



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104136999 B

(45)授权公告日 2017.07.28

(21)申请号 201380008896.1

(22)申请日 2013.02.08

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104136999 A

(43)申请公布日 2014.11.05

(30)优先权数据
102012202057.8 2012.02.10 DE
61/597,510 2012.02.10 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2014.08.11

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2013/000382 2013.02.08

(87)PCT国际申请的公布数据
W02013/117343 EN 2013.08.15

(73)专利权人 卡尔蔡司SMT有限责任公司
地址 德国上科亨

(72)发明人 B.比特纳 N.瓦布拉 S.施耐德
R.施耐德 H.瓦格纳 C.沃尔德
R.伊利尤 T.希克坦兹 T.格鲁纳
W.保罗斯 H.施密特

(74)专利代理机构 北京市柳沈律师事务所
11105

代理人 邱军

(51)Int.Cl.
G03F 7/20(2006.01)
G21K 1/06(2006.01)

(56)对比文件
US 2008259439 A1,2008.10.23,说明书第
[0031]-[0080]、[0103]-[119]段及附图1-4、10.
US 2003081316 A1,2003.05.01,说明书第
[0002]、[0027]-[0076]段及附图1、2.

审查员 孙宏

权利要求书6页 说明书20页 附图12页

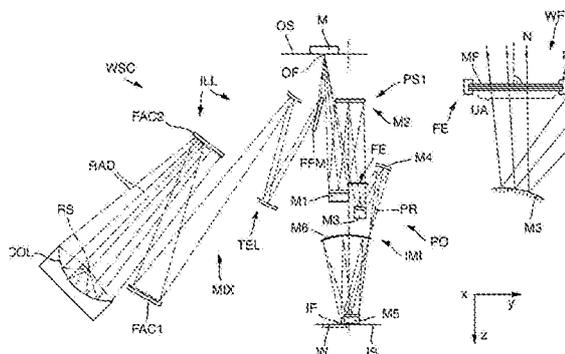
(54)发明名称

EUV微光刻的投射镜头、膜元件及制造包含膜元件的投射镜头的方法

(57)摘要

一种投射镜头(PO),该投射镜头利用具有来自极紫外范围(EUV)的工作波长λ的电磁辐射,将布置在该投射镜头的物平面(OS)中的图案成像于该投射镜头的像平面(IS)中,该投射镜头包含多个反射镜(M1-M6),该多个反射镜具有反射镜表面,该反射镜表面布置在该物平面及该像平面之间的投射光束路径中,使得可利用该反射镜将布置在该物平面中的图案成像于该像平面中。分配的波前校正装置(WFC)包含膜元件(FE),该膜元件具有一膜,该膜在波前校正装置的操作模式中布置在投射光束路径中且在工作波长λ透射照在光学使用区中的EUV辐射的主要部分。该膜元件包含:第一层,其由具有第一复数折射率 $n_1=(1-\delta_1)+i\beta_1$ 的第一层材料构成且具有在使用区上根据第一层厚度分布局部改变的第一光学层厚度;以及第二层,其由具有第二复数折射

率 $n_2=(1-\delta_2)+i\beta_2$ 的第二层材料构成且具有在使用区上根据第二层厚度分布局部改变的第二光学层厚度,其中该第一层厚度分布与该第二层厚度分布不同。第一折射率的实部与1的偏差 δ_1 相对于第一层材料的吸收系数 β_1 较大,第二折射率的实部与1的偏差 δ_2 相对于第二层材料的吸收系数 β_2 较小。



CN 104136999 B

1. 一种投射镜头 (PO), 其利用具有极紫外范围 (EUV) 中的工作波长 λ 的电磁辐射, 将布置在所述投射镜头的物平面 (OS) 中的图案成像于所述投射镜头的像平面 (IS) 中, 所述投射镜头包含:

多个反射镜 (M1-M6), 其具有反射镜表面, 所述反射镜表面布置在所述物平面与所述像平面之间的投射光束路径中, 使得能够利用所述反射镜将布置在所述物平面中的图案成像于所述像平面中,

其特征在于:

波前校正装置 (WFC), 其包含膜元件, 所述膜元件具有膜, 所述膜在所述波前校正装置的操作模式中布置在所述投射光束路径中且在所述工作波长 λ 透射照在光学使用区中的 EUV 辐射的主要部分, 其中所述膜元件包含:

第一层 (L1), 其由具有第一复数折射率 $n_1 = (1 - \delta_1) + i\beta_1$ 的第一层材料构成且具有第一光学层厚度, 所述第一光学层厚度根据第一层厚度分布在所述使用区上局部改变; 以及

第二层 (L2), 其由具有第二复数折射率 $n_2 = (1 - \delta_2) + i\beta_2$ 的第二层材料构成且具有第二光学层厚度, 所述第二光学层厚度根据第二层厚度分布在所述使用区上局部改变,

其中, 所述第一层厚度分布与所述第二层厚度分布不同, 以及

其中, 所述第一折射率的实部与1的偏差 δ_1 相对于所述第一层材料的吸收系数 β_1 较大, 所述第二折射率的实部与1的偏差 δ_2 相对于所述第二层材料的吸收系数 β_2 较小。

2. 如权利要求1所述的投射镜头, 其中, 所述膜元件布置在所述投射光束路径中, 使得投射光束的所有光线均以小于 20° 的入射角入射在所述光学使用区上。

3. 如权利要求2所述的投射镜头, 其中, 所述入射角小于 10° 。

4. 如权利要求1或2所述的投射镜头, 其中, 所述膜元件对于照射在整个光学使用区中的 EUV 辐射具有至少70%的透射率。

5. 如权利要求4所述的投射镜头, 其中, 所述透射率在70%至90%之间。

6. 如权利要求1或2所述的投射镜头, 其中, 所述投射镜头具有至少一个光瞳平面在所述物平面与所述像平面之间, 并且所述膜元件布置在所述光瞳平面中或在光学上布置为接近所述光瞳平面。

7. 如权利要求1或2所述的投射镜头, 其中, 所述投射镜头具有在光学上接近所述物平面或所述像平面的膜元件, 和/或其中, 中间像平面位于所述物平面与所述像平面之间, 且膜元件布置在所述中间像平面中或在光学上接近所述中间像平面。

8. 如权利要求7所述的投射镜头, 其中, 所述膜元件布置在所述物平面与直接在所述物平面后的第一反射镜 (M1) 之间。

9. 如权利要求1或2所述的投射镜头, 其中, 所述膜元件包含含有所述第一层及所述第二层的多层膜。

10. 如权利要求1或2所述的投射镜头, 其中, 所述第一层安装于第一膜上, 所述第二层安装于所述膜元件的第二膜上, 所述第二膜在物理上与所述第一膜分离。

11. 如权利要求10所述的投射镜头, 其中, 在所述第一膜与所述第二膜之间的几何距离小于十厘米, 和/或在所述第一膜及所述第二膜之间的光学距离以这样的方式设定尺寸, 使得所述第一膜与第二膜的子孔径比率彼此相差小于0.05。

12. 如权利要求11所述的投射镜头, 其中, 所述几何距离小于一厘米。

13. 如权利要求11所述的投射镜头,其中,所述第一膜与第二膜的子孔径比率彼此相差小于0.01。

14. 如权利要求1或2所述的投射镜头,其中,所述工作波长在5nm与20nm之间,其中第一效率比 $V_1 = \delta_1/\beta_1$ 大于5,和/或其中第二效率比 $V_2 = \delta_2/\beta_2$ 小于0.6。

15. 如权利要求14所述的投射镜头,其中,所述第一效率比 $V_1 = \delta_1/\beta_1$ 大于10。

16. 如权利要求14所述的投射镜头,其中,所述第二效率比 $V_2 = \delta_2/\beta_2$ 小于0.2。

17. 如权利要求14所述的投射镜头,其中, $V_1 = \delta_1/\beta_1$ 及 $V_2 = \delta_2/\beta_2$,以及其中比率 V_1/V_2 大于2。

18. 如权利要求17所述的投射镜头,其中,所述比率 V_1/V_2 大于10。

19. 如权利要求17所述的投射镜头,其中,所述比率 V_1/V_2 大于20。

20. 如权利要求1或2所述的投射镜头,其中,所述工作波长在7nm至20nm的波长范围中,所述第一层材料选自以下组:钌(Ru)、锆(Zr)、钼(Mo)、铌(Nb)、铬(Cr)、铍(Be)、金(Au)、钇(Y)、钇硅化物(Y_5Si_3)、锆硅化物($ZrSi_2$)或主要由所述材料之一构成的材料合成物,和/或所述第二层材料选自以下组:硅(Si)及锗(Ge)或主要由这些材料之一构成的材料合成物。

21. 如权利要求1或2所述的投射镜头,其中,所述工作波长在6nm与7nm之间的波长范围中,所述第一层材料选自以下组: $NbOB_4C$ 、 NbO_2 、 Nb_2O_5 、 RuO_4 、 MoO_2 、 Rh_2O_3 、C、Te、In、Ba、Sn、 RuO_2 、 MoO_3 、La、B、 B_4C 、BN、 ZrO_2 或主要由这些材料之一构成的材料合成物,和/或所述第二层材料选自以下组:Y或Rb或主要由这些材料之一构成的材料合成物。

22. 如权利要求1或2所述的投射镜头,其中,在所述光学使用区中所述第一光学层厚度的最大局部值与最小局部值之间的第一PV比率在2至6的范围中,和/或其中,在所述光学使用区中所述第二光学层厚度的最大局部值与最小局部值之间的第二PV比率在2至6的范围中。

23. 如权利要求1或2所述的投射镜头,其中,所述第二层厚度分布与所述第一层厚度分布互补。

24. 如权利要求1或2所述的投射镜头,其中,所述第一层的层厚度与所述第二层的层厚度设计成使得在最大波前变化的区域中,所述膜引起所述工作波长的至少3%的波前变化。

25. 如权利要求1或2所述的投射镜头,其中,所述第二层厚度在所述光学使用区中至少一个位置处大于所述工作波长。

26. 如权利要求1或2所述的投射镜头,其中,所述第一层在所述光学使用区中具有非对称第一层厚度分布,其既无镜面对称性亦无径向对称性或旋转对称性。

27. 如权利要求1或2所述的投射镜头,其中,膜具有第一膜表面、第二膜表面及在所述第一膜表面与第二膜表面间测得的小于 $1\mu m$ 的膜厚度。

28. 如权利要求27所述的投射镜头,其中,所述膜厚度为300nm或更小。

29. 如权利要求27所述的投射镜头,其中,所述膜厚度在200nm与25nm之间的范围中。

30. 如权利要求1或2所述的投射镜头,其中,膜在至少一个膜表面处具有外保护层,其由比直接邻近所述保护层的内层更能抵挡环境影响的保护层材料构成,其中所述保护层材料选自以下组:钌(Ru)、铑(Rh)、碳(C)、硅(Si)及氮化硅(Si_3N_4)。

31. 如权利要求1或2所述的投射镜头,其中,膜包含仅单个第一层和/或仅单个第二层。

32. 如权利要求9所述的投射镜头,其中,多层膜包含至少一个抗反射层,其对所述工作

波长具有反射减少效应且其以直接毗邻第一层和/或第二层的方式布置。

33. 如权利要求1或2所述的投射镜头,其中,至少一个中间层布置在所述第一层与所述第二层之间,其中所述中间层为抗反射层和/或扩散阻挡层,其由C、B₄C、Si_xN_y、SiC、Mo₂C、MoSi₂、Y₅Si₃或Nb₄Si或包含这些材料之一的合成物构成。

34. 如权利要求9所述的投射镜头,其中,多层膜除了所述第一层和所述第二层之外还包含少于10个其它层。

35. 如权利要求1或2所述的投射镜头,其中,所述第一层和/或所述第二层以异质层结构构造,其中基于钼的第一层具有内层结构,其中由钼构成的相对较厚的部分层由与其相比较薄的结晶终止层分开。

36. 如权利要求1或2所述的投射镜头,其中,所述光学使用区具有的最小直径为50mm或更大。

37. 如权利要求36所述的投射镜头,其中,所述最小直径为100mm或更大。

38. 如权利要求1或2所述的投射镜头,其中,所述膜元件具有栅格状支撑结构,其在所述光学使用区中与所述膜接触并稳定所述膜,其中所述栅格状支撑结构具有蜂巢状结构,其具有形成六角形或其它多边形开口的支柱。

39. 如权利要求1或2所述的投射镜头,其中,所述膜元件具有框架,所述框架支撑所述膜,使得所述膜在所述光学使用区中为自支撑的。

40. 如权利要求1或2所述的投射镜头,其中,所述投射镜头具有保持结构以将所述反射镜保持在它们在所述投射光束路径中的位置处,以及所述膜元件布置在可变化支架上,所述可变化支架相对于所述保持结构是可移动的,使得所述膜元件能够通过所述可变化支架的移动而选择性地布置在所述投射光束路径中或在所述投射光束路径外,其中针对膜元件的每个安装位置,在所述投射镜头上提供接入通道,以将所述膜元件定位在所述投射镜头的所述光束路径中。

41. 一种用于EUV微光刻投射曝光设备的投射镜头的膜元件,包含:

膜,其在所述极紫外范围(EUV)的工作波长 λ 处透射照射在光学使用区中的所述膜元件上的EUV辐射的主要部分,其中所述膜元件包含:

第一层,其由具有第一复数折射率 $n_1 = (1 - \delta_1) + i\beta_1$ 的第一层材料构成且具有第一光学层厚度,所述第一光学层厚度根据第一层厚度分布在所述使用区上局部改变;以及

第二层,其由具有第二复数折射率 $n_2 = (1 - \delta_2) + i\beta_2$ 的第二层材料构成且具有第二光学层厚度,所述第二光学层厚度根据第二层厚度分布在所述使用区上局部改变,

其中,所述第一层厚度分布与所述第二层厚度分布不同,以及

其中,所述第一折射率的实部与1的偏差 δ_1 相对于所述第一层材料的吸收系数 β_1 较大,所述第二折射率的实部与1的偏差 δ_2 相对于所述第二层材料的吸收系数 β_2 较小。

42. 如权利要求41所述的膜元件,其中,所述膜元件对于照射在整个光学使用区中的EUV辐射具有至少70%的透射率。

43. 如权利要求42所述的膜元件,其中,所述透射率在70%与90%之间。

44. 如权利要求41或42所述的膜元件,其中,所述膜元件包含有所述第一层及所述第二层的多层膜。

45. 如权利要求41或42所述的膜元件,其中,所述第一层安装于第一膜上,所述第二层

安装于所述膜元件的第二膜上,所述第二膜在物理上与所述第一膜分离。

46. 如权利要求45所述的膜元件,其中,在所述第一膜与所述第二膜之间的几何距离小于十厘米,和/或在所述第一膜及所述第二膜之间的光学距离以这样的方式设定尺寸,使得所述第一膜与第二膜的子孔径比率彼此相差小于0.05。

47. 如权利要求46所述的膜元件,其中,所述几何距离小于一厘米。

48. 如权利要求46所述的膜元件,其中,所述第一膜与第二膜的子孔径比率彼此相差小于0.01。

49. 如权利要求41或42所述的膜元件,其中,所述工作波长在5nm与20nm之间,其中第一效率比 $V_1 = \delta_1/\beta_1$ 大于5,和/或其中第二效率比 $V_2 = \delta_2/\beta_2$ 小于0.6。

50. 如权利要求49所述的膜元件,其中,所述第一效率比 $V_1 = \delta_1/\beta_1$ 大于10。

51. 如权利要求49所述的膜元件,其中,所述第二效率比 $V_2 = \delta_2/\beta_2$ 小于0.2。

52. 如权利要求49所述的膜元件,其中, $V_1 = \delta_1/\beta_1$ 及 $V_2 = \delta_2/\beta_2$,以及其中比率 V_1/V_2 大于2。

53. 如权利要求52所述的膜元件,其中,所述比率 V_1/V_2 大于10。

54. 如权利要求52所述的膜元件,其中,所述比率 V_1/V_2 大于20。

55. 如权利要求41或42所述的膜元件,其中,所述工作波长在7nm至20nm的波长范围中,所述第一层材料选自以下组:钌(Ru)、锆(Zr)、钼(Mo)、铌(Nb)、铬(Cr)、铍(Be)、金(Au)、钇(Y)、钇硅化物(Y_5Si_3)、锆硅化物($ZrSi_2$)或主要由所述材料之一构成的材料合成物,和/或所述第二层材料选自以下组:硅(Si)及锗(Ge)或主要由这些材料之一构成的材料合成物。

