端面耦合至第二分离面。

[0013] 因此,此方案确保放大器模块执行两个模块端面之间辐射场状态的变换,而不会由于保持强度分布形状的变换导致不利地影响谐振腔模式。

[0014] 另外,优选的是,至少在所述中心区域中,在模块端面的由于成像而分别彼此关联的位置中,归一化至其最大值的强度分布的强度值彼此偏离最大达所述最大值的 20%,其中这些强度值表示单个辐射场状态值。

[0015] 作为这一条件的结果,优选确定强度分布的单个强度值彼此仅具有有限的变化,因此谐振腔模式不会经历任何基础的改变。

[0016] 优选的是,至少在中心区域中,在模块端面的由于成像而分别彼此关联的位置中,表示单个辐射场状态值的强度分布的强度值彼此偏离最大达所述最大值的 15%。

[0017] 更佳的是,至少在中心区域中,在模块端面的由于成像而分别彼此关联的位置中,表示单个辐射场状态值的强度分布的强度值彼此偏离最大达所述最大值的 10%,甚至更有利的是,至少在中心区域中,在模块端面的由于成像而分别彼此关联的位置中,表示单个辐射场状态值的强度分布的强度值彼此偏离最大达所述最大值的 5%。

[0018] 单个位置由于成像而关联的概念应理解为在准确成像的情况下,单个位置彼此清晰关联,在失焦成像的情况下,关联变为:在一个模块端面的位置的失焦图像在另一模块端面中的情况下,该位置的失焦图像的中心点将被视为关联的位置。

[0019] 尤其有利的是,所述至少一个放大器模块本质上以保持强度分布形状的方式将一个虚拟模块端面中的归一化至其最大值的强度分布变换至另一虚拟模块端面。

[0020] 另外,对于放大器模块的行为而言额外的有利条件是,所述至少一个放大器模块至少在中心区域中以保持相位分布形状的方式将表示辐射场状态的相位分布从一个模块端面变换至另一模块端面。

[0021] 该附加条件表示在对谐振腔模式影响很小的情况下,放大器模块的最佳光学行为的附加澄清。

[0022] 在这一方面,尤其有利的是,模块端面的由于成像而分别彼此关联的位置中的相位分布的相位值的差在每一点处小于 4 拉德。

[0023] 更佳的是,模块端面中的相位分布的差在每一点处小于 3 拉德。

[0024] 甚至更佳的是,模块端面中的相位分布的差在每一点处小于 2 拉德,尤其有利的是,模块端面中的相位分布的差在每一点处小于 1 拉德。

[0025] 没有结合前面有关各个实施例的说明更详细地定义中心区域。

[0026] 中心区域被便利地定义为使得中心区域对应于包含了放大器模块辐射场的总功率的 80% 的放大器模块辐射场的最小横截面积。

[0027] 结合在放大单元中放大器模块的布置,迄今为止仅定义了其光学耦合。

[0028] 一个尤其有利的方案使得放大单元包括一个放大器模块,所述模块端面中的第一个与第一分离面以光学中立方式耦合,优选地重合,并且模块端面中的第二个与第二分离面以光学中立方式耦合,优选地重合。

[0029] 另外,迄今为止仅结合放大单元描述了至少一个放大器模块。

[0030] 一个尤其有利的方案使得放大单元包括若干放大器模块。通过这一方案，一致的优点在于放大器模块本身以保持强度分布形状的方式作用，并且在适合时，还有利地以保持相位分布形状的方式作用，以使得在一个放大单元中可使用若干这样的放大器模块(需要时，其具有相同的构造)。

[0031] 在这一方面，尤其有利的是，形成整体的若干放大器模块一个接一个地设置在分离面之间，并且在连续的放大器模块的情况下，第一模块端面以光学中立方式耦合至第二模块端面，并且在放大器模块整体中，第一放大器模块的第一模块端面光学耦合至一个分离面，并且最后一个放大器模块的第二模块端面光学耦合至另一分离面。

[0032] 一个尤其有利的方案使得连续放大器模块的第一模块端面与第二模块端面重合，放大器模块的整体中的第一放大器模块的第一模块端面与一个分离面以光学中立方式耦合(优选重合)，最后一个放大器模块的第二模块端面与另一分离面以光学中立方式耦合(优选重合)。

[0033] 除了目前为止描述的方案之外或作为替代，根据本发明的激光系统的一个有利的实施例使得所述谐振腔被设计为分开的谐振腔，并具有从第一虚拟分离面延伸的第一谐振腔部分和从第二虚拟分离面延伸的第二谐振腔部分，至少一个放大器模块设置在第一和第二虚拟分离面之间，所述放大器模块包括至少一个激光活化介质，所述至少一个放大器模块设置在分离面之间，使得至少一个放大器模块的第一模块端面以光学中立方式耦合至第一分离面，所述至少一个放大器模块的第二模块端面以光学中立方式耦合至第二分离面，在所述激光放大器系统以预定功率范围内的至少平均功率运行期间，所述至少一个放大器模块在所述模块端面之间形成放大器模块辐射场，所述辐射场至少在中心区域中将所述模块端面中的辐射场状态以光学准中立方式彼此耦合。

[0034] 所述至少一个放大器模块到第一分离面或第二分离面的光学准中立(尤其是中立)耦合应理解为该耦合导致各分离面中的辐射场状态与对应的耦合模块端面中的辐射场状态的基本上相同的变换。

[0035] 例如，分离面的光学准中立耦合优选以这样的方式定义：根据 A. E. Siegmann 的“Lasers”(Univ. Science Books, Mill Valley, CA, USA, 1986, 581 页及以下)定义的 ABCD 光束矩阵具有下列值：

[0036]  $0.97 < |A| < 1.03$

[0037]  $-0.1\text{m} < B < 0.1\text{m}$

[0038]  $-0.1^1/\text{m} < C < 0.1^1/\text{m}$

[0039]  $0.97 < |D| < 1.03$ 。

[0040] 根据本发明的这样的激光放大器系统原则上可仅具有一个这样的放大器模块。

[0041] 尤其有利的是，形成整体的若干放大器模块一个接一个地设置在所述分离面之间，并且在连续的放大器模块的情况下，相应第一模块端面以光学中立方式耦合至相应第二模块端面，并且在放大器模块整体中，第一个放大器模块的第一模块端面以光学中立方式耦合至一个分离面，最后一个放大器模块的第二模块端面以光学中立方式耦合至另一分离面。

[0042] 此类光学中立耦合的最简单情况是相应模块端面或相应分离面与模块端面重合。

[0043] 根据本发明设计的(尤其)准中立放大器模块的一个方案使其表示光学系统，其根

据 A. E. Siegmann 的“Lasers” (Univ. Science Books, Mill Valley, CA, USA, 1986, 581 页及以下) 定义的 ABCD 矩阵具有以下值:

[0044]  $0.97 < |A| < 1.03$

[0045]  $-0.2\text{m} < B < 0.2\text{m}$

[0046]  $-0.2^1/\text{m} < C < 0.2^1/\text{m}$

[0047]  $0.97 < |D| < 1.03$ 。

[0048] 关于激光活化介质在放大单元或放大器模块内的设置方式, 迄今为止还没有给出进一步的细节。

[0049] 激光活化介质可例如设置在作为载体的气体或液体中。

[0050] 然而, 根据本发明的激光系统尤其适合于激光活化介质设置在至少一个固态体中的实施方式。

[0051] 关于所述至少一个固态体的形状, 原则上可想到任何光学设计。

[0052] 有利的是所述至少一个固态体相对于光轴横向延伸。

[0053] 原则上, 所述至少一个固态体可为在光轴方向上延伸的棒, 或者在光轴方向上延伸的平行六面体, 例如在板条激光器的情况下。

[0054] 一个尤其有利的方案使得所述至少一个固态体在每一方向上相对于光轴的横向延伸大于在光轴方向上的延伸(尤其是其许多倍)。

[0055] 结果, 这样的固态体具有能够限制激光活化介质对放大单元或放大器模块的影响(如果需要, 能够减小影响)的优点。

[0056] 这尤其适用于固态体中的所谓热透镜的设计。

[0057] 尤其有利的是所述至少一个固态体具有片状设计。

[0058] 这样具有片状设计的固态体优选使得其对放大单元或放大器模块的影响尽可能小。

[0059] 然而, 作为其替代, 还可想到将所述至少一个固态体设计为其以聚焦或散焦方式工作, 即, 结合放大单元或放大器模块具有限定的成像特性。

[0060] 原则上, 当固态体具有穿过其的放大器模块辐射场, 因此处于对其放大的位置时, 所述至少一个固态体可设置在模块端面之间放大器模块上的任何可选位置。

[0061] 原则上, 光学放大处理的能量可以最多变化的方式供应至激光活化介质。在激光活化介质的光学泵浦的情况下, 在泵浦光斑的区域中供应电磁辐射以便在激光活化介质中引起激光活化激发态。

[0062] 在这种情况下, 一个尤其有利的方案使得所述至少一个固态体设置在放大器模块辐射场的其中放大器模块辐射场的横截面小于泵浦光斑的区域中。这一方案的优点在于通过其可实现泵浦光的最佳利用。

[0063] 关于所述至少一个固态体相对于放大器模块的光学元件的设置方式, 可想到任何可选的设置方式。

[0064] 尤其优选的是, 所述至少一个固态体设置为与放大器模块的光学成像元件不相关, 即, 不需要将所述至少一个固态体布置为与放大器模块的光学元件具有任何定义的光学相关性以便进行操作。

[0065] 作为其替代, 尤其是在固态体的区域中(因此在激光活化介质的区域中)需要限定

的比例时,使得所述至少一个固态体设置在放大器模块的成像平面中。

[0066] 成像平面可根据放大器模块的光学构造设置在不同的位置。例如,可想到提供模块端面作为成像平面。

[0067] 一个尤其有利的方案使得放大器模块的成像平面设置在两个适配分支(adaptation branch)之间。

[0068] 一个方案,尤其是具有若干固态体的方案优选使得若干成像平面设置在两个或更多适配分支之间。

[0069] 所述适配分支优选由光学望远镜形成,其中这些光学望远镜可设计为开普勒望远镜、伽利略望远镜或其它望远镜,尤其是反射镜望远镜。

[0070] 在若干成像平面的情况下,便利的是中间成像分支设置在两个成像平面之间,所述中间成像分支以定义的方式将一个成像面的辐射场状态成像到另一成像面上。

[0071] 在这一方面,尤其有利的是所述中间成像分支被设计为光学中立的。

[0072] 为了能够还提供相位比率的校正,以便实现放大器模块的准中立行为,改变光程长度的相位校正元件优选设置在放大器模块的一个成像平面中。

[0073] 当提供若干成像平面时,可在若干成像平面中设置相位校正元件,以便于尤其优化相位校正。

[0074] 该相位校正元件可以最多变化的方式进行设计。

[0075] 例如,该相位校正元件可为自适应反射镜或具有各种光学延迟路径的元件。

[0076] 关于谐振腔的设计,结合前面关于各个实施例的说明还未给出进一步的细节。

[0077] 例如,一个尤其有利的方案使得所述谐振腔为稳定谐振腔。

[0078] 作为其替代,可想到的是,所述谐振腔为不稳定谐振腔。

[0079] 在不稳定谐振腔的情况下,优选的是虚拟分离面位于所述不稳定谐振腔的使得波前在相反方向上穿过其达至少 70% 的区域中。

[0080] 作为提供稳定或不稳定谐振腔的替代,根据本发明的一个附加方案使得所述谐振腔为环形谐振腔。

[0081] 另外,开始所描述的目的还通过根据方法权利要求的用于组建激光放大器系统的方法来实现。

## 附图说明

[0082] 本发明的另外的特征和优点是以下描述以及示出若干实施例的附图的主题。在附图中:

[0083] 图 1 示出根据本发明的激光放大器系统的第一实施例的示意图,其具有稳定谐振腔和放大单元;

[0084] 图 2 示出在非分开的(non-split)状态下的根据图 1 的稳定谐振腔的构造的示意图,其中虚拟分离面重合;

[0085] 图 3 示出根据本发明的激光放大器系统的示意图,其具有形成放大单元的若干放大器模块;

[0086] 图 4 示出根据本发明的放大器模块的第一实施例的示意图;

