



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108780732 B

(45)授权公告日 2020.07.17

(21)申请号 201780015933.X

(22)申请日 2017.03.27

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108780732 A

(43)申请公布日 2018.11.09

(30)优先权数据
62/314,169 2016.03.28 US
15/285,333 2016.10.04 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2018.09.07

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2017/024339 2017.03.27

(87)PCT国际申请的公布数据
W02017/172631 EN 2017.10.05

(73)专利权人 科磊股份有限公司
地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 勇·霍·亚历克斯·庄 陆晓旭
贾斯汀·典·刘 约翰·费尔登

(74)专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限
责任公司 11287
代理人 张世俊

(51)Int.Cl.
H01J 65/04(2006.01)
H01J 61/02(2006.01)
H01J 61/30(2006.01)

(56)对比文件
US 2015163893 A1,2015.06.11,
CN 105935007 A,2016.09.07,
US 2013342105 A1,2013.12.26,
审查员 陈龙

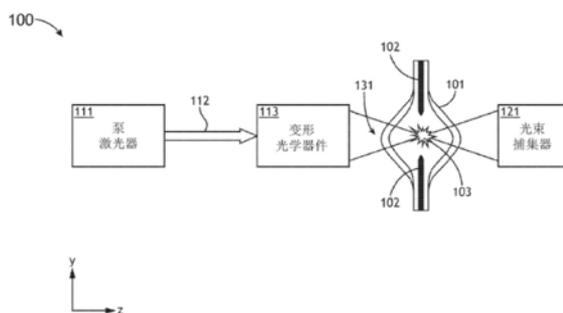
权利要求书5页 说明书15页 附图13页

(54)发明名称

高亮度激光维持等离子体宽带源

(57)摘要

本发明提供一种高亮度激光维持宽带光源，其包含气体围阻结构及经配置以产生包含至少接近所述气体围阻结构中所含有的中性气体的弱吸收线的波长的照明的泵光束的泵激光器。所述宽带光源包含经配置以将所述泵光束聚焦到定位在所述气体围阻结构的中心中或定位成接近所述中心的近似椭圆光束腰中的一或多个变形照明光学器件。所述宽带光源包含经配置以在基本上与所述椭圆光束腰的较长轴对准的方向上收集由所述等离子体发射的宽带辐射的一或多个第一集光光学器件。



1. 一种高亮度激光维持等离子体宽带光源,其包括:
气体围阻结构;
泵激光器,其经配置以产生包含至少接近所述气体围阻结构中所含有的中性气体的弱吸收线的波长的照明的泵光束;
一或多个变形照明光学器件,其经配置以将所述泵光束聚焦到定位在所述气体围阻结构的中心中或定位成接近所述中心的近似椭圆光束腰中;及
一或多个第一集光光学器件,其经配置以在基本上与所述椭圆光束腰的较长轴对准的方向上收集由所述等离子体发射的宽带辐射。
2. 根据权利要求1所述的光源,其进一步包括:
等离子体点燃装置。
3. 根据权利要求2所述的光源,其中所述等离子体点燃装置包括:
一组电极或脉冲激光器中的至少一者。
4. 根据权利要求1所述的光源,其中所述气体围阻结构包括:
等离子体灯泡、等离子体单元或等离子体腔室中的至少一者。
5. 根据权利要求1所述的光源,其中所述气体包括:
惰性气体、非惰性气体或两种或更多种气体的混合物中的至少一者。
6. 根据权利要求5所述的光源,其中所述气体包括:
氙、氙或汞中的至少一者。
7. 根据权利要求1所述的光源,其中所述泵激光器包括:
光纤激光器或固态激光器中的至少一者。
8. 根据权利要求1所述的光源,其中所述泵光束的光的波长是近似1070nm。
9. 根据权利要求1所述的光源,其进一步包括:
第二泵激光器,其经配置以产生包含未由所述中性气体吸收的波长的光的第二泵光束,其中由所述等离子体中的离子化气体吸收所述第二泵激光器的输出波长。
10. 根据权利要求9所述的光源,其中所述第二泵光束的光的所述波长在515nm与540nm之间。
11. 根据权利要求1所述的光源,其中所述一或多个变形照明光学器件包括:
非圆柱形透镜或非球面透镜中的至少一者。
12. 根据权利要求1所述的光源,其中所述一或多个变形照明光学器件包括:
像差补偿器,其经配置以补偿由所述气体围阻结构的形状或所述泵激光器中的至少一者引起的像差。
13. 根据权利要求1所述的光源,其中所述椭圆光束腰具有至少10的长轴对短轴的比率。
14. 根据权利要求13所述的光源,其中所述一或多个变形照明光学器件经配置以在对应于所述椭圆光束腰的较短轴的方向上以大于0.5的数值孔径NA聚焦,且在对应于所述椭圆光束腰的所述较长轴的方向上以小于0.2的NA聚焦。
15. 根据权利要求13所述的光源,其中所述一或多个变形照明光学器件经配置使得所述椭圆光束腰的所述短轴小于 $5\mu\text{m}$ 且所述椭圆光束腰的所述长轴在 $50\mu\text{m}$ 与 $500\mu\text{m}$ 之间。
16. 根据权利要求1所述的光源,其中所述第一集光光学器件经配置以在基本上与所述

椭圆光束腰的较长轴对准的方向上收集所述宽带辐射。

17. 根据权利要求1所述的光源,其进一步包括:

反射器,其放置在所述气体围阻结构的与所述第一集光光学器件的相对侧上且经配置以将宽带辐射基本上与所述泵激光器的所述光束腰重叠地聚焦回到所述等离子体。

18. 根据权利要求1所述的光源,其进一步包括:

反射器,其经配置以将未吸收泵激光照明反射且基本上与所述泵激光器的所述光束腰重叠地聚焦到所述等离子体。

19. 根据权利要求1所述的光源,其进一步包括:

第二组集光光学器件,其经配置以在所述气体围阻结构的与所述第一集光光学器件相对的一侧上收集由所述等离子体发射的照明。

20. 一种产生高亮度宽带光的方法,其包括:

在气体围阻结构中提供大量气体;

点燃所述气体围阻结构中的所述大量气体内的等离子体;

产生包含具有至少接近所述气体围阻结构中的所述气体的弱中性吸收线的波长的照明的泵激光束;

运用一或多个变形照明光学器件塑形并聚焦所述泵激光束以形成定位成至少接近所述气体围阻结构的中心的椭圆光束腰;及

在基本上与所述椭圆光束腰的较长轴对准的方向上收集由所述等离子体发射的宽带辐射。

21. 根据权利要求20所述的方法,其中所述点燃所述气体围阻结构中的所述大量气体内的等离子体包括:

运用来自一组电极的交流电放电来点燃所述气体围阻结构中的所述大量气体内的等离子体。

22. 根据权利要求20所述的方法,其中所述点燃所述气体围阻结构中的所述大量气体内的等离子体包括:

运用脉冲激光器来点燃所述气体围阻结构中的所述大量气体内的等离子体。

23. 根据权利要求20所述的方法,其中所述提供的气体包括:

惰性气体、非惰性气体或两种以上气体的混合物中的至少一者。

24. 根据权利要求23所述的方法,其中所述气体包括:

氙、氙或汞中的至少一者。

25. 根据权利要求20所述的方法,其中从光纤激光器或固态激光器中的至少一者产生所述泵激光束。

26. 根据权利要求24所述的方法,其中所述泵激光束的波长是近似1070nm。

27. 根据权利要求20所述的方法,其进一步包括:

产生具有未由所述中性气体吸收的输出波长的第二泵激光束,其中由所述等离子体中的离子化气体吸收第二泵激光器的所述输出波长。

28. 根据权利要求27所述的方法,其中所述第二泵激光束的光的所述波长在515nm与540nm之间。

29. 根据权利要求20所述的方法,其中所述一或多个变形照明光学器件包括:

非圆柱形透镜或非球面透镜中的至少一者。

30. 根据权利要求20所述的方法,其中所述一或多个变形照明光学器件包括:

像差补偿器,其经配置以补偿由所述气体围阻结构的形状或所述泵激光器中的至少一者引起的像差。

31. 根据权利要求20所述的方法,其中所述椭圆光束腰具有至少10的长轴对短轴的比率。

32. 根据权利要求31所述的方法,其中所述一或多个变形照明光学器件经配置以在对应于所述椭圆光束腰的较短轴的方向上以大于0.5的数值孔径NA聚焦,且在对应于所述椭圆光束腰的所述较长轴的所述方向上以小于0.2的NA聚焦。

33. 根据权利要求32所述的方法,其中所述一或多个变形照明光学器件经配置使得所述椭圆光束腰的所述短轴小于 $5\mu\text{m}$ 且所述椭圆光束腰的所述长轴在 $50\mu\text{m}$ 与 $500\mu\text{m}$ 之间。

34. 根据权利要求20所述的方法,其中第一组集光光学器件经配置以在基本上与所述椭圆光束腰的较长轴对准的方向上收集所述宽带辐射。

35. 根据权利要求20所述的方法,其进一步包括:

运用放置在所述气体围阻结构的与第一集光光学器件相对的一侧上的反射器将宽带辐射基本上与所述泵激光器的所述光束腰重叠地反射回到所述等离子体。

36. 根据权利要求20所述的方法,其进一步包括:

将未吸收泵激光照明反射且基本上与所述泵激光器的所述光束腰重叠地聚焦到所述等离子体。

37. 根据权利要求20所述的方法,其进一步包括:

运用第二组集光光学器件在所述气体围阻结构的与第一集光光学器件相对的一侧上收集由所述等离子体发射的宽带辐射。

38. 根据权利要求20所述的方法,其中所述变形照明光学器件进一步经配置以在所述椭圆光束腰的所述长轴的所述方向上产生比高斯更平坦的光束轮廓。

39. 一种计量系统,包括:

光源;以及

光谱仪,其中所述光源包括:

气体围阻结构;

等离子点燃装置;

泵激光器,其经配置以产生包含接近所述气体围阻结构中所含有的中性气体的弱吸收线的波长的照明的泵光束;

一或多个变形照明光学器件,其经配置以将所述泵光束聚焦到定位在所述气体围阻结构的中心中或定位成接近所述中心的近似椭圆光束腰中;及

一或多个第一集光光学器件,其经配置以在基本上与所述椭圆光束腰的较长轴对准的方向上收集由所述等离子体发射的宽带辐射;

其中所述光谱仪包括分散元件和检测器阵列,

其中所述计量系统经配置以将来自所述光源的宽带辐射引导到样本,并将从所述样本反射的宽带辐射引导到所述光谱仪。

40. 根据权利要求39所述的计量系统,其中所述等离子体点燃装置包括:

一组电极或脉冲激光器中的至少一者。

41. 根据权利要求39所述的计量系统,其中所述气体围阻结构包括:等离子体灯泡、等离子体单元或等离子体腔室中的至少一者。

42. 根据权利要求39所述的计量系统,其中所述气体包括:惰性气体、非惰性气体或两种或更多种气体的混合物中的至少一者。

43. 根据权利要求42所述的计量系统,其中所述气体包括:氙、氩或汞中的至少一者。

44. 根据权利要求39所述的计量系统,其中所述泵激光器包括:光纤激光器或固态激光器中的至少一者。

45. 根据权利要求39所述的计量系统,其中所述泵光束的光的波长是近似1070nm。

46. 根据权利要求39所述的计量系统,其中所述光源进一步包括:第二泵激光器,其经配置以产生包含未由所述中性气体吸收的波长的光的第二泵光束,其中由所述等离子体中的离子化气体吸收所述第二泵激光器的输出波长。

47. 根据权利要求46所述的计量系统,其中所述第二泵光束的光的波长在515nm与540nm之间。

48. 根据权利要求39所述的计量系统,其中所述一或多个变形照明光学器件包括:非圆柱形透镜或非球面透镜中的至少一者。

49. 根据权利要求39所述的计量系统,其中所述一或多个变形照明光学器件包括:像差补偿器,其经配置以补偿由所述气体围阻结构的形状或所述泵激光器中的至少一者引起的像差。

50. 根据权利要求39所述的计量系统,其中所述椭圆光束腰具有至少10的长轴对短轴的比率。

51. 根据权利要求50所述的计量系统,其中所述一或多个变形照明光学器件经配置以在对应于所述椭圆光束腰的较短轴的方向上以大于0.5的数值孔径NA聚焦,且在对应于所述椭圆光束腰的所述较长轴的方向上以小于0.2的NA聚焦。

52. 根据权利要求50所述的计量系统,其中所述一或多个变形照明光学器件经配置使得所述椭圆光束腰的所述短轴小于 $5\mu\text{m}$ 且所述椭圆光束腰的所述长轴在 $50\mu\text{m}$ 与 $500\mu\text{m}$ 之间。

53. 根据权利要求39所述的计量系统,其中所述第一集光光学器件经配置以在基本上与所述椭圆光束腰的较长轴对准的方向上收集所述宽带辐射。

54. 根据权利要求39所述的计量系统,其中所述光源进一步包括:反射器,其放置在所述气体围阻结构的与所述第一集光光学器件的相对侧上且经配置以将宽带辐射基本上与所述泵激光器的所述光束腰重叠地聚焦回到所述等离子体。

55. 根据权利要求39所述的计量系统,其中所述光源进一步包括:反射器,其经配置以将未吸收泵激光照明反射且基本上与所述泵激光器的所述光束腰重叠地聚焦到所述等离子体。

56. 根据权利要求39所述的计量系统,其进一步包括:第二组集光光学器件,其经配置以在所述气体围阻结构的与所述第一集光光学器件相对的一侧上收集由所述等离子体发射的照明。

57. 根据权利要求39所述的计量系统,其中所述变形照明光学器件进一步经配置以在

所述椭圆光束腰的所述长轴的所述方向上产生比高斯更平坦的光束轮廓。

58. 根据权利要求39所述的计量系统, 其中所述分散元件经配置以将从所述样本反射的所述宽带辐射作为波长的函数在一个方向上分散, 并且作为所述宽带辐射相对于样本源的入射角的函数在正交方向上分散。

高亮度激光维持等离子体宽带源

[0001] 相关申请案的交叉参考

[0002] 本申请案依据35U.S.C. §119(e) 规定主张2016年3月28日申请的以庄永和亚历克斯(Yung-Ho Alex Chuang)、卢晓旭(Xiaoxu Lu)、贾斯廷刘(Justin Liou)及约翰菲尔登(John Fielden)为发明者的标题为“具有更高亮度的激光泵的等离子体灯(LASER-PUMPED PLASMA LAMPS WITH HIGHER BRIGHTNESS)”的序列号为62/314,169的美国临时申请案的权益,所述申请案以全文引用的方式并入本文中。