56. 如权利要求41或42所述的膜元件,其中,所述工作波长在6nm与7nm之间的波长范围中,所述第一层材料选自以下组: $NbOB_4C$ 、 NbO_2 、 Nb_2O_5 、 RuO_4 、 MoO_2 、 Rh_2O_3 、C、Te、In、Ba、Sn、 RuO_2 、 MoO_3 、La、B、 B_4C 、BN、 ZrO_2 或主要由这些材料之一构成的材料合成物,和/或所述第二层材料选自以下组:Y或Rb或主要由这些材料之一构成的材料合成物。

57. 如权利要求41或42所述的膜元件,其中,在所述光学使用区中所述第一光学层厚度的最大局部值与最小局部值之间的第一PV比率在2至6的范围中,和/或其中,在所述光学使用区中所述第二光学层厚度的最大局部值与最小局部值之间的第二PV比率在2至6的范围中。

58. 如权利要求41或42所述的膜元件,其中,所述第二层厚度分布与所述第一层厚度分布互补。

59. 如权利要求41或42所述的膜元件,其中,所述第一层的层厚度与所述第二层的层厚度设计成使得在最大波前变化的区域中,所述膜引起所述工作波长的至少3%的波前变化。

60. 如权利要求41或42所述的膜元件,其中,所述第二层厚度在所述光学使用区中至少一个位置处大于所述工作波长。

61. 如权利要求41或42所述的膜元件,其中,所述第一层在所述光学使用区中具有非对称第一层厚度分布,其既无镜面对称性亦无径向对称性或旋转对称性。

62. 如权利要求41或42所述的膜元件,其中,膜具有第一膜表面、第二膜表面及在所述第一膜表面与第二膜表面间测得的小于 $1\mu m$ 的膜厚度。

63. 如权利要求62所述的膜元件,其中,所述膜厚度为300nm或更小。

64. 如权利要求62所述的膜元件,其中,所述膜厚度在200nm与25nm之间的范围中。

65. 如权利要求41或42所述的膜元件,其中,膜在至少一个膜表面处具有外保护层,其由比直接邻近所述保护层的内层更能抵挡环境影响的保护层材料构成,其中所述保护层材料选自以下组:钌(Ru)、铑(Rh)、碳(C)、硅(Si)及氮化硅(Si_3N_4)。

66. 如权利要求41或42所述的膜元件,其中,膜包含仅单个第一层和/或仅单个第二层。

67. 如权利要求44所述的膜元件,其中,多层膜包含至少一个抗反射层,其对所述工作波长具有反射减少效应且其以直接毗邻第一层和/或第二层的方式布置。

68. 如权利要求41或42所述的膜元件,其中,至少一个中间层布置在所述第一层与所述第二层之间,其中所述中间层为抗反射层和/或扩散阻挡层,其由C、 B_4C 、 Si_xN_y 、SiC、 Mo_2C 、 MoSi_2 、 Y_5Si_3 或 Nb_4Si 或包含这些材料之一的合成物构成。

69. 如权利要求44所述的膜元件,其中,多层膜除了所述第一层和所述第二层之外还包含少于10个其它层。

70. 如权利要求41或42所述的膜元件,其中,所述第一层和/或所述第二层以异质层结构构造,其中基于钼的第一层具有内层结构,其中由钼构成的相对较厚的部分层由与其相比较薄的结晶终止层分开。

71. 如权利要求41或42所述的膜元件,其中,所述光学使用区具有的最小直径为50mm或更大。

72. 如权利要求71所述的膜元件,其中,所述最小直径为100mm或更大。

73. 如权利要求41或42所述的膜元件,其中,所述膜元件具有栅格状支撑结构,其在所述光学使用区中与所述膜接触并稳定所述膜,其中所述栅格状支撑结构具有蜂巢状结构,其具有形成六角形或其它多边形开口的支柱。

74. 如权利要求41或42所述的膜元件,其中,所述膜元件具有框架,所述框架支撑所述膜,使得所述膜在所述光学使用区中为自支撑的。

75. 一种投射镜头(P0),其利用极紫外范围(EUV)中的工作波长 λ 左右的电磁辐射,将布置在所述投射镜头的物平面(OS)中的图案成像于所述投射镜头的像平面(IS)中,所述投射镜头包含:

多个反射镜(M1-M6),其具有反射镜表面,所述反射镜表面布置在所述物平面与所述像平面之间的投射光束路径中,使得布置在所述物平面中的图案能够利用所述反射镜成像于所述像平面中,其中在所述物平面与所述像平面之间行进的投射光束的光线形成波前,

其特征在于:

波前校正装置(WFC),其包含膜元件,所述膜元件在所述波前校正装置的至少一个操作模式下布置在所述投射光束路径中且透射照在光学使用区中所述膜元件上的EUV辐射的主要部分,

其中,所述波前由所述膜元件改变,使得在所述膜元件出现在所述投射光束路径中时,导致所述像平面中的像形成的所述波前与不存在所述膜元件时相比更接近所述波前的所要分布。

76. 如权利要求75所述的投射镜头,其中,所述膜元件布置在所述投射光束路径中,使得所述投射光束的所有光线以小于 20° 的入射角入射在所述光学使用区上。

77. 如权利要求76所述的投射镜头,其中,所述入射角小于 10° 。

78. 如权利要求75或76所述的投射镜头,其中,至少一个光瞳平面位于所述物平面与所

述像平面之间,以及其中,所述膜元件布置在所述光瞳平面中或在光学上接近所述光瞳平面。

79.一种投射镜头(P0),其利用极紫外范围(EUV)中的工作波长 λ 左右的电磁辐射,将布置在所述投射镜头的物平面(OS)中的图案成像于所述投射镜头的像平面(IS)中,所述投射镜头包含:

多个反射镜(M1-M6),其具有反射镜表面,所述反射镜表面布置在所述物平面与所述像平面之间的投射光束路径中,使得布置在所述物平面中的图案能够利用所述反射镜成像于所述像平面中,其中,在所述物平面及所述像平面之间行进的投射光束的光线形成波前,

其特征在于:

波前校正装置(WFC),其包含膜元件,所述膜元件具有膜,所述膜在所述波前校正装置的操作模式中布置在所述投射光束路径中且在所述工作波长 λ 透射照在光学使用区中的EUV辐射的主要部分,其中所述膜元件包含:

第一膜,所述第一膜包括第一膜基板和第一层,所述第一层具有第一光学层厚度,所述第一光学层厚度在所述第一层的使用区上局部改变,以及

第二膜,所述第二膜包括第二膜基板和第二层,所述第二层具有第二光学层厚度,所述第二光学层厚度在所述第二层的使用区上局部改变,所述第二膜配置为在所述投射透镜中独立于所述第一膜安装,

其中,相应膜的每一个在所述极紫外范围中的工作波长 λ 透射照在所述第一层和第二层的相应使用区中的所述相应膜上的EUV辐射的主要部分。

80.如权利要求79所述的投射镜头,其中,至少一个光瞳平面位于所述物平面与所述像平面之间,以及其中,所述第一膜和/或所述第二膜布置在所述光瞳平面中或在光学上接近所述光瞳平面。

EUV微光刻的投射镜头、膜元件及制造包含膜元件的投射镜头的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种投射镜头,其利用具有极紫外范围(EUV)中的工作波长 λ 的电磁辐射,将布置在投射镜头物平面中的图案成像于投射镜头像平面中。此外,本发明涉及一种尤其提供为用于这种投射镜头中的膜元件,以及涉及一种制造包含膜元件的投射镜头的方法。

背景技术

[0002] 现今,主要的微光刻投射曝光方法用于制造半导体部件及其它精细结构化的部件。在该情况中,利用载有或形成要成像的结构的图案(例如,一层半导体部件的线图案)的掩模(掩模母版)或其它图案化装置。在投射曝光设备中,图案定位在照明系统与投射镜头间的投射镜头的物体表面区域中,并且由照明系统提供的照明辐射照明。由图案所更改的辐射作为投射辐射穿过投射镜头,该投射镜头将图案成像于要曝光的基板上,该基板一般涂布辐射敏感层(抗蚀剂、光刻胶)。

[0003] 近几年来,为了能够制造甚至更精细的结构,已开发的投射镜头能以中间数值孔径工作且实质上利用极紫外范围(EUV)中所用辐射的短波长增加分辨率性能。尤其,此处使用在5nm与30nm间的范围中的波长。

[0004] 由于短波长被在较高波长为透明的已知光学材料或其它材料大幅吸收,故无法借助折射光学元件充分聚焦或引导极紫外范围中的辐射(EUV辐射)。因此,在EUV光刻中使用反射镜系统。对EUV范围中的辐射具有反射效应的反射镜(EUV反射镜)通常具有基板,在基板上涂覆多层布置,该多层布置对极紫外范围中的辐射具有反射效应且具有交替包含相对较低折射率及相对较高折射率层材料的大量层对,并以分布式布拉格反射器的方式起作用。EUV反射镜的层对通常以层材料组合钼/硅(Mo/Si)及/或钌/硅(Ru/Si)构造。

[0005] EUV投射镜头包含多个反射镜,例如,四个或六个反射镜,该多个反射镜具有反射镜表面,其布置在物平面及像平面之间的投射光束路径中,使得可利用反射镜尽可能以无像差的方式将布置在物平面中的图案成像于像平面中。投射光束在物平面及像平面之间行进的光线形成波前。波前与规格所预定义的波前的偏差可导致不容存在的成像像差。

[0006] EUV微光刻的投射镜头要求光学元件的制造极为精确且涂覆精确。在该情况中尤其有问题的,唯有在工作波长(例如,13.5nm)的装配状态中,才能充分精确地测量光学元件的(尤其因涂覆所造成的)真实状态。在此阶段中,通常针对后续校正所要做的只是极为复杂地局部拆卸投射镜头以重做(rework)反射镜。除刚体运动之外,几乎不存在针对使用期效果校正以持续方式运作的任何构思。

发明内容

[0007] 本发明的一个目的是简化EUV投射镜头在制造期间的调整工艺。另一个目的是在操作地支配成像性能变化的情况中简化后续校正。另一个目的是提供具有极佳成像性能的

EUV投射镜头。

[0008] 这些目的利用包含权利要求1、32或35的特征的投射镜头、利用包含权利要求29的特征的膜元件,以及利用包含权利要求37的特征的制造投射镜头的方法来实现。

[0009] 有利的发展如从属权利要求中所指定。通过引用,将所有权利要求的措辞并入说明书的内容中。

[0010] 膜元件的第一层和第二层各具有特定功能并对通过的投射光束光线以限定的方式起作用,以可预定的方式改变波前的分布。优选地,在该情况中更改波前的分布或形状,使得导致像平面中像形成的波前在各层出现在投射光束路径中时与缺少各层时相比更接近所要的波前分布(所需波前)。因此,借助通过各层的辐射校正波前。

[0011] 在波前校正的背景中,各层(第一层和第二层)的每一个具有所求或所要主要功能及同样必然存在的次要功能,各功能分别因第一和第二层材料的选择产生。尤其基于材料的复数折射率或基于确定复数折射率的光学常数而进行材料选择。

[0012] 根据 $n = (1-\delta) + i\beta$,可将材料的复数折射率 n 描述为折射率的实部 $(1-\delta)$ 及虚部 $i\beta$ 的总和。在此标记下,无因次参数 δ 描述折射率 n 的实部与值1的偏差。针对此应用的目的,无因次参数 β 是吸收系数。

[0013] 在第一层材料的情况中,第一折射率的实部与1的偏差大于吸收系数,其中这两个值之间的差一般应尽可能比较大(即, $\delta_1 \gg \beta_1$)。因此可达成的是,第一层材料对通过的投射光束光线的相位或相位延迟具有相对较大的影响,而同时仅相对较小的强度被吸收。在此情况中,相位延迟及吸收的程度与出现在相应辐射通过位置且由第一层厚度分布限定的(局部)层厚度成比例。由于第一层对于通过辐射的相位具有位置相关的、相对较大的效应,而同时吸收同样以位置相关的方式仅受相对较小影响,第一层的(所要)主要功能在于引入位置相关的相位延迟,而(不可避免的)次要功能在于以位置相关的方式稍微影响通过辐射的强度。由于第一层的主要功能,下文又将第一层称为“波前校正层”。

[0014] 在第二层材料的情况中,第一折射率的实部与1的偏差与吸收系数之间存在相反的关系。此处,吸收系数相对于偏差应尽可能较大(即, $\delta_2 \ll \beta_2$)。第二层的主要功能在于引起通过的辐射的强度的位置相关的衰减,其中可利用第二层厚度分布的路线(course)设定衰减的程度。(不可避免的)次要功能在于以下事实:第二层对于通过的辐射的相位还具有一定的影响。然而,此影响由于第二折射率的实部与值1的相对较小偏差而相对较小。由于第二层的主要功能,下文又将第二层称为“透射校正层”。

[0015] 这里还将在光瞳平面的区域中起作用的位置相关的透射校正称为“切趾(apodization)”。术语“切趾”因此指定投射镜头光瞳平面的区域中的位置相关的强度减少或位置相关的透射损失。

[0016] 相比之下,在傅立叶变换场平面区中相对于光瞳平面起作用的位置相关的透射校正主要影响像场中照明均匀性或场均匀性。

[0017] 利用在制造期间和/或在第一层和/或第二层的稍后处理期间有目标地控制第一和第二层厚度分布,所能达成的是,第一层和第二层的组合可以所要方式以位置相关的方式校正通过光束的波前的分布,其中,同时还可以有目标的方式设定强度衰减的局部分布。因此,在第一层和第二层的组合的情况中,一个层在各情况中可至少部分补偿另一层的非所要次要功能,致使可以层组合引入波前校正,而未必引入不可控制的位置相关的透射损

失。

[0018] 在此情况中,第一层和第二层(若适当,还有膜元件的一个或多个膜的其它层)的层厚度总共如此之小,使得照在光学使用区中各层的EUV辐射的主要部分(即,至少50%)透射通过各层。

[0019] 为了波前校正的目的,除了投射镜头的反射镜之外,包含以描述方式设计的(至少一个)第一层及(至少一个)第二层的基于膜的波前校正装置还在投射光束路径中引入光学作用层,虽然该光学作用层不可避免会引入小透射损失,但其同时亦在投射辐射的波前中引起有目标的位置相关的干涉。可在不需要变化投射镜头的反射镜的位置和/或表面形状的情况下进行此波前校正。借助波前校正装置,在最初安装及调整之后,还可执行使用期效果的校正。

[0020] 由于使用膜技术,在一些实施例中,膜元件可具有照射的EUV辐射在整个光学使用区中至少70%的透射率。在此情况中,实际上可获得的透射主要取决于辐照的总厚度及其中所使用且不得任意减少以免危及膜的机械稳定性的层材料。然而,在整个光学使用区中的透射率超过80%或超过85%的实施例是可能的。透射率一般不会超过90%,因为为此目的将需要极薄的层厚度,而这对于膜的稳定性非常不利。

[0021] 而且,膜元件的透射率不受所实施波前校正的峰-谷值的影响。较大峰-谷值一般在至少一个场点处导致相位效应的较大变化,如上文描述,这是因为次要功能在该点处导致透射行为的扩大变化。

[0022] 为了确保所要波前校正且基本上不影响透射的辐射的偏振状态,优选实施例提供将膜元件或至少一个膜布置且定向在光束路径中,使得投射光束的整个辐射以小于 20° (尤其小于 10°)的入射角入射在光学使用区上,该膜元件或该至少一个膜因此垂直地或大体上垂直地或以相对于膜法线方向的相对较小角度通过。因此,可在很大程度上避免偏振选择性效应。

[0023] 膜元件可关于所要校正效应布置在投射光束路径中的不同位置处。在一些实施例中,在投射镜头中,至少一个光瞳平面位于物平面与像平面之间,膜元件布置在光瞳平面中或在光学上接近光瞳平面。这在下文称为“接近光瞳的布置”。接着,将膜元件布置在相对于物平面和像平面的位置实质上为傅立叶变换的位置处。在接近光瞳的布置的情况中,投射镜头的投射光束的以特定光线角从物场入射的所有光线实质上在光学使用区内的相同局部区中照在膜元件上。这适用于所有物场点,与其在物场中的位置无关。布置在光瞳平面中或接近光瞳平面的膜元件因此使得可校正波前在所有场点上的共同偏移。