[0087] 图 5 示出根据图 4 的放大器模块的模块端面中分别归一化至最大值的强度分布的

示图；

[0088] 图 6 示出图 5 中的强度分布的商的示图；

[0089] 图 7 示出在理想光学中立情况下，根据图 4 的放大器模块的模块端面中的相位分布之间的相位差的示图；

[0090] 图 8 示出在非理想光学中立(即，准中立)情况下，根据图 4 的相位分布中的相位差的示图；

[0091] 图 9 示出根据本发明的放大器模块的第二实施例与图 4 类似的示图；

[0092] 图 10 示出根据本发明的放大器模块的第三实施例的示图；

[0093] 图 11 示出根据本发明的放大器模块的第四实施例与图 4 类似的示图；

[0094] 图 12 示出根据本发明的放大器模块的第五实施例与图 11 类似的剖视图；

[0095] 图 13 示出根据本发明的放大器模块的第六实施例的剖视图，其具有相位校正元件；

[0096] 图 14 示出根据本发明的放大器模块的第七实施例与图 13 类似的剖视图；

[0097] 图 15 示出根据本发明的放大器模块的第八实施例与图 4 类似的示图；

[0098] 图 16 示出根据本发明的放大器模块的第九实施例的示图；

[0099] 图 17 示出根据本发明的放大器模块的第十实施例的示图；

[0100] 图 18 示出根据本发明的谐振腔的第二实施例的示图；

[0101] 图 19 示出根据本发明的谐振腔的第三实施例的示图，其被设计为不稳定谐振腔；

[0102] 图 20 示出根据本发明的谐振腔的第四实施例的示图，其被示出为不稳定谐振腔；

[0103] 图 21 示出根据本发明的谐振腔的第五实施例的示图，其被设计为环形谐振腔；以及

[0104] 图 22 示出根据本发明的谐振腔的第六实施例的示图，其被设计为混合谐振腔。

## 具体实施方式

[0105] 如图 1 中所示，沿着光轴 OA 设置的根据本发明的激光放大器系统 10 的第一实施例包括谐振腔 12 和放大器单元 14，该放大器单元 14 被设计为光学独立于谐振腔 12，并且以与端面 16 和 18 直接光学耦合的方式与被设计为分开(split)的谐振腔的谐振腔截面邻接。

[0106] 被设计为分开的谐振腔 12 应这样理解：谐振腔部分 20、30 从两个相应的虚拟分离面 22 和 32 延伸，其中虚拟分离面 22 和 32 与放大器单元的端面 16 和 18 重合，并且其中谐振腔部分 20、30 具有假设光学上不存在放大器单元 14 并且虚拟分离面 22 和 32 重合的光学布局，如图 2 所示，从而对于设置有谐振腔模式的谐振腔部分 20 和 30 的光学布局而言，放大器单元 14 的光学行为与模式无关，即，预定的谐振腔模式将不会被放大器单元改变。

[0107] 谐振腔部分 20、30 优选包括光学谐振腔元件 24、34，其分别限定与各分离面 22、32 邻接的谐振腔辐射场部分 26、36。

[0108] 由于谐振腔 12 的光学布局以分离面 22 和 32 重合为前提，因此在激光放大器系统的预定范围的运行状态内的至少一个运行状态中，谐振腔辐射场部分 26 和 36 在分离面 22 和 32 中的辐射场状态导致谐振腔辐射场部分 26、36 中相同的模式比，即，谐振腔辐射场部分 26 和 36 中形成的辐射场模式对应于图 2 所示具有重合的分离面 22、32 的谐振腔 12 的

辐射场模式。

[0109] 因此,在根据本发明的激光放大器系统 10 的情况下,谐振腔辐射场部分 26、36 的形成受谐振腔部分 20、30 的光学设置限定,特别是受其光学谐振腔元件 24、34 限定,而不依赖于分开的谐振腔 12 中插入分离面 22、32 之间的放大器单元 14 的任何光学行为。

[0110] 在图 1 中所示的稳定谐振腔 12 的简化例子中,例如,谐振腔辐射场部分 26、36 的光学谐振腔元件 24 和 34 为反射和另外的聚焦元件,其中光学谐振腔元件 34 没有被设计为全反射,因此谐振腔辐射场部分 36 的一部分向外耦合到出射辐射场 40 中。

[0111] 例如,被设计为光学上独立于谐振腔的放大器单元 14 如图 1 中所示地包括放大器模块 50,或者如图 3 中所示地包括若干放大器模块 50,这些放大器模块 50 设置在分离面 22 和 32 之间,并形成图 1 的放大器单元 14 或图 3 的放大器单元 14'。

[0112] 在这一方面,每一放大器模块 50 在第一模块端面 52 和第二模块端面 54 之间延伸,其中在如图 3 所示地多个放大器模块 50 一个接一个地设置在放大器单元 14' 的情况下,对于连续的放大器模块(例如放大器模块 50a 和 50b),第二模块端面 54 与随后的下一第一模块端面 52 重合(即,例如,模块端面 54a 和 52b 重合)。

[0113] 另外,一行连续的放大器模块 50 中的第一个放大器模块 50a 的第一模块端面 52a 与端面 16 重合,而最后一个放大器模块 50n 的第二模块端面 54n 与第二端面 18 重合,从而在放大器单元 14' 的多个放大器模块 50 的情况下,在其模块端面 52、54 区域内彼此直接合并的放大器模块 50 作为整体一方面与谐振腔部分 20 邻接,另一方面与谐振腔部分 30 邻接。

[0114] 然而,还可将放大器单元 14 设计为使得 1:1 望远镜设置在连续的放大器模块 50 的模块端面 52、54 之间,或者最靠近端面 16、18 设置的放大器模块 50 的模块端面 52、54 之间,该端面 16、18、该望远镜带来光学中立变换,即,换言之导致光学准中立耦合。

[0115] 以 ABCD 矩阵的形式,如(例如)在 A.E.Siegmann 的“Lasers”(Univ. Science Books, Mill Valley, CA, USA, 1986, 581 页及以下)中或在 YARIV 的“imaging of coherent fields through lenslike systems”(OPTICS LETTERS, 1994 年 10 月 15 日, 19 卷, 20 期, 1607 页)所述的,这表示

[0116]  $0.97 < |A| < 1.03$

[0117]  $-0.2\text{m} < B < 0.2\text{m}$

[0118]  $-0.2^1/\text{m} < C < 0.2^1/\text{m}$

[0119]  $0.97 < |D| < 1.03,$

[0120] 或更好

[0121]  $0.99 < |A| < 1.01$

[0122]  $-0.1\text{m} < B < 0.1\text{m}$

[0123]  $-0.1^1/\text{m} < C < 0.1^1/\text{m}$

[0124]  $0.99 < |D| < 1.01。$

[0125] 在根据本发明的方案的情况下,放大器模块 50 可以最多变化的方式光学地构造。

[0126] 在第一实施例中,放大器模块 50 包括限定放大器模块辐射场 60 的光学成像元件 56 和 58,所述放大器模块辐射场 60 在模块端面 52 和 54 之间延伸,并穿过嵌入在(例如)小型固态片状构件 62 和 64 中的光学泵浦的激光活化介质 LM,其中所述小型固态片状构件 62

和 64 表示薄盘,如根据欧洲专利申请 0 632 551 A 中的激光系统中所使用的。在这一方面,在根据图 4 的原理图中省略了小型固态片状构件 62 和 64 的冷却。

[0127] 小型固态片状构件 62 和 64 中的光学放大激光活化介质 LM 的泵浦分别通过入射的泵浦光辐射 66 和 68 来进行,这分别在小型固态片状构件 62 和 64 中产生泵浦光斑 72 和 74,光斑大小(例如)使得放大器模块辐射场截面 76 和 78 分别位于小型固态片状构件 62、64 中分别在泵浦光斑 72 和 74 内,其中泵浦光斑 72、74 的尺度优选设计为使其至少分别与放大器模块辐射场横截面 76 和 78 一样大,但将其完全包围。

[0128] 成像元件 56 和 58 以及小型固态片状构件 62 和 64 一起形成光学系统 80,该光学系统 80 作为整体限定模块端面 52、54 之间的放大器模块辐射场 60 的路线。

[0129] 根据 A. E. Siegmann 的“Lasers”(Univ. Science Books, Mill Valley, CA, USA, 1986, 581 页及以下)中或 YARIV 的“imaging of coherent fields through lenslike systems”(OPTICS LETTERS, 1994 年 10 月 15 日, 19 卷, 20 期, 1607 页)中的理论方法,该光学系统 80 的尺度优选设计为使得 ABCD 矩阵具有下列值:

[0130]  $0.97 < |A| < 1.03$

[0131]  $-0.2m < B < 0.2m$

[0132]  $-0.2^1/m < C < 0.2^1/m$

[0133]  $0.97 < |D| < 1.03,$

[0134] 优选为:

[0135]  $-0.98 < |A| < 1.02$

[0136]  $-0.15m < B < 0.15m$

[0137]  $-0.15^1/m < C < 0.15^1/m$

[0138]  $-0.98 < |D| < 1.02,$

[0139] 甚至更好:

[0140]  $-0.99 < |A| < 1.01$

[0141]  $-0.1m < B < 0.1m$

[0142]  $-0.1^1/m < C < 0.1^1/m$

[0143]  $-0.99 < |D| < 1.01。$

[0144] 在本专利申请的架构内将具有这样的值的光学系统 80 命名为光学准中立系统。

[0145] 这样的光学系统 80 对谐振腔 12 中形成的谐振腔辐射场的谐振腔模式没有任何模式相关光学影响。

[0146] 在根据本发明的光学系统 80 中,小型固态片状构件 62 和 64 优选被设计为其在光轴 OA 方向上的延伸表示小型固态片状构件 62、64 的厚度,在与光轴 OA 有关的每一方向上,其在相对于光轴 OA 的横向上的延伸比小型固态片状构件 62、64 的厚度大 5 倍以上,优选大 10 倍。

[0147] 结果,对于该布局而言,能够将小型固态片状构件 62、64 的光学特性对光学系统 80 的影响保持在限制内。

[0148] 如图 4 所示,放大器模块 50 的第一实施例包括光学成像元件 56 和 58,其设置在模块端面 52、54 之间,并且与小型固态片状构件 62、64 的成像特性协调地关于其成像特性进行尺度设计,使得如图 5 所示,模块端面 52、54 中的一个中的强度分布  $IP_1$  (该分布表示

一些辐射场状态并归一化至各模块端面 52、54 中的最大强度) 以保持强度分布形状的方式变换至模块端面 54、52 中的另一个中的强度分布  $IP_2$  (该分布被归一化至各模块端面 52、54 中的最大强度), 其中强度分布形状的保持尤其导致中心区域 Z, 该中心区域 Z 表示包含总光功率的 80% (甚至更好, 总光功率的 90%) 的各强度分布  $IP_1$ 、 $IP_2$  的最小截面积。

[0149] 图 6 所示的强度分布  $IP_1$  和  $IP_2$  的商表明, 归一化至最大值的强度值的偏差在整个光束截面上优选小于 5%。

[0150] 然而, 图 4 中与小型固态片状构件 62、64 结合的光学成像元件 56 和 58 不仅将强度分布从一个模块端面 52、54 变换至相应的另一模块端面 54、52, 而且还对表示辐射场状态的相位分布  $PP_1$  和  $PP_2$  进行变换, 其中在以理想的光学中立方式工作的放大器模块 50 的情况下, 两个相位分布  $PP_1$  和  $PP_2$  中的差导致如图 7 所示, 而针对没有以理想的光学中立方式工作的放大器模块 50 的情况, 图 8 所示的相对相位 (对应于相位分布  $PP_1$  和  $PP_2$  中的差) 导致小于 4 拉德 (甚至更好, 小于 3 拉德) 的变化。

[0151] 如图 9 所示, 在根据本发明的放大器模块 50' 的第二实施例中, 光学放大激光活化介质 LM 集成到成像元件 56'、58' 中, 从而可省略作为激光活化介质 LM 的载体的附加小型固态片状构件 62、64。在这种情况下, 固态片状构件对光学系统 80' 的效果不可用, 因此能够更容易设计尺度。

[0152] 在根据本发明的光学系统 80 和 80' 的第一和第二实施例中, 激光活化介质 LM 的布置不依赖于其在放大器模块辐射场 60 中的位置; 对于激光活化介质 LM 的布置来说仅需要考虑各泵浦光斑 72、74 适配到放大器模块辐射场截面 76、78 以便适当的适配到所选谐振腔模式有效泵浦激光活化介质 LM, 并获得放大器模块辐射场 60 的有效放大。

[0153] 在第二实施例的情况下对于其他部件, 全数参考前面关于剩余特征的描述说明, 尤其是放大器模块的特征。

[0154] 如图 10 所示, 在放大器模块 50'' 的第三实施例中, 光学系统 80'' 的总体性质与第一和第二实施例中相同, 即, 光学系统 80'' 根据上面给出的定义准中立地工作。

[0155] 与第一和第二实施例相比, 根据本发明的放大器模块 50'' 的第三实施例的光学系统 80'' 被设计为使得小型固态片状构件 62 设置在光学系统 80'' 的成像平面 82 中, 并且光学系统 80'' 具有两个适配分支 86、88, 其基于具有 (尤其是) 反射镜的开普勒望远镜或其他望远镜, 具有等于或不等于 1 的倍率 VG, 并将成像平面 82 中存在的放大器模块辐射场分别成像到模块端面 52 和模块端面 54 上。

[0156] 通过这样的适配分支 86 和 88 可使放大器模块辐射场截面 76'' 适配到至所需比例。例如, 作为适配分支 86、88 选择的结果, 可使放大器模块辐射场截面 76'' 适配到小型固态片状构件 62 上的泵浦光斑 72。