技术领域

[0003] 本发明大体上涉及基于等离子体的光源,且更特定来说,涉及用于检验或计量系统中的基于高亮度等离子体的宽带光源。

背景技术

[0004] 对用于特性化不断缩小的集成电路装置特征的经改进照明源的需求持续增长。半导体计量及检验系统需要非常稳定、非常明亮(高辐射率)宽带光源以执行小尺寸的精确测量及/或检测小缺陷。增加光源的亮度产生较高处理能力及较高灵敏度。

[0005] 在先前方法中,已使用Xe、Ag或Hg弧光灯来产生宽带光。弧光灯包含阳极及阴极,其产生放电以激发且离子化气体并将其维持在高温下,同时从经激发且离子化气体发射宽带光。在操作期间,阳极及阴极变得极热,且由于材料从其表面的蒸发及溅镀而容易磨损。从电极丢失的材料可污染气体及封套且减少其光输出(尤其在UV波长下,其中甚至沉积在灯封套或窗上的极薄材料层可基本上减少UV透射)或导致光源的故障。更重要的是,这些弧光灯不提供用于包含半导体及相关产业内的检验及计量应用的一些应用的足够亮度(光谱辐射率)。弧光灯的亮度受限于可实现电流密度,可实现电流密度又部分受限于对避免电极的过度磨损及灯寿命不经济地短的需求。

[0006] 光谱辐射率或亮度(即,每单位面积每单位立体角每单位波长的发射光功率)对于希望用于半导体检验及计量系统中的光源非常重要。此类系统通常在任一时间照明相对小区域(例如具有在几微米与几百微米之间的尺寸的区域)。用来检验或测量样本的光需要以足够功率聚焦到样本上的此小区域中,以产生足够反射及/或散射光以产生具有高信噪比的信号。由于包括透镜、镜等的光学系统在最好的情况下仅可保持光谱辐射率(如果完全无损),因此需要来自光源的高光谱辐射率以将高功率递送到小区域中。应注意,在最好的情况下,仅增加等离子体灯的等离子体的功率及大小将提供增加递送到给定区域的功率量的无效手段,且在最坏情况下可能完全不增加可递送到给定区域的功率。

[0007] 弧光灯仅缺少用于半导体产业中的关键检验及计量应用的足够亮度。寿命归因于电极的热温度而受到限制。此外,弧的位置可为不稳定的。

[0008] 在一些检验及计量系统中,已实施激光维持(LSP)等离子体灯。LSP灯可比弧光灯更亮、在更大光谱范围内发射且具有长得多的寿命。LSP灯可包括具有两个电极且填充有类似于常规弧光灯的加压气体的透明封套(例如由熔融硅石制成的封套)。红外(IR)波长的激

光束可聚焦到等离子体的中心。通过施加高电压而在电极之间产生短暂放电以点燃激光聚焦于其中的等离子体及热气体。在关闭电极之间的电压之后,使用由等离子体及热气体吸收的激光能量来维持等离子体。紧密聚焦激光可产生小到100微米的等离子体大小及介于10,000K与20,000K之间的等离子体温度。由于相较于常规弧光灯(其通常具有几mm的弧长度)的等离子体的小尺寸及高温, LSP光源更亮且发射具有短波长的更多光。由于电极之间的放电仅短暂存在以起灯,所以电极的磨损显著减少或可忽略,从而相较于常规弧光灯大大增加灯寿命。此外,等离子体的大小更好匹配于典型半导体检验及计量系统所需的源大小使得收集效率相较于常规弧光灯可更高。

[0009] 虽然LSP灯比弧光灯更亮,但为满足检验/测量更小缺陷的需求,现存LSP光源是不够的。仅仅增加激光泵功率仅增加等离子体的大小及周围热气体,而等离子体的中心未变得明显更热。此由于大多数激光泵功率由围绕等离子体的热但大部分未离子化气体吸收而发生,从而导致增加的泵功率极少到达等离子体核心。因此,LSP等离子体源的亮度趋向于在高泵功率下饱和。另外,随着泵激光功率增加,等离子体可变得不稳定。

[0010] 因此,可期望提供一种解决例如上文中描述的现有方法的各种缺点的宽带源。

发明内容

[0011] 根据本发明的一或多个实施例,揭示一种高亮度激光维持等离子体宽带光源。在一个实施例中,光源包含气体围阻结构。在另一实施例中,光源包含泵激光,所述泵激光经配置以产生泵光束,所述泵光束包含至少接近气体围阻结构中所含有的中性气体的弱吸收线的波长的照明。在另一实施例中,光源包含一或多个变形照明光学器件,所述一或多个变形照明光学器件经配置以将泵光束聚焦到定位在气体围阻结构的中心中或定位成接近所述中心的近似椭圆光束腰中。在另一实施例中,光源包含一或多个第一集光光学器件,所述一或多个第一集光光学器件经配置以在基本上与椭圆光束腰的较长轴对准的方向上收集由等离子体发射的宽带辐射。

[0012] 根据本发明的一或多个实施例,揭示一种产生高亮度宽带光的方法。在一个实施例中,所述方法包含在气体围阻结构中提供大量气体。在另一实施例中,所述方法包含点燃气体围阻结构中的大量气体内的等离子体。在另一实施例中,所述方法包含产生泵激光束,所述泵激光束包含具有至少接近气体围阻结构中的气体的弱中性吸收线的波长的照明。在另一实施例中,所述方法包含运用一或多个变形照明光学器件塑形并聚焦泵激光束以形成定位成至少接近气体围阻结构的中心的椭圆光束腰。在另一实施例中,所述方法包含在基本上与椭圆光束腰的较长轴对准的方向上收集由等离子体发射的宽带辐射。

[0013] 应理解,前述一般描述及以下详细描述两者仅为示范性及解释性的且不一定限制本发明。并入特性中且组成特性的一部分的附图说明本发明的标的物。描述及图式一起用于解释本发明的原理。

附图说明

[0014] 通过参考附图可使所属领域的技术人员更好地理解本发明的众多优点,其中:

[0015] 图1A到1B说明根据本发明的一或多个实施例的用于产生高亮度LSP宽带辐射的系统的简化示意图。

[0016] 图1C说明根据本发明的一或多个实施例的用于产生高亮度LSP宽带辐射的系统的泵光束的光束大小变化的概念图。

[0017] 图2A到2C说明根据本发明的一或多个实施例的适合实施于用于产生高亮度LSP宽带辐射的系统的一组变形光学器件的示意图。

[0018] 图3A到3B说明根据本发明的一或多个实施例的用于产生高亮度LSP宽带辐射的系统的气体围阻结构内部或外部的球面镜的实施方案。

[0019] 图4A说明根据本发明的一或多个实施例的经配置以将未吸收泵激光辐射聚焦回到等离子体中的用于产生高亮度LSP宽带辐射的系统。

[0020] 图4B说明根据本发明的一或多个实施例的配备有双通道输出的用于产生高亮度LSP宽带辐射的系统。

[0021] 图5说明根据本发明的一或多个实施例的实施用于产生高亮度LSP宽带辐射的系统作为照明源的检验及/或计量系统的简化示意图。

[0022] 图6说明根据本发明的一或多个实施例的经配置以实施用于产生高亮度LSP宽带辐射的系统作为照明源的计量系统的简化示意图。

[0023] 图7说明根据本发明的一或多个实施例的实施用于产生高亮度LSP宽带辐射的系统作为照明源的折反射成像系统的简化示意图。

具体实施方式

[0024] 现将详细参考附图中说明的揭示的标的物。

[0025] 大体参考图1A到7,根据本发明的一或多个实施例描述一种高亮度激光维持等离子体(LSP)源。

[0026] 本发明的实施例涉及在激光维持宽带辐射源中产生高亮度等离子体,因此可改进相关联计量及/或检验系统的性能。本发明的实施例涉及一种产生高温等离子体的激光维持等离子体源,所述高温等离子体即使在例如(但不限于) M^2 及封套形状的激光特性的正常变化的情况下仍在其尺寸方面经良好控制,且在引导输出光的方向上具有高光学密度(即,不透明度)。

[0027] 本发明的实施例涉及在紧密聚焦方向上以高NA将泵光束聚焦到清晰但细长图像及沿着伸长方向收集辐射。此聚焦配置在不增大收集平面中的等离子体大小的情况下提供增大的泵体积及收集深度,而高泵NA帮助减小紧密聚焦方向及泵光束传播方向上的等离子体大小,因此大大增加相同光展量内的所收集辐射。本发明的额外实施例涉及通过将未收集等离子体辐射或剩余泵功率反射及聚焦回到等离子体中而增强等离子体亮度。本发明的额外实施例涉及额外集光/反射器元件以便增大立体角,运用立体角收集宽带辐射及/或剩余泵激,从而导致泵激效率的增大。

[0028] 应注意,具有经改进亮度的等离子体源在较短波长型态(例如,短于约350nm的波长)或较长IR波长型态(例如,长于1700nm的波长)中特别有利,其中强度在先前方法中是历史新低。在例如半导体产业中使用的检验及计量仪器中,短UV波长可为非常重要的,这是因为与较长波长相比,此类波长由小特征更强烈地散射。另外,在此类系统中,在样本上的不同材料之间可存在更多对比度,这是因为一些材料(例如,硅)在此类短UV波长下强烈吸收,而其它材料(例如,二氧化硅)在大部分UV光谱内可为透明的。在例如用来检验或测量极深

结构中的特性的检验及计量仪器中,较长IR波长也可为非常重要的,其中主要吸收较长波长。具有在这些波长下的较高辐射率(亮度)的光源可实现小特征的更快或更灵敏测量或检验。

[0029] 本发明的实施例利用变形光学器件进行双向聚焦泵激光光。变形光学器件的实施方案允许等离子体的长轴的长度独立于等离子体的短轴的聚焦容易地进行优化。使用长轴的聚焦还确保泵激光束的 M^2 的变化对等离子体的长轴的长度至多仅具有较小影响。本文中描述的光源可包含额外改进,例如使用光学器件来校正由例如灯泡的气体围阻结构引起的像差,及使用光学器件以在对应于等离子体的长轴的方向上修改泵激光的高斯分布以产生更均匀等离子体温度。

[0030] 在以下各者中描述激光维持光源:第7,435,982号美国专利;第2005/0167618号美国专利公开案;第2007/0228300号美国专利公开案;第7,705,331号美国专利;第2011/0291566号美国专利公开案;第2013/0001438号美国专利公开案;第8517585号美国专利;第8259771号美国专利;第8921814号美国专利;及第2015/0282288号美国专利公开案,所述美国专利各自以全文引用的方式并入本文中。

[0031] 图1A到1B说明根据本发明的一或多个实施例的高亮度LSP宽带辐射源100的简化示意图。图1A说明y-z平面的投影中的源100,而图1B说明x-z平面的投影中的源100。

[0032] 应注意,仅出于说明性及解释性目的提供本文中说明的坐标系。出于本发明的目的,z轴经定义为泵光束传播方向,y轴与气体围阻结构/灯泡的电极或安装夹具对准且x轴大体上对应于宽带辐射收集的方向。应注意,本发明的各种实施例可经建构或安装使得这些轴处在便于其特定应用的任何定向上。

[0033] 在一个实施例中,源100包含气体围阻结构101。气体围阻结构101可包含所属领域中已知的能够含有适于经由激光泵形成等离子体的气体的任何围阻结构。举例来说,气体围阻结构101可包含(但不限于)灯泡、腔室、管或单元。虽然大部分本发明集中于实施灯泡作为源100的气体围阻结构,但应注意,本发明的各种实施例可扩展到任何气体围阻结构。

[0034] 在一个实施例中,用来点燃及/或维持等离子体103的气体可包含惰性气体(例如,稀有气体或非稀有气体)或非惰性气体(例如,汞)。在另一实施例中,用来点燃及/或维持等离子体103的气体可包含气体的混合物(例如,惰性气体的混合物、惰性气体与非惰性气体的混合物或非惰性气体的混合物)。举例来说,适合用于源100的气体围阻结构101中的气体可包含(但不限于)Xe、Ar、Ne、Kr、He、N₂、H₂O、O₂、H₂、D₂、F₂、CH₄、一或多种金属卤化物、卤素、Hg、Cd、Zn、Sn、Ga、Fe、Li、Na、ArXe、ArHg、KrHg、XeHg及其任何混合物。应进一步注意,可选择特定气体混合物以便由所述气体混合物优化吸收或发射。本发明应经解释以扩展到适于维持气体围阻结构内的等离子体的任何类型的气体。

[0035] 在另一实施例中,源100包含泵激光111,其经配置以产生泵光束,所述泵光束包含具有处于或接近(即,至少接近)气体围阻结构101中所含有的中性气体的弱吸收线的波长的照明。弱吸收线可为从具有超出中性原子的第一激发态1eV以上的能级的激发态跃迁到更高能级的线。举例来说,Xe的第一激发态在能量上超出基态近似8.3eV。在尤其可用于产生介于约120nm与约3 μ m之间的波长的光的等离子体温度(即,在约10,000K与约25,000K之间的等离子体温度)下,在对应于超出基态9.3eV以上(优选地9.5eV以上)的能级的激发态与更高态之间的跃迁具有相对弱吸收,这是因为远离等离子体的中心区域的中性气体的相

对小部分处于此较高能量激发态。在一个实施例中,泵激光111包含一或多个连续波(CW)激光,例如(但不限于)具有接近气体围阻结构101中所含有的气体的弱中性吸收线(例如,~1070nm)的波长的以CW模式操作的光纤激光或固态激光。举例来说,在光纤激光的情况下,泵激光111可包含(但不限于)掺镱(Yb)光纤激光、掺钕钇铝石榴石(Nd:YAG)晶体光纤激光、掺钕钒酸钷(Nd:YVO4)晶体光纤激光、掺钕钒酸钷(Nd:GdVO4)晶体光纤激光中的一或多个。通过另一实例,在固态激光的情况下,泵激光111可包含(但不限于)一或多个二极管激光。

[0036] 在另一实施例中,源100包含一或多个额外泵激光器。所述一或多个额外泵激光器可沿着不同于第一泵激光器111的方向布置。替代地,所述一或多个额外泵激光可布置为与第一泵激光器111成直线以便从与第一泵激光器111相同的方向照射气体围阻结构101。