[0024] 还可将膜元件布置为光学上接近物平面或像平面。如果中间像平面位于物平面与像平面之间,则膜元件还可布置在中间像平面中或在光学上接近中间像平面。在光学上接近物平面、像平面、或(若适当)中间像平面的位置称为“接近场的布置”或接近场平面的布置。在接近场的布置的情况中,在膜元件的光学使用区内的不同位置在不同场点上起不同作用,使得(若适当)可校正波前像差的场分布。

[0025] 在光学上接近场平面的膜元件可布置在如物平面和第一反射镜之间的区域中。

[0026] 举例而言,可使用子孔径比率SV量化光学元件或平面在光束路径中的定位。

[0027] 根据清楚的定义,将光学元件在投射光束路径中的光学表面的子孔径比率SA根据 $SA = D_{SA}/D_{CA}$ 而限定为在子孔径直径 D_{SA} 与光学自由直径 D_{CA} 之间的商。子孔径直径 D_{SA} 被指定

为由从指定场点发出的光束的光线照明的光学元件局部表面的最大直径。光学自由直径 D_{ca} 是绕着光学元件参考轴的最小圆的直径,其中该圆包围由来自物场的所有光线照明的光学元件表面的那个区域。

[0028] 在场平面(如,物平面或像平面)中, $SV=0$ 因此适用。在光瞳平面中, $SV=1$ 适用。因此,“接近场”的平面具有接近0的子孔径比率,而“接近光瞳”的平面具有接近1的子孔径比率。一般而言,在膜元件布置为接近光瞳的情况中,子孔径比率优选在0.5与1之间,尤其在0.7与1之间的范围中。在膜元件布置为接近场的情况中,子孔径比率优选在0与0.5之间,尤其在0与0.3之间的范围中。

[0029] 第一层和第二层的相对布置有各种可能性。

[0030] 第一层可相对于第二层布置,使得辐射首先通过第一层,然后通过第二层。相反的布置也是可能的。

[0031] 可提供具有包含第一层和第二层二者的多层膜的膜元件。在此情况中,第一层和第二层位于相同的多层膜中,各层的相对定向及局部分配因此变得尤其精确。而且,集成在共同多层膜中具有以下优点:可使透射损失保持尤其较小,因为两个层均促成相同多层膜的机械稳定性。

[0032] 还可提供多于一个的膜,其中第一层安装在第一膜上,第二层安装在第二膜上,第二膜在物理上与第一膜分开。此变型尤其具有以下优点:可制造彼此独立且(若适当)随后还可更简单地变化的第一层厚度分布和第二层厚度分布。可将膜中的一个或二个实施为多层膜。

[0033] 若适当,膜元件还可包含单层膜,其中仅以第一层或仅以第二层形成膜。这种单层膜具有不均匀层厚度,那么该层厚度同时是整个膜厚度。该单层膜可与其它单层膜(由相应其它层材料构成)或多层膜组合。

[0034] 由于接触环境空气(atmosphere)或由于环境空气的运作或污染,严格说来,原始单层膜可形成在其表面上优选具有不同材料(诸如,单膜层的层(ply)材料的氧化产物)的薄表面或点状层的多层膜。可因膜层与环境空气接触而产生的其它可能的额外层为碳沉积物或由挥发性金属氢化物构成的沉积物。这还适用于在多层膜与周围空气之间的界面处。

[0035] 为了确保辐射将通过的第一层和第二层的相互分配区的所要局部分配充分精确,在第一和第二多层膜(或单层膜)之间的极小光学和/或几何距离是有利的。

[0036] 几何距离一般应小于十厘米,尤其小于一厘米。从几毫米向下至一毫米及(若适当)小于一毫米的范围中的距离可是有利的。

[0037] 优选应选取光学距离使得在第一和第二膜(多层膜或单层膜)的区域中,子孔径比率实质上相同或非常相似,致使两个多层膜从光学观点“看到”实质上相同的投射光线。

[0038] 尤其,第一和第二膜的子孔径比率应彼此相差小于0.05或小于0.01。

[0039] 原则上,有利的是如果第二膜在光学上定位于接近第一膜或如果第二膜在关于第一膜的位置为光学共轭的位置处布置为离第一膜一距离处。在中间像在物平面及像平面之间产生的投射镜头的情况中,举例而言,可将第一膜布置在物平面与中间像之间的第一光瞳表面的区域中,以及将第二膜布置在中间像与像平面之间的第二光瞳表面的区域中。

[0040] 另一方面,在一些情况中,有利的是将膜元件定位在光瞳中或接近光瞳,以及将另一膜元件定位在场中或接近场。因此可确保的是可校正场恒定及场变化波前扰动二者。

[0041] 关于第一层材料和第二层材料的材料选择,可单独或组合使用以下考虑。

[0042] 举例而言,有帮助的是限定第一层材料与第二层材料的效率比 $V_i = \delta_i / \beta_i$ 。效率比是对层材料关于各层的相应主要功能的适合性所进行的定性测量。在第一层材料的情况下,第一效率比 $V_1 = \delta_1 / \beta_1$ 应大于1,优选大于5,理想上甚至大于10。这种层材料对于所要波前外形尤其有效,同时透射损失的位置相关性相对较小。相比之下,第二效率比 $V_2 = \delta_2 / \beta_2$ 应小于1,其中小于0.6 或甚至小于0.2的值被视为尤其有利。在此情况中,可在对波前影响较小的情况下,获得相对大幅取决于层厚度的位置相关的强度衰减。

[0043] 在有利的实施例中,比率 V_1/V_2 (即,相应效率比的比率)大于2。优选的是,该比率应大于10,理想上甚至大于20。若可能, $V_1/V_2 > 50$ 也可适用。如果满足这些条件,则相应层材料尤其充分适于其任务(较小透射损失下的波前校正或对波前影响较小的透射校正)。因此可使用于获得所需功能的绝对层厚度保持较小,总透射因而可达到相对较高值。

[0044] 适合的材料组合原则上取决于工作波长。工作波长优选在5nm至20nm的波长范围中。

[0045] 对于7nm至20nm的波长范围中的工作波长而言,尤其对于约13.5nm左右的波长,第一层材料优选可选自以下组:钌(Ru)、锆(Zr)、钼(Mo)、铌(Nb)、铬(Cr)、铍(Be)、金(Au)、钇(Y)、钇硅化物(Y_5Si_3)、锆硅化物($ZrSi_2$)或选自主要(尤其达到至少90%的程度)由这些材料之一构成的材料合成物。

[0046] 第二层材料优选选自以下组:硅(Si)及锗(Ge)或主要(如,达到至少90%的程度)由这些材料之一构成的材料合成物。

[0047] 如果使用在约6nm与约7nm之间的工作波长,则适用于第一层的材料例如为: NbOB₄C、NbO₂、Nb₂O₅、RuO₄、MoO₂、Rh₂O₃、C、Te、In、Ba、Sn、RuO₂、MoO₃、La,适用于第二层的材料有:Y或Rb或主要(如,达到至少90%的程度)由这些材料之一构成的材料合成物。

[0048] 关于总透射,还应考虑所述总透射取决于要进行的波前校正的程度。如果使用例如钼(Mo)作为第一层的材料,则在约7.5%透射变化及对应透射损失下“赢得”波前PV值1nm的校正。如果仅校正较小的波前像差,则对应的较小层厚度即已足够,透射变化及透射损失因而也变得比较小。

[0049] 可通过第一层厚度的局部变化获得的波前校正的程度尤其取决于光学使用区中第一光学层厚度的最大局部值和最小局部值之间的所谓PV比率。在优选实施例中,该PV比率在2至6的范围中。如果PV比率变得显著小于2,则通常可实现仅相对少量的波前校正,因此应关于所需费用及可获得的益处互相权衡。相比之下,如果PV比率变得显著大于6,则最大局部层厚度一般变得如此之大,致使附带的透射损失也非常大。

[0050] 关于第二层的层厚度变化,相应考虑可有帮助。此处,PV比率优选也应在2至6的范围中。如果使用例如硅作为第二层材料,则约20nm与约70 nm之间的层厚度通常将足以在可得的透射校正及引入的透射损失之间获得良好折衷。

[0051] 在两个情况中,PV比率的计算都基于不应达不到地(undershot)取决于材料的最小层厚度。

[0052] 其中第二层厚度分布与第一层厚度分布互补的实施例尤其有利。此处术语“互补”不应严格地以数学意义来理解,而应以第一层及第二层优选倾向于具有互为相反的局部层厚度分布的意义来理解。尤其,该情形使得第二层厚度分布在第一层具有第一层厚度的局

部最小值的位置处具有局部最大值。透射校正层因此优选具有“峰值”，而相关联的波前校正层具有“谷值”。因此，可针对光学效应达成的是，可借助第二层厚度通过波前校正层至少部分补偿由第一层引入的透射损失的位置相关的变化。在受限的情况中，这可表示包含第一及第二层的膜元件的透射损失在整个光学使用区上基本上均匀，且只剩下以位置相关的方式改变的波前校正。由于互补的层厚度分布，此外所能达成的是，膜元件的总厚度在光学使用区中仅相对较小地改变，致使可实现近似均匀的膜厚度，这对于机械稳定性尤其有利。

[0053] 在一些情况中，可允许投射镜头的透射具有例如0.1%或1%或甚至10%的一定波动。可使用该波动范围使透射校正层具有较小的局部变化。这在透射校正层是可具有校正分布相对较差的材料(例如，Si)时可为有利的。

[0054] 关于波前校正的有效性，可进一步有利的是当在第一层和第二层的层厚度被设计成使得膜在最大波前变化区中引起工作波长的至少3%的波前变化时。对于13.4nm的工作波长，这将对应于例如约0.4nm的最小波前校正。

[0055] 为在尽可能小的透射变化的情况下实现有效的波前校正，许多实施例规定第二层厚度在光学使用区中的至少一个位置处大于工作波长。凭借此特征，尤其针对波前校正提供的层系统可与已知的多层反射镜层明显不同，在已知的多层反射镜层中，个别层的层厚度通常仅是工作波长的几分之一，如四分之一波层的情况。

[0056] 通常，此处所考虑类型的膜具有第一膜表面、第二膜表面及在第一和第二膜表面间测量的小于1 μ m的膜厚度，其中膜厚度优选为200nm或更小，尤其为100nm或更小。在膜厚度为30nm或更小或甚至为25nm或更小的情况中，多层膜的机械稳定性可出现问题。通常，在200nm与25nm之间的膜厚度范围一方面在机械稳定性上，另一方面在合理透射损失下的充分大的波前校正上取得良好折衷。

[0057] 此处所考虑类型的膜元件一般提供用于长期使用，使得确保甚至经过相对较长时间(若适当，几年)，光学功能也大体上不变。在一些实施例中，膜在至少一个膜表面处具有外保护层，其由比直接邻近保护层的内层更能抵挡环境影响的保护层材料构成。适当的保护层材料例如钌(Ru)或铑(Rh)，其在用于EUV范围的多层反射镜中偶尔还用作所谓的“盖层”。碳(C)、铱(Ir)和硅(Si)也适合作为保护层材料。如果保护层主要由氧化物或氮化物够构成，尤其由Si₃N₄(氮化硅)构成，则可是有利的。此材料相对于钌或铑呈现较低吸收，致使透射损失可维持较小。优选的是，两个膜表面均配备有外保护层。保护层可由外层的氧化物或氮化物形成。

[0058] 在许多情况中，如果多层膜包含尽可能少的个别层，致使透射损失及界面效应(interface effect)可维持较小，则是有利的。在优选实施例中，多层膜包含仅单一第一层和/或仅单一第二层。因此可确保最高可能透射情况下的所要光学功能。

[0059] 如果多层膜包含对于工作波长具有反射减少效应的至少一个抗反射层，则是有利的。那么，可因此改善透射。抗反射层可具有例如工作波长一半的数量级的光学层厚度。例如可以直接毗邻第一层和/或第二层的方式提供抗反射层。

[0060] 替代地或附加地，多层膜可包含提供额外功能性的一个或多个功能层。例如，滤波层(或多个滤波层)可提供于一个膜表面或两个膜表面上以减少或移除投射辐射的较不需要的波长。滤波层可包含多层或衍射光栅。

[0061] 第一层和第二层可直接彼此毗邻。至少一个中间层还可布置在第一层和第二层之

间。中间层可为例如抗反射层。取决于第一和第二层材料,还可有利的是插入扩散阻挡层作为中间层,其例如可由C、B₄C、Si_xN_y、SiC、Mo₂C、MoSi₂、Y₅Si₃或Nb₄Si或包含这些材料之一的合成物构成。还可将该层设计为抗反射层。

[0062] 多层膜包含两个或更多的个别层。此处所考虑类型的多层膜一般用于造成投射光束路径中的最小可能透射损失。因此,在许多情况中,有利的是如果多层膜除了第一层及第二层外还包含少于10个的其它层。例如,多层膜可包含在5和9个之间的个别层。

[0063] 第一层和/或第二层可具有诸如由制造所用涂覆方法所产生的大体上均匀的层构造。在许多情况中,第一层和/或第二层将主要或完全具有非晶层结构。为了稳定性之故,有利的是使用避免层材料结晶化的特殊措施。为此目的,特别地,还有利的是以异质层结构构造第一层和/或第二层。在第一层基于钼的情况中,特别地,有利的是,取决于所要的层厚度,在第一层中引入内层结构,其中由钼构成的相对较厚部分层通过与其相比为极薄且基本上没有光学功能的结晶终止层分开。在一些实施例中,结晶终止层的层厚度小于1nm,而毗邻钼部分层的层厚度可为两倍或五倍以上或10倍以上的厚度。在层厚度的设计中,应注意确保不会由于结晶终止层及基础材料层的顺序而引起任何反射效应。这例如可通过具有非均匀层厚度的个别部分层来达成,和/或通过边界层之间显著偏离 $\lambda/4$ 的倍数的光学距离来达成。

[0064] 可使膜元件或光学使用区的尺寸适配于在相应安装位置受到影响的投射光束的横截面。在一些实施例中,光学使用区具有最小直径为50nm或更大。最小直径尤其可为100nm或更大、120nm或更大、甚至150nm或更大。这些相对较大的使用直径尤其可应用在投射镜头的光束路径的光瞳平面区域中。

[0065] 为长时间确保膜元件所要的机械稳定性,一些实施例规定膜元件具有栅格状支撑结构,其在光学使用区中与多层膜接触并稳定多层膜。栅格状支撑结构可具有例如蜂巢状结构,其具有形成六角形或其它多边形开口(如,三角形或四边形、正方形或矩形开口)的支柱。开口的直径例如可为小于1mm的数量级,如,小于300 μm 和/或在100 μm 与200 μm 之间。

[0066] 通过压印,可在膜上产生诸如蜂巢状结构的稳定结构,致使稳定支撑部分由膜材料构成。

[0067] 具有蜂巢状支撑结构的膜元件请见例如US 7,639,418 B2,且在其中用作投射曝光设备的EUV光源区中的“光谱纯度滤波器”。专利US 7,982,854 B2描述膜形式的相对较薄的偏振分束元件,其在机械上可用多孔支撑结构加以稳定。这些偏振光学元件在光束路径中倾斜布置,以实现偏振选择性效应。

[0068] 替代地或附加地,可以特定措施改善膜元件的热稳定性。在一些实施例中,在光学使用区中与多层膜接触的栅格状支撑结构可由热传导率显著大于膜材料的热传导率的材料制成,以改善膜元件暴露于EUV辐射的区域的热消散。栅格结构或其支柱可由例如金属材料 and/或碳基材料制成。可使用铜(Cu)、镍(Ni)、石墨烯或碳纳米管(CNT)或其组合可用于形成热传导栅格。栅格尺寸及形状可与上文描述的相似。

[0069] 为了用于投射镜头中,优选提供具有框架的膜元件,该框架支撑膜(单层膜或多层膜),致使膜在光学使用区中自支撑(self-supporting)。所有框架元件因此位于光学使用区之外,并且因而不会干扰成像。

[0070] 在优选实施例中,可将膜元件并入投射光束路径中或从投射光束路径移除,而不

用卸下投射镜头的反射镜。因此,借助膜元件进行波前校正的花费尤其可保持特别低。这可凭借以下事实而在结构上实现:投射镜头具有保持结构使反射镜在投射光束路径中保持在其位置处,膜元件布置在可变化支架上,该可变化支架相对于保持结构可移动,使得膜元件可通过移动可变化支架而选择性地布置在投射光束路径中或投射光束路径外。因此,最初的调整及稍后需要的维护工作(若适当)变得尤其简单。对于每个所计划的安装位置,可在投射镜头上提供对应的接入通道(access shaft),以将膜元件定位在投射镜头的光束路径中。