[0157] 适配分支 86、88 被设计为使得光学系统 80'' 作为整体以上述方式相对于其将一个模块端面 52、54 中的辐射场状态变换至相应另一模块端面 54、52 的行为准中立地起作用, 其中适配分支 86、88 之一具有 (尤其是) 等于或不等于 1 的倍率 VG, 适配分支 88、86 中的另一个具有反转倍率  $1/VG$ 。

[0158] 如图 11 所示, 在根据本发明的放大器模块 50''' 的第四实施例中, 光学系统 80''' 的整体尺度以与上述相同的方式设计, 因此在模块端面 52、54 之间具有与前述放大器模块相同的变换行为。

[0159] 辐射场块 53 和 55 与放大器模块 50'' 在两侧邻接,这些块属于分别与模块平面 52、54 邻接的谐振腔辐射场部分 26 和 36,或者属于与放大器模块辐射场 60 相邻的放大器模块 50,或者属于附加中间成像系统的辐射场。

[0160] 然而,与前述放大器模块相比,光学系统 80'' 在模块端面 52、54 之间总共包括(例如)其中设置小型固态片状构件 62、64 的两个成像平面 82 和 84。

[0161] 另外,光学系统 80'' 类似地包括基于开普勒望远镜的两个适配分支 86、88,其中每一适配分支 86、88 都将模块端面 52 和 54 中的辐射场状态以特定成像比例分别成像到成像平面 82、84 上。

[0162] 中间成像分支 90 设置在成像平面 82、84 之间,其将成像平面 82 中的辐射场状态变换至成像平面 84,反之亦然,并且在这一方面,优选在上面所给出的定义架构内准中立地工作。

[0163] 在放大器模块 50'' 的光学系统 80'' 的第五实施例中,适配分支 86'、88' 并未如第三和第四实施例中那样基于开普勒望远镜来构造,而是(例如)基于具有准直光学元件(可分别通过图 12 中描述的焦距  $f_{a12}$  和  $f_{a22}$  来识别)以及散焦光学元件(可分别通过图 12 中描述的焦距  $f_{a11}$  和  $f_{a21}$  来识别)的伽利略望远镜,或者(例如)还基于其他望远镜以使得模块端面 52 和 54 分别位于伽利略望远镜的光学元件(可通过图 12 中描述的焦距  $f_{a11}$  和  $f_{a12}$  或  $f_{a22}$  和  $f_{a21}$  来识别)之间。因此,散焦光学元件(可通过图 12 中描述的焦距  $f_{a11}$  和  $f_{a21}$  来识别)分别设置在辐射场块 53 和 55 中,这些辐射场块分别位于在模块端面 52 和 54 之间延伸的各放大器模块辐射场 60 外侧。

[0164] 当分别位于放大器模块辐射场 60 外侧的辐射场块 53 和 55 可分别属于谐振腔辐射场部分 26 和 36 的一部分,或者属于与放大器模块辐射场 60 邻接的放大器模块 50 的一部分,或者属于附加中间成像系统的辐射场的一部分,从而各散焦光学元件(可分别通过描述的焦距  $f_{a11}$  和  $f_{a21}$  来识别)可无干扰地设置在这些辐射场块 53、55 中时,这样的构造是可行的。

[0165] 因此,前提是辐射场块 53、55 在光轴 0A 方向上的延伸  $d_i$  必须分别大于模块端面 52 和 54 分别距散焦光学元件(可分别通过描述的焦距  $f_{a11}$  和  $f_{a21}$  来识别)的距离  $d_{a11}$  和  $d_{a21}$ 。

[0166] 另外,在基于伽利略望远镜的适配分支 86'、88' 的情况下的倍率 VG 不等于 1,并且一个望远镜具有倍率 VG,而另一望远镜具有倍率  $1/VG$ 。

[0167] 对于其他部件,根据图 12 的第五实施例的中间成像分支 90 也与第四实施例相同。

[0168] 如图 13 所示,在光学系统 80'' 的第六实施例中,具有放大介质 V 的小型固态片状构件 62 设置在一个成像平面(例如,成像平面 82)中,而自适应光学元件 92 设置在另一成像平面(在这种情况下,成像平面 84)中。自适应光学元件 92 用于校正(尤其是)小型固态片状构件 82 的相位误差,例如,由设置在小型固态片状构件 82 中光学激光活化介质 LM 产生的相位误差,因此,中间成像分支 90' 与小型固态片状构件 62 和自适应光学元件 92 一起共同形成局部光学系统 100,其在适配分支 86 和 88 (在根据图 13 的第五实施例中未示出)之间以上面给出的定义含义内的准中立方式光学地工作。

[0169] 在光学系统 80'' 的进一步变型中,另一自适应光学元件 92 设置在附加中间成像分支 90' 的附加成像平面 84' 中,因此可实现多重的优化的相位校正。例如,一方面可以提供球形相位校正,另一方面可提供非球形相位校正。

[0170] 这样的局部光学系统 10 可根据需要进行扩展。例如,在根据本发明的光学系统 80'''' 的第七实施例中,如图 14 所示,成像平面 82 和 84 之间设置有附加成像平面 85,例如小型固态片状构件 64 可设置在该附加成像平面 85 中。在这种情况下,中间成像分支 90 设置在成像平面 82 和 85 之间,中间成像分支 90' 设置在成像平面 85 和 84 之间,其与小型固态片状构件 62 和 64 以及自适应光学元件 92 一起形成局部光学系统 100',该局部光学系统 100' 设置在适配分支 86 和 88 (图 14 同样未示出)之间,并且共同以上面所描述的发明含义内的准中立方式工作。

[0171] 如图 15 所示,在根据本发明的光学系统 80'''' 的第八实施例中,被设计为成像元件的固态体 63 和 65 设置在成像平面 82 和 84 中(图 11 所示第四实施例的修改),作为光学放大介质 V 的载体,代替小型固态片状构件 62、64,由于其成像性质,不仅是为了设计适配分支 86 和 88 尺度,也是为了设计中间成像分支 90 尺度而考虑这些固态体,因此根据第八实施例的光学系统 80'''' 共同以准中立方式工作。

[0172] 通过将自适应光学元件 92 插入成像平面 82、84 之一中,第八实施例可经历与第四实施例相同的修改,因此在这种情况下,参考有关根据图 13 和图 14 的第六和第七实施例的说明,不同之处在于设置光学元件 63、65 作为光学放大激光活化介质 LM 的载体,代替小型固态片状构件 62 和 / 或 64。

[0173] 在根据本发明的放大器模块 50'''' 的第九实施例中,光学系统 80'''' 被设计为折叠型系统,从而(例如)光学成像元件 56' 和 58' 不是透射型成像元件,而是反射型成像元件。

[0174] 以与图 4 所示第一实施例相同的方式,小型固态片状构件 62、64 设置在(例如)光学成像元件 56 和 58 之间工作。

[0175] 类似地,光学系统 80'''' 的尺度被设计为使得在结合上述实施例给出的定义含义内共同为准中立的。

[0176] 在第九实施例的改型中,如图 17 所示,第十实施例的光学放大激光活化介质 LM 与第二实施例类似地设置在成像元件 56' 和 58' 中,从而可简化光学系统 80'''' 的尺度设计。

[0177] 结合根据本发明的激光放大器系统的第一实施例,共焦谐振腔被表示为谐振腔 12。然而原则上,谐振腔 12 可具有任何可选的设计,并且放大器单元 14 可设置在谐振腔的最多变化的位置处。

[0178] 在图 18 中,类似地示出共焦稳定谐振腔 12' 作为根据本发明的谐振腔的第二实施例,然而在这种情况下,分离面 22 和 32 位于光学谐振腔元件 34 的区域内,即,位于谐振腔元件 34a 和谐振腔元件 34b 之间,其中谐振腔元件 34a 为成像谐振腔元件,谐振腔元件 34b 为反射谐振腔元件。

[0179] 在根据本发明的谐振腔的此实施例中,谐振腔部分 20' 从谐振腔元件 24 延伸直到分离面 22,并包括谐振腔元件 34a,而谐振腔部分 30' 为无穷小,并且仅在分离面 32 与直接邻接分离面 32 的反射谐振腔元件 34b 之间延伸。

[0180] 可以与第一实施例相同的方式设计放大器单元 14,且放大器单元 14 包括一个放大器模块 50 或若干放大器模块 50。

[0181] 如通过图 19 中的例子所示,在根据本发明的谐振腔 12'' 的第三实施例中,谐振腔

作为不稳定谐振腔 12'' 运行,其中在图 19 所示具有“正分支”的实施例中,光学谐振腔元件 24'' 为准直谐振腔元件,而谐振腔元件 34'' 为去准直谐振腔元件。

[0182] 如图 20 所示,在根据本发明的谐振腔 12'' ' 的第四实施例中,在具有“负分支”的不稳定谐振腔的情况下,谐振腔元件 34'' 类似地被设计为准直。

[0183] 然而,在稳定谐振腔的情况下,可在谐振腔 12'' ' 内任选分离面 22、32 的位置,在不稳定谐振腔 12'' ' 的情况下,分离面 22、32 的位置必须(例如)被选择为其尽可能接近准直光学谐振腔元件 24'' ' ,以便确保由谐振腔辐射场部分 26 和 36 分别在分离面 22 和 32 中产生的辐射场状态为准相同的,因为只有在这种情况下,才能从一个或若干个根据本发明的放大器模块 50 构造位于分离面 22 和 32 之间的准中立放大器单元 14。

[0184] 对于其他部件,全数参考前面关于剩余特征的描述说明,尤其是放大器模块的特征。

[0185] 如图 21 所示,在根据本发明的谐振腔 12'' '' 的第五实施例中,其被设计为环形谐振腔,并类似地在分离面 22、32 区域中分开(split),从而放大器单元 14 以与前述实施例相同的方式设置在分离面 22、32 之间,全数参考前述实施例关于该放大器单元的特征的论述。

[0186] 如图 22 所示,在根据本发明的激光放大器系统的第六实施例中,谐振腔 12'' '' ' 被设计为混合谐振腔,其在附图平面内不稳定,其中与不稳定谐振腔类似,分离面 22、32 尽可能靠近准直光学谐振腔元件 24'' 。