[0037] 在一个实施例中,一或多个额外激光器可包含绿色激光器。举例来说,一或多个额外激光器可发射具有介于515nm与540nm之间的波长的激光辐射且可用作对红外第一泵激光器111的补充。应注意,绿色光可由中性气体弱吸收(即使热),但可由离子更强地吸收,且因此将主要由等离子体吸收。应注意,可使用二向色涂覆元件(例如,二向色镜)及/或双波长涂覆元件以将两个激光组合到一个路径中。在以下各者中描述组合来自多个激光源的光束:2016年9月29日申请的第15/280,073号美国申请案;及2016年9月23日申请的第15/274,956号美国申请案,所述美国申请案各自以全文引用的方式并入本文中。

[0038] 在另一实施例中,源100包含等离子体点燃装置102。等离子体点燃装置102可在由泵激光器111泵激之前产生经激发且离子化气体。如图1A中展示,等离子体点燃装置102可包含(但不限于)一或多个电极。在此实例中,可垂直(例如,沿着y方向)布置一或多个电极以通过引起交流电放电到气体围阻结构中所含有的气体中而点燃等离子体。在另一实施例中,源100包含等离子体点燃激光器。举例来说,例如(但不限于)Q切换激光器等的脉冲激光器可运用一系列短的高峰值功率脉冲照明气体围阻结构内所含有的气体,此引起等离子体的点燃。在2016年9月29日申请的第15/280,073号美国申请案中描述经由脉冲激光进行的等离子体点燃,所述美国申请案以全文引用的方式并入上文中。

[0039] 在另一实施例中,源100包含经定位以捕获未由等离子体103吸收的泵光束112(或来自额外泵激光的额外泵光束)的任何部分的一或多个光束捕集器121。

[0040] 在另一实施例中,源100包含一或多个变形照明光学器件113。举例来说,一或多个变形照明光学器件113可包含(但不限于)非圆柱形透镜或非球面透镜。在一个实施例中,由泵激光111发射的泵光束112由一或多个变形光学器件113塑形且接着聚焦到气体围阻结构101的中心部分以维持等离子体103。

[0041] 在一个实施例中,一或多个变形照明光学器件113经布置以在对应于椭圆光束腰的较短轴(例如,短轴)的方向上以所选择数值孔径(NA)聚焦,同时在对应于椭圆光束腰的较长轴(例如,长轴)的方向上以低于所选择NA的NA聚焦。在一个实施例中,具有处于或接近气体围阻结构101中所含有的气体103的弱中性吸收线的波长的泵激光111由变形光学器件113聚焦,以形成定位在气体围阻结构101的中心中或定位成接近所述中心的近似椭圆光束腰。在另一实施例中,椭圆光束腰可具有至少10的长轴对短轴的比率。在另一实施例中,一或多个变形照明光学器件113在对应于椭圆光束腰的较短轴的方向上以大于0.5的数值孔径(NA)聚焦光束,以最小化对应于椭圆光束腰的较短轴的方向及泵光束传播方向上的等离子体大小。此外,一或多个变形照明光学器件113可在对应于椭圆光束腰的较长轴的方向上

以小于0.2的NA聚焦以形成细长等离子体图像。

[0042] 在另一实施例中,一或多个变形光学器件113经配置使得所得椭圆光束腰具有长轴对短轴的所选择比率。举例来说,一或多个变形光学器件113可经配置使得所得椭圆光束腰具有至少10的长轴对短轴的所选择比率。在一个实施例中,变形光学器件113经配置使得椭圆光束腰具有至少10的长轴对短轴的比率,其中椭圆光束腰的短轴小于 $5\mu\text{m}$ 且椭圆光束腰的长轴在 $50\mu\text{m}$ 与 $500\mu\text{m}$ 之间。此外,可基于可用泵功率针对用于特定应用的最关键波长下的较高亮度优化椭圆光束腰的长轴上的腰围。

[0043] 举例来说,一或多个变形照明光学器件113可在对应于椭圆光束腰的短轴(展示为图1A中的131)的y方向上以大于0.5的NA聚焦,同时在对对应于椭圆光束腰的长轴(展示为图1B中的132)的x方向上以小于0.2的NA聚焦。在这方面,所得等离子体可具有y方向及z方向上的最小化大小及x方向上的细长形状(展示为图1B中的103)。

[0044] 应注意,高NA(即,大泵立体角)辅助减小紧密聚焦方向及泵光束传播方向上的等离子体大小。在较高NA下,泵强度围绕腰位置更快发散,使得激光功率密度的可维持性阈值定位成更接近聚焦位置,此导致较小等离子体。将泵光束聚焦到较小光点还可减小等离子体大小。因而,优选的是,泵光束具有良好光束质量(即,接近1.0的 M^2),因此其可聚焦到较小光点且运用适当变形光学器件113最小化焦点处的泵光束像差。在无像差的情况下,较高NA导致较小光束大小。由于良好激光束质量的益处,在本发明的实施例中可有益地使用光纤激光及固态激光。

[0045] 在一个实施例中,一或多个变形照明光学器件可包含一或多个光学元件(例如,透镜),其在聚焦图像的较长轴的方向上使光束112的高斯分布变形(例如,通过引入受控量的球面像差),使得分布的中心部分比高斯平坦以便实现更均匀等离子体温度。

[0046] 参考图1B,在一个实施例中,源100包含一或多个第一集光光学器件105。在一个实施例中,一或多个第一集光光学器件105经配置以收集由等离子体103发射的宽带辐射。举例来说,如图1B中展示,一或多个第一集光光学器件105经配置以在基本上与椭圆光束腰的较长轴对准的方向(例如,等离子体103是细长的x方向)上从等离子体103收集宽带辐射。以此方式,相较于从任何其它方向收集辐射,在辐射可由一或多个第一集光光学器件105收集的情况下的等离子体103的深度更大(即,等离子体的不透明度在收集方向上最大)。在一个实施例中,一或多个第一集光光学器件105包含经涂覆以在宽带光谱范围内高度反射的镜。举例来说,一或多个第一集光光学器件105可包含(但不限于)抛物面镜、球面镜或椭球面镜。应注意,一或多个第一集光光学器件105不限于上文中列出的实例或图1B中描绘的配置。而是,一或多个第一集光光学器件105可包含所属领域中已知的适于从等离子体103收集宽带辐射的反射、折射及/或衍射光学器件的任何组合。

[0047] 应注意,源100可包含任何数目及类型的额外光学元件。在一个实施例中,源100可包含经布置以将来自一或多个第一集光光学器件105的照明引导到一或多个下游光学器件(例如用于检验工具或计量工具(例如,参见图5到7)的照明器光学器件)的一或多个额外光学元件。举例来说,源100可包含用于引导及/或调节由等离子体103发射的宽带辐射的一或多个额外镜、透镜、孔径、带宽选择滤光器及/或偏光组件(及类似者)。

[0048] 图1C说明根据本发明的一或多个实施例的在由变形光学器件113调节之后沿着传播方向(z)的x方向及y方向两者上的泵光束112的光束大小变化的概念图。应注意,标示114

表示x方向上的泵光束112且标示115表示y方向上的泵光束112。在此实例中,腰位置116相对于彼此良好对准,且定位在气体围阻结构101的中心中或定位成接近所述中心。椭圆光束腰的横截面展示为117。标示118表示y方向(即,椭圆光束腰的短轴)上的腰直径 $2w_y$ 且标示119表示x方向(即,椭圆光束腰的长轴)上的腰直径 $2w_x$ 。举例来说,变形光学器件113可经配置使得 $2w_y$ 小于 $5\mu\text{m}$,而 $2w_x$ 在 $50\mu\text{m}$ 与 $500\mu\text{m}$ 之间,此可基于可用泵功率而进一步优化。应注意,由于光束大小及所得雷利范围(Rayleigh range)在x方向上极大,因此相对于y方向,可在x方向上放宽腰位置的容限。

[0049] 热等离子体的温度及不透明度是确定从等离子体收集的光的辐射率的两个重要因素。通过在基本上垂直于光输出的收集方向的方向(y方向)上将光非常紧密地聚焦到小光束腰确保有效地使用激光泵能量来将等离子体的核心加热到高温。通过在基本上平行于光输出的收集方向的方向(x方向)上将光聚焦到较大光束腰,增大此方向上的不透明度。由于不透明度取决于沿着视线的热及经离子化原子的数目,增大灯的填充压力可进一步增大不透明度。传统短弧Xe弧光灯可使用近似30个大气压的室温下的填充压力。在一个实施例中,结合具有约40个大气压或更高的室温填充压力的灯泡、腔室、单元或管使用变形聚焦光学器件以便进一步增大所收集输出光的辐射率。

[0050] 图2A到2C说明根据本发明的一或多个实施例的适合实施于源100中的变形光学器件113的示意图。

[0051] 应注意,在图1A到1C的实例及实施例中描绘的坐标系应经解释以扩展到图2A到2C。在此实例中,泵光束112在z方向上行进且由变形光学器件113形成的椭圆光束腰在y方向上的高NA的情况下是极小的且在x方向上的较低NA的情况下大至少10倍。应注意,本发明的范围不限于y方向上的NA与x方向上的NA之间的实例比率,其在上文中仅出于说明性目的而提供。

[0052] 在一个实施例中,如图2A中展示,一或多个变形光学器件113是包含在y方向上含有两个圆柱形透镜201及202的圆柱形望远镜的光学组合件。圆柱形透镜201、202用于将光束112从泵激光111扩展到更大大小。应注意,圆柱形望远镜可经配置以便设置准直以补偿大部分像散。在另一实施例中,一或多个变形光学器件113包含非圆柱形平凸透镜203。举例来说,非圆柱形平凸透镜203可具有大孔径及短焦距且可经配置而以高NA(例如, >0.5)将光束聚焦到极小光束大小,使得其腰定位在气体围阻结构101的中心中或定位成接近所述中心。非圆柱形透镜203可包含复杂表面轮廓且可显著减小光束112中的光学像差,因此最小化腰处的光束大小。在x方向上,具有长焦距的圆柱形透镜204以较小NA将泵光束112聚焦到较大光束大小,使得其腰也定位在气体围阻结构101的中心中或接近所述中心。

[0053] 在另一实施例中,一或多个变形光学器件113包含一或多个额外像差补偿器。举例来说,一或多个变形光学器件113可包含(但不限于)额外像差补偿器208,其可定位在气体围阻结构101之前以便(在x方向及/或y方向上)补偿由气体围阻结构101(例如,灯泡)的表面的透射部分的不规则或非完美形状所产生的像差及/或来自泵激光111或其它组件的像差。应注意,由于NA在y方向上较大,所以y方向上的校正对于图像质量更重要。因而,在一个实施例中,补偿器208包含具有定向在y-z平面中的一或多个弯曲表面的非圆柱形透镜。x-y平面中的所得椭圆光束腰展示为117。

[0054] 在另一实施例中,如图2B中展示,一或多个变形光学器件113包含非球面透镜213。

举例来说,在经由透镜211及212(其使泵光束112在y方向上扩展到较大大小)应用圆柱形望远镜之后,具有大孔径及短焦的非球面透镜213可以高NA(>0.5)将光束112聚焦到极小光束大小,使得其腰定位在气体围阻结构101的中心中或定位成接近所述中心。应注意,与非圆柱形透镜相比,非球面透镜更常用及/或更便宜。在另一实施例中,在x方向上,具有长焦距的圆柱形透镜214(类似于204)可聚焦光束112。在另一实施例中,放置在圆柱形透镜214与非球面透镜213之间的平凹圆柱形透镜215经配置以取消在x方向上由非球面透镜213产生的功率。在这方面,整个透镜组有效地产生类似于图2A中描绘的椭圆光束腰117。在另一实施例中,一或多个变形光学器件113包含一或多个额外像差补偿器。举例来说,可在气体围阻结构101之前添加例如补偿器218的一或多个额外像差补偿器以补偿在一个或两个方向上由气体围阻结构101的透射部分的不规则或不完美形状产生的像差及/或来自泵激光或其它组件的像差。

[0055] 在另一实施例中,如图2C中展示,一或多个变形光学器件113包含经配置以在布鲁斯特角附近操作以便在y方向上扩展光束的两个棱镜。在一个实施例中,棱镜221及222经调谐以在未将任何功率引入到系统中的情况下调整y方向上的NA及光束大小。可使用此棱镜对221、222作为图2A中的透镜201、202(其后接着非圆柱形透镜203)或图2B中的透镜211、212(其后接着非球面透镜213)的替代。在另一实施例中,变形光学器件113包含额外像差补偿器228。应注意,如果实施非圆柱形透镜203,那么图2C的x方向配置将与图2A相同。此外,如果实施非球面透镜213,那么图2C的x方向配置将与图2B相同。

[0056] 应注意,图2A到2C中描绘的组件的数目及类型是仅出于说明性目的提供且不应解释为对本发明的范围的限制。举例来说,图2A到2C的变形光学器件113可包含光学器件领域中已知的任何数目及类型个组件。例如,代替经实施具有两个透镜的圆柱形望远镜(如图2A及2B中),可使用经实施具有三个透镜的无焦望远镜来调谐光束直径并设置聚焦。在额外实施例中,变形光学器件113的一或多个表面可涂覆有所选择涂层以最大化激光泵光束112的透射。

[0057] 图3A到3B说明根据本发明的一或多个实施例的气体围阻结构101内部或外部的球面镜的实施方案。应注意,由于等离子体103在全部方向上辐射,所以如果在气体围阻结构101的与第一集光光学器件105相对的侧上的等离子体辐射经反射回朝向等离子体103且聚焦到基本上与泵激光束112的光束腰重叠的等离子体103中,那么可在相同立体角内且运用相同集光光学器件收集更多等离子体辐射。

[0058] 在一个实施例中,如图3A中展示,源100包含在气体围阻结构101的与第一集光光学器件105相对的侧上定位在所述气体围阻结构外部的部球面镜310。球面镜310可经配置以反射等离子体辐射312且将其聚焦回到等离子体103的中心。替代地,源100可包含在气体围阻结构101的与第一集光光学器件105相对的侧上定位在气体围阻结构101的内部表面或外部表面上的内部球面镜311。球面镜311还可经配置以反射等离子体辐射312且将其聚焦回到等离子体103的中心。

[0059] 在一个实施例中,反射器310、311可包括气体围阻结构101的透射部分(例如,灯泡)的外表面或内表面上的宽带高反射涂层。在一个实施例中,一些经反射辐射312可由等离子体103吸收,从而引起等离子体温度增大且亮度增强。此外,经反射辐射的其余部分可行进穿过等离子体103且遵循朝向第一集光光学器件105的光束路径,其在第一集光光学器