[0071] 可以几个方式使用膜元件的可互换性。可选择性地将可互换膜元件放入投射光束路径中或从投射光束路径移除。可将第一膜元件换成对波前的影响不同于第一膜元件的第二膜元件。因此,可视需要针对特定应用更改投射镜头的成像特性。在一些情况中,这可不用更改反射镜的位置和/或形状而实现。投射镜头可具有一组不同的膜元件,最终使用者可使用该不同的膜元件以视需要将投射镜头的成像特性适配于特定的使用者。例如,膜元件可根据照明系统中的照明设定集而互换,以适当地成像特定图案。

[0072] 膜元件(包含膜和保持膜的框架)可换成另一膜元件,该另一膜元件通常具有相同类型的框架但具有不同的膜。替代地,可在具有或没有膜元件的情况下,将包括膜元件的可变化支架换成另一个可变化支架。

[0073] 只要整体上确保膜元件的足够透射,对于第一和第二层的层厚度的局部分布并无基本限制。旋转对称层厚度分布或径向对称层厚度分布或在波使用区中横向蔓延的层厚度梯度因此均有可能。视需要,尤其可因此校正系统像差。

[0074] 然而,在优选应用中,使用膜元件校正投射镜头的剩余像差,使得在优选实施例中,通常能够利用较高阶泽尼克(Zernike)函数的迭加仅大概地描述层厚度分布,层厚度分布的形成通常取决于投射镜头处的随机制造波动。举例而言,第一层通常在光学使用区中具有既无镜面对称性也无径向对称性或旋转对称性的层厚度分布。

[0075] 所有适合的制造方法均可用来制造具有局部改变层厚度的层厚度分布或层。在层的制造期间,可利用涂覆方法期间的适合方法实施方案,例如,通过使用适合的掩模方法产生局部不同程度的涂覆粒子材料流,直接产生不均匀的层厚度。已经制造的层还可重新加工以因此更改层厚度的分布。举例而言,可利用离子辅助的材料移除(离子束加工,IBF)产生局部不同程度的材料移除,从而例如从均匀厚度的起始层或具有旋转对称层厚度分布的起始层开始制造第一层和/或第二层的所要(若适当)非对称的层厚度分布。

[0076] 当使用至少一个波前校正膜元件制造投射镜头时,例如可采用以下程序。首先,使为投射镜头提供的成像反射镜定位在保持结构中为它们所提供的位置处,使得反射镜表面布置在物平面与像平面之间的投射光束路径中,使得可在物平面与像平面之间进行成像。另外,至少一个膜元件安装在投射光束路径内的预定安装位置,例如,在光学上接近光瞳平面的区域中。

[0077] 在此投射镜头上,接着首先执行惯用的调整操作,其可包括例如个别反射镜的刚体运动和/或个别反射镜的操纵器支撑变形。在这些调整操作下,可尝试使所产生的波前尽可能接近所要的规格。在该情况中,通过测量(若适当,通过多次测量)确定投射镜头的波前像差。举例来说,为此目的,可使用干涉测量。

[0078] 在该第一调整阶段之后,投射镜头中一般仍有剩余像差,其不再能得到校正或仅

能利用反射镜上的操纵以相当大的花费来进行校正。

[0079] 基于测量的波前像差,接着从测量的波前像差计算投射光束路径中的校正位置((至少一个)膜元件位于此处)的位置相关的波前校正。

[0080] 接着使用所需的波前校正计算其中第一层和/或第二层的层厚度分布必须更改以获得所要波前校正的方式。

[0081] 在此之后以第一层和第二层的所要层分布完成膜元件。在该情况中,可使用材料移除和/或材料构建方法。

[0082] 在此之后重新安装更改的(处理的)膜元件及另外确定包括现已修改的膜元件的投射镜头的波前像差。可多次(若适当)重复处理膜元件及后续测量的程序,直到包括适配于其的膜元件的投射镜头满足预定的规格。

[0083] 逐步(反复)完成膜元件的一个可能性在于首先施加仅一个支撑层或多个支撑层及第一层,以有效促成所要的波前校正。在此之后共同进行膜元件的安装及测量,以及基于该安装及测量,考虑稍后要施加的第二层的光学效应,计算第一层的目标层厚度分布。

[0084] 之后,接着例如利用离子辐照(离子束加工)局部不同地处理第一层,使得出现所要的第一层厚度分布。接着施加具有计算的局部改变层厚度的第二层。接着再次在提供的位置处安装因此进一步完成的膜元件,以及进行另一测量以检查膜元件是否提供所要的波前校正。如果情况并非如此,可进行另一材料移除处理(此次为第二层的材料移除处理),以消除可能的剩余像差。可多次(若适当)重复此步骤。如果第一层和第二层接着共同具有所要的光学效应,则可施加所要其它层(若适当),例如,外保护层,以完成膜元件。

[0085] 替代地,还可从未处理的原始层堆开始,原始层堆包含:施加的第一层,可从一侧进行离子辐照(离子束加工,IBF);以及第二层,可从另一侧(一般与第一侧相对)进行离子辐照。因此,接着可从一侧执行一个或多个处理循环以获得一层的所需层表面。同样可从另一侧执行一个或多个处理循环以获得另一层的所需层表面。

[0086] 接着在所提供的安装位置处安装膜元件,使配备有膜元件的投射镜头仅具有被视为可接受的较小剩余像差。

[0087] 例如,优选在膜元件在投射光束路径中的情况下进行验收测量(acceptance measurement)。可在已经安装(以及例如可互换)的膜元件或没有膜元件或具有恒定层厚度的未经表面处理膜元件的情况下,可进行为了制造适当表面处理的校正构件(膜元件)的目的的测量。

[0088] 本发明还涉及一种制造微光刻投射曝光设备的投射镜头的方法,其包含以下步骤:

[0089] 在所提供位置处安装多个反射镜,使得反射镜表面布置在物平面与像平面之间的投射光束路径中,使得可利用反射镜将布置在物平面中的图案成像于像平面中;

[0090] 确定该投射镜头的波前像差;

[0091] 从该投射镜头的波前像差计算安装位置的位置相关的波前校正;

[0092] 处理膜元件使得如果该膜元件在该安装位置处插入该投射光束路径中,则由该膜元件进行该波前校正;

[0093] 在该安装位置处安装已处理的膜元件。

[0094] 因此,在该情况中,首先在无膜元件的情况下测量投射镜头。

[0095] 还可实施该方法使得在确定波前像差之前,在投射光束路径内的预定安装位置处安装膜元件,以及在确定波前像差之后,从投射光束路径移除膜元件且接着处理该膜元件。

[0096] 还可利用如本说明书中描述的一个薄片元件或多个薄片元件以影响设计用于或并入使用EUV辐射检验反射掩模(掩模母版)的部分的光学掩模检验系统的投射镜头的波前。构成用于微光刻投射曝光设备的投射镜头通常是缩小的光学成像系统,而构成用于掩模检验系统的投射镜头则通常是产生大于物体的像的放大光学成像系统。专利申请US 2012/140454 A1揭露构成用于掩模检验系统的放大投射镜头的实例,根据该公开内容,该掩模检验系统可配备有一个或多个薄片元件。薄片元件可为永久安装的或可互换的。如本说明书中使用的术语“投射镜头”将包含放大及缩小的光学成像系统二者。

[0097] 不仅从权利要求,还从说明书及附图明白以上及其它特征,其中个别特征各可通过个别特征自身来实现,或以本发明实施例及其它领域中的子组合的形式实现为多个特征,并可构成有利且原本即受保护的实施例。本发明示例实施例在附图中示出并在下文中得到更详细地解释。

附图说明

[0098] 图1显示根据本发明的一个实施例的EUV微光刻投射曝光设备的组件;

[0099] 图2显示用于波前校正的多层膜的一个实施例的示意截面;

[0100] 图3以复数折射率的 δ - β 示图显示适于构造波前校正膜的一些层材料,其中图3A示出用于 $\lambda=13.5\text{nm}$ 的层材料,图3B示出用于 $\lambda=6.9\text{nm}$ 的层材料;

[0101] 图4-6基于层厚度分布的具体实例显示由Mo构成的第一层和由Si构成的第二层的光学效应的相互作用;

[0102] 图7显示穿过以光学上定位为彼此接近的、在空间上分开的膜布置第一层和第二层的实施例的示意截面;

[0103] 图8显示穿过第一层和第二层布置在稳定膜基板的相对侧上的多层膜的实施例的示意截面;

[0104] 图9显示根据本发明的另一实施例的EUV微光刻投射曝光设备的组件;以及

[0105] 图10A-10H显示基于数值实例而获得的明显结果示意图。

具体实施方式

[0106] 图1显示根据本发明的一个实施例的EUV微光刻投射曝光设备WSC的光学组件。EUV微光刻投射曝光设备用于以反射式图案化装置或掩模M的图案的至少一个像曝光辐射敏感基板W,该基板布置在投射镜头PO的像平面IS的区域中,该图案布置在投射镜头的物平面OS的区域中。

[0107] 为有助于描述,指定笛卡尔xyz坐标系统,从笛卡尔xyz坐标系统可看出图中图解的组件的相应位置关系。投射曝光设备WSC属于扫描仪类型。掩模M及基板在投射曝光设备操作期间在y方向中同步移动并因此被扫描。

[0108] 该设备以主要辐射源RS的辐射进行操作。照明系统ILL用于接收主要辐射源的辐射,并用于使引导于图案上的照射辐射成形。投射镜头PO用于将图案结构成像于光敏基板上。

[0109] 主要辐射源RS尤其可以是激光等离子体源或气体放电源或基于同步加速器的辐射源。这种辐射源产生在EUV范围中的辐射RAD,尤其具有在5nm和15nm之间的波长。为了使照明系统和投射镜头能够在该波长范围中操作,使用反射EUV辐射的组件构造照明系统和投射镜头。

[0110] 利用收集器COL收集发自辐射源RS的辐射RAD,并将其引导至照明系统ILL中。照明系统包含混合单元MIX、望远镜光学单元TEL及场形成反射镜FFM。照明系统使辐射成形,并因此照明位于投射镜头PO的物平面OS中或与OS接近的照明场。在该情况中,照明场的形状及大小决定物平面OS中有效使用物场OF的形状及大小。

[0111] 反射掩模母版或某个其它反射式图案化装置在设备操作期间布置在物平面OS中。

[0112] 混合单元MIX实质上由两个分面反射镜FAC1、FAC2构成。第一分面反射镜FAC1布置在照明系统与物平面OS为光学共轭的平面中。因此,第一分面反射镜还称为“场分面反射镜”。第二分面反射镜FAC2布置在照明系统的与投射镜头的光瞳平面为光学共轭的光瞳平面中。因此,第二分面反射镜还称为“光瞳分面反射镜”。

[0113] 借助光瞳分面反射镜FAC2及成像光学组合件(其布置在光束路径下游,并包含望远镜光学单元TEL及以掠入射操作的场形成反射镜FFM),第一分面反射镜FAC1的个别反射镜分面(个别反射镜)成像于物场中。

[0114] 场分面反射镜FAC1处的空间(局部)照明强度分布决定物场中的局部照明强度分布。光瞳分面反射镜FAC2处的空间(局部)照明强度分布决定物场中的照明角强度分布。

[0115] 投射镜头PO用于将布置在投射镜头的物平面OS中的图案缩小成像于像平面IS中,像平面IS与物平面光学共轭并与物平面平行。利用极紫外范围(EUV)中工作波长 λ (在该示例的情况下为13.5nm)左右的电磁辐射进行成像。

[0116] 投射镜头包含六个反射镜M1至M6,该反射镜具有反射镜表面,该反射镜表面布置在物平面OS与像平面IS之间的投射光束路径PR中,使得可利用反射镜M1至M6将布置在物平面或物场OF中的图案成像于像平面或像场IF中。在该情况中,在物平面与像平面之间行进的投射光束的光线形成波前WF。

[0117] 对EUV范围中的辐射具有反射效应的反射镜(EUV反射镜)M1至M6各包含基板,在基板上施加多层布置,其对极紫外范围中的辐射具有反射效应并包含交替包含相对较低折射率及相对较高折射率层材料的大量层对并以分布式布拉格反射器的方式起作用。

[0118] 层对(双层)包含交替施加层,其包含:具有较高折射率实部的层材料(还称为“间隔物”),及相对于前者具有较低折射率实部的层材料(还称为“吸收体”)。可以如钼/硅(Mo/Si)和/或钌/硅(Ru/Si)的层材料组合构造层对。在该情况中,硅分别形成间隔物材料,而Mo和/或Ru分别用作吸收体材料。层对可包含至少一个其它层,尤其是插入阻挡层,其可由如C、B₄C、Si_xN_y、SiC构成或由包含这些材料之一的合成物构成,并用来防止界面处的互相扩散。

[0119] 反射镜M1至M6各具有弯曲的反射镜表面,使得每个反射镜均促成成像。来自物场OF的投射光束路径的光线首先入射在稍微凸弯曲的第一反射镜M1,第一反射镜M1将光线反射至稍微凹弯曲的第二反射镜M2。第二反射镜M2将光线反射至凸的第三反射镜M3,第三反射镜M3将光线横向偏转至凹反射镜M4。凹反射镜M4将光线反射至第五反射镜M5上,第五反射镜M5在几何上布置位接近像平面且具有稍微凸弯曲的反射镜表面并将光线反射至较大

的凹反射镜M6,反射镜M6是像平面的最后一个反射镜并将光线聚焦在像场IF的方向中。

[0120] 投射镜头由两个部分镜头构成。在该情况中,前四个反射镜M1至M4形成第一部分镜头,其在第四反射镜M4与第五反射镜M5之间的光线路径中产生中间像IMI。中间像位于关于物平面及像平面光学共轭的中间像平面中。在几何上,中间像布置在第六反射镜M6旁边。第二部分镜头由第五和第六反射镜构成,以缩小的方式将中间像成像至像平面中。

[0121] 具有此构造或相似构造的投射曝光设备和投射镜头例如在专利US 7,977,651 B2中公开。该专利的公开内容以引用方式并入该说明书的内容中。

[0122] 投射镜头P0包含波前校正装置WFC,其包含具有光学使用区UA的膜元件FE,其在图解的波前校正装置的操作模式下布置在投射光束路径PR中。对EUV辐射为部分透射的多层膜MF布置在第二反射镜M2和第三反射镜M3之间的单一光束路径中。从光学观点来看,多层膜MF位于第一部分镜头的光瞳平面PS1与在光学上相对较接近光瞳表面PS1的中间像IMI之间。例如,子孔径比率在膜元件的位置处可在0.8与0.95之间的范围中。

[0123] 多层膜MF为大体上平面的光学构件且位于投射光束路径中,使得辐射基本上垂直地(即,基本上平行于多层膜MF的表面法线N)通过多层膜MF。在光线方向与表面法线N之间测量的入射角在小于 10° 的范围中。因此避免偏振选择性效应,使得多层膜MF的透射基本上与通过的光线的电场向量的偏振状态或振动方向无关。

[0124] 膜元件FE具有机械稳定框架R,其以基本上环形的方式构成并支撑多层膜MF,使得多层膜在光学使用区UA中自支撑。所有框架元件因此位于光学使用区之外。自支撑膜可为紧绷的或下垂的。若适当,其可具有稍微起皱的形式。

[0125] 在其它实施例中,提供栅格状支撑结构以将多层膜稳定在光学使用区中,该支撑结构在光学使用区中与多层膜接触并稳定该多层膜。栅格状支撑结构可具有例如蜂巢状结构,其具有形成六角形开口的支柱。包含这种支撑结构的膜元件请见例如US 7,639,418 B2,且在其中用作在投射曝光设备的EUV光源区中的“光谱纯度滤波器”。

[0126] 图2显示多层膜MF的一个实施例的示意截面,可在图1的膜元件FE中或别处使用该多层膜MF。多层膜包含六个具有不同功能的层,在一些实施例中,可利用在层堆的一侧的选用支撑结构CS在机械上稳定该多层膜。在安装状态中,辐射基本上垂直于膜平面(x-y平面)通过多层膜。从辐射出射侧(图中底部),层堆始于第一外保护层PC1,在其上施加有第一抗反射层AR1。在此之后为第一层L1,其具有相对较小的折射率实部或折射率实部与值1的相对较大偏差 δ_1 以及还有相对较低的第一吸收系数 β_1 。第二抗反射层AR2施加于第一层上。该第二抗反射层载有由第二层材料构成的第二层L2,与第一层材料相比,第二层材料仅具有折射率实部与1的相对较小偏差 δ_2 ,但继而具有相对较高的吸收系数 δ_2 。层堆在辐射入射侧终止于第二外保护层PC2。