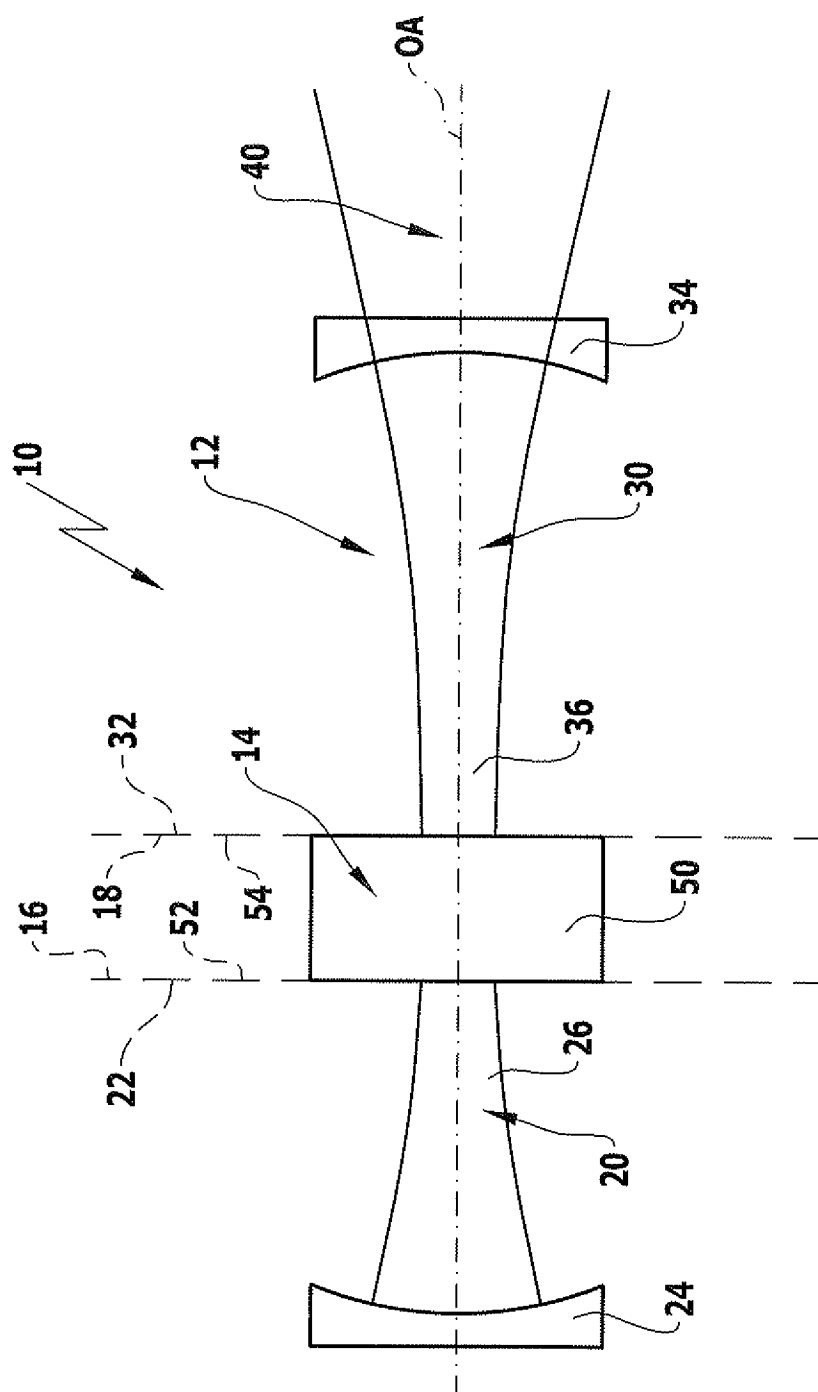


图 1

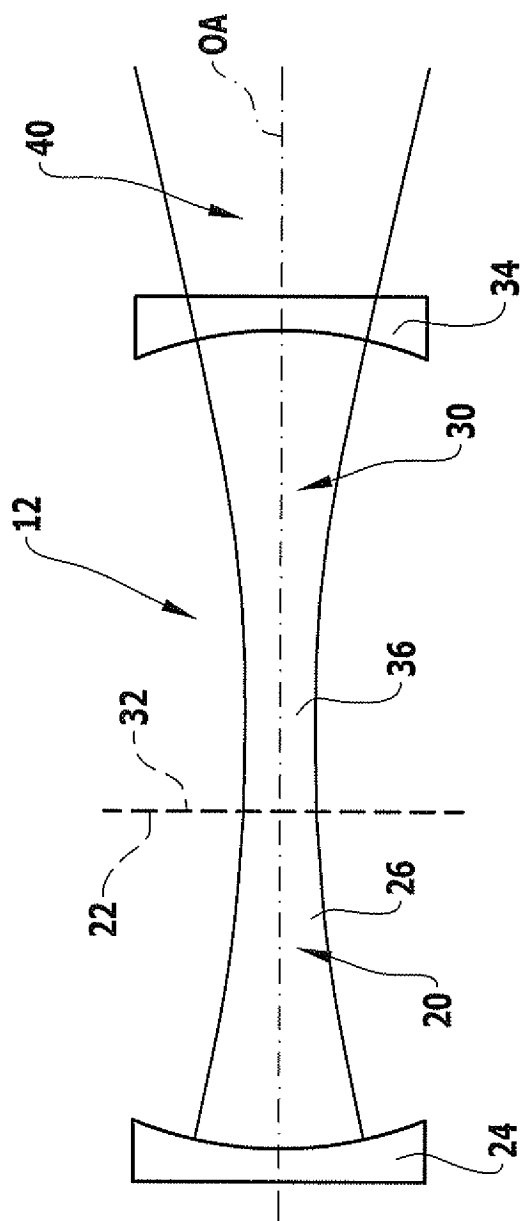


图 2

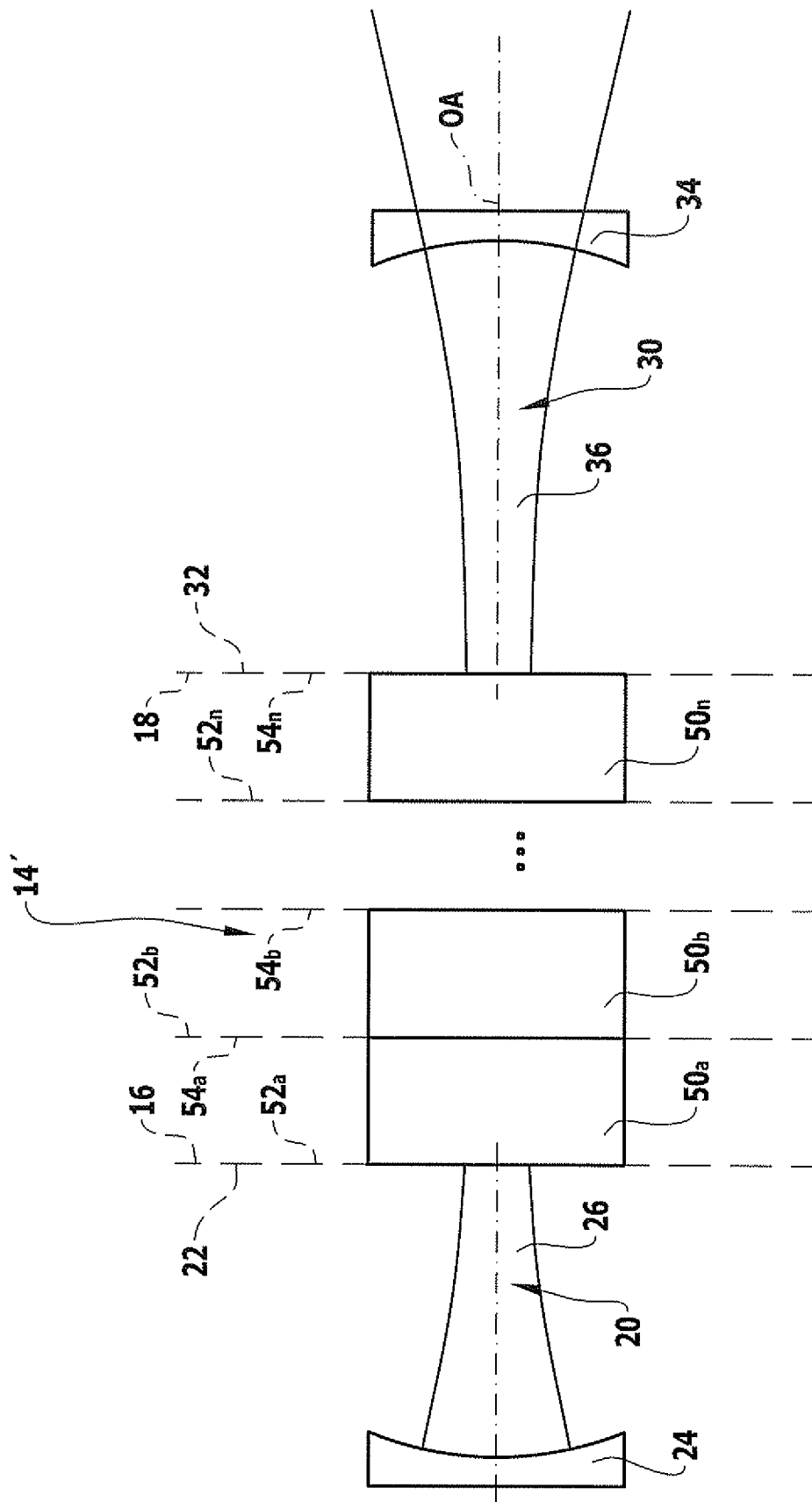


图 3

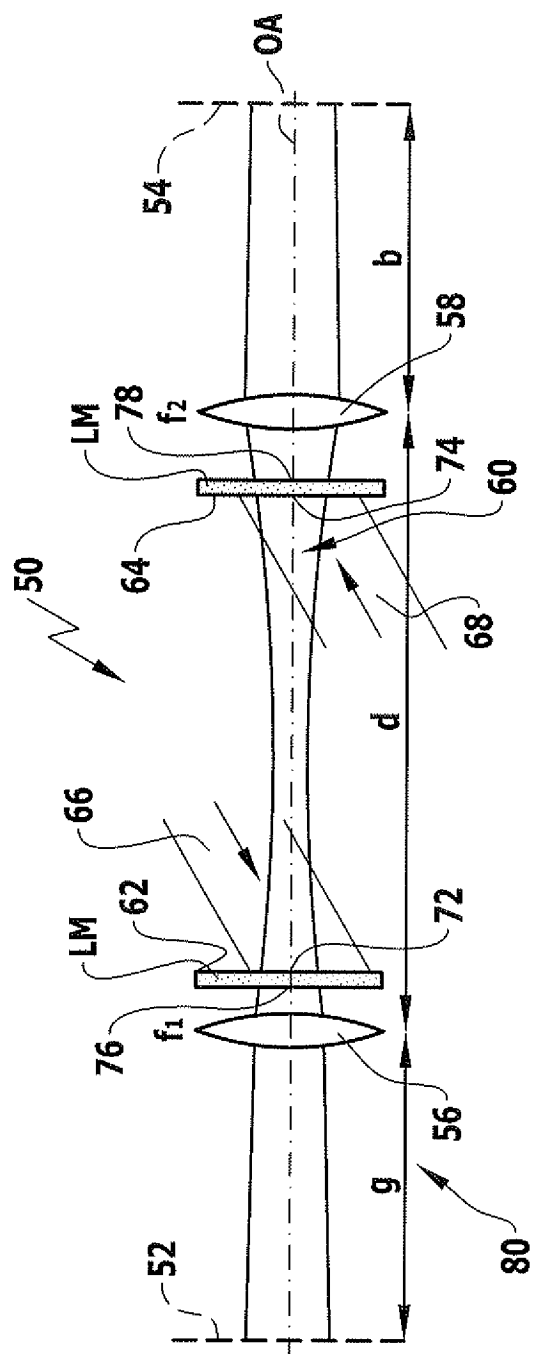


图 4