件105中经收集且引导到下游光学元件。在这方面,总收集宽带光束306包含三个部分:1)最初从等离子体103发射朝向第一集光光学器件105的辐射;2)由反射器310或311反射朝向第一集光光学器件105且由经反射光束312的再吸收增强的辐射;及3)由反射器310或311反射朝向第一集光光学器件105且透射穿过等离子体103的辐射。

[0060] 在另一实施例中,如图3B中展示,反射器310或311的面积可扩展。在一个实施例中,反射器可与具有孔径以使传入泵光束112、剩余泵光束及待收集的等离子体辐射通过的全反射壳体321(或壳体的某一部分)一样大。在另一实施例中,壳体321可包含定位在气体围阻结构外部或内部的多个分开的镜。在替代实施例中,壳体321可包含气体围阻结构101的透射部分的外表面或内表面上的反射涂层。在此实例中,等离子体辐射可反射回到等离子体103且聚焦于基本上与泵激光111的光束腰重叠的位置处且可由等离子体103再吸收。在这方面,如宽带辐射307的收集量那样增强由等离子体103发射的宽带辐射量。此外,壳体321还可辅助减少散射到并入作为光源的LSP源100的光学系统(例如,检验系统或计量系统)中的光量。

[0061] 图4A说明根据本发明的一或多个实施例的经配置用于将未吸收泵激光辐射聚焦回到基本上与泵激光111的光束腰重叠的等离子体103中以进一步泵等离子体103的源100。在一个实施例中,源100包含定位在光束路径中以使来自激光111的泵光束112通过但将任何回反射光束重引导到光束捕集器421的光学隔离器411。在另一实施例中,源100包含一组额外变形光学器件412。变形光学器件412可经配置以在两个方向上单独准直透射泵光束。举例来说,变形光学器件412可包含(但不限于)图2A、2B或2C中描绘的任何光学配置。在另一实施例中,源100可包含一或多个像差补偿器。在另一实施例中,准直光束413可由平面镜414反射回且接着运用变形光学器件412聚焦回到等离子体103的中心。应注意,泵激光111的最初等离子体吸收可小于70%。因而,利用泵光束112的第一遍次中的未吸收泵功率可大大增加泵激光111的泵效率。

[0062] 应注意,图4A中描绘的配置不应解释为对本发明的范围的限制且仅出于说明性目的提供。举例来说,变形光学器件412及平面镜414可由经定位使得其曲率中心与等离子体103的中心重合的球面镜替代。以此方式,聚焦泵光束可作为反转图像反射回到相同位置。尽管单个球面镜可将一些像差引入反射泵光束图像中,但由于从反射泵图像吸收额外功率,所以可增强等离子体温度。

[0063] 图4B说明根据本发明的一或多个实施例的配备有双通道输出的源100。在一个实施例中,源100包含经配置以收集在气体围阻结构101的与第一集光光学器件105相对的侧上辐射的等离子体辐射的第二组集光光学器件425。举例来说,第二组集光光学器件425可沿着泵光束112的光轴与第一集光光学器件105镜面对称,借此泵光束112的光轴沿着等离子体103的细长方向定向。在这方面,第二组集光光学器件425产生具有与原始宽带光束106近似相同的强度的另一宽带光束426。此配置可高度有利于具有多个照明通道的计量或检验系统,因为可增强整体可用光强度且可改进处理能力。应注意,图4A中描绘的配置不应解释为对本发明的范围的限制且仅出于说明性目的提供。

[0064] 应注意,可组合图3A到4B中描绘的各种实施例以便实现增强源100的整体有效性及等离子体输出的亮度。

[0065] 本发明的源100可经实施为所属领域中已知的任何光学系统中的宽带照明源。举

例来说,源100可经实施为用于半导体晶片特性化的领域中已知的任何检验工具或计量工具的宽带源。

[0066] 图5说明根据本发明的一或多个实施例的实施宽带源100的检验系统500的简化示意图。应注意,虽然在样本检验的上下文中描述系统500,但系统500可扩展到其它光学特性化上下文,例如基于成像的计量。在一个实施例中,检验系统500经配置以检验或测量样本508(例如,晶片、主光罩、光掩模或类似者)。举例来说,可将样本508放置在置物台512上以便促进样本508的不同区域在光学器件下面的移动。通过另一实例,置物台512可包含线性置物台(例如,X-Y置物台)或旋转置物台(例如,R- θ 置物台)。在额外实施例中,置物台512可在检验或测量期间调整样本508的高度以维持聚焦。在另一实施例中,检验系统包含物镜505。举例来说,物镜505可经调整以维持聚焦。

[0067] 在一个实施例中,本文中先前描述的LSP宽带辐射源100经实施为系统500的照明源100。举例来说,照明源100可发射可见、紫外(UV)、深紫外(DUV)及/或真空紫外(VUV)辐射。在一个实施例中,系统500包含经配置以将来自照明源100的光引导及/或聚焦到样本508的表面上的一组光学器件503。举例来说,所述组光学器件503可包含(但不限于)用于将光聚焦到样本508的表面的物镜505。在另一实施例中,所述组光学器件503可包含用于收集从样本508反射或散射的光的一或多个额外光学组件(例如,透镜或镜)。接着,所述组光学器件503可将来自样本508的表面的所收集光引导到检测器组合件504的检测器506。所述组光学器件503可包含所属领域中已知的用于照明表面样本且从样本的表面收集光的任何数目及类型的光学器件,例如(但不限于)镜、透镜及/或光束分离器。

[0068] 检测器组合件504的检测器506可包含所属领域中已知的任何光检测器,例如(但不限于)CCD检测器、TDI-CCD检测器或类似者。举例来说,检测器506可包含(但不限于)二维阵列传感器或一维线传感器。在另一实施例中,检测器506的输出经提供到一或多个处理器514,其分析检测器506的输出。举例来说,处理器514可由可存储在载体媒体516(例如,存储器)上的程序指令518配置。

[0069] 在一个实施例中,系统500照明样本508上的线,且作为响应,检测器506在一或多个暗场及/或明场收集通道中收集散射及/或反射光。在这方面,检测器506可包含线传感器或电子轰击线传感器。在另一实施例中,系统500照明样本508上的多个光点,且作为响应,检测器506在一或多个暗场及/或明场收集通道中收集散射及/或反射光。在这方面,检测器506可包含二维阵列传感器或电子轰击二维阵列传感器。

[0070] 在以下各者中描述与晶片检验或计量相关的细节:罗马诺夫斯基(Romanovsky)等人在2012年7月9日申请的美国专利申请案13/554,954;阿姆斯特朗(Armstrong)等人在2011年6月7日发布的第7,957,066号美国专利;庄(Chuang)等人在2008年3月18日发布的第7,345,825号美国专利;谢弗(Shafer)等人在1999年12月7日发布的第5,999,310号美国专利;及梁(Leong)等人在2009年4月28日发布的美国专利7,525,649,所述专利案各自以全文引用的方式并入本文中。

[0071] 图6说明根据本发明的一或多个实施例的实施宽带辐射源100的计量系统600的简化示意图。

[0072] 在一个实施例中,计量系统600经配置成具有至多六个不同非接触式光学测量系统且可并入LSP宽带辐射源100,如本文中先前描述。举例来说,计量系统600可包含光束

轮廓椭偏仪 (BPE) 610、光束轮廓反射计 (BPR) 612、宽带反射光谱仪 (BRS) 614、深紫外光反射光谱仪 (DUV) 616、宽带光谱椭偏仪 (BSE) 618及参考椭偏仪602。这六个光学测量装置可利用少到三个光源:激光620及690以及宽带源100。通过另一实例,激光620可产生探测光束624且宽带源100可产生探测光束626(其由透镜628准直且由镜629沿着与探测光束624相同的路径引导)。举例来说,激光620可为(但不限于)发射可见或近IR波长(例如近670nm的波长)的线性偏光3mW光束的固态激光二极管。如上所述,宽带源100可包含本文中先前描述的宽带LSP源。举例来说,宽带源100可产生覆盖200nm到800nm或更宽的光谱的多色光束。

[0073] 在一个实施例中,计量系统600包含探测光束624、626。举例来说,探测光束624、626可由镜630反射,且行进穿过镜642到样本604。通过另一实例,探测光束624、626可运用透镜632或透镜633聚焦到样本604的表面上。例如,两个透镜632、633可安装在转座(未展示)中且可替代地可移动到探测光束624、626的路径中。此外,透镜632可为具有高数值孔径(大约0.90NA)以相对于样本表面产生大范围的入射角且产生直径约一微米的光点大小的球面、显微镜物镜。透镜633可为具有较低数值孔径(大约0.4NA)且能够将深UV光聚焦到约10到15微米的光点大小的反射透镜。

[0074] 在另一实施例中,光束轮廓椭圆测量法 (BPE) 610包含四分之一波板634、偏光器636、透镜638及四象限检测器640。在操作中,线性偏光探测光束624可由透镜632聚焦到样本604上。举例来说,从样本表面反射的光可向上行进穿过透镜632、穿过镜642、630及644,且由镜646引导到BPE 610中。射线在经反射探测光束内的位置可对应于相对于样本的表面的特定入射角。在另一实施例中,四分之一波板634可使光束的偏光状态中的一者的相位推迟90度。此外,线性偏光器636可引起光束的两个偏光状态彼此干涉。对于最大信号,偏光器636的轴可经定向成相对于四分之一波板634的快轴及慢轴成45度的角。四象限检测器640可为具有四个径向安置象限的四象限单元检测器,每一象限拦截探测光束的四分之一且产生与撞击那个象限的探测光束的部分的功率成比例的单独输出信号。可将来自每一象限的输出信号发送到处理器648。应注意,通过监测光束的偏光状态的变化,可确定例如 Ψ 及 Δ 的椭偏信息。为确定此信息,处理器648获取直径相对象限的输出信号的总和之间的差(对于极薄膜来说为随膜厚度线性变化的值)。在范东 (Fanton) 等人于1993年1月19日发布的第5,181,080号美国专利中论述光束轮廓椭偏仪,所述专利案以全文引用的方式并入本文中。

[0075] 在另一实施例中,BPR 612包含透镜650、光束分离器652及两个线性检测器阵列654及656以测量样本的反射率。在操作中,线性偏光探测光束624可由透镜632聚焦到样本604上,其中光束内的各种射线按一系列入射角撞击样本表面。从样本表面反射的光可向上行进穿过透镜632、穿过镜642及630,且由镜644引导到BPR 612中。射线在经反射探测光束内的位置可对应于相对于样本的表面的特定入射角。透镜650可使光束在空间上二维地扩展。光束分离器652可分离光束的S及P分量,且检测器阵列654及656可经定向彼此正交以隔离关于S及P偏光光的信息。较高入射角射线可落在更接近阵列的相对端处。来自二极管阵列中的每一元件的输出可对应于不同入射角。检测器阵列654、656可依据相对于样本表面的入射角而测量跨经反射探测光束的强度。处理器648可接收检测器阵列654、656的输出,且基于这些角度相依强度测量而通过利用各种类型的建模算法导出薄膜层608的厚度及/或折射率。举例来说,可采用使用迭代过程的优化例程(例如最小平方拟合例程)。在范东 (Fanton) 等人的“使用光束轮廓反射率的薄膜的多参数测量 (Multiparameter

Measurements of Thin Films Using Beam-Profile Reflectivity)”,《应用物理学报 (Journal of Applied Physics)》,第73卷,第11期,第7035页,1993年中描述此类型的优化例程的一个实例,所述文献以全文引用的方式并入本文中。另一实例出现在冷 (Leng) 等人的“使用分光光度测定法及光束轮廓反射测定法同时测量绝缘体上硅膜堆叠中的六个层 (Simultaneous Measurement of Six Layers in a Silicon on Insulator Film Stack Using Spectrophotometry and Beam Profile Reflectometry)”,《应用物理学报 (Journal of Applied Physics)》,第81卷,第8期,第3570页,1997年中,所述文献以全文引用的方式并入本文中。在戈尔德 (Gold) 等人于1991年3月12日发布的第4,999,014号美国专利中论述光束轮廓反射计 (BPR),所述专利以全文引用的方式并入本文中。

[0076] 在另一实施例中,BRS 614同时运用多个波长的光探测样本604。在一个实施例中,BRS 614使用透镜632且包含宽带光谱仪658。宽带光谱仪658可包含所属领域中已知的任何宽带光谱仪。在一个实施例中,光谱仪658可包含透镜660、孔径662、分散元件664及检测器阵列666。在操作期间,来自宽带源100的探测光束626可由透镜632聚焦到样本604上。从样本的表面反射的光可向上行进穿过透镜632,且可由镜642引导(穿过镜684)到光谱仪658。透镜660可使探测光束聚焦穿过孔径662,孔径662可在样本表面上界定视野中的光点以进行分析。分散元件664(例如衍射光栅、棱镜或全息板)可依据波长使光束有角度地分散到检测器阵列666中含有的个别检测器元件。不同检测器元件可测量探测光束中含有的不同波长的光的光学强度。例如,不同检测器元件可同时测量不同波长的光的光学强度。在另一实施例中,检测器阵列666可为电荷耦合装置 (CCD) 相机,或具有适合分散或以其它方式波长选择光学器件的光电倍增管。应注意,单色仪可用于使用单个检测器元件来连续测量不同波长(一次一个波长)。此外,分散元件664还可经配置以依据波长使光在一个方向上分散,且依据相对于样本表面的入射角使光在正交方向上分散,使得依据波长及入射角两者的同时测量是可能的。处理器648可处理由检测器阵列666测量的强度信息。BRS 614可同时运用多个波长的光探测样本604。

[0077] 在另一实施例中,DUV 616使用与BRS 614相同的光谱仪658来分析探测光束626,除DUV 616使用反射透镜633而非聚焦透镜632外。为操作DUV 616,含有透镜632、633的转座可经旋转使得反射透镜633可对准探测光束626。在一些实施例中,反射透镜633可为必需的,这是因为固体物镜无法将UV光充分地聚焦到样本上。