[0127] 与示意图中所显示的相比,第一层的层厚度 d_1 在光学使用区内沿横向方向改变,致使 $d_1=f(x,y)$ 成立。相同道理对应地适用于第二层L2。第一层厚度 d_1 因此沿x方向及y方向改变。第二层L2也具有局部改变的层厚度 d_2 ,其可沿x方向及y方向二者局部变化。层厚度变化的程度无疑超出制造支配的层厚度变化的程度。

[0128] 外保护层PC1、PC2可例如由钪、铯或氮化硅构成,其中氮化硅由于其在工作波长(13.5nm)的低吸收而可为有利的。若适当,可省略第一保护层PC1和/或第二保护层PC2。有时通过表面层的氧化而具有外保护层即已足够。

[0129] 此处,抗反射层AR1、AR2各具有约6nm的几何层厚度,这在所用层材料(如,Mo/Si或Ru/Si)的情况中对应于约 $\lambda/2$ 的光学层厚度,因此造成反射减少且因而在此方面造成透射增加效应。还可省略第一抗反射层AR1和/或第二抗反射层AR2。

[0130] 第一层L1及第二层L2主要对于膜的光学效应很重要。第一层L1的主要功能在于以位置相关的方式在通过的光线中引入取决于第一层的局部光学层厚度的相位延迟 $\Delta\rho$,因此造成局部不同的相位延迟且因而造成对通过波前的波前校正。然而,由于非零吸收(non-vanishing absorption),第一层材料还引入通过的辐射强度的位置相关的衰减,相对较厚区中的衰减程度比相对较薄区中的大。这造成一般非所要的位置相关的强度衰减效应。第二层L2的主要功能是以一方式抵消第一层引入的透射衰减,使得在光学使用区上整体建立投射镜头所需的强度分布,例如,在整个使用区上的均匀衰减或具有基本上旋转对称特性(切趾从光瞳平面中心上升至下降至边缘)的衰减。同时,第二层材料由于折射率的实部与值1的相对较小的偏差 δ_2 而用于对波前仅具有较小效应,若适当,可在第一层的层厚度分布的设计中将此纳入考虑。

[0131] 图3A图解适于构造用于工作波长 $\lambda=13.5\text{nm}$ 的波前校正膜的一些层材料。示图在x轴上显示复数折射率的实部与值1的偏差 δ ,在y轴上显示吸收系数 β 。在直线 $\delta=\beta$ 左方的材料尤其适合作为第二层材料,而在该直线右方的材料结合比较低的折射率实部具有较低吸收,并且因此尤其适合用于波前校正层(第一层)。示图中的数值得自于T.Tsarfati的论文“Surface and Interface Dynamics in Multilayered Systems”(2009,ISBN 978-90-5335-197-0,第一章,第12页)中的对应示图。

[0132] 下列表A显示尤其可在工作波长13.5nm使用的各种层材料的有效比率 $V=\delta/\beta$ 的对应值。

[0133] 表A

Mo	11.84
Y	11.51
Ru	6.66
Nb	12.75
Zr	10.92
RuSi	5.82
Si ₃ N ₄	2.88
ZrSi ₂	6.19
Si	0.55
Ge	0.17

[0134]

[0135] 图3B显示工作波长 $\lambda=6.9\text{nm}$ 的对应示图。举例而言,可以看出铷(Rb)、锶(Sr)或钇(Y)适合作为第二层的材料,至于第一层,则可使用例如NbOB₄C、NbO₂、Nb₂O₅、RuO₄、MoO₂、Rh₂O₃、C、Te、In、Ba、Sn、RuO₂、MoO₃、La、B、B₄C、BN(硼氮化物)、ZrO₂或主要由这些材料之一构成的材料合成物。这些值为理论值,如可经由以下取得:http://henke.lbl.gov/optical_

constants/getdb2.html。

[0136] 以下基于结合图4至6的具体实例解释第一层和第二层的光学效应的相互作用。

[0137] 图4A显示从由钼 (Mo) 构成的第一层L1和施加于第一层L1上由硅 (Si) 构成的第二层L2选出的部分,其中两个层的层厚度沿x方向(标准化x轴)局部改变。两个层各以部分阴影线方式显示并具有2nm的平均厚度及与此平均厚度具有正负偏差的区域。在钼层中,增加最大值1nm的层厚度出现在 $x=-0.8$ 和 $x=-0.6$ 之间的I区中,减少1nm至最小值1nm的层厚度出现在 $x=0.6$ 和 $x=0.8$ 之间的IV区中。在硅层中,增加最大值1nm的局部层厚度出现在 $x=-0.4$ 和 $x=-0.2$ 之间的II区中,具有层厚度仅1nm的局部层厚度最小值出现在 $x=0.2$ 和 $x=0.4$ 之间的III区中。

[0138] 两个层对于沿z方向通过的EUV辐射均具有相位延迟效应和强度衰减效应。然而,这些效应根据相应层的局部层厚度及光学常数 δ 和 β 而不同。以下大致成立: $\delta_1 = \delta(\text{Mo}) = 0.076$ 、 $\beta_1 = \beta(\text{Mo}) = 0.006$ 、 $\delta_2 = \delta(\text{Si}) = 0.001$ 及 $\beta_2 = \beta(\text{Si}) = 0.002$ 。

[0139] 首先,参考图5,将仅考虑钼层(第一层),其层厚度分布再次示于图5A中。图5B显示第一层(钼层)的波前效应 $\Delta \rho_1$ (以纳米为单位),图5C显示第一层的透射减少效应,即,相对透射损失。对计算波前效应而言,折射率的实部 $(1-\delta)$ 或偏差 δ_1 很重要,其中值 $\delta_1 = 0.08$ 表示通过的波前的相位速度从值1减少到值0.92。整体因此所引起的相位延迟线性取决于局部层厚度 d_1 。在I区中,局部层厚度(3nm)超出平均层厚度1nm,使得此处1nm以上的第一层材料具有相位延迟效应。可在图5B中看出相对于平均相位延迟的对应相位延迟。IV区中的情形相反,因为此处仅1nm的钼在层厚度最小值的区域中具有效应。因此,形成与平均相位延迟(由2nm的Mo造成)相比较小的相位延迟。

[0140] 强度衰减 ΔI 的程度还取决于层厚度d。以下大致成立:

$$[0141] \quad \Delta I = 1 - e^{-((4\pi/\lambda) d\beta)}$$

[0142] 在该情况中,层厚度d在指数函数的指数中。在I区中,尤其高的相对透射损失由于局部厚度最大值而产生,而最小相对透射损失由于第一层厚度的局部层厚度最小值而发生在IV区中。

[0143] 第二层(硅层)的层厚度分布示于图6A中。此处层厚度具有稍微更复杂的分布,因为层厚度例如在I区中由于钼层的局部层厚度最大值且在III区中由于Si层的局部最小值而尤其小(最小值仅1nm),而层厚度在II及IV区各呈现局部最大值。

[0144] 图6B显示第二层(Si层)的对应波前效应 $\Delta \rho_2$ (以纳米为单位),而图6C显示第二层依据x轴上的位置的相对透射损失 ΔI_2 。

[0145] 两个层的效应在波前通过时在位置上正确地相加。包含由Mo构成的第一层和由Si构成的第二层的多层膜的波前效应示于图4B中。图4C对应地显示多层膜的相对透射损失的位置相关性。

[0146] 图4B在相位延迟 $\Delta \rho$ 的轴上以相同比例显示对两个层的波前的效应。可以看出,显现显著较大相位延迟的钼主导第一区I和第四区IV中的波前效应的分布。与其相比,II和III区(其中出现硅层的特别大的绝对层厚度(II区)和特别小的绝对层厚度(III区))中的相位延迟效应仅非常小。

[0147] 在对透射的总效应的情况中(图4C),可以看出硅层使钼层引起的强度衰减的绝对程度变得更均匀。由于Si层的补偿效应,最大和最小局部强度损失之间的差异小于纯Mo层

的情况。

[0148] 第一层和第二层不需要出现在相同的膜中。图7举例显示穿过膜元件FE的一个实施例的示意截面,其中第一层和第二层布置在空间上分开但在光学上定位为彼此接近的膜中。第一膜F1具有薄膜基板或薄膜支撑层SUB1,其上施加有具有局部改变的层厚度的第一层L1(如,由钼构成)。第一膜由机械稳定的第一框架R1保持,其框架部件全部位于光学使用区UA之外。第一框架R1利用螺丝钉或以某个其它方法以固定但可释放的方式连接至等同的第二框架R2。第二框架支撑第二膜F2。第二膜F2具有薄膜基板(膜支撑层)SUB2,其上施加有具有局部改变的层厚度的第二层L2(如,由硅构成)。在膜之间垂直于膜平面的几何距离为几毫米,如,在1mm与10mm之间。因此,在安装状态中,该膜实际上布置在通过的投射光束的相同位置(基本上相同的子孔径比率)上。两个层L1、L2的层厚度分布互补。两个膜的机械稳定性基本上由膜基板或膜支撑层的稳定性决定。膜基板或膜支撑层如可由硅或聚合材料构成。

[0149] 均匀厚度的膜基板或膜支撑层针对最佳透射结合足够稳定性而设计,具有如在10至100nm、优选20nm至50nm的范围中的厚度。膜F1的膜层L1和膜F2的膜层L2的材料分别可等同于膜支撑层SUB1和SUB2各自的材料,以及甚至在用相同材料的制造工艺期间,无法区别制造膜层(L1或L2)与相关联膜支撑层(SUB1或SUB2)。

[0150] 清洁设备(未示出)可安装在两个膜F1和F2及框架R1和R2之间,该清洁设备按特定的时间间隔以净化气体(例如,氢)净化在膜F1和F2之间的空隙。

[0151] 在该实施例中,后续处理(如,利用离子束)可自由使用两个层(第一层和第二层),因此简化层厚度分布的优化。

[0152] 图8举例显示包含多层膜MF的膜元件FE的一个实施例的示意截面,其中第一层及第二层布置在膜支撑层SUB的相反侧。因此,彼此独立的两个层可供处理及后续层厚度分布变化自由使用。膜支撑层SUB例如可由Mo或Si构成或可由Mo和Si构成的多层构成。此处,第一层L1及第二层L2的材料也分别可等同于膜支撑层SUB的材料,以及在制造工艺期间不需要区别施加层L1和L2及膜支撑层SUB。

[0153] 图7和图8分别未示出由于第一层L1和第二层L2具有足够的稳定性而省掉膜支撑层SUB及SUB1及SUB2的可能选项。

[0154] 在图7和图8的实施例的情况中,上文详细陈述的相同情形原则上适用于层材料的选择。因此,请参考那里的描述。

[0155] 图9显示配备有或可配备有基于膜的波前校正装置的另一投射镜头P0的实例。等同于或对应于图1的元件的元件具有相同名称。包括光学数据的投射镜头的构造在对应于EP 1 950 594 A1(图2)的US 2008/0170310 A1中得到描述。该文献内容在此方面通过引用而并入该说明书的内容中。

[0156] 示意图显示从五个隔开物场点发出的三个个别光线的各个光束路径。

[0157] 从物平面OS开始,个别光线首先由第一反射镜M1反射,接着连续由第二至第六反射镜M2至M6反射,第二至第六反射镜M2至M6各覆盖有高反射多层涂层。

[0158] 反射镜M1、M3及M5具有凸的基本形状,即,该反射镜可由凸的最佳匹配表面描述。反射镜M2、M4及M6具有凹的基本形状,即,该反射镜可由凹的最佳匹配表面描述。在以下描述中,为了简化,仅将此类反射镜称为凸的或凹的。凸的第三反射镜M3提供良好的匹兹伐

(Petzval)校正。

[0159] 与五个物场点的特定照明方向相关联的个别光线在投射镜头P0的光瞳平面PS1中组合,第三反射镜M3布置为邻近光瞳平面PS1。第三反射镜M3因此还称为光瞳反射镜。用于限定投射光束界限的孔径光阑可布置在光瞳平面PS1中。可以机械且可互换光阑或以直接在反射镜M3上的对应涂层的形式提供该孔径光阑。

[0160] 反射镜M1至M4将物平面OS成像于中间像平面IIS中。投射镜头的中间像侧数值孔径为0.2。反射镜M1至M4形成第一部分成像光学单元,其具有3.2x的缩小成像比例。下游反射镜M5和M6形成投射镜头的另一部分成像光学单元,其具有2.5x的缩小成像比例。在中间像平面IIS的区域中,在第六反射镜M6中形成通孔OP6,投射光束在从第四反射镜M4朝向第五反射镜M5反射时通过该通孔。第五反射镜M5继而具有中央通孔OP5,投射光束通过该通孔在第六反射镜M6与像平面IS之间通过。

[0161] 第五反射镜M5布置为接近另一光瞳平面PS2,其与第一光瞳平面PS1共轭。通常,该另一光瞳平面PS2位于在第五反射镜M5与第六反射镜M6之间的投射光束路径中,使得物理上可得到的光阑平面存在于该另一光瞳平面PS2的位置处。

[0162] 投射镜头在光瞳平面PS1、PS2之一中具有以位于中心的方式布置的遮挡光阑。该遮挡光阑遮挡投射光束路径的分配给中央通孔OP5、OP6的部分光线。因此,投射镜头的设计还称为具有中央光瞳遮挡的设计。

[0163] 将中央物场点连接至入射光瞳平面PS1中投射镜头的入射光瞳中的中央照明点的特定个别光线在下文又称为中央场点的主光线CR。在第六反射镜M6反射后,中央场点的主光线CR与像平面IS大约形成直角,即,约平行于投射曝光设备的z轴行进。像场为矩形。

[0164] 投射镜头P0的所有六个反射镜M1至M6均实施为无法由旋转对称函数描述的自由形式表面。

[0165] 投射镜头P0提供多个位置用于插入波前校正装置的膜元件。

[0166] 在一个实施例中,多层膜的形式的第一膜元件FE1布置在第一位置POS1,其在光学上接近第二和第三反射镜间的光束路径中的第一光瞳平面PS1。因此,可在整个场上均匀地校正波前像差。子孔径比率SV在该情况中为约0.7至0.95。

[0167] 另一实施例试图利用膜元件校正波前像差的场分布。为此目的,将相应适配的膜元件(如,多层膜形式的第二膜元件FE2)插入第二位置POS2处,其在物平面与第一反射镜M1之间光学上接近物平面OS。子孔径比率SV在该情况中为约0.05至0.3。

[0168] 举例而言,可设计膜元件使得可校正或减少图像像差垂直于扫描方向(y方向)(即,沿着像场的长轴)的线性或非线性分布的程度。

[0169] 膜元件还可布置在接近光瞳的位置和接近场的位置处。该变型显示于图9中。

[0170] 为了图解投射光束路径中的位置,图9还以平行于z方向的平面视图图解第一膜元件FE1和第二膜元件。可在各情况中看到圆形框架R,该框架支撑部分透明、自支撑的多层膜MF。投射光束与膜表面的交叉点的区域分别为所谓的“覆盖区(footprint)”FP1和FP2。此区由投射光束照明,其中从矩形物场OF的(无限数目个)场点发出的所有光束促成覆盖区的照明。可以看出,接近物平面OS处,覆盖区FP1具有物场的大约(在真实系统中为狭长的)矩形形状,角落区是圆的。接近光瞳平面PS1处,覆盖区FP2几乎为圆形。包围覆盖区的最小圆将具有直径 D_{CA} 。此直径在此称为光学自由直径。

[0171] 每个物场点是光束(辐射锥)的起点,其孔径角由物体侧数值孔径决定。每个光束与子孔径SA相关联,其对应于光学表面(此处为膜表面)上由从单一物场点发出的光束所照明的区域。给定表面上的子孔径可由其子孔径直径 D_{SA} 表征。接近物平面(或不同场平面)处,该子孔径或其直径相对较小。在光瞳平面的区域中,理想上,不同场点的所有子孔径应该重叠,每个光束照明整个使用的光瞳。

[0172] 可定性地看出接近场的第一膜元件FE1的子孔径比率 $SV = D_{SA}/D_{CA}$ 相对较小(如,在约0.05与0.3之间),而在光学上布置为接近光瞳平面PS1的第二膜元件FE2的SV接近值1,如,在0.7与0.95之间。