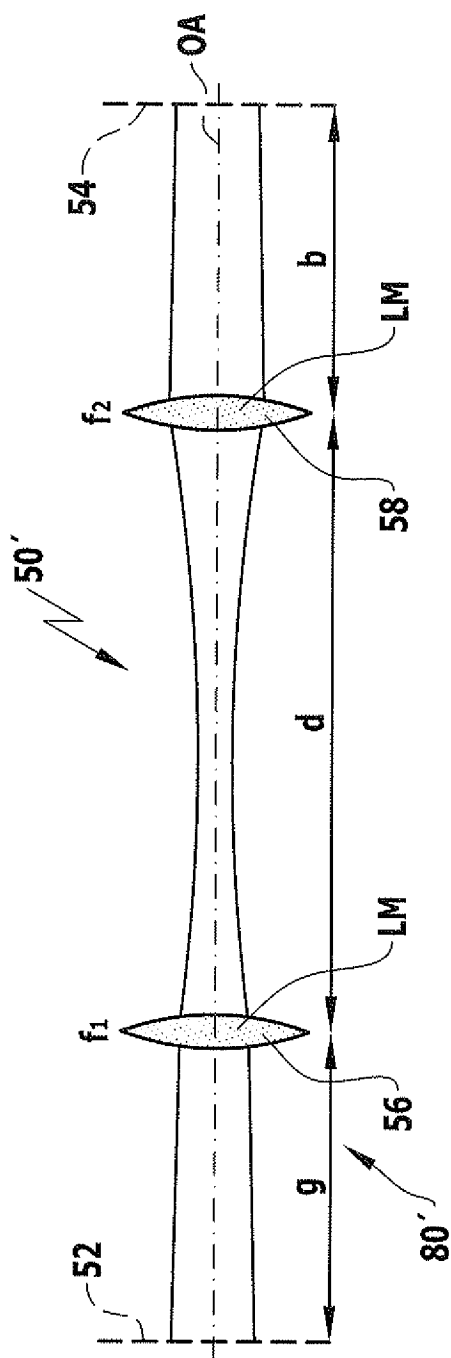


图 9

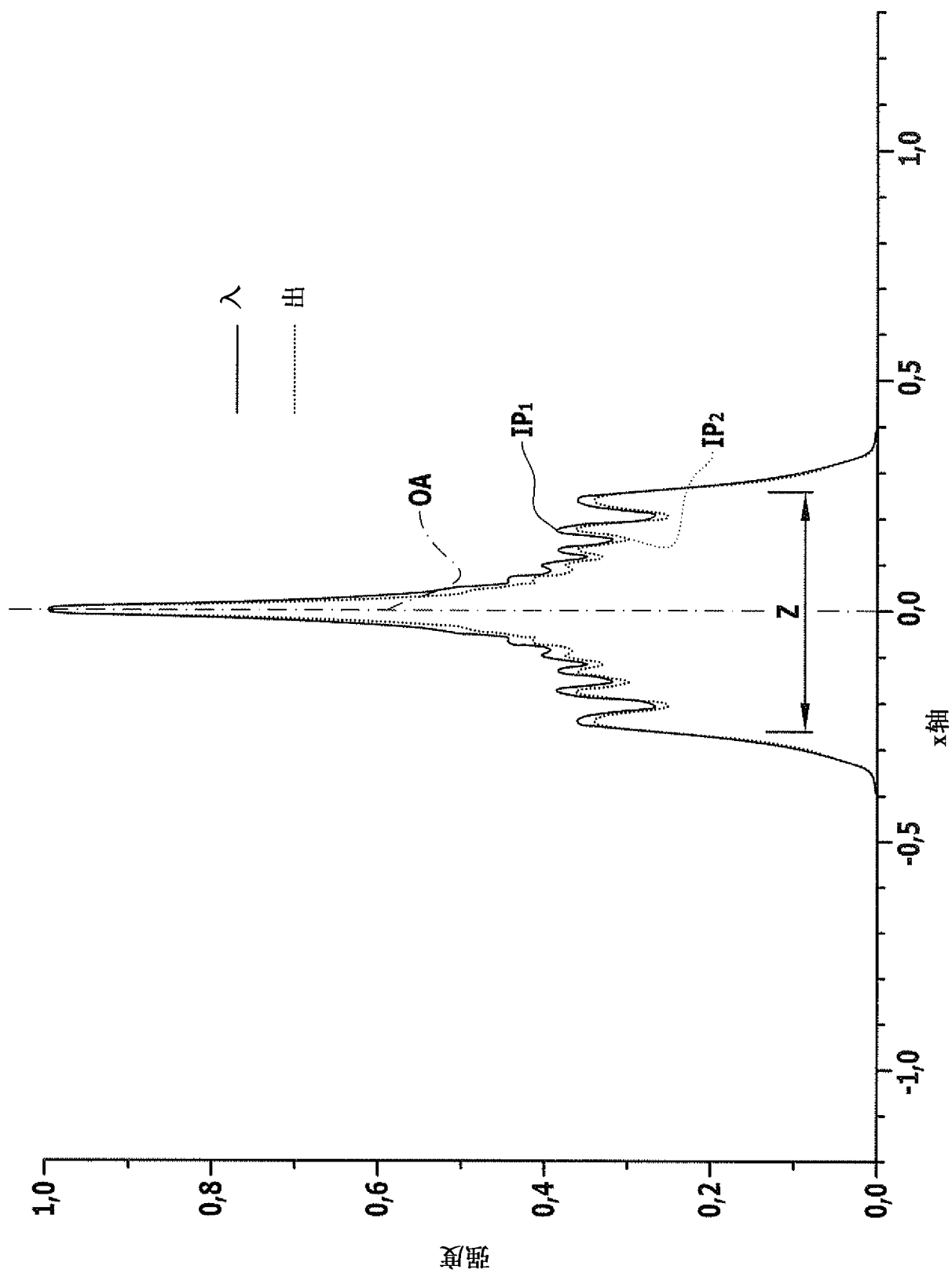


图 5

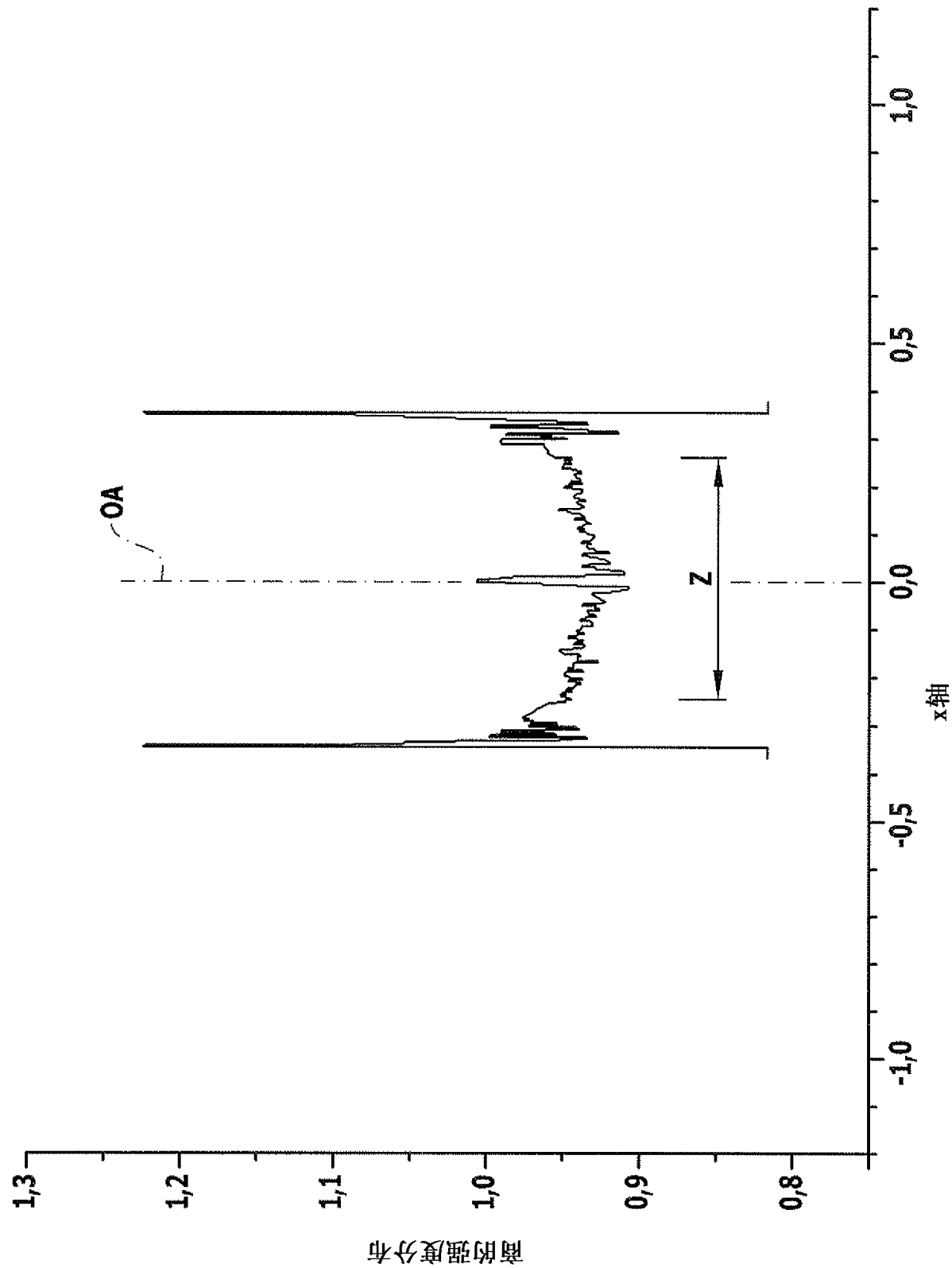


图 6

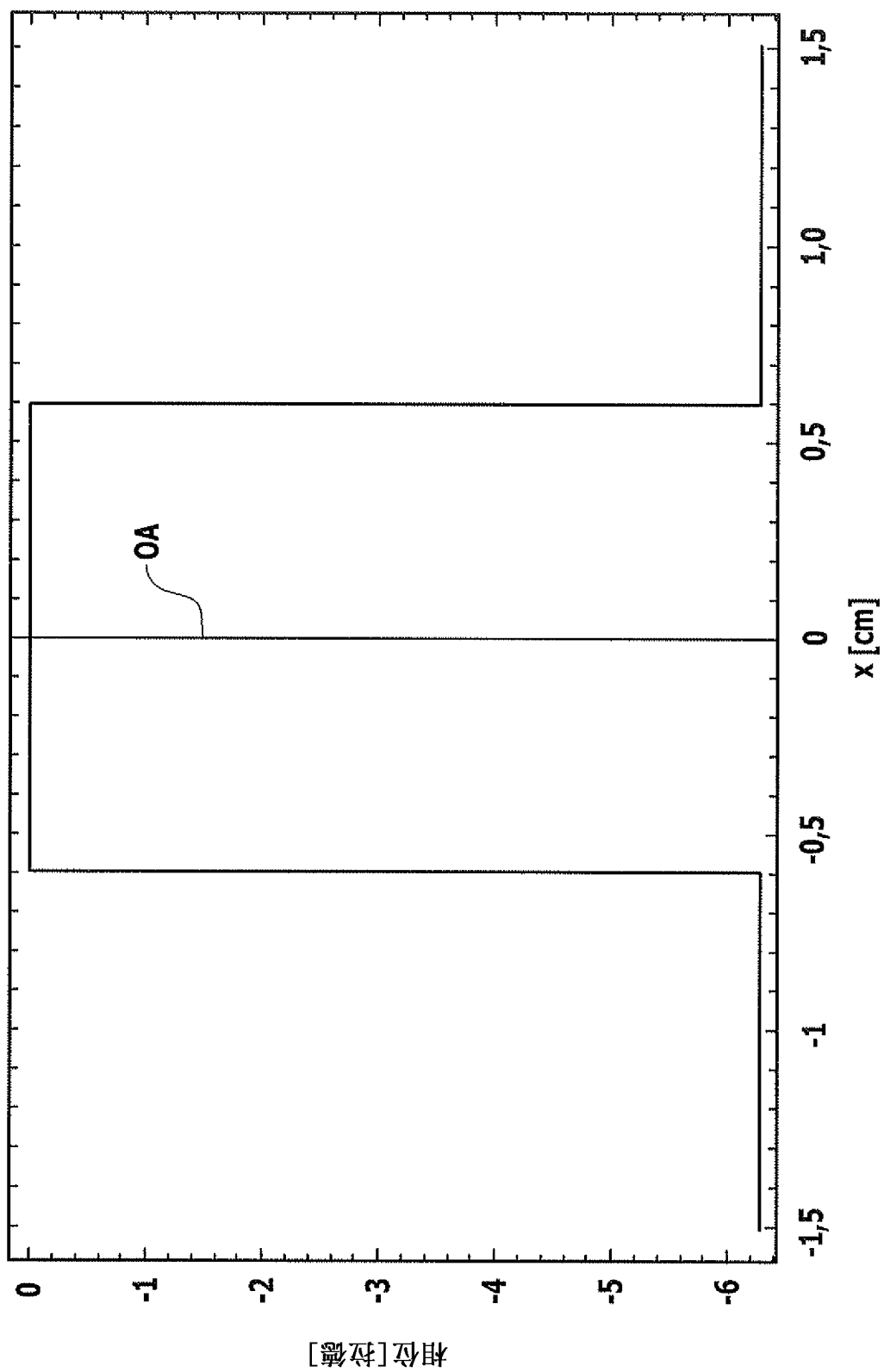


图 7

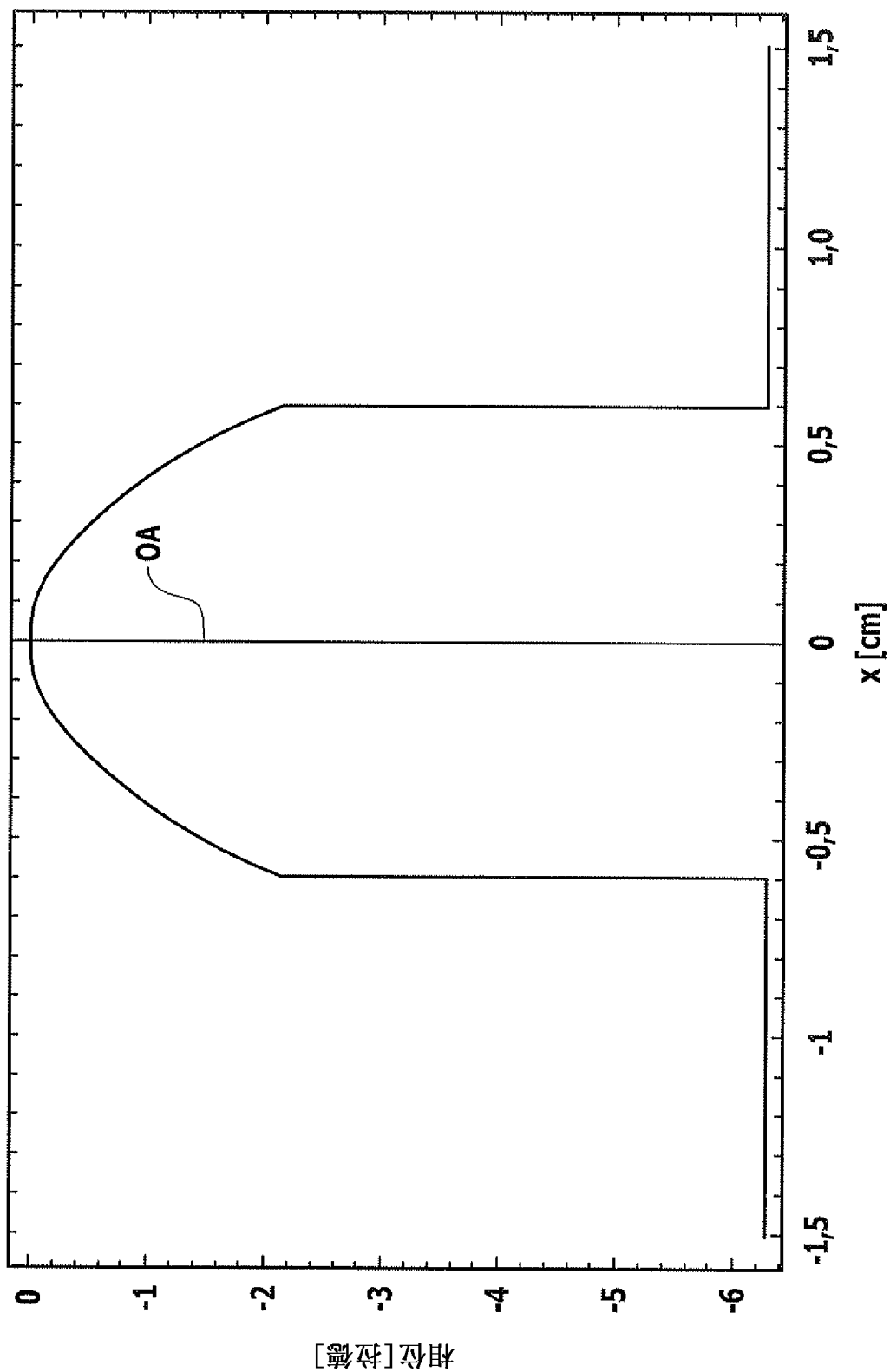