[0078] 在另一实施例中,BSE 618包含偏光器670、聚焦镜672、准直镜674、旋转补偿器676及检偏镜680。在操作中,镜682可将探测光束626的至少部分引导到偏光器670,偏光器670产生探测光束的已知偏光状态,优选地线性偏光。聚焦镜672可按倾斜角(例如,与样本表面的法线成大约70度)将光束聚焦到样本表面上。应注意,基于样本的膜608及衬底606的组合物及厚度,反射光束在与样本相互作用之后可通常具有混合线性及圆形偏光状态。可由准直镜674准直反射光束,准直镜674将光束引导到旋转补偿器676。旋转补偿器676可引入一对相互正交偏光光束分量之间的相对相位延迟 δ (相位推迟)。旋转补偿器676优选地可由电动机678绕基本上平行于光束的传播方向的轴按角速度 ω 旋转。检偏镜680(例如,另一线性偏光器)可混合入射在其上的偏光状态。通过测量由检偏镜680透射的光,可确定经反射探测光束的偏光状态。镜684可将光束引导到光谱仪658,光谱仪658同时测量行进穿过补偿器/检偏镜组合的经反射探测光束中的不同波长的光的强度。处理器648可接收检测器666

的输出,且处理由检测器666依据波长及旋转补偿器676绕其旋转轴的方位(旋转)角测量的强度信息,以求解样本特性(例如椭偏值 Ψ 及 Δ)。在艾斯(Aspnes)等人于1999年3月2日发布的第5,877,859号美国专利中描述宽带光谱椭偏仪,所述专利以全文引用的方式并入本文中。

[0079] 在另一实施例中,检测器/相机686经定位在镜646上方,且可用来观看从样本604反射的光束以用于对准及聚焦目的。

[0080] 在另一实施例中,为校准BPE 610、BPR 612、BRS 614、DUV 616及/或BSE 618,计量系统600包含结合参考样本604使用的波长稳定校准参考椭偏仪602。举例来说,椭偏仪602可包含光源690、偏光器692、透镜694、696、旋转补偿器698、检偏镜603及检测器605。

[0081] 在一个实施例中,光源690(例如,一或多个激光)产生具有已知稳定波长及稳定强度的拟单色探测光束607。举例来说,光束607的波长(其是已知常数或测量值)可提供到处理器648使得椭偏仪602可精确地校准系统600中的光学测量装置。在另一实施例中,光束607与偏光器692相互作用以产生已知偏光状态。举例来说,偏光器692可为(但不限于)包括石英罗歇(Rochon)棱镜的线性偏光器。应注意,偏光不限于线性偏光或甚至完全偏光。通过另一实例,偏光器692也可由方解石制成。

[0082] 偏光器692的方位角可经定向使得与从偏光器692出射的线性偏光光束相关联的电向量的平面相对于入射平面(由光束607的传播方向及样本604的表面的法线所界定)成已知角度。方位角优选地选择为大约30度,这是因为灵敏度在P及S偏光分量的反射强度近似平衡时优化。应注意,如果光源690发射具有所要已知偏光状态的光,那么可省略偏光器692。

[0083] 在另一实施例中,光束607由透镜694按倾斜角聚焦到样本604上。举例来说,光束607可按与样本表面的法线成大约70度的角照射样本604,这是因为对样本性质的灵敏度在材料的布鲁斯特或伪布鲁斯特角附近最大化。基于椭偏原理,相较于传入光束的线性偏光状态,反射光束在与样本相互作用之后可通常具有混合线性及圆形偏光状态。透镜696可在光束607从样本604反射之后准直光束607。

[0084] 在另一实施例中,光束607接着行进穿过旋转补偿器(推迟器)698,旋转补偿器698引入一对相互正交偏光光束分量之间的相对相位延迟 δ_r (相位推迟)。相位推迟量可依据波长、用来形成补偿器的材料的分散特性及/或补偿器的厚度而变化。举例来说,补偿器698可绕基本上平行于光束607的传播方向的轴按角速度 ω_r 旋转(例如,由电动机601旋转)。补偿器698可为所属领域中已知的任何波板补偿器(例如,晶体石英)。补偿器698的厚度及材料可经选择使得引发光束的所要相位推迟。在一个实施例中,补偿器698可为由各向异性材料(例如,双折射材料)的两个平行板建构的双板补偿器,例如相对偏手性的石英晶体,其中两个板的快轴彼此垂直且厚度几乎相等,足够不同以实现由光源690产生的波长的净一阶推迟。

[0085] 在另一实施例中,光束607接着与检偏镜603相互作用,检偏镜603用于混合入射在其上的偏光状态。举例来说,检偏镜603可为另一线性偏光器,其优选地经定向成相对于入射平面成45度的方位角。然而,可使用用于近似混合传入偏光状态的任何光学装置作为检偏镜。检偏镜603可为石英罗歇或渥拉斯顿(Wollaston)棱镜。

[0086] 应注意,补偿器698可定位在样本604与检偏镜603之间(如图6中展示),或定位在

样本604与偏光器692之间。应进一步注意,偏光器670、透镜694、696、补偿器698及检偏镜603可全部在其构造方面针对由光源690产生的特定波长的光优化,此最大化椭偏仪602的精确性。

[0087] 在另一实施例中,光束607接着进入检测器605,检测器605测量行进穿过补偿器/检偏镜组合的光束的强度。举例来说,处理器648可处理由检测器605测量的强度信息以确定光在与检偏镜相互作用之后的偏光状态,及因此样本的椭偏参数。此信息处理可包含依据补偿器绕其旋转轴的方位(旋转)角测量光束强度。依据补偿器旋转角的此强度测量实际上可为依据时间的光束607的强度的测量,这是因为补偿器角速度通常是已知的且是常数。

[0088] 应注意,还可使用光源690的输出来校准由光谱仪658进行的波长测量。样本604可被倾斜,或由倾斜镜替换,以将光束607向上引导到镜642且到分散元件664。通过知晓由光源690产生的光的确切波长,处理器648可通过确定哪一(些)像素对应于那个波长的光而校准检测器666的输出。

[0089] 应注意,本发明的校准椭偏仪602不限于上文中论述的特定旋转补偿器椭偏仪配置,其仅出于说明性目的而提供。应进一步注意,本发明的范围可扩展到结合光源690(具有已知波长)的任何椭偏仪配置,其测量光束在与样本相互作用之后的偏光状态且提供关于样本604的必要信息用于校准非接触式光学测量装置。举例来说,另一椭偏配置可涉及运用电动机601旋转偏光器692或检偏镜603,而非旋转补偿器698。

[0090] 在罗森威格(Rosencwaig)于2001年10月2日发布的美国专利6,297,880中描述计量系统,所述文献以全文引用的方式并入本文中。在欧普斯(Opsal)等人于2002年8月6日发布的第6,429,943号美国专利中描述运用计量系统执行的散射测量,所述专利以全文引用的方式并入本文中。在匹旺卡-科尔(Piwonka-Corle)等人于1997年3月4日发布的第5,608,526号美国专利中描述并入光谱椭偏仪及分光亮度计的计量系统,所述专利以全文引用的方式并入本文中。

[0091] 图7说明根据本发明的一或多个实施例的实施宽带源100的折反射成像系统700的简化示意图。

[0092] 折反射成像系统700可经配置为检验系统。在一个实施例中,系统700包含明场检验模式及任选暗场检验模式。在另一实施例中,系统700并入激光701及宽带源100,如本文中先前描述。

[0093] 在一个实施例中,在任选暗场模式中,调适光学器件702控制所检验的表面上激光照明光束大小及轮廓。在另一实施例中,折反射成像系统700包含机械外壳704。举例来说,机械外壳704可包含孔径、窗703及用以沿着光学轴重导引激光法向入射到样本708的表面的棱镜705。在另一实施例中,棱镜705引导来自样本708的表面特征的镜面反射离开物镜706。举例来说,物镜706可收集由样本708散射的光且将其聚焦到传感器709上。此外,可以折反射物镜712、聚焦透镜群组713及管透镜区段714(其任选地可包含变焦能力)的一般形式提供物镜706的透镜。激光701可并入如本文中描述的带宽控制。

[0094] 在另一实施例中,在明场模式中,宽带源100可将宽带光引导到光束分离器710,光束分离器710将那些光反射朝向聚焦透镜群组713及折反射物镜712。举例来说,折反射物镜712可运用宽带光照明样本708。从样本反射或散射的光可由物镜706收集且聚焦在传感器709上。在另一实施例中,宽带源100还可包含自聚焦系统以提供信号以控制样本708相对于

折反射物镜712的高度。在2008年3月18日发布的第7,345,825号美国专利中描述折反射成像系统,所述专利以全文引用的方式并入本文中。

[0095] 本文中描述的标的物有时说明其它组件内所含有或与其它组件连接的不同组件。应理解,描绘的此类架构仅是示范性的,且事实上可实施实现相同功能性的许多其它架构。在概念意义上,实现相同功能性的组件的任何布置经有效地“相关联”使得实现所要功能性。因此,本文中组合以实现特定功能性的任何两个组件可视为彼此“相关联”使得实现所要功能性,而不考虑架构或中间组件。同样地,如此相关联的任何两个组件也可视为彼此“连接”或“耦合”以实现所要功能性,且能够如此相关联的任何两个组件也可视为彼此“可耦合”以实现所要功能性。可耦合的特定实例包含(但不限于)物理上可交互及/或物理上交互组件及/或无线地可交互及/或无线交互组件及/或逻辑上可交互及/或逻辑交互组件。

[0096] 据信,将通过前述描述理解本发明及许多其伴随优点,且将明白可在组件的形式、构造及布置上作出各种改变而不背离所揭示标的物或不牺牲全部其材料优点。描述的形式仅是解释性的,且所附权利要求书的意图是涵盖且包含此类改变。此外,应理解,本发明由所附权利要求书定义。