[0173] 下文将举例解释实际设计膜元件的方式。该描述适用于所有实施例。

[0174] 膜元件的任务是根据目标规定设定投射镜头的波前变化和/或透射变化。

[0175] 此任务的起始点是在一个或多个场点处的波前和/或透射。可通过测量和/或模拟获得这些波前和/或透射。另外可对多个场点使用外插法和/或内插法。以此方式获得的这些数据是以下描述的优化步骤的起始点,并分别称为波前数据和/或透射数据。

[0176] 在第一步骤中,在此假设可利用膜元件的“完美波前校正层”来校正波前。“完美波前校正层”被理解为理论层,其在工作波长 λ 的复数折射率 n 为 $n = 0 + 0i$,使得1nm波前校正层减少(层厚度差异)因此转换成1nm波前相位。光线模型化为移动无限快的构思取自斯维特(Sweatt)模型。作为说明性替代方案,还可使用以下理论层:其在工作波长 λ 的复数折射率 n 为 $n = 0.9 + 0i$,使得1nm波前校正层减少(层厚度差异)转换成0.1nm波前相位。在该情况中,在计算波前校正层厚度之后,该厚度必须乘以因子0.1,以获得“完美波前校正层”。

[0177] 在给定波前数据下,对于限定于投射镜头的光束路径中的膜元件位置,现在凭借适当公式化的优化问题计算完美波前校正层。为此目的,首先计算所谓的基本变形。这些基本变形可具有例如具有特定最大振幅(例如,1nm)的泽尼克多项式的形式,该多项式限定于完全包含膜元件的定位于光束路径中的膜的光学上使用区(光学使用区)的圆形区域上。除了泽尼克多项式,还可使用样条或B-样条或非均匀有理B-样条(nurb),其计算的场同样完全包含膜元件的膜的光学上使用区。对于因此获得的这些基本变形(例如,36或64或100个泽尼克和/或25或49或100个样条或B-样条或非均匀有理B-样条),借助光学设计程序计算其光学敏感性。即,计算完美波前校正层中基本变形的波前效应。

[0178] 接着将基本变形解译为操纵器自由度。那么,优化问题在于利用该自由度尽可能充分接近所要(逐个场点)波前效应。这例如可通过求解最小化问题来完成:

$$[0179] \quad \min \|Mx - p\|_2^2 + \|Gx\|_2^2$$

[0180] 在此情况中,M表示 $n \times m$ 矩阵,其具有演变成 n 个初级图像像差的 m 个基本变形。这些初级图像像差例如可为不同场点处的逐像素波前值、这些波前在不同场点处的选择的泽尼克系数或其迭加。向量 p 以预定方式描述波前数据; x 表示要寻找的操纵向量,其描述要迭加的基本变形的振幅; G 是适合的加权矩阵(weight matrix),例如,具有纯量倍数的单位矩阵。此处提出的方法即所谓的吉洪诺夫正则化(Tikhonov regularization),其例如详细描述于A.Rieder的“Keine Problemen mit inversen Problemen (No problems with inverse problems)”,Vieweg,2003,第70页(实例3.3.11)及第四章。其还解释如何将最小化问题变换成方程系统,以利用已知方法之一(例如,高斯消去法)求解此问题。替代地,还

可查阅网页:http://en.wikipedia.org/wiki/Tikhonov_regularization (检视于2012年8月2日)

[0181] 另一个可能的方法在有关不同问题的WO 2010/034674 A1中得到描述。

[0182] 使用此方法导致膜元件的“完美波前校正层”的分布的规定,其特征在于:描述位置相关的层厚度的函数 $w:=w(x,y)$ 。函数 w 可具有正层厚度值和负层厚度值二者。以下进一步描述消除负层厚度值的方法。

[0183] 应该提到的是,上文描述的程序仅是计算完美波前校正层的一个示例性程序。

[0184] 如果预计仅校正投射镜头的透射行为,则可以函数 $w=w(x,y)=0$ 描述波前校正层。

[0185] 在第二步骤中,首先假设可以膜元件的“完美透射校正层”校正透射分布。

[0186] 一开始应呈现在工作波长 λ 具有复数折射率 $n=(1-\delta)+i\beta$ 的材料。如果光线覆盖此材料的路径长度 d ,则透射 t 为

[0187] $t=\exp(-4\pi/\lambda)d\beta)$ 。

[0188] 此处不利的是,透射不再随着材料厚度线性改变而是在指数地改变。这所具有的效应是,首先简化问题成线性方程系统的方法失败。

[0189] 相比之下,如果考虑对数透射 $\ln t$,其由以下指定

[0190] $\ln t=-4\pi/\lambda)d\beta$,

[0191] 则可看出对数透射随着材料厚度线性改变。

[0192] “完美对数透射校正层”被理解为复数折射率 $n=0+1i$ 的理论层。

[0193] 对于给定的透射数据 $T(x,y)$,计算对数透射数据 $\ln T(x,y)$ 。这永远可行,因为每个点 (x,y) 的透射 $T(x,y)$ 大于0。对于限定在投射镜头的光束路径中的膜元件位置,凭借适当公式化的优化问题计算完美对数透射校正层。

[0194] 接着求解优化问题。为此目的,首先再一次计算所谓的基本变形。这些基本变形可具有例如具有特定最大振幅(例如,1nm)的泽尼克多项式的形式,该泽尼克多项式限定在完全包含膜元件定位于光束路径中的膜的光学上使用区的圆形区域上。除了泽尼克多项式,还可使用样条或B-样条或非均匀有理B-样条(nurb),其计算的场同样完全包含膜元件的膜的光学上使用区。对于因此获得的这些基本变形(例如,36或64或100个泽尼克和/或25或49或100个样条或B-样条或非均匀有理B-样条),借助光学设计程序计算其光学敏感性。即,计算完美透射校正层中基本变形的透射效应及接着确定对数透射效应。

[0195] 接着将基本变形解译为操纵器自由度。那么,优化问题在于利用该自由度尽可能充分接近所要(逐个场点)波前效应。这例如可通过求解最小化问题来完成:

[0196] $\min\|Ny-q\|_2^2+\|Hy\|_2^2$

[0197] 在该情况中, N 表示 $k\times 1$ 矩阵,其具有演变成 k 个初级图像像差的1个基本变形。这些初级图像像差例如可为不同场点处的逐像素透射前沿值(transmission front values)、这些透射前沿在不同场点处的选择的泽尼克系数或其迭加。向量 q 以预定义方式描述对数透射数据; y 表示要寻找的操纵向量,其描述要迭加的基本变形的振幅; H 是适合的加权矩阵,例如,具有纯量倍数的单位矩阵。如波前数据的情况一样,求解所产生的最小化问题。

[0198] 使用此方法导致膜元件的完美对数透射校正层的分布的规定,其特征在于:描述位置相关的对数层厚度的函数 $s = s(x, y)$ 。

[0199] 应该提到的是,上文描述的程序仅是计算完美对数透射校正层的一个示例性程序。

[0200] 如果预计仅校正投射镜头的波前行为,则可以函数 $s = s(x, y) = 0$ 描述对数透射校正层。

[0201] 所有信息现在用于转变成真实材料。因此,使第一层的材料 M_1 具有复数折射率

$$[0202] \quad n_1 = (1 - \delta_1) + i\beta_1,$$

[0203] 第二层的材料 M_2 具有复数折射率

$$[0204] \quad n_2 = (1 - \delta_2) + i\beta_2.$$

[0205] 举例而言,可使用钼(Mo)作为第一层的材料,可使用硅(Si)作为第二层的材料。因此预期确定第一及第二材料材料厚度 $m_1 = m_1(x, y)$ 及 $m_2 = m_2(x, y)$,即,第一及第二层厚度,使得在每个点 (x, y) 处满足方程系统

$$[0206] \quad \delta_{1m_1}(x, y) + \delta_{2m_2}(x, y) = w(x, y)$$

$$[0207] \quad \exp(-4\pi/\lambda(\beta_{1m_1}(x, y) + \beta_{2m_2}(x, y))) = \exp(s(x, y)).$$

[0208] 例如,尺寸 101×101 或 201×201 或 501×501 的格子上的点 (x, y) 的适当离散化产生要求解的方程系统,因此产生关于要在充分精细网格上估计的材料厚度 m_1 和 m_2 的信息。通过对第二方程式求对数,此方程系统甚至可简化成线性方程系统:

$$[0209] \quad \delta_{1m_1}(x, y) + \delta_{2m_2}(x, y) = w(x, y)$$

$$[0210] \quad -4\pi/\lambda(\beta_{1m_1}(x, y) + \beta_{2m_2}(x, y)) = s(x, y).$$

[0211] 对于离散化网格的每个点 (x, y) ,可以惯用方法(如,高斯消去法)求解此方程系统,并获得局部材料厚度 $m_1 = m_1(x, y)$ 和 $m_2 = m_2(x, y)$ 。

[0212] 在该情况中,函数 $m_1 = m_1(x, y)$ 和 $m_2 = m_2(x, y)$ 可具有正函数值和负函数值二者,并需要产生可从这些理论材料厚度实现的厚度规定。首先,限定材料 M_1 和 M_2 的材料最小厚度 $d_1(x, y)$ 和 $d_2(x, y)$,所实现的膜元件必须超出此材料最小厚度。材料最小厚度可局部改变或为恒定的。

[0213] 例如,在其中使用Mo作为第一层的材料的情况中,可选取5nm或10nm或20nm的与位置无关的最小厚度。例如,在其中使用Si作为第二层的材料的情况中,可选取10nm或20nm或50nm的与位置无关的最小厚度。

[0214] 接着计算材料厚度规定

$$[0215] \quad \tilde{m}_1(x, y) = m_1(x, y) + d_1(x, y) - \min_{(x, y)} m_1(x, y)$$

[0216] 和

$$[0217] \quad \tilde{m}_2(x, y) = m_2(x, y) + d_2(x, y) - \min_{(x, y)} m_2(x, y).$$

[0218] 显而易见,在其全部范围内实现波前校正,其仅是变化相位效应的问题。然而,透射校正仅实现为高达小于1的常数因子,因为在所考虑的工作波长的任何层厚度导致可观的透射损失,系统透射仅可通过增加材料厚度而降低。

[0219] 图10基于数值实例显示使用上文描述程序获得的明显结果:图10A图解预计要在包含多层的膜元件上实现的“完美波前校正层”的分布 d_1' [nm]。在“完美波前校正层” $w(x,$

y)的最高标高与最深谷值间的差异的PV值约1.4nm。因此校正具有最大相位差约1.4nm的波前分布。另外假设膜元件仅用于校正由波前校正层引起的透射变化。因此可假设“完美对数透射校正层” $s(x, y)$ 等于作为常数的0。

[0220] 选取钼(Mo)作为波前校正层的材料,并选取硅(Si)作为透射校正层的材料。两个材料均促成波前校正。图10B显示通过求解方程系统所获得的波前校正层的计算的层厚度分布 d_1' [nm]。在该情况中,可注意到出现正层厚度值和负层厚度值二者。

[0221] 图10B的计算的层厚度值已换算成图10C中的可实施的层厚度值 d_1 [nm]。为此目的,已将具有恒定层厚度的层加入计算的层厚度分布,使得因此获得的层厚度的最小值大于或等于针对此材料指定的最小层厚度。举例而言,在图10C中,选取值5nm作为钼(Mo)的指定最小层厚度。此程序是可能的,因为在此背景中,具有厚度20nm或100nm或500nm的恒定层并不会显著影响波前分布。

[0222] 图10D显示通过求解方程系统所获得的透射校正层的计算的层厚度分布 d_2' [nm]。在该情况中再次出现正层厚度和负层厚度。举例而言,如果选取20nm作为硅的指定最小层厚度的值,那么这造成图10E图解的透射校正层的可实施层厚度分布 d_2 [nm]。

[0223] 图10F显示膜元件的多层的厚度分布:在下方较薄的变化钼层上施加上方较厚的变化硅层。在位置 $x=0.75$ 和 $x=0.5$,可容易辨别出两个层的厚度的互补行为。两个层还可互换,即,还可在较厚硅层上施加较薄钼层。

[0224] 图10G显示图10A中预定义的波前分布与利用图10F描述的膜元件的多层膜产生的波前分布的偏差 ΔWF 。该偏差为恒定的且因此在光学上中立。

[0225] 图10H图解利用图10F描述的膜元件的多层的透射分布。如初始所预定义的,该透射分布没有变化。此处图解的约83.6%的透射T仅考虑图10F中图解的两个层。如已解释,膜元件可包含可另外降低透射的其它层或支撑结构。