图 8

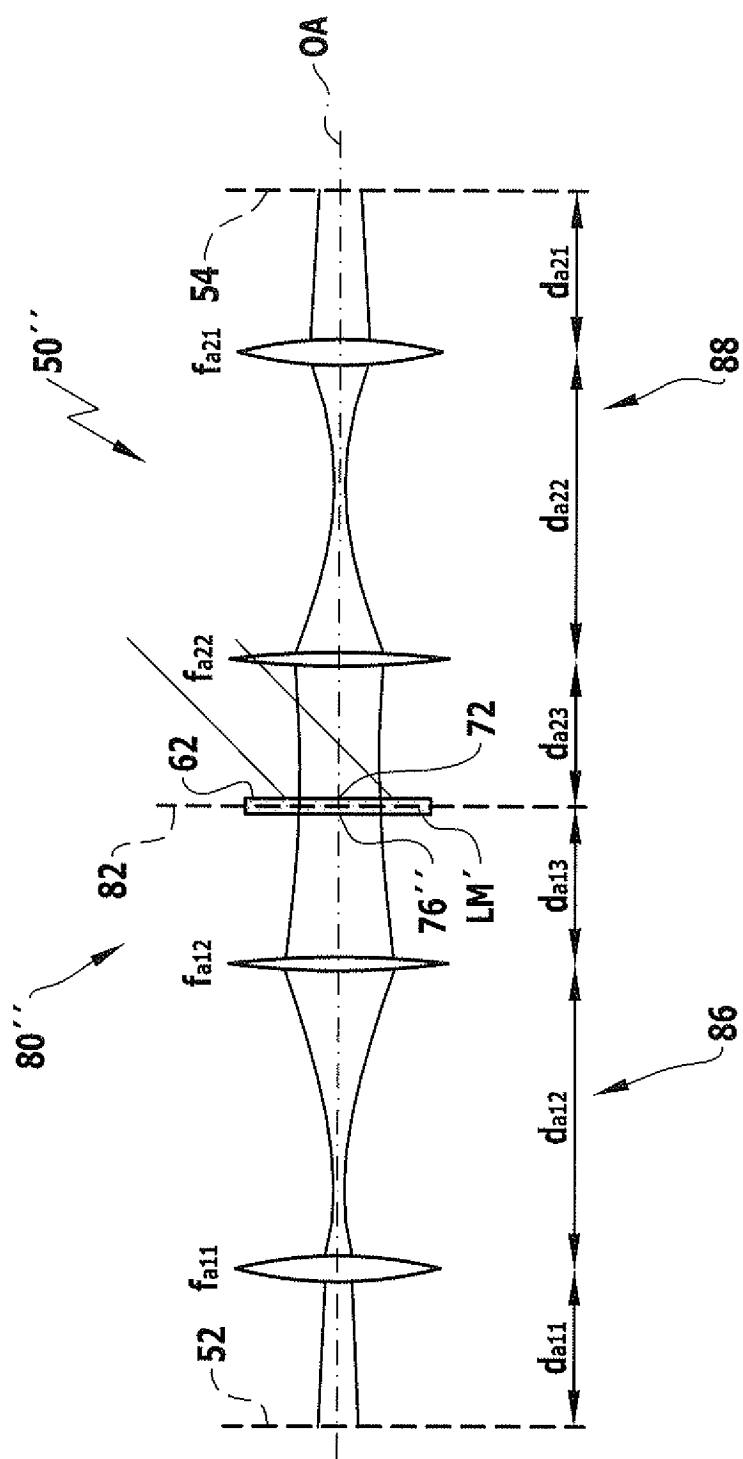


图 10

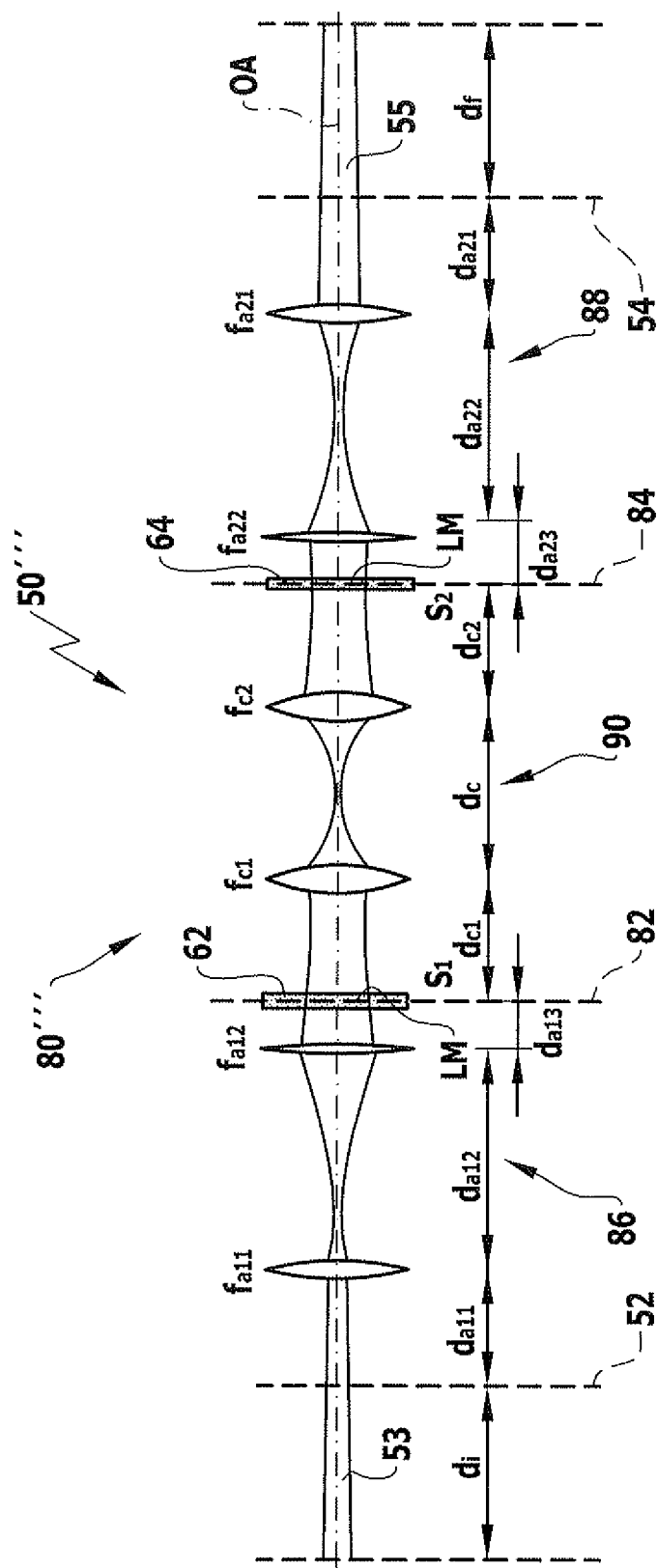


图 11

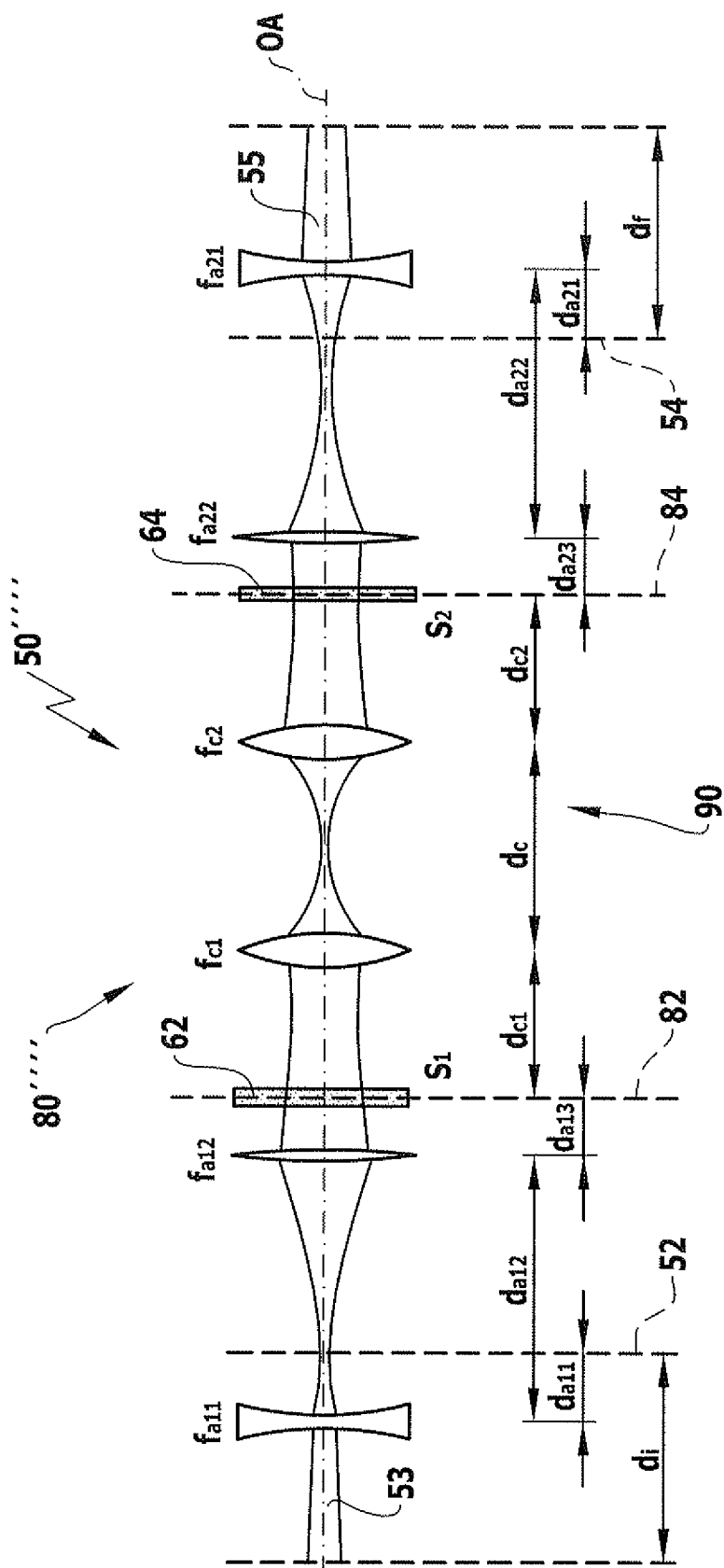


图 12

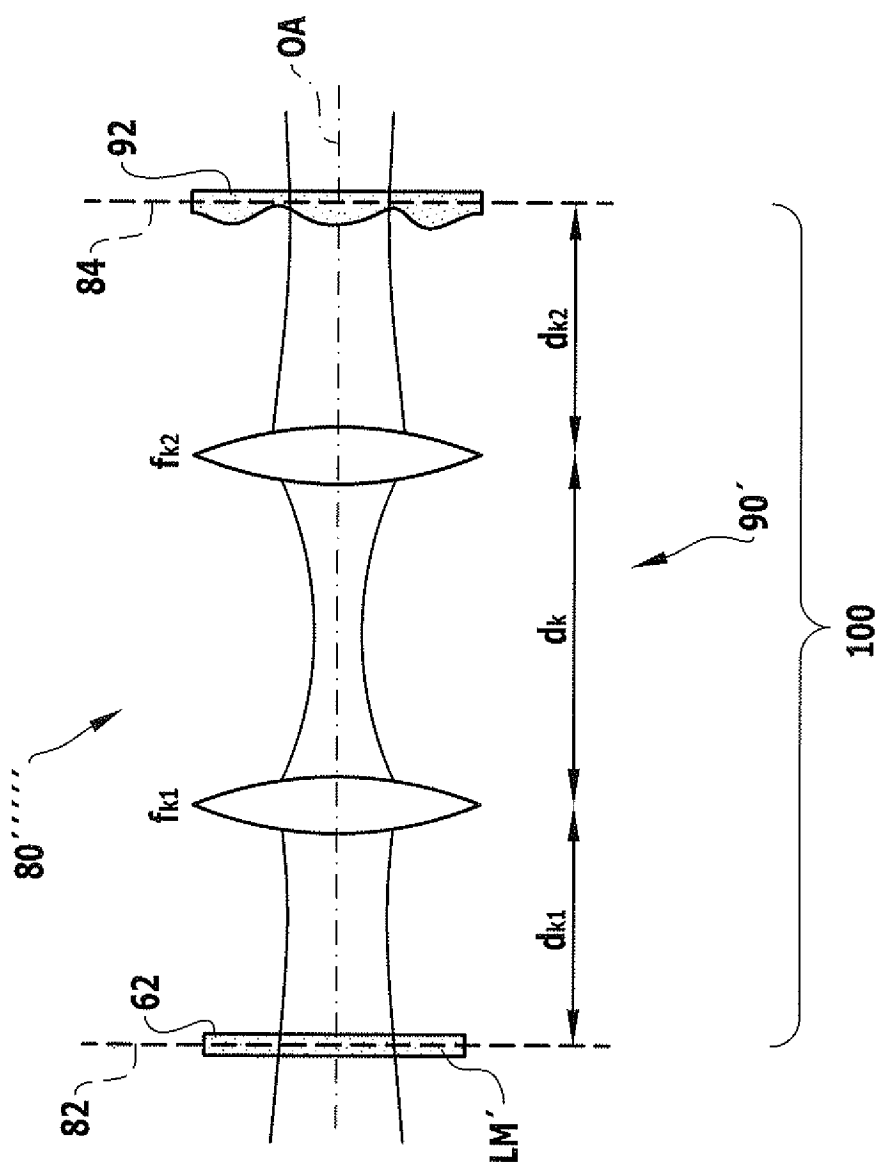