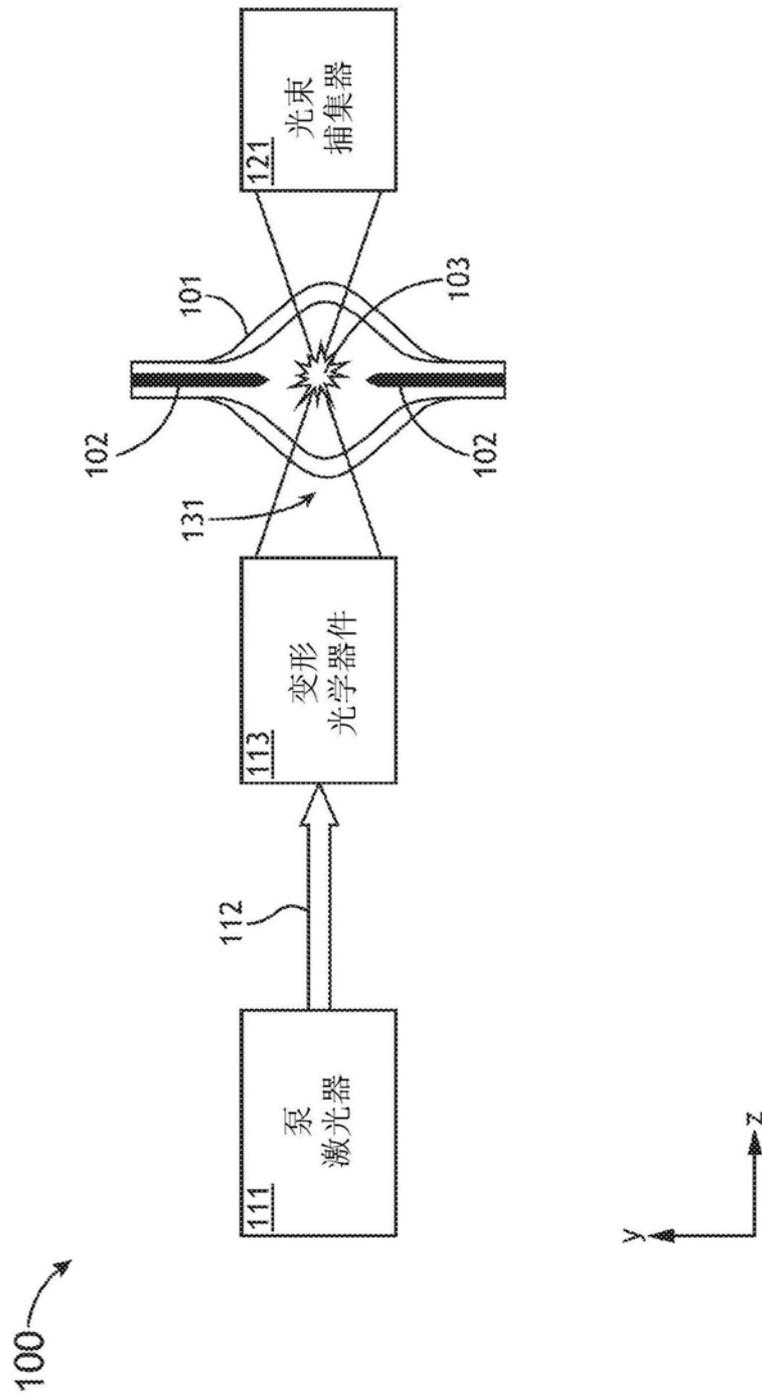


图1A

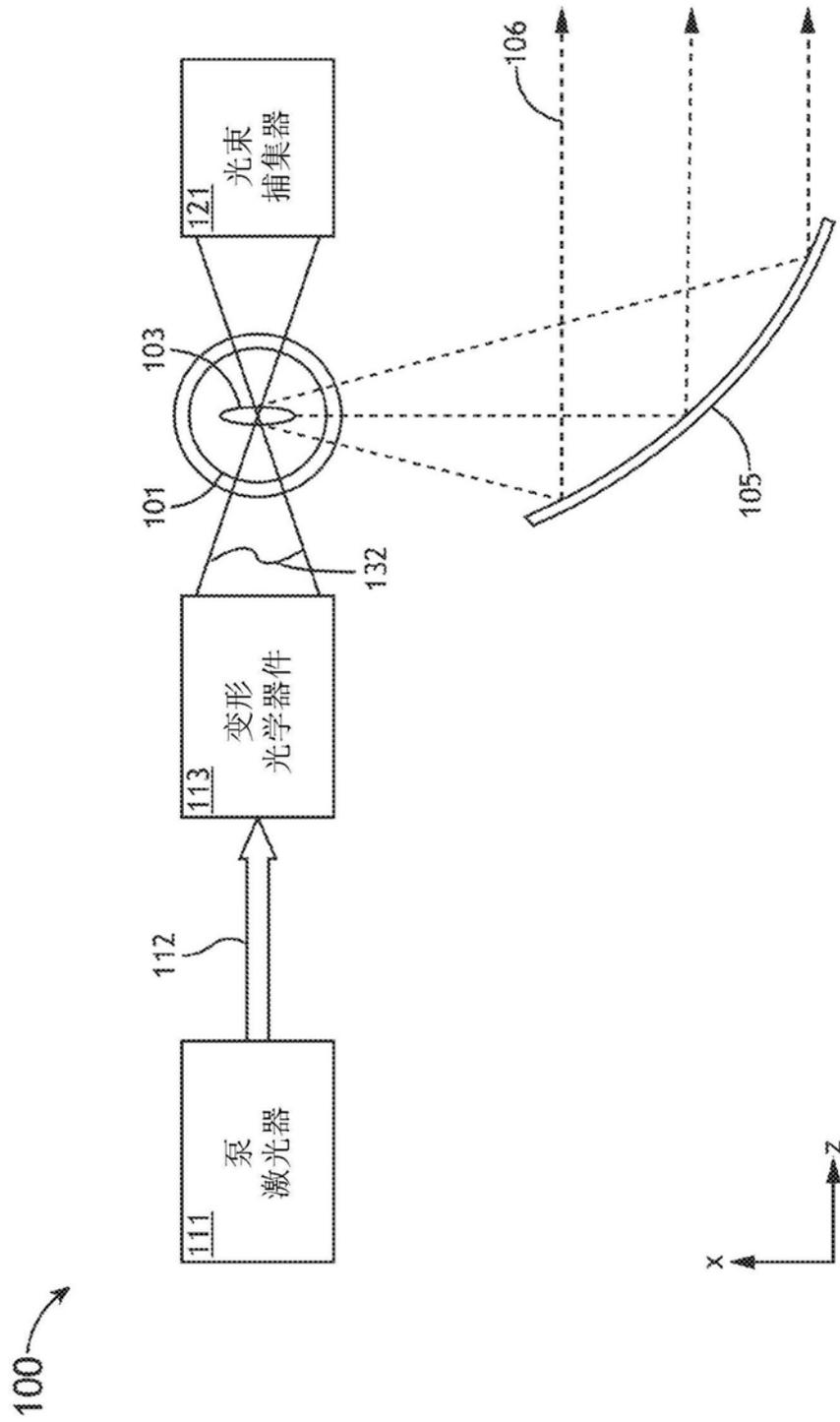


图1B

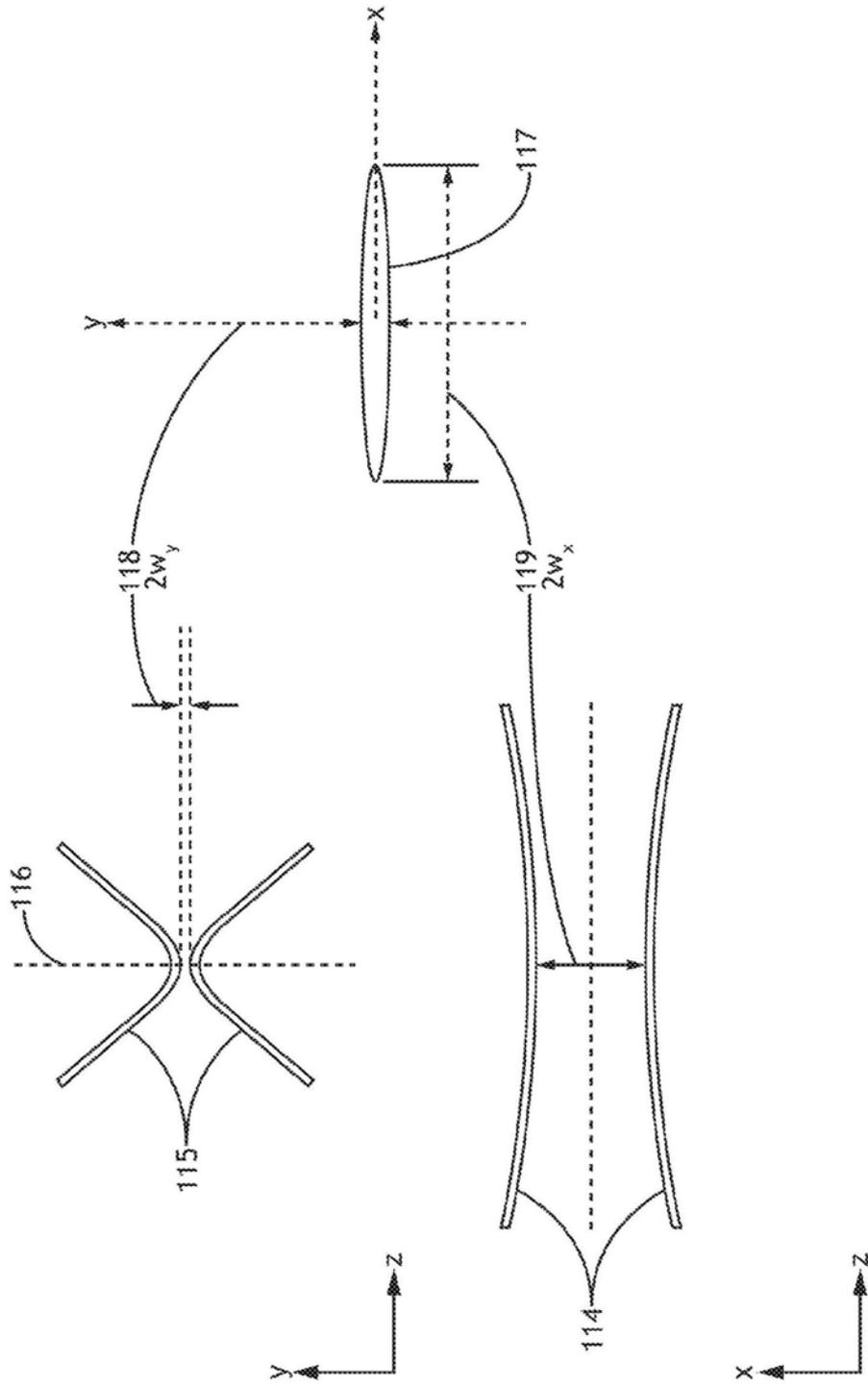


图1C

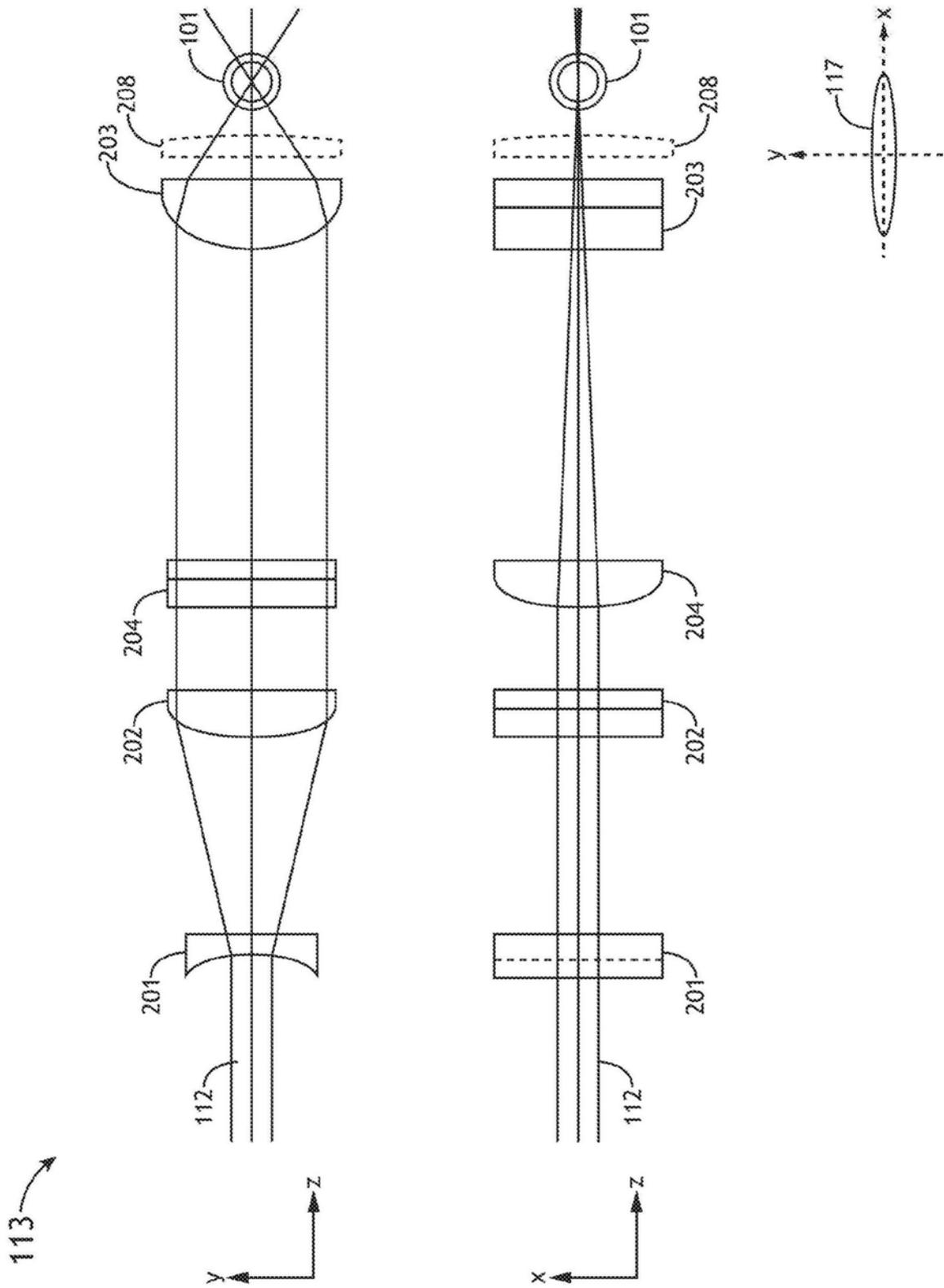


图2A