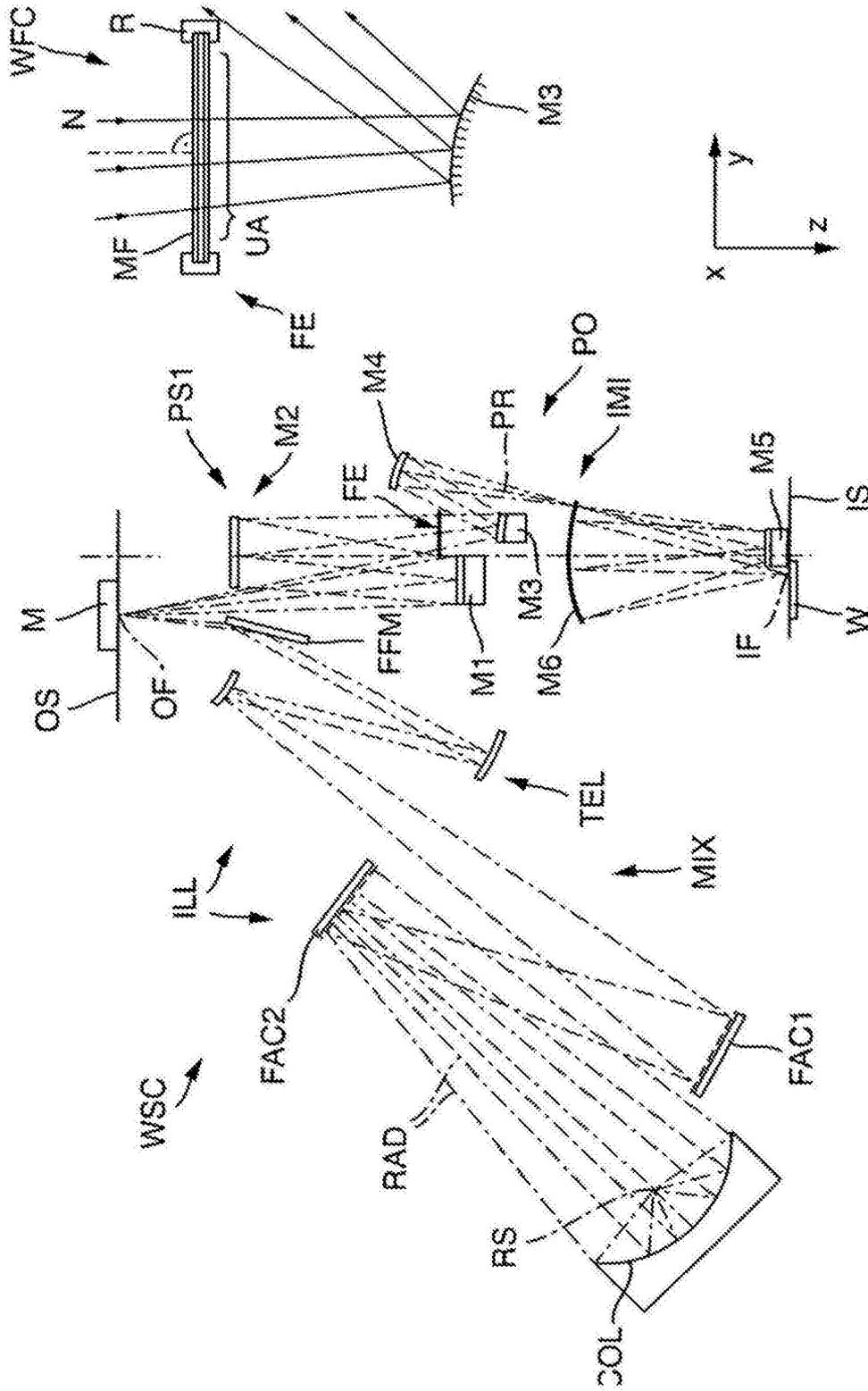


图1

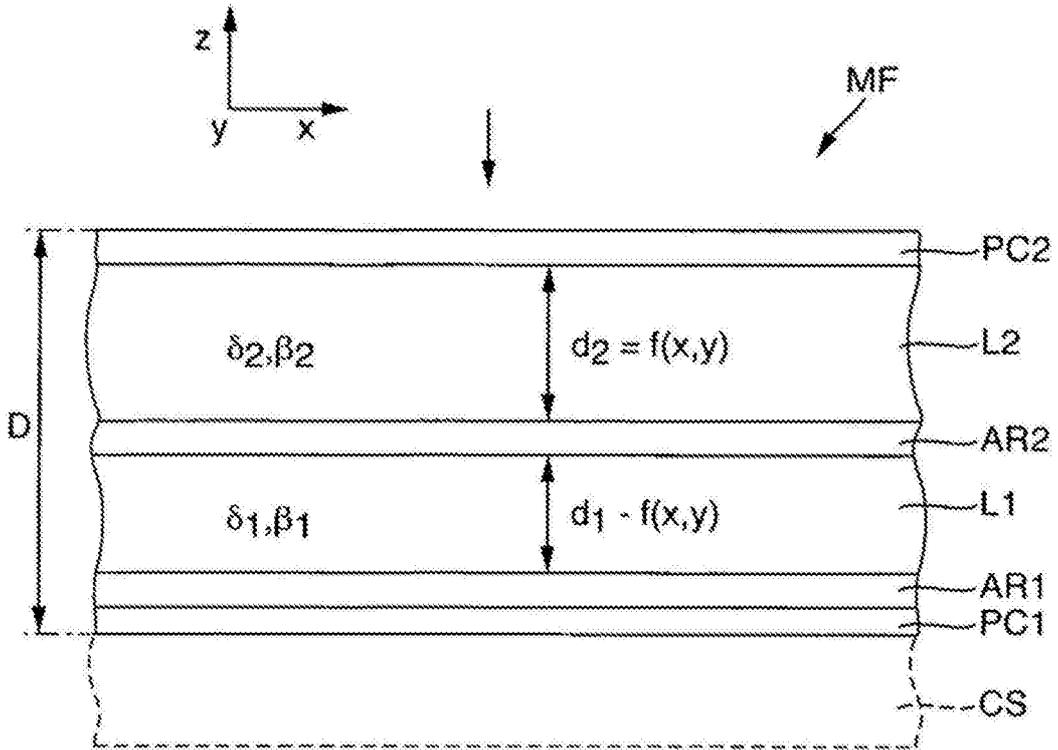


图2

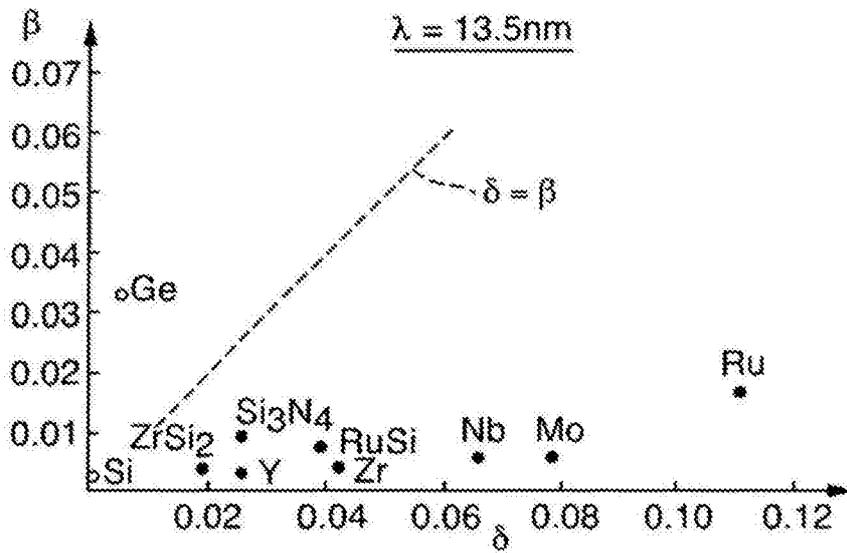


图3A

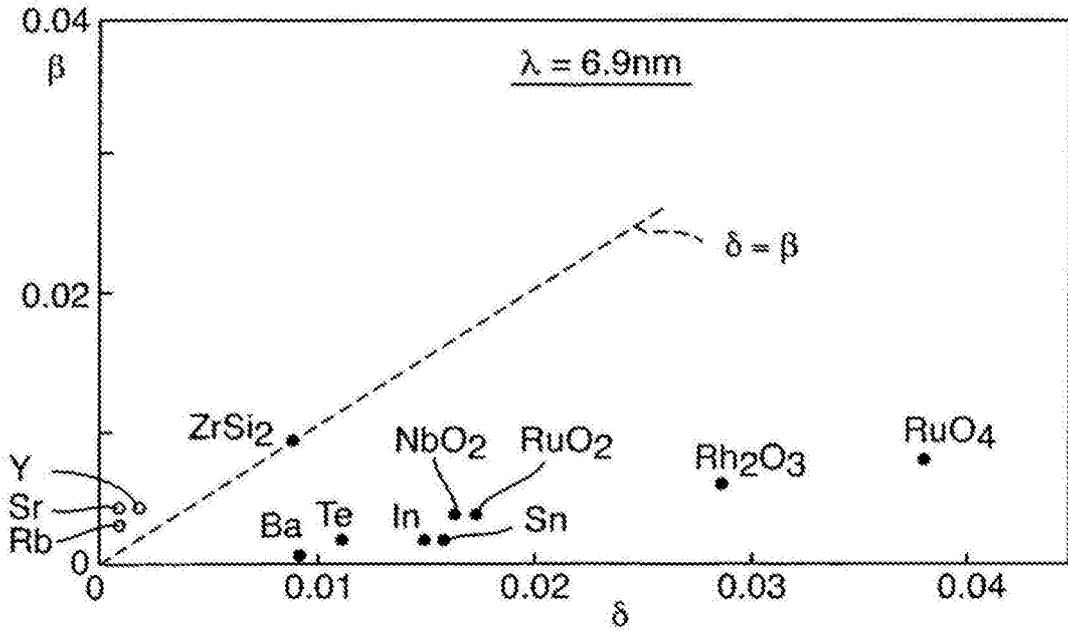


图3B

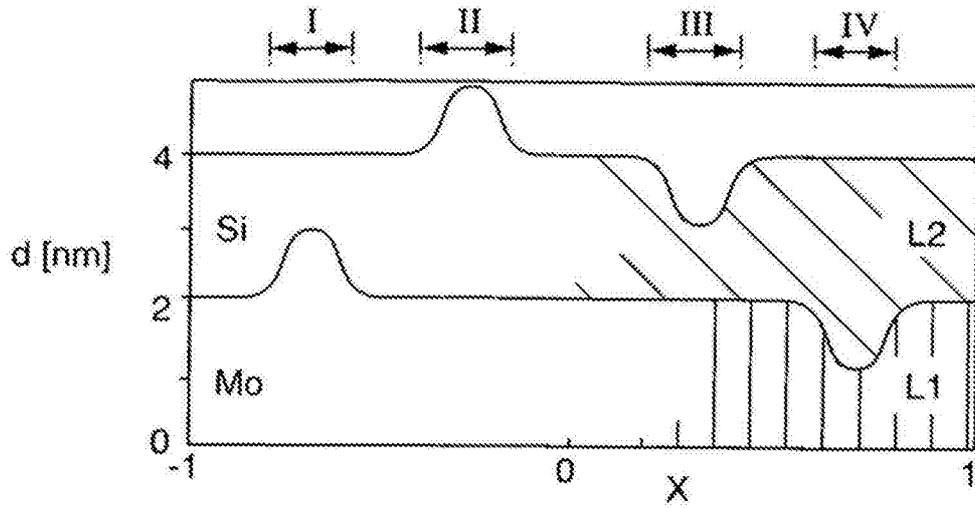


图4A

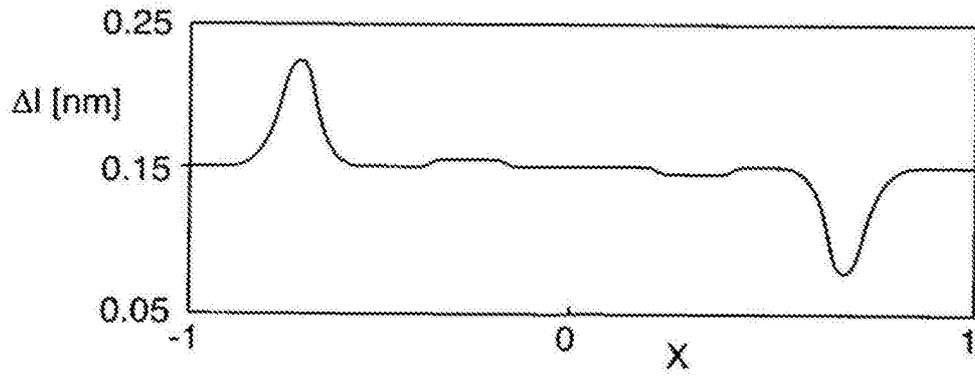


图4B

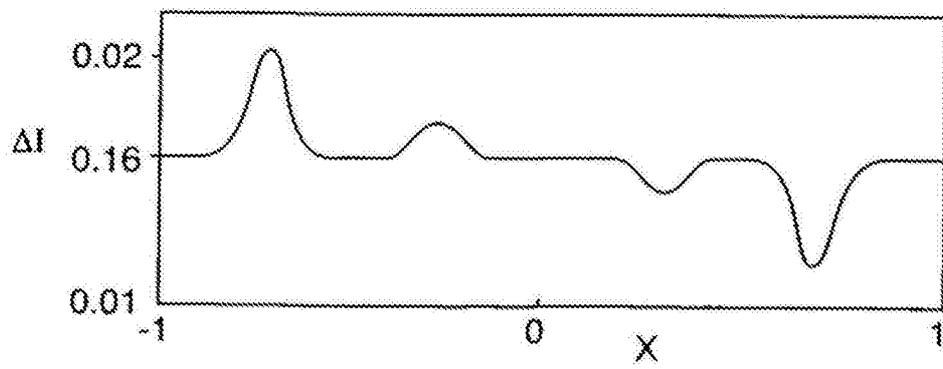


图4C

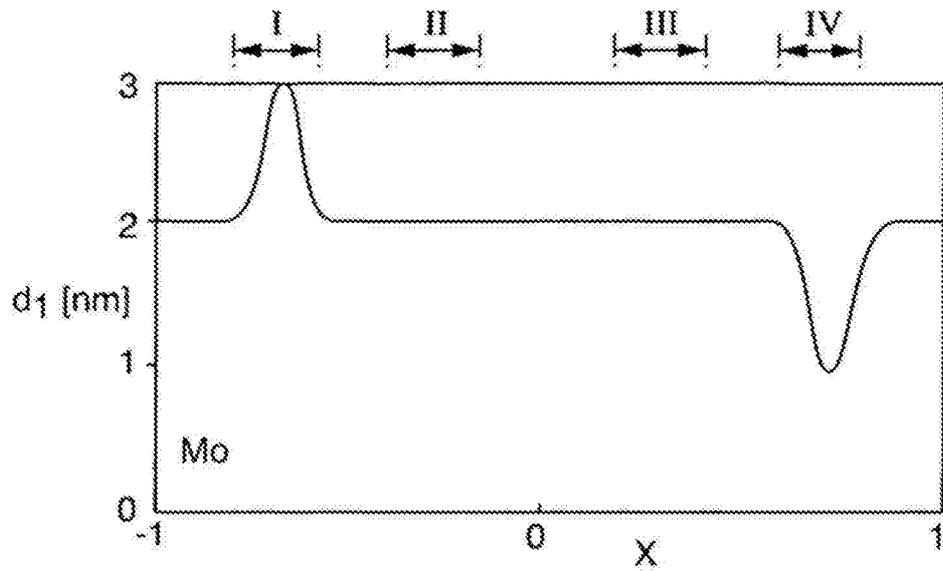


图5A

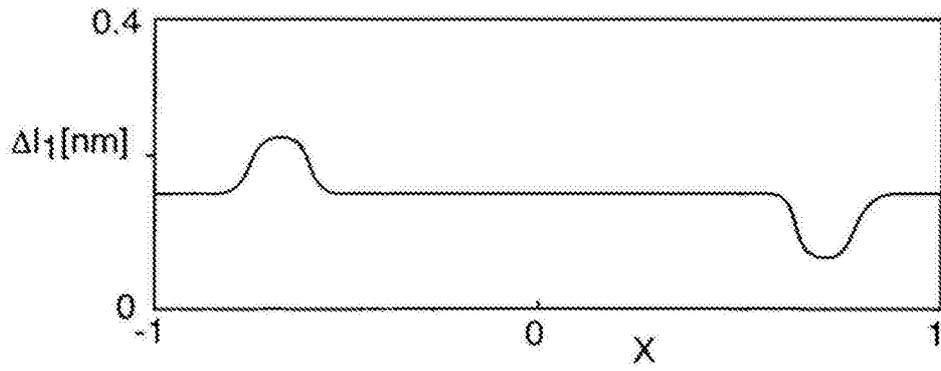


图5B

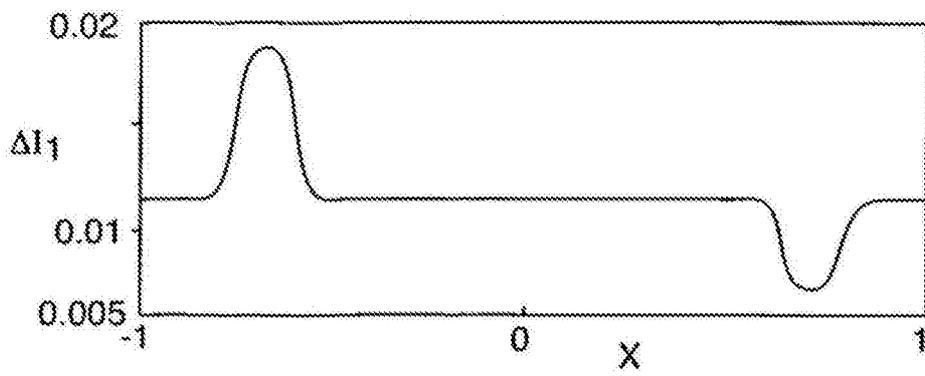


图5C

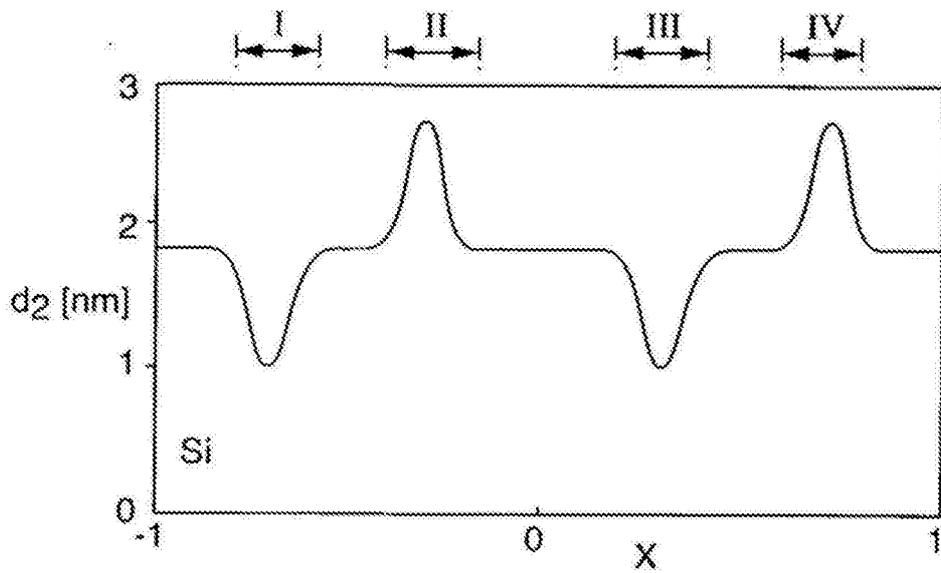


图6A

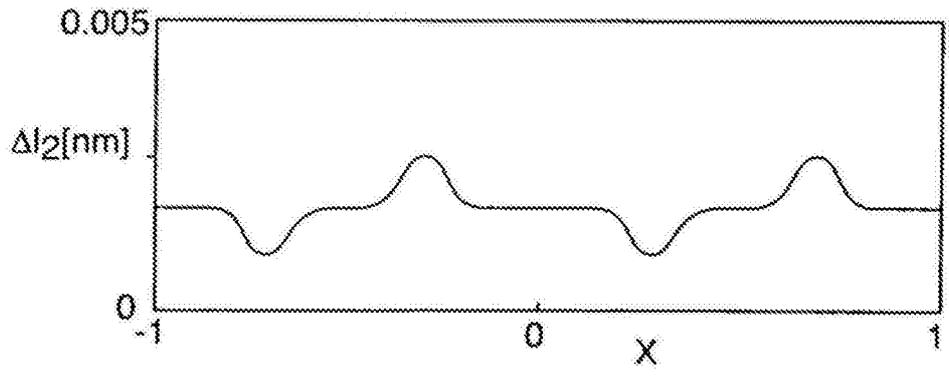


图6B