图 13

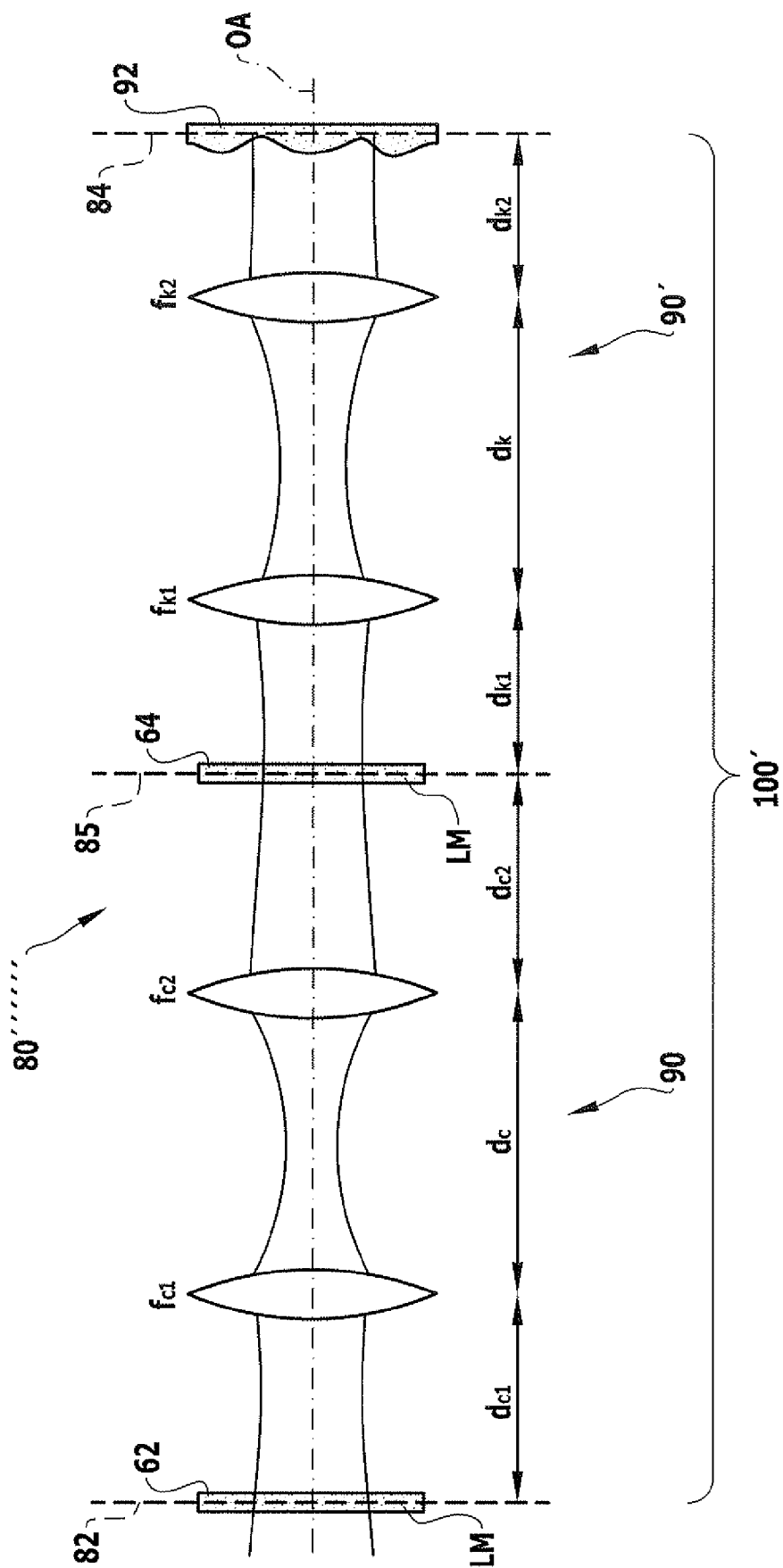


图 14

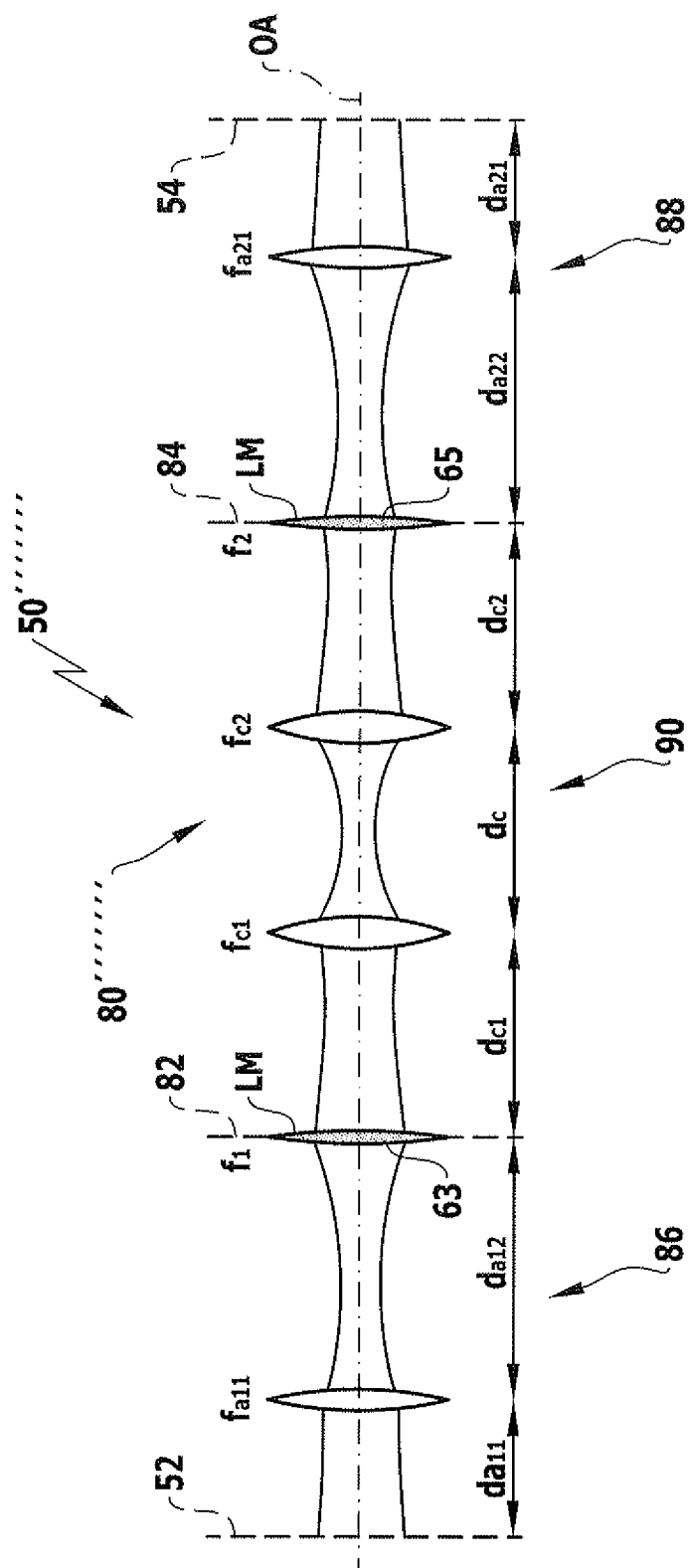


图 15

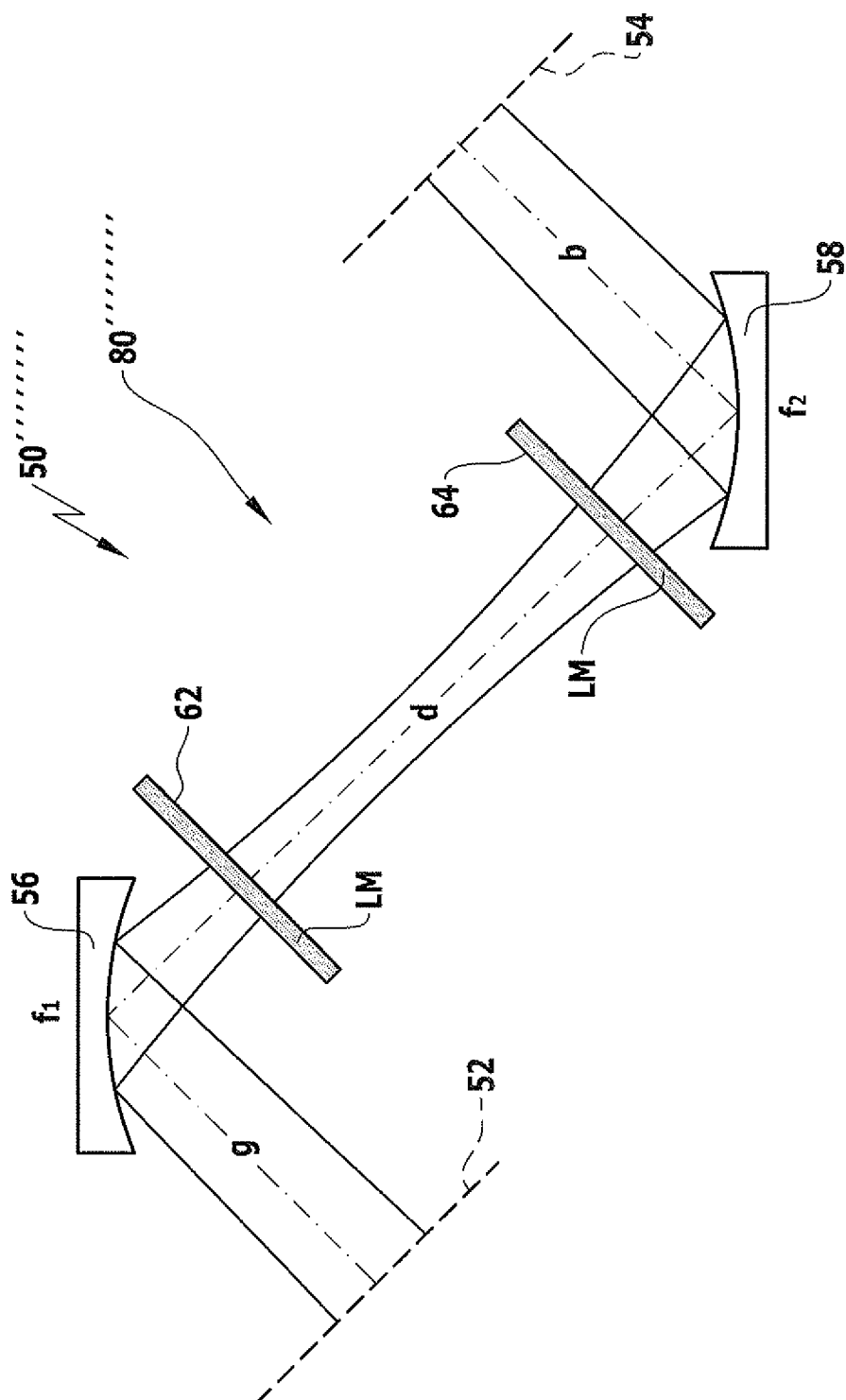


图 16

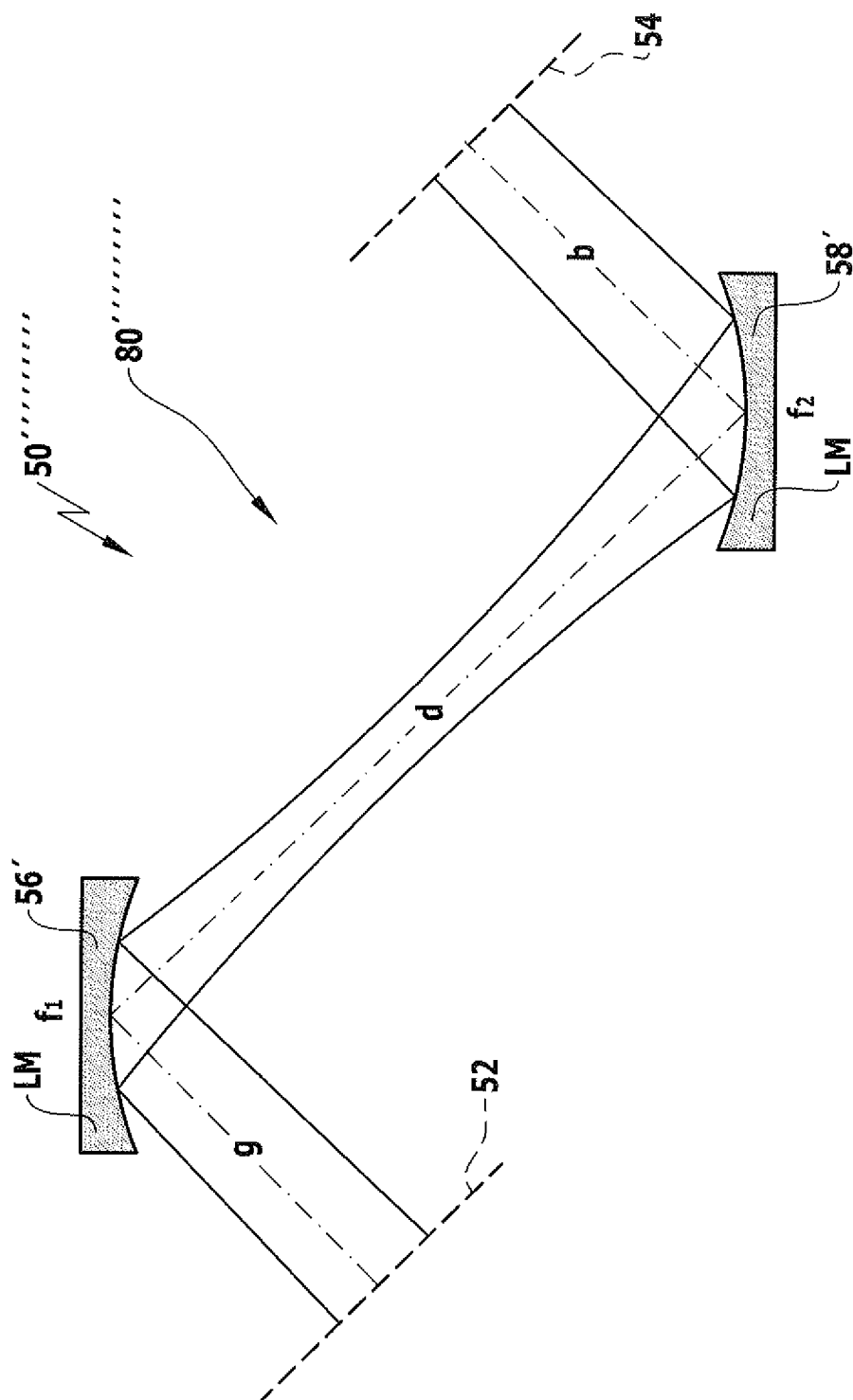