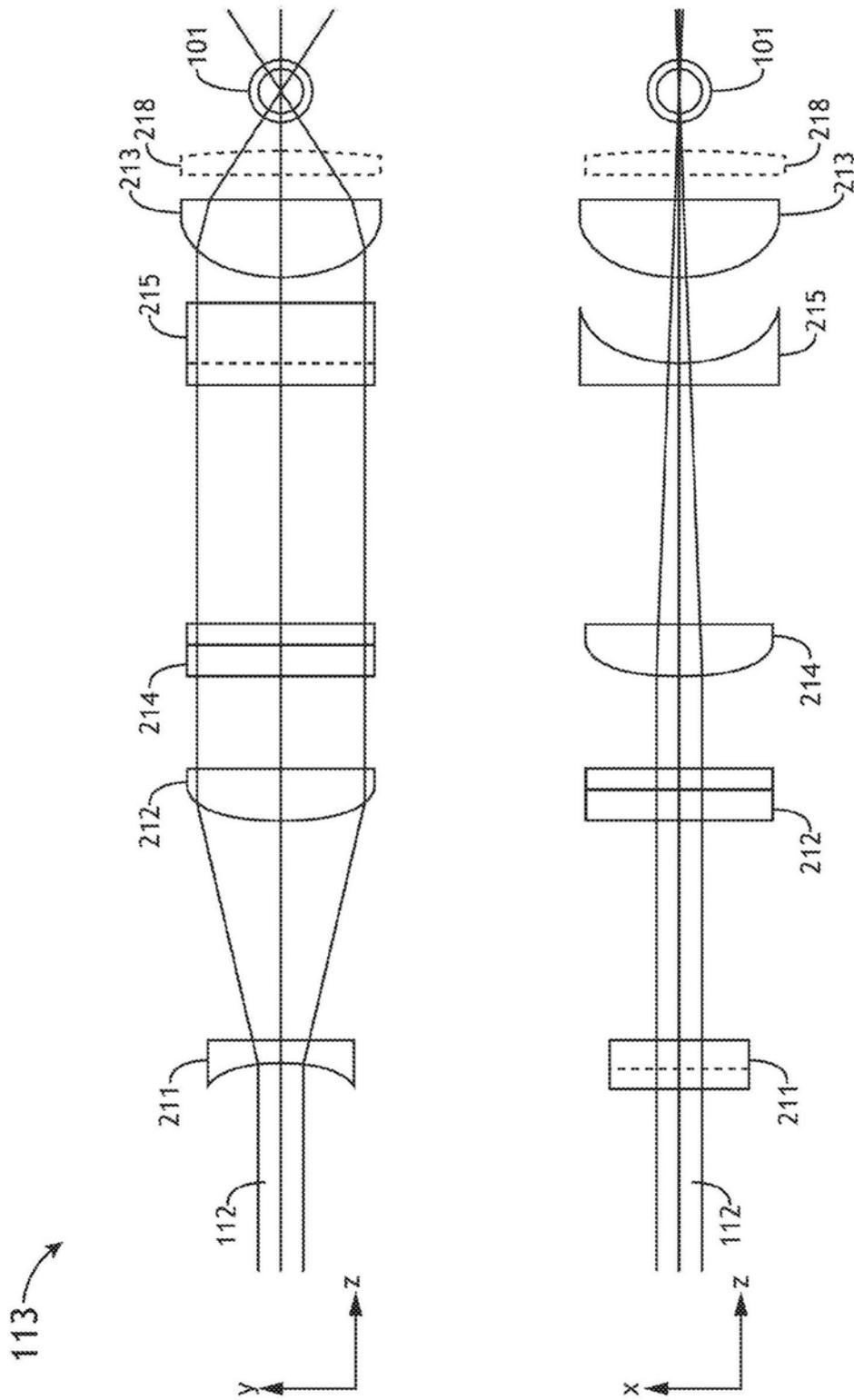


图2B

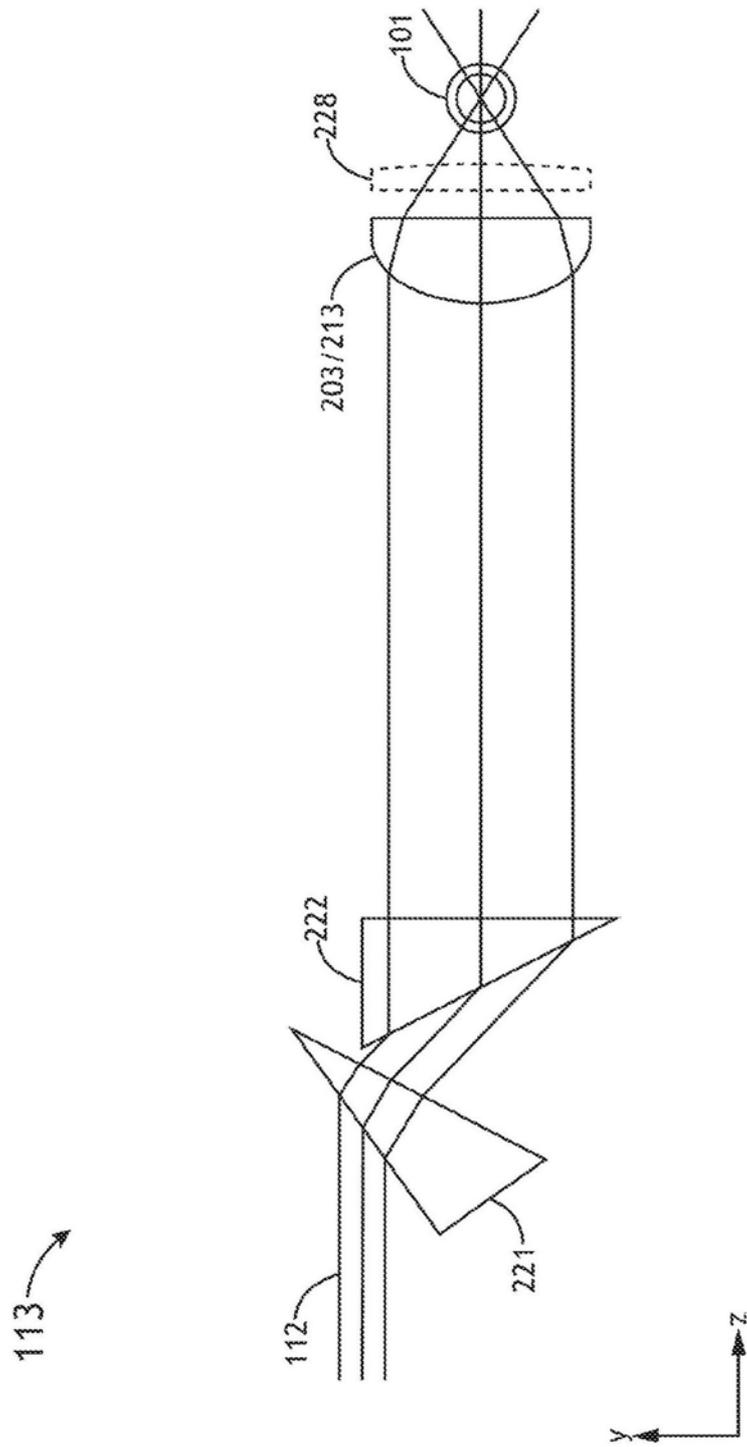


图2C

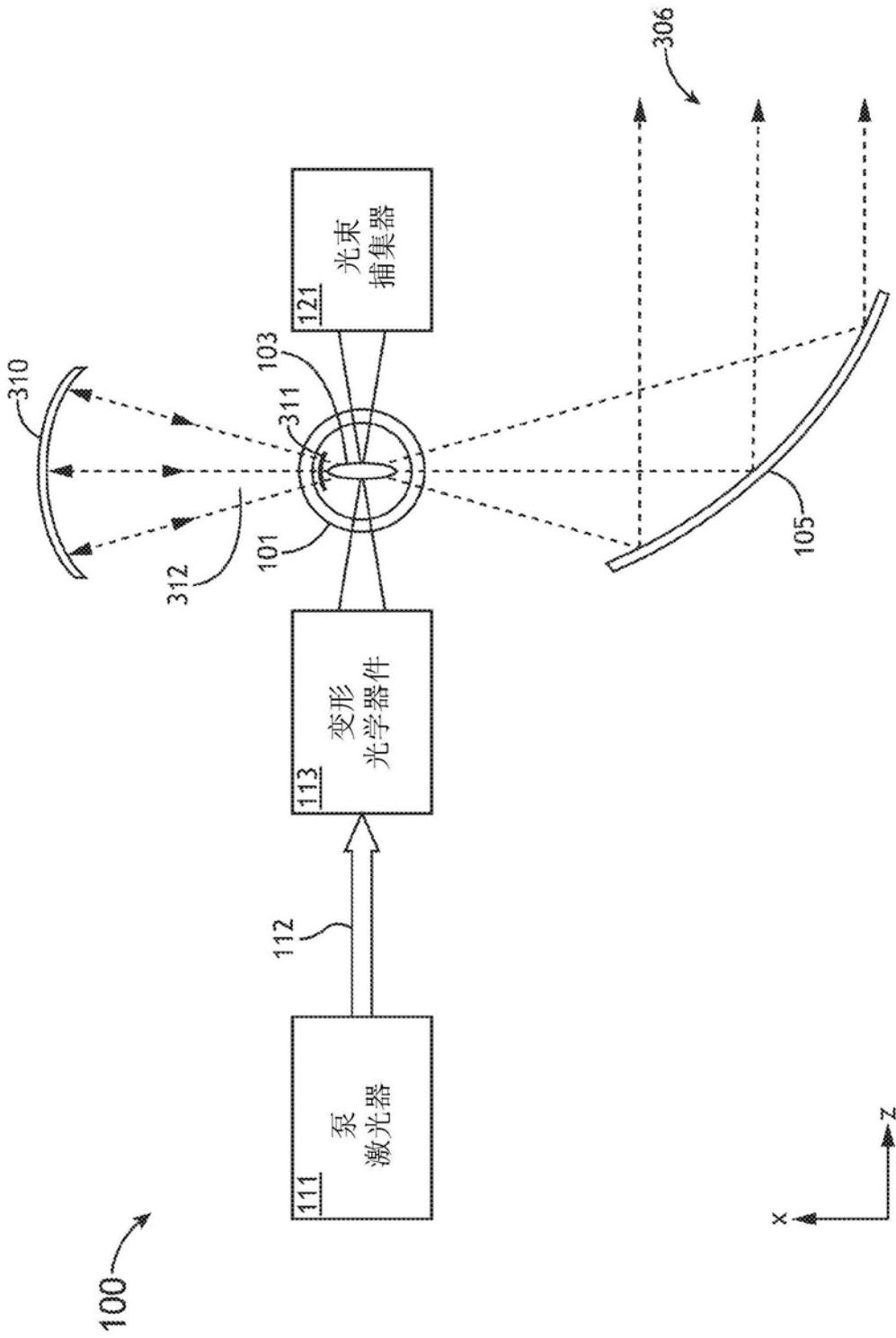


图3A

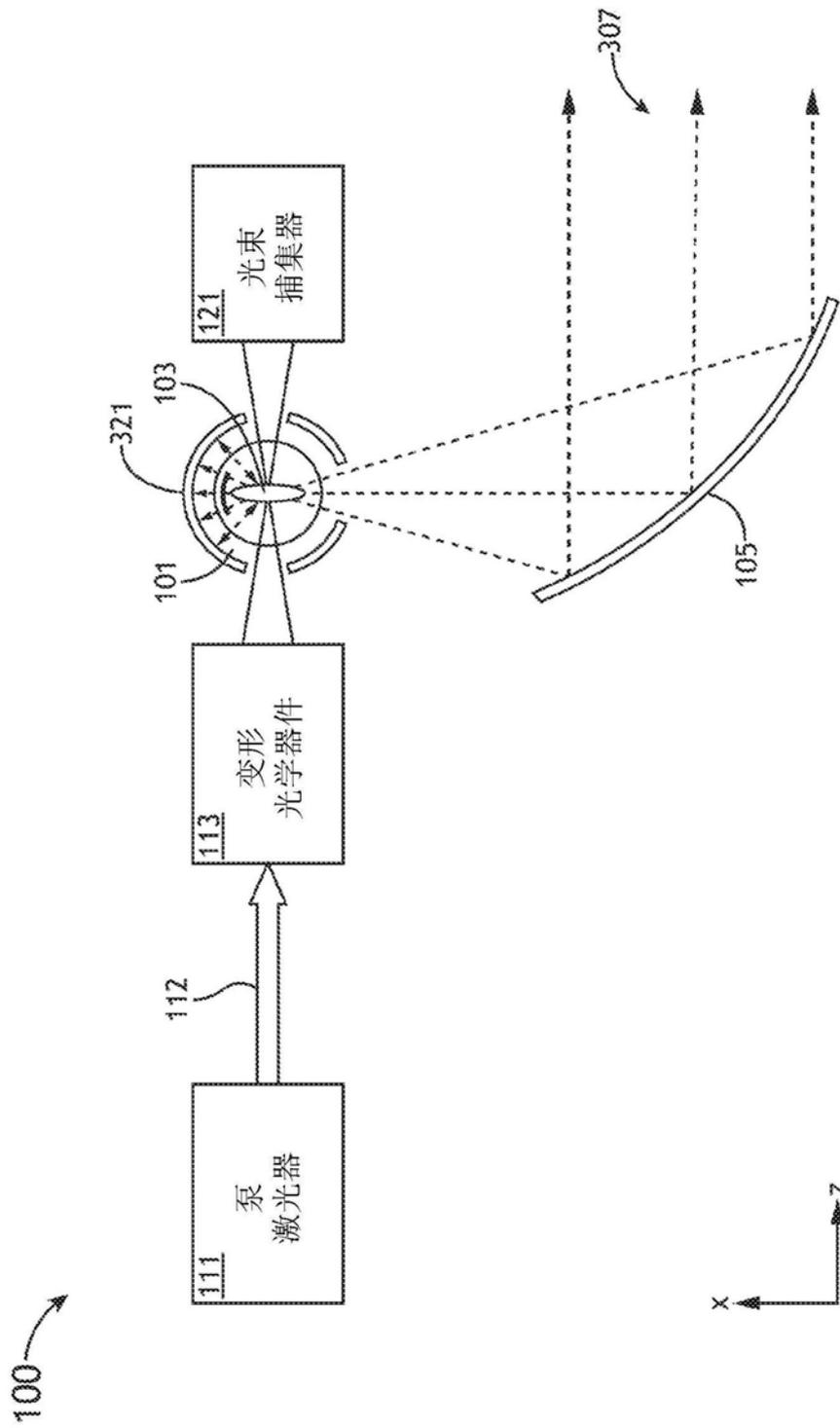


图3B

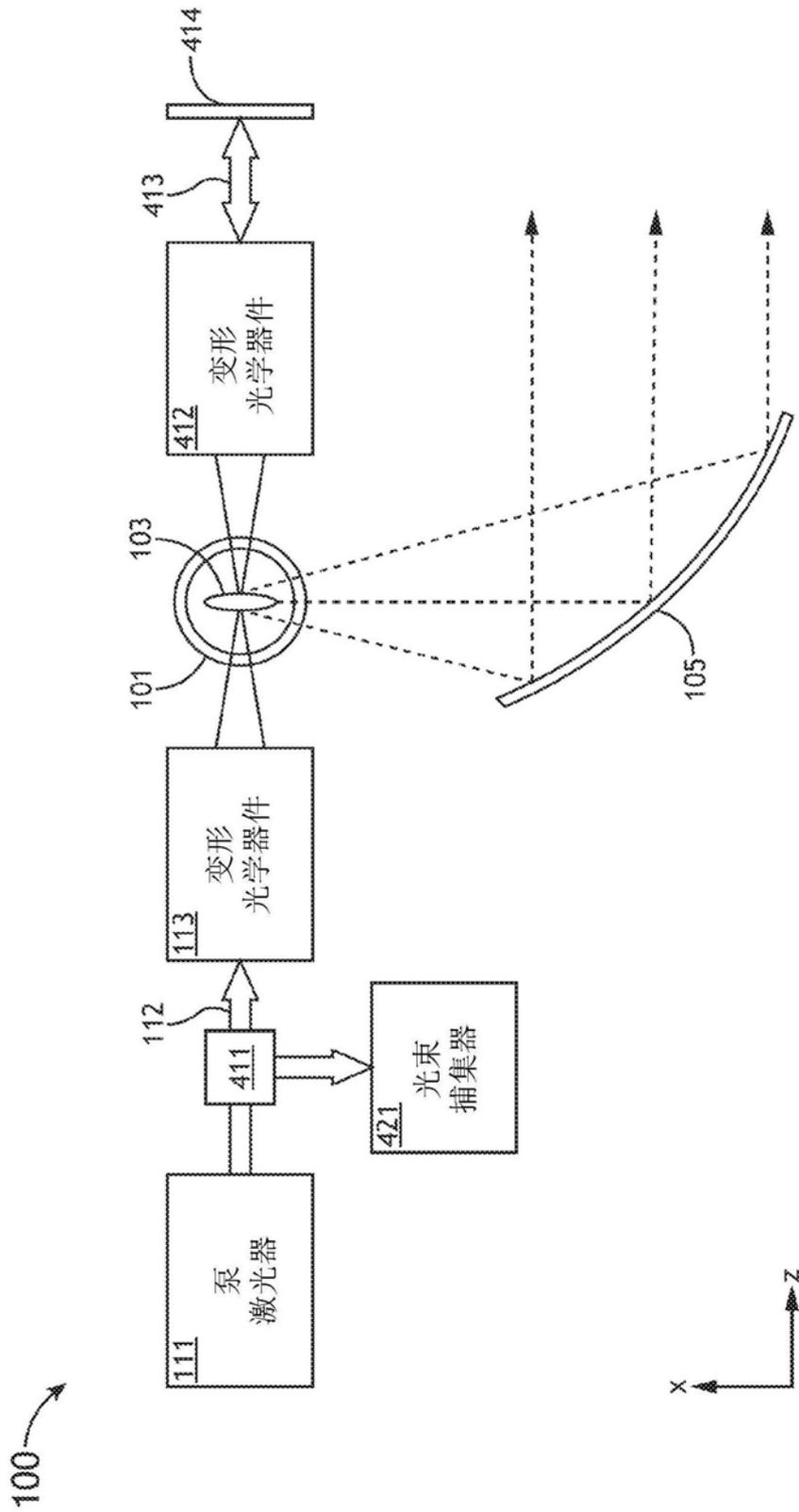