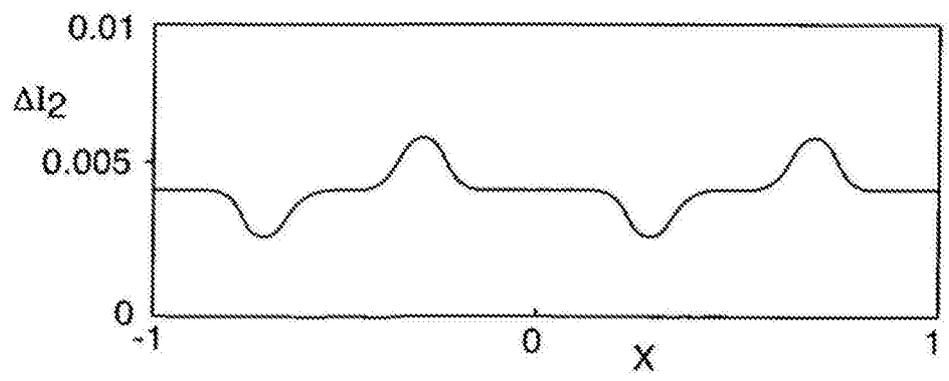


图6C

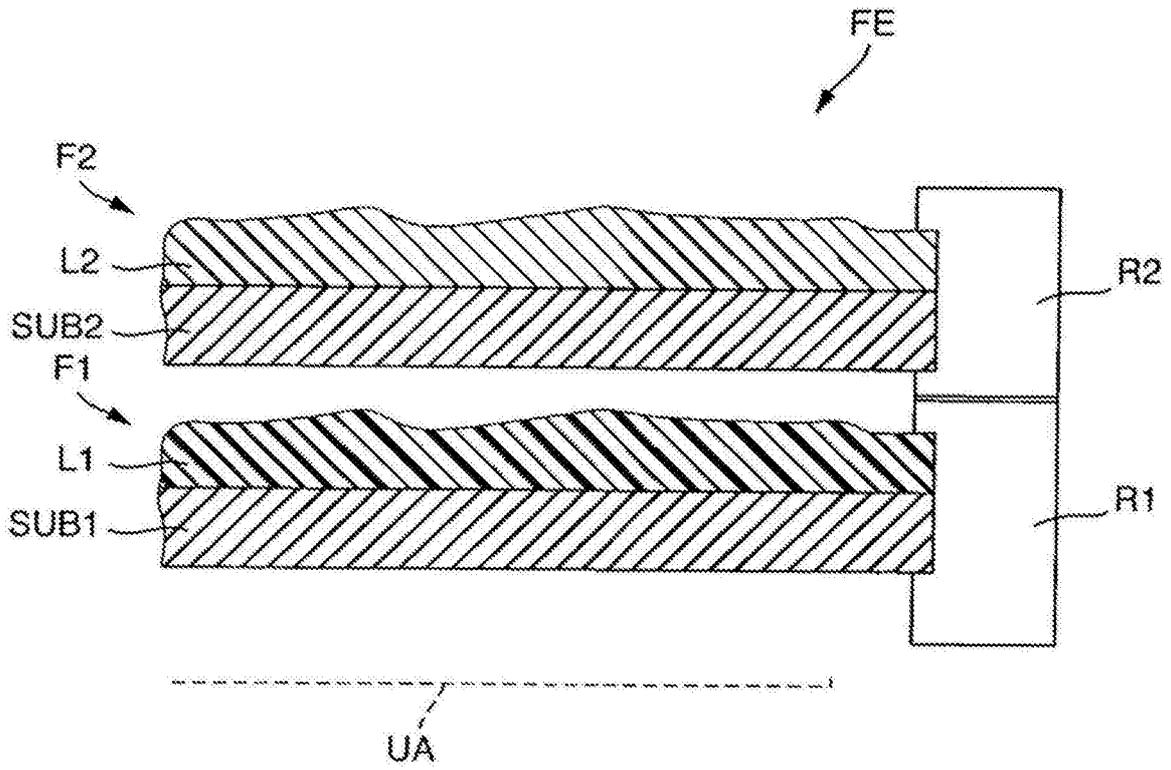


图7

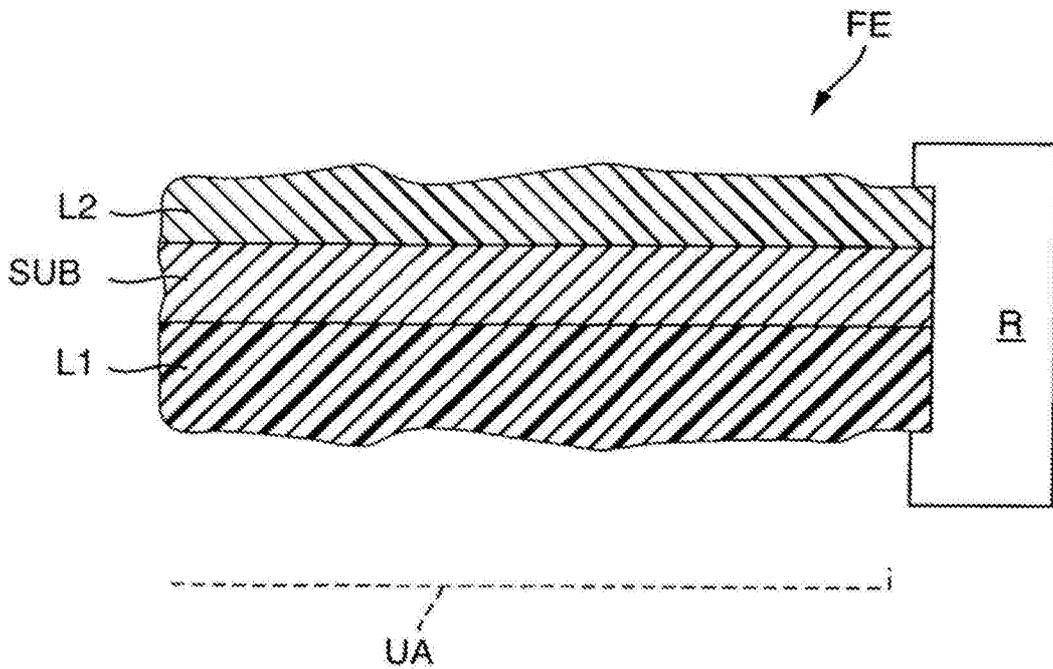


图8

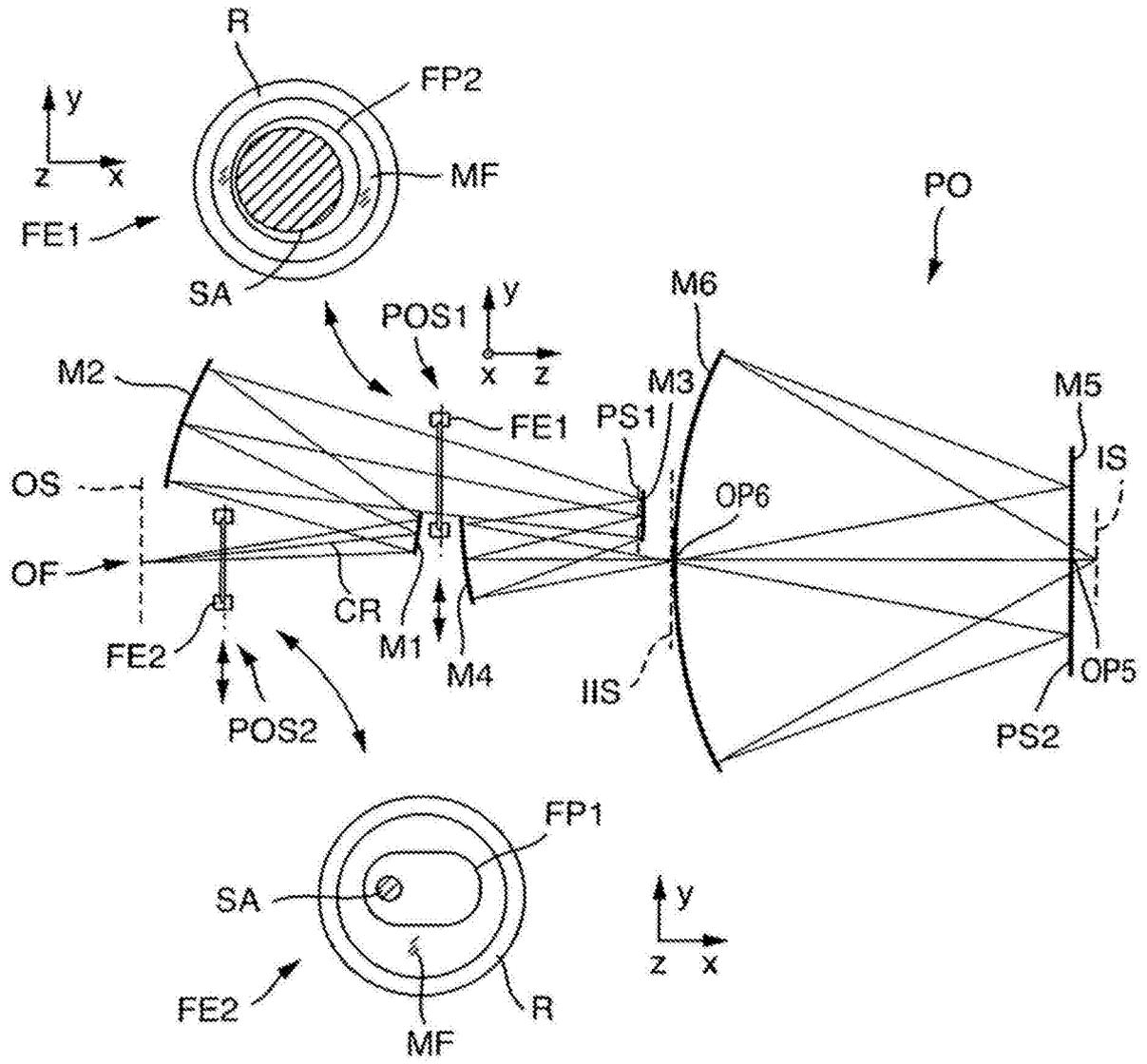


图9

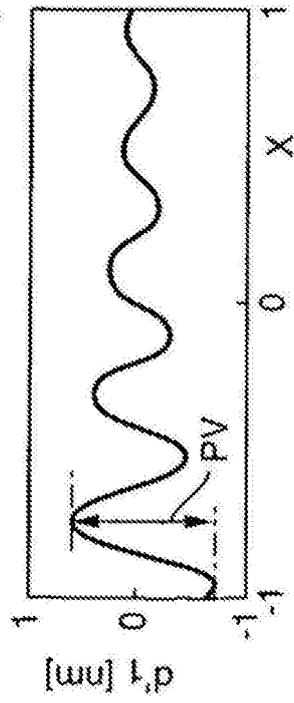


图10A

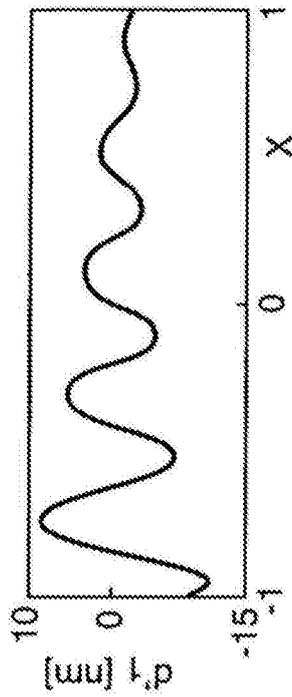


图10B

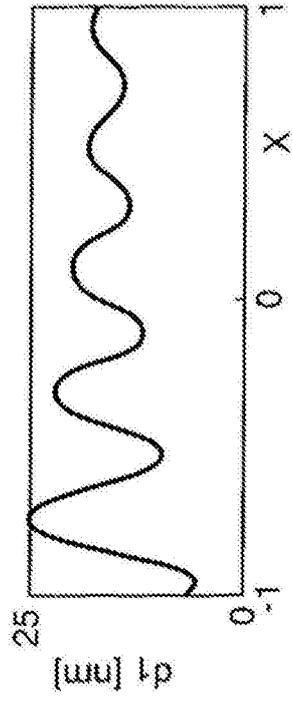


图10C

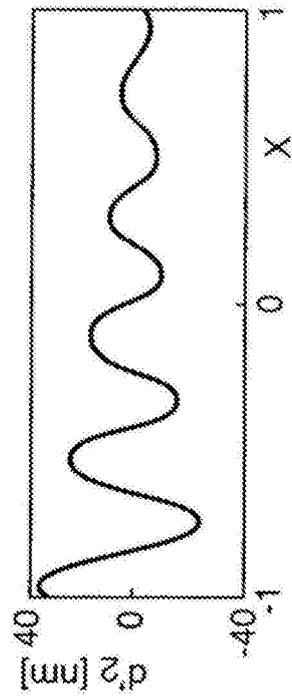


图10D

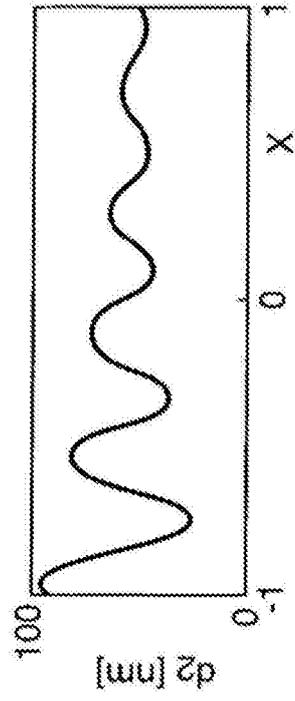


图10E

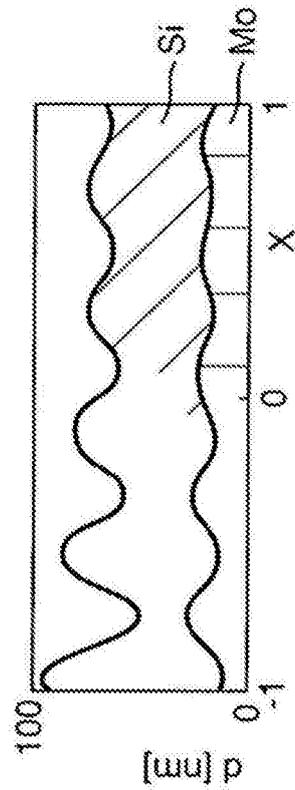


图10F

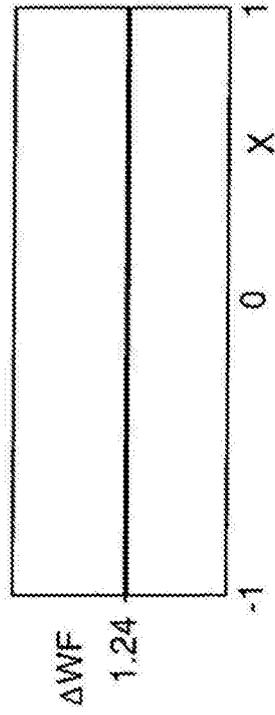


图10G

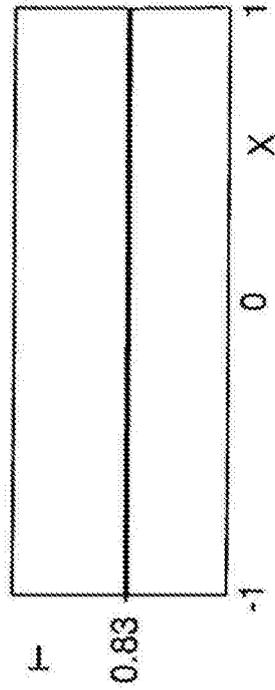


图10H