图 17

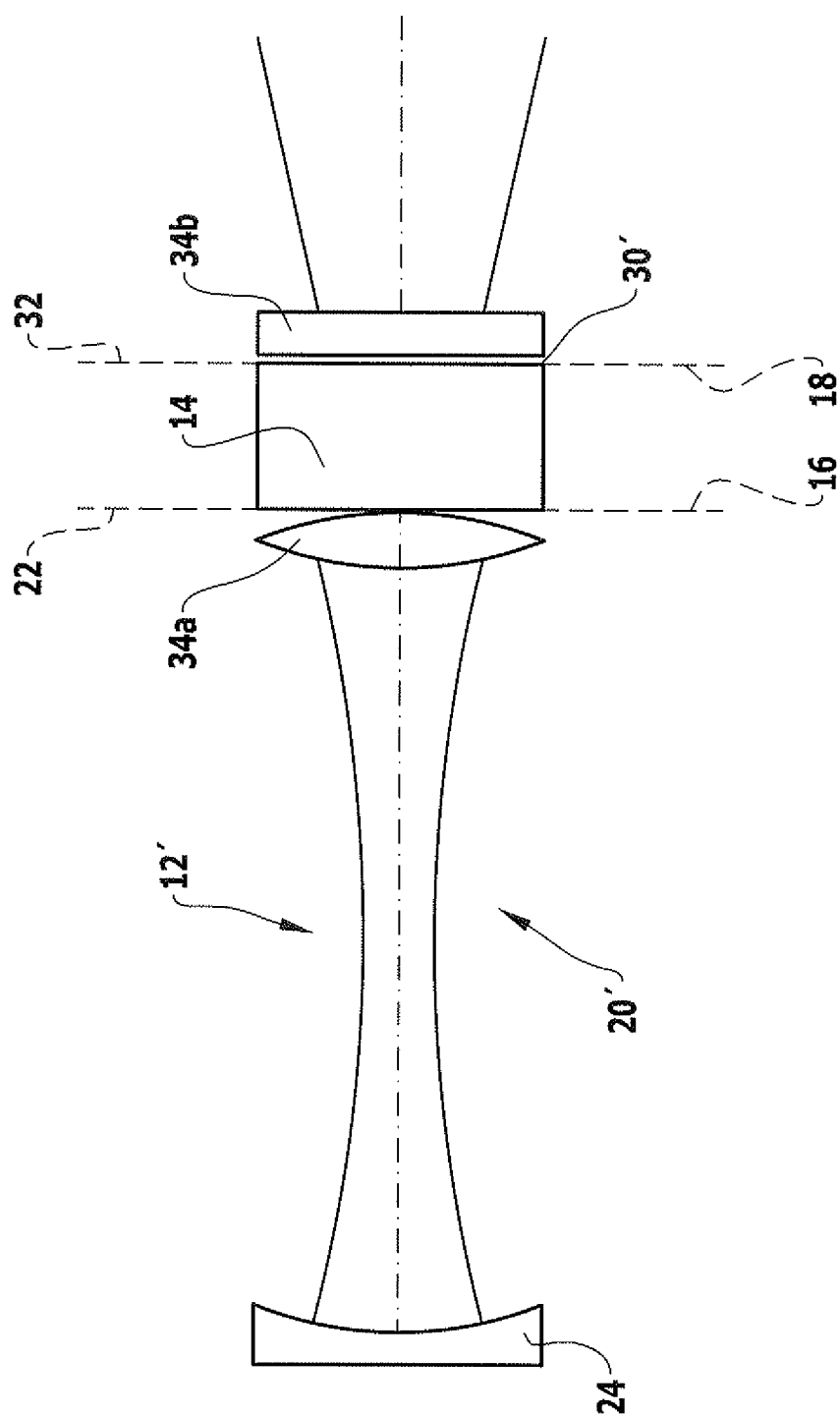


图 18

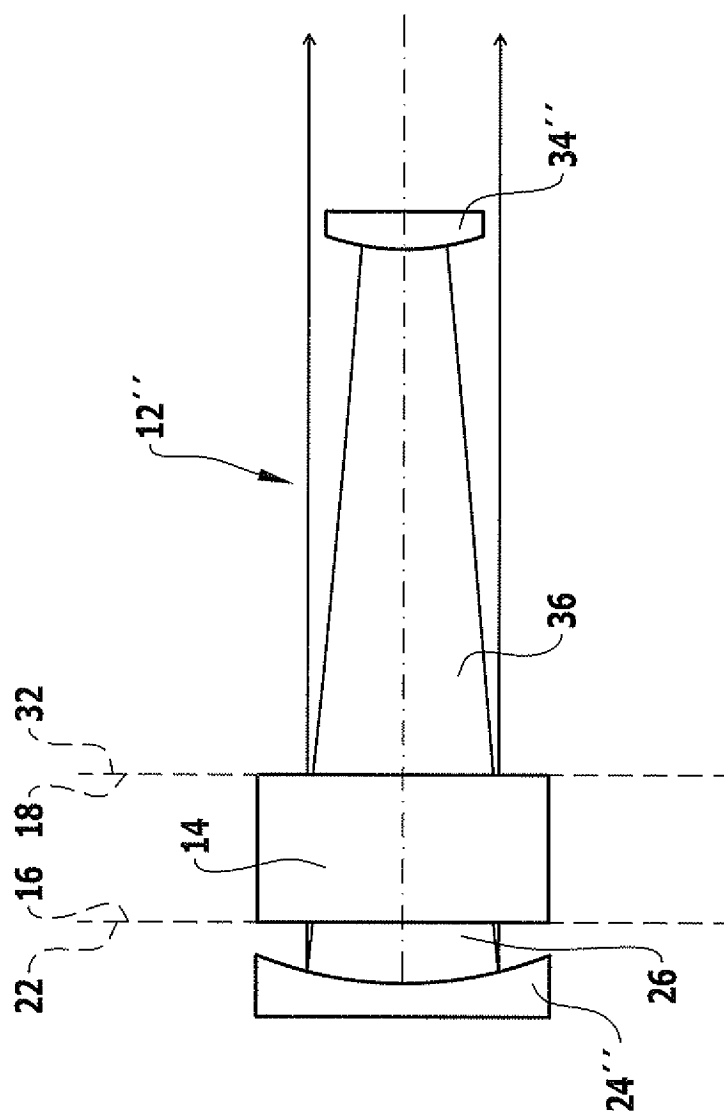


图 19

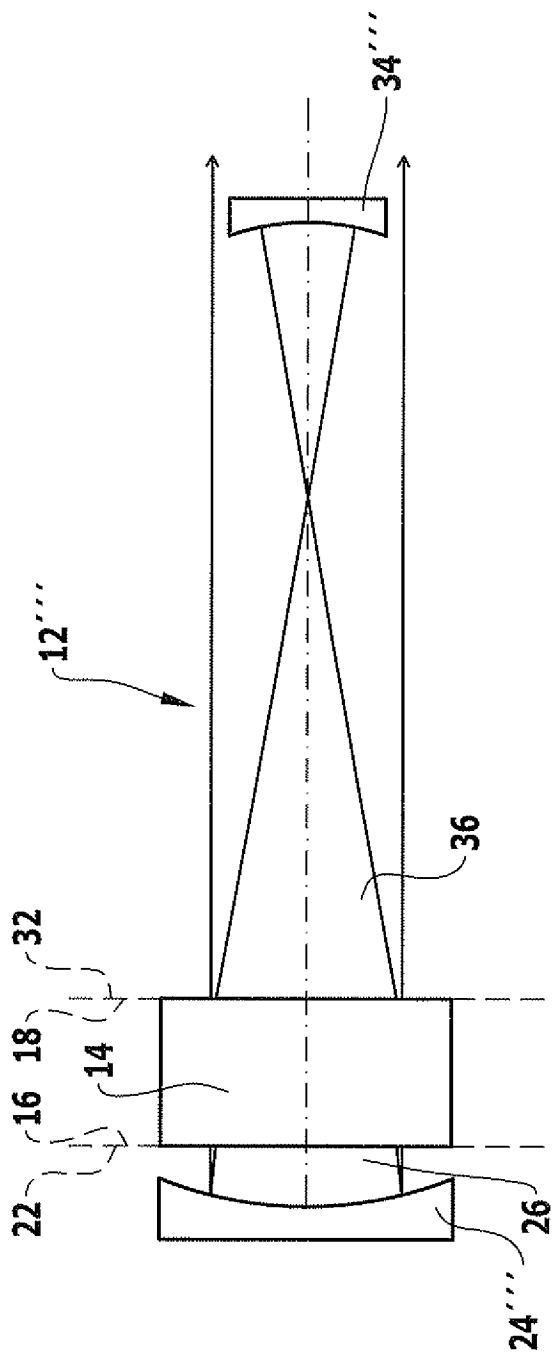


图 20

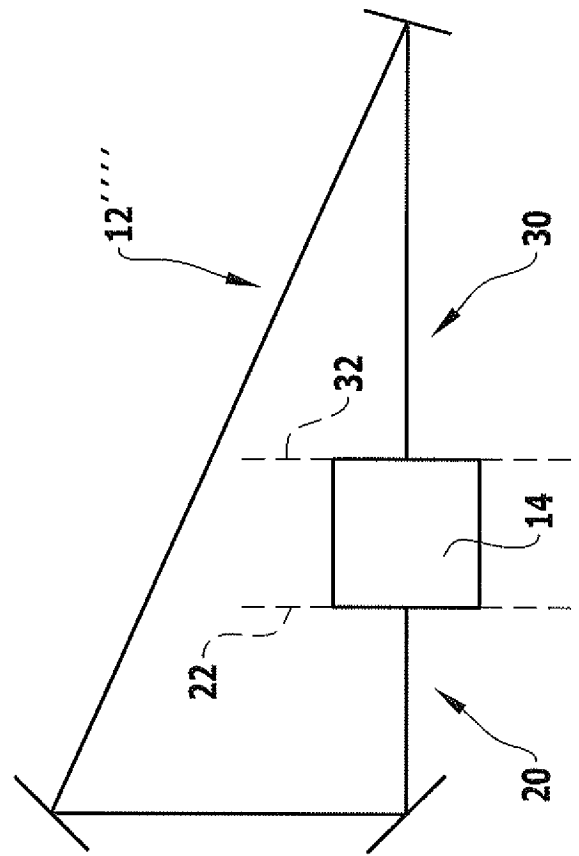


图 21