图4A

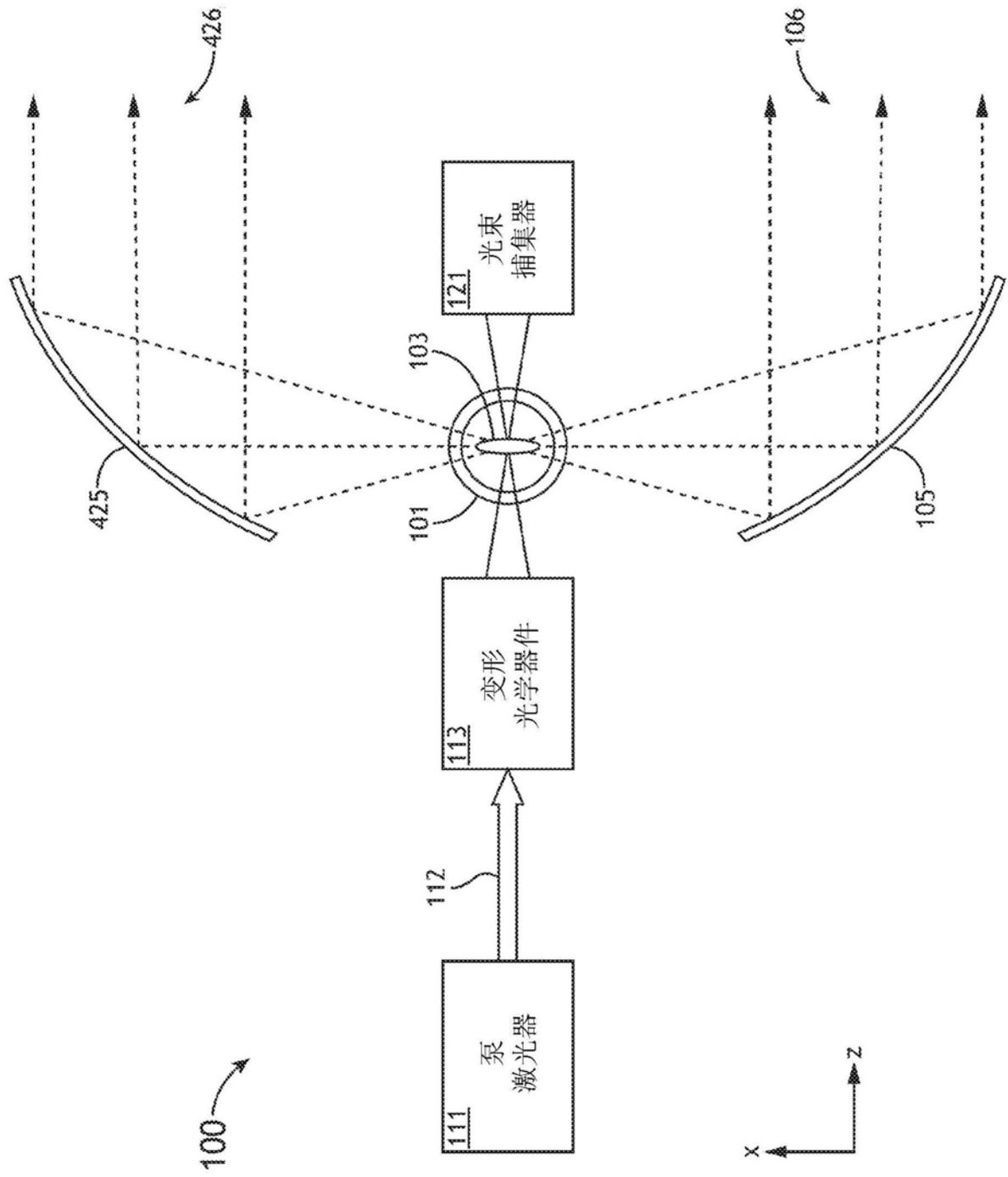


图4B

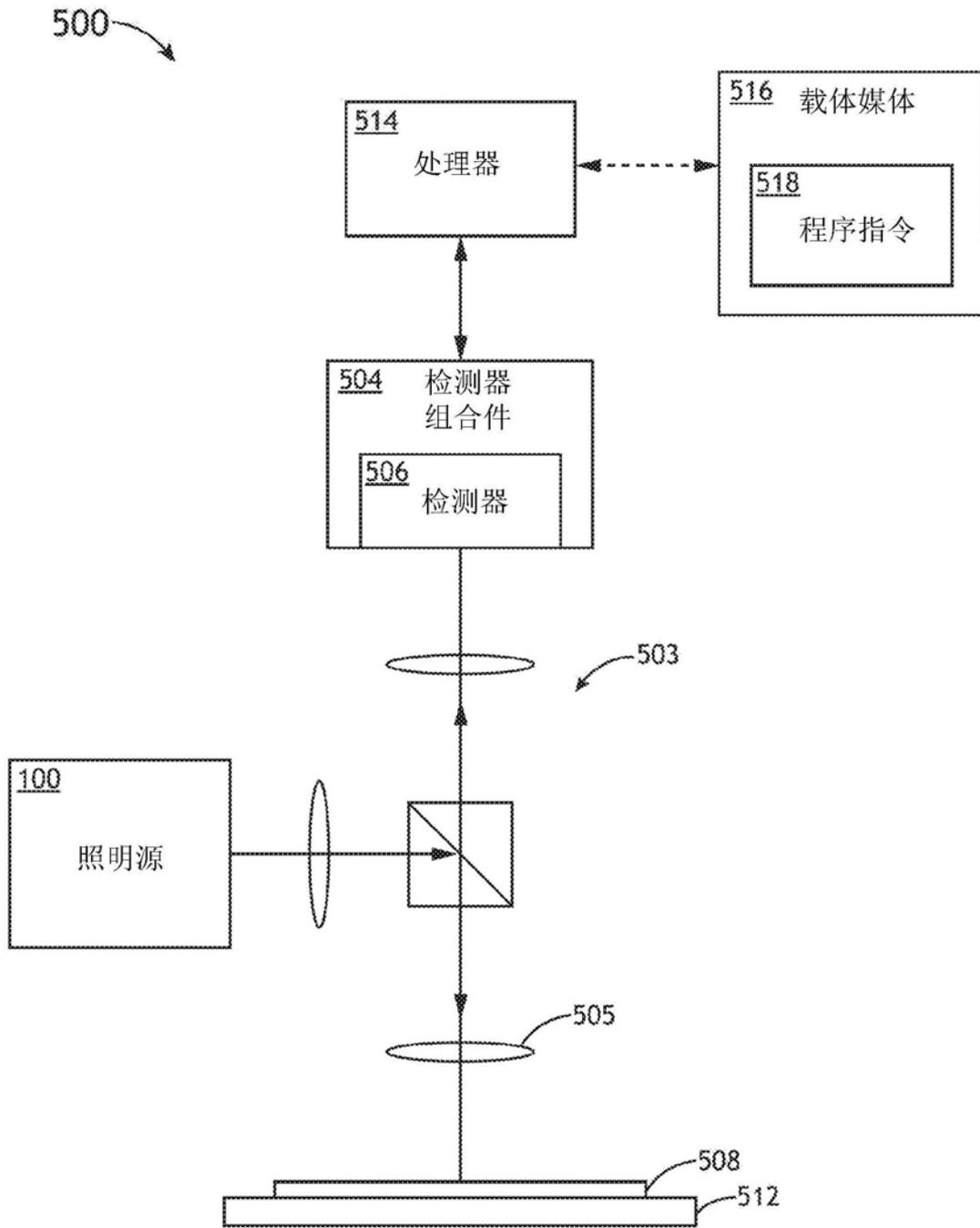


图5

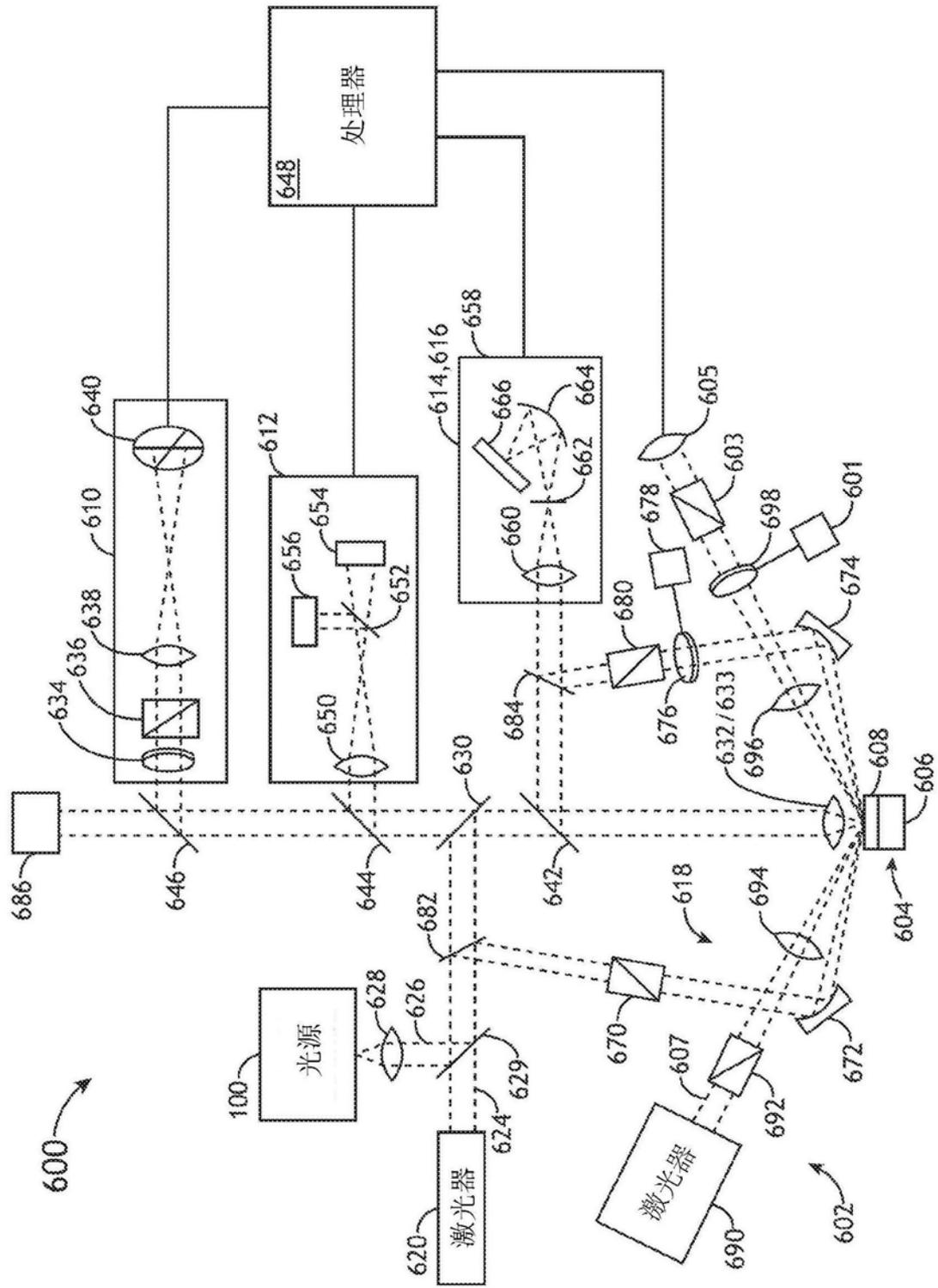


图6

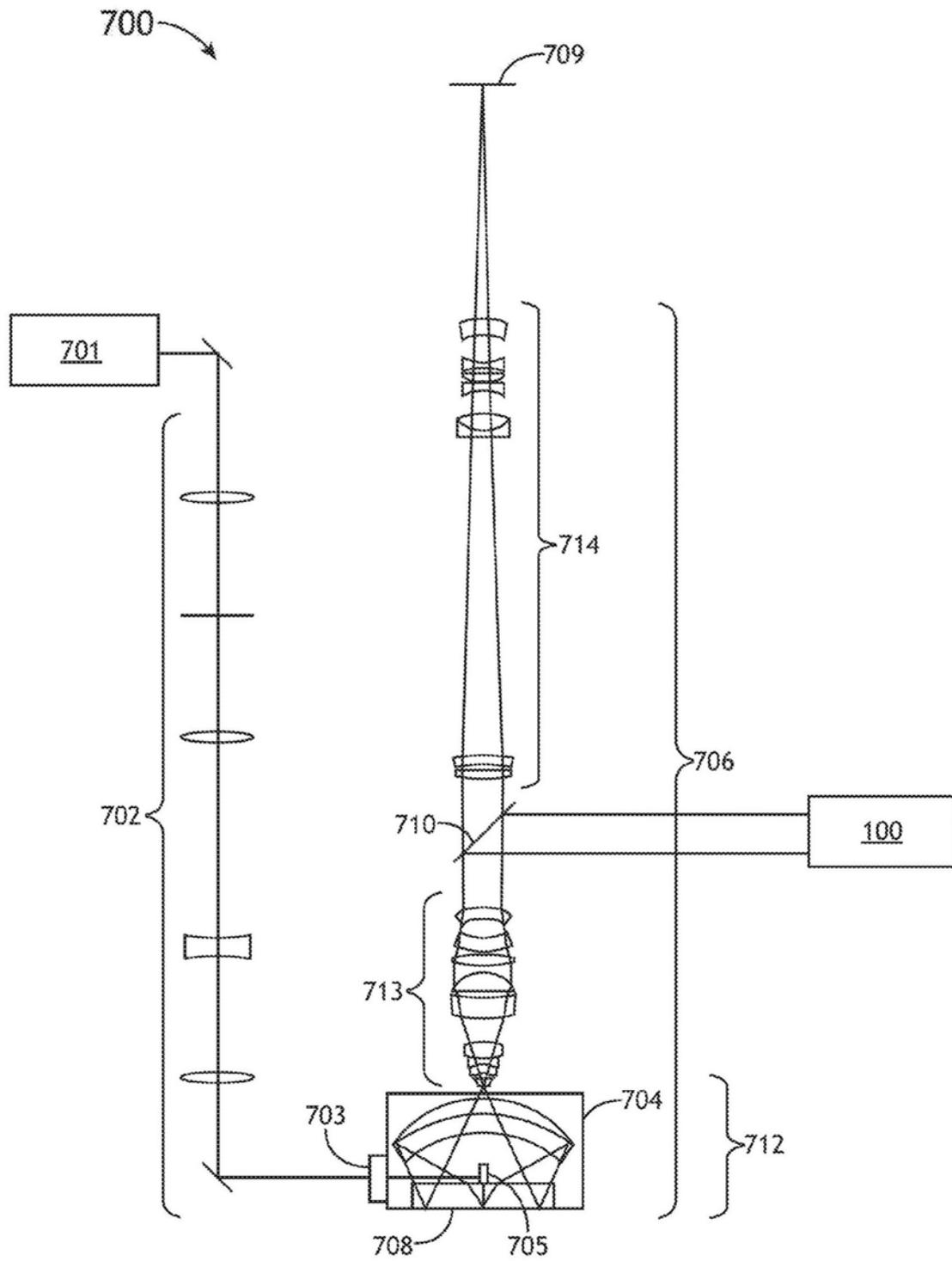


图